Conférence Nationale d'Intelligence Artificielle Année 2016

Philippe Mathieu, Domitile Lourdeaux, Christian de Sainte Marie, Serena Villata, Yves Demazeau, Frédéric Maris

▶ **To cite this version:**

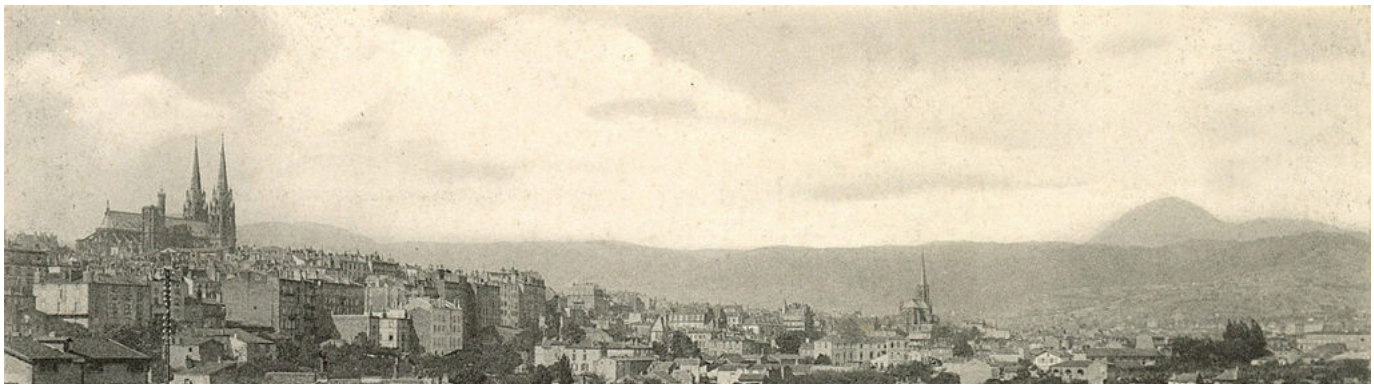
Philippe Mathieu, Domitile Lourdeaux, Christian de Sainte Marie, Serena Villata, Yves Demazeau, et al.. Conférence Nationale d'Intelligence Artificielle Année 2016. Association Française pour l'Intelligence Artificielle (AFIA). , 2016. hal-02189782

HAL Id: hal-02189782
https://hal.science/hal-02189782

Submitted on 19 Jul 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Conférence Nationale d'Intelligence Artificielle Année 2016

Président CNIA
Philippe Mathieu

Sections Spéciales
Domitile Lourdeaux
Christian de Sainte-Marie
Serena Villata

Coordination AFIA
Yves Demazeau
Frédéric Maris

Conférence Nationale d'Intelligence Artificielle Année 2016

Table des matières

Appel à communication..
CNIA 2016, dont APIA et RJCIA 1

Comités de programme CNIA.
CNIA, APIA, RJCIA – 2016 3

Actes de la Conférence CNIA 2016, dont APIA et RJCIA

Carole Adam et Benoît Gaudou.
Modélisation de comportements humains en situation de crise à partir d'entretiens : application aux incendies de forêt de Melbourne 9

Rabia Azzi, Sylvie Despres, Gilles Guezennec and Jérôme Nobécourt.
Utilisation de ressources sémantiques pour l'automatisation du calcul d'un score nutritionnel 17

Alexis Brenon, François Portet et Michel Vacher.
Etude préliminaire d'une méthode de prise de décision adaptative pour la commande vocale dans un habitat intelligent 25

Lucile Callebert, Domitile Lourdeaux et Jean-Paul Barthès.
Moteur décisionnel reposant sur un modèle de confiance pour des agents autonomes 32

Quentin Cohen-Solal, Maroua Bouzid and Alexandre Niveau.
Consistency Checking of Qualitative Constraint Multi-Networks : Application to Multi-Scale Temporal Reasoning 40

Anthony D'Amato and Matthieu Boussard.
Forgetting Methods for White Box Learning 48

Guillaume Debras, Mouaddib Abdel-Illah, Laurent Jeanpierre and Simon Le Gloannec.
Dealing With Groups Of Actions In Multiagent Markov Decision Processes 55

Guillaume Desquesnes, Guillaume Lozenguez, Arnaud Doniec et Eric Duviella.
MDP à grande échelle : étude de cas des voies navigables 63

Romain Deville, Elisa Fromont, Baptiste Jeudy et Christine Solnon.
Recherche efficace de motifs fréquents dans des grilles 71

Pascal François Faye, Mbaye Sene et Aknine Samir.
Modèle de formation de coalitions A-core dans un contexte incertain 79

Imène Guellil et Azouaou Faical.
Dialecte arabe, Dialecte algérien, analyseur syntaxique, analyse de sentiments, lexique du dialecte 87

Abdelraouf Hecham, Madalina Croitoru, Pierre Bisquert and Patrice Buche.
Extending GWAPs for Building Profile Aware Associative Networks 95

Yann Hodé et Aline Deruyver.
Reconnaissance de formes et raisonnement symbolique : Comment traiter ce problème dans le cadre de la satisfaction de contraintes ? 103

Lauriane Huguet, Nicolas Sabouret and Domitile Lourdeaux.
Simuler des erreurs de communication pour une équipe d'agents virtuels en situation de crise 111

Tifaine Inguère, Valérie Renault, Florent Carlier et Pascal Leroux.
Systèmes multi-agents pour l'ordonnancement de ressources dans les systèmes embarqués 119

Abir B. Karami, Karim Sehaba et Benoît Encelle.
Extraction interactive de connaissances d'adaptation à partir de feedback utilisateurs - Evaluation sur un robot compagnon adaptatif 127

Jean-Baptiste Lamy, Hélène Berthelot et Madeleine Favre.
Les boîtes arc-en-ciel : une nouvelle technique pour visualiser les relations hiérarchiques dans les ontologies 135

Nicolas Le Guillarme, Mouaddib Abdel-Illah, Xavier Lerouvreur et Sylvain Gatepaille.
Une Approche basée sur la Théorie des Jeux pour la Reconnaissance d'Objectif d'un Adversaire et la Planification de Réponse en Environnements Compétitifs 143

Mathieu Lelerre and Abdel-Illah Mouaddib.
Behavior Policy Prediction of Non-Optimal Semi-Autonomous Agents 151

Amine Louati, Joyce El Haddad et Suzanne Pinson.
Expérimentation et évaluation d'une approche multi-agents pour la découverte de services Web fondée sur la confiance 159

Pierre Maillot, David Genest, Stephane Loiseau et Thomas Raimbault.
Diagnostic pour le maintien de la qualité des bases du Web des données 167

Stella Marc-Zwecker et Caroline Rudolf.
Le projet FOURIRE : une approche méthodologique pour l'intégration de l'incertitude dans le processus de reconnaissance d'objets urbains 175

Dalia Marcela Rojas Castro, Arnaud Revel and Michel Menard.
A Hybrid Neural-based Control Architecture for Autonomous Robot Navigation : Synergetic Interface between a priori and embedded information 183

Yifan Yang, Jamal Atif and Isabelle Bloch.
Abductive reasoning for image interpretation based on spatial concrete domains and description logics 191

Activité de l'AFIA entre Août 2014 et Juillet 2016

Flyer AFIA.
A propos de l'AFIA – édition 2016 201

Membres du Conseil d'Administration de l'AFIA.
CA AFIA 2015 et 2016 202

Collège AFIA.
Collège Ingénierie des Connaissances (IC) 203

Flyer AFIA.
Prix de Thèse IA 205

Flyer AFIA.
Bulletins Trimestriels 206

Flyer AFIA.
Journées propres (PDIA, FIIA) 208

Flyer AFIA.
Nuit de l'info 2015 213

Flyer AFIA.
IA sur robots 2016 214

Flyers AFIA.
Journées communes (XX&IA) 215

Flyer AFIA.
Affiche PFIA 2015 230

Flyer AFIA.
Affiche RFIA 2016 231

AfIA
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

CNIA 2016

Conférence Nationale en Intelligence Artificielle

Président du Comité de Programme :
- Philippe Mathieu (CRIStAL, Lille1)

La Conférence Nationale en Intelligence Artificielle (CNIA) constitue un point de rencontre unique et convivial pour la communauté IA permettant de rapprocher les différentes disciplines qui la composent et d'établir des passerelles entre elles. La conférence s'adresse à l'ensemble de la communauté en IA. Elle est l'occasion pour l'ensemble de la communauté IA française de témoigner des dernières avancées en IA, de présenter ses résultats les plus récents, mais aussi de rapprocher les différentes communautés spécialisées.

Nous vous invitons à soumettre des articles mettant en valeur vos derniers résultats en IA à CNIA 2016. Ces recherches peuvent être de natures diverses : méthodologiques, théoriques ou expérimentales, développement d'algorithmes, conception d'outils, de systèmes ou d'applications.

Section Spéciale : Applications Pratiques en Intelligence Artificielle

Co-Présidents du Comité de Programme :
- Domitile Lourdeaux (HEUDIASYC, Compiègne)
- Christian de Sainte-Marie (IBM, Gentilly)

Les recherches en IA menées ces dernières années ont abouti à des résultats prometteurs et l'IA se trouve au cœur de nombreuses applications performantes qui révolutionnent notre vie quotidienne ou plus discrètes, tandis que d'autres très prometteuses sont en passe de le devenir. L'objectif de cette Section Spéciale (APIA 2015) est de faire un tour d'horizon des applications concrètes de l'IA qui couronnent de succès cette opérationnalisation de l'IA et des travaux de recherche qui le seront bientôt.

La section favorisera l'échange entre chercheurs académiques, industriels et autres pour partager leurs expériences, débattre des verrous rencontrés, des méthodes mises en œuvre pour enrichir le potentiel applicatif des modèles et outils de l'IA et les besoins naissants, en mettant en valeur l'IA de ces applications.

Section Spéciale : Rencontre des Jeunes Chercheurs en Intelligence Artificielle

Présidente du Comité de Programme :
- Serena Villata (CNRS, I3S)

L'objectif de cette Section Spéciale (RJCIA) est double: (i) former les jeunes chercheurs à la préparation d'un article, à sa révision pour tenir compte des observations émises, et à sa présentation devant un auditoire de spécialistes ; (ii) permettre aux jeunes chercheurs préparant une thèse en IA, ou l'ayant soutenue depuis peu, de présenter leurs travaux et de former des contacts avec d'autres jeunes chercheurs, et d'élargir leurs perspectives en échangeant avec des spécialistes d'autres domaines de l'IA.

Le premier auteur doit être doctorant ou docteur depuis moins d'un an (thèse en cours, ou soutenue en 2015). (i) Communications de synthèse : les doctorants en 1ère année présentent leur sujet, en incluant un état de l'art, problématiques, et pistes de travail. Les communications attendues sont de deux types : (ii) Communications de recherche : les jeunes chercheurs plus confirmés présentent des travaux de recherche originaux.

Liste des thématiques

- Apprentissage supervisé, non supervisé, par renforcement
- Environnements Informatiques d'Apprentissage Humain
- Raisonnement à base de modèles, Raisonnement à partir de cas
- Fouille de masse de données, Fouille de graphes, Fouille de textes
- Impact du *Big Data* en IA
- Impact et utilisation des données ouvertes en IA
- Satisfaction de contraintes
- Représentation des connaissances, Modèles de raisonnement, Automatisation du raisonnement, Planification
- Agents autonomes et Systèmes Multi-Agents
- Informatique émotionnelle, Interaction humain-agent
- Robotique autonome, contrôle intelligent dans les systèmes robotiques
- Gestion des connaissances : modélisation, organisation, optimisation et traitement
- Gestion des connaissances : modélisation, organisation, optimisation et traitement
- Traitement automatique des langues
- Données liées, données ouvertes, publication de données
- Web de données, web sémantique, ontologies.
- Extraction d'information, Indexation sémantique de contenu
- Visualisation de données et de connaissances
- Validation, évaluation de la qualité des données, des connaissances et des performances
- Langages de programmation pour l'IA, programmation logique
- Plates-formes et environnement de développement en IA

Appel à Communications

La langue de la conférence est le français, mais les communications en anglais seront acceptées. La soumission d'articles se fait sur article complet (format : 6 pages, double colonne).

Les meilleurs papiers seront invités à contribuer à un numéro spécial de la Revue d'Intelligence Artificielle.

Calendrier

- Soumission des papiers : 26 février 2016
- Notification aux auteurs : 29 avril 2016
- Version finale : 13 mai 2016

Comités de programme CNIA 2016

Conférence Nationale d'Intelligence Artificielle (CNIA)

Président : Philippe Mathieu

Marie-Helene Abel	HEUDIASYC - Université de Technologie de Compiègne
Carole Adam	LIG CNRS UMR 5217 - UJF
Emmanuel Adam	Univ Lille Nord de France
Patrick Albert	IBM
Nathalie Aussenac-Gilles	IRIT CNRS
Audrey Baneyx	Sciences Po, médialab
Isabelle Bloch	ENST - CNRS UMR 5141 LTCI
Olivier Boissier	ENS Mines Saint-Etienne
Grégory Bonnet	Université de Caen Normandie
Elise Bonzon	LIPADE - Université Paris Descartes
François Bouchet	LIP6 - Université Pierre et Marie Curie
Cedric Buche	UEB / ENIB / LISyc / CERV
Mohamed Chetouani	University Pierre and Marie Curie
Pierre Chevaillier	ENIB, Lab-STICC
Laurence Cholvy	ONERA-Toulouse
Amélie Cordier	LIRIS
Antoine Cornuéjols	AgroParisTech
Remy Courdier	LIM - Université de la Réunion
James Crowley	INRIA
Monticolo Davy	Polytechnical Institue of Lorraine
Cyril De Runz	CReSTIC, Université de Reims Champagne-Ardenne
Nicolas Delestre	INSA de Rouen
Yves Demazeau	CNRS - LIG
Sylvie Despres	Laboratoire d'Informatique Médicale et de BIOinformatique (LIM & BIO)
Michel Devy	LAAS
Gaël Dias	Normandie University
Florence Dupin De Saint Cyr	IRIT, Universite Paul Sabatier
Elias Egho	Orange Labs
Catherine Faron Zucker	Université Nice Sophia Antipolis
Humbert Fiorino	LIG
Fabien Gandon	Inria
Catherine Garbay	CNRS - LIG
Serge Garlatti	Telecom Bretagne
Thibault Gateau	ISAE
Benoit Gaudou	UMR 5505 CNRS, IRIT, Université de Toulouse
Brigitte Grau	LIMSI, CNRS
Thomas Guyet	AGROCAMPUS OUEST, UMR6074 IRISA, F-35042 Rennes
Salima Hassas	Universit Claude Bernard-Lyon1
Jean-Paul Jamont	LCIS, Université de Grenoble
Sébastien Konieczny	CRIL - CNRS
Arnaud Lallouet	GREYC, Université de Caen - Basse Normandie
Bart Lamiroy	Université de Lorraine - LORIA UMR 7503
Jérôme Lang	LAMSADE
Florence Le Ber	icube
Christophe Lecoutre	CRIL
Marie Lefevre	LIRIS - Université Lyon 1
Vincent Lemaire	Orange Labs - Equipe Profiling et Data Mining
Christophe Leroux	CEA LIST
Charles Lesire	ONERA
Michel Liquiere	LIRMM
Samir Loudni	GREYC, CNRS UMR 6072, Université de Caen Basse-Normandie
Frédéric Maris	Université Paul Sabatier - Toulouse III
Pierre Marquis	CRIL-CNRS and Université d'Artois
Arnaud Martin	Université de Rennes1 / IRISA
Philippe Mathieu	University of Lille 1
Nicolas Maudet	Université Paris 6

Engelbert Mephu Nguifo	LIMOS - Blaise Pascal University - CNRS
Fabien Michel	LIRMM - Université de Montpellier
Maxime Morge	Computer Science Laboratory of Lille
Philippe Morignot	INRIA Rocquencourt
Philippe Muller	IRIT, Toulouse University
Amedeo Napoli	LORIA Nancy
Philippe Palanque	ICS-IRIT, University Toulouse 3
Odile Papini	LSIS UMR CNRS 7296
Bruno Patin	Dassault Aviation
Olivier Pietquin	University Lille 1 - LIFL (CNRS/Lille 1) - SequeL team
Henri Prade	IRIT - CNRS
Yannick Prié	LINA - University of Nantes
René Quiniou	IRISA/INRIA
Patrick Reignier	Grenoble INP
Chantal Reynaud	LRI, Univ. Paris-Sud, CNRS, Université Paris-Saclay
Fabien Rico	Université Lyon 1
Frédéric Saubion	LERIA - University of Angers
Pascale Sébillot	IRISA
Olivier Simonin	INSA de Lyon CITI-Inria Lab.
Christine Solnon	LIRIS CNRS UMR 5205 / INSA Lyon
Sylvie Szulman	LIPN
Isabelle Tellier	Lattice
Fabien Torre	Université Charles de Gaulle - Lille 3
Raphaël Troncy	EURECOM
Laurent Vercouter	LITIS lab, INSA de Rouen
Pierre-Alain Yvars	Institut Supérieur de Mécanique de Paris
Bruno Zanuttini	GREYC, Université de Caen Basse-Normandie, CNRS UMR 6072, ENSICAEN
Djamel A. Zighed	ERIC, University of Lyon 2
Pierre Zweigenbaum	LIMSI-CNRS

Applications Pratiques en Intelligence Artificielle (APIA)

Co-présidents : Domitile Lourdeaux, Christian de Sainte-Marie

Camille Barot	North Carolina State University - Liquid Narrative Group, USA
Jean-Paul Barthès	UTC - Heudiasyc UMR CNRS 7253
Didier Bazalgette	DGA
Jean-Sébastien Bedo	Orange Labs Recherche
Fabien Belmonte	RATP
Alain Berger	Ardans
Come Bissuel	EDF R& D Dpt. STEP
Antoine Bordes	Facebook, USA
Abdelmadjid Bouabdallah	UTC - Heudiasyc UMR CNRS 7253
Mathieu Boussard	MASA Group
Bertrand Braunschweig	INRIA
Valérie Camps	Université Paul Sabatier - IRIT UMR CNRS 5505
Kevin Carpentier	UTC - Heudiasyc UMR CNRS 7253
Marc Cavazza	Teeside University, UK
François Cheriaux	EDF R&D Dpt. STEP
Pierre Chevaillier	ENIB - Lab-STICC, UMR CNRS 6285
Max Chevalier	Université Paul Sabatier - IRIT UMR CNRS 5505
Emmanuel Chiva	SILKAN et Marine Nationale
Caroline Chopinaud	MASA Group
Jan Ciger	Reviatech
Laurent Da Dalto	Mimbus
Philippe David	SNCF
Christian de Sainte-Marie	IBM, Gentilly
Etienne de Sévin	MASA Group
Florent Delomier	Synakène
Yves Demazeau	LIG CNRS
Thierry Denoeux	UTC - Heudiasyc UMR CNRS 7253
Sylvie Despres	Université Paris 13 Nord – LIMB

Sébastien Destercke	UTC - Heudiasyc UMR CNRS 7253
Jean-Yves Donnart	Thalès Training & Simulation
Bernard Dubuisson	UTC - Heudiasyc UMR CNRS 7253
Yves Duthen	Université Toulouse Capitole – IRIT UMR CNRS 5505
Lydie Edward	CRICM UPMC / INSERM S975
Dominique Ernadote	Airbus Defence & Space
Bernard Espinasse	Université Aix-Marseille – LSIS
Vincent Feuillard	Airbus GROUP Innovations
Fabien Flacher	Thalès
Béatrice Fuchs	Université Jean Moulin Lyon 3 - LIRIS
Jean-Gabriel Ganascia	Pierre et Marie Curie – LIP6
Catherine Garbay	Université Joseph Fourier Grenoble - LIG CNRS
Samir Garbaya	ENSAM ARTS ET METIERS PARISTECH
Domenico Gattuso	Mediterranea University of Reggio Calabria, Italie
Jérôme Gensel	Université Pierre Mendès France Grenoble 2 – LIG CNRS
Abdelkader Gouaich	Université Montpellier - LIRMM
Michel Grabisch	Université Paris I Panthéon-Sorbonne
Zahia Guessoum	LIP6 et CReSTIC
Christophe Guettier	SAGEM
Olivier Gutknecht	ACM
Céline Hudelot	Ecole Centrale Paris - MAS
Jean-Marc Labat	Université Pierre et Marie Curie – LIP6
Mathieu Lafourcade	Université Montpellier II - LIRMM
Pascale Le Gall	Ecole Centrale Paris - MAS
Dominique Lenne	UTC - Heudiasyc UMR CNRS 7253
Jean Lieber	Université de Lorraine - LORIA
Domitile Lourdeaux	HEUDIASYC, Compiègne
Vanda Luengo	Université Joseph Fourier Grenoble - LIG CNRS
Sylvain Mahé	EDF R&D Dpt. STEP
Alamin Mansouri	Université de Bourgogne - L2ei UMR CNRS 6306
Jacques Marc	INRS
Jean-Charles Marty	Université de Savoie - LIRIS Lyon
Nada Matta	UTT - TechCICO
Philippe Mathieu	University Lille 1 – LIFL
Juliette Mattioli	Thalès
Eunika Mercier	Bull
Alain Mille	Université Claude Bernard Lyon 1 - LIRIS
Philippe Morignot	LIFEWARE, INRIA
Pierre Morizet Mahoudeaux	UTC - Heudiasyc UMR CNRS 7253
Mustapha Mouloua	University of Central Florida, USA
Amedeo Napoli	Université de Lorraine – LORIA
Pascal Negros	Arch4IE
Thuy N'GUYEN	EDF R&D Dpt. STEP
Selmin Nurcan	Université Paris I
Jean-Marc Ogier	Université de la Rochelle – L3i
François Pachet	Sony CSL
Pavol Barger	Société Monsieur Pavol Barger
Romaric Redon	Airbus Group Innovations
Jean-Christophe Riat	PSA Peugeot-Citroën
Benoit Ricard	EDF R&D Dpt. STEP
Jean Rohmer	ESILV
Dominique Romary	France
Francis Rousseaux	Université Reims – CReSTIC et IRCAM
Nicolas Sabouret	Université Paris Sud – LIMSI
Jean Sass	Dassault Aviation
Nicolas Schneider	Airbus GROUP Innovations
Françoise Soulie Folgeman	KXEN
Nicolas Szilas	Université de Genève - TECFA-FPSE
Catherine Tessier	ONERA-DCSD
Nicolas Usunier	UTC - Heudiasyc UMR CNRS 7253

Rencontre des Jeunes Chercheurs en Intelligence Artificielle (RJCIA)

Présidente : Serena Villata

Carole Adam	LIG, Université Grenoble-Alpes
Elise Bonzon	LIPADE
Sylvain Bouveret	LIG, Université Grenoble-Alpes
Amélie Cordier	LIRIS, Université Lyon 1
Matthieu Geist	Supélec
Dino Ienco	IRSTEA
Jean-Marie Lagniez	CRIL, Université d'Artois
Robin Lamarche-Perrin	Max-Planck-Institut
Alexandre Niveau	GREYC, Université de Caen Basse-Normandie
Antoine Nongaillard	LIFL
Wassila Ouerdane	Ecole Centrale Paris
Regis Riveret	NICTA Australia
Mathieu Roche	TETIS, Cirad
Francois Schwarzentruber	IRISA
Serena Villata	I3S, Sophia Antipolis

Actes IA 2016

Conférence Nationale d'Intelligence Artificielle

Editeurs : Président(e)s de CP de CNIA, APIA, RJCIA 2016

Modélisation de comportements humains en situation de crise à partir d'entretiens : application aux incendies de forêt de Melbourne

Carole Adam[1] Benoit Gaudou[2]

[1] Université Grenoble-Alpes - LIG, UMR 5217 CNRS - Grenoble
[2] IRIT, Université de Toulouse, Toulouse, France

carole.adam@imag.fr
benoit.gaudou@ut-capitole.fr

Résumé

Dans cet article nous nous intéressons à la sensibilisation des décideurs aux comportements réels, irrationnels et subjectifs, de la population en situation de crise. Nous partons d'entretiens collectés après les graves incendies de forêt qui ont eu lieu autour de Melbourne en février 2009, dans lesquels les habitants décrivent leur expérience. Nous en déduisons un modèle de comportement basé sur la distinction entre attributs objectifs (capacités, danger) et subjectifs (confiance en soi, aversion au risque). Nous montrons que ce modèle permet de reproduire les archétypes de comportement établis par les rapports d'enquête.

Mots Clef

Modélisation de comportement humain, simulation sociale multi-agents, gestion de crise.

Abstract

In this paper we are interested in raising the deciders' awareness of the real (irrational and subjective) behaviours of the population in crisis situations. We analyse interviews gathered after Victoria Black Saturday bushfires in 2009, where the inhabitants describe their experience. We deduce a model of human behaviour based on the distinction between objective (capabilities, danger) and subjective (confidence, risk aversion) attributes, and show that it allows us to reproduce known behaviour archetypes.

Keywords

Human behaviour modelling, agent-based social simulation, crisis management.

1 Introduction

Les désastres naturels se multiplient dernièrement et font de plus en plus de victimes chaque année : incendies graves en Australie en 2009, séisme et tsunami au Japon en 2011 ou en Indonésie en 2004, séisme au Népal en 2015, récente tempête de neige sur la côte est des Etats-Unis, inondations en Chine et en Russie en 2015, etc. Dans ce contexte, il est particulièrement important, afin de diminuer le nombre de victimes, d'essayer d'optimiser la réaction de la population (évacuation ou autre action appropriée) en leur envoyant des messages appropriés (informations, alertes, ordre d'évacuation...). Les stratégies des autorités diffèrent selon les pays et selon le type de désastre. Dans ce projet nous nous intéressons spécifiquement à la réponse de la population australienne, dans l'état du Victoria, face aux feux de forêt très fréquents l'été. La politique publique actuelle est intitulée "Prepare, stay and defend, or leave early" (préparez-vous, restez et défendez, ou partez tôt). Concrètement les autorités donnent deux choix à la population : évacuer très tôt, avant l'arrivée des feux dans la zone de résidence, car "de nombreuses personnes sont mortes en tentant de fuir au dernier moment" [4] ; ou rester défendre sa maison, à condition d'être bien préparé "physiquement et mentalement" ; dans les deux cas chacun doit prendre sa décision et préparer son plan d'action à l'avance. Mais en janvier et février 2009, des incendies d'une rare gravité ont ravagé une partie de l'état, culminant dans la journée du 7 février (le "Black Saturday") qui fit 173 morts malgré ces efforts de sensibilisation. Plusieurs rapports ont cherché à comprendre les raisons de ce nombre élevé de victimes et ont identifié des incohérences sur plusieurs aspects : comportement (la population ne réagit pas comme les décideurs l'attendent) ; informations (les informations envoyées ne sont pas toujours jugées pertinentes par la population) ; et moyens de communication (les moyens utilisés ne sont pas efficaces, en particulier le *broadcast*).

Ainsi un rapport du Centre de Recherche créé en réponse à ces incendies [12] a étudié les réactions de la population à partir de témoignages, et en a tiré 10 leçons. On retiendra en particulier que les habitants, dans l'incertitude, imitent les autres : copient leurs comportements et adoptent leurs (fausses) croyances d'être en sécurité. Ils sont particulièrement sensibles aux conseils et informations personnalisés provenant de leurs proches ou des autorités, mais ces derniers envoient des messages d'alertes trop génériques leur conseillant de suivre leur plan d'action. Au contraire l'engagement ferme sur un plan donné, sans condition ni solution de rechange, donc sans adapta-

©AFIA 2016

tion à l'évolution de la situation, mène à des catastrophes. La commission d'enquête créée après les incendies de 2009 (Victorian Bushfires Royal Commission, VBRC) a aussi rédigé un rapport [14] qui établit plusieurs raisons possibles aux nombreuses victimes : malgré cette politique de sensibilisation, les habitants ont tendance à "rester et voir", attendant le dernier moment pour évacuer ; et la plupart des habitants n'ont pas préparé de plan d'action et se trouvent démunis, attendant un déclencheur pour évacuer (proximité du feu, ordre personnel d'évacuation) alors que les autorités, considérant qu'ils ont déjà un plan, ne diffusent lors des alertes que des messages génériques. Or les personnes trop impliquées dans leurs actions individuelles (par exemple défense de leur propriété) sont incapables de prêter attention à des messages diffusés à tous (*broadcast*) [6]. Ce rapport se conclut donc par 67 recommandations pour optimiser la réponse aux incendies, comme celle d'améliorer l'information vers la population, de manière engageante, et répétée chaque année.

Nous nous intéressons plus particulièrement ici au décalage entre le comportement attendu de la part de la population par les décideurs, qui détermine leurs actions d'information, et le comportement réel de la population pendant les incendies, qui détermine de quelles informations ils ont besoin et à quoi ils sont sensibles. Nous proposons d'expliquer cette différence par un décalage entre les valeurs objectives et subjectives de deux déterminants du comportement : le niveau de danger et la capacité à y faire face. Les autorités se basent sur les valeurs objectives pour prévoir le comportement de la population, alors que chaque individu a une perception biaisée à la fois du risque et de ses capacités. L'objectif à plus long terme est de fournir un jeu sérieux pour aider les décideurs à préparer des stratégies de réponse tenant compte de ce décalage. Notre approche est celle de la modélisation et simulation multi-agent. Nous avons analysé des entretiens avec la population (Section 2), pour en extraire un modèle du comportement individuel (Section 3). Nous avons implémenté ce modèle dans GAMA et réalisé des simulations qui mettent en évidence les profils de comportement établis dans la littérature (Section 4). Pour conclure, nous discutons ces résultats et nos travaux futurs (Section 5).

2 Entretiens avec la population

Nous partons des interviews recueillies par la VBRC après le Black Saturday auprès de 100 résidents des zones affectées [15]. Nous discutons ci-dessous certains extraits particulièrement parlants de ces entretiens, permettant d'illustrer différents types de décalages entre comportement attendu et comportement effectif : sous-estimation du danger, passivité, déni, sur-estimation des capacités...

2.1 Fascination du feu et mise en danger

Anna M. vivait à 2km du centre-ville de Bendigo depuis 2 ans au moment des incendies et n'avait aucune conscience du danger, se pensant protégée par la proximité de la ville. Elle avait vaguement pensé à la nécessité de se préparer pour les incendies sans jamais réaliser aucune action concrète, mais prévoyait toutefois de rester défendre sa maison si un incendie se produisait. Le 7 février, elle avait conscience des éléments de risque (sécheresse, chaleur, vent) et du fait que des incendies allaient forcément se produire, mais elle n'en a pas déduit qu'elle pourrait être affectée (*"at no point did I think that I was going to be at risk of a bushfire"*). Quand des pompiers du CFA sont venus chez elle lui conseiller d'évacuer, elle a refusé ; ils lui ont alors demandé de rester abritée dans sa maison, mais sans s'en rendre compte, elle est restée dehors à regarder le feu se rapprocher (*"This was not a conscious decision"*), fascinée par sa beauté, jusqu'à se retrouver dépassée quand les flammes sont arrivées jusqu'à une dizaine de mètres seulement de sa maison (*"[flames] came so suddenly that I just didn't have time to do anything"*). Elle n'a réalisé qu'à posteriori son manque de préparation.

Ce témoignage montre l'inconscience du danger de certaines personnes, et donc leur passivité face au feu jusqu'à ce qu'il soit trop tard, leur donnant après coup une impression que tout s'est passé très vite. Ni les conseils directs d'évacuation ou de mise à l'abri, ni la proximité immédiate du feu, n'ont réussi à tirer ce témoin de sa fascination du feu et à déclencher une action, et seule la chance l'a sauvée.

2.2 Changement de plan et abri d'urgence

Greg W. est un père de famille qui avait stocké beaucoup de possessions dans la ferme récréative de sa mère. Malgré sa grande expérience des incendies, il n'avait pas l'intention de rester défendre la ferme. Mais le matin de l'incendie il s'y est rendu avec son fils de 14 ans pour préparer la propriété et emballer quelques affaires. A ce moment les feux étaient encore à bonne distance et il ne se pensait pas en danger. Après quelques heures de préparatifs il pensait pouvoir repartir en sécurité avant l'arrivée de l'incendie, d'autant plus confiant qu'il observait les pompiers le contenir avec succès en haut d'une colline proche. Mais l'arrivée soudaine du feu dans la vallée a rendu le trajet prévu (à travers 5km de forêt) trop dangereux et il a décidé qu'il était moins risqué de rester et défendre. Il a préparé psychologiquement son fils et ils se sont préparés physiquement (équipement, vêtements...), ont essayé en vain de joindre les secours, puis quand le feu a été trop proche ils se sont réfugiés dans leur retenue d'eau d'1m50 de profondeur où ils ont survécu sans blessures graves.

Ce témoignage montre la prise de risque de personnes dont le plan n'était pourtant pas de défendre, à cause d'une minimisation des risques (le feu est encore loin) ou d'une sur-estimation du contrôle sur la situation (les pompiers contrôlent, tout ira bien). Leurs actions de préparation avant le feu prennent plus de temps que prévu, ou le feu arrive plus vite que prévu, et leur plan initial d'évacuation devient trop dangereux, les forçant à rester sur place. Dans ce cas le témoin avait heureusement une bonne préparation et a trouvé un abri correct pour se protéger à temps.

©AFIA 2016

2.3 Différences de point de vue

Elaine Mary P. est une institutrice retraitée de 72 ans qui vivait à Marysville depuis près de 30 ans avec son mari de 82 ans Len. Celui-ci ayant déjà combattu plusieurs incendies avait l'intention de rester défendre encore une fois, bien qu'objectivement ses capacités actuelles ne lui permettaient plus de le faire (âge, maladie). Sa femme rapporte un mélange d'entêtement, de fierté, de manque de confiance en elle et de déni, qui l'ont conduit à refuser obstinément d'évacuer, malgré toutes les tentatives de le convaincre. En effet celle-ci, inquiétée par les informations à la radio, les appels téléphoniques de famille ou d'amis, puis par l'observation directe de l'avancée du feu, voulait évacuer avec lui, d'autant plus qu'elle n'avait pas le permis de conduire. Le comportement de son mari semble montrer une stratégie de régulation émotionnelle connue, le déni ("[I] tried several times to persuade him to leave, but he would not budge. I could smell the fire, I could hear the fire and I could see it with my own eyes. But I couldn't get my husband to accept that it was coming. He just sat and sat and sat."). Elle raconte avoir espéré qu'un pompier ou policier vienne lui dire d'évacuer, pensant qu'il leur ferait peut-être plus confiance, mais personne n'est venu. Finalement la femme quittera la maison à pieds, rapportant un fort sentiment de culpabilité d'avoir abandonné son mari, avant d'être conduite vers un abri par un voisin qui passait. Son mari resté chez eux mourra dans l'incendie.
Ce témoignage montre les différences inter-individuelles dans les décisions : deux personnes se trouvant exactement dans la même situation n'ont ni la même perception du risque ni les mêmes intentions en réponse. Il montre aussi les freins émotionnels à l'évacuation (fierté, déni, culpabilité) et la nécessité de déclencheurs extérieurs pour convaincre certains de remettre en question leur plan.

2.4 Regret a posteriori

Patricia et Lindsay E. sont des professeurs retraités d'une soixantaine d'années vivant depuis 25 ans dans la maison qu'ils avaient construite dans un tout petit village, complétant leurs revenus par les bénéfices tirés de leur bétail et de leur oliveraie. Des incendies les années précédentes les avaient rendus très conscients du risque et de la nécessité d'être bien préparés, et ils avaient équipé leur propriété en conséquence, bien que n'ayant jamais discuté ensemble de leur plan ("The issue of whether to stay or go was not something we ever consciously discussed"). Le jour des feux, ils ont préparé leur maison (arrosage, protection des fenêtres, etc) tout en écoutant les informations à la radio et en surveillant l'extérieur (fumée, etc), et ont prévenu par téléphone leurs voisins qui étaient eux totalement inconscients du danger. A l'arrivée du feu, ils ont combattu les flammes et protégé avec succès leur maison, jusqu'à l'arrivée de quelques pompiers venus les aider, les trouvant en état de choc. Elle raconte que le feu était très différent et bien pire que ce à quoi ils s'attendaient. A posteriori, malgré leur succès, la femme regrette d'être restée (*"Despite saving our lives and our house, I don't think I would ever stay and defend again. We were physically very well prepared [...] but I don't think anything can prepare you for the psychological impact of facing the inferno that hit us on Black Saturday"*).
Ce témoignage montre que même très bien préparés, les habitants peuvent sous-estimer le danger et les capacités (notamment psychologiques) nécessaires pour le combattre. Il montre aussi que la conscience du danger est essentielle pour rendre les habitants actifs dans la recherche d'informations et la réaction adaptée et rapide aux informations reçues (même prévenus, les voisins n'ont pas évacué).

3 Le modèle de comportement

A partir de l'analyse de ces entretiens, nous avons construit un modèle relativement simple du comportement de la population, destiné à mettre en évidence l'influence de facteurs subjectifs dans les décisions individuelles. En effet, les entretiens montrent clairement que la population agit en se basant sur une interprétation subjective du danger (qui peut être mal évalué ou sous-estimé) et de ses capacités pour y faire face ou y échapper (qui peuvent être surestimées), et peut être trop attachée à un plan prédéfini. Tous ces facteurs conduisent à des prises de risques plus importantes que le comportement "rationnel" attendu par les autorités, qui serait basé sur une vision objective du danger et des capacités de chacun.

3.1 Modèle de l'environnement

L'environnement est une grille de taille 50 par 50 cellules dans lequel nous avons placé deux refuges dans deux coins opposés. Il contient différents types d'agents : bâtiments, abris, feux, et habitants, détaillés ci-dessous.

Feu. Ce modèle n'étant pas focalisé sur le comportement réaliste du feu, nous avons développé un modèle simpliste de celui-ci, suffisant pour visualiser différentes réactions de la population. Des modèles très complexes et détaillés existent déjà [5] et pourront être intégrés ultérieurement.
Le feu est donc composé d'agents avec une architecture à base de réflexes, chacun ayant pour attributs sa position sur la grille et son intensité (qui constitue aussi son rayon d'action) et les réflexes suivants :

- Changement aléatoire d'intensité, augmentation (forte probabilité) ou diminution
- Propagation vers une cellule voisine, créant un nouvel agent feu sur une cellule libre
- Infliction de dégâts aux bâtiments dans son rayon d'action, selon intensité et distance
- Infliction de blessures aux personnes dans son rayon d'action, selon intensité, distance, et protection offerte par un bâtiment.
- Disparition quand son intensité devient nulle

Bâtiments. L'environnement contient initialement 100 bâtiments (maisons) chacun habité par un agent (dans une version ultérieure nous considérerons des familles), chacun étant un agent avec les attributs suivants :

©AFIA 2016

— Propriétaire : l'agent habitant ce bâtiment
— Résistance : a une valeur initiale (bâtiments de solidités diverses), qui peut être augmentée par les actions de préparation entreprises par l'habitant, puis diminuée par les dégâts du feu. Cette résistance offre une certaine protection à son habitant.
— Dégâts : les dégâts déjà reçus

Les bâtiments s'écroulent sous l'effet du feu quand leur résistance tombe à 0. Ils cessent alors d'offrir une protection, et la motivation à les défendre devient aussi nulle.

Abris. Deux abris dans les coins de la grille sont connus de tous les habitants. Ils leur offrent une protection totale contre les feux. Un habitant une fois entré dans un abri y reste jusqu'à la fin de la simulation.

3.2 Modèle des habitants

Les agents habitants ont une architecture d'automate à états finis, suffisante pour mettre en évidence l'impact de la subjectivité dans les décisions.

Attributs. Les agents représentant les habitants sont décrits par les attributs suivants :

— Position sur la grille
— Bâtiment possédé
— Santé : valeur initiale aléatoire, augmentée par la préparation avant l'arrivée du feu, puis diminuée par les blessures subies
— Capacités objectives : initialisées aléatoirement, ont un impact sur la perception du danger (rayon de perception du feu), et sur la réussite des actions pendant l'incendie (préparer sa maison, éteindre le feu, suivre le meilleur chemin vers les abris).
— Capacités subjectives : initialisées aléatoirement, mises à jour par observation des performances face au feu, influencent la motivation à défendre.
— Motivation pour la fuite (aversion au risque) : initialisée aléatoirement, influence le rayon dans lequel l'habitant surveille les feux pour mettre à jour son évaluation du danger et ses motivations. Elle est mise à jour en fonction du contexte (état de santé, danger subjectif, état de la maison)
— Motivation pour la défense : initialisée aléatoirement, représente la décision que les habitants prennent à l'avance (consciemment ou non, explicitement ou non) de défendre leur maison en cas de feu (p. ex. pour des raisons économiques), puis mise à jour en fonction de l'évaluation subjective des capacités et du danger.

Actions. Les habitants disposent des actions suivantes :

— Mise à jour des motivations : à chaque pas de temps les individus mettent à jour leur perception du danger, leur motivation à fuir, et leur motivation à défendre. Cela influence leur changement d'état dans l'automate, et donc leur comportement
— Préparation : c'est l'action réalisée par les agents qui ont décidé de défendre, en attendant l'arrivée du feu, et par les agents qui ont décidé de partir, en attendant qu'ils jugent qu'il est temps de partir. Cette action consiste à ajouter de la résistance à leur maison (simulant les actions de préparation, désherbage, arrosage, protection des fenêtres, etc) et de la santé à eux-mêmes (équipement adapté, entraînement, etc).
— Défense contre le feu : c'est l'action réalisée par les agents qui ont décidé de défendre, une fois le feu arrivé à portée. Elle consiste à diminuer l'intensité du feu, d'une valeur dépendant de leurs capacités objectives. Les agents sont conscients de leur performance qui leur donne des indices sur leurs capacités objectives, leur permettant de reconsidérer leur capacité subjective et leur motivation au fil du temps. Le taux de révision peut être paramétré.
— Fuite : c'est l'action réalisée par les agents qui ont décidé d'évacuer. Elle consiste à se déplacer vers l'abri le plus proche, de manière plus ou moins rapide et optimale en fonction des capacités objectives.

Le comportement des habitants est détaillé dans le paragraphe suivant et illustré sur l'automate de la figure 1.

Déterminants du comportement. Le comportement des agents habitants est basé sur la distinction entre valeurs objectives et subjectives du danger, et des capacités pour y faire face. Les valeurs objectives sont inaccessibles aux agents, mais influencent la réussite de leurs actions (perception, préparation, défense, évacuation). Les valeurs subjectives ne sont pas forcément correctes mais déterminent les (mauvaises) décisions des agents.

Concrètement, le danger objectif est constitué par l'intensité et la proximité du feu, et détermine les dégâts aux bâtiments et les blessures aux habitants. Mais chaque individu fait sa propre évaluation subjective du danger selon ses capacités de perception (il reste inconscient du danger jusqu'à ce qu'un feu entre dans son rayon de perception) et son aversion au risque (il ne considère dangereux que les feux qui sont dans son rayon d'aversion). Un individu peut donc longtemps ignorer le danger, puis le sous-estimer, et se retrouver surpris tout à coup, d'où les témoignages de feu "arrivé tellement vite que je n'ai rien pu faire". C'est ce danger subjectif qui (avec sa motivation personnelle) influence sa décision de défendre ou évacuer.

Les capacités objectives et l'état de santé (blessures reçues) influencent la réussite des actions des agents. Ainsi de meilleures capacités conduisent à percevoir le feu plus tôt, puis à avoir de meilleures chances de l'éteindre. Les agents qui évacuent calculent un chemin optimal, leurs capacités objectives influencent le choix du meilleur chemin plutôt qu'un déplacement plus aléatoire, ainsi que leur vitesse de déplacement sur ce chemin. Mais encore une fois, chaque habitant n'a accès qu'à son évaluation subjective de ses capacités, qu'il peut surestimer ou sous-estimer.

Comparaison avec la psychologie du stress. Notre modèle est ainsi en accord avec la théorie psychologique de

©AFIA 2016

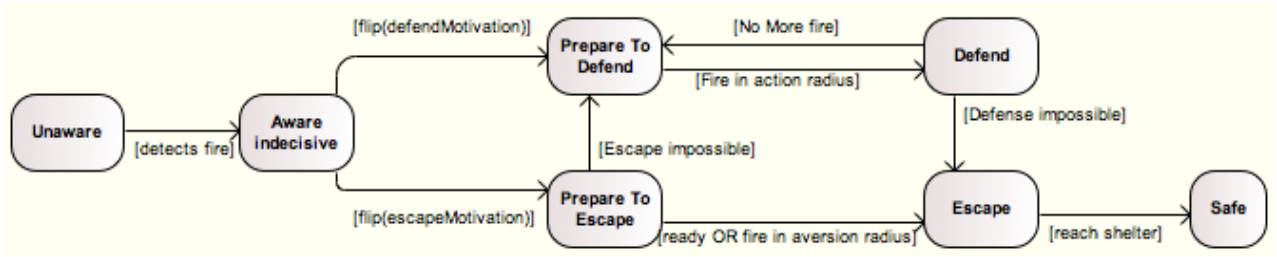


FIGURE 1 – Automate de comportement des habitants. Les transitions vers les états Survivant (santé positive en fin de simulation) et Mort (santé nulle) peuvent se faire depuis n'importe quel état et ne sont pas montrées par souci de simplicité.

Lazarus [10] concernant l'évaluation cognitive et le stress. Il distingue en effet deux processus simultanés :

- l'évaluation primaire ("demand appraisal") consistant à évaluer la signification de la situation pour l'individu (bonne, stressante, ou pas importante), et dans le cas d'un stress, à déterminer s'il est positif (défi), négatif (menace) ou actuel (perte ou blessure déjà établie). Correspond à notre danger subjectif.
- l'évaluation secondaire ("resource appraisal") consistant à évaluer les capacités (compétences, support social et matériel, ressources) dont dispose l'individu pour faire face à la situation stressante détectée. Correspond à nos capacités subjectives.

Automate de comportement. Il s'agit bien sûr d'un modèle simplifié de comportement, visant uniquement à mettre en évidence l'importance pour les décideurs de considérer les déterminants subjectifs du comportement de la population. Les états et les transitions de l'automate de comportement sont décrits ci-dessous (cf figure 1) :

- Inconscient : état initial, l'agent n'est pas conscient du danger (à tort ou à raison) et ne fait rien
- Conscient indécis : état atteint par un agent inconscient qui détecte un feu dans son rayon de perception, il évalue alors le danger et ses motivations jusqu'à prendre une décision
- Préparation au départ : état atteint quand un agent décide de partir ; il se prépare alors à partir jusqu'à être prêt ou surpris par le feu (transition vers "évacuation") ou bloqué sur place (transition vers "préparation à la défense")
- Evacuation : état des agents qui sont en route vers le refuge le plus proche. Ils peuvent se tromper de chemin et avancer plus ou moins vite, subissant des blessures s'ils passent à proximité du feu.
- Préparation à la défense : état des agents qui ont décidé ou été forcés de rester défendre leur maison. Les agents se préparent jusqu'à détecter le feu dans leur rayon d'action.
- Défense active : état des agents qui sont en train de combattre activement le feu présent dans leur rayon d'action. Ils repassent en état de préparation à la défense si le feu s'éloigne à nouveau. Ils passent en état "évacuation" quand leurs motivations s'inversent (danger trop grand, confiance plus faible après avoir échoué à contrôler le feu).
- En sécurité : état des agents qui ont atteint un abri après avoir évacué.
- Mort : état des agents dont la santé tombe à 0 à cause des blessures infligées par le feu.
- Survivant : état final des agents non morts une fois tous les feux contrôlés ou arrêtés par l'utilisateur.

3.3 Implémentation et initialisation

Nous avons implémenté le modèle dans la plateforme de simulation multi-agents GAMA (Geographic information system Agent-based Modelling Architecture, [8]). L'environnement est une grille 50 par 50 cellules (cf figure 2). On y place deux abris dans les coins Nord-Est et Sud-Ouest (cercles bleu-vert) et 100 habitants inconscients positionnés dans autant de bâtiments. En l'absence de données réelles des niveaux de capacité et de confiance des habitants, leurs attributs sont initialisés aléatoirement avec une répartition uniforme des valeurs (santé et résistance entre 100 et 200, capacités, confiance, motivations entre 0 et 1). En effet nous ne disposons pas de statistiques sur la répartition des différents profils dans la population.
L'incendie démarre par la création de 10 feux d'intensité 1 (cellules rouges) qui se propagent et grossissent ensuite, leur rayon d'action étant représenté par la zone jaune qui les entoure. Les cellules vertes sont celles non touchées par l'incendie. Les habitants sont représentés par un cercle de couleur selon leur état : bleu foncé (inconscient), rose (conscient indécis), orange (préparation à la défense), rouge (défense), violet (défenseur en fuite), bleu clair (évacuation), vert (en sécurité), noir (mort).

4 Résultats

L'objectif de ce modèle étant la reproduction de comportements humains réalistes, et pas le réalisme de la situation initiale ou du déroulement de l'incendie, il n'a pas vocation à être validé dans son ensemble. Nous nous concentrons plutôt ici sur la capture de différents archétypes connus de comportements de la population, dont nous montrons que notre modèle permet de les reproduire, et que nous tentons de mettre en correspondance avec les attributs des agents. Ces archétypes sont détaillés ci-dessous.

©AFIA 2016

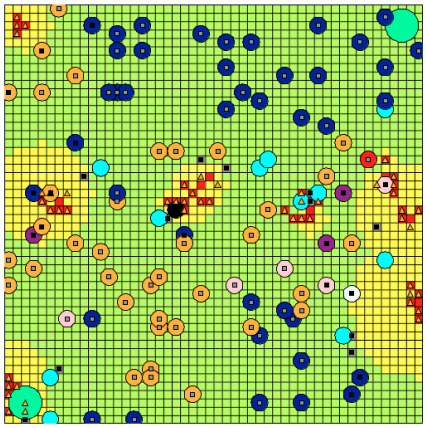


FIGURE 2 – Capture d'écran de la simulation dans GAMA

4.1 Archétypes de comportements

A partir d'observations et d'interviews de la population recueillis après les incendies de 2009 autour de Melbourne, les enquêteurs [1, 7] ont identifié 7 archétypes (ou profils) de comportement dans les incendies. Ils ajoutent que ces profils ne sont pas forcément liés à des caractéristiques socio-démographiques :

- **Défenseurs compétents** (can-do defenders) : déterminés à protéger leur maison, connaissant bien la région, expérimentés et compétents, orientés vers l'action, autonomes, confiants ;
- **Défenseurs réfléchis** (considered defenders) : fortement engagés à rester et défendre leur maison, conscients des risques, efforts délibérés de préparation et d'entraînement ;
- **Défenseurs économiques** (livelihood defenders) : engagés à rester et défendre ce qu'ils considèrent comme leur moyen de subsistance (ferme, hôtel...) et donc bien préparés ;
- **Observateurs de menace** (threat monitors) : n'ont pas l'intention de rester face à une menace sérieuse, ni de partir avant qu'ils le jugent nécessaire, attendent de voir ;
- **Eviteurs de menace** (threat avoiders) : conscients du risque et de leur vulnérabilité, planifient de partir tôt avant toute menace réelle, mais pas de plan s'ils sont surpris ;
- **Réactifs inconscients** (unaware reactors) : inconscients du risque, ne se sentent pas concernés, aucune connaissance des réactions appropriées ni préparation (p. ex. touristes) ;
- **Isolés vulnérables** (isolated and vulnerable) : physiquement ou socialement isolés (p. ex. personnes âgées ou handicapées) ce qui limite leur capacité à répondre adéquatement.

Ce dernier archétype est un peu à part car il ne provient pas de décisions différentes mais plutôt de caractéristiques démographiques différentes (âge), et nous ne le considérons donc plus dans la suite.

4.2 Caractérisation des archétypes

Notre modèle permet de caractériser ces archétypes de comportement de deux manières : en termes de comportement, et en terme de valeurs de leurs attributs.

Trajectoires d'états correspondantes. Les archétypes peuvent être caractérisés en termes de comportements attendus dans la simulation, et plus spécifiquement en terme des trajectoires attendues suivantes dans l'automate.

- Défenseurs compétents : transition très tôt vers l'état "Conscient" (alors que le feu est encore loin), puis transition immédiat vers "préparation à la défense" ; préparation efficace (santé et résistance fortes en sortie d'état) ; passage dans l'état Défense alors que le feu est encore loin ; défense efficace (intensité du feu diminue beaucoup, plusieurs foyers éteints) ; transition vers l'état "évacuation" si le danger est trop élevé (trop de blessures subies) ; donc fort taux de survie en fin de simulation
- Défenseurs réfléchis : transition très tôt vers l'état Conscient (un peu moins tôt) ; transition immédiate vers Préparation ; préparation efficace (un peu moins) ; défense efficace (un peu moins) ; transition éventuelle mais moins fréquente vers Evacuation (plus de blessures subies) ; taux de survie moyen, meurent en "défense" ou "évacuation"
- Défenseurs économiques : idem mais pas de transition vers Evacuation, taux de survie plus faible, meurent dans l'état "défense".
- Observateurs de menace : transition vers l'état Conscient moins rapide ; transition tardive vers la préparation à l'évacuation ; transition tardive vers l'évacuation ; transition éventuelle vers préparation à la défense à cause de l'impossibilité de fuir ; taux de survie moyen, certains meurent avant d'avoir commencé à fuir (dans l'état préparation)
- Eviteurs de menace : transition vers l'état conscient variable mais plutôt tard ; transition immédiate vers préparation à évacuer ; transition très rapide vers évacuation effective ; taux de survie élevé ; ceux qui meurent le font depuis l'état "évacuation"
- Réactifs inconscients : transition très tardive vers l'état Conscient ; transition tardive vers un état de préparation (selon motivations et capacités subjectives) ; taux de survie faible (meurent en état Inconscient ou Indécis).

Corrélation avec les attributs. On rappelle les attributs des habitants initialisés aléatoirement dans la simulation : compétences (capacités objectives, santé, résistance de la maison), confiance (capacités subjectives), aversion au risque (motivation pour la fuite), et motivation (pour la défense). Dans le tableau 1 nous montrons la corrélation attendue entre ces profils et des valeurs (ou plages de valeurs) particulières des attributs. Ce tableau montre en particulier que nos attributs permettent de caractériser et différencier

©AFIA 2016

les 6 profils identifiés. Par ailleurs, en initialisant la simulation avec des agents créés avec ces combinaisons de valeurs de leurs attributs, on pourrait montrer qu'ils exposent bien le comportement associé au profil correspondant.

4.3 Evaluation du modèle

Pour évaluer le modèle, nous lançons la simulation avec une initialisation aléatoire des attributs des agents. Nous utilisons alors les trajectoires attendues pour classer les agents dans les 6 archétypes selon leur comportement observé. Pour cela nous avons sauvegardé au cours de la simulation pour chaque agent l'historique des états par lesquels il est passé, avec pour chaque état le temps passé, la santé à l'entrée, et la variation de santé avant d'en sortir.
En analysant l'historique de chaque agent en fin de simulation et en le comparant aux trajectoires attendues détaillées ci-dessus, nous pouvons associer cet agent à un archétype. Par exemple (pour des questions de place nous nous n'en détaillons ici que 2) : les défenseurs économiques défendront leur maison à tout prix, beaucoup risquent de mourir en défendant, et leurs derniers états seront donc 'défense' puis 'mort' ; les observateurs de menace eux ont tendance à attendre de voir, et peuvent mourir avant d'avoir décidé comment agir, on recherche donc un historique se terminant par 'mort' juste après 'conscient indécis'.
Pour ces deux archétypes, nous mesurons à l'issue de la simulation les valeurs moyennes et l'écart-type de (la valeur finale de) chaque attribut, sur tous les agents identifiés ainsi comme membres de cet archétype. Ces valeurs en seront donc caractéristiques mais sont cependant biaisées par le fait qu'on n'identifie que les agents qui ne survivent pas, la liste d'agents n'est donc pas exhaustive. Le tableau 2 rapporte les mesures effectuées. On peut comparer ce tableau avec les plages de valeurs attendues du tableau 1. On retrouve certains résultats attendus comme la confiance supérieure à la moyenne des défenseurs économiques.

5 Discussion et conclusion

5.1 Comparaison avec l'état de l'art

Il existe des modèles très réalistes du comportement du feu et de sa propagation [5], mais à notre connaissance aucun modèle aussi réaliste n'existe pour le comportement de la population humaine. De nombreuses simulations à base d'agents se concentrent en effet sur la simulation d'évacuation et de déplacements de foules, souvent homogènes, en particulier lors d'incendies de bâtiments. [9] a proposé un des premiers modèles à base d'agents décrivant le comportement des individus an cas de déplacement en foule et en particulier d'évacuation ; celui-ci intègre un ensemble d'agents homogènes soumis à des forces sociales. Les modèles d'évacuations se sont complexifiés par la suite en intégrant des agents hétérogènes, ayant des comportements influencés par des facteurs tels que leurs émotions [11, 13] ou les liens sociaux [3] qu'ils ont avec les autres agents. La particularité de ces travaux est de se baser sur des études psychologiques des comportements individuels et sociaux pour améliorer les modèles (approche top-down) alors que nous nous basons ici sur des entretiens donnant un aperçu précis du comportement de la population et de ses déterminants (approche bottom-up).

5.2 Simplifications

Notre modèle est cependant lui aussi relativement simple et repose sur de nombreuses simplifications, afin de nous concentrer sur la vérification de notre hypothèse. Des travaux futurs permettront de le rendre plus réaliste.
En particulier, les agents sont toujours chez eux au début de la simulation, alors qu'on pourrait envisager qu'ils soient à l'extérieur, au travail, chez des amis, sur la route, quand les incendies commencent. On observerait alors des comportements différents (vouloir rentrer chez soi ou pas, etc). Il faudra compléter notre modèle avec d'autres actions, comme de se réfugier dans un abri de fortune (étang, bâtiment quelconque) en urgence avant d'avoir pu atteindre un refuge. La faisabilité des actions devrait aussi dépendre des ressources disponibles (par ex. stock d'eau limité) pour différencier les personnes plus ou moins bien préparées et équipées.
Dans ce premier modèle, les agents sont aussi seuls dans leur maison, alors qu'il faudrait tenir compte des autres occupants du logement, qui peuvent fournir une aide précieuse pour lutter contre le feu (améliorant les capacités de défense) mais aussi une motivation supplémentaire pour évacuer (mise en sécurité d'enfants ou autres personnes à charge). On a aussi vu dans les témoignages que les avis des différents occupants peuvent différer, les conduisant à négocier le comportement à tenir, leur décision ne dépendant alors plus seulement de leurs seules capacités et perceptions. Nous n'avons pas non plus pour l'instant intégré de communication entre voisins. Pour rendre le modèle plus réaliste, il sera nécessaire d'étudier la communication et les relations entre les individus, la confiance dans les différentes sources d'information disponibles (les voisins, la télé ou radio, les autorités, l'observation) et son rôle dans l'adoption de croyances et intentions, ou encore la contagion émotionnelle. Il faudra aussi ajouter des actions de solidarité, les témoignages montrant que beaucoup de voisins s'entraident pour faire face au feu.

5.3 Extensions futures

Notre but à plus long-terme est de développer un jeu sérieux permettant aux décideurs d'expérimenter différentes stratégies de gestion de crise sur une population simulée. Pour cela, il faudra un modèle réaliste non seulement de la population, mais aussi du feu lui-même et de sa propagation en fonction du vent, du terrain, etc. De tels modèles existent déjà pour le feu (par ex. Phoenix [5]) et nous pourrons étudier comment les intégrer dans notre simulation. Concernant la population, nous souhaitons passer à un modèle BDI (Belief, Desire, Intention) permettant de décrire un comportement plus complexe à base de délibération sur des désirs contradictoires [2]. Nous intégrerons aussi les stratégies de gestion émotionnelle

©AFIA 2016

Profil	Capacités	Confiance	Aversion au risque	Motivation
Défenseur compétent	+++	+++	++	+
Défenseur réfléchi	++	+++	+	++
Défenseur économique	+++	+++	-	+++
Observateur de menace	+/ ?	-	++	- -
Eviteur de menace	+/ ?	- -	+++	- - -
Réactif inconscient	-/ ?	?	-/ ?	- -

TABLE 1 – Corrélation entre profils de comportement et valeurs des attributs

	Observateur de menace		Défenseur économique		Tous les agents	
	Moyenne	Ecart-Type	Moyenne	Ecart-Type	Moyenne	Ecart-Type
Capacités	0.308	0.214	0.395	0.172	0.45	0.299
Confiance	0.54	0.284	0.602	0.287	0.485	0.282
Aversion au risque	0.467	0.312	0.506	0.309	0.504	0.280
Motivation	0.452	0.233	0.528	0.239	0.49	0.209

TABLE 2 – Corrélation mesurée entre profils de comportement et valeurs des attributs

(*coping*) décrites par Lazarus dans son modèle du stress, comme le déni dont nous avons cité un exemple dans un témoignage. Une fois le modèle plus réaliste, nous le rendrons plus interactif pour permettre à l'utilisateur de réaliser différentes actions (modifier la situation) et de tester différentes stratégies de gestion de la crise (positionnement des pompiers, mode d'alerte aux habitants, entraînement vs évacuation obligatoire, etc).

Références

[1] A. Rhodes. Why don't they do what we think they should ? In *AFAC*. Emergency Mangmt Vic, 2014.

[2] Carole Adam, Elise Beck, and Julie Dugdale. Modélisation du comportement tactique de la population australienne dans un feu de brousse. In *Applications Pratiques de l'Intelligence Artificielle (APIA)*, 2015.

[3] Mei Ling Chu, Paolo Parigi, Kincho Law, and Jean-Claude Latombe. Safegress : a flexible platform to study the effect of human and social behaviors on egress performance. In *Symp. on Simul. for Archit. & Urban Design*, 2014.

[4] Country Fire Authority. *Your guide to survival*, December 2014.

[5] Thomas J. Duff, Derek M. Chong, and Kevin G. Tolhurst. Quantifying spatio-temporal differences between fire shapes : Estimating fire travel paths for the improvement of dynamic spread models. *Environmental Modelling and Software*, 46 :33–43, 2013.

[6] Julie Dugdale, Narjes Bellamine Ben Saoud, Fedia Zouai, and Bernard Pavard. Coupling agent based simulation with dynamic networks analysis to study the emergence of mutual knowledge as a percolation phenomenon. *J. Systems Science and Complexity (JSSC)*, 2015.

[7] Fire Services Commissioner. Review of the community response in recent bushfires. Technical report, NOUS group, 2013. `http://goo.gl/wJcGn3`.

[8] A. Grignard., P. Taillandier, B. Gaudou, N.Q. Huynh, D.-A. Vo, and A. Drogoul. Gama v. 1.6 : Advancing the art of complex agent-based modeling and simulation. In *PRIMA*, 2013.

[9] Dirk Helbing and Peter Molnar. Social force model for pedestrian dynamics. *Physical review E*, 51(5) :4282, 1995.

[10] R. S. Lazarus. *Emotion and adaptation.* Oxford University Press, London, 1991.

[11] Van Minh Le, Carole Adam, Richard Canal, Benoit Gaudou, Ho Tuong Vinh, Patrick Taillandier, et al. Simulation of the emotion dynamics in a group of agents in an evacuation situation. In *Principles and Practice of MAS*. Springer, 2010.

[12] Jim McLennan and Glenn Elliott. Community members decision making under the stress of imminent bushfire threat - murrindindi fire. Technical report, Bushfire CRC Extension, School of Psych. Science, La Trobe Univ., 2011. `http://goo.gl/cyVgY3`.

[13] Van Tho Nguyen, Dominique Longin, Tuong Vinh Ho, and Benoit Gaudou. Integration of emotion in evacuation simulation. In *ISCRAM-Med*, pages 192–205. Springer, 2014.

[14] Bernard Teague, Ronald McLeod, and Susan Pascoe. Final report. Technical report, Victorian Bushfires Royal Commission, 2009.

[15] Victorian Bushfires Royal Commission. Final report vol. 4 : the statements of lay witnesses. Technical report, 2009.

©AFIA 2016

Utilisation de ressources sémantiques pour l'automatisation du calcul d'un score nutritionnel

Rabia Azzi[1]
Sylvie Despres[1]
Gilles Guezennec[1]
Jérôme Nobecourt[1]

[1]Université Paris 13, Sorbonne Paris Cité, LIMICS,(U1142), INSERM,
Sorbonne Universités, UPMC Université Paris 6,
74 rue Marcel Cachin F-93017 Bobigny cedex, France
prénom.nom@univ-paris13.fr

Résumé

Dans ce papier nous proposons une méthodologie automatisant l'attribution d'un score nutritionnel à une recette de cuisine et son implémentation. Elle se décompose en quatre étapes : enrichissement lexical par ajout des termes aux termes désignant les produits qui composent les ingrédients ; génération du fichier de calcul à partir d'un patron lexical et l'interrogation de la table de composition ; calcul et attribution du score ; traduction du score sur une échelle graphique. Cette méthodologie est fondée sur l'appariement entre ressources textuelles (corpus de recettes) et des données structurées (table de composition nutritionnelle). Une ressource termino-ontologique est utilisée pour améliorer la qualité de l'appariement et permettre la caractérisation nutritionnelle des recettes. Une évaluation des résultats à partir d'une comparaison avec ceux obtenus en particulier par les nutritionnistes est présentée et les limites de l'approche sont discutées.

Mots Clef

Appariement, Patrons lexicaux, Ressource termino-ontologique, Nutrition.

Abstract

This paper describes a methodology for automating the allocation of a nutritional score to a recipe and its implementation. It consists of four steps : (i) lexical enrichment by addition of terms in the terms in products denoting the ingredients, (ii) generation of the file for nutritional calculus from lexical pattern and composition table requests, (iii) calculation and allocation of the score, (iv) translation of this score on a graphic scale. The core of this methodology is based on mapping between text corpora (cooking recipes) and structured data (food composition table). A termino-ontological resource is used in order to enhance the quality of the mapping and therefore allow a better nutritional qualification of the recipe. A performance appraisal is presented and the limits of the approach are discussed.

Keywords

Mapping, lexical pattern, termino-ontological resource, Nutrition.

1 Introduction

Au cours des 30 dernières années de nombreux travaux scientifiques fondamentaux, cliniques et épidémiologiques ont montré que l'alimentation et les comportements alimentaires constituent des déterminants majeurs pour de nombreuses maladies chroniques non transmissibles [10]. En réponse à ces interrogations, les autorités européennes, ainsi que plusieurs pays, travaillent sur le concept de « profil nutritionnel ». Plusieurs systèmes de profilage nutritionnel [8] ont été développés sur des bases scientifiques établies. Les plus aboutis sont ceux qui eposent sur la définition d'un score nutritionnel (résultat obtenu en combinant l'ensemble des nutriments intervenant dans la composition de l'aliment) [2]. Le calcul d'un tel score est complexe en raison de l'absence d'un accès immédiat à des informations nutritionnelles contenues dans les tables de composition des aliments (catégorie d'aliment, les parties réellement comestibles et l'état de l'aliment consommé) qui peuvent faire varier le résultat obtenu de façon notable. L'automatisation de ce calcul nécessite un appariement précis entre les aliments cités dans les recettes et ceux répertoriés dans les tables de composition. Or, un tel appariement est souvent en échec car les vocabulaires utilisés pour décrire ces deux ressources diffèrent. Pour résoudre ce problème, nous proposons d'utiliser une ressource termino-ontologique permettant, outre un meilleur appariement, d'extraire des connaissances supplémentaires utiles au calcul tels que l'état de l'aliment et sa catégorie. En effet, le calcul de la valeur nutritionnelle prend souvent en compte pour chaque ingrédient, la manière dont il est préparé (cuit, cru) et la forme sous laquelle il est utilisé (entier, sans peau, etc.). La catégorie (fruit, légume, viande, etc.) à laquelle appartient l'aliment intervient également dans le calcul du score.

Dans cet article, après avoir présenté brièvement les sys-

©AFIA 2016

tèmes de profilage nutritionnel, nous décrivons notre méthodologie pour l'attribution d'un score à une recette. Nous nous appuyons sur des données textuelles (corpus de recettes), des données structurées (la table de composition des aliments Nutrinet [14]), une ressource termino-ontologique dans le domaine de la nutrition [5] et un ensemble de règles d'extraction de motifs lexicaux. Nous présentons les quatre étapes de la méthodologie : (1) enrichissement lexical par ajout des termes aux termes désignant les produits qui composent les ingrédients ; (2) génération du fichier de calcul ; (3) calcul et attribution du score ; (4) traduction du score sur l'échelle graphique proposée par [10]. Une première évaluation des résultats est présentée. Cette évaluation permet de montrer comment la ressource termino-ontologique contribue à enrichir le processus d'appariement et de calcul du score. Pour terminer nous discutons les limites de cette approche, les travaux futurs envisageables et nous concluons.

2 Les systèmes de profilage nutritionnel

Le profilage nutritionnel permet d'établir le profil nutritionnel (PN) d'un aliment. Un PN décrit un aliment selon les nutriments entrant dans sa composition. De nombreux systèmes de profilage nutritionnel ont été développés dans le monde entier. Ils varient en grande partie dans le format, le contenu et le but pour lequel ils ont été développés [16]. Deux types de systèmes sont à distinguer : (1) à base de seuil (les seuils sont définis pour chacun des nutriments afin de les classer. Par exemple, dans le système « feux tricolores », si le taux de matière grasse est inférieur à 3g par 100g il sera classé sous catégorie vert (low)) ; (2) à base de score (un score est calculé en combinant les notes attribuées à chacun des nutriments en fonction des seuils préétablis et fournit une qualification nutritionnelle de la recette. Par exemple, échelle nutritionnelle du PNNS.). ?

Parmi les systèmes utilisant la définition d'un score figure celui de la Food Standard Agency (FSA) qui a été validé par l'étude [8]. Les résultats d'une autre étude [11] confirment que le système transversal de la FSA est adapté au contexte alimentaire français. Il permet de catégoriser les aliments consommés en France de façon cohérente avec les recommandations du Programme National Nutrition Santé (PNNS). Ceci nous a conduit à construire notre méthodologie sur la base de ce système en l'étendant à des recettes de cuisine.

Le calcul du score de la FSA comporte trois étapes : (1) attribution d'une note à chaque nutriment en fonction de sa teneur dans l'aliment ; (2) calcul d'un score par une addition des notes obtenues pour les différents nutriments. Il est également possible de calculer deux scores indépendants, l'un à partir des teneurs en nutriments à encourager (fibres, protéines, etc.), l'autre à partir des nutriments à limiter (graisses saturées, sel, etc.), évitant ainsi la compensation entre les deux ; (3) comparaison du ou des scores globaux à des valeurs repères [1].

3 Méthodologie

Cet article a pour objectif la présentation d'une méthodologie automatisant le calcul nutritionnel d'un score pour caractériser des recettes en se fondant sur l'utilisation de ressources termino-ontologique et les tables de composition des aliments. Le calcul de la valeur nutritionnelle d'une recette de cuisine prend en compte pour chacun des ingrédients la manière dont il est préparé et la forme sous laquelle il est utilisé. Le score tient compte d'une part de l'énergie, des graisses saturées, des sucres, du sodium [1], et d'autre part de la proportion des fruits, légumes/noix, des fibres et des protéines [2]. Le score calculé est traduit visuellement sur l'échelle de qualité nutritionnelle représentée par cinq disques de couleur couplés à cinq lettres. Le disque correspondant à ce score est mis en évidence graphiquement dans l'échelle par une augmentation de sa surface. L'annotation de ce score explicite les calculs correspondant à la note de couleur obtenue.

Techniquement l'approche adoptée est incrémentale. Ainsi, toutes les informations ajoutées par l'algorithme restent accessibles à travers les différentes étapes de traitement. L'algorithme opérationnalise des traitements automatiques de la langue (TAL) de base (segmentation, parsing, tokenisation) et de plus haut niveau (extraction d'information). Les principaux traitements sont : (i) segmentation en phrases ; (ii) tokenisation ; (iii) parsing de texte ; (iv) interrogation d'une ressource termino-ontologique ; (v) extraction d'informations ; (vi) analyse morphologique (reconnaissance des aliments dans la base de données). Pour réaliser les étapes de la méthodologie, nous avons utiliser les ressources suivantes : (1) corpus de recettes ; (2) tables de composition des aliments ; (3) ressource termino-ontologique.

3.1 Description des ressources utilisées

Description d'une recette. La recette est semi-structurée au format XML. Cette représentation des données a été obtenue par des traitements de mise en forme de texte brut de recettes. Les éléments de la recette pris en compte sont : (1) la liste des ingrédients ; (2) la liste des instructions relatives à la préparation de la recette.

A la lecture d'une recette, nous observons que les ingrédients ne figurent pas toujours dans la partie préparation ce qui rend difficile leur reconnaissance. Dans certains cas les ingrédients apparaissent sous forme : (1) verbale dans la préparation (poivrer, au lieu de poivre) ; (2) d'un raccourci (filet de poisson désigné par filet) ; (3) implicite (l'instruction faire revenir les oignons dans la préparation, déduire que c'est dans l'ingrédient huile d'olive) ; (4) d'un mélange (mélanger les ingrédients de la pâte, etc.). En outre certains ingrédients apparaissant dans la préparation ne figurent pas dans la liste initiale (suggestions d'accompagnement pour le plat). Une analyse statistique décrite figure 1 a permis

1. les teneurs élevées sont considérées comme mauvaises pour la santé
2. les teneurs élevées sont considérées comme bonnes pour la santé

©AFIA 2016

d'identifier les types de structures à prendre en considération.

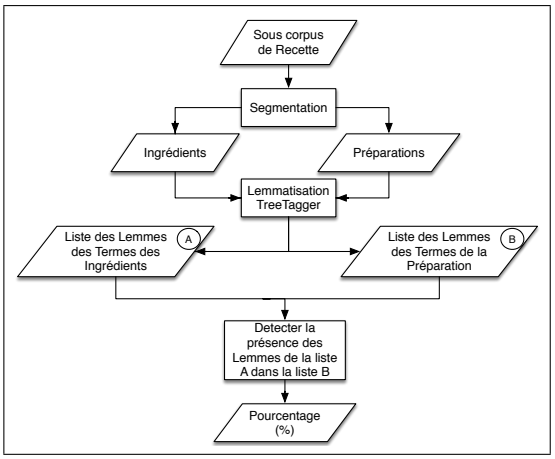


FIGURE 1 – Calcul du pourcentage

Description de la table de composition des aliments. La table de composition des aliments, est constituée d'une liste d'aliments caractérisés par les nutriments les composant. Plusieurs tables de composition des aliments sont accessibles et exploitables sur Internet. Celle qui répond le mieux aux critères de qualités définit par [9], est la table Nutrinet (voir figure 2) à partir de laquelle nous avons constitué une base de données (BD) relationnelles [3].

libelle	code_aliment	code_marque	Kcal	Prot	ProtV
ail frais	660	-1	92,6	7,1	7,1
aile de dinde rôtie	88	-1	211,4	29,81	0
aile de poulet rôtie	3269	-1	282,58	26,86	0
algue, nori, crue	3836	-1	45	5,81	5,81
algue, nori, séchée	3849	-1	247,03	36,22	36,22
algue, varech, crue	3850	-1	44,84	1,68	1,68

FIGURE 2 – Table de composition des aliments nutrinet.

Description de la ressource termino-ontologique. Nous avons choisi d'utiliser l'ontologie (exprimée en OWL 2) modulaire de la nutrition [5] qui comporte sept modules : CUISINE, PREPARATION, ALIMENT, UNITE, MATERIEL, NUTRITION et PERSONNE. Seuls les modules ALIMENT et PREPARATION sont utiles à notre travail. Le module ALIMENT comporte les concepts (environ 11035 concepts) relatifs aux aliments, leurs modes de conditionnement et leurs traits caractéristiques. Ce module permet de répondre aux interrogations concernant les aliments indépendamment de leur utilisation en cuisine. Le module PREPARATION (environ 6164 concepts) est relatif aux préparations de base (par exemple, fond de cuisson, élément de liaison, etc.) utilisées dans une recette. Il décrit les transformations d'aliments *via* les actions culinaires, les types de cuisson et le dressage.
Notre méthodologie d'automatisation du calcul du score nutritionnel est constituée de quatre étapes (voir figure 3) : (1) enrichissement lexical par ajout des termes aux produits composant les ingrédients ; (2) génération du fichier de calcul ; (3) calcul et attribution du score ; (4) traduction du score sur l'échelle graphique.

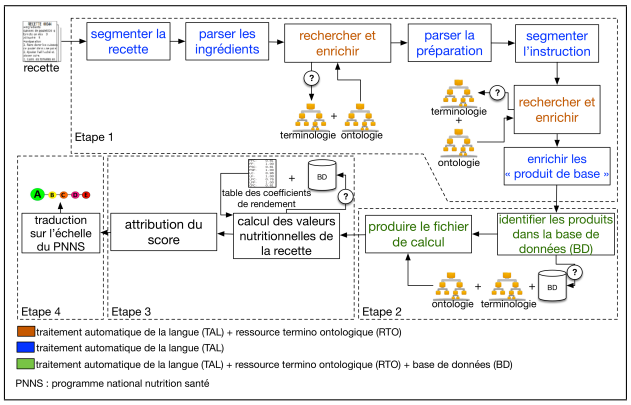


FIGURE 3 – Etapes de la méthodologie de calcul des VNs.

3.2 Description des étapes de la méthodologie

Pour exécuter les étapes de la méthodologie d'une manière optimale, nous avons adopté une méthode de traitement à deux couches symboliques : une couche lexicale et une couche de règles. L'objectif est de gérer les cas précédemment identifiés a savoir :

- aller au-delà d'une simple recherche lexicale. Par exemple, dans l'expression « cuisse de poulet », seul « poulet » est un « produit », alors que « cuisse » est une « partie de produit » ;
- l'extraction d'ingrédients « implicites » à partir de certains verbes, par exemple, l'action « fariner » correspond à l'ingrédient « farine » ;
- l'expansion des formes. Par exemple, « chantilly [3] » donne « crème chantilly [4] » ;
- l'expansion de termes génériques. Par exemple, le mot « sauce » n'est pas un produit en soi (il peut correspondre à un ingrédient dont les VNs sont renseignées au niveau de la table de composition des aliments ou bien à un aliment composé de plusieurs ingrédients référencé ou non dans la liste d'ingrédients de la recette).

Une étape préliminaire au traitement de la recette permet d'extraire la liste des ingrédients qui ont servi pour réaliser le plat. Nous ne détaillons pas cette partie du traitement.
Pour la couche de traitement lexical, nous avons construit un lexique de tous les labels et altlabels présents dans la RTO.

Description de l'étape 1. La première étape est une procédure d'analyse de la recette aboutissant à l'enrichissement sémantique des unités lexicales. Elle identifie les uni-

3. désigne un label dans la RTO
4. désigne un altlabel dans la RTO

©AFIA 2016

tés lexicales, explicite leur natures (aliment, ustensile, action, etc.) et détermine les interactions entre ces éléments (exemple : l'unité lexicale pelée correspond à une action de façonnage des légumes). L'approche choisie s'inspire de celle proposée par [13]. qui exploite deux axes pour l'analyse des entités (voir figure 4) :

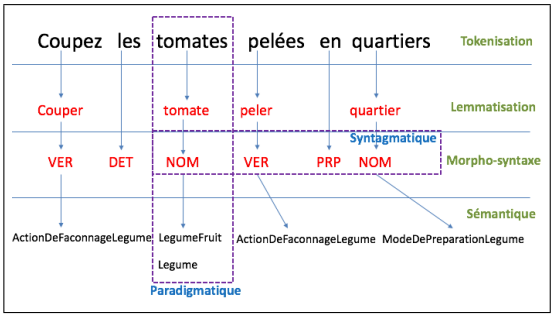


FIGURE 4 – Axes d'analyse des entités.

— ontologique : une unité, peut-être graduellement généralisée (par exemple, tomate -> LegumeFruit-> Legume-> LegumeEtFruit-> Aliment) et des informations lui seront associé (axe paradigmatique) ;
— structurelle : une analyse peut avoir à prendre en considération plusieurs unités contiguës (par exemple, tomates (NOM), peler (VER), etc.)(axe syntagmatique).

Le résultat de cette analyse peut-être indéterminée et conduire à envisager plusieurs hypothèses. Considérons l'exemple de l'instruction « grattez les moules ». Même si nous nous situons dans un unique contexte (culinaire), une ambiguïté demeure sur le terme « moule ». En effet il peut faire référence à un « ustensile » ou à un « aliment ». Pour résoudre ce problème, une classe est affectée à chaque token. Cette représentation par affectation de classes aux termes permet d'utiliser des modèles estimant la probabilité qu'une classe soit affectée à un token et non à un autre (par exemple, Moule est affecté à Ustensile ou Aliment avec une certaine probabilité en fonction du contexte). Il existe différents modèles adaptés à ce type de problème, que nous ne détaillons pas dans ce papier. Parmi ces derniers figurent les modèles bayésiens et le clustering [15].

Techniquement, nous avons entamé la première étape de la méthodologie par une segmentation de la recette qui produit une liste d'ingrédients et une liste d'instructions. Chaque ingrédient est représenté selon le patron « produit/quantité/unité ». Par exemple , « 600g cuisses de poulet » devient « cuisse de poulet/600/g ». Le « motif » correspondant au « produit » est lemmatisé de manière à favoriser la reconnaissance des termes (suppression des formes plurielles et féminisées par exemple, cuisses de poulet -> cuisse de poulet). La recherche lexicale dans la RTO du motif lemmatisé « cuisse de poulet » permet d'accéder à la hiérarchie des concepts associée à ce motif (voir figure 5), ainsi qu'à d'autres informations (par exemple, le module auquel il appartient (Aliment) ; son identifiant concept dans l'ontologie (CuisseDePoulet), etc.

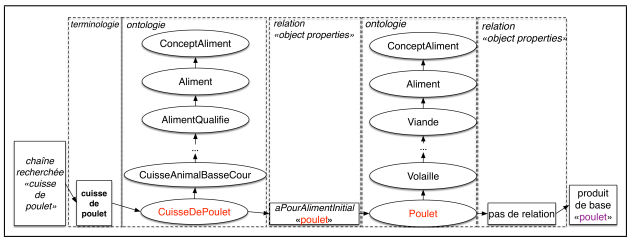


FIGURE 5 – Recherche de cuisse de poulet dans la RTO.

Après avoir identifié le « concept produit » dans l'ontologie, une recherche permettant de suivre les relations transversales exprimées sous forme d'« ObjectProperty » dans l'ontologie est exécutée. Cette ontologie décrit des formes plus complexes d'aliments telles que des aliments modifiés (beurre salé), transformés (saumon fumé) ou particularisés (cuisse de poulet). Dans ce travail, les relations utiles sont : « aPourAlimentInitial » et « aPourAlimentOrigine ». Par exemple (voir figure 5), si nous suivons la relation « aPourAlimentInitial » qui est associé au concept « CuisseDePoulet », le produit de base pour ce concept est « poulet ». Ce qui nous permet d'identifier le produit de base pour le produit « cuisse de poulet » qui est « poulet ». Il en va de même pour la relation « aPourAlimentOrigine ». Cette approche nous permet d'identifier le produit de base correspondant à chaque produit dans la liste d'ingrédients. Les nouvelles connaissances acquises sont liées au produit. Après avoir traité les ingrédients, le second traitement porte sur la préparation. Il débute par le découpage de la préparation en instructions (exemple d'instruction dans la préparation : faire dorer les cuisses de poulet dans l'huile). Ces instructions seront ensuite segmentées pour obtenir une liste de motifs lexicaux (exemple : faire, dorer, poulet, etc.). Chaque motif lexical sera recherché dans la RTO et les résultats identifiés seront renvoyés sous la forme « Module : identifiant du concept » (exemple, « dorer » donne « PREPARATION : DORER »). Deux listes sont créées à partir des résultats obtenus : une première liste regroupant les concepts identifiés dans le module ALIMENT (dans notre exemple : Poulet, Huile) et une seconde avec ceux reconnus dans le module PREPARATION (dans notre exemple : Dorer, Cuisse). Dans le cas où le « produit de base » appartient à la première liste, l'ensemble des concepts de la seconde liste correspondant à la même instruction sont associés à ce « produit de base ». Dans notre exemple, la recherche du « produit de base » « poulet » dans la première liste donne un résultat positif, ce qui implique que le produit « cuisse de poulet » reçoit l'ensemble des items de la seconde liste à savoir « Dorer et Cuisse ».

Pour identifier l'état du produit dans la recette et la catégorie à laquelle il appartient (viande, légume, etc.), la couche de règles implémentées sur des patrons linéaires de tokens est : « Identifiant concept » est-il un sous type du « concept

©AFIA 2016

générique » ?. Le concept générique pour l'état du produit est « ActionDeCuisson » et celui de la catégorie du produit est « Fruit », « Légume », « Viande », etc. Pour identifier l'état du produit dans la recette, l'interrogation est réalisée à partir des items de la seconde liste associés au produit. Dans notre exemple, « Dorer » et « Cuisse », l'interrogation sera de type « Dorer » est-il sous type du concept générique « ActionDeCuisson » ?. Si la réponse est positive alors l'état de mon aliment est « cuit », dans le cas contraire il est « cru ». Pour la catégorie du produit, l'interrogation est de type « identifiant concept produit » est-il sous type du concept générique « Fruit » ?, « Légume » ?, « Viande » ?, etc. Tant que la réponse n'est pas positive l'interrogation se poursuit jusqu'à l'identification de la catégorie. Le résultat obtenu concernant la catégorie de l'exemple « Poulet » est « Viande ».

Description de l'étape 2. La deuxième étape de l'algorithme consiste à produire un fichier de calcul qui est structuré sous forme d'un patron « identifiant produit/catégorie/poids ». Cet identifiant produit correspond à celui figurant dans la base de données. En partant de la liste des produits enrichis dans la première étape, une chaîne de caractères est construite selon le patron « produit de base/partie du produit/action de cuisson/autre modification ». L'identification de chacun des termes du patron dans la liste des termes du « produit enrichi », passe par l'interrogation de l'ontologie. La démarche est la même pour chacun des termes du patron. Par exemple, pour la « partie du produit » l'« identifiant concept » à identifier est « PartieUtileDe ». L'interrogation de l'ontologie : « identifiant concept » est-il sous concept générique de « AlimentPartieUtile » ? (1) si la réponse est positive l'identifiant concept correspond à la « partie du produit » ; (2) si après avoir testé tous les termes du produit enrichi aucun résultat n'a été identifié la « partie du produit » prend la valeur par défaut « entier ».

Pour identifier « action de cuisson » on vérifie l'état du produit identifié dans la première étape. Si l'état du produit est « cuit » alors la valeur de « action de cuisson » est celle de l'« identifiant concept » avec lequel on a identifié l'état de l'aliment dans la première étape. Dans le cas contraire, la valeur sera celle de l'état du produit déjà identifié dans la première étape (cru). Une requête SQL sur la base de données est ensuite formulée, pour récupérer toutes les lignes dans lesquelles apparaît la chaîne « produit de base ». Le résultat de cette requête constitue la liste de candidats potentiels pour le produit. Ensuite cette liste est réduite jusqu'à l'identification du produit. La solution consiste à utiliser un comparateur pour spécifier l'ordre du tri. Chaque fois que la méthode de tri doit comparer deux éléments, elle utilise un token du patron précédemment construit (produit de base/partie du produit/action de cuisson/autre modification). Par exemple, le premier comparateur sera « produit de base », le second « partie du produit », etc. Les unités de chaque produit sont converties en gramme, grâce à une table de conversion fournie par l'EREN, pour obtenir les nouvelles quantités. La procédure est la suivante : (1) si l'unité du « produit de base » est déjà en gramme alors la valeur du poids ne change pas ; (2) si l'unité du « produit de base » n'est pas exprimée en gramme, une table de conversion de calibre du produit intervient. Par exemple, l'ingrédient « poivron/3/unité ». Le poids moyen d'un poivron est de 50g, le poids en gramme du poivron dans la recette vaut 3x50=150g. A l'issue de ce traitement chaque produit sera qualifié avec un poids en gramme. Enfin le fichier de calcul est établi et est utilisé pour le calcul du score.

Description de l'étape 3. Différentes méthodes de calcul de la valeur nutritionnelle des recettes existent [4]. Ces méthodes se différencient en fonction de l'application ou non des facteurs de rendement (changement du poids des aliments et/ou des recettes dû à la cuisson) et de rétention des nutriments (vitamines et minéraux après cuisson, stockage, préparation, réchauffement, etc.) et le niveau auquel intervient ce calcul. Le calcul des valeurs nutritionnelles est

formule (1):

$$\%FL = \frac{poids\ FL\ +\ (2\ *\ poids\ FL\ seche)}{poids\ FL\ +\ (2\ *\ poids\ FL\ seche)\ +\ poids\ autres\ ingrédients}.$$

formule (2): $Valeur\ de\ l'élément\ nutritif\ A\ du\ plat = \sum_i Valeur\ (partie\ comestible)\ de\ chaque\ produit.$

formule (3):

- Si les points $N < 11$, alors le $score = points\ N - points\ P$;
- Si les points $N >= 11$:
  - Si les points pour les fruits et légumes = 5, alors $score = points\ N - points\ P$;
  - Si les points pour les fruits et légumes $N < 5$, alors $score = points\ N - (points\ pour\ les\ fibres) + (points\ pour\ les\ fruits\ et\ légumes)$.

FIGURE 6 – Formule de calcul de FSA.

effectué en automatisant la méthode mixte du calcul de la valeur nutritionnelle d'une recette. Le calcul du facteur de rendement est obtenu à partir du poids de la recette une fois crue et une fois cuite ; le facteur de rendement est appliqué au niveau de la recette et les facteurs de rétention des nutriments au niveau des ingrédients. Cette démarche a été validée par les diététiciens de l'Equipe de Recherche en Epidémiologie Nutritionnelle (EREN). Il se déroule comme suit : (1) calcul du poids net du plat final et de celui de chaque ingrédients en appliquant les coefficients de rendement qui sont dépendants de la catégorie du produit (fruit, légume, viande, etc.) ainsi que son état dans le plat final (cuit ou cru) ; (2) calcul du poids d'une portion du plat par individu ; (3) calcul du pourcentage de fruits et légumes (%FL) en appliquant la formule 1 figure 6 ; (4) récupération des valeurs nutritionnelles des éléments nutritifs suivants : protéines, énergie, graisses saturées, sucres, sodium et fibres pour chaque « produit » dans la table de composition des aliments Nutrinet avec une requête SQL ; (5) convertir les valeurs de chaque produit par rapport au poids réel et non pour 100g comme c'est le cas dans la base de données ; (6) récupération des coefficients des parties comestibles pour chaque produit avec une requête SQL ; (7) application des coefficients des parties comestibles pour calculer les valeurs nutritionnelles seulement pour ce qui est comestible

©AFIA 2016

dans le produit. Par exemple, le pourcentage comestible d'une « cuisse de poulet » est de seulement 60% ; (8) calcul des valeurs nutritionnelles de chaque produit dans le plat final avec la formule 2 figure 6 ; (9) conversion des valeurs nutritionnelles de chaque élément nutritif pour 100g de plat.
L'attribution du score est réalisée en appliquant le système de profilage utilisé par la FSA (voir formule 3 figure 6). Le calcul du score est fondé sur la teneur au 100 g de 4 éléments négatifs (N) : énergie, sucres simples, acides gras saturés et sel. Des points de 1 à 10 sont attribués à chaque élément en fonction des quantités présentes. La composante N peut donc aller de 0 (le plus favorable) à 40 (le moins favorable). Ce score N peut éventuellement être minimisé par la soustraction d'éléments nutritionnels considérés comme positifs (P) : fruits ou légumes (et noix), fibres et protéines. Des points allant de 1 à 5 sont attribués. La note P va donc de 15 (plus favorable) à 0 (moins favorable). Les notes théoriques du score vont donc de -15 (le plus favorable) à +40 (le plus défavorable). Des couleurs et des lettres sont attribuées en fonction du score final : A/vert (de -15 à -2) ; B/jaune (de -1 à 3) ; C/orange E/rouge (de 17 à 40).

Description de l'étape 4. Pour chaque recette, le score sera visualisable en utilisant l'échelle nutritionnelle du PNNS proposée par Serge Hercberg dans le cadre du rapport sur les mesures concernant la prévention nutritionnelle. Cette échelle se présente sous forme de 5 disques de couleurs différentes sur une échelle allant du vert au rouge, couplée à une lettre correspondante sur l'échelle des « notes » d'école de A à E pour plus de compréhension. La taille des disques dépend du score atteint par la recette (voir figure 7).

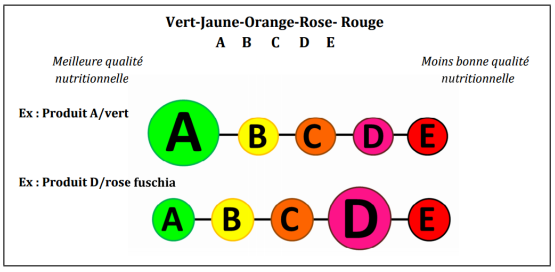


FIGURE 7 – Echelle de qualité nutritionnelle du PNNS.

L'influence des systèmes de représentation graphique des valeurs nutritionnelles des aliments, sur la capacité des individus à classer les produits en fonction de leur qualité nutritionnelle a été évaluée par l'étude [7]. Les 4 systèmes comparés sont : (1) le logo Pick the Tick ; (2) les Multiple Traffic Lights (MTL) ; (3) les Guideline Daily Amounts (GDA) et (4) l'échelle de qualité nutritionnelle du PNNS (échelle de qualité nutritionnelle du PNNS). Les résultats obtenus ont démontré que les systèmes d'information nutritionnelle augmentent de façon significative la capacité des individus à classer les produits en fonction de leur qualité nutritionnelle. Ainsi, les résultats obtenus sont en faveur du PNNS qui donne des meilleurs résultats indépendamment de l'âge, du sexe et de la catégorie socio-économique .

4 Evaluation des résultats

L'approche proposée a été évaluée sur une dizaine de recettes issues du corpus des 45 recettes déjà évaluées manuellement par les diététiciens de l'EREN. Pour ce premier échantillon, la comparaison a été effectuée entre trois outils disponibles sur internet (« nutryaccess »[5], « myfitnesspal »[6], « monmenu »[7].) et notre outil. Le tableau figure 8 présente les résultats obtenus pour les cinq premières recettes de l'échantillon test. La première colonne du tableau correspond aux valeurs nutritionnelles des recettes calculées par les diététiciennes de l'EREN, la deuxième aux valeurs obtenues par notre outil de calcul et la troisième à celles obtenues par l'outil « monmenu ». A partir du tableau 8, nous pouvons faire une comparaison des résultats produits par notre outil avec les valeurs obtenues pour la recette « ratatouille » établi par les diététiciens de l'EREN d'une part et par un système équivalent à notre outil d'autre part (voir figure 9). Nous constatons sur la figure 9 que les valeurs obtenues par notre outil sont proche de celle obtenue par les diététiciennes de l'EREN, contrairement à celle des trois autres outils. Cette différence significative entre les valeurs obtenues peut être due à diverses causes.
La première concerne les tables de composition des aliments utilisées pour le calcul des VNs de la recette. Les trois outils comparés ne fournissent aucune information sur

	Enérgie $kcal/100g$			Protéines $g/100g$		
	1	2	3	1	2	3
Blanquette de veau	149	171	127	11	13	9
crêpes	225	237	435	6	7	9
Gâteau aux pommes	237	254	300	3	3	6
Moelleux au chocolat	458	413	485	5	5	4
Ratatouille	83	100	33	1	1	1
Salade niçoise	108	119	71	8	12	8
	AGS $g/100g$			Sucres simples $g/100g$		
	1	2	3	1	2	3
Blanquette de veau	5	6	8	1	1	2
Crêpes	1	1	19	4	4	57
Gâteau aux pommes	1	2	4	26	24	35
Moelleux au chocolat	6	17	24	40	30	63
Ratatouille	1	1	2	3	3	4
Salade niçoise	1	2	3	1	1	2
	Sodium $Mg/100g$			Fibres $g/100g$		
	1	2	3	1	2	3
Blanquette de veau	231	118	/	1	1	1
Crêpes	153	61	/	1	1	/
Gâteau aux pommes	77	29	/	1	1	/
Moelleux au chocolat	166	71	/	1	2	/
Ratatouille	202	211	/	2	2	/
Salade niçoise	517	444	/	2	1	/
1: calcul par l'EREN 2: calcul par l'Outil 3: calcul par Monmenu						

FIGURE 8 – Résultats pour les cinq premières recettes.

5. http ://www.nutryaccess.com/
6. https ://www.myfitnesspal.fr/
7. http ://www.monmenu.fr/

©AFIA 2016

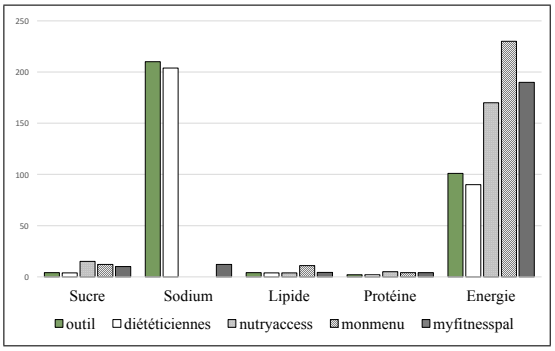


FIGURE 9 – Comparaison sur la recette ratatouille.

la nature et la provenance des données utilisées alors que nous utilisons la table Nutrinet développée par l'EREN qui répond à des critères de qualité supérieurs.

La seconde porte sur le traitement de la recette. Les deux premiers outils comparés traitent la recette d'une manière semi-automatique. Chaque ingrédient de la recette est choisi manuellement par l'utilisateur dans une liste d'ingrédients (le choix dépend des capacités culinaires de l'utilisateur). Par exemple, dans une liste d'ingrédients figure boeuf, une personne peut choisir « côte de boeuf » qui a pour valeur lipidique 21g/100g est une autre personne choisira « entrecôte de boeuf » dont la valeur lipidique est de 11g/100g. Notre outil et celui de « monmenu » traitent automatiquement la recette. Ce traitement porte sur la liste d'ingrédients de manière à apparier chaque ingrédient avec un ingrédients présent dans la table de composition. Pour gagner en précision dans l'appariement, notre outil traite non seulement la liste d'ingrédients, mais l'ensemble de la recette (préparation) ce qui nous permet d'être plus précis que l'outil « monmenu ». Par exemple, pour l'ingrédient « cuisse de poulet » qui sera rôtie dans le plat, avec l'outil « monmenu » la valeur de lipide utilisé pour le calcul sera de 7g/100g. Grâce au traitement que nous avons effectué sur la préparation, nous avons pu déterminer l'état de l'ingrédient (rôtie) dans le plat. Ceci nous a permis d'apparier « cuisse de poulet » avec « cuisse de poulet rôtie » dans la BD Nutrinet. La valeur lipidique de cette dernière est alors de 18g/100g.

L'autre point commun aux trois outils comparés, correspond à la méthode employée pour calculer les VNs d'une recette. Cette méthode consiste à simplement à additionner les VNs de chaque ingrédient. Cette méthode est limitée puisqu'elle ne prend pas en compte ni l'état du produit dans le plat final (cuit, cru) ni la variation due au processus de préparation du plat. Or l'état de l'aliment dans le plat final est essentiel pour obtenir des valeurs correctes. Par exemple, tomate dans la liste d'ingrédients qui sera cuite dans le plat, aura pour valeur d'énergie 20kcal/100g pour « monmenu » mais 30,2 Kcal/100g pour notre outil. Dans le cas où l'aliment « tomate » est saisi avec le paramètre cuit (« tomate cuite » au lieu de « tomate ») dans l'outil « monmenu », le système appariera « tomate cuite » avec « flageolet cuit » dont la valeur d'énergie correspond à 74Kcal. La troisième porte sur la méthode de conversion appliquée pour passer d'une unité à l'autre (par exemple, le poids moyen d'une pomme en gramme). Aucune information n'est disponible sur la méthode de conversion pour les trois outils. Les unités ménagères diffèrent selon les pays parce que les dimensions des aliments et les mesures ménagères sont différentes. La copie des unités ménagères à partir de celles d'autres pays doit être évitée car elle pourrait introduire des erreurs importantes pour les teneurs en nutriments d'une recette ou pour d'autres calculs.

L'autre faiblesse observée au niveau des trois outils comparés correspond aux informations nutritionnelles fournies à l'utilisateur concernant le plat préparé. Par exemple, dans la plupart des cas, aucune information n'est fournie pour la valeur du sodium, le pourcentage des fruits et légumes dans le plat, etc. Outre ces informations,notre méthodologie attribue une note au plat consommé qui traduit sa qualité nutritionnelle. D'un point de vue méthodologique, la démarche proposée doit encore être testée de manière plus approfondie. Une évaluation des différentes étapes de l'algorithme semble essentielle pour quantifier chacune de ces dernières. Par exemple, le taux de reconnaissance des produits composant les ingrédients, l'impact de la reconnaissance sur la valeur du score final de la recette, le taux d'affectation de la bonne méthode de cuisson, etc.

Concernant la précision de l'appariement entre les produits de la recette et leurs entrées dans la table de composition les résultats obtenus sont prometteurs et s'avèrent même concluants dans certains cas. Une normalisation des libellés de la table de composition Nutrinet s'avère primordiale pour un meilleur appariement. Nous pourrons pour cela nous appuyer sur un système respectant un standard de référence comme LANGUAL qui est un thesaurus multilingue à facettes créé pour décrire des produits alimentaires d'une façon systématique. Il est fondé sur le principe que n'importe quelle nourriture (ou produit alimentaire) peut être systématiquement décrit par une combinaison de caractéristiques (aussi appelé descripteurs). Ces caractéristiques peuvent être catégorisées dans des points de vue appelés facettes exemple (type de produit, origine biologique, méthodes de cuisson, méthodes de conservation, etc.). Chaque descripteur est identifié par un code unique [12]. Par exemple, l'aliment « cuisse de poulet rôti (haut de cuisse) », après analyse sera décrit : l'« aliment principal » est le Poulet (B1457) suivi de la facette « Partie utile » (Z0136), « Mode de Cuisson » (H0391) et « Précisions Diverses » (Z0160).

5 Conclusion et perspectives

Notre méthode permet de calculer un score nutritionnel associé à une recette. Elle devra être testée d'une manière plus approfondie et sur un plus large corpus de recettes pour avoir une idée de la qualité des résultats. Ce travail souligne les difficultés rencontrées au cours du traite-

©AFIA 2016

ment des données non structurées, ce qui est souvent le cas dans les applications du monde réel [6]. Dans notre cas, il s'agit de ressources textuelles nécessitant des phases préparatoires de segmentation et de lemmatisation. D'autres difficultés se situent au niveau de l'appariement entre les unités (mots, liste de mots, etc.) de la recette et les unités dans la base de données, même dans le cas où il est réalisé manuellement. Cela est dû à une faible normalisation des termes utilisés dans les tables de compositions. Lorsqu'en outre la résolution du problème initial doit faire appel à des connaissances implicites, le recours à des ressources sémantiques termino-ontologiques s'avère fructueux car il permet une meilleure précision lors des traitements ultérieurs purement algorithmiques. Enfin ce travail ouvre des perspectives de recherche intéressantes dans le domaine du suivi nutritionnel. Par exemple, la prise en compte des qualifications sensoriel des aliments permettrait d'envisager des systèmes de suggestions personnalisées pour des personnes souffrant de maladies chroniques en tenant compte de leurs goûts pour induire une meilleure acceptabilité et observance de leurs régimes alimentaires.

Références

[1] M. Ambroise, I. Margaritis, J.C. Boclé, S. Houdart, et E. Kalonji.Définition de profils nutritionnels pour l'accès aux allégations nutritionnelles et de santé : propositions et arguments. In *rapport agence française de sécurité sanitaire des aliments*, pages 12-20, 2008.

[2] V. Azaïs-Braesco, C. Goffi, and E. Labouze. Nutrient profiling : comparison and critical analysis of existing systems. In *Public Health Nutrition,Aug 2006* , pages 613-622, 2006.

[3] R. Azzi. Conception d'une base de données à partir de la table de composition des aliments Nutrinet. Rapport de stage M1 Informatique Biomédicale. Université Paris 13, Sorbonne Paris Cité, LIMICS, INSERM, (UMRS 1142), 2014.

[4] U.R. Charrondière, B. Burlingame, S. Berman, and I. Elmadfa.Food Composition Study Guide-Answers to Questions and Exercises.vol2. In *the international network of food data system,FAO, Rome, Italy*, 2011.

[5] S. Despres. Construction d'une ontologie modulaire pour l'univers de la cuisine numérique. In *25èmes Journées francophones d'Ingénierie des Connaissances, May 2014, Clermont-Ferrand, France*, pages 27-38, 2014

[6] DMNLP. Interactions between Data Mining and Natural Language Processing 2015 Proceedings of the Workshop on Interactions between Data Mining and Natural Language Processing 2015 co-located with European Conference on Machine Learning and Principles and Practice of Knowledge Discovery in Databases (ECML PKDD 2015) Porto, Portugal, September 07, 2015. http ://ceur-ws.org/Vol-1410.

[7] P. Ducrot, C. Méjean, C. Julia, M. Touvier, E. Kesse-Guyot, L. Fezeu, S. Hercberg, et S. Péneau. Compréhension objective vis-à-vis de différents systèmes d'information nutritionnelle simplifiés sur la face avant des emballages des aliments : étude nutrinet santé. In *12es Journées Francophones de Nutrition, JFN 2014-Centre des Congrès Le Square, Bruxelles 10-12 décembre 2014*, pages S186, 2014.

[8] M. Garsetti, J. Vries, M. Smith, A. Amosse, and N. Rolf-Pedersen. Nutrient profiling schemes : overview and comparative analysis. In *European Journal of Nutrition, Volume 46*, pages 15-28, 2007.

[9] H. Greenfield et D. A. T. Southgate. 2007. Données sur la composition des aliments : production, gestion et utilisation. In *Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture,FAO, Rome, Italie*, 2007.

[10] S. Hercberg. Propositions pour un nouvel élan de la politique nutritionnelle française de santé publique. In *Rapport 15/11/2013 pour Mme la ministre de la santé, dans le cadre de la Stratégie Nationale de Santé, France*, 2013.

[11] C. Julia, E. Kesse-Guyot, M. Touvier, C. Méjean, L. Fezeu, et S. Hercberg. Score de qualité nutritionnelle des aliments de la food standard agency (fsa) dans le contexte alimentaire français : catégorisation des aliments par rapport aux recommandations du programme national nutrition santé (pnns). In *12es Journées Francophones de Nutrition, JFN 2014-Centre des Congrès Le Square, Bruxelles 10-12 décembre 2014*, pages S45-S46, 2014.

[12] A. Møller, and J. Ireland. What's New in LanguaL ?. In *36th National Nutrient Databank Conference,Danish Food Information (DFI), Borgediget 12, 4000 Roskilde, Denmark*, pages 117-121, 2013.

[13] D. Nouvel, J-Y. Antoine, N. Friburger, A. Soulet. Fouille de règles d'annotation pour la reconnaissance d'entités nommées. In *Traitement Automatique des Langues (TAL-54 :2)*, pages 13-41, 2014.

[14] Nutrinet-Sante. table de composition des aliments. France :Economica, pages 296, 2013.

[15] M. Scott, J. Guinness, A. Zamanian. Name tagging with word clusters and discriminative training. In *Conference on Human Language Technology and North American chapter of the Association for Computational Linguistics (HLT/NAACL-04), Boston, USA.*, pages 337-342, 2004.

[16] World Health Organization. Nutrient profiling. In *Report of a WHO/IASO technical meeting,London, United Kingdom 4-6 October*, 2010.

©AFIA 2016

Étude préliminaire d'une méthode de prise de décision adaptative pour la commande vocale dans un habitat intelligent

A. Brenon[1,*] F. Portet[1] M. Vacher[2]

[1] Univ. Grenoble Alpes, LIG, F-38000 Grenoble, France
[2] CNRS, LIG, F-38000 Grenoble, France
[*] Jeune chercheur (doctorant)

{prenom.nom}@imag.fr

Résumé

Dans les habitats intelligents, les prédictions et décisions qui sont souvent faites a priori nécessitent de la part de l'utilisateur une configuration qui peut être complexe et fastidieuse. Ces habitats ont pourtant des capacités de perception requises pour analyser le comportement de l'utilisateur et modifier ses décisions automatiquement. Nous présentons une étude préliminaire qui teste un système de décision à partir d'une commande vocale et de son contexte modifié par renforcement. Le système expérimenté sur un corpus réaliste montre le potentiel d'une telle adaptation.

Mots Clef

habitat intelligent, informatique sensible au contexte, intelligence ambiante, apprentissage par renforcement

Abstract

In smart homes, prediction and decision are often defined a priori and require tuning from the user, which can be tedious, and complex. However, these smart home can demonstrate the ability to analyse the user behavior and so as to modify its decisions automatically. We present a preliminary study that tests a decision system from voice command and context which is modified by reinforcement learning. The system was run on a realistic corpus which shows the interest of such an adaptation.

Keywords

smart home, context-aware computing, Ambient Intelligence, reinforcement leranring

1 Introduction

Dans le domaine de l'intelligence ambiante (AMI), l'habitat intelligent (aussi appelé *Smart Home*) a vu le jour pour augmenter l'expérience et le contrôle des utilisateurs et fournir un soutien aux personnes en perte d'autonomie. Pour fournir ce contrôle enrichi, ces systèmes perçoivent leur environnement et décident des actions à appliquer à celui-ci pour le modifier. Cette décision peut être prise soit de manière réactive après certains événements spécifiques tels que la demande d'un utilisateur, soit de façon programmée (p. ex. : tous les vendredi) ou bien de manière proactive par exemple, en prédiction d'une situation à risque. Cette perception est non seulement utile pour déclencher une décision, mais aussi pour adapter la décision aux circonstances dans lesquelles une telle décision doit être exécutée. Dans le domaine AMI, ces circonstances sont appelées le *contexte* et les systèmes, qui prennent explicitement en compte le contexte sont dits *context-aware* (sensible au contexte).

Pour illustrer le rôle du contexte dans la prise de décision, prenons l'exemple d'une maison intelligente contrôlée par la voix qui connaît un regain d'intérêt dans la communauté cette décennie [14, 1, 12, 7, 9, 6]. Ce type de contrôle repose sur une interface vocale (VUI – *Voice User Interface*) qui permet une communication 'naturelle' avec le système et qui est particulièrement bien adaptée aux personnes à mobilité réduite et à des situations d'urgence (mains-libres et interaction à distance) [23, 25]. Dans un tel cadre, une commande vocale peut être 'allumer la lumière', 'vérifier la porte', 'appeler ma fille', etc. Dans ce cas, le contexte est utile pour lever l'ambiguïté de la commande afin de prendre la décision adéquate. En effet, dans un énoncé tel que 'allumer la lumière' prononcé dans une chambre avec plusieurs lampes, l'utilisateur n'énumère généralement pas les lampes qui doivent être allumées car cet utilisateur attend de son interlocuteur qu'il les devine correctement [25]. De plus, il ne serait pas naturel de demander à l'utilisateur de spécifier tous les détails d'une commande, c'est au système de prise de décision d'évaluer le contexte pour prendre la décision la plus adéquate.

L'état de l'art présente un certain nombre d'approches ayant mis en œuvre un système de décision dans un habitat intelligent. Par exemple Moore et coll. [20] ont mis au point un système qui exploite un ensemble de règles floues afin de trouver l'action la plus appropriée dans un contexte donné. On peut également citer Kofler et coll. [15] et Gómez-Romero et coll. [10] qui utilisent la logique de description pour définir le comportement d'un système

©AFIA 2016

sensible au contexte ou Leong et coll. [17] ainsi que Yau et Liu [28] qui modélisent le comportement d'un système perceptif par des règles ECA (événement-condition-action). D'autres approches basées sur les réseaux bayésiens ont été mises en œuvre [16, 18, 22, 2, 3] pour prendre en compte l'incertitude sur les données. Cependant, dans ces propositions, le système ne s'adapte qu'à la situation courante et ne prend pas en compte les évolutions d'utilisation qui peuvent intervenir. En effet, selon les saisons, l'heure de la journée, la survenue d'un invité ou suite à un handicap passager ou permanent, les habitudes et contextes d'utilisation peuvent changer et nécessiter un reparamétrage. De plus, ces systèmes requièrent un paramétrage de l'utilisateur pour prendre en compte ses préférences, paramétrage pouvant être parfois très complexe [24]. Par ailleurs, certaines erreurs d'interprétation d'une commande vocale ou d'un contexte pourraient être identifiées par le système qui pourrait les corriger automatiquement afin d'éviter l'appel à une paramétrisation fine et complexe. Ces contraintes militent pour un système souple et évolutif capable de s'adapter au comportement parfois changeant des individus dont il est censé simplifier la vie.

Ce fut le cas dans le projet ACHE (*Adaptive Control of Home Environment*) [21] dans lequel un système de contrôle de la domotique n'est pas explicitement programmé par l'utilisateur mais appris par l'observation du comportement de l'utilisateur face à des décisions prises par le système. Les actions sont prédites par un réseau de neurones et la réaction de l'utilisateur est ensuite analysée. Si l'utilisateur corrige l'action alors l'utilité de cette action est modifiée en utilisant des techniques d'apprentissage par renforcement. Cette architecture a été mise en œuvre pour des tests sur le contrôle de la lumière dans un habitat intelligent, cependant ce projet ne semble pas avoir été mené à son terme et n'utilise pas explicitement le contexte pour prendre sa décision.

Dans cet article, nous présentons une première étude qui teste la capacité d'adaptation d'une technique d'apprentissage par renforcement sur des données acquises dans le cadre d'une expérimentation dans un habitat intelligent dont le but est de développer un système s'adaptant à l'utilisateur et à l'environnement sur le long terme. L'article présente en section 2 la méthode du Q-learning et comment celle-ci est particulièrement bien adaptée au problème de décision suite à une commande vocale. La section 3 décrit l'expérimentation de cette méthode sur un corpus acquis en condition réaliste. L'article se termine par une discussion des résultats et des perspectives d'améliorations.

2 Méthode

La méthode que nous proposons reposant sur le Q-learning, nous allons faire un bref rappel de cette technique et introduire comment celle-ci a été mise en œuvre dans le cas d'un système de décision pour un habitat intelligent.

2.1 Apprentissage par renforcement & Q-learning

L'apprentissage par renforcement est une technique d'apprentissage automatique qui permet à un agent d'apprendre son comportement grâce à un retour de l'environnement sur lequel il agit. Ainsi, un problème d'apprentissage par renforcement repose sur trois principales composantes [13] :

- L'**environnement**, qui change d'*état* lorsque le système exerce une *action* sur lui ;
- La **fonction de renforcement** qui définit l'objectif du système en attribuant une récompense (positive, négative ou nulle) à chaque paire état-action ;
- La **fonction de valeur** qui associe à chaque état du système une valeur correspondant à l'ensemble des récompenses reçues à partir de cet état jusqu'à un état final.

L'objectif de l'agent est alors de déterminer une stratégie, basée sur la fonction de valeur, par une suite d'interactions essai-et-erreur avec l'environnement. Les premières approches utilisées se basaient sur les principes de la programmation dynamique de manière à modifier la fonction de valeur (généralement représentée sous la forme d'une table d'association) jusqu'à convergence.
En 1989, Watkins publie une extension aux approches classiques de programmation dynamique qu'il nommera le Q-*Learning* [27]. Il introduit alors la notion de Q-*Value* associée non plus à un état du système mais à une paire état-action. De même, la notion de fonction de valeur est remplacée par celle de Q-fonction ou de fonction de Q-valeur. Il définit également l'équation permettant de mettre à jour les valeurs de la Q-fonction, en respectant la forme de l'équation de Bellman largement utilisée pour la programmation dynamique.

$$Q(s_t, a_t) = r(s_t, a_t) + \gamma \max_{a_{t+1}} Q(s_{t+1}, a_{t+1}) \qquad (1)$$

où s_t désigne un état de l'environnement au moment t, a_t une action au moment t, $r(s_t, a_t)$ la récompense reçue pour l'action a_t, γ le facteur d'actualisation et $\max_{a_{t+1}} Q(s_{t+1}, a_{t+1})$ la valeur de Q pour la meilleure action a_{t+1} dans l'état suivant s_{t+1}.
Cette nouvelle approche permet de limiter le coût de calcul de l'apprentissage par renforcement dans le cas d'environnements non déterministes. En effet, alors que l'utilisation de la programmation dynamique nécessite le calcul d'une somme sur un nombre théoriquement infini d'interactions, le Q-Learning ne nécessite que les valeurs de l'état courant et suivant (ou courant et précédent) pour mettre à jour la Q-fonction. Toutefois, après un certain nombre d'interactions, la Q-valeur associée à un état est assurée de converger vers sa valeur optimale comme c'était le cas dans les approches précédentes.
Dans les cas les plus simples, la fonction de Q-valeur se résume à une matrice permettant d'associer une valeur à chaque paire état-action. L'implémentation la plus simple du Q-Learning consiste alors à mettre à jour la matrice

©AFIA 2016

après chaque interaction en suivant l'équation suivante reprenant l'équation 1 :

$$Q^{t+1}_{s_t,a_t} = Q^t_{s_t,a_t} + \alpha \left(r(s_t, a_t) + \gamma \max_{a_{t+1}} Q^t_{s_{t+1},a_{t+1}} - Q^t_{s_t,a_t} \right) \quad (2)$$

où Q^t représente la matrice actuelle, Q^{t+1} la matrice de valeur après mise à jour et α le facteur d'apprentissage qui permet de faire varier la vitesse d'apprentissage de l'agent.

2.2 Habitat intelligent commandé par la voix

Un habitat intelligent est un exemple d'application de l'intelligence ambiante. Il s'agit d'un logement qui intègre des capteurs et des actionneurs (issus de la domotique) et qui est capable de *percevoir* l'environnement pour *agir* sur celui-ci de manière réactive ou pro-active [5].

Une application de commande vocale illustre bien cette nécessité de perception et d'action. Par exemple, si un utilisateur dans un habitat intelligent prononce "Allume la lumière", une autre personne n'aura certainement aucune difficulté à interpréter cette demande et à agir. Un système informatique, s'il veut agir de la manière la plus naturelle possible, doit, par contre, inférer seul la lampe qui est implicite dans l'énoncé (dans le cas où il y aurait plusieurs lampes) ainsi que son intensité (dans le cas ou celle-ci serait réglable). Cette information manquante doit être récupérée à partir de la connaissance du contexte : le système doit déduire l'emplacement de l'utilisateur pour allumer la lumière dans la pièce où le participant se trouve et il doit également déduire de son activité le lieu et/ou l'intensité de l'éclairage. Si nous prenons comme exemple une personne qui vient juste de se réveiller dans une chambre à coucher, la lampe de chevet à faible puissance pourrait être plus appropriée que le plafonnier à pleine puissance. Dans cet exemple, le contexte est constitué de deux paramètres déduits à partir de données de capteurs : la localisation et l'activité.

Dans notre étude, les actions que nous considérerons possibles sont les suivantes :

- allumer/éteindre la {lumière, radio}
- ouvrir/fermer les {stores, rideaux}
- donner la {température, heure}
- demander un appel visio/téléphonique ou un appel d'urgence.

Ces actions constituent un sous-ensemble d'actions possibles définies suite à une étude utilisateurs [23]. Bien sûr, cet ensemble d'actions doit être adapté à chaque utilisateur et logement, mais cette liste prédéfinie a été utile pour l'évaluation du système. Cette étude a également permis de définir des commandes vocales en utilisant une grammaire très simple comme le montre la figure 1. Chaque commande commence par un mot-clé unique qui permet de savoir si la personne s'adresse au système ou non. Dans ce qui suit, nous allons utiliser *'Nestor'* comme mot-clé.

Ce type d'environnement semble particulièrement bien se prêter au Q-learning. En effet, l'ensemble d'états, quoique potentiellement grand, est fini et discret et l'ensemble des actions est également fini et discret.

```
basicCmd          = key initiateCommand object |
                    key emergencyCommand
key               = "Nestor"
initiateCommand   = "ouvre" | "ferme" | "baisse" | "éteins" | "monte" |
                    "allume" | "descend" | "appelle" " | "donne"
emergencyCommand = "au secours" | "à l'aide"
object            = [determiner] ( device | person | organisation)
determiner        = "mon" | "ma" | "l'" | "le" | "la" | "les" | "un" |
                    "des" | "du"
device            =  "lumière" | "store" | "rideau" | "télé" | "télévision" |
                     "radio" | "heure" | "température"
person            = "fille" | "fils" | "femme" | "mari" | "infirmière" |
                    "médecin" | "docteur"
organisation      = "samu" | "secours" | "pompiers" | "supérette" | "supermarché"
```

FIGURE 1 – Extrait de la grammaire des commandes vocales

3 Expérimentation

Le Q-learning a été mis en œuvre et testé à partir de données réalistes. Cette section présente les scénarios réalisés et les données recueillies lors d'une étude précédente, détaille la manière dont l'apprentissage a été effectué ainsi que les résultats.

3.1 Scénario d'utilisation de la maison intelligente contrôlée par la voix

L'habitat intelligent considéré dans cette étude est l'appartement DOMUS conçu par le *Laboratoire d'informatique de Grenoble* (LIG) [8]. La figure 2 illustre la configuration de l'appartement. Il s'agit d'un logement de 30 mètres carrés comprenant une salle de bains, une cuisine, une chambre et un bureau. Toutes ces pièces sont équipées de capteurs et d'actionneurs tels que des détecteurs de mouvement infrarouges, des capteurs de contact, des caméras vidéo (utilisées uniquement à des fins d'annotation), etc. En outre, sept microphones ont été placés dans le plafond pour la capture audio. L'appartement est entièrement utilisable et peut accueillir un habitant pendant plusieurs jours. Plus de 150 capteurs sont gérés dans l'appartement pour fournir différents services (p. ex. : l'éclairage, l'ouverture/fermeture des volets, la gestion média, etc.).

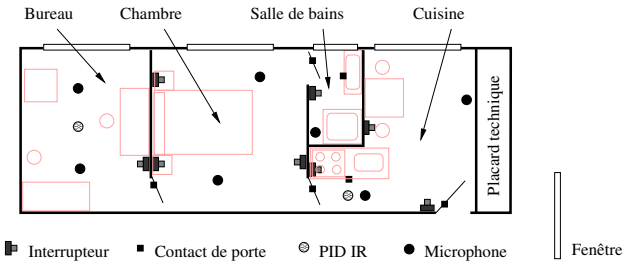


FIGURE 2 – Plan de l'appartement DOMUS et disposition des capteurs

Afin de recueillir des données de décisions en contexte, plusieurs participants ont été recrutés pour jouer des scénarios de la vie courante dans l'appartement. Il a été notamment demandé aux participants de prononcer des commandes vocales pour activer les actionneurs dans la maison intelligente. L'objectif de cette expérience était de tester un contrôleur intelligent [4] en fonctionnement réel dans

©AFIA 2016

les situations de vie correspondant aux commandes vocales prononcées par l'utilisateur. Les situations que nous avons considérées dans l'étude étaient les suivantes : (1) faire le ménage dans l'appartement, (2) préparer et consommer un repas, (3) converser par vidéoconférence, (4) avoir des activités de loisirs (lecture), (5) faire une sieste. Afin de guider les participants lors de la réalisation de l'expérience, la grammaire des commandes vocales a été fournie (cf. figure 1) ainsi qu'un scénario de scènes de vie courante. Ce scénario a été conçu pour durer environ 45 minutes, cependant il n'y avait pas de contrainte sur le temps d'exécution. Les quatre premières parties mettaient l'utilisateur en situations d'activités quotidiennes tout en prononçant des commandes vocales. La figure 3 montre la première partie du scénario. Chaque participant reçoit une liste d'actions à effectuer et les commandes vocales à prononcer. La dernière partie du scénario était réservée à une interaction vocale avec l'extérieur (visio-conférence) et ne sera pas utilisée dans cette étude. Chaque participant devait utiliser une commande vocale pour activer une commande (allumer/éteindre les lumières, ouvrir/fermer les stores, etc.). La consigne était de répéter cette commande jusqu'à 3 fois en cas de défaillance du système. En cas de défaillance persistante un magicien d'Oz était utilisé pour faire croire à une activation correcte.

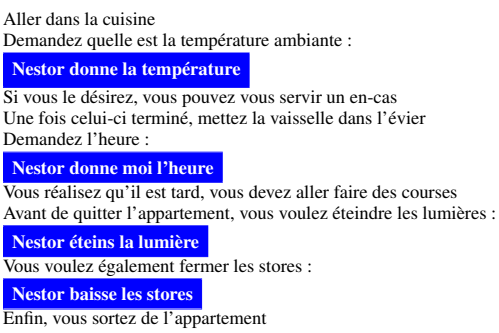


FIGURE 3 – Exemple de scenario dont la réalisation était demandée aux participants

Au total, 15 personnes (9 femmes, 6 hommes) ont participé à l'expérience. L'âge moyen des participants était de 38 ans $\pm 13,6$ (19-62 ans, min-max). 11 heures de données ont été enregistrées. Toutes les expériences ont été filmées mais seulement à des fins d'annotation. Les vidéos ne font donc pas partie du corpus. Pour l'étude présentée dans cet article, le corpus de commande domotique est donc composé d'un ensemble de situations (activité de la personne, lieu, état de l'appartement), d'énoncés de commande vocale ainsi que les actions domotiques correspondant à ces commandes. Ce jeu de données est extrait du corpus Sweet-Home qui est présenté en détail dans [26].

3.2 Apprentissage

L'apprentissage de notre modèle a été fait sur un corpus simulé que l'on nommera *train*. Ce modèle est ensuite évalué en utilisant la technique de validation croisée sur un corpus *test*.

Description des corpus. Chacun des jeux de données correspond à un ou plusieurs fichiers textes respectant le schéma suivant :

```
  Vocal_Cmd Usr_Loc Usr_Act -> Epxtd_Cmd Expctd_Loc

Exemples:
  blind - open kitchen none
         ->blind - open kitchen
  light - on kitchen cook
         ->light - on kitchen - sink
```

Nous nous concentrons pour le moment qu'à la prise de décision lorsque l'utilisateur interpelle le système par le biais d'une commande vocale. Ainsi, chacune des entrées des fichiers contient forcément un champ *Vocal_Cmd* valide de même que le champ *Usr_Loc* qui correspond à la localisation de l'utilisateur lorsqu'il prononce sa commande. En revanche, le champ *Usr_Act* qui symbolise l'activité courante de l'utilisateur peut prendre une valeur nulle qui signifie que l'on ne sait pas quelle activité est en train d'être effectuée.

À chacun des 324 états du système (qui ici correspondent au contexte courant) est alors associée une sortie escomptée, parmi les 32 possibles, composée de deux informations : la commande voulue, allumer la lumière, ouvrir le store et le lieu de l'action, le store de la chambre, la lumière de l'évier ou du plafond. Ces informations sont définies, pour le corpus *train*, par un ensemble de règles et dans le cas du corpus *test*, par un expert du domaine qui les a définies.

Le corpus *train* est un corpus qui doit nous permettre d'apprendre un premier modèle de notre environnement, notre modèle du monde. Pour cela, il doit être relativement important. Comme il n'existe que peu de corpus de données de décision, le corpus d'apprentissage a été généré de manière automatique en suivant la méthode employée par [3]. Nous utilisons pour cela un script qui parcourt chacun des états possibles de notre système et déduit la décision attendue d'un ensemble de règles logiques. De cette manière nous obtenons un corpus exhaustif représentant 380 interactions.

Le corpus *test* permet d'adapter et d'évaluer notre modèle. Il est donc important que ce corpus soit issu de données réelles. Nous avons donc choisi d'extraire les annotations des expérimentations réalisées lors du projet Sweet-Home [26]. Pour chacun des plis de la validation croisée, les données de 15 des 16 sujets sont utilisées pour l'apprentissage/adaptation du modèle et les données du dernier sujet sont utilisées pour l'évaluation. Chaque sujet réalisant un scénario similaire, nous considérons les données comme issues d'une seule et même personne répétant une même routine plusieurs fois. Les sujets ont réalisé en moyenne 25 interactions pour un total de 407 interactions recouvrant 37 des états possibles.

Déroulement de l'expérimentation. L'expérimentation s'est donc déroulée en 2 étapes : une phase d'entraînement et une phase de validation. La phase de validation est elle-même divisée en 16 tours de validation croisée, chaque tour

©AFIA 2016

comprenant une phase d'adaptation du modèle et une phase d'évaluation. Chacune des phases est décomposée en 10 itérations à la fin desquelles les récompenses obtenues sont intégrées pour l'apprentissage.
Lors de l'entraînement nous utilisons le corpus *train* afin de simuler un grand nombre d'interactions, près de 100 000 (10 fois le produit des cardinalités des ensembles d'états et d'actions). On cherche de cette manière à s'assurer que tous les états aient été rencontrés plusieurs fois de façon à ce que le système ait pu explorer le résultat de différentes actions. Après cette phase nous obtenons une table de Q-values qui représente un modèle de l'environnement basé sur un ensemble de règles logiques.
À partir de ce modèle, nous utilisons une partie du corpus *test* pour adapter notre modèle du monde à la réalité terrain. L'adaptation se fait grâce à un ensemble de 375 interactions en moyenne qui est réutilisé 3 fois pour un total de 1125 interactions. À la fin de cette étape d'adaptation, nous obtenons un modèle prêt à être évalué sur le reste du corpus *test*.
Dans tous les cas, les règles d'apprentissages sont similaires. Un état est fourni au système qui retourne une action à appliquer. Cette action est comparée à l'action attendue. Si ces deux actions sont les mêmes alors le système est récompensé et un nouvel état lui est fourni en entrée. À l'inverse, si les deux actions sont différentes, une pénalité est infligée au système et ce dernier reste dans le même état. Dans le cas de l'apprentissage sur corpus simulé, le système à un nombre illimité d'essais avant de trouver l'action adéquate. En revanche, pour simuler l'impatience de l'utilisateur, lors de l'adaptation, le système n'a que trois essais, et enfin lors de l'évaluation le système n'a qu'une seule chance de prendre la bonne décision. À l'heure actuelle, la fonction de récompense est une fonction de *temps minimal à l'objectif* (*Minimum Time to Goal*) [13], toutefois il n'est pas exclu d'utiliser des fonctions moins classiques prenant en compte une similarité dans les actions ou pénalisant le système s'il met trop de temps à déterminer la bonne action.

Évaluation et métriques. D'une part, lors des phases d'entrainement et d'évaluation, nous gardons une trace de toutes les récompenses obtenues. Ceci nous permet de calculer la récompense moyenne obtenue par le système lors d'une séquence d'interactions, entre deux phases d'apprentissages. Dans le cas des données de tests, nous présentons uniquement l'évolution de la moyenne des récompenses au cours de l'adaptation du modèle. En effet, lors de l'évaluation, le système a pour but principal d'exploiter les connaissances acquises précédemment et il ne nous semblait alors moins pertinent d'étudier sa capacité d'apprentissage à ce moment-là.
D'autre part, notre système s'apparente ici grandement à un système de classification. De fait, il semble pertinent de présenter une matrice de confusion (normalisée sur les lignes) afin de rendre compte de la qualité de la classification.

3.3 Résultats

Suite à la réalisation du protocole ci-dessus, nous obtenons un graphique mettant en évidence la différence de récompense entre une première phase d'apprentissage et une seconde d'évaluation (Figure 4).

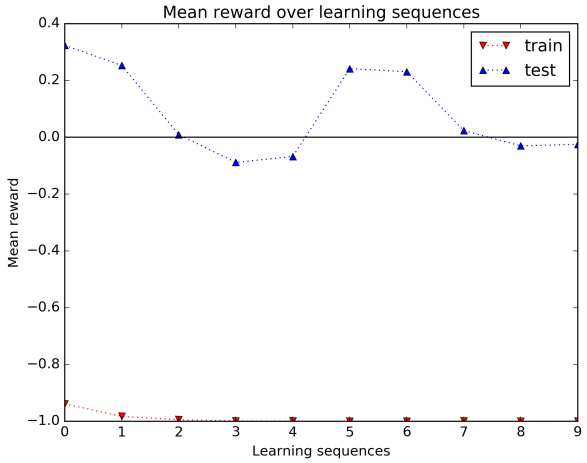


FIGURE 4 – Comparaison de la récompense moyenne lors des 10 séquences d'apprentissage

La mise en parallèle de ces courbes permet de mettre en exergue certaines particularités
Dans un premier temps, il y a une forte différence entre les deux phases. Cette différence peut s'expliquer par deux facteurs. D'une part, la phase d'apprentissage est plus exploratoire, le système va davantage testé de nouvelles actions, et si elles ne sont pas bonnes, il va réitérer jusqu'à trouver la bonne action. À l'inverse, lors de l'évaluation dès lors que le système a échoué 3 fois de suite, il passe à un nouvel état, ce qui limite sa perte de récompense. D'autre part, le nombre d'interactions par séquence diffère grandement entre les deux phases (de deux ordres de grandeurs). Ainsi sur 10 000 interactions, 20 récompenses positives auront un moins grand impact que sur 100 interactions.
En Figure 5 nous présentons la matrice de confusion issue de notre expérimentation. La diagonale nettement marquée de cette matrice atteste de la qualité de la classification réalisée par notre système, malgré quelques confusions entre les actions 19 et 20 (allumer le plafonnier de la cuisine / allumer la lampe de l'évier de la cuisine) et une mauvaise classification des actions 11 et 12 (extinction des lampes de la cuisine).

4 Discussion et perspectives

L'expérience reportée dans cet article, quoique restant assez artificielle, montre bien que les possibilités d'adaptation d'un système à un utilisateur sont possibles même avec une approche par renforcement aussi simple que le Q-learning. Cependant, un certain nombre de points n'ont pas été pris en compte. Les informations produites par le

©AFIA 2016

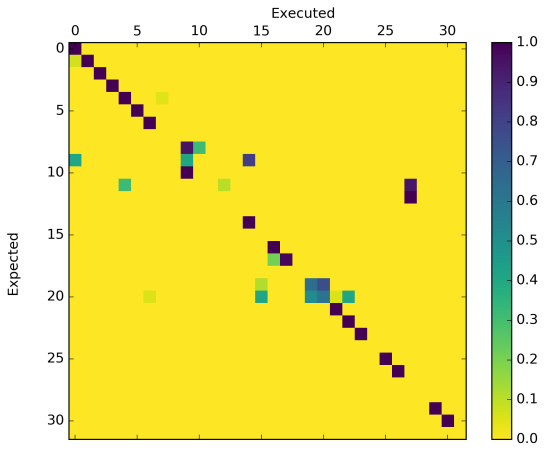


FIGURE 5 – Matrice de confusion pour la tâche de classification de contexte

système domotique sont souvent utilisées directement par les systèmes de décision notamment pour de la régulation. Or, dans ce travail la décision est basée sur les informations de lieu et d'activité qui sont le résultat d'une inférence. Il convient donc de travailler sur l'estimation du transfert d'une récompense négative qui peut soit être due à une mauvaise décision soit à une inférence erronée. Pour cela, il convient de vérifier si des cadres théoriques prenant par nature l'incertitude en compte peuvent s'appliquer à ce double problème d'incertitude et de renforcement. Pour cela, les travaux de [11] dans lesquels un système à base de raisonnement flou s'adapte à la personne tout en prenant en compte l'incertitude sera étudié. Les Processus de décision markovien partiellement observable (POMDP) semblent également particulièrement adaptés à ce type de problème [29]. Enfin, il convient de vérifier si un système à base de MLN [3] ou de DNN [19] peut être adapté pour inclure un mécanisme de renforcement. Un autre point important et non pris en compte dans l'étude est l'identification des personnes dans l'habitat. En effet, il convient d'associer un comportement à un utilisateur précis et de différencier les récompenses. Ce problème peut être inclus dans le problème précédent en considèrent une gamme restreinte d'utilisateur qu'il conviendrait d'identifier en même temps que le reste de l'environnement. Un autre point important est la validation d'une telle approche. Une adaptation sur le long terme nécessite une grande quantité de données qui est en pratique extrêmement coûteuse à mettre en place et pose des problèmes en termes de vérification (p.ex., différencier les adaptations essentielles des mineures). Notre stratégie sera d'une part de tester le système dans des nécessités d'adaptation radicale telle qu'avec un changement de personne ou d'habitat qui peuvent amener des informations sur la facilité d'« installation » du système dans un nouvel environnement. D'autre part, nous chercherons à tester une adaptation sur le long terme dans des environnements moins coûteux, potentiellement moins intrusif que l'habitat et avec peu de problème d'identification à travers des applications smart phone simples et des actions dans un bureau intelligent.

Références

[1] A. Badii and J. Boudy. CompanionAble - integrated cognitive assistive & domotic companion robotic systems for ability & security. In *1er Congrés of the Société Française des Technologies pour l'Autonomie et de Gérontechnologie (SFTAG'09)*, pages 18–20, Troyes, 2009.

[2] B. D. Carolis and G. Cozzolongo. C@sa : Intelligent home control and simulation. In *International Conference on Computational Intelligence*, pages 462–465, 2004.

[3] P. Chahuara, F. Portet, and M. Vacher. Making Context Aware Decision from Uncertain Information in a Smart Home : A Markov Logic Network Approach. In *Ambient Intelligence*, volume 8309 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 78–93, Dublin, Ireland, 2013. Springer.

[4] P. Chahuara, F. Portet, and M. Vacher. Making Context Aware Decision from Uncertain Information in a Smart Home : A Markov Logic Network Approach. In *Ambient Intelligence*, volume 8309 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 78–93, Dublin, Ireland, Dec. 2013. Springer.

[5] M. Chan, E. Campo, D. Estève, and J.-Y. Fourniols. Smart homes — current features and future perspectives. *Maturitas*, 64(2) :90–97, 2009.

[6] L. Cristoforetti, M. Ravanelli, M. Omologo, A. Sosi, A. Abad, M. Hagmueller, and P. Maragos. The DIRHA simulated corpus. In *The 9th edition of the Language Resources and Evaluation Conference (LREC)*, pages 2629–2634, Reykjavik, Iceland, 2014.

[7] G. Filho and T. J. Moir. From science fiction to science fact : a smart-house interface using speech technology and a photorealistic avatar. *International Journal of Computer Applications in Technology*, 39(8) :32–39, 2010.

[8] M. Gallissot, J. Caelen, F. Jambon, and B. Meillon. Une plateforme usage pour l'intégration de l'informatique ambiante dans l'habitat. l'appartement domus. *Technique et Science Informatiques (TSI)*, 32(5) :547–574, 2013.

[9] J. F. Gemmeke, B. Ons, N. Tessema, H. Van Hamme, J. Van De Loo, G. De Pauw, W. Daelemans, J. Huyghe, J. Derboven, L. Vuegen, B. Van Den Broeck, P. Karsmakers, and B. Vanrumste. Self-taught assistive vocal interfaces : an overview of the aladin project. In *Interspeech 2013*, pages 2039–2043, 2013.

[10] J. Gómez-Romero, M. A. Serrano, M. A. Patricio, J. García, and J. M. Molina. Context-based scene

©AFIA 2016

recognition from visual data in smart homes : an information fusion approach. *Personal and Ubiquitous Computing*, 16(7) :835–857, Oct. 2012.

[11] H. Hagras, F. Doctor, A. Lopez, and V. Callaghan. An incremental adaptive life long learning approach for type-2 fuzzy embedded agents in ambient intelligent environments. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 15(1) :41–55, 2007.

[12] M. Hamill, V. Young, J. Boger, and A. Mihailidis. Development of an automated speech recognition interface for personal emergency response systems. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 6, 2009.

[13] M. E. Harmon and S. S. Harmon. Reinforcement learning : A tutorial, 1996.

[14] D. Istrate, M. Vacher, and J.-F. Serignat. Embedded implementation of distress situation identification through sound analysis. *The Journal on Information Technology in Healthcare*, 6 :204–211, 2008.

[15] M. J. Kofler, C. Reinisch, and W. Kastner. A semantic representation of energy-related information in future smart homes. *Energy and Buildings*, 47 :169–179, Apr. 2012.

[16] S.-H. Lee and S.-B. Cho. Fusion of modular bayesian networks for context-aware decision making. In E. Corchado, V. Snášel, A. Abraham, M. Wozniak, M. Graña, and S.-B. Cho, editors, *Hybrid Artificial Intelligent Systems*, volume 7208 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 375–384. Springer Berlin / Heidelberg, 2012.

[17] C. Y. Leong, A. Ramli, and T. Perumal. A rule-based framework for heterogeneous subsystems management in smart home environment. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 55(3) :1208–1213, 2009.

[18] K. Mitra, A. B. Zaslavsky, and C. Åhlund. A probabilistic context-aware approach for quality of experience measurement in pervasive systems. In *SAC*, pages 419–424, 2011.

[19] V. Mnih, K. Kavukcuoglu, D. Silver, A. A. Rusu, J. Veness, M. G. Bellemare, A. Graves, M. Riedmiller, A. K. Fidjeland, G. Ostrovski, et al. Human-level control through deep reinforcement learning. *Nature*, 518(7540) :529–533, 2015.

[20] P. Moore, B. Hu, and M. Jackson. Rule strategies for intelligent context-aware systems : The application of conditional relationships in decision-support. In *International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems, CISIS 2011*, pages 9–16, Seoul, Korea, 2011.

[21] M. C. Mozer. The Neural Network House : An Environment hat Adapts to its Inhabitants. In *Proc. AAAI Spring Symp. Intelligent Environments*, pages 110–114, 1998.

[22] T. Nishiyama, S. Hibiya, and T. Sawaragi. Development of agent system based on decision model for creating an ambient space. *AI & Society*, 26(3) :247–259, 2011.

[23] F. Portet, M. Vacher, C. Golanski, C. Roux, and B. Meillon. Design and evaluation of a smart home voice interface for the elderly : acceptability and objection aspects. *Personal and Ubiquitous Computing*, 17 :127–144, 2013.

[24] L. S. Shafti, P. A. Haya, M. García-Herranz, and E. Pérez. Inferring eca-based rules for ambient intelligence using evolutionary feature extraction. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 5(6) :563–587, 2013.

[25] M. Vacher, S. Caffiau, F. Portet, B. Meillon, C. Roux, E. Elias, B. Lecouteux, and P. Chahuara. Evaluation of a context-aware voice interface for Ambient Assisted Living : qualitative user study vs. quantitative system evaluation. *ACM Transactions on Accessible Computing*, 7(2) :1–36, 2015. (in press).

[26] M. Vacher, B. Lecouteux, P. Chahuara, F. Portet, B. Meillon, and N. Bonnefond. The Sweet-Home speech and multimodal corpus for home automation interaction. In *The 9th edition of the Language Resources and Evaluation Conference (LREC)*, pages 4499–4506, Reykjavik, Iceland, 2014.

[27] C. J. C. H. Watkins. *Learning from Delayed Rewards*. PhD thesis, King's College, Cambridge, UK, 1989.

[28] S. S. Yau and J. Liu. Hierarchical situation modeling and reasoning for pervasive computing. In *Proceedings of the The Fourth IEEE Workshop on Software Technologies for Future Embedded and Ubiquitous Systems, and the Second International Workshop on Collaborative Computing, Integration, and Assurance (SEUS-WCCIA'06)*, SEUS-WCCIA '06, pages 5–10, Washington, DC, USA, 2006. IEEE Computer Society.

[29] S. Zaidenberg and P. Reignier. Reinforcement Learning of User Preferences for a Ubiquitous Personal Assistant. In A. Mellouk, editor, *Advances in Reinforcement Learning*, pages 59–80. Intech, 2011.

©AFIA 2016

Moteur décisionnel reposant sur un modèle de confiance pour des agents autonomes

L. Callebert[1] D. Lourdeaux[1] J.P. Barthès[1]

[1] Sorbonne universités, Université de technologie de Compiègne, CNRS, Heudiasyc UMR 7253, CS 60 319, 60 203 Compiègne, France

{lucile.callebert, domitile.lourdeaux, jean-paul.barthes}@hds.utc.fr

Résumé

Dans les environnements virtuels collaboratifs, la prise en compte des facteurs humains tels que la confiance sont indispensables à la modélisation des comportements des personnages virtuels autonomes qui réalisent une activité collective. Nous proposons un moteur décisionnel pour des agents autonomes qui repose sur un modèle de confiance. Trois facteurs de confiance sont considérés : la confiance en l'intégrité, en la bienveillance et en les compétences de chacun des autres agents. Le moteur décisionnel proposé permet aux agents de calculer l'importance de leurs buts personnel et collectif, puis, pour sélectionner une tâche, de calculer l'utilité de chaque tâche. Une évaluation préliminaire montre notamment que la confiance d'un agent en les compétences d'un autre est correctement évaluée par des observateurs en fonction des comportements des agents produits avec notre modèle.

Mots Clef

Moteur décisionnel, modèle de confiance, agents autonomes.

Abstract

In collaborative virtual environments, human factors such as trust are essential to consider for the creation of autonomous virtual characters. We propose a decision-making system for autonomous agents that relies on a trust model. Three factors of trust are considered : the trust in the trustee's integrity, benevolence and abilities. The proposed decision-making system allows agents to compute, taking into account other agents, the importance of their personal and collective goals. Then the utility of the tasks is computed and a task is selected, also taking others into account. We conducted a preliminary evaluation that shows that the trust an agent has in another's abilities is rightly assessed by subjects when observing agents behaviors generated with our model.

Keywords

Decision-making system, trust model, autonomous agents.

1 Introduction

Dans les environnements virtuels collaboratifs pour l'apprentissage, l'apprenant est bien souvent entouré de personnages virtuels avec lesquels il forme une petite équipe et avec lesquels il doit réaliser une tâche collaborative. C'est le cas par exemple dans le projet SECUREVI [Querrec et al., 2003] où l'apprenant et les personnages virtuels forment une équipe de pompiers ; ou dans le projet 3D Virtual Operating Room [Sanselone et al., 2014] où l'apprenant fait partie d'une équipe médicale. Les personnages virtuels dans ce type d'environnement sont souvent autonomes, et leur moteur décisionnel leur permet de choisir dynamiquement quelle action faire pour mener à bien l'activité collective. Pour prendre leurs décisions, les personnages s'appuient généralement sur un modèle d'activité représentant l'activité collective qu'ils ont à réaliser, de manière à ce que leurs comportements soient représentatifs des comportements humains observés en situation réelle. Les actions des personnages sont alors bien souvent déterminées par les rôles qu'ils jouent et qui sont décrits dans le modèle d'activité. Cependant un problème se pose lorsque plusieurs agents jouent le même rôle ou lorsque l'activité collective ne peut pas être découpée sous forme de rôles : par exemple, comment trois agents se répartiraient les tâches ménagères pour l'entretien d'une maison ? Ces situations se rencontrent également dans le monde professionnel : dans une équipe de pompiers ayant tous les mêmes qualifications, comment s'organiser pour le sauvetage d'une victime ?

Par ailleurs, les facteurs humains sont souvent oubliés : chaque personnage est supposé être compétent et disposé à agir dans l'intérêt de l'équipe, ce qui n'est malheureusement pas toujours le cas dans la réalité. Dans un contexte collectif, chaque personnage devrait se poser des questions comme *Mon coéquipier va-t-il vraiment agir dans l'intérêt de l'équipe ?* ou *Est-t-il compétent pour réaliser cette tâche ?* avant de prendre une décision. Ces questions reposent sur un facteur essentiel : celui de la confiance. La question *Est-t-il compétent pour réaliser cette tâche ?* se

 ©AFIA 2016

traduit pas exemple par *Ai-je confiance en la compétence de mon coéquipier ?* Nous ne cherchons pas à reproduire les processus cognitifs humains, mais à proposer un moteur décisionnel qui permette de rendre compte de comportements possibles : nous ne prétendons pas que chaque personne se pose ces questions en réalité, mais que répondre à ces questions permettra aux agents d'adopter des comportements cohérents et semblables à ceux des humains. Dans un contexte de formation professionnelle, il serait alors possible de former les apprenants non plus seulement à des compétences techniques mais aussi à des compétences non techniques : savoir prendre en compte les autres et s'adapter aux autres.

Nous proposons dans cet article un moteur décisionnel pour des personnages virtuels formant une petite équipe à laquelle pourra être intégré l'apprenant. Ce moteur décisionnel permet aux personnages autonomes de raisonner sur un modèle de tâches mais aussi sur les relations de confiance qu'ils entretiennent avec les autres pour choisir l'action à effectuer.

2 Travaux connexes

Nous présentons dans cette section des travaux sur des modèles d'activité utilisés pour générer le comportement d'agents autonomes en environnement virtuel, ainsi que des travaux portant sur des modèles de confiance.

2.1 Description de l'activité

Dans les projets SECUREVI [Querrec et al., 2003] et 3D Virtual Operating Room [Sanselone et al., 2014], l'activité des personnages virtuels est décrite respectivement grâce au méta-modèle d'activité HAVE et à des diagrammes Business Process Notation Model. Dans ces deux projets, un rôle est assigné aux agents qui ont des tâches spécifiques à réaliser et pour lesquelles ils doivent être synchronisés. Or nous souhaitons que les agents autonomes puissent choisir dynamiquement quelle tâche faire en tenant compte des autres et sans être limités à un rôle particulier. De plus ce type de modèle d'activité ne permet pas de spécifier des actions collectives.

Le langage de description de scénario LORA (Language for Object-Relation Application) [Gerbaud et al., 2007] permet de décrire des activités collectives sous forme d'automates hiérarchiques à états finis dans lesquels il est possible de spécifier des actions collectives. Cependant ce langage est difficile d'accès pour des non-informaticiens ; or nous souhaitons que l'activité puisse être décrite par des experts du domaine ou des ergonomes. Le langage de description d'activité ACTIVITY-DL [Barot, 2014] permet une description hiérarchique des activités sous forme d'arbre de tâches, qui sont logiquement et temporellement ordonnées. Ce langage est inspiré de travaux en ergonomie cognitive, et est donc accessible aux non-informaticiens. Nous choisissons ce méta-modèle pour la description des activités collectives qui seront réalisées par les agents.

2.2 Modèles de Confiance

Un modèle de confiance dyadique permettra aux agents de prendre en compte les caractéristiques individuelles de chacun des autres membres de l'équipe pour prendre une décision. Dans les paragraphes qui suivent, nous utilisons "trustor" pour désigner la personne qui fait confiance et "trustee" pour désigner la personne objet de la confiance du trustor.

[Marsh, 1994] proposent un moteur décisionnel s'appuyant sur un modèle de confiance computationnel permettant à des agents de décider de coopérer ou non avec d'autres. La décision de coopérer est prise lorsque la confiance situationnelle, qui représente combien le trustor fait confiance au trustee dans une situation donnée, est supérieure à un seuil de coopération représentant combien le trustor a besoin de faire confiance au trustee dans cette situation. Il n'y a cependant pas de notion d'équipe dans ce modèle, et bien que nous nous intéressions à des relations de confiance dyadiques, nous pensons que l'équipe en soi et les engagements de personnes vis-à-vis de leur équipe jouent un rôle dans la décision de coopérer ou non.

[Castelfranchi and Falcone, 2001] propose un moteur décisionnel permettant à des agents de décider de déléguer des tâches. Ce moteur décisionnel s'appuie sur un modèle computationnel de la confiance sociale. Dans ce modèle, le trustor a des croyances sur la motivation et les capacités du trustee à faire une tâche. La croyance liée à la motivation est cependant difficile à évaluer. Elle est par exemple déduite de la profession du trustee (e.g. un médecin est supposé vouloir soigner ses patients) ou d'une relation liant le trustee au trustor (e.g. des amis sont supposés s'entreaider). Pour pouvoir l'expliquer, il faudrait donc s'appuyer sur un modèle de relations sociales ou de rôles entretenus par les agents.

[Mayer et al., 1995] proposent un modèle de la confiance interpersonnelle, qui regroupe les facteurs liés à la confiance les plus souvent cités dans la littérature. Trois dimensions de confiance sont identifées : l'intégrité, la bienveillance et les capacités. Le trustor a confiance en l'intégrité du trustee s'il pense que le trustee tiendra parole et agira honnêtement. Dans notre contexte, l'intégrité peut être interprétée comme le fait de respecter les engagements par rapport à l'équipe et privilégier le but collectif. Avoir confiance en la bienveillance du trustee signifie, pour le trustor, penser que le trustee a de bonnes intentions à son égard, et tiendra compte de ses intérêts. Enfin le trustor peut avoir confiance ou non dans les capacités du trustee à réaliser une tâche particulière. Ce modèle permet donc de prendre en compte individuellement chaque agent et ne nécessite pas d'être couplé à un autre modèle de relations sociales par exemple, et permet également à l'agent de prendre en compte l'équipe dans sa globalité : il répond donc à notre problématique.

©AFIA 2016

3 Modèle d'activité

3.1 ACTIVITY-DL

ACTIVITY-DL est un méta modèle pour la description des activités humaines. Ce méta modèle est inspiré de travaux en ergonomie, et ne cherche pas à décrire la procédure prescrite ou des comportements idéaux, mais un ensemble de possibles observés sur le terrain traduisant la manière dont les opérateurs se représentent leur tâche. Dans ACTIVITY-DL, l'activité est décrite sous forme de tâches, qui sont décomposées en sous-tâches pour former un arbre. Les tâches composées correspondent à des tâches abstraites, alors que les tâches feuilles correspondent à des actions que les personnages virtuels peuvent réaliser dans l'environnement virtuel. Les sous-tâches d'une tâche composée sont organisées d'une part d'un point de vue temporel, grâce au constructeur de leur tâche mère ; et d'autre part d'un point de vue logique grâce à la contrainte de satisfaction de leur tâche mère. [Barot, 2014] donne une description détaillée de ACTIVITY-DL.

Nous présentons un exemple simple d'activité décrite avec ACTIVITY-DL dans la Figure 1. Cet exemple décrit comment *sauver la victime* pour une équipe de secouristes : il faut d'abord *faire les premiers soins* puis *transporter la victime*. Ces deux sous-tâches doivent être faites (contrainte de satisfaction AND) dans cet ordre (constructeur SEQ-ORD pour "séquentiellement ordonné"). La tâche *faire les premiers soins* est également composée de deux sous-tâches qui sont *poser une attelle* et *prendre la tension*. Ces deux sous-tâches doivent être réalisées (contrainte de satisfaction AND) et peuvent être réalisées en même temps (constructeur PAR pour "parallèle").

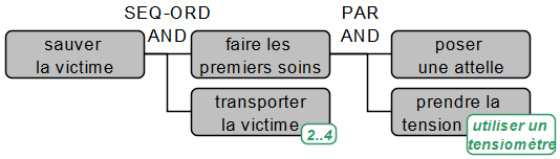


FIGURE 1 – Arbre de tâches ACTIVITY-DL pour sauver une victime

3.2 Description d'activité collective

ACTIVITY-DL était jusqu'à présent utilisé pour décrire l'activité d'un seul opérateur ou de plusieurs opérateurs ayant de rôles distincts. De manière à pouvoir supporter la description d'une activité collective et le raisonnement des agents, nous avons ajouté les éléments suivants :

Compétence : Pour une tâche correspondant à une action (tâche feuille de l'arbre), il peut être précisé la ou les compétences que l'opérateur doit avoir pour pouvoir réaliser la tâche. Par exemple, la compétence *savoir utiliser un tensiomètre* est nécessaire pour faire la tâche *prendre la tension*.

Nombre d'opérateurs : De manière similaire, il est nécessaire de préciser pour chaque tâche correspondant à une action combien d'opérateurs sont nécessaires. Par exemple, pour *transporter la victime*, il est nécessaire d'être au moins deux, et il peut y avoir jusqu'à quatre personnes qui portent le brancard.

3.3 Propagation des contraintes

Les éléments (compétences et nombre d'opérateurs) spécifiés sur les tâches feuilles doivent être propagés aux tâches composées, de manière à permettre aux agents autonomes de raisonner sur ces dernières. En effet, raisonner sur des tâches abstraites plutôt que sur l'ensemble des tâches feuilles permet d'optimiser le fonctionnement des agents, puisqu'un nombre réduit de tâches est pris en compte (voir section 5.3).

Pour supporter le raisonnement des agents tout au long de la réalisation de l'activité collective, des contraintes sont donc générées à partir des éléments de compétence et de nombre d'opérateurs, et propagées depuis les tâches feuilles aux tâches composées jusqu'à la racine de l'arbre. Ces contraintes sont de deux types :

La contrainte de faisabilité est statique et servira à chaque agent, avant qu'il ne s'engage dans la réalisation de l'activité collective, à déterminer si l'ensemble de l'équipe peut réaliser cette activité. Pour cela, l'agent utilisera ce qu'il sait de ses propres compétences, du nombre d'agents de l'équipe, et des compétences des autres agents (voir Section 4). La contrainte de faisabilité associée à l'exemple développé dans la Section 3.1 est, textuellement, la suivante : l'équipe doit être composée au minimum de deux agents *ET* au moins l'un d'eux doit *savoir utiliser un tensiomètre*.

La contrainte représentative de l'avancement est dynamique et servira à chaque agent pour déterminer s'il peut, personnellement, prendre part à la réalisation de la tâche. Pour raisonner sur cette contrainte, l'agent ne prendra en compte que ses propres compétences. Dans l'exemple développé dans la Section 3.1, la contrainte représentative de l'avancement à t_0 (i.e. avant que les agents n'aient commencé à réaliser l'activité collective) est $True$. En effet, un agent ne sachant pas utiliser un tensiomètre peut tout de même participer en exécutant l'action *poser une attelle*. Cette contrainte est dite représentative de l'avancement puisqu'elle ne tient compte que des tâches qu'il reste à faire : si la première tâche effectuée est *poser une attelle*, alors la contrainte représentative de l'avancement deviendra *savoir utiliser un tensiomètre*. Les agents ne sachant pas utiliser un tensiomètre ne pourront alors pas, à ce moment là, participer à l'activité *sauver la victime*.

4 Modèle d'agent

Pour répondre à notre problème, nous avons choisi d'opérationnaliser le modèle de confiance de [Mayer et al., 1995] en définissant les dimensions propres des agents et les croyances qu'ils ont sur les autres. Le modèle proposé permettra aux agents de raisonner sur leurs buts et de sélectionner une tâche à réaliser pour atteindre ces buts. Les choix des agents seront influencés

©AFIA 2016

par leurs caractéristiques personnelles, ainsi que par leurs croyances sur les autres agents, qui décrivent la confiance qu'ils ont en ces autres agents.

4.1 Buts

Nous souhaitons que les agents puissent avoir deux buts de types différents : un but lié à l'équipe et partagé par les autres membres de l'équipe, et un but qui leur est personnel. Pour l'agent x, le but personnel est noté $\gamma_{x,self}$ alors que le but collectif est noté $\gamma_{x,team}$.

4.2 Dimensions

Nous avons défini les dimensions des agents de manière à ce qu'elles correspondent au modèle de confiance développé par [Mayer et al., 1995].

Intégrité : Chaque agent x a une valeur d'intégrité $i_x \in [0;1]$ qui indique à quel point cet agent va respecter ses engagements vis-à-vis de l'équipe.

Bienveillance : Chaque agent x a un niveau de bienveillance spécifique à l'égard de chacun des autres membres de l'équipe. La bienveillance de x à l'égard de l'agent y est décrite par la valeur $b_{x,y} \in [0;1]$.

Capacité : Chaque agent x a un niveau de capacité différent pour chacune des compétences présentes dans la description des activités pouvant être réalisées. Le niveau de capacité de x sur la compétence i est décrit par la valeur $a_{x,i} \in [0;1]$ (a pour *ability*).

Chacune de ces valeurs peut varier dynamiquement en fonction des comportements des autres agents et des événements se produisant dans l'environnement virtuel. Le mécanisme de mise à jour de ces valeurs ne sera cependant pas développé dans ce papier qui a trait au système décisionnel des agents permettant la sélection d'une action.

4.3 Croyances

L'agent x a des croyances sur chacun des autres agents. Les croyances de x sur y décrivent la confiance que x a en y : nous avons donc défini ces croyances en nous appuyant sur le modèle de confiance de [Mayer et al., 1995]. Les croyances de l'agent x sur l'agent y sont décrites par les valeurs suivantes :

Croyance sur l'intégrité : $i_y^x \in [0;1]$ représente la confiance qu'a x en l'intégrité de y.

Croyances sur la bienveillance : $b_{y,z}^x \in [0;1]$ représente la confiance qu'a x en la bienveillance de y vis-à-vis de z, z pouvant représenter n'importe quel agent de l'équipe hormis y lui-même.

Croyances sur les capacités : $a_{y,i}^x \in [0;1]$ représente la confiance de x en la capacité de y à réaliser une tâche nécessitant la compétence i.

De même que pour les dimensions des agents, ces croyances sont dynamiques mais le mécanisme de mise à jour des croyances ne sera pas détaillé dans ce papier.

5 Moteur décisionnel

Nous proposons ici un nouveau moteur décisionnel pour des agents autonomes qui forment une équipe. Ce moteur décisionnel est fortement lié au modèle de confiance de [Mayer et al., 1995] mais n'en n'est pas une opérationnalisation directe. En effet, bien que stipulant que les relations de confiance ont une forte influence sur la prise de décision d'une personne, les auteurs ne développent pas quels sont exactement les processus décisionnels en jeu. Nous proposons donc un moteur décisionnel inspiré de ces travaux qui réponde à notre problématique particulière décrite en introduction.

5.1 Fonctionnement général

Les agents suivent un cycle *perception*, *décision*, *action* : en fonction de l'état du monde qu'ils perçoivent, les agents pourront décider d'une tâche à accomplir puis agir en réalisant cette tâche.

Dans la phase de *décision*, les agents doivent dans un premier temps choisir sur lequel de leurs deux buts (individuel et collectif) concentrer leurs efforts avant de se lancer dans toute activité. Cette distinction est complexe et ne doit pas se faire de manière unilatérale et systématique (e.g. tous les agents privilégieraient le but collectif), car cela ne serait pas représentatif des comportements observés en réalité. Comment les agents doivent-ils alors choisir entre un but personnel et un but collectif ? Comment la perception des autres influence-t-elle l'importance qu'un agent accorde à ses buts ? La perception des autres est en effet très importante : un agent perdra sûrement sa motivation à réaliser la tâche collective s'il pense que les autres privilégieront leur objectif personnel. Nous proposons pour répondre à ce problème un mécanisme de calcul de l'importance d'un but développé dans la Section 5.2.

Dans un second temps, les agents doivent identifier quelles tâches il serait le plus utile d'accomplir par rapport à leurs buts : les agents vont calculer l'utilité de chaque tâche. Encore une fois ce processus est complexe : les agents ne doivent pas seulement prendre en compte la contribution des tâches à leurs buts, mais aussi leur capacité à effectuer les tâches. Le mécanisme de calcul de l'utilité des tâches que nous proposons est développé dans la Section 5.3.

Enfin, pour sélectionner une tâche, il est nécessaire pour les agents de prendre en compte les autres : quelles sont leurs capacités et leurs envies ? Dans notre exemple, soit une équipe de deux agents x et y qui accordent de l'importance au but *sauver la victime*. Si x a une valeur de capacité $c_{x,j} = 1$ sur la compétence j = *savoir utiliser un tensiomètre* et y a une valeur de capacité $c_{y,j} = 0$ sur cette même compétence, alors pour que les tâches soient réparties de manière optimale, x doit prendre en compte l'incapacité de y à utiliser un tensiomètre, et réaliser la tâche *prendre la tension* pour laisser à y le soin de *poser l'attelle*. Nous expliquons dans la Section 5.3 le mécanisme qui permet aux agents de sélectionner une tâche.

5.2 Importance d'un but

L'importance que l'agent x accorde à l'un de ses buts γ est notée $Imp_x(\gamma)$ et est comprise dans l'intervalle $[0;1]$. Si les deux buts sont identiques ou si réaliser un but contribue

©AFIA 2016

à la réalisation de l'autre, alors il n'y a pas à choisir de privilégier l'un des deux, et leur importance est 1. Dans le cas contraire, calculer l'importance qu'il accorde à chacun de ses buts permettra à l'agent x de privilégier la réalisation de l'un d'eux.

Dans un premier temps, seules les caractéristiques propres à l'agent x sont prises en compte pour le calcul de l'importance d'un but. Selon le modèle de confiance de [Mayer et al., 1995], le respect de ses engagements par une personne est lié à son intégrité (honnêteté). Nous considérons donc qu'une personne plutôt intègre privilégiera le but collectif sur lequel elle est engagée, alors qu'une personne peu intègre privilégiera son but personnel. Nous définissons donc $Imp_x(\gamma_{x,team}) = i_x$ et $Imp_x(\gamma_{x,self}) = 1-i_x$. Pour tous les autres buts (e.g. but personnel de l'agent y par exemple), l'importance pour x est initialement nulle.
Dans un second temps, l'agent x prend en compte les autres : il calcule alors $Imp^x_y(\gamma) \in [0;1]$, valeur qu'il imagine être l'importance du but γ pour un autre agent y. Pour le but collectif de y, x calcule $Imp^x_y(\gamma_{y,team}) = i^x_y$; pour le but personnel de y, x calcule $Imp^x_y(\gamma_{y,self}) = 1 - i^x_y$.
Pour moduler l'importance qu'il accorde à ses buts en fonction des autres, l'agent x considère ensuite sa bienveillance à l'égard des autres. En effet, si x est bienveillant à l'égard de y, alors il aura envie d'aider y et l'importance pour x d'un but important pour y augmentera. x calcule donc $d_{x,y}(\gamma)$ sa désidérabilité par rapport à y de voir le but γ accompli avec la Formule 1. $d_{x,y}(\gamma)$ est proportionnel à $Imp^x_y(\gamma)$ et est positif si x apprécie y, et négatif dans le cas contraire.

$$d_{x,y}(\gamma) = Imp^x_y(\gamma) \times (b_{x,y} - 0.5) \tag{1}$$

Lorsque x a calculé, pour chaque autre agent y_i et pour chaque but γ, sa désidérabilité de voir y_i réaliser son but γ, alors x met à jour l'importance qu'il accorde à ses buts. x calcule donc $v_x(\gamma)$, le facteur qui modulera l'importance de son but γ, de manière à ce que ce facteur soit représentatif de l'ensemble des désidérabilités $d_{x,y_i}(\gamma)$ avec la Formule 2, où n est le nombre total d'agents. Finalement, $Imp_x(\gamma)$ est modulée par le facteur $v_x(\gamma)$, tout en restant comprise dans l'intervalle $[0;1]$, comme défini dans la Formule 3.

$$v_x(\gamma) = \sum_{i=1}^{n-1} d_{x,y_i}(\gamma) \tag{2}$$

$$\begin{cases} Imp_x(\gamma) \leftarrow 1 \text{ si } Imp_x(\gamma) + v_x(\gamma) > 1 \\ Imp_x(\gamma) \leftarrow 0 \text{ si } Imp_x(\gamma) + v_x(\gamma) < 0 \\ Imp_x(\gamma) \leftarrow Imp_x(\gamma) + v_x(\gamma) \text{ sinon} \end{cases} \tag{3}$$

5.3 Raisonnement sur les tâches

Les agents cherchent à réaliser les buts qui ont le plus d'importance à leurs yeux. Pour cela ils raisonnent sur les arbres de tâches décrits avec ACTIVITY-DL. Lorsqu'ils ont sélectionné une tâche feuille, ils exécutent l'action correspondante dans l'environnement virtuel. Ils cherchent ensuite une nouvelle tâche à effectuer, et ce jusqu'à accomplir leurs buts. Nous détaillons les processus décisionnels permettant la sélection d'une tâche dans les paragraphes suivants.

Utilité d'une tâche. Les agents cherchent à déterminer la tâche la utile à réaliser en fonction de l'importance qu'ils accordent à leurs buts. Pour cela, chaque agent x calcule l'utilité des tâches, en commençant par les tâches racines des arbres. Deux facteurs sont à prendre en compte pour ce calcul. D'une part pour une tâche τ, x doit se demander si elle contribue à un but auquel il accorde de l'importance. Si τ contribue effectivement à un but γ important pour x, alors l'utilité de τ est proportionnelle à l'importance accordée par x à γ (voir Formule 4). Sinon, l'utilité de τ pour x est nulle.
x raisonne d'autre part sur les compétences requises par τ et sur ses valeurs de capacités sur ses compétences. Les compétences requises par τ sont listées dans la contrainte représentative de l'avancement associée à τ. x calcule alors $a_x(\tau)$ sa capacité à réaliser τ. L'utilité de τ sera proportionnelle à la capacité de x à réaliser τ, de manière à ce que x privilégie les tâches pour lesquelles il est doué.
L'utilité $U_x(\tau) \in [0;1]$ de la tâche τ pour l'agent x est donc donnée par la Formule 4.

$$U_x(\tau) = Imp_x(\gamma) \times a_x(\tau) \tag{4}$$

Sélection d'une tâche. Une fois que les agents ont calculé l'utilité de chacune des tâches, il est nécessaire qu'ils prennent en compte les autres membres de l'équipe, comme expliqué dans la Section 5.1. La prise en compte des autres se fait tout d'abord par le calcul de l'utilité des tâches pour chacun des autres agents. L'agent x calcule donc, pour chaque autre agent y et pour chaque tâche τ, $U^x_y(\tau)$ ce qu'il pense être l'utilité de τ pour y. L'agent x applique le même processus que pour lui même en utilisant $a^x_y(\tau)$ et $Imp^x_y(\gamma)$ i.e. respectivement ce qu'il croit être la capacité de y à réaliser la tâche τ et ce qu'il croit être l'importance pour y du but γ auquel contribue τ.
Enfin, x génère toutes les répartitions possibles de tâches entre les agents de l'équipe. Pour générer ces répartitions, x prend en compte le nombre d'agents nécessaires à la réalisation de chaque tâche. Cette information est exprimée dans la contrainte représentative de l'avancement liée à la tâche. x calcule également l'utilité associée à chaque répartition de tâches comme une moyenne des utilités de chaque tâche de la répartition.
Finalement, l'agent x sélectionne la tâche correspondant à la répartition ayant la plus grande utilité.

Il est important de noter qu'en sélectionnant une tâche correspondant à une répartition que l'agent x estime la meilleure, x n'oblige pas les autres agents à réaliser les tâches correspondant à cette répartition. En effet, par ce processus, l'agent x *imagine* quelle serait, selon lui, la meilleure répartition, et ce compte tenu de ce qu'il pense être les envies et les capacités des autres membres de l'équipe. Si l'agent x connait bien les autres membres de l'équipe, i.e. si les croyances qu'a x sur les autres agents

©AFIA 2016

correspondent à la réalité, alors ce que feront les autres agents correspondra sûrement à ce qu'a imaginé x. Cependant, si les croyances de x sont fausses, ses prédictions sur les choix des autres agents le seront aussi. Cela peut mener à deux situations problématiques :

– Trop d'agents décident de réaliser la même action. Dans ce cas, il faudrait ajouter un processus de négociation entre les agents de manière à trouver un accord. Nous n'avons pas intégré pour le moment un tel processus, et lorsque ce cas de figure se produit, nous appliquons le principe "premier arrivé, premier servi".
– Trop peu d'agents décident de réaliser la même action. Dans ce cas, les agents attendent d'être suffisamment nombreux. Si l'attente est trop longue, les agents abandonnent cette action et le processus décisionnel est relancé.

Processus récursif. Nous avons précisé au début du paragraphe concernant le calcul de l'utilité d'une tâche que l'agent x raisonne dans un premier temps sur les tâches correspondant aux racines des arbres de tâches. Lorsque x sélectionne une tâche τ, celle-ci ne correspond donc pas forcément à une action mais peut être une tâche abstraite. Le processus de sélection d'une tâche est un processus récursif, et à chaque étape de ce processus, seules les tâches pertinentes et seuls les agents pertinents pour le raisonnement de x sont pris en compte. Nous présentons dans la Figure 2 une illustration des ensembles de tâches et d'agents sur lesquel(le)s x raisonne aux étapes n et $n+1$ de son raisonnement récursif, et nous expliquons dans les paragraphes suivants comment l'agent x constitue ces ensembles.

Lorsque x sélectionne une tâche abstraite τ_k, deux cas sont à distinguer :

Cas 1 : τ_k a un constructeur SEQ-ORD : ses sous-tâches doivent être effectuées séquentiellement dans l'ordre donné. x n'a alors pas de choix à faire quant à la sous-tâche de τ_k à effectuer. On note τ_{kk} cette sous-tâche.

Cas 2 : τ_k a un constructeur PAR : ses sous-tâches peuvent être effectuées parallèlement. x doit alors choisir laquelle des sous-tâches de τ_k effectuer.

Nous nous intéressons au *cas 2*, lorsque x doit alors choisir l'une des sous-tâches de τ_k. Soit $\mathrm{T}(k)$ l'ensemble des sous-tâches de τ_k : à l'appel récursif suivant, x raisonne sur l'ensemble de tâches $\mathrm{T}(k)$. En partant des racines des arbres et par récursivité x raisonne donc sur des tâches de plus en plus concrètes, jusqu'à sélectionner une tâche correspondant à une action.

De même, l'agent x ne considère pas, à chaque étape de son raisonnement récursif, tous les autres agents. En effet, si x pense que y ne va pas se consacrer à la tâche *sauver la victime*, alors il est inutile d'imaginer se répartir les tâches *poser une attelle* et *prendre la tension* avec y. On désigne par $\mathrm{T}_{x,n}$ et $A_{x,n}$ respectivement les ensembles de tâches et d'agents sur lesquels x raisonne à l'étape n de sont raisonnement récursif. Lorsque x sélectionne la tâche τ_k à l'issue l'étape n, alors à l'étape $n+1$:

– $\mathrm{T}_{x,n+1} = \mathrm{T}(k)$ si τ_k a un constructeur PAR.

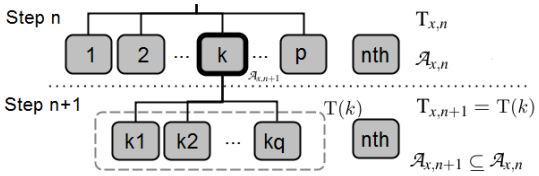


FIGURE 2 – Ensembles de tâches $\mathrm{T}_{x,n}, \mathrm{T}_{x,n+1}$ et ensembles d'agents $A_{x,n}, A_{x,n+1}$ sur lesquels raisonne l'agent x aux étapes n et $n+1$ de son raisonnement récursif dans le cas du constructeur PAR sur τ_k

$\mathrm{T}_{x,n+1} = \tau_{kk}$ si τ_k a un constructeur SEQ-ORD.

– $A_{x,n+1}$ est l'ensemble des agents, qui, d'après les projections de x, choisirons aussi τ_k à l'issue l'étape n. On a donc $A_{x,n+1} \subseteq A_{x,n}$.

Cette récursivité permet une grande simplification des processus décisionnels des agents : cela leur évite d'avoir à raisonner sur un arbre entier et sur l'ensemble des agents, ce qui limite grandement le nombre de calculs à effectuer par agent.

6 Résultats préliminaires

Nous présentons dans cette section des résultats préliminaires obtenus, d'une part sur le fonctionnement d'agents dotés du modèle décisionnel proposé, et d'autre part sur la perception et l'interprétation du comportement des agents par des observateurs humains.

6.1 Tests de fonctionnement

Nous avons implémenté le modèle d'agent et le moteur décisionnel proposés en Python. Chaque agent fonctionne dans un thread différent, ce qui permet aux agents de fonctionner en parallèle.

Nous avons dans un premier temps testé le bon fonctionnement des agents utilisant le moteur décisionnel proposé en faisant varier le nombre d'agents considérés et la taille de l'arbre de tâches considéré. Pour cela nous avons généré aléatoirement des arbres abstraits de tâches comportant d'une dizaine à plus d'un millier de tâches, et observé, avec différents nombres d'agents, si les agents pouvaient mener à bien l'activité décrite dans l'arbre. Nous avons pu constater que les agents fonctionnent quand :

– Les agents sont peu nombreux dans l'environnement : cinq agents peuvent raisonner en temps interactif sur des arbres de tâches de taille conséquente (allant jusqu'à 1000 tâches environ).
– Les agents sont un peu plus nombreux, mais les arbres d'activité sont de taille réduite : sept agents peuvent raisonner en temps interactif sur des arbres ayant une vingtaine de tâches.

Au delà de sept agents, le moteur décisionnel de chaque agent ne fonctionne plus en temps interactif. Cependant cela correspond à nos objectifs : proposer un moteur décisionnel pour un agent autonome faisant partie d'une équipe de travail de petite taille et dont l'agent connait tous les membres.

©AFIA 2016

6.2 Évaluation Préliminaire

Nous avons également conduit une évaluation préliminaire portant sur la perception des comportements des agents par des observateurs humains.

Efficacité des agents. Nous avons d'abord voulu vérifier avec cette évaluation préliminaire que le modèle proposé permet de produire des agents aux comportements considérés comme appropriés en équipe aussi bien que des agents dont les comportements font d'eux des mauvais équipiers. L'intégrité étant le principal facteur d'influence sur l'importance qu'un agent accorde à son but collectif, nous avons fait les hypothèses suivantes :

H1 : une équipe d'agents intègres sera perçue comme efficace par les observateurs, alors qu'une équipe d'agents non-intègres sera perçue comme inefficace.

H2 : un agent intègre sera jugé par les observateurs comme participant au bon fonctionnement de l'équipe, ce qui ne sera pas le cas pour un agent non intègre.

Nous avons pour cela présenté à douze observateurs trois déclinaisons d'un même scénario où trois agents x, y et z doivent ranger leur bureau avant que leur chef n'arrive. La tâche collective *ranger le bureau* est décomposée en plusieurs sous-tâches : *accrocher le tableau*, *laver le sol*, *monter le bureau*, *cacher la machine à café* et *réparer l'ordinateur*. Les agents ont également la possibilité de *boire du café*, tâche qui correspond à un but personnel. Dans ce scénario, aucune compétence spécifique n'est requise. Dans une équipes où les relations entre agents sont neutres ($\forall i$ et $\forall j, b_{i,j} = 0.5$) nous avons fait varier l'intégrité des agents. Les trois déclinaisons du scénario sont les suivantes :

Variante 1 : tous les agents sont intègres (i.e. $i_x = i_y = i_z = 1$) ; et participent donc tous à la tâche collective.

Variante 2 : un seul agent x n'est pas intègre (i.e. $i_x = 0, i_y = i_z = 1$) et boit du café alors que les deux autres rangent le bureau.

Variante 3 : tous les agents ne sont pas intègres (i.e. $i_x = i_y = i_z = 0$) et boivent du café.

Pour chaque variante, la répartition des tâches entre les agents et leur enchainement étaient présentés aux observateurs sous forme de graphe. Puis deux affirmations étaient présentées aux observateurs, qui devaient indiquer à quel degré ils étaient d'accord avec ces affirmations sur une échelle de Likert à cinq niveaux (de 1 = *pas du tout d'accord* à 5 = *tout à fait d'accord*. La première affirmation concerne l'efficacité de l'équipe (A1 : *les agents forment une équipe efficace* ; et la seconde concerne le comportement d'un agent particulier dans l'équipe (A2 : *l'agent x contribue au bon fonctionnement de l'équipe*). Les résultats obtenus sont présentés dans le Tableau 1.

Pour tester nos hypothèses H1 et H2 nous avons appliqué deux tests ANOVA à un facteur sur (i) l'efficacité perçue de l'équipe (affirmation A1) et (ii) sur la participation au de l'agent x au bon fonctionnement de l'équipe (affirmation A2). Le facteur intra-sujet testé est dans les deux cas (i) et (ii) l'intégrité de l'ensemble des agents de l'équipe. Les résultats obtenus ((i) F(2,33) = 62, p < 0.05 et (ii) F(2,33) = 349, p < 0.05) montrent que les sujets ont une appréciation significativement différente de (i) l'efficacité de l'équipe et (ii) la participation de x au bon fonctionnement de l'équipe dans les trois variantes du scénario proposées. Pour vérifier que les sujets distinguent bien les variations des comportements des agents dans chacune de ces variantes, nous avons ensuite appliqué plusieurs comparaisons paire par paire avec le test de Bonferroni dont les résultats sont présentés dans le Tableau 2.

Variante	(i) A1	(ii) A2
1	m = 4.92, $\sigma = 0.29$	m = 4.83, $\sigma = 0.39$
2	m = 3.17, $\sigma = 1.19$	m = 1.00, $\sigma = 0.00$
3	m = 1.00, $\sigma = 0.00$	m = 1.17, $\sigma = 0.58$

TABLE 1 – Moyennes m et écarts types σ obtenus pour chacune des affirmations et chacune des variantes de rangement de bureau

Variantes	(i) A1	(ii) A2
1 et 2	t = 6.05	t = 23.36
1 et 3	t = 13.53	t = 22.34
2 et 3	t = 7.49	t = 1.0167

TABLE 2 – Valeurs t obtenues par les tests de Bonferroni sur chaque combinaison de variantes et sur (i) l'affirmation A1 et (ii) l'affimation A2.

Les différences dans l'évaluation (i) du comportement de l'équipe par les sujets sont donc fortement significatives pour toutes les variantes proposées. Les différences dans l'appréciation (ii) de comportement de l'agent x sont significatives dans les variantes 1 et 2, et 1 et 3 ; mais non significatives dans les variantes 2 et 3, ce qui était attendu puisque l'agent x a la même intégrité et se comporte de manière identique dans les deux variantes. Nos deux hypothèses H1 et H2 sont donc vérifiées. On peut néanmoins constater que l'efficacité perçue de l'équipe diminue significativement dès que l'un des agents n'est pas intègre.

Confiance. Nous avons ensuite cherché à vérifier que les observateurs pouvaient percevoir les relations de confiance entretenues entre les agents de par les comportements des agents. Nous nous sommes intéressés à la confiance en les compétences des autres, paramètre qui est essentiel dans le travail d'équipe. Notre formulons l'hypothèse suivante :

H3 : les sujets seront capables d'identifier le niveau de confiance d'un agent en les compétences d'un autre de par le comportement des agents.

Pour vérifier cette hypothèse, nous avons présenté un second scénario portant sur le sauvetage d'une victime par une équipe médicale formée par trois agents devant réaliser les tâches τ_1 = *préparer l'ambulance*, τ_2 = *faire les premiers soins* et τ_3 = *rassembler et transmettre les informations* sur la victime au centre médical. Leurs compétences sont les suivantes :

– Un agent ambulancier (agent a) est compétent pour faire τ_1, mais pas pour τ_2 et τ_3, i.e : $a_{a,\tau_1} = 1$, $a_{a,\tau_2} = a_{a,\tau_3} = 0$.

©AFIA 2016

Variante	(iii) A3	(iv) A4
1	m = 4.92, $\sigma = 0.29$	m = 4.92, $\sigma = 0.29$
2	m = 1.5, $\sigma = 0.91$	m = 3.08, $\sigma = 1.73$

TABLE 3 – Moyennes m et écarts types σ obtenus pour chacune des affirmations et chacune des variantes du scénario de sauvetage de victime

– Un agent infirmier (agent i) est compétent pour la tâche τ_2, mais pas τ_1 ni τ_3, i.e : $a_{i,\tau_2} = 1, a_{i,\tau_1} = a_{i,\tau_3} = 0$.
– Un agent médecin (agent m) est compétent pour toutes les tâches, i.e : $a_{m,\tau_1} = a_{m,\tau_2} = a_{m,\tau_3} = 1$.

Dans ce scénario, tous les agents sont intègres et ont des relations de bienveillance neutres. Les croyances des agents à propos de l'intégrité et la bienveillance des autres correspondent à la réalité (i.e. $\forall x, \forall y, \forall z, i_x = 1$, $b_{x,y} = 0.5$, $i^x_y = 1$ et $b^x_{y,z} = 0.5$). Seule la confiance qu'a le médecin en les compétences de ses équipiers varie :

Variante 1 : le médecin a confiance en les compétences de l'ambulancier et de l'infirmier (i.e. $a^m_{a,\tau_1} = a^m_{i,\tau_1} = 1$) et les laisse respectivement *préparer l'ambulance* et *faire les premiers soins* pendant qu'il s'occupe de *rassembler et transmettre les informations*.

Variante 2 : le médecin n'a pas confiance en les compétences de ses équipiers (i.e. $a^m_{a,\tau_1} = a^m_{i,\tau_1} = 0$), et commence par aider l'ambulancier pour *préparer l'ambulance*, puis aide l'infirmier à *faire les premiers soins* avant de *rassembler et transmettre les informations*.

Nous avons appliqué le même protocole expérimental que pour le premier scénario, et présenté aux sujets des affirmations portant sur la confiance du médecin (iii) en l'ambulancier (A3 : *Le médecin a confiance en l'ambulancier*) et (iv) en l'infirmier (A4 : *le médecin a confiance en l'infirmier*). Les résultats sont décrits dans le Tableau 3.

Nous avons appliqué des tests de Student sur (iii) la confiance perçue du médecin en l'ambulancier et (iv) la confiance perçue du médecin en l'infirmier. Les résultats ((iii) $p < 0.0001$ et (iv) $p = 0.004$) montrent que les différences d'appréciation entre les deux variantes sont significatives à $p < 0.01$. Notre hypothèse H3 est donc vérifiée. D'après les commentaires des participants, le fait que dans la seconde variante, la confiance du médecin en l'infirmier soit mieux jugée par les observateurs est dû au fait que le médecin aide d'abord l'ambulancier et ensuite l'infirmier.

Ces évaluations préliminaires nous ont permis de mettre en place un protocole qui pourra être utilisé pour une évaluation approfondie. Les scénarios utilisés sont très simples mais les résultats sont encourageants : nous arrivons à produire des "bons" et des "mauvais" comportements d'équipe, et les sujets sont capables de percevoir des variations de confiance d'un agent en les compétences d'un autre de par les comportements adoptés par les agents.

7 Conclusions

Nous avons proposé un modèle d'agent s'appuyant sur le modèle de confiance de [Mayer et al., 1995]. En s'inspirant de ce modèle, nous avons défini un moteur décisionnel qui permet aux agents de tenir compte de la confiance qu'ils ont en chacun des autres agents tout en raisonnant sur un arbre de tâches spécifié en ACTIVITY-DL et décrivant une activité collective. Dans un premier temps les agents calculent l'importance qu'ils accordent aux buts ; puis raisonnent récursivement sur un arbre de tâches ACTIVITY-DL pour calculer l'utilité des tâches et en choisir une. Nous avons implémenté le modèle proposé et vérifié son bon fonctionnement pour des petites équipes d'agents et sur des arbres de tâches de taille conséquente. Nous avons conduit une évaluation préliminaire qui nous a permis de vérifier que les sujets apprécient différemment les comportements des agents produits avec notre modèle ; notamment, les sujets évaluent différemment la confiance d'un agent en les compétences d'un autre selon le comportement du premier.

Remerciements

Ces travaux sont menés dans le cadre d'une thèse financée par la Direction Générale de l'Armement (DGA) et le Labex MS2T, lui même financé par le gouvernement français au travers du programme Investissements d'avenir géré par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR - référence ANR-11-IDEX-0004-02). Les auteurs ont également bénéficié du soutient du projet INCREDIBLE financé par la région Picardie et le Fonds européen de développement régional (FEDER 2014/2020).

Références

[Barot, 2014] Barot, C. (2014). *Scénarisation d environnements virtuels. Vers un équilibre entre contrôle, cohérence et adaptabilité*. PhD thesis, Université de Technologie de Compiègne.

[Castelfranchi and Falcone, 2001] Castelfranchi, C. and Falcone, R. (2001). Social Trust : A Cognitive Aproach. *J. Pitt. London : Wiley*.

[Gerbaud et al., 2007] Gerbaud, S., Mollet, N., and Arnaldi, B. (2007). Virtual environments for training : from individual learning to collaboration with humanoids. In *Technologies for E-Learning and Digital Entertainment*, pages 116–127. Springer.

[Marsh, 1994] Marsh, S. P. (1994). Formalising Trust as Computational Concept.

[Mayer et al., 1995] Mayer, R. C., Davis, J. H., and Schoorman, F. D. (1995). An Integrative Model of Organizational Trust. *The Academy of Management Review*, 20(3) :709.

[Querrec et al., 2003] Querrec, R., Buche, C., Maffre, E., and Chevaillier, P. (2003). Securevi : virtual environments for fire-fighting training. In *5th virtual reality international conference (VRIC03)*, pages 169–175.

[Sanselone et al., 2014] Sanselone, M., Sanchez, S., Sanza, C., Panzoli, D., and Duthen, Y. (2014). Constrained control of non-playing characters using Monte Carlo Tree Search. In *Computational Intelligence and Games (CIG), 2014 IEEE*, pages 1–8.

©AFIA 2016

Vérification de la cohérence des multi-réseaux de contraintes qualitatives

Quentin Cohen-Solal Maroua Bouzid Alexandre Niveau

GREYC-CNRS, Université de Caen, France

{quentin.cohen-solal, maroua.bouzid-mouaddib, alexandre.niveau}@unicaen.fr

Résumé

Nous étudions le problème de la vérification de la cohérence de réseaux de contraintes dans le cadre de combinaisons de formalismes qualitatifs. En nous inspirant des principes de « l'intégration lâche », nous proposons un cadre formel pour l'étude de multi-réseaux de contraintes qualitatives, dans lesquels les relations entre variables peuvent provenir de plusieurs algèbres de relations différentes. Nous identifions des conditions suffisantes assurant la traitabilité de la vérification de la cohérence des multi-réseaux sur une sous-classe, et appliquons ces résultats au raisonnement temporel multi-échelle qualitatif.

Mots-clefs

Réseaux de contraintes qualitatives, Raisonnement multi-échelle, Intégration lâche, Sous-classe traitable.

Abstract

We study the problem of checking the consistency of constraint networks over combined qualitative formalisms. Building upon the principles of "loose integration", we propose a framework for studying qualitative constraint multi-networks, in which relations between variables can be taken from several different algebras. We identify sufficient conditions ensuring the tractability of deciding whether a multi-network over a subclass is consistent, and we apply these results to multi-scale temporal reasoning.

Keywords

Qualitative constraint networks, Multi-scale reasoning, Loose integration, Tractable subclass.

1 Introduction

Le raisonnement sur le temps et l'espace est omniprésent dans la vie quotidienne. Les ordinateurs peuvent être dotés de ce raisonnement grâce à des approches quantitatives ; cependant, dans le contexte des interactions homme-machine, les informations quantitatives sont souvent indisponibles ou inexploitables. C'est pourquoi la recherche s'intéresse aux approches *qualitatives* du raisonnement sur le temps et l'espace, dans le contexte de l'intelligence artificielle mais également dans ceux des systèmes d'informations géographiques, des bases de données et du multimédia [7]. Plusieurs travaux récents se concentrent sur la combinaison d'approches qualitatives ; une des combinaisons les plus étudiées est *l'intégration lâche* [7, Ch. 15].

Le *raisonnement multi-échelle*, c'est-à-dire la capacité de raisonner à différents niveaux de détails, est lui aussi fondamental à l'intelligence humaine [5]. Il permet de traiter une forme particulière d'incertitude, l'*indistinguabilité* (par exemple, à l'échelle des minutes, toutes les secondes de la même minute sont considérées comme identiques), ainsi que la hiérarchisation des données et les problématiques de conversion des informations d'une échelle à une autre. Le raisonnement multi-échelle a été étudié dans le cadre temporel et spatial [3, 6, 1].

Les intégrations lâches et les représentations multi-échelles peuvent être vues comme des *multi-réseaux de contraintes qualitatives* : dans les deux cas, une relation d'un des réseaux peut imposer une relation entre les mêmes variables dans chaque autre réseau. Nous proposons un cadre formel pour l'étude de tels multi-réseaux, en particulier dans le contexte de la vérification de la cohérence, tâche fondamentale pour le raisonnement qualitatif. Plus précisément, nous identifions des conditions suffisantes pour que la *clôture algébrique* généralisée d'un réseau implique l'existence d'un *scénario algébriquement clos* : c'est une condition nécessaire pour sa cohérence qui est aussi suffisante pour certains formalismes. Cela permet de trouver des sous-classes polynomiales pour la vérification de la cohérence.

Nous commençons par rappeler les concepts fondamentaux des formalismes temporels et spatiaux, puis nous présentons l'intégration lâche. La section 3 introduit notre cadre formel pour l'analyse des multi-réseaux de contraintes qualitatives, et en section 4 nous étudions leur traitabilité et illustrons nos résultats en les appliquant à la combinaison « taille-topologie ». Enfin, nous présentons brièvement le raisonnement multi-échelle qualitatif et identifions, grâce à notre cadre formel, des sous-classes traitables maximales des formalismes temporels multi-échelles qualitatifs.

2 Contexte

2.1 Formalismes qualitatifs

Dans le cadre du raisonnement qualitatif sur le temps et l'espace, on s'intéresse en particulier à la vérification de la cohérence de descriptions temporelles et spatiales, prenant

©AFIA 2016

la forme de *relations* entre des *entités* temporelles ou spatiales d'un ensemble U. Chaque relation est un ensemble de relations *basiques* provenant d'un ensemble $\mathcal{B}$ (de relations exhaustives et deux à deux disjointes) : cela permet de représenter une ambiguïté sur la relation basique réelle. L'ensemble de toutes les relations forme une algèbre non-associative $\mathcal{A} = 2^{\mathcal{B}}$ [7, Ch. 11]. Dans la suite, nous ne faisons pas la distinction entre une relation basique et un ensemble ne contenant qu'une seule relation basique. Il y a plusieurs opérateurs sur les relations de $\mathcal{A}$: l'*inverse* d'une relation r, notée $\bar{r}$, la composition faible de r_1 et r_2, notée $r_1 \diamond r_2$, et l'*intersection* de r_1 et r_2, notée $r_1 \cap r_2$.

Une description temporelle ou spatiale peut être modélisée par un *réseau de contraintes qualitatives* – un graphe dont les nœuds sont des entités et dont chaque arc est étiqueté avec une relation de $\mathcal{A}$. Plus formellement, un réseau de contraintes qualitatives N sur un ensemble de relations $\mathcal{S} \subseteq 2^{\mathcal{B}}$ est un couple $N = (\mathtt{E}, \mathtt{C})$ où $\mathtt{E}$ est un ensemble fini de variables d'entités de U et $\mathtt{C}$ est un ensemble de *contraintes sur* $\mathcal{S}$, chacune étant un triplet (x, r, y), avec $x \neq y \in \mathtt{E}$ et $r \in \mathcal{S}$. Dans cet article, les réseaux de contraintes sont normalisés, c'est-à-dire qu'ils contiennent exactement une contrainte pour chaque couple (x, y), notée N_{xy}, et qu'ils vérifient $N_{xy} = \overline{N_{yx}}$. Si N_{xy} est l'ensemble $\mathcal{B}$ entier, le réseau n'impose en fait aucune contrainte entre les deux entités. On dit qu'un réseau N *affine* un autre réseau N' si on a la propriété $\forall x, y \in \mathtt{E},\ N_{xy} \subseteq N'_{xy}$, que l'on note $N \subseteq N'$.

Quand un réseau de contraintes N est associé à un formalisme qualitatif [7, Ch. 11], une *solution* de N est un ensemble $\{u_x\}_{x \in \mathtt{E}} \subseteq U$ tel que $\forall x, y \in \mathtt{E}, (u_x, u_y) \in \varphi(N_{xy})$, où φ associe chaque relation r de l'algèbre à l'ensemble de tous les couples d'entités satisfaisant r, appelé son *interprétation*. Un problème fondamental est de déterminer si un réseau de contraintes a au moins une solution, auquel cas il est dit *cohérent*. À chaque solution d'un réseau N correspond un unique *scénario* de N, c'est-à-dire un réseau $S \subseteq N$ vérifiant $\forall x, y \in \mathtt{E},\ S_{xy} \in \mathcal{B}$. Trouver une solution d'un réseau N revient à trouver un scénario cohérent S de N, puisque toute solution de S est une solution de N. Vérifier la cohérence d'un réseau étant un problème NP-complet pour de nombreux formalismes [7, Ch. 4], de nombreux travaux portent sur l'identification de *sous-classes traitables* [7, Ch. 4], qui sont des ensembles $\mathcal{S} \subseteq 2^{\mathcal{B}}$ clos par les trois opérateurs, tels qu'il est polynomial de décider de la cohérence de tout réseau sur $\mathcal{S}$.

Un réseau de contraintes est *algébriquement clos* si pour tous $x, y, z \in \mathtt{E}$, on a $N_{xz} \subseteq N_{xy} \diamond N_{yz}$. La *clôture algébrique* d'un réseau est le réseau algébriquement clos ayant les mêmes solutions ; on peut la calculer (en temps polynomial) en remplaçant itérativement chaque N_{xz} par $(N_{xy} \diamond N_{yz}) \cap N_{xz}$ jusqu'à atteindre un point fixe. Si le réseau résultant ne contient aucune contrainte vide, il est dit *chemin-cohérent* ou $\diamond$-*cohérent*. Notons qu'il existe des formalismes qualitatifs dont certains scénarios algébriquement clos ne sont pas cohérents [7, Ch. 9], mais lorsqu'ils le sont tous, la cohérence d'un réseau peut être décidée en cherchant un scénario algébriquement clos, via des méthodes de *backtrack* basées sur la clôture algébrique [7, Ch. 2]. Pour certaines sous-classes, tout réseau chemin-cohérent est cohérent, il n'y a donc pas besoin de *backtrack* : ces sous-classes traitables sont d'un grand intérêt pratique.

2.2 Intégration lâche

Des travaux récents se sont concentrés sur *l'intégration lâche* de deux formalismes qualitatifs et leur *bi-réseaux de contraintes* (couples de réseaux ayant des interdépendances) [7, Ch. 15] ; un bi-réseau est cohérent s'il existe une même solution pour les deux réseaux. La chemin-cohérence a été généralisée en *bi-chemin-cohérence* [4], qui s'obtient en appliquant la clôture algébrique aux deux réseaux tout en propageant simultanément leurs interdépendances. Des sous-classes pour lesquelles la bi-chemin-cohérence implique la cohérence ont été trouvées pour plusieurs combinaisons de formalismes [4, 2].

3 Formalisme pour les multi-réseaux

Nous introduisons maintenant nos multi-réseaux, qui sont simplement des réseaux sur des *multi-algèbres*, et constituent la structure des intégrations lâches et des représentations multi-échelles. Notre cadre formel prend un point de vue algébrique, car la notion de « cohérence » ne peut être définie de manière unifiée pour les intégrations lâches *et* les représentations multi-échelles, alors qu'en revanche le concept de *scénario algébriquement clos* est utile pour toute combinaison dans les deux cas, et est en pratique souvent équivalent à une solution. Ainsi, nous nous focalisons sur le problème de décider si un réseau est *scénarisable*, c'est-à-dire, s'il contient un scenario algébriquement clos.

3.1 Multi-algèbres et multi-réseaux

Cette section introduit les blocs de base de notre cadre formel, en commençant par les multi-algèbres, qui sont des produits cartésiens d'algèbres, associés à des opérateurs de projection représentant les interdépendances de leurs relations, en associant à chaque relation de chaque formalisme les relations correspondantes dans les autres.

Définition 1. Une *multi-algèbre* $\mathcal{A}$ est le produit cartésien de m algèbres $\mathcal{A}_1, \ldots, \mathcal{A}_m$ (avec $m \in \mathbb{N}^*$), équipé de m^2 *opérateurs de projection* $\pr{i}{j} : \mathcal{A}_i \to \mathcal{A}_j$ (pour tous $i, j \in \{1, \ldots, m\}$) qui doivent satisfaire :

(i) $\forall b \in \mathcal{B}_i,\ \overline{\pr{i}{j} b} = \pr{i}{j} \bar{b}$,

(ii) $\forall b \in \mathcal{B}_i,\ \pr{i}{i} b = b$,

(iii) $\forall (b, b') \in \mathcal{B}_i \times \mathcal{B}_j,\ b' \in \pr{i}{j} b \iff b \in \pr{j}{i} b'$,

(iv) $\forall r \subseteq \mathcal{B}_i,\ \pr{i}{j} r = \bigcup_{b \in r} \pr{i}{j} b$, et

(v) $\forall r \subseteq \mathcal{B}_i, \forall k \in \{1, \ldots, m\}, \pr{i}{j} r \subseteq \pr{k}{j} \pr{i}{k} r$.

Les relations R de $\mathcal{A}$ sont multi-dimensionnelles ; R^i désigne la relation associée à $\mathcal{A}_i$ dans R. La multi-algèbre est

©AFIA 2016

aussi équipée de 3 opérateurs sur ses relations : composition $\diamond$, intersection $\cap$, et inversion $\breve{\cdot}$, chacun fonctionnant composante par composante (p. ex. $(R_1 \diamond R_2)^i = R_1^i \diamond R_2^i$). Une relation R d'une multi-algèbre est dite *basique* si elle appartient à l'ensemble $\mathcal{B} = \mathcal{B}_1 \times \ldots \times \mathcal{B}_m$ (c'est-à-dire que toutes les R^i sont basiques). Pour deux relations R_1 et R_2, on écrit $R_1 \subseteq R_2$ si elles vérifient $\forall i, R_1^i \subseteq R_2^i$.

Les propriétés requises pour les opérateurs de projection sont naturelles ; elles ne sont pas restrictives, et devraient en effet être satisfaites par n'importe quelle intégration lâche. Notons que les multi-algèbres généralisent les algèbres classiques, puisqu'une algèbre peut toujours être implicitement vue comme le produit cartésien d'une seule algèbre, avec la fonction identité comme opérateur de projection (le seul choix respectant toutes les hypothèses). D'autre part, une multi-algèbre est en fait une algèbre (équipée d'opérateurs additionnels pour la projection).

Exemple 2. La multi-algèbre de la combinaison de la topologie et de la taille qualitative [4] est le produit cartésien de l'algèbre de RCC-8 et de l'algèbre des points, avec leurs opérateurs d'interdépendance comme projections. En notant $\mathcal{B}_{\text{RCC8}} = \{\text{DC}, \text{EC}, \text{PO}, \text{EQ}, \text{TPP}, \text{NTPP}, \overline{\text{TPP}}, \overline{\text{NTPP}}\}$ et $\mathcal{B}_{\text{PA}} = \{<, =, >\}$, alors la multi-algèbre est $\text{RCC8} \times \text{PA} = 2^{\mathcal{B}_{\text{RCC8}}} \times 2^{\mathcal{B}_{\text{PA}}}$. Par exemple, $(\text{TPP}, \leq)$ est une relation de cette multi-algèbre, et $\Pi^{\text{PA}}_{\text{RCC8}}\,\text{TPP} = \{<\}$ est la projection de TPP (puisqu'une région strictement incluse dans une autre a nécessairement une taille plus petite).

Les formalismes d'une combinaison ne sont pas indépendants : une relation d'un formalisme ne peut pas nécessairement être combinée avec n'importe quelle relation d'un autre formalisme. Ces interdépendances sont représentées dans la multi-algèbre par les opérateurs de projection. Plus précisément, s'il existe i, j tels que $R^i \cap \Pi^i_j R^j = \varnothing$, alors R est *incohérente*, dans le sens où elle ne peut avoir d'interprétation pour aucune combinaison de formalismes ayant ces interdépendances. Il est ainsi possible de tester si une relation R d'une multi-algèbre est incohérente en la clôturant par les projections, c'est-à-dire en propageant les interdépendances. Cette clôture retire uniquement des relations basiques *incohérentes* ; si une des composantes de R devient l'ensemble vide, on conclut que R est incohérente.

Définition 3. Soit R une relation d'une multi-algèbre ; la *clôture par projection totale* de R, notée $\Uparrow(R)$, est obtenue à partir de R en remplaçant itérativement chaque R^j par $\Pi^j_i R^i \cap R^j$ pour chaque (i, j) jusqu'à ce qu'un point fixe soit atteint. Lorsque $R = \Uparrow(R)$, on dit que R est *$\Uparrow$-close* ; lorsque R est $\Uparrow$-close et qu'elle vérifie $\nexists i \colon R^i = \varnothing$, on dit que R est *$\Uparrow$-cohérente*.

Dans l'exemple 2, la projection totale de $(\text{TPP}, \leq)$ est $\Uparrow(\text{TPP}, \leq) = (\text{TPP}, <)$. Notons qu'une relation *basique* non $\Uparrow$-close (ou de manière équivalente, non $\Uparrow$-cohérente), est nécessairement incohérente : sa projection totale génère l'ensemble vide. Les relations basiques $\Uparrow$-closes constituent ainsi des relations fondamentales de la multi-algèbre.

Définition 4. Une *relation élémentaire* d'une multi-algèbre $\mathcal{A}$ est une relation basique $\Uparrow$-close de $\mathcal{A}$. Une relation R de $\mathcal{A}$ est *élémentarisable* s'il existe une relation élémentaire B telle que $B \subseteq R$.

Toute relation cohérente est élémentarisable, mais ce n'est pas le cas des relations quelconques, même $\Uparrow$-cohérentes. Cependant, pour certains formalismes, toute relation $\Uparrow$-cohérente est élémentarisable : c'est notamment le cas pour toute combinaison de deux formalismes (voir section 3.2). Les concepts associés aux multi-algèbres ayant été introduits, nous pouvons simplement définir les *multi-réseaux de contraintes qualitatives* comme des réseaux de contraintes qualitatives classiques sur des multi-algèbres, c'est-à-dire que les relations entre les variables d'entités sont des relations multi-dimensionnelles. Prenons l'exemple informel d'une algèbre $\mathcal{A}$ à 4 dimensions, avec des relations multi-échelles directionnelles $(\mathcal{A}_1, \mathcal{A}_2)$, des relations topologiques $(\mathcal{A}_3)$ et des relations de taille $(\mathcal{A}_4)$. On peut définir un réseau N sur $\mathcal{A}$ avec 3 entités A, B, C en spécifiant les contraintes suivantes : A (égal, sud ou égal, partie propre, $<$) B, B (est ou égal, égal, chevauchement, $\leq$) C, et A (égal ou est, sud ou nord, disjoint ou égal, $\leq$) C. On peut voir N de manière équivalente comme un tuple de réseaux classiques sur chaque $\mathcal{A}_i$, comme montré dans la figure 1, et formalisé dans la définition suivante.

Définition 5. Soit $N = (\mathtt{E}, \mathtt{C})$ un réseau sur une multi-algèbre $\mathcal{A}$. La *restriction de N à $\mathcal{A}_i$*, notée N^i, est le réseau $(\mathtt{E}, \mathtt{C}_i)$ où $\mathtt{C}_i = \{(x, R^i, y) : (x, R, y) \in \mathtt{C}\}$.

Nous définissons les propriétés-clés des multi-réseaux.

Définition 6. Un réseau N est *non trivialement incohérent* s'il vérifie $\forall i \forall x, y \in \mathtt{E},\ N^i_{xy} \neq \varnothing$. Il est *algébriquement clos* si $\forall x, y, z \in \mathtt{E},\ N_{xz} \subseteq N_{xy} \diamond N_{yz}$ et $N_{xy} = \Uparrow N_{xy}$. Il est *algébriquement cohérent* s'il est algébriquement clos et non trivialement incohérent. Enfin, N est *scénarisable* s'il existe un scénario S algébriquement clos tel que $S \subseteq N$.

Sur une multi-algèbre, être algébriquement clos est être clos par composition *et* par projection ; cela généralise proprement le cadre classique, puisque toute relation d'une algèbre monodimensionnelle est $\Uparrow$-close (l'unique opérateur de projection possible est la fonction identité). La scénarisabilité est une condition nécessaire pour la cohérence qui est aussi suffisante pour certains formalismes, et qui peut être vue comme une version purement algébrique de la cohérence. Évidemment, chaque relation d'un réseau scénarisable est élémentarisable. Dans cet article, nous nous focalisons sur la vérification de la scénarisabilité : il est clair que lorsqu'il est polynomial de décider si un réseau est scénarisable, et que chaque scénario algébriquement clos est cohérent, alors la vérification de la cohérence est polynomiale. Notre « cohérence algébrique » généralise la bichemin-cohérence, et fonctionne de la même façon – c'est une condition nécessaire pour la scénarisabilité qui peut être utilisée pour filtrer des réseaux incohérents.

©AFIA 2016

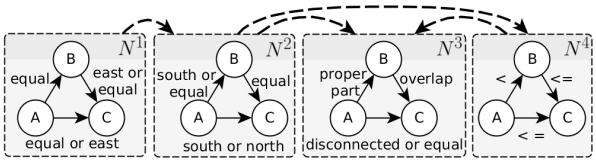


FIGURE 1 – Les quatre restrictions du multi-réseau N défini dans le texte, c'est-à-dire N vu comme un tuple de réseaux classiques. Le graphe donné par les flèches en pointillés est une hiérarchie de la multi-algèbre (définition 8)

Par exemple, considérons le réseau suivant sur RCC8 $\times$ PA avec uniquement deux régions x et y : x (TPP, $>$) y, c'est-à-dire que x TPP y et $x > y$. Il n'est pas algébriquement clos, car il n'est pas clos par projection : sa clôture est x $(\varnothing, \varnothing)$ y, puisque l'on a $\Pi^{\mathrm{PA}}_{\mathrm{RCC8}}(\mathrm{TPP}) = \{<\}$ et $\Pi^{\mathrm{RCC8}}_{\mathrm{PA}}(>) = \{\overline{\mathrm{TPP}}, \overline{\mathrm{NTPP}}, \mathrm{DC}, \mathrm{EC}, \mathrm{PO}\}$. Ainsi, le réseau n'est pas scénarisable (et n'est donc pas cohérent).

3.2 Sous-classes et projections partielles

Puisque la vérification de la cohérence est souvent NP-complète, nous procédons comme dans le cadre classique et considérons des *sous-classes* de multi-algèbres.

Définition 7. Une *sous-classe* $\mathcal{S}$ d'une multi-algèbre $\mathcal{A}$ est un sous-ensemble de relations de $\mathcal{A}$ qui est clos par composition, intersection, et inversion. Nous notons par $\mathcal{N}^{\mathcal{S}}$ l'ensemble des réseaux sur $\mathcal{S}$. Nous définissons la *sous-classe restreinte* $\mathcal{S}_i$ de la sous-classe $\mathcal{S}$ comme l'ensemble $\{R^i : R \in \mathcal{S}\}$. Une *sous-algèbre* $\mathcal{S}$ d'une multi-algèbre $\mathcal{A}$ est une sous-classe de $\mathcal{A}$ contenant toutes les relations basiques : $\mathcal{B}_{\mathcal{A}} \subseteq \mathcal{S}$.

Par exemple, en considérant H_8 la sous-algèbre classique de RCC8 [4], $\mathrm{H}_8 \times$ PA est une sous-algèbre de RCC8 $\times$ PA. Notons que toute sous-classe $\mathcal{S}$ est un sous-ensemble du produit cartésien de ses sous-classes restreintes, $\mathcal{S}_1 \times \cdots \times \mathcal{S}_m$, qui est lui-même une sous-classe. La notion de sous-classe restreinte va nous servir à transférer sur les multi-algèbres les propriétés de traitabilité du cadre classique. Les sous-algèbres sont des sous-classes particulièrement intéressantes car tous les scénarios d'une multi-algèbre sont des scénarios de ses sous-algèbres. De plus, les sous-classes les plus étudiées sont des sous-algèbres [7].
Il est important de noter que, bien que les sous-classes soient closes par les trois opérateurs classiques, elles ne le sont pas nécessairement par projection totale. Cette hypothèse est en effet très restrictive, et peu de combinaisons de sous-classes classiques la satisfont. Cependant, elle n'est en fait pas nécessaire pour la vérification de la scénarisabilité, qui ne nécessite pas l'application de *tous* les opérateurs de projection. Nous définissons donc la *clôture par projection partielle*, pour laquelle un opérateur de projection n'est appliqué que s'il est « autorisé » par une *hiérarchie* sur les algèbres.

Définition 8. Une *hiérarchie* $\mathfrak{h}$ d'une multi-algèbre $\mathcal{A}$ est un graphe simple orienté dont les m nœuds sont les $\mathcal{A}_i$. On écrit $\mathcal{A}_i \xrightarrow{\mathfrak{h}} \mathcal{A}_j$ ou $(i,j) \in \mathfrak{h}$ si $\mathfrak{h}$ contient un arc de $\mathcal{A}_i$ vers $\mathcal{A}_j$. La *clôture par projection partielle* d'une relation $R \in \mathcal{A}$ par $\mathfrak{h}$, notée $\triangle_{\mathfrak{h}}(R)$, est obtenue à partir de R en remplaçant itérativement R^j par $\Pi^j_i R^i \cap R^j$ pour chaque $(i,j) \in \mathfrak{h}$ jusqu'à ce qu'un point fixe soit atteint. Les notions de relations $\triangle_{\mathfrak{h}}$-*closes* et $\triangle_{\mathfrak{h}}$-*cohérentes* sont directement adaptées de $\Diamond$.

Une projection partielle $\triangle_{\mathfrak{h}}$ applique tous les opérateurs de projection possibles dans les directions données par la hiérarchie $\mathfrak{h}$ (voir figure 1 pour un exemple de hiérarchie). Bien sûr, toutes les projections partielles ne sont pas intéressantes. Si elles ne closent pas au moins les relations *basiques* par projection totale, elles ne peuvent être utilisées pour décider l'élémentarisabilité et la scénarisabilité. Nous définissons ainsi l'ensemble $\mathcal{P}_{\mathcal{S}}$ des projections partielles « utiles » pour $\mathcal{S}$ comme suit : $\mathcal{P}_{\mathcal{S}} = \mathcal{P}_{\mathcal{B}_{\mathcal{S}}} = \{\triangle_{\mathfrak{h}} : \forall B \in \mathcal{B}_{\mathcal{S}}, \triangle_{\mathfrak{h}}(B) = \Diamond(B)\}$. La hiérarchie d'une projection partielle $\triangle$ de $\mathcal{P}_{\mathcal{S}}$ sera notée $\mathfrak{h}_{\triangle}$. Remarquons que $\mathcal{P}_{\mathcal{S}}$ contient toujours la projection partielle $\triangle_{\mathfrak{h}}$ avec $\mathfrak{h}$ le graphe complet, qui est équivalente à la projection totale $\Diamond$. C'est important à cause du résultat suivant : si on retire n'importe quel arc de la hiérarchie d'un $\triangle \in \mathcal{P}_{\mathcal{S}}$, tant qu'il y a encore au moins un arc entre deux algèbres, alors la projection partielle correspondante $\Diamond$-clôt toujours les relations basiques.

Proposition 9. *Soit $\triangle \in \mathcal{P}_{\mathcal{A}}$ pour un certain $\mathcal{A}$. Si $\mathfrak{h}'$ est un sous-graphe couvrant de $\mathfrak{h}_{\triangle}$ vérifiant $(i,j) \in \mathfrak{h}_{\triangle} \vee (j,i) \in \mathfrak{h}_{\triangle} \implies (i,j) \in \mathfrak{h}' \vee (j,i) \in \mathfrak{h}'$, alors $\triangle_{\mathfrak{h}'} \in \mathcal{P}_{\mathcal{A}}$.*

Démonstration. Soit B une relation basique $\triangle_{\mathfrak{h}'}$-cohérente. Si $\mathcal{A}_i \xrightarrow{\mathfrak{h}'} \mathcal{A}_j$ alors $B^j \subseteq \Pi^j_i B^i$, donc $B^i \subseteq \Pi^i_j B^j$ puisque B^i et B^j sont basiques (déf. 1), et ainsi B est $\triangle_{\mathfrak{h}}$-cohérente. Par conséquent, B est $\Diamond$-cohérente, et donc $\triangle_{\mathfrak{h}'} \in \mathcal{P}_{\mathcal{A}}$. □

On peut ainsi *choisir* une direction de projection pour chaque paire d'algèbres ; la projection partielle résultante est forcément dans $\mathcal{P}_{\mathcal{A}}$. Par exemple, pour une bi-algèbre, $\mathcal{P}_{\mathcal{A}_1 \times \mathcal{A}_2}$ contient toujours trois projections, à savoir la projection totale et les deux projections partielles d'une des algèbres vers l'autre. Dans le cas de la combinaison taille-topologie, si on considère la hiérarchie $\mathfrak{ts}$ de la topologie (RCC-8) vers la taille (PA), alors par la proposition 9, la projection partielle $\triangle_{\mathfrak{ts}}$ appartient à $\mathcal{P}_{\mathrm{RCC8}\times\mathrm{PA}}$. Plus généralement, quand on étudie une sous-classe $\mathcal{S}$, la proposition 9 permet *d'éviter* les projections Π^j_i qui produisent des relations en dehors de $\mathcal{S}$. Il est ainsi possible de construire des projections partielles $\triangle \in \mathcal{P}_{\mathcal{S}}$ vérifiant $\forall R \in \mathcal{S}$, $\triangle(R) \in \mathcal{S}$, auquel cas la sous-classe $\mathcal{S}$ est dite $\triangle$-*close*.
Pour finir cette section, nous nous focalisons sur l'élémentarisabilité des relations, et plus précisément sur les cas où la $\triangle$-cohérence implique l'élémentarisabilité. Notre premier résultat concerne les relations des bi-algèbres.

Lemme 10. *Soit $\mathfrak{h}$ la hiérarchie $\mathcal{A}_1 \xrightarrow{\mathfrak{h}} \mathcal{A}_2$. Si une relation $R = (R^1, R^2)$ de $\mathcal{A}_1 \times \mathcal{A}_2$ est $\triangle_{\mathfrak{h}}$-cohérente, alors pour toute $b \in R^2$, il existe $b' \in R^1$ telle que (b', b) est $\Diamond$-cohérente (et R est donc élémentarisable).*

©AFIA 2016

Démonstration. Soit R une relation $\triangle_{\mathfrak{h}}$-cohérente : $\varnothing \subsetneq R^2 \subseteq \Pi_1^{\uparrow 2} R^1 = \bigcup_{b' \in R^1} \Pi_1^{\uparrow 2} b'$. Pour toute $b \in R^2$, il existe $b' \in R^1$ telle que $b \in \Pi_1^{\uparrow 2} b'$, donc $b' \in \Pi_2^{\uparrow 1} b$ (déf. 1), et donc (b', b) est $\Updownarrow$-close. □

Ainsi, par exemple, toute relation $\triangle_{\mathfrak{ts}}$-cohérente de RCC8 $\times$ PA est élémentarisable. La proposition suivante montre que c'est aussi le cas des relations $\Updownarrow$-cohérentes.

Proposition 11. *Soit $\mathfrak{h}$ et $\mathfrak{h}'$ deux hiérarchies d'une multi-algèbre. Si $\mathfrak{h}$ est un sous-graphe de $\mathfrak{h}'$ alors toute relation $\triangle_{\mathfrak{h}'}$-cohérente est $\triangle_{\mathfrak{h}}$-cohérente.*

Le résultat suivant est une généralisation du lemme 10 pour les relations de n'importe quelle multi-algèbre. Il illustre l'influence de la structure de la hiérarchie sur les propriétés des projections associées.

Proposition 12. *Soit $\triangle \in \mathcal{P}_{\mathcal{A}}$. Si $\mathfrak{h}_{\triangle}$ est une anti-arborescence* [1]*, alors toute relation $\triangle$-cohérente est élémentarisable.*

Démonstration. Soit R une relation $\triangle$-cohérente ; on prouve que R est élémentarisable. Soit $\mathcal{A}_i$ l'algèbre racine de $\mathfrak{h}_{\triangle}$, et soit $b_i \in R^i$. Pour chaque algèbre $\mathcal{A}_j$ telle que $\mathcal{A}_j \xrightarrow{\mathfrak{h}_{\triangle}} \mathcal{A}_i$, il existe $b_j \in R^j$ telle que la relation (b_j, b_i) est $\Updownarrow$-cohérente (lemme 10). On peut, de façon similaire, trouver une relation basique pour chaque R^k telle que $\mathcal{A}_k \xrightarrow{\mathfrak{h}_{\triangle}} \mathcal{A}_j$, et ainsi récursivement pour toutes les relations : il ne peut y avoir aucun conflit, comme il y a exactement un chemin de n'importe quelle algèbre vers la racine. Cela prouve que l'on peut trouver une relation élémentaire dans R. □

3.3 Filtres de réseaux

Comme expliqué dans la section 2.1, la clôture algébrique est souvent utilisée comme un outil pour aider à vérifier la cohérence d'un réseau ; une manière courante de prouver qu'une sous-classe $\mathcal{S}$ est traitable est de montrer que les réseaux sur $\mathcal{S}$ qui sont $\diamond$-cohérents sont cohérents. Appliquer cette idée aux multi-réseaux, pour trouver des sous-classes dont les réseaux *algébriquement cohérents* sont cohérents, n'est pas direct. En effet, comme expliqué dans la section précédente, les sous-classes ne sont pas toujours closes par projection – nous avons besoin des opérateurs de projection partielle. De plus, bien qu'il soit polynomial de clore algébriquement un multi-réseau, ce n'est pas nécessairement efficace en pratique : atteindre le point fixe est plus long que dans le cadre classique (puisque clore le réseau par projection ne préserve pas la clôture par composition, et *vice versa*). Ainsi, voyant la clôture algébrique comme un opérateur qui « filtre » un réseau pour retirer des incohérences, nous généralisons le concept en introduisant les *filtres de réseaux*, qui retirent des relations basiques des contraintes tout en préservant les solutions du réseau.

Définition 13. Soit $\mathcal{A}$ une multi-algèbre. Un *filtre de réseaux* est une fonction $f : \mathcal{N}^{\mathcal{A}} \to \mathcal{N}^{\mathcal{A}}$ vérifiant

(i) $\forall N \in \mathcal{N}^{\mathcal{A}}, f(N) \subseteq N$;
(ii) $\forall N_1, N_2 \in \mathcal{N}^{\mathcal{A}}, N_1 \subseteq N_2 \implies f(N_1) \subseteq f(N_2)$; et
(iii) pour tout scénario algébriquement clos S sur $\mathcal{A}$, $f(S) = S$.

Les filtres les plus importants et naturels sont le *filtre de composition* $\diamond(N)$, qui applique la clôture algébrique classique simultanément sur chaque N^i (c'est-à-dire qu'il remplace itérativement N_{xz} par $N_{xy} \diamond N_{yz} \cap N_{xz}$, pour chaque $x, y, z \in \mathrm{E}$, jusqu'à atteindre un point fixe), et le *filtre de projection* $\triangle(N)$, qui clôt par projection (partielle ou totale, en fonction de $\triangle$) chaque relation de N (c'est-à-dire qu'il remplace chaque N_{xy} par $\triangle(N_{xy})$). Puisqu'un réseau filtré $f(N)$ ne peut contenir de relation vide que si le réseau original N n'est pas scénarisable, les filtres permettent un mécanisme sain mais incomplet pour vérifier la scénarisabilité. C'est pourquoi nous les voyons comme une généralisation de la clôture algébrique, et adaptons en conséquence les concepts associés.

Définition 14. Un réseau N est dit *f-clos* si $f(N) = N$, et *f-cohérent* s'il est f-clos et non trivialement incohérent. Une sous-classe $\mathcal{S}$ est f-close si $\forall N \in \mathcal{N}^{\mathcal{S}}, f(N) \in \mathcal{N}^{\mathcal{S}}$.

En d'autres termes – en remarquant qu'un filtre retire certaines relations basiques n'appartenant à aucun scénario algébriquement clos – un réseau est dit cohérent par rapport à un filtre si toutes les relations *détectables par le filtre* ont déjà été retirées. Notons que bien que les filtres $\diamond$ et $\triangle$ sont des opérateurs de clôture, ce n'est pas le cas pour tous les filtres : un réseau filtré $f(N)$ n'est pas f-clos en général. C'est en particulier souvent le cas pour les filtres *composés*, obtenus par composition d'autres filtres, comme $(\diamond) \circ (\Updownarrow)$ (que l'on écrit $\diamond\Updownarrow$, omettant le symbole de composition). En effet, la clôture par composition d'un réseau clos par projection n'a aucune raison d'être encore close par projection : appliquer $\diamond\Updownarrow$ une nouvelle fois peut donc donner un réseau différent. Cependant, il est facile de construire un opérateur de clôture basé sur un filtre f : le filtre de *clôture par f*, noté f^*, applique simplement f itérativement jusqu'à ce que le résultat soit f-clos. Par exemple, le filtre $(\diamond\Updownarrow)^* = \diamond\Updownarrow^*$ (pour alléger les notations, on considère la composition implicite comme plus prioritaire que l'opérateur de clôture $*$ – ce n'est jamais ambigu dans cet article) applique la clôture algébrique (mais pas de la même façon que l'algorithme de la bi-chemin-cohérence). De manière analogue, le filtre $\diamond\triangle^*$ applique une clôture algébrique *partielle* (par rapport aux opérateurs de projection), et sur les scénarios est équivalent à $\diamond\Updownarrow^*$ si $\triangle \in \mathcal{P}_{\mathcal{S}}$.
Toutefois, comme mentionné précédemment, le calcul de tels filtres de clôture peut être inefficace. Heureusement, comme nous allons le voir dans la section 4, les filtres peuvent être utiles pour la vérification de la cohérence même s'ils ne sont pas des opérateurs de clôture, pourvu qu'ils vérifient la propriété plus faible d'être *répétable*.

Définition 15. Un filtre f est *répétable* pour une sous-classe $\mathcal{S}$ lorsque pour tout N sur $\mathcal{S}$, si $f(N)$ est non trivialement incohérent alors $f^*(N)$ l'est également.

1. Une *anti-arborescence* est un arbre orienté tel qu'il y a exactement un chemin orienté vers un nœud spécifique (appelé la racine) à partir de n'importe quel autre nœud. Par exemple, dans la figure 1, en retirant l'arc entre N^2 et N^4 la hiérarchie devient une anti-arborescence de racine N^3.

©AFIA 2016

Ainsi, alors qu'appliquer f plusieurs fois sur N peut donner un résultat différent à chaque fois, appliquer f une seule fois est suffisant pour obtenir l'information dont on a besoin, c'est-à-dire si f^* finirait par « éliminer » N.

4 Résultats de traitabilité

On peut maintenant se focaliser sur les sous-classes *traitables*, c'est-à-dire, dans notre contexte, celles pour lesquelles il existe un algorithme polynomial décidant de la scénarisabilité de chacun de leurs réseaux. Nous nous intéressons en particulier à des conditions assurant qu'un filtre soit *suffisant*, c'est-à-dire permette de décider de la scénarisabilité d'un réseau en vérifiant simplement si ce réseau filtré est non trivialement incohérent.

Définition 16. Un filtre f est *suffisant* pour une sous-classe $\mathcal{S}$ lorsque pour tout N de $\mathcal{N}^{\mathcal{S}}$, si $f(N)$ est non trivialement incohérent, alors N est scénarisable.

S'il existe un filtre suffisant applicable en temps polynomial, alors décider de l'existence d'un scénario algébriquement clos est polynomial ; dans les cas où les scénarios algébriquement clos sont cohérents, la vérification de la cohérence est traitable. Ainsi, nous démontrons deux théorèmes fournissant des conditions pour qu'un filtre soit suffisant, et nous nous intéressons ensuite à des conditions plus fortes qui facilitent l'application de ces théorèmes.

4.1 Filtres suffisants pour la traitabilité

Dans le cadre classique, une façon de montrer qu'une sous-classe $\mathcal{S}$ est traitable est d'exhiber un *affinement* particulier, c'est-à-dire une fonction $h\colon \mathcal{S} \to \mathcal{A}$ vérifiant $\forall R \in \mathcal{S},\ h(R) \subseteq R$. Certaines sous-algèbres admettent ainsi un affinement permettant d'obtenir un scénario cohérent d'un réseau algébriquement clos en (i) choisissant une paire d'entités, (ii) remplaçant leur relation par une relation basique de l'affinement, (iii) calculant la $\diamond$-clôture, et en répétant ces étapes jusqu'à obtenir un scénario [7, Ch. 2]. Pour adapter cette méthode aux multi-réseaux, il nous faut d'abord formaliser les conditions algébriques que doivent remplir de tels affinements dans le cadre classique.

Définition 17. Un réseau $\diamond$-cohérent N sur une sous-algèbre $\mathcal{S}$ est *h-scénarisable* si pour tout couple d'entités x, y et toute $b \in h(N_{xy})$, il existe un scénario $\diamond$-cohérent $S \subseteq N$ vérifiant $S_{xy} = b$. Une sous-algèbre $\mathcal{S}$ est h-scénarisable si tous les réseaux $\diamond$-cohérents sur S sont h-scénarisables.

Trouver un affinement h tel qu'une sous-algèbre $\mathcal{S}$ est h-scénarisable suffit à prouver que $\mathcal{S}$ est traitable, puisque les hypothèses permettent d'appliquer la méthode décrite plus haut. Par exemple, l'algèbre des points et la sous-algèbre des relations pré-convexes de l'algèbre des intervalles sont $h_{\max}$-scénarisables, avec $h_{\max}$ l'affinement par les relations basiques de dimension maximale [7] : $h_{\max}(r) = \{b \in r : \dim(b) = \dim(r)\}$. Considérons maintenant une sous-algèbre $\mathcal{S}$ dont chacune des sous-classes restreintes $\mathcal{S}_i$ serait connue comme étant h_i-scénarisable pour un certain h_i ; une idée naturelle pour prouver la traitabilité de $\mathcal{S}$ est d'essayer d'appliquer la technique classique en combinant $h_1, \dots, h_n$ en un affinement sur les relations multi-dimensionnelles.

Définition 18. Soit $\mathcal{S}$ une sous-classe d'une multi-algèbre. Un *multi-affinement* est un affinement de la forme $H = (h_1, \dots, h_m)$ avec chaque h_i un affinement de $\mathcal{S}_i$. Pour $R \in \mathcal{S}$, on note $H(R)$ la relation $(h_1(R^1), \dots, h_m(R^m))$.

Cependant, même si chaque $\mathcal{S}_i$ est h_i-scénarisable, il n'y a aucune garantie que le multi-affinement $H = (h_1, \dots, h_m)$ puisse être utilisé pour trouver un scénario algébriquement clos en adaptant la méthode classique : des conditions supplémentaires sont nécessaires pour assurer que les affinements individuels fonctionnent bien *ensemble*, par rapport aux projections. De plus, comme on l'a vu précédemment, $\mathcal{S}$ n'étant pas nécessairement $\Updownarrow$-close, nous avons besoin d'utiliser un filtre de projection partielle, qui doit aussi vérifier certaines propriétés. Notre *théorème de suffisance* résume toutes ces hypothèses.

Théorème 19. *Soit $\mathcal{S}$ une sous-algèbre d'une multi-algèbre, et soit $\triangle \in \mathcal{P}_{\mathcal{S}}$. Étant donné un multi-affinement $H = (h_1, \dots, h_m)$ tel que chaque sous-classe restreinte $\mathcal{S}_i$ est h_i-scénarisable, si ces hypothèses sont satisfaites :*

(i) $\mathcal{S}$ est $\triangle$-close ;

(ii) $\diamond\triangle$ est répétable pour $\mathcal{S}$; et

(iii) pour toute relation $\triangle$-cohérente R de $\mathcal{S}$, $H(R)$ est élémentarisable ;

alors $\diamond\triangle$ est un filtre suffisant pour $\mathcal{S}$.

Démonstration. Soit $N \in \mathcal{N}^{\mathcal{S}}$; on suppose que $\diamond\triangle(N)$ est non trivialement incohérent, et on montre qu'il a un scénario $\diamond\triangle$-cohérent. Soit $N' = \diamond\triangle^*(N)$: par répétabilité de $\diamond\triangle$, $\diamond\triangle^*(N)$ est non trivialement incohérent, et ainsi N' est $\diamond\triangle$-cohérent.
Si toutes les relations dans N' sont basiques, alors N' est un scénario $\diamond\triangle$-cohérent, comme souhaité. Sinon, considérons des entités x et y de $\mathtt{E}$ telles que la relation entre elles n'est pas basique. On sait que $H(N'_{xy})$ est élémentarisable (iii) : elle contient au moins une relation élémentaire (déf. 4). On affine N'_{xy} par une de ces relations, $B = (b_1, \dots, b_m)$. Évidemment, étant $\Updownarrow$-cohérente, B est aussi $\triangle$-cohérente, d'où $N' = \triangle N'$ après l'affinement. De plus, puisque chaque $(N')^i$ était $\diamond$-cohérent, la h_i-scénarisabilité de $\mathcal{S}_i$ implique qu'il existe un scénario $\diamond$-cohérent $S \subseteq (N')^i$ tel que $S_{xy} = b_i$, et donc $\diamond(N')$ est non trivialement incohérent.
Au final, $\diamond\triangle(N')$ est non trivialement incohérent ; on peut réappliquer la preuve depuis le début (comme $\mathcal{S}$ est $\triangle$-close et est une sous-algèbre), rendant ainsi itérativement élémentaires toutes les relations. Le processus se termine nécessairement avec un scénario $\diamond\triangle$-cohérent. Enfin, puisque $\triangle \in \mathcal{P}_{\mathcal{S}}$, les scénarios $\diamond\triangle$-cohérents sont algébriquement cohérents : N est scénarisable. □

Le théorème peut être utilisé pour prouver qu'une sous-classe $\mathcal{S}$ construite à partir de sous-classes traitables est traitable, mais fournit aussi un moyen efficace de décider de la scénarisabilité d'un réseau sur $\mathcal{S}$: le filtre suffisant $\diamond\triangle$ nécessite seulement une clôture par projection suivie d'une clôture par composition. De plus, le théorème implique en

©AFIA 2016

fait une sorte de H-scénarisabilité pour $\mathcal{S}$, fournissant une méthode pour *exhiber* un scénario algébriquement clos. Nous concluons cette section avec un résultat fournissant des conditions permettant « l'héritage » de la traitabilité d'une sous-classe à une autre. Pour cela, nous adaptons la technique classique de « réduction par un affinement » [9] : étant donnée une sous-classe $\mathcal{S}'$ pour laquelle la chemin-cohérence implique la cohérence, il est possible de prouver qu'une autre sous-classe $\mathcal{S}$ est aussi traitable en exhibant un affinement qui, lorsqu'appliqué simultanément sur toutes les relations d'un réseau $\diamond$-cohérent $N \in \mathcal{N}^{\mathcal{S}}$, donne un réseau sur $\mathcal{S}'$ dont la $\diamond$-clôture est $\diamond$-cohérente. Nous utilisons ici la même idée, mais exigeons que l'application de tels affinements préserve la $\diamond$-cohérence ; c'est une propriété plus forte, mais généralement vérifiée par les affinements en pratique.

Définition 20. Une sous-classe $\mathcal{S}$ est dite *f-stable par H*, avec f un filtre et H un affinement, si pour tout réseau N sur $\mathcal{S}$, la f-cohérence de N implique la f-cohérence de $H(N)$ (où $H(N)$ est le réseau obtenu à partir de N en remplaçant chaque relation R par $H(R)$).

Par exemple, on peut vérifier que $\mathrm{H}_8 \times \mathrm{PA}$ est $\hat{\triangle}$-stable par $H = (h_{\mathrm{H}_8}, h_{\max})$ avec h_{H_8} l'affinement classique de H_8 [4]. Notons que combiné à la proposition 12, la $\triangle$-stabilité implique la troisième hypothèse du théorème de suffisance.
Notre théorème d'héritage utilise le mécanisme de réduction par un affinement : si on peut affiner chaque réseau f-cohérent sur une sous-classe vers une seconde sous-classe pour laquelle f est suffisant, tout en préservant la f-cohérence, alors f^* est suffisant pour la première.

Théorème 21. *Soient $\mathcal{S}, \mathcal{S}'$ deux sous-classes, f un filtre et H un affinement de $\mathcal{S}$ vers $\mathcal{S}'$. Si (i) $\mathcal{S}$ est f-close, (ii) $\mathcal{S}$ est f-stable par H, et (iii) f est suffisant pour $\mathcal{S}'$, alors f^* est suffisant pour $\mathcal{S}$.*

Démonstration. Soit N un réseau sur $\mathcal{S}$ tel que $f^*(N)$ est non trivialement incohérent. Alors $H(f^*(N))$ est f-cohérent (ii), et est sur $\mathcal{S}'$(i), pour laquelle f est suffisant (iii). Il est donc scénarisable, d'où N est aussi scénarisable, et ainsi f^* est suffisant. □

4.2 Conditions plus fortes pour la suffisance

On introduit ici des propriétés particulières des sous-classes, qui impliquent les hypothèses des théorèmes mais sont plus facilement vérifiables, et qui seront utilisées dans les sections suivantes. La première est un sous-cas de la $\triangle$-stabilité, appelé $\triangle$-invariance, qui survient pour de nombreux formalismes multi-échelles et intégrations lâches.

Définition 22. Une sous-classe $\mathcal{S}$ est *$\triangle$-invariante par un multi-affinement $H = (h_1, \ldots, h_m)$* si pour tout $(j,k) \in \mathfrak{h}_\triangle$ et pour toute $r \in \mathcal{S}_j$, on a $\Rsh_j^k r = \Rsh_j^k h_j(r)$.

Proposition 23. *Une sous-classe $\triangle$-invariante par un multi-affinement H est $\triangle$-stable par H.*

Démonstration. Soit R une relation $\triangle$-cohérente et soit $(j,k) \in \mathfrak{h}_\triangle$. Nous avons $\Rsh_j^k R^j = \Rsh_j^k h_j(R^j) = \Rsh_j^k H(R)^j$. Comme R est $\triangle$-cohérente, $R^k \subseteq \Rsh_j^k R^j$ et donc $H(R)^k \subseteq R^k \subseteq \Rsh_j^k R^j = \Rsh_j^k H(R)^j$. Par conséquent, $H(R)$ est $\triangle$-cohérente. □

Par exemple, considérons la hiérarchie $\mathtt{ts}$ de la topologie (RCC-8) vers la taille (PA), et Q_8 une sous-algèbre classique de RCC8. $\mathrm{Q}_8 \times \mathrm{PA}$ est $\triangle_{\mathtt{ts}}$-invariante par $H = (h_{\mathrm{Q}_8}, h_{\max})$, avec h_{Q_8} son affinement classique et $h_{\max}$ comme défini en section 4.1, et est ainsi $\triangle_{\mathtt{ts}}$-stable par H. Nous nous intéressons ensuite à des sous-classes dont les opérateurs de projection vérifient la propriété naturelle de *super-distributivité* sur la composition faible et l'intersection ; sur de telles sous-classes, $\diamond\triangle$ est répétable.

Définition 24. Soit $\odot$ l'un des opérateurs $\diamond$ ou $\cap$. On dit que $\Rsh_i^j$ est *super-distributif* sur $\odot$ pour une sous-classe $\mathcal{S}_i$ si pour toutes $r_1, r_2 \in \mathcal{S}_i$ telles que $r_1 \odot r_2 \neq \varnothing$, on a $(\Rsh_i^j r_1) \odot (\Rsh_i^j r_2) \subseteq \Rsh_i^j (r_1 \odot r_2)$. Une sous-classe $\mathcal{S}$ est dite *$\triangle$-distributive* (avec $\triangle \in \mathcal{P}_{\mathcal{S}}$) si pour tout $(j,k) \in \mathfrak{h}_\triangle$, $\Rsh_j^k$ est super-distributif sur $\diamond$ et $\cap$ pour $\mathcal{S}_j$.

Soit $\mathrm{RCC8}_{\min}$ la sous-algèbre minimale de RCC-8 ; on peut aisément vérifier que la sous-classe $\mathrm{RCC8}_{\min} \times \mathrm{PA}$ est $\triangle_{\mathtt{ts}}$-distributive. La $\triangle$-distributivité d'une sous-classe implique que toute propagation de la composition faible préserve la $\triangle$-clôture, comme le montre la proposition suivante.

Proposition 25. *Soit N un réseau sur une sous-classe $\mathcal{S}$ $\triangle$-distributive, si $\diamond\triangle(N)$ est non trivialement incohérent alors $\diamond\triangle(N) = \diamond\triangle^*(N)$ (et donc $\diamond\triangle$ est répétable pour $\mathcal{S}$).*

Démonstration. Nous prouvons le résultat pour les sous-classes de la forme $\mathcal{S}_i \times \mathcal{S}_j$, ce qui est suffisant puisqu'être $\triangle$-clos pour chaque couple de sous-classes de $\mathfrak{h}_\triangle$ revient à être totalement $\triangle$-clos. Nous traitons uniquement le cas où $(i,j) \in \mathfrak{h}_\triangle$ et $(j,i) \notin \mathfrak{h}_\triangle$; les deux autres cas sont similaires. Soit N' un réseau sur $\mathcal{S}_i \times \mathcal{S}_j$ tel que $\diamond\triangle(N')$ est non trivialement incohérent, et soit $N = \triangle N'$. Il suffit de prouver que propager $\diamond$ préserve la $\triangle$-clôture, c'est-à-dire $\forall x,y,z \in \mathtt{E}$, $N^j_{xz} \cap (N^j_{xy} \diamond N^j_{yz}) \subseteq \Rsh_i^j (N^i_{xz} \cap (N^i_{xy} \diamond N^i_{yz}))$. Soit x, y et z des entités de N. Puisque $\diamond\triangle(N')$ est non trivialement incohérent, $N^i_{xz} \cap (N^i_{xy} \diamond N^i_{yz}) \neq \varnothing$ et en particulier $N^i_{xy} \diamond N^i_{yz} \neq \varnothing$. Comme N est $\triangle$-clos, $N^j_{XY} \subseteq \Rsh_i^j N^i_{XY}$ pour toutes $X,Y \in \{x,y,z\}$ distinctes, et par définition de $\diamond$ ($r_1 \diamond r_2 = \bigcup_{b_1 \in r_1, b_2 \in r_2} b_1 \diamond b_2$), on obtient $N^j_{xy} \diamond N^j_{yz} \subseteq \Rsh_i^j N^i_{xy} \diamond \Rsh_i^j N^i_{yz}$. Par super-distributivité de $\Rsh_i^j$ sur $\diamond$, on a $N^j_{xy} \diamond N^j_{yz} \subseteq \Rsh_i^j (N^i_{xy} \diamond N^i_{yz})$. Par super-distributivité de $\Rsh_i^j$ sur $\cap$, on obtient $N^j_{xz} \cap (N^j_{xy} \diamond N^j_{yz}) \subseteq \Rsh_i^j (N^i_{xz} \cap (N^i_{xy} \diamond N^i_{yz}))$. □

4.3 Combinaison taille-topologie

Appliquons notre cadre formel pour retrouver les résultats de traitabilité de la combinaison taille-topologie [4]. On utilise les notations suivantes : $\mathrm{PA}_{\max} = \{<, =, >, \neq, \mathcal{B}\}$; $\mathrm{RCC8}_{\min}$ la plus petite sous-algèbre de RCC-8 ; et pour finir H_8, C_8, et Q_8, les trois sous-algèbres maximales pour la traitabilité de RCC-8 [4]. Rappelons que $\mathtt{ts}$ est une hiérarchie de RCC-8 vers PA.

Corollaire 26. *La vérification de la cohérence pour $\mathrm{RCC8}_{\min} \times \mathrm{PA}_{\max}$ est traitable. En effet, $\diamond\triangle_{\mathtt{ts}}$ est suffisant.*

Démonstration. Par le théorème de suffisance : la sous-classe $\mathrm{RCC8}_{\min} \times \mathrm{PA}_{\max}$ est $\vartriangle_{\mathtt{ts}}$-close ; on a la h_i-scénarisabilité (avec $h_i(r) = r$) car les réseaux chemin-cohérents sont minimaux pour $\mathrm{RCC8}_{\min}$ et pour $\mathrm{PA}_{\max}$ [8] ; $\diamond\vartriangle_{\mathtt{ts}}$ est répétable par super-distributivité de $\overset{\mathrm{PA}}{\mathrm{RCC8}}$ sur $\diamond$ et $\cap$, et par la prop. 25 ; le lemme 10 donne la troisième hypothèse. On conclut par la cohérence des scénarios algébriquement clos [4]. □

Corollaire 27. *La vérification de la cohérence pour la sous-classe* $\mathrm{H}_8 \times \mathrm{PA}$ *(resp.* $\mathrm{C}_8 \times \mathrm{PA}$*, resp.* $\mathrm{Q}_8 \times \mathrm{PA}$*) est traitable. En effet,* $\diamond\Diamond^*$ *(resp.* $\diamond\Diamond^*$*, resp.* $\diamond\vartriangle_{\mathtt{ts}}{}^*$*) est suffisant.*

Démonstration. On utilise les affinements classiques de H_8, C_8 et Q_8 vers les relations basiques [4], et $h_{\max}$ pour PA, donc on a la $\diamond$-stabilité [9]. On a aussi la $\Diamond$-stabilité (vérifiée par énumération), et la $\vartriangle_{\mathtt{ts}}$-stabilité pour Q_8 par la prop. 23. On conclut par le théorème d'héritage, car l'affinement envoie vers $\mathrm{RCC8}_{\min} \times \mathrm{PA}_{\max}$ et que $\diamond\Diamond$ est suffisant (comme $\diamond\vartriangle_{\mathtt{ts}}$ l'est aussi). □

4.4 Raisonnement multi-échelle qualitatif

Dans cette partie, nous montrons brièvement comment modéliser les représentations multi-échelles qualitatives [3, 1] par des multi-réseaux, et nous identifions des sous-classes traitables maximales pour la vérification de la cohérence associée. Notons par IA l'algèbre des intervalles et par PA l'algèbre des points [7] ; on s'intéresse à leur version multi-échelle, où une représentation est un ensemble de relations, chacune définie à une échelle temporelle différente (appelée aussi granularité). Une échelle g est dite « plus fine » qu'une échelle h, noté $g \preceq h$, si g a une meilleure résolution que h. On suppose ici que les échelles sont totalement ordonnées par rapport à $\preceq$. Une représentation multi-échelle est donc modélisée par un réseau N sur une multi-algèbre, où chaque N^i correspond aux relations définies à l'échelle g_i. Les projections de la multi-algèbre correspondent aux opérateurs de *conversion descendante* $\downarrow$ *et ascendante* $\uparrow$, qui indiquent ce que devient une relation définie à une échelle vue depuis une échelle plus fine ou moins fine.

Définition 28. Soit A étant IA ou PA. La multi-algèbre de la version multi-échelle de A pour des échelles totalement ordonnées $\{g_i\}_{i=1}^m$ est le produit cartésien A^m avec pour opérateurs de projection $\overset{j}{i} = \uparrow$ et $\overset{i}{j} = \downarrow$ si $g_i \preceq g_j$.

Nous définissons la *hiérarchie naturelle ascendante* $\mathfrak{n}$ de A^m comme le graphe vérifiant $\mathcal{A}_i \xrightarrow{\mathfrak{n}} \mathcal{A}_j \iff g_i \preceq g_j$. Le filtre de projection partielle $\vartriangle_{\mathfrak{n}}$ basé sur cette hiérarchie clôt les réseaux par conversion ascendante. On peut prouver que les scénarios $\diamond\vartriangle_{\mathfrak{n}}$-clos sont cohérents.
On s'intéresse maintenant à deux sous-classes particulières de l'algèbre des intervalles, celles des relations pointisables et des relations pré-convexes [7, Ch. 2].

Corollaire 29. *La sous-classe des pointisables et la multi-algèbre des points sont traitables avec des échelles totalement ordonnées. En effet,* $\diamond\vartriangle_{\mathfrak{n}}$ *est suffisant.*

Nous obtenons ce résultat par le théorème de suffisance. En revanche, ce dernier ne peut pas prouver la traitabilité des relations pré-convexes, car $\diamond\Diamond$ n'est pas suffisant. Toutefois, on peut l'obtenir par le théorème d'héritage en réduisant les relations pré-convexes aux relations pointisables.

Corollaire 30. *La sous-classe des pré-convexes est traitable pour la vérification de la cohérence avec des échelles totalement ordonnées. En effet,* $\diamond\vartriangle_{\mathfrak{n}}{}^*$ *est suffisant.*

5 Conclusion

Nous avons proposé un cadre formel général pour l'étude des multi-réseaux de contraintes qualitatives sur des formalismes différents. Nous avons en particulier prouvé deux théorèmes impliquant la traitabilité de décider de l'existence d'un multi-scénario algébriquement clos (et donc de la traitabilité de la vérification de la cohérence lorsque de tels scénarios sont cohérents), et nous les avons appliqués pour retrouver les résultats de traitabilité de la combinaison de la taille qualitative et de la topologie, et pour identifier des sous-classes maximales pour la traitabilité des algèbres des points et des intervalles dans le contexte du raisonnement temporel multi-échelle qualitatif. Nous travaillons sur l'application de ces résultats pour d'autres combinaisons.

Références

[1] Quentin COHEN-SOLAL, Maroua BOUZID et Alexandre NIVEAU : An algebra of granular temporal relations for qualitative reasoning. *In Proc. of IJCAI*, 2015.

[2] Anthony G COHN, Sanjiang LI, Weiming LIU et Jochen RENZ : Reasoning about topological and cardinal direction relations between 2-dimensional spatial objects. *Journal of Artificial Intelligence Research*, pages 493–532, 2014.

[3] Jérôme EUZENAT et Angelo MONTANARI : Time granularity. *Foundations of Artificial Intelligence*, 1:59–118, 2005.

[4] Alfonso GEREVINI et Jochen RENZ : Combining topological and size information for spatial reasoning. *Artificial Intelligence*, 137(1):1–42, 2002.

[5] Jerry R HOBBS : Granularity. *In Proc. of IJCAI*, 1985.

[6] Sanjiang LI et Bernhard NEBEL : Qualitative spatial representation and reasoning : A hierarchical approach. *The Computer Journal*, 50(4):391–402, 2007.

[7] Gérard LIGOZAT : *Qualitative spatial and temporal reasoning*. John Wiley & Sons, 2013.

[8] Zhiguo LONG et Sanjiang LI : On distributive subalgebras of qualitative spatial and temporal calculi. *In Spatial Information Theory*, pages 354–374. Springer, 2015.

[9] Jochen RENZ : Maximal tractable fragments of the region connection calculus : A complete analysis. *In Proc. of IJCAI*, pages 448–455, 1999.

©AFIA 2016

Forgetting Methods for White Box Learning

Anthony D'Amato[1] Matthieu Boussard[1]

[1]craft ai, Paris, France

{anthony.damato,matthieu.boussard}@craft.ai

4 mars 2016

Résumé

In the Internet of Things (IoT) domain, being able to propose a contextualized and personalized user experience is a major issue. The explosion of connected objects makes it possible to gather more and more information about users and therefore create new, more innovative services that are truly adapted to users. To attain these goals, and meet the user expectations, applications must learn from user behavior and continuously adapt this learning accordingly. To achieve this, we propose a solution that provides a simple way to inject this kind of behavior into IoT applications by pairing a learning algorithm (C4.5) with Behavior Trees. In this context, this paper presents new forgetting methods for the C4.5 algorithm in order to continuously adapt the learning.

1 Introduction

In the Internet of Things (IoT) domain, services must be more intelligent, to the extent that proposing a personalized service to the user has become one of the principal challenges ; or to put it another way, ensuring that applications give the user an impression of uniqueness, by learning his/her behavior and acting in consequence, has become a primary objective. Moreover, as an end user never has the same behavior over the course of a year, a service that learns a specific characteristic of his/her behavior must be capable of adapting. In this domain, smart devices must quickly provide the service they claim to provide, otherwise they will have no utility in the eyes of their user, which reinforces the idea that the learning method offered within a service must rapidly satisfy end user needs.

This paper proposes an adaptive learning method for developers with a *White Box* approach. The *White Box* learning notion is a fully controllable, predictable, powerful and understandable learning algorithm, that does not just deliver an output depending on an input but also visually displays how this output was found. In contrast, *Black Box* algorithms remain very powerful, but are harder to explain. For instance, in Deep Learning algorithms, understanding how the weight of an artificial neuron will impact the output can be tricky. For the *White Box* approach, we choose the Behavior Trees(BTs)[4] mechanism widely used for Artificial Intelligence in video games [10] which are well suited to the characteristics of the *White Box* (Table 1) [8]. Introducing learning in BTs should not break this *White Box* approach. For instance, Q-Learning algorithms can be integrated in BTs[7, 6] but this integration is too *Black Box* by nature and has a very slow convergence. Learning algorithms that are quite capable of such characteristics are classifiers and more precisely algorithms inducing Decision Trees because they provide an easy way to read the rules generated. We chose the famous C4.5 classifier algorithm [13] to introduce learning in BTs while maintaining a *White Box* approach. Figure 1 shows the integration of learning in an AI designed by a Behavior Tree. All the learning capacity is concentrated in a limited part of the BT and as we use a classifier inducing a Decision Tree, this part also provides a graphical view.

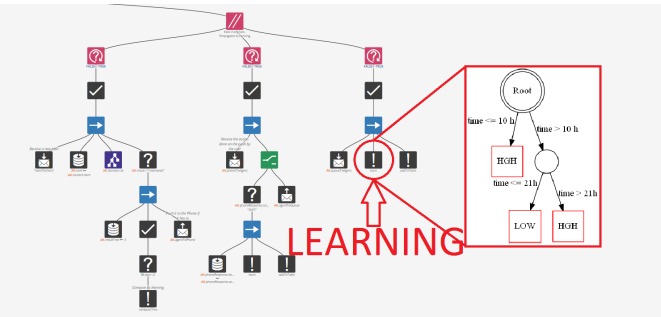


FIGURE 1 – Integration of learning in a Behavior Tree

This paper is organized as follows : Section 2 explains the choice of the C4.5 algorithm among other classifiers and adds some details on the algorithm itself ; 3 proposes new forgetting methods to add adaptability to C4.5 ; and 4 presents an evaluation of each of these methods and their performance.

©AFIA 2016

	State Machines	Fuzzy Logic Markov Systems	Goal-Oriented Behavior	Rule-Based Systems	Behavior Trees
Simplicity	++	-	+	-	++
Separation Game Design Programming	++	+	+	++	++
Flexibility	-	+	+	+	++
Behavior Quality	-	+	+	++	++
Efficiency	++	-	-	++	+
Conclusion	Very Simple	Probabilistic	Great for planning	Limits not reached yet	High flexibility

TABLE 1 – Comparison of decision-making techniques.

2 Related Work

As previously mentioned, our research into a *White Box* learning led us to choose the classification algorithm C4.5. This algorithm induces a Decision Tree from a training set and is based on the information gain concept. It was identified as one of the top 10 algorithms in Data Mining [15] and other work led by Gracia and Herrera [9] used statistical tests over 30 database to show that the C4.5 algorithm is the best classifier, when compared to CN2, Naive Bayes, 1-Nearest Neighbors and a Kernel classifier.
Let D be the training set composed of samples x_i for the C4.5 algorithm such that :

$$D = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\} \tag{1}$$

The samples are themselves composed of a set of predictive variables A named *attributes* and a predicted variable Y, that can have multiple values named *classes*. For example with T attributes as the input, the first sample is defined by :

$$x_1 = A_1 \cup \{y_1\} \ \ with\ A_1 = \{a_{1,1}, a_{1,2}, \ldots, a_{1,T}\}$$

In the above $a_{i,j}$ is the value of the j^{th} attribute of the i^{th} sample and y_j the predicted output value of the i^{th} sample. To choose the right algorithm, which would form the foundation of our learning algorithm, we had three main criteria. The learning algorithm must have the following attributes : the *White Box* property, by inducing decision trees (2.1) ; the ability to handle multiple attribute values and continuous attributes (2.2) ; the ability to deal with dynamic training sets (2.3).

2.1 A *White Box* Learning

Since BTs are *White Box*, adding learning to them must keep this characteristic and therefore, the rules induced by the learning algorithm must be understandable. The first methods we considered were the Case Based Reasoning algorithms. Case Based Reasoning [11] is a process that aims to solve new problems using a database of solutions. Another option we considered was Boosting Algorithms, which are based on the creation of highly accurate prediction rules thanks to the combination of weak and inaccurate rules. One of the most famous and the most used is the AdaBoost algorithm introduced by Freund and Schapire in 1995[14]. Yet, neither Case based Reasoning nor Boosting algorithms provide simple visual output, something that Decision Trees do very well indeed.

2.2 Multiple attribute values and continuous attributes

A few years before the creation of the C4.5 algorithm, CART [3] was published. This algorithm handles both numerical and categorical variables and induces both a Decision Tree and a Regression Tree. Therefore, CART can propose continuous outputs thanks to this Regression Tree. However, CART is not adapted to attributes with multiple values because it creates binary trees, whereas C4.5 is well adapted for this. Indeed, if an attribute has more than two possible values the tree induced by C4.5 will have a branch for each possible value.
The predecessor of C4.5, ID3 (Iterative Dichotomiser 3) [12] induces also a Decision Tree from a training set but it was very hard to use on continuous data because searching for the best split was time consuming. The handling of continuous attributes by C4.5 was one of the numerous improvements on ID3.

2.3 Data Streams

C4.5 is used for the creation of Decision Trees from a static database. However, in our application the training set changes every time a new sample from the end user's behavior arrives, which is a situation that is similar to Data Stream Mining [2]. A Data Stream consists of a sequence of data items arriving at high frequency, generated by a process that is subject to unknown changes. One of the major priorities of Data Stream Mining is its ability to adapt to these changes by predicting the goal or setting up for-

©AFIA 2016

getting methods on the incoming data. As in our application of learning there is a constant follow-up of the end user, and the use of C4.5 algorithm must be equivalent to a Data Stream Mining by applying forgetting methods without this data rate constraint, but with the problem of constant adaptation to the incoming information.

3 Forgetting Methods

As the end user behavior is variable, the learning must be able to adapt efficiently. However, the C4.5 algorithm is not suited to fast adaptation because, in order to counterbalance previous training samples, the algorithm needs as many new cases as previously encountered. For instance, if the training set is composed of 50 days of constant behavior - no behavior variation during 50 days - and if the user decides suddenly to change all his previous decisions, then it will take another 50 days for C4.5 to induce a tree with the new user behavior. Indeed the samples from the first 50 days give more information about the user behavior than the new ones because they are more numerous. And as C4.5 is based on information gain measurement, the first behavior is still induced by the algorithm. Therefore, in this section several methods are proposed to adapt the learning to variations. This paper proposes two new methods for forgetting, namely the *Random Forgetting*(3.2) method and the *Leaf Forgetting*(3.3) method.

3.1 Sliding Window

This method is based on the current algorithms used in the application of Clustering Algorithms on Data Stream [5] which consists in applying a Sliding Window to the incoming stream. This method makes it possible to remember all the recent events that occurred inside this window.
For the Sliding Window method, a maximum length N for the training set is chosen and if this upper limit is reached, every time a new sample is added the oldest (x_1) is deleted. Let z be a new sample, if $Card(D) = N$:

$$D = (D \setminus \{x_1\}) \cup \{z\} \tag{2}$$

3.2 Random Forgetting

For the newly introduced Random Forgetting method we define a maximum size N for the training set and once this ceiling is reached, every new case added to the data set leads to the random deletion of a stored case. Given the function $rand(N)$ picking randomly an integer between 0 and $N-1$ and a new sample z, if $Card(D) = N$:

$$D = \left(D \setminus \left\{x_{rand(N)}\right\}\right) \cup \{z\} \tag{3}$$

The approach with this method is, compared with the Sliding Window, to introduce an unpredictable deletion in the training set in order not to forget necessary the oldest samples, which could be significantly important for the learning. It allows to remember important events relatively spaced in time.

3.3 Leaf Forgetting

The second method introduced in this paper is termed Leaf Forgetting. Here, each sample in the training set has at its disposal a weight, named w.
Once the tree is induced, the training set can be partitioned in accordance with the leaves of this tree. Let L_i be the set of training samples reaching the i-*th* leaf and k the total number of leaves, then D can be defined as follows :

$$D = \bigcup_{i=1}^{k} L_i \tag{4}$$

When a new sample is joined to the training set, it checks in which leaf of the previous tree this sample is arriving. All the data stored in this specific leaf of the tree have their weights increased by an update function f. Then if the weight of a case is higher than a maximum w_{max}, it is deleted from the training set, which can be defined by :
Let y be a new sample for the data set :

$$y \in L_i \Rightarrow \forall x \in L_i,\ w_x = f(w_x) \tag{5}$$

Let O be the set in which are the samples that must be deleted from the training set defined by :

$$O = \{z, w_z > w_{max}\} \tag{6}$$

Then the new training set is defined by :

$$D = D \backslash O \tag{7}$$

For a fast adaptation, it is important that no cluster be strongly preponderant on others and this is where this method has an advantage over others because increasing weights in each leaf favors over time a balance between learned behaviors.

4 Results

During this experiment, agents designed with BTs control the temperature in each room of an inhabited house and learn the temperature the user desires. For this simulation we focus on one room.
The available data are the outdoor temperature (*OutTemp*), the user presence (*Presence*), the time (*Time*)and whether or not the user is working on this day (*Working*). The temperature (*Temp*) in a room has 3 values : *"Low"*, *"Medium"* and *"High"*. Each time the user decides to change the temperature, the state of each sensor plus the desired action can be added to the training set :

$$A = \{\textit{OutTemp}, \textit{Presence}, \textit{Time}, \textit{Working}\}$$
and
$$Y = \{\textit{Temp}\}$$

Furthermore, every 10 minutes the agent learns the current situation but also computes the tree previously induced and applies its decision for the temperature in the room. If the end user is not satisfied with this decision and changes the

©AFIA 2016

temperature to a preferred level, then the agent does not make any further decisions until its decision is the same as the userâĂŹs. These user interactions are recorded for the experiment. Then, when the day is over, we apply a forgetting algorithm and C4.5 is computed on the current training set.
The metric used to measure the efficiency of our smart agent is the number of user actions that occur during the simulation. This measure shows the number of actions an end user has to perform in order that the agent acts on his/her behalf. Indeed, the fewer interactions the user has to perform, the more efficient the learning adaptation.

4.1 Adaptation speed

As a user can rapidly change his/her behavior, the learning algorithm must be able to adapt quickly to match the new behavior. The speed of adaptation is a strong criteria for forgetting because it is necessary to limit the number of human actions with the device that are required for it to suit his preferences. Performance in terms of speed for each forgetting method is evaluated in the following simulation :
This simulation (Figure 2) lasts 100 days during which the user has a constant behavior for 50 days and then inverses completely his previous actions - if the user preferred a *"High"* level, he switches to *"Low"* and vice versa. The simulated user behavior is the following : the user is working from Monday to Friday and is not working at the weekend. His/her behavior changes, depending on whether the current day is a working day, or at the weekend. The user likes to sleep in a warm room and turn off the heating when he/she goes to work. At the weekend, when the user is at home, he/she likes to set the temperature at a medium level. For this first experiment the input of the classification algorithm is limited to :

$$A = \{\textit{Presence}, \textit{Time}, \textit{Working}\}$$
and
$$Y = \{\textit{Temp}\}$$

During this experiment five simulations are launched :
- Without any forgetting method
- Using a Sliding Window with $N = 720$ ($\simeq$ 5 days)
- Using Random Forgetting with $N = 720$ ($\simeq$ 5 days)
- Using Random Forgetting with a length of 20 days $N = 2900$ ($\simeq$ 20 days)
- Using Leaf Forgetting with $f(w) = w + 1$ and w_{max} = 100

Results. As we can see in the Figure 2, without a forgetting algorithm, the number of human actions is not only high but it also takes a long time to learn new behavior. The explanation for this very long adaptation is that the training set has accumulated a lot of samples about the user behavior during the 50 first days, which produces a decision tree that is difficult to modify. Indeed, as the algorithm keeps all samples, it needs as many new samples about the inverse behavior as the samples accumulated during 50 days.
The Sliding Window is strongly dependent of its length : if it is small, its adaptation is fast but it forgets past actions like the behaviors during the weekends. Indeed, as we can see in Figure 2, every 7 days the user changes the temperature. This is due to the Sliding Window length that is less than five days, then at the end of the working interval, the weekend behavior is totally forgotten and must be learned again. With a larger size the Sliding Window would have remembered older events but would have had slower adaptation.
Random Forgetting is also dependent on N, indeed as we can see, the smaller N , the faster it becomes. This is explained by the fact that the smaller N is the higher the probability deletion of an old undesirable behavior becomes, and consequently it takes less time to learn a new behavior. For Random Forgetting with $N = 2900$ ($\simeq$ 20 days), as N is high, the number of samples representing the old behavior takes time to decrease and therefore a lot of user actions are necessary to delete this previous behavior.
Leaf Forgetting has the best performance in this experiment and therefore has the fastest adaptation of all methods. Increasing weights only in the leaves of the current behavior leads to explicitly forgetting targeted behavior and therefore makes it possible to rapidly counter the previous behaviors the user had. Through this forgetting method it is possible to balance the number of samples in each leaf induced by C4.5 and thus, it ensures that few leaves are preponderant over others.

4.2 Memorization capacity

The device continuously learning the user behavior must not only have fast adaptation, but must also keep in memory events likely to occur a long time after they first occur. For example, in summer there are no low temperature levels equivalent to those likely to occur in winter, and therefore, even if the learning has to be adapted to the current season, it must not forget what it has learned during the previous season when adapting to the current one. Performance concerning the memorization of each forgetting methods is evaluated in the following simulation :
This simulation (Figure 3) lasts 2 years during which the user adapts the inside temperature in accordance with the outdoor temperature [1]. For this experiment, the outdoor temperature is added in the input :

$$A = \{\textit{OutTemp}, \textit{Presence}, \textit{Time}, \textit{Working}\}$$
and
$$Y = \{\textit{Temp}\}$$

During this experiment, three simulations are launched :
- Using Random Forgetting with $N = 720$ ($\simeq$ 5 days)
- Using Random Forgetting with a length of 20 days $N = 2900$ ($\simeq$ 20 days)

©AFIA 2016

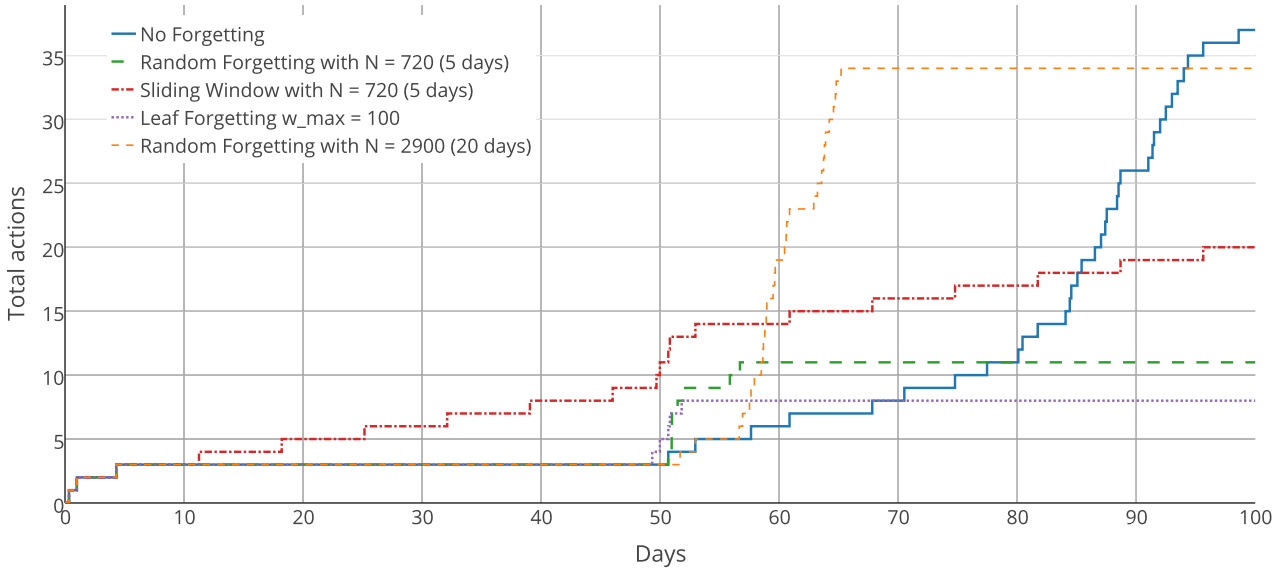


FIGURE 2 – Total number of user actions over a period of 100 days with a behavior change at the 50th day (the lower the better).

— Using Leaf Forgetting with $f(w) = w + 1$ and w_{max} = 100

Results. As previously mentioned, the Random Forgetting method is strongly dependent on its length and this simulation highlights this constraint. In addition, as we can see,during the first year the Leaf Forgetting is faster in learning the user behavior than the Random Forgetting. This is related to the results concerning the first experiment and the fast adaptation of Leaf Forgetting.

What is interesting in this simulation is to see that Leaf Forgetting has a strong control of the house from the end of the first year to the middle of the second year, a domain where the Random Forgetting flunks. But on the 545^{th} day, it has forgotten the previous year. This can be explained by the deletion of the leaves corresponding to the behavior on the 180^{th} day. Indeed, the number of samples in the corresponding leaves is not high enough to be relevant compared to all the new samples accumulated during the following year and these leaves are no longer induced.

4.3 Noise resistance

Sometimes the user can have a different behavior for a few moments, or some disturbances can occur, such as the interaction with someone unfamiliar with the house. These kinds of events are isolated and must not have an impact on the future, unless they are definitive. Performance considering these noisy events for each forgetting method is evaluated in the following simulation :

This third simulation (Figure 4) has the same inputs as the first but adds noise on some days. The simulated user also has the same behavior but it is possible that for one or two days the user will completely change his/her behavior.

Results. Without any forgetting method, the learning is strongly resistant to noise because it accumulated enough samples to reinforce the learned behavior.

Concerning the forgetting methods, the Random Forgetting and the Sliding Window with short lengths are not resistant to noise because they do not have enough samples in their training set. Indeed, we can see that with a higher N Random Forgetting has a resistance to noise that is far better.

Of all methods tested, Leaf Forgetting is the method the most resistant to noise. The user interacted on a single occasion during the 100 day period, once the behavior had been learned. This is explained by the constant reinforcement of behaviors previously learned and the balance created between each leaf.

©AFIA 2016

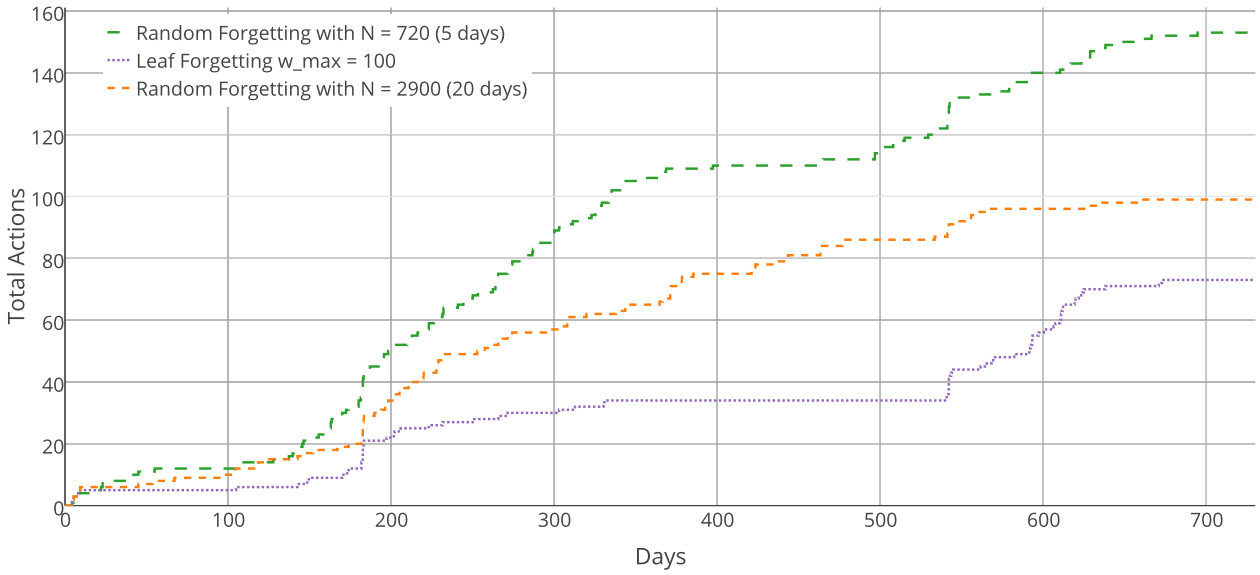


FIGURE 3 – Total number of user actions over a two years period considering outdoor temperature (the lower the better).

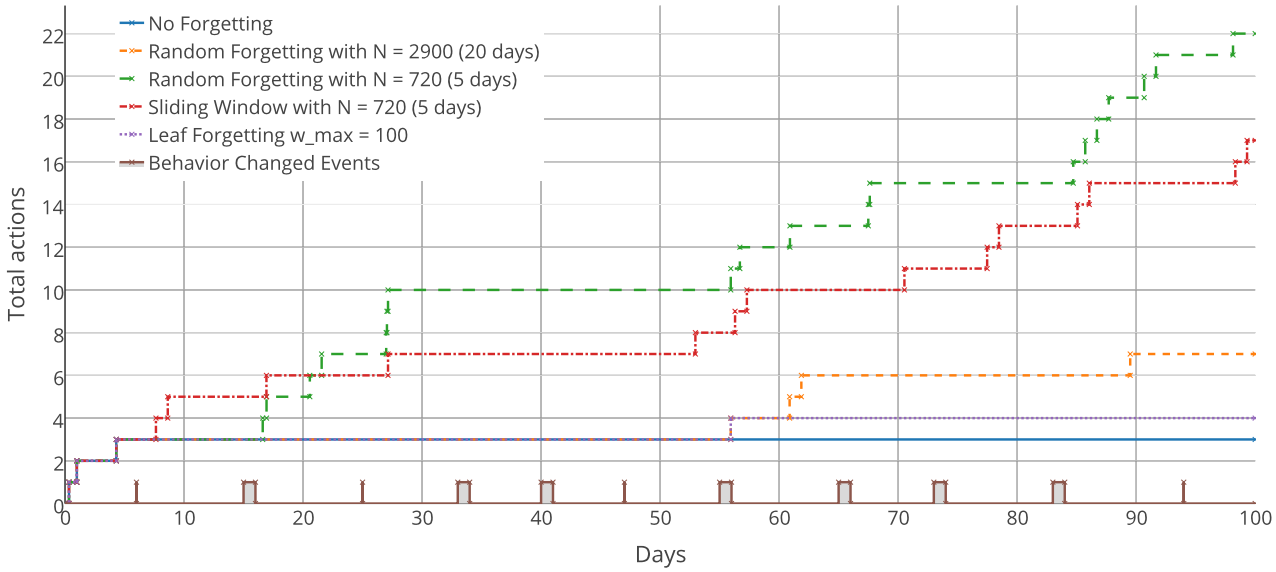


FIGURE 4 – Number of total user actions over 100 days with random behavior changes (the lower the better).

5 Conclusion and Future Works

In this paper we have presented several forgetting methods for the C4.5 algorithm and analyzed their performance. In the Internet of Things, proposing personalized and contextualized applications leads to the use of algorithms capable of adapting with forgetting methods. Forgetting is necessary in the IoT domain because of the user behavior inconsistency and the necessity to offer the user an impression of uniqueness. The methods implemented to propose such a learning must have a *White Box* namely a controllable and understandable learning. In this paper, three new methods are proposed, Sliding Window, Random Forgetting and Leaf Forgetting. As we can see from the results of a series of experiments, the Leaf Forgetting method has the

©AFIA 2016

best performance and meets the expectations of a learning that can be quickly adapted to the user.
In the future, an improvement for Leaf Forgetting would be to integrate the weight of every leaf directly into the computation of the C4.5 algorithm, like Data Stream Mining algorithms do with incremental classifiers [5]. This approach should improve the performance in terms of memorization and the balance between each leaf by normalizing the information of the leaves.
Another perspective to this work is to apply the *White Box* learning approach to new domains. We would now like to apply it to Data Streams. This will bring two new challenges : the larger number and size of samples and their incoming rate. The application of Leaf Forgetting to Data Streams will highlight its strengths and weaknesses with this type of data and will lead to improvement perspective.

Références

[1] Raw air temperature at Murdoch, Australia, 11/01/13 to 11/01/15. http ://wwwmet.murdoch.edu.au. Accessed : 2015-11-01.

[2] A. Bifet. *Adaptive Learning and Mining for Data Streams and Frequent Patterns*. PhD thesis, Universitat Politecnica de Catalunya, 2009.

[3] L. Breiman, J. Friedman, R. Olshen, and C. Stone. *Classification and Regression Trees*. Wadsworth and Brooks, Monterey, CA, 1984.

[4] A. Champandard. Understanding behavior tree. http ://aigamedev.com/open/article/bt-overview/. Accessed : 2015-09.

[5] X. H. Dang, V. C. Lee, W. K. Ng, and K. L. Ong. Incremental and adaptive clustering stream data over sliding window. In *Proceedings of the 20th International Conference on Database and Expert Systems Applications*, DEXA '09, pages 660–674, Berlin, Heidelberg, 2009. Springer-Verlag.

[6] R. de Pontes Pereira and P. M. Engel. A framework for constrained and adaptive behavior-based agents. *CoRR*, abs/1506.02312, 2015.

[7] R. Dey and C. Child. Ql-bt : Enhancing behaviour tree design and implementation with q-learning. In *CIG*, pages 1–8. IEEE, 2013.

[8] P. Erler. Decision-making in cosmonautica. http ://www.makinggames.biz/news/decision-making-in-cosmonautica,6020.html. Accessed : 2016-01.

[9] S. Garcia and F. Herrera. An extension on "statistical comparisons of classifiers over multiple data sets" for all pairwise comparisons. *Journal of Machine Learning Research*, 9 :2677–2694, Dec. 2008.

[10] D. Isla. Handling complexity in the Halo 2 AI. GDC, 2005.

[11] J. L. Kolodner. An introduction to Case-Based reasoning. *Artif. Intell. Rev.*, 6(1) :3–34, 1992.

[12] J. R. Quinlan. Induction of decision trees. *Mach. Learn.*, 1(1) :81–106, Mar. 1986.

[13] J. R. Quinlan. *C4.5 : Programs for Machine Learning*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 1993.

[14] R. E. Schapire. A brief introduction to boosting. In *Proceedings of the Sixteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, IJCAI '99, pages 1401–1406, San Francisco, CA, USA, 1999. Morgan Kaufmann Publishers Inc.

[15] X. Wu, V. Kumar, J. Ross Quinlan, J. Ghosh, Q. Yang, H. Motoda, G. J. McLachlan, A. Ng, B. Liu, P. S. Yu, Z.-H. Zhou, M. Steinbach, D. J. Hand, and D. Steinberg. Top 10 algorithms in data mining. *Knowl. Inf. Syst.*, 14(1) :1–37, Dec. 2007.

©AFIA 2016

Dealing With Groups Of Actions In Multiagent Markov Decision Processes

Guillaume Debras[1 2 3], Abdel-Illah Mouaddib[1], Laurent Jean Pierre[1], Simon Le Gloannec[2]

[1] GREYC (UMR 6072), Université de Caen Normandie, Caen, France
[2] Pôle Innovation, Cordon DS2i, Val-de-Reuil, France
[3] Advanced Information Processing, Airbus Defence and Space, Élancourt, France

{guillaume.debras, abdel-illah.mouaddib}@unicaen.fr

Résumé

Les processus décisionnels de Markov multi-agents (MMDPs) fournissent un cadre permettant la prise de décision de manière coordonnée dans des sytèmes multi-agents. Trouver des solutions aux problèmes à grande échelle ou avec un grand nombre d'agents a toutefois été prouvé comme difficile. Dans cet article, nous adaptons les H-(PO)MDP à un cadre multi-agents en proposant une nouvelle approche à l'aide de groupes d'action pour décomposer un MMDP initial en un ensemble de sous-MMDPs dépendants, où chaque groupe d'action est attribué à un sous-problème. Les Sous-MMDPs sont ensuite résolus en utilisant un backup de Bellman parallélisé permettant d'obtenir des politiques locales. Celles-ci sont ensuite synchronisées via une propagation des résultats locaux, et une mise à jour des fonctions de valeur localement et globalement afin de prendre en compte les dépendances entre sous problèmes. L'attrait d'une telle décomposition est, par exemple, la possibilité de réaliser une agrégation spécifique pour chaque sous-MMDP.
Des évaluations expérimentales ont été développées, les résultats sont encourageants et valident notre approche.

Mots Clef

Autonomie Décisionnelle, Processus Décisionnels de Markov Multi-Agents, Coopération.

Abstract

Multiagent Markov Decision Processes (MMDPs) provide a useful framework for multiagent decision. Finding solutions to large-scale problems or with a large number of agents however, has been proven to be computationally hard. In this paper, we adapt H-(PO)MDPs to multi-agent settings by proposing a new approach using action groups to decompose an initial MMDP into a set of dependent Sub-MMDPs where each action group is assigned a corresponding Sub-MMDP. Sub-MMDPs are then solved using a parallel Bellman backup to derive local policies which are synchronized by propagating local results and updating the value functions locally and globally to take the dependencies into account. This decomposition allows, for example, specific aggregation for each sub-MMDP, which we adapt by using a novel value function update.
Experimental evaluations have been developed showing promising results and validating our techniques.

Keywords

Decision Autonomy, Multiagent Markov Decision Processes, Cooperation.

1 Introduction

Over the last decade, the improvement of small sensors and mobility performance has allowed us to make smaller and cheaper robots with better capabilities, be it cameras, movement detectors, or hardware. This opens the door to the use of teams of multiple robots for a wide range of applications, including surveillance, area recognition, human assistance, etc. We are however still unable to provide software for making those groups of agents (partially) autonomous due to complexity problems. In fact, the modelling of the world, the management of its dynamics, and the management of the possible interactions between agents make the problem of action planning extremely complex.
The MMDP model is a mathematical tool used to formalize such decision planning problems with stochastic transitions and multiple agents. The complexity of solving such problems is known as P-Complete [Bernstein *et al.*2000] [Goldman and Zilberstein2004].
In this paper, we solve a problem composed of multiple tasks without making assumptions on the transitions [Becker *et al.*2004][Parr1998] or on having a sparse matrix [Melo and Veloso2009].
We consider these hypotheses useful and mandatory for solving an MMDP in a reasonable time, but they are too strict to be used easily on a general problem. We split the problem into smaller problems using action space decomposition without a loss of quality. We do not explicitly consider time [Messias *et al.*2013] or communications [Xuan *et al.*2001] but our model could be easily adapted to do so. Many existing approaches have been deve-

©AFIA 2016

loped using space and policy decomposition, but little attention has been paid to the use of action space decomposition [Pineau *et al.*2001]. This decomposition allows us to split a complex problem into sub-problems by forming action groups. Such groups are motivated by many problem classes such as task, role and mission allocation problems. We are thus working on a subdivision of the general MMDP into smaller MMDPs, often referred to in the following as the Initial-MMDP and its Sub-MMDPs, using action and state variables. We solve in parallel all of the sub-problems with suitably adapted synchronization mechanisms to find realistic solutions. This allows us to consider problems with no (in)dependent links between these sub-problems. Furthermore this subdivision allows us to use other techniques, such as aggregation, to decrease the solving time and get near optimal policies.

2 Background

2.1 MMDPs

MMDPs are an extension of MDPs [Boutilier1996][Boutilier1999] for multiagent problems, and a particular case of Dec-MDPs [Bernstein *et al.*2000] where the environment is fully observable by each agent of the system. An MMDP is defined by a tuple $\langle I, S, \{A_i\}, T, R, h\rangle$, where :

- I is a finite set of agents ;
- S is a finite set of states ;
- A_i is a finite set of actions for each agent i, with $A = \times_i A_i$, the set of joint actions, where $\times$ is the Cartesian product operator ;
- T is a state transition probability function, $T : S \times A \times S \rightarrow [0, 1]$, $T(s, a, s')$ being the probability of the environment transitioning to state s' given the current state s and the joint action a ;
- R is a global reward function : $R : S \times A \rightarrow \mathbb{R}$, $R(s, a)$ being the immediate reward received by the system for performing the joint action a in state s ;
- h is the number of steps until the problem terminates, called the horizon.

2.2 Factored-MMDPs

Factored-MMDPs [Guestrin *et al.*2002] are a sub-set of MMDPs where the state is partitioned into variables, or factors : $S = X_1 \times ... \times X_{|X|}$ where $X = \{X_1, ..., X_{|X|}\}$ is the set of variables. A state corresponds to an assignment of values of all factors $s = \langle x_1, ..., x_{|X|}\rangle$.

In a factored MMDP, the transition and reward functions can be represented compactly by exploiting conditional independence between variables and additive separability of the reward function.

3 Our Approach

[Pineau *et al.*2001] suppose with the H-POMDP approach, that a separation of actions leads to a wide range of possible improvements on sub-parts of the problem. This work, however, was only done in the mono-agent case, and its application to a multiagent one is far from simple.

Their resolution of the problem permits some steps to be simplified as they consider that there is a unique agent modifying the environment. In a multiagent situation, this assertion is invalid. We adapt their concepts to Multiagent MDPs, and propose a new way of solving such a problem by making groups of actions that allow the use of meaningful improvements such as aggregation generated by the considered actions.

To illustrate the model, we introduce a factored safety surveillance (FSS) problem as a running example. It formalizes a team of n robots that have to move between r rooms, separated or not by d doors, with the objective of making each room safe. A state in the FSS problem is an assignment of the position of each agent, the state of each door, and the safety level of each room.

Figure 1 represents the problem with $n = 2, r = 4$ and $d = 1$. At each time step, each agent i can choose to move left or right between rooms (L,R), open or close the door (O,C), make its room safe (S) or do nothing (N). The advantage of this small example is its strong coupling making most of the states interactive and thus difficult to solve. Without loss of genericness and for reasoning simplicity, we assume that the environment is modified by the agents only.

FIGURE 1 – Factored safety surveillance problem, with two agents in a four room environment.

Our objective is to produce, from the initial problem, a set of sub-problems that are created using the factored set of states $S = X_1 \times X_2 \times ... \times X_n$ by considering that $\forall a \in A, X^a = \{X_i | X_i \in X$ and X_i is *affected* by $a\}$.

X_i is *affected* by a if $\forall s = (x_1, x_2, ..., x_n) \in S, \nexists s' = (x'_1, x'_2, ...x'_n) \in S$, s.t. $T(s, a, s') \neq 0$ and $x_k \neq x'_k$.

In other words, if we represent a state as (X_1 = current position, X_2 = safety of room1, etc.), a movement action can (possibly) change the current position, but can't change the safety of a room. For a movement action, we therefore consider that the position is *affected* whereas the room safety is not.

By following this procedure, we can automatically create every group G_{S_i} containing every action that affects the elements of S_i.

4 From Initial- to Sub-MMDPs

We consider a factored initial MMDP, named Initial-MMDP. We assume that we obtain an action decomposition

©AFIA 2016

$G = \langle G_1, ..., G_p \rangle$ with $\bigcup_i G_i = A$ using the principles presented above. An action can appear in multiple groups G_i, however when those groups are used to solve the problem, the action will be processed multiple times. Unlike the HPOMDP case [Pineau *et al.*2001] we cannot assert an action hierarchy because of the management of multiple agents. A hierarchy based on the joint actions could be made, but it is not discussed here. Using the Initial-MMDP and each action group, we will create Sub-MMDPs defined as a tuple $\langle I, S', A', P', R', H' \rangle$:

- I is the number of agents of the Initial-MMDP ;
- A' is the set of joint-actions considered in the action group G_i ;
- S' is the factored set of joint states consisting of a restriction of the Initial-MMDP ; this restriction is further explained in section 4.1 ;
- $P' : S' \times A' \times S' \rightarrow [0, 1]$ is the transition function reduced to the working sets ; $R' : S' \times A' \rightarrow \Re$ the immediate reward received by the system for being in state s and performing the joint action a ;
- H' is the horizon.

We are inspired by the idea that to solve a complex task, we do not need to be omniscient or omnipotent, we just need to be able to process the available information and do what is needed at the right moment.

In our example, the safety of the rooms has an impact on the need to move, as it is the goal of the agent, but is irrelevant to us while moving We therefore separate the actions into groups by examining only the state variables which impact them. We use the following form for the set of states : $[AB]^i * [CD]^j$ will contain every joint state that can be formed using i variables of $[AB]$ and j variables of $[CD]$. In our example, this gives the decomposition presented in Figure 2. For example, $[R1R2]^2$ represents the states for each agent, a joint state being R2R2. A likely possible instance of $[R1R2]^2 * [SN]^2$ is R2R1NS which represents agent 1 in Room2, agent 2 in Room1, with Room1 unsecured and Room2 secured.

JointAction	States Form
RR RN NR	[R1 R2O R2F R3 R4]²
LL LN NL	[R1 R2 R3O R3F R4]²
NO ON OO OC CO CC CN NC	[R2O R2F R3O R3F]²
NS SN SS	[R1 R2 R3 R4]² * [S N]⁴
RO OR LO OL RC CR LC CL RL LR	[R1 R2O R2F R3O R3F R4]²
RS SR	[R1 R2O R2F R3 R4]² * [S N]⁴
LS SL	[R1 R2 R3O R3F R4]² * [S N]⁴
OS SO CS SC NN	[R1 R2O R2F R3O R3F R4]² * [S N]⁴

FIGURE 2 – Reduced set of states for each sub-problem

4.1 Generation of the Sub-MMDPs

Problem Statement. The decomposition of the Initial-MMDP into multiple Sub-MMDPs offers several possibilities. This decomposition, which amounts to dividing the transition table between each action group, generates no information loss and gives us the ability to regenerate the Initial-MMDP from the Sub-MMDPs.

The initial problem is, however, hard to solve, as we are forced to take into account all combinations of states and actions. We can simplify the problem by considering each individual Sub-MMDP. We can reduce the state set (as some states are not affected by that action group) and find local policies. Then by synchronizing the different Sub-MMDPs, we can find a solution to the initial problem.

We define synchronization as the propagation of each Sub-MMDP's information. It mostly consists of transferring the information from the sub-problems to the initial problem and vice-versa. This separation gives many benefits, such as reduced processing time (at the potential cost of some information loss) if we use aggregation techniques.

Definition of the reduced Sub-MMDP state set. We consider that a state that we can neither leave, nor reach with an action in A' is irrelevant for the considered Sub-MMDP. We can therefore restrict the set of states S' in the Sub-MMDP to $\{s \in S | \exists s' \in S, a \in A', P'(s, a, s') > 0\}$. Note that S is still $\bigcup_i S'_i$.

A possible improvement : Aggregation. By creating the groups as presented in section 3 and the sets by following the restrictions given above, we obtain different Sub-MMDPs with restricted sub-sets of the Initial-MMDP.

A human is capable of performing a wide range of actions, but will only use a sub-set for a given task ; cooking skills are not usually useful whilst driving for example. Even when multitasking, unnecessary information and actions will be filtered out.

We can apply this human-like reasoning to MMDPs, as we have a sub-set of actions in our Sub-MMDPs that do not use every variable composing the states. We are thus able to independently aggregate the sets of each problem. These aggregations improve each Sub-MMDP independently and need to be addressed during synchronizations to take dependencies between Sub-MMDPs into account and allow a near optimal overall policy to be obtained.

The aggregation can be seen as the deletion of at least one variable, X_i, or of some instantiations of a variable, x_i from the state s. Using section 3, we obtained groups of actions that work on the same variables X_i. By removing non-influential variables from the considered state, we aggregate the states and are able to work on smaller sets.

We apply the aggregation process to generate the set of states for the action "go right", R, in our example (this process being the same for every action) as follows :

Performing action R, going from a room to the one on its right, in any state, does not modify information about the safety of a room. More formally : $\forall s = \{pos, state_D, safe_{R1}, safe_{R2}, safe_{R3}, safe_{R4}\} \in S, \nexists s' = \{pos', state'_D, safe'_{R1}, safe'_{R2}, safe'_{R3}, safe'_{R4}\} \in S$ s.t. $\exists i \in \{1,..,4\}$, $safe_{R_i} \neq safe'_{R_i}$ and $T(s, R, s') \neq 0$. We can thus remove the variables "$safe_{Ri}$" from every state of the current set.

Conversely, although in rooms $R1$, $R3$ and $R4$ the result

©AFIA 2016

of going right is not affected by whether the door is open or closed, in $R2$, if the door is closed the agent will stay in that room, but if the door is open it will go to room $R3$. The state of the door is hence influential and should be considered in the sets of variables. The set of influential states for the action R is therefore $\{R_1, R_2O, R_2C, R_3, R_4\}$ where, for example, R_2O means "Room 2, Door open".
By doing the same for every action, we obtain the sets of states used by each action. In an MMDP we consider joint-actions and we therefore need to compose these sets for every agent considered. The aggregation on our FSS example is shown in Figure 2.

4.2 Resolution

Solving an MMDP means finding the best action for each state in the set of states. Solving a Sub-MMDP will thus give us the best action (according to this Sub-MMDP) for each state in the reduced set of states. Note that this action is chosen according to the local model and is therefore optimal for the sub-problem only ; the optimal action for the Initial-MMDP, which takes into account every detail could be different.
Without aggregration, the best action chosen by comparing the local Sub-MMDPs, will be the best action for the Initial-MMDP. If aggregation is used, however, the loss of information means that the best action chosen from the aggregated sub-MMDPs is not necessarily the optimal solution for the Initial-MMDP.

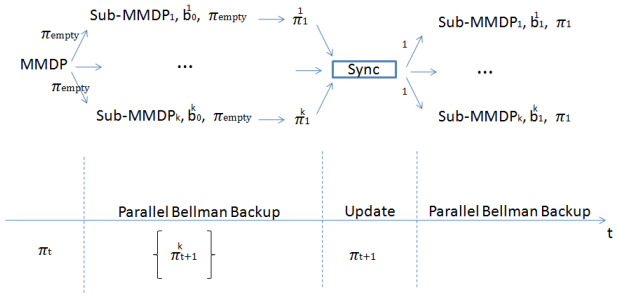


FIGURE 3 – Problem Resolution

Contrary to a wide range of work using decomposition of a problem into sub-problems, we do not consider that there are (in)dependent links between each Sub-MMDP. Thus we cannot solve them separately, and we need to synchronize them to be able to compare their results. To this end, resolution, as depicted in Figure 3, is based on a series of parallel backups followed by synchronization. We consider that there are two types of synchronization :
– $Sync_{Result}$ is the process of computing the best global action of the initial-MMDP from the local best actions of the Sub-MMDPs ;
– $Sync_{Subs}$ consists of locally propagating the expected rewards of the best global action generated by the $Sync_{Result}$ process.
Both synchronizations are only applied to relevant Sub-MMDPs, i.e. ones whose states' variables are affected by the global action. The following sections describe the synchronization processes.

4.3 Sync$_{Result}$

Sync$_{Result}$ links the Sub-MMDP set of states S' with other sub-problems in order to work on the same set of variables X^R. Going back from S' to the initial set of states S of the Initial-MMDP is possible in every case. By doing this, we can transfer the information, such as the states, expected reward or the action dictated by the policy, from one problem to another. More formally, we can define X^R and S_R as follows :
– X^a, X^b are the sets of variables of Sub-MMDP a and b respectively ;
– $S'_a = \times_{X_i \in X^a}(X_i)$, $S'_b = \times_{X_j \in X^b}(X_j)$ are the sets of states ;
– $X^R = X^a \bigcup X^b$;
– $S_R = \times_{X_i \in X^R}(X_i)$.
We also define
– the projection s'_a of the state $s \in S_R$ on S'_a : $s'_a = s.X^a$ s.t. $s'_a \in S'_a$;
– the policy : $\pi^{S'_a}(s \in S_R) = \pi^{S'_a}(s.X^a)$.
A brief example :
– $X^a = \{A, B, C\}$, $X^b = \{C, D, E\}$;
– $S'_a = A \times B \times C$, $S'_b = C \times D \times E$;
– $X^R = \{A, B, C, D, E\}$, $S_R = A \times B \times C \times D \times E$;
– $s = (a, b, c, d, e) \in S_R$ projected on S'_a : $s.X^a = (a, b, c)$.
We can then compare the local policies and determine π^{S_R} : $\forall s \in S_R, V^{\pi^{S_R}}(s) = max(V^{\pi^{S'_a}}(s), V^{\pi^{S'_b}}(s))$ where $V^{\pi^{S'_i}}(s) = V^{\pi^{S'_i}}(s.X^i)$.
The resolution is thus decomposed into a Bellman Backup on all Sub-MMDPs, which let us process $\pi^{S'_i}$ for each Sub-MMDP i, then compare each obtained $\pi^{S'_i}$ to find a solution for the initial problem π^S, and finally to send the resulting information to every sub problem. We can then repeat the same process. To solve the system we use dynamic programming [Bellman1954].

4.4 Sync$_{Subs}$

Sync$_{Subs}$ propagates π^{S_R} to every sub problem. In order to manage the synchronization, we can consider that the variables X_i are grouped in an interact, $X^{interact} = X^a \bigcap X^b$, and a normal set, $X^{normal} = X^a \bigcup X^b - X^{interact}$ [Witwicki and Durfee2010]. A variable is in the interact set if there are at least two sub-problems where this variable is influential. It is possible to create such a set for every pair of sub-problems or for the entire set of sub-problems depending on the synchronization process we apply. When the interact variables are modified, $Sync_{Subs}$ should be performed. More formally speaking : $\forall s \in S_R$ and a global action $a = \pi^{S_R}(s)$, we propagate $V^{\pi^{S_R}}(s)$ to the relevant set S'_i of the Sub-MMDPs. As each Sub-MMDP can observe variables modified by the others, the processing and synchronization of all the Sub-MMDPs must be carried out at the same time, i.e. during same time

©AFIA 2016

interval. The synchronization is done using the expected reward as a vector of communication following this formula :
– $\forall s \in S_R, E[R^{S'_i}(s)] = \frac{\sum_{s'=s.X^i} E[R(s')]}{|\{s', s.t.\ s'=s.X^i\}|}$.

4.5 Sub-MMDP Synchronization with Aggregation

This step propagates the results of each Sub-MMDP to the other Sub-MMDPs. This corresponds to an update of the value function of each Sub-MMDP based on the results of the Bellman backup as shown in Figure 4.
We consider a set of p states $S_{up} = \{s_{u1}, \ldots, s_{up}\}$ and its aggregated corresponding state $s_{agg} \in S_{agg}$; the corresponding value functions $V^\pi(s^t_{u1}), \ldots, V^\pi(s^t_{up})$ at time t, giving the following update formulae :

$$\forall s_{agg} \in S_{agg}, V^\pi(s^t_{agg}) = \max(V^\pi(s^{t-1}_{agg}), \max_j\{\frac{V^\pi(s^{t-1}_{uj})}{p}\}$$

$$\forall s_{up} \in S_{up}, V^\pi(s^t_{up}) = \max(V^\pi(s^{t-1}_{agg}), V^\pi(s^{t-1}_{up}))$$

These equations allow us to synchronize the set of different sub-problems with different sets of variables X_i. This means that, instead of comparing each action on every state (112 comparisons for our running example with one agent), we would reduce the comparisons to the relevant states (23 comparisons). The cost of synchronization, which mainly consists of additions, does not outweigh this gain.

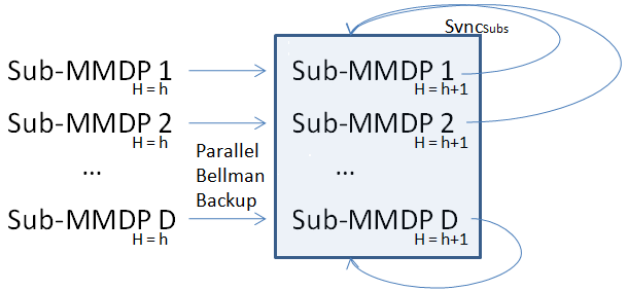


FIGURE 4 – Sub-MMDPs Resolution - Basic schema of the parallel Bellman backup and the Synchronizations.

5 From Sub-MMDPs to MMDP

The resolution of each Sub-MMDP $\langle I, S', A', P', R', H' \rangle$ gives us the best joint-action of its action group for each of its states. We thus solve each Sub-MMDP using the following value function : $V^\pi(s^t) = E[\sum_{t=0}^{h-1} \gamma^t R(\overrightarrow{a^t}, s^t)|\pi]$ with $\overrightarrow{a^t} = \pi(s^t.X')$
The action groups between them cover every action of the Initial-MMDP, and the decomposition of the states previously described does not prune any state from which we can perform at least one action. Resolving the initial problem is therefore the same as finding the best joint-action - among all sets of joint-actions - for each state - among all sets of states, equivalent to using the following value function :

$$\forall s^t \in S, V^\pi_{Initial}(s^t) = E[\sum_{t=0}^{h-1} \gamma^t max_{Subs}(R'(\overrightarrow{a^t}, s^t))]$$

with $\overrightarrow{a^t} = \pi(s^t.X')$ and R' the reward function of the Sub-MMDP.
We present in the following an algorithm to solve the FSS problem. We note $Sync^{S_B}_{S_A} : S'_{S_A} \mapsto \mathcal{P}(S'_{S_B})$ the function which returns the set of states S_B of the problem B corresponding to a state s of the problem A : $Sync^{S_B}_{S_A}(s) = \{s.X^{S_B}\}_{s \in S_A}$. A and B. Reference to the initial is denoted by $init$ and a sub problem by sub.

Require:
$h = 0$
$EF = \{s | R(s) > 0\}$
$P_{sub}(s) = \{s_2 | \exists s' \in Sync_{sub}(s), s_2 \in previousState_{sub}(s')\}$ with $s' \in Sync_{sub}(s)$

while $h < H$ **do**
  for all $sub \in$ set of sub-Problems **do**
    $EF_{sub} = \cup_{s \in EF} P_{sub}(s)$
    for all $s' \in EF_{sub}$ **do**
      $V'_h(s') = E(V(s) | s' \in Sync^{sub}_{init}(s))$
    end for
    for all $s_2 \in EF_{sub}$ **do**
      for all $a \in A'_{sub}$ **do**
        $V'_{h+1}(s_2, a) = cost(a) + \gamma \Sigma_{s'} T(s_2, a, s') V'_h(s')$
      end for
      $V'_{h+1}(s_2) = max_a V'_{h+1}(s_2, a)$
      $\Pi'(s_2) = argmax_a V'(s_2, a)$
    end for
    for all $s \in Sync^{init}_{sub}(s_2), s_2 \in EF_{sub}$ **do**
      $V_{sub}(s) = V'_{h+1}(s_2) | s_2 = Sync^{sub}_{init}(s)$
      $\Pi_{sub}(s) = \Pi'(s_2)$
      $EF = EF \bigcup \{s\}$
    end for
  end for
  $V(s) = max_{sub} V_{sub}(s)$
  $\Pi(s) = argmax_a \Pi'(s, a)$
end while

6 Experimental Results

We consider factored safety surveillance problems with 2 agents, 1 to 2 doors and 3 to 6 rooms. The actions considered are $Nothing$, $MovingRight$, $MovingLeft$, $OpenDoor$, $CloseDoor$, $MakeRoomSafe$, with costs of 0,5,5,3,3 and 10 respectively, the final states reward a vast amount (1000). The sub-problems are defined using the groups presented in Figure 2. We solve each of those problems using an MMDP approach, with and without using groups. We consider in the following that “using groups” is equivalent to “using aggregation”.
There is a non-reversible action (that of securing a room), which allows us to prune a branch of the transition tree when no aggregation is made, as we can assume that the

©AFIA 2016

agents will stop when the specified rooms have been secured, and will not need to verify the others. Using aggregation, on the other hand, we lose information on the states, which does not permit us to take the same shortcut. To be able to compare both approaches in terms of solving time and policies, we therefore need to consider that all rooms must be secured before the agents stop. In each example, we therefore consider a unique final state where all rooms are secured and both agents stop in room 1. We do not explicitly consider an intial state as the policy processed will give plans for every possible state.

We already know that MMDPs can be solved optimally using the state of the art techniques (i.e. basic value iterations). We therefore use this for both problems. The case where we do not consider groups of actions gives us the optimal policy of the problem and can be used as a reference to compare the results using groups of actions.

For each case, we compare the average time to solve the instance with and without groups, the number of states with positive rewards and the rewards given by the computed policies for each horizon.

The experiments were conducted using a mono-core at 2.4Ghz and 16Gb DDR3. Note that the decomposition into sub-problems allows for parallel solving using multi-cores (one for each sub in the best case), but to be able to compare on a par with the basic resolution we do not present those results here.

6.1 Performance

We hoped to show a possible gain in computation time and space using our approach. One drawback of our method appears to be the steeply rising number of Final States per Horizon at each step when using groups (see Figure 5). The use of aggregation blurs the boundaries among sub-problems and a state in a specific sub-problem (such as the position of the agents) can be equivalent to several hundreds of states in another sub-problem or in the initial problem where we consider other variables such as room safety as well as the agents' position. We therefore expand the set of reachable states very quickly. Despite this rapid expansion, the resolution time is still much faster than that of the standard solution due to the use of aggregation. Figure 6 shows a significant gain in computation time, directly resulting from the state space reduction resulting from the use of aggregation.

6.2 Solution Quality

Figure 7 shows us the comparison of : $\frac{\sum_{s \in FinalStates}(E[R(s)])}{|FinalStates|}$ computed for the optimal case (without groups) and the case using groups (and aggregation). Due to the process of aggregating and decomposing states based on the variables X_i, we find in the policy using groups a lot of actions for states that are not considered in the optimal policy. This particularly shows in Figure 5 for short horizons where the resolution not using groups slowly expands its wave of states with positive expected

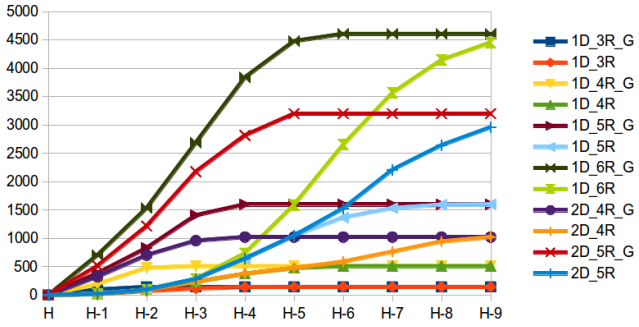


FIGURE 5 – Average number of positive reward Final States per Horizon

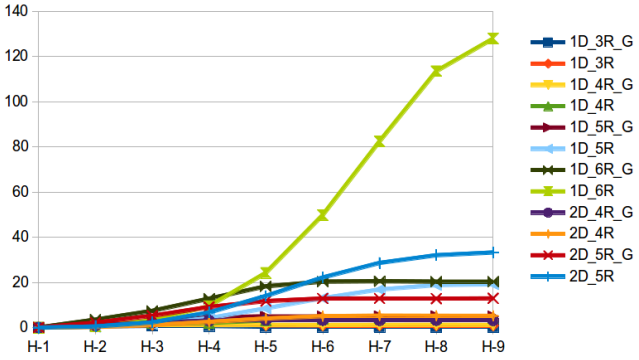


FIGURE 6 – Average solving time (sec) for the XDoors_YRooms(_Group) instance per Horizon

rewards. This explains the relatively low rewards on shorter horizons in comparison to the optimal case (without groups) shown in Figure 7. The longer the horizon, the better the results. Without groups, the optimal policy reaches more states after each horizon, and with groups, the synchronizations propagate the expected rewards to the different sub-problems. The policies obtained using groups are close to optimal, in terms of actions chosen for each state, and in terms of expected rewards on longer horizons.

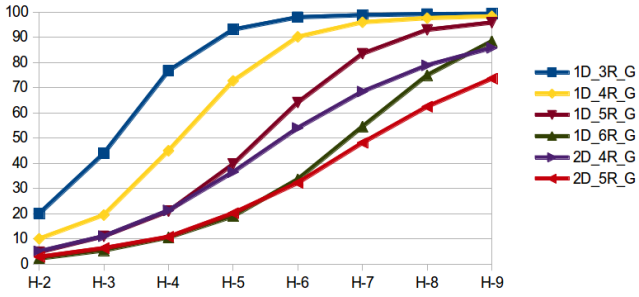


FIGURE 7 – Percentage of the optimal value per Horizon

We can see that the error decreases the longer the horizon and for large problems we need longer horizons to attain a high solution quality. For example, in the $1D_3R_G$ problem we attain the optimal policy at horizon 9 while for the $2D_5R_G$, we attain only 73% of the optimal

©AFIA 2016

solution. In general, when considering an infinite horizon, our approach will be faster to show near-optimal solutions. The infinite horizon consideration is however left for future works.

We note some drawbacks of the method that are not shown in these results :

– The sub problems being different in term of number of states, the chosen joint action of the policies are sometimes $Right_Open$ in a state where the door is already open, instead of $Right_Nothing$ as in the optimal case. It is explained by the way we manage and propagate the rewards on the sub problems ; we consider averages on the number of states, and thus end with cases where performing a useless action on a sub problem is better than doing nothing on another ;
– When the final states' rewards are not high enough, the aggregation process can not propagate enough rewards to let the sub-problems be solvable, and no actions will be taken because doing nothing is always found to be better. To counter that, a ratio between the number of states and the rewards amount has to be defined.

6.3 Scalability

The main advantage of aggregation is the management of the transitions. Where in the initial state we consider the square of the number of states multiplied by the number of actions, which in a simple example of 1 Door and 4 Rooms amounts to $1024^2 * 36 = 37,748,736$. In the aggregated sub-problems we only consider a small fraction of those transitions, specifically $2,514,246$ (6.66% of the initial transition set).

7 Conclusion

In this paper, we solved a complex task, composed of different complex or simple tasks, under uncertainty. Our approach is based on the idea behind the H-POMDP model and extends it to multiagent settings. We defined a model allowing a problem formalized by an MMDP to be split into smaller MMDPs, showing that improvements can be achieved on the sub-problems without a major loss in the solution quality. We addressed the synchronization issue which is preponderant in a multiagent scenario and we described experimental results obtained on a FSS problem. The resolution of the Sub-MMDPs gave us insight into the possible gain that can be achieved by reasoning on the actions while solving complex problems. The drastic cut in the transition numbers should allow us to tackle a wider range of problems than with the current methods, while keeping a relatively good final policy.

Future works will consist of solving such larger problems, in terms of number of agents and environment, and adding a higher layer of decision to manage the Sub-MMDPs in order to solve a problem using different sets of sub-problems. The flexibility of the presented model should allow us to add or remove actions during execution, which will give new methods to manage open-MAS. We are working on an extension of this work to MPOMDP, Dec-MDP and Dec-POMDP models with the management of belief states during synchronization. We expect that by providing new tools based on this method, we will be able to solve currently unmanageable complex multiagent problems under uncertainty, and obtain good results.

Références

[Becker *et al.*2004] Raphen Becker, Shlomo Zilberstein, Victor Lesser, and Claudia V. Goldman. Solving transition independent decentralized Markov decision processes. *Journal of Artificial Intelligence Research*, pages 423–455, 2004.

[Bellman1954] Richard Bellman. The theory of dynamic programming. *Bull. Amer. Math. Soc. 60, no. 6*, pages 503–515, 1954.

[Bernstein *et al.*2000] Daniel S. Bernstein, Shlomo Zilberstein, and Neil Immerman. The complexity of decentralized control of markov decision processes. In *Proceedings of the Sixteenth conference on Uncertainty in artificial intelligence*, pages 32–37. Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2000.

[Boutilier1996] Craig Boutilier. Planning, learning and coordination in multiagent decision processes. In *Proceedings of the 6th conference on Theoretical aspects of rationality and knowledge*, pages 195–210. Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1996.

[Boutilier1999] Craig Boutilier. Sequential optimality and coordination in multiagent systems. In *IJCAI*, volume 99, pages 478–485, 1999.

[Goldman and Zilberstein2004] Claudia V. Goldman and Shlomo Zilberstein. Decentralized control of cooperative systems : Categorization and complexity analysis. *J. Artif. Intell. Res.(JAIR)*, 22 :143–174, 2004.

[Guestrin *et al.*2002] Carlos Guestrin, Shobha Venkataraman, and Daphne Koller. Context-specific multiagent coordination and planning with factored MDPs. In *AAAI/IAAI*, pages 253–259, 2002.

[Melo and Veloso2009] Francisco S. Melo and Manuela Veloso. Learning of coordination : Exploiting sparse interactions in multiagent systems. In *Proceedings of The 8th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems-Volume 2*, pages 773–780. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems, 2009.

[Messias *et al.*2013] JoÃčo Vicente Messias, Matthijs TJ Spaan, and Pedro U. Lima. GSMDPs for Multi-Robot Sequential Decision-Making. In *AAAI*, 2013.

[Parr1998] Ronald Parr. Flexible decomposition algorithms for weakly coupled Markov decision problems. In *Proceedings of the Fourteenth conference on Uncertainty in artificial intelligence*, pages 422–430. Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1998.

©AFIA 2016

[Pineau *et al.*2001] Joelle Pineau, Nicholas Roy, and Sebastian Thrun. A hierarchical approach to POMDP planning and execution. *Workshop on hierarchy and memory in reinforcement learning*, 65(66) :51–55, 2001.

[Witwicki and Durfee2010] Stefan J. Witwicki and Edmund H. Durfee. Influence-based policy abstraction for weakly-coupled dec-POMDPs. In *ICAPS*, pages 185–192, 2010.

[Xuan *et al.*2001] Ping Xuan, Victor Lesser, and Shlomo Zilberstein. Communication decisions in multi-agent cooperation : Model and experiments. In *Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pages 616–623, 2001.

©AFIA 2016

MDP à grande échelle : étude de cas des voies navigables

Guillaume Desquesnes Guillaume Lozenguez Arnaud Doniec Éric Duviella

Mines Douai, IA, F-59508 Douai, FRANCE,
Univ. Lille, F-59000 Lille, FRANCE

prenom.nom@mines-douai.fr

Résumé

Les réseaux de voies navigables devraient subir des changements importants en raison d'une volonté d'augmenter le trafic naval et des effets du changement climatique. Ces changements nécessitent une gestion adaptative et résiliente de la ressource en eau et requièrent donc une planification plus intelligente. Un modèle représentatif du réseau, utilisant des MDPs, est proposé et testé afin d'optimiser la gestion de l'eau. Il fournit des résultats prometteurs, le modèle proposé permet de coordonner plusieurs entités sur plusieurs pas de temps de façon à éviter les inondations et sécheresses dans le réseau. Cependant, la solution proposée ne permet pas de passer à l'échelle et n'est pas utilisable dans une application réelle. Les avantages et limitations de plusieurs approches de la littérature qui pourrait permettre de passer à l'échelle sont présentés et discutés sous le prisme de notre étude de cas.

Mots Clef

Processus de décision markovien, Réseau de voies navigables, Grand modèle

Abstract

Inland waterway networks are likely to go through heavy changes due to a will in increasing the boat traffic and to the effects of climate change. Those changes would lead to a greater need of an automatic and intelligent planning for an adaptive and resilient water management. A representative model of the network is proposed and tested using MDPs with promising results on the water management optimization. The proposed model permits to coordinate multiple entities over multiple time steps in order to avoid a flood and drought, in the waterway network. However, the proposed model suffers a lack of scalability and is unable to represent a real case application. The advantages and limitations of several approaches of the literature are discussed according to our case study.

Keywords

Markov Decision Process, Inland waterway network, Large model

1 Introduction

Le changement climatique est une problématique majeure de notre société moderne. Ces dernières années, les effets du changement climatique sur le réseau des voies navigables ont été étudiés. Le consensus général est que l'intensité et la fréquence des périodes d'inondation et de sécheresse vont augmenter [14]. En parallèle, l'utilisation des voies navigables pour décongestionner le trafic routier et ferroviaire est en vogue. Une augmentation du trafic naval est donc attendue dans les années à venir.

Un réseau de voies navigables est un réseau hydrographique aménagé par les hommes qui interagit avec un environnement naturel. Une majorité de ces interactions n'est que partiellement connue : rejets illégaux, échanges avec les nappes phréatiques, influence locale de la météo, ... Le contrôle d'un tel réseau est donc soumis aux incertitudes et une modélisation stochastique semble donc la plus adaptée.

Actuellement, la supervision et la conduite du système repose principalement sur l'expertise d'opérateurs humains. Toutes ces évolutions ont tendance à complexifier la gestion de l'eau dans les réseaux de voies navigables et rendent a priori la planification par l'opérateur humain de moins en moins pertinente pour optimiser la gestion de l'eau du réseau.

Les processus de décision markoviens (ou Markov Decision Processes - MDP) sont largement utilisés pour la planification de modèles stochastiques et permettent d'obtenir un plan pour toutes les configurations possibles du modèle. À notre connaissance, les MDPs n'ont pas encore été utilisés pour modéliser les réseaux de voies navigables de façon à les rendre résilients et plus stables. Néanmoins, des travaux ont déjà été réalisés sur ce sujet, en utilisant des réseaux de flots avec l'hypothèse forte d'un modèle déterministe [13].

Les MDPs permettent de modéliser l'évolution d'un système incertain, mais induisent un modèle intraitable dans une majorité d'applications. Ces MDPs trop grands rendent les politiques de contrôle optimal dures à calculer et nécessitent des algorithmes spécifiques [3, 12]. Une modélisation stochastique du réseau est proposée, permettant de planifier une coordination de toutes les entités du réseau. La complexité dans cette application vient d'abord

©AFIA 2016

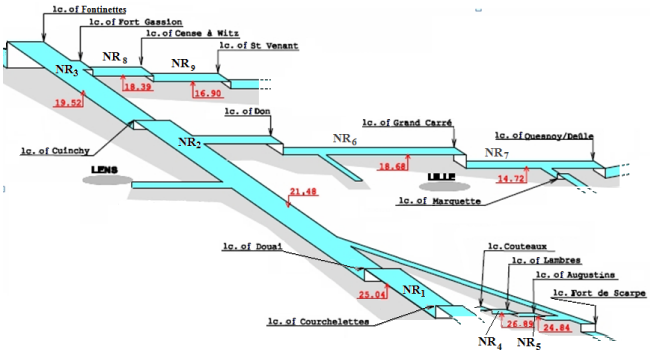


FIGURE 1 – Extrait du réseau de voies navigables du nord de la France

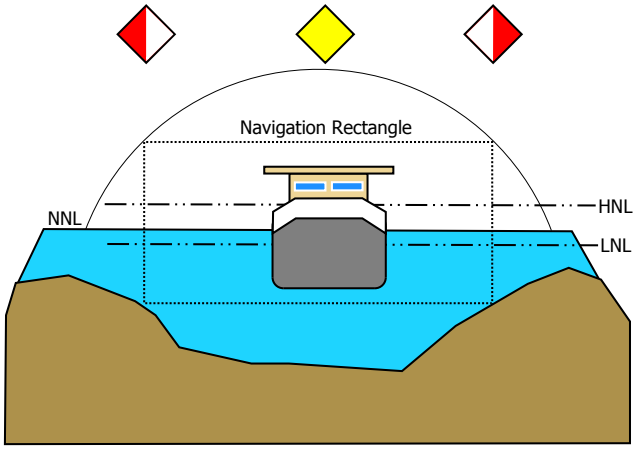


FIGURE 2 – Rectangle de navigation

des possibilités de déplacement d'eau réparties sur un territoire. Un contrôle optimal représente l'ensemble des actions conjointes (déplacements d'eau) en considérant l'ensemble des configurations possibles de l'intégralité du réseau ce qui induit une explosion combinatoire du nombre d'états. Cet article vise à montrer les limitations d'un tel modèle optimal et centralisé appliqué à un réseau de voies navigables et à discuter des approches qui permettraient de distribuer le modèle.

Dans cet article, le problème de la gestion d'un réseau de voies navigables dans le cadre du changement climatique est présenté dans la section 2. Une modélisation naïve du réseau en utilisant les MDPs est présentée en section 3 et de premiers résultats nous permettent de discuter de ses limitations en section 4. Une description et une comparaison de différents dérivés des MDPs pour des modèles à grande échelle et distribués sont proposées en section 5, toujours dans le cadre de la supervision d'un réseau de voies navigables. Enfin une ébauche de modélisation du problème via un MDP distribué est discutée dans la section 6.

2 Supervision d'un réseau de voies navigables

Un réseau de voies navigables (voir figure 1) est un système à grande échelle utilisé majoritairement pour la navigation. Il fournit à la fois des avantages économiques et environnementaux [10, 11], tout en assurant un transport discret, efficace et sûr des biens [5]. Il est constitué majoritairement des rivières canalisées et des canaux artificiels, le tout séparé par des écluses. Tout morceau de réseau entre deux écluses est appelé un bief.

Le niveau d'eau d'un bief doit respecter les conditions du rectangle de navigation (voir figure 2) tout en étant le plus proche possible du niveau normal de navigation ou normal navigation level (NNL). Les bornes inférieures et supérieures du rectangle de navigation sont appelées respectivement niveau de navigation inférieur ou lower navigation level (LNL) et niveau de navigation supérieur ou higher navigation level (HNL). L'objectif principal des opérateurs est de maintenir un niveau d'eau acceptable dans tous les biefs du réseau afin de permettre la navigation.

Dans une situation normale, le passage de bateaux par les écluses est la principale perturbation du niveau d'eau, puisque l'utilisation d'une écluse draine une quantité importante d'eau du bief amont pour la déverser dans le bief aval. D'autres perturbations du niveau d'eau peuvent exister telles que des échanges avec le sol, les rivières naturelles, les précipitations ainsi que d'autres échanges inconnus et non contrôlés tels que des rejets illégaux. Les écluses ne sont pas dédiées au contrôle du niveau de l'eau, des portes sont utilisées pour envoyer de l'eau en aval et des pompes peuvent renvoyer de l'eau en amont.

Pour le moment, la navigation n'est autorisée que pendant la journée, avec quelques exceptions, notamment le dimanche. La gestion des biefs est basée sur une expertise humaine obtenue au fil du temps. Mais, dans un contexte de changement climatique, qui augmentera les effets des inondations et des sécheresses, combinés à une volonté d'augmenter le trafic notamment en permettant la navigation sur 24h, l'expertise humaine devrait montrer ses limites.

L'objectif principal est d'assurer en chaque point du réseau les conditions de navigation. Cela consiste à déterminer un planning global, pour l'intégralité du réseau, en prenant en compte les incertitudes du problème, telles que le climat et le trafic, le tout dans un contexte de changement climatique et d'augmentation du trafic. Planifier sur plusieurs pas de temps permet une meilleure anticipation des événements possibles, en utilisant la capacité d'obtenir des informations sur l'état du réseau en temps réel grâce à des capteurs de niveau répartis dans les biefs.

3 Utilisation des processus décisionnels markoviens

Un processus décisionnel markovien (MDP) permet de modéliser de façon générique les possibilités de contrôle d'un système dynamique et stochastique sous forme d'un automate probabiliste. Cette modélisation est bien adaptée au réseau de voies navigables puisque l'état du réseau est

©AFIA 2016

totalement observable (en terme de volumes d'eau) et le contrôle est incertain du fait des entrées / sorties d'eau incontrôlées.

3.1 MDP

Un MDP est défini par un tuple $\langle S, A, T, R \rangle$, où S et A représentent respectivement les ensembles d'états et d'actions qui définissent le système et ses possibilités de contrôle. T est la fonction de transition définie par $T : S \times A \times S \rightarrow [0, 1]$. $T(s, a, s')$ est la probabilité d'atteindre l'état s' en effectuant l'action a depuis l'état s, avec $s, s' \in S$ et $a \in A$. La fonction de récompense R définie par $R : S \times A \times S \rightarrow \mathbb{R}$, $R(s, a, s')$ donne la récompense obtenue lorsque l'agent arrive en s' après avoir effectué l'action a en s.
Une politique $\pi : S \rightarrow A$ est un assignement d'une action à chaque état du système. La résolution optimale d'un MDP consiste à trouver la politique optimale π^* qui maximise la récompense espérée. π^* maximise la fonction de valeur de l'équation de Bellman [1] définie pour chaque état par :

$$V^{\pi}(s) = \sum_{s' \in S} T(s, a, s') \times (R(s, a, s') + \gamma V^{\pi}(s')) \quad (1)$$

avec $a = \pi(s)$

$$\pi^*(s) = \arg\max_{a \in A} (\sum_{s' \in S} T(s, a, s') \times (R(s, a, s') + \gamma V^{\pi^*}(s'))) \quad (2)$$

Le paramètre $\gamma \in [0, 1]$ permet de varier l'importance entre les récompenses futures ou immédiates. Si γ a une valeur proche de 0 les récompenses immédiates seront préférées, tandis que pour γ proche de 1, des pénalités à court terme pourront être acceptées si elles mènent a des récompenses importantes à long terme. Divers algorithmes existent pour résoudre de manière optimale un MDP. Une version notable est *Value Iteration* [16]. Il construit itérativement la fonction de valeur V, en utilisant l'équation 3 après un nombre spécifié d'itérations ou jusqu'à convergence. Le dernier V_i obtenu est utilisé pour générer la politique optimale grâce à l'équation 2. La première fonction de valeur V_0 étant initialisé à 0.

$$V_{i+1}(s) = \max_{a \in A} (\sum_{s' \in S} T(s, a, s') \times (R(s, a, s') + \gamma V_i(s'))) \quad (3)$$

3.2 Approche naïve du contrôle du réseau des voies navigables

L'objectif est de planifier la meilleure suite d'actions pour l'ensemble du réseau sur t pas de temps, tout en sachant que certaines conditions pourront être différentes à chaque pas de temps et peuvent affecter la navigation. Par exemple, le temps peut devenir pluvieux, augmentant le niveau de l'eau dans les biefs affectés, ou encore une augmentation du trafic naval sur certains biefs impliquant une plus grande utilisation des écluses.

Des demi-journées sont utilisées comme pas de temps, de façon à séparer les périodes de navigation le jour et les périodes inactives la nuit. L'utilisation de pas de temps larges permet de considérer le niveau d'eau d'un bief comme uniforme et de réduire les incertitudes sur le trafic et autres variations temporelles.
Un état du modèle est défini comme une assignation de volume à chaque bief du réseau pour chaque pas de temps. De même, une action est une assignation de volume d'eau transférée par chaque point de transfert contrôlé (les ouvrages). Le formalisme MDP nécessite des ensembles d'états et d'actions discrétisés, mais, comme les volumes observés et transférés du système sont continus, ils ont dû être discrétisés sous forme d'intervalles.
Chaque bief est divisé en intervalle, tous de même taille, à l'exception du premier et dernier intervalle qui comportent les valeurs en dehors du rectangle de navigation. Ces deux intervalles sont considérés de taille infinie.
Les points de transfert utilisent une partition en intervalles similaires à celle des biefs, cependant les volumes transférés étant considérés comme étant parfaitement contrôlables, ils n'ont donc pas d'intervalle de taille infinie.
Plus formellement, l'ensemble d'états S du modèle est défini comme la combinaison de tous les intervalles possibles de chaque bief pour chaque pas de temps. Pour un bief i, les intervalles sont obtenus par une discrétisation régulière des volumes partant de moins d'eau que le minimum autorisé 0 jusqu'à plus que le maximum autorisé ri_{out}.

$$S = \{0, \ldots, t\} \times \prod_{i=1}^{N} [0, ri_{out}] \quad (4)$$

où N représente le nombre de biefs dans le réseau.

Similairement, l'ensemble d'actions A est défini comme la combinaison des intervalles de volume des points de transfert. Les actions étant indépendantes du temps, nous avons simplement :

$$A = \prod_{i,j \in [0,N]^2} L_{i,j} \quad (5)$$

où $L_{i,j}$ représente l'ensemble des intervalles du point de transfert reliant le bief i au bief j et le bief 0 correspond aux rivières externes, ou autres éléments externes, reliés au bief. Il existe, en fait, un nombre très limité de points de transfert, la plupart des $L_{i,j}$ ne permettent donc pas de transfert et sont notés $L_{i,j} = \emptyset$.
Nous notons $a_{i,j} \in L_{i,j}$ le volume à transférer du bief i à j prévu par l'action $a \in A$. Pour simplifier la notation, a_i représente la partie de l'action qui affecte le bief i tel que :

$$a_i = \sum_{j=0}^{N} (a_{i,j} \ominus a_{j,i}) \quad (6)$$

Avec $\oplus$ et $\ominus$ deux opérateurs, définis sur $(\mathbb{R} \cup \mathcal{I})^2 \rightarrow \mathbb{R}$, qui peuvent respectivement ajouter et soustraire des inter-

©AFIA 2016

valles de nombre et/ou des nombres, le résultat étant toujours un réel. $\mathcal{I}$ étant l'ensemble de tous les intervalles possibles de notre réseau. Nos opérateurs sont respectivement une simple addition et soustraction, en utilisant la valeur du membre s'il s'agit d'un réel, ou la moyenne du membre s'il s'agit d'un intervalle.

La fonction de transition $T(s, a, s')$ représente la probabilité d'atteindre l'état s' après avoir effectué l'action a depuis l'état s en prenant en compte les possibles variations temporelles. Trivialement, pour s et s' respectivement défini aux pas de temps t et t' alors, s' n'est atteignable que si $t' = t + 1$.

L'état d'un bief ne dépend que des volumes d'eau entrants et sortants, et est donc indépendant de celui des autres biefs dans la fonction de transition. Une première source d'incertitude sur les transitions vient des déplacements d'eau non contrôlés, modélisés par une liste de variations temporelles notées Var.

Les variations temporelles sont des changements locaux à un ou plusieurs biefs ou points de transfert pendant un ou plusieurs pas de temps avec une certaine probabilité. De la pluie sur un bief, par exemple, est une variation temporelle. Comme les variations temporelles ne sont pas dans l'espace d'action, elles affectent uniquement la fonction de transition. Le volume non contrôlé qui affecte le bief i est noté $v_i \in Var$ et $P(v_i|t)$ représente la probabilité qu'il arrive au pas de temps t.

La seconde source d'incertitude vient de la discrétisation en intervalle des volumes transférés et des biefs, qui est la cause d'une approximation dans la représentation des états. Nous définissons $P(ri_{s'}|ri_s,\ a_i + v_i)$ la probabilité que le volume d'eau du bief i au pas de temps $t_s + 1$ soit inclus dans l'intervalle $ri_{s'}$ si l'action a_i est effectuée avec un déplacement incontrôlé de volume v_i en i en partant de l'intervalle ri_s.

$$P(ri_{s'}|ri_s,\ a_i{+}v_i) = \begin{cases} p_= & \text{si } ri_s \oplus a_i + v_i \in ri_{s'} \\ p_+ & \text{si } ri_s \oplus a_i + v_i \in ri_{s'} + 1 \\ p_- & \text{si } ri_s \oplus a_i + v_i \in ri_{s'} - 1 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \tag{7}$$

où $p_=$ est la probabilité d'atteindre l'intervalle attendu en prenant en compte l'approximation des intervalles, p_+ (resp. p_-) est la probabilité d'atteindre l'intervalle correspondant à un niveau d'eau supérieur (resp. inférieur), en respectant

$$p_+ + p_- + p_= = 1 \quad \text{et} \quad p_+ = p_-$$

La fonction de transition est construite à partir du produit des deux sources d'incertitudes :

$$T(s, a, s') = \prod_{i=1}^{N} \left(\sum_{\forall v_i \in Var} P(v_i|t) \times P(ri_{s'}|ri_s,\ a_i + v_i) \right) \tag{8}$$

Finalement, la fonction de récompense est définie, avec les experts, de façon à pénaliser fortement l'écart au niveau normal de navigation pour chaque bief, tout en ajoutant un faible coût aux déplacements d'eau. Plus formellement :

$$R(s, a, s') = -1 \times \left(\sum_{i=1}^{N} (NNL_i \ominus ri_{s'})^2 + a_i \right) \tag{9}$$

où NNL_i est le volume objectif correspondant au niveau normal de navigation du bief i. Lorsque $ri_{s'}$ est en dehors du rectangle de navigation, il est remplacé par une grande valeur c, et par $\frac{c}{2}$ si $ri_{s'}$ n'est que partiellement en dehors du rectangle de navigation.

4 Essai sur un réseau

Afin de tester cette approche, un réseau de navigation réaliste a été imaginé (voir figure 3), composé de deux biefs et de six points de transfert. Notre approche sera testée sur plusieurs scénarios de ce modèle, ce qui impliquera la création de plusieurs MDPs.

4.1 Caractéristiques du réseau

Sur la figure 3, les biefs sont représentés par des carrés, avec le rectangle de navigation spécifié en unité de volume, et les arcs correspondent aux points de transfert avec une capacité de transfert minimale et maximale. Une valeur négative signifie que le point de transfert peut être utilisé pour importer et exporter de l'eau. Ce réseau a été simulé sur une durée de 8 journées et 8 nuits, nous donnant 16 pas de temps. Les simulations se déroulent dans un contexte d'absence de navigation de nuit, où les écluses ne sont pas utilisées de nuit.

Les volumes des deux biefs sont divisés en 9 intervalles de tailles $\{\infty, 20, 20, 20, 20, 20, 20, \infty\}$. Les volumes des points de transfert 1, 2 et 4 sont divisés en intervalles de taille 5. Ce qui correspond respectivement à 6, 5 et 2 intervalles. Les points de transfert 0, 3 et 5 représentent les écluses et transfèrent une quantité d'eau constante, correspondant au trafic fluvial. Comme nous planifions sur 16 pas de temps, nous avons $\prod_{\forall i} |[0, ri_{out}]| \times |0, \ldots, t| = 9 \times 9 \times (16+1) = 1377$ états. Un pas de temps supplémentaire est ajouté pour marquer la fin de planification, et tous les états durant ce pas de temps sont considérés absorbants, ce qui signifie $T(s, a, s) = 1$ et $R(s, a, s) = 0$, et n'ont donc aucune influence sur la planification. Similairement, le nombre d'actions est $\prod_{\forall (i,j)} |L_{i,j}| = 1 \times 6 \times 5 \times 1 \times 2 \times 1 = 60$.

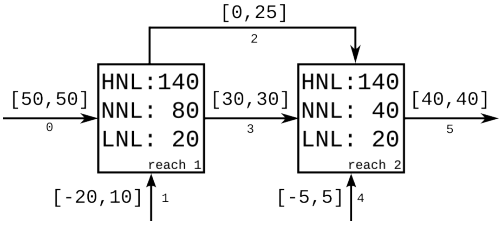


FIGURE 3 – Réseau de voies navigables

©AFIA 2016

Nous avons utilisé $c = 10000$, une valeur arbitrairement grande, comme pénalité pour être en dehors du rectangle de navigation. Dans une optique de validation des performances de l'approche, les probabilités sur les intervalles ont été assignées arbitrairement de la façon suivante $p_= = 0.9$ et $p_+ = p_- = 0.05$.

4.2 Quelques résultats

Pour analyser empiriquement, la qualité des politiques obtenues par notre modélisation, nous avons effectué plusieurs simulations correspondant à 4 scénarios. Le premier scénario correspond à un scénario idéal. Les deux biefs sont initialement à leur niveau normal de navigation et il n'y a aucune perturbation. Dans le second scénario, le premier bief est près de son niveau minimal de navigation et le second près de son niveau maximal toujours sans perturbation. Le troisième scénario est similaire au précédent, avec les niveaux de départ des biefs inversés. Finalement, le dernier scénario se base sur le premier scénario, en y ajoutant une perturbation importante. Cette perturbation très probable ne dure qu'un pas de temps et n'affecte qu'un point de transfert. Cependant, elle peut possiblement faire déborder un bief si elle n'est pas anticipée par la planification.

Puisque les actions sont des intervalles de volumes, les scénarios ont été testés en transférant une valeur aléatoire dans les intervalles, plutôt que de choisir la meilleure valeur ou la moyenne. Cela dans le but d'avoir une meilleure perception de la qualité des intervalles choisis par la politique. Comme les volumes à transférer sont choisis de façon aléatoire, 5 simulations ont été effectuées pour chaque scénario. Cela permet d'avoir une meilleure visualisation des résultats possibles sans trop surcharger les figures. Il est important de noter que les simulations pour tester les politiques se déroulent dans un système continu, de façon à être le plus proche d'un système réel.

Ce réseau a été créé de façon à ce qu'une planification optimale du premier scénario permette de maintenir le niveau normal de navigation dans les deux biefs sur tous les pas de temps. Il est possible d'observer, sur la figure 4 que la politique obtenue par cette approche n'en est que relativement proche. Cet écart est lié à la discrétisation en intervalles et à l'approximation qui en résulte. Comme un intervalle est représenté par sa moyenne, il est possible que le volume d'un bief augmente ou baisse tout en restant dans le même intervalle et cela peut induire un écart à l'optimalité.

La réaction du réseau face à un événement qui avait amené les biefs aux limites du rectangle de navigation est visible sur les figures 5 et 6. Il est possible de remarquer que la récupération est plus rapide dans le second cas, ceci étant lié à la configuration du réseau. Il est en effet plus simple pour un bief d'envoyer de l'eau dans un bief aval qui doit se remplir, que lorsqu'il faut utiliser les sources extérieures afin d'éviter de nuire au reste du réseau.

Dans le dernier scénario, une forte pluie est supposée se produire entre le pas de temps 7 et 8, ce qui ferait déborder le premier bief, si celui-ci se trouvait proche de son NNL.

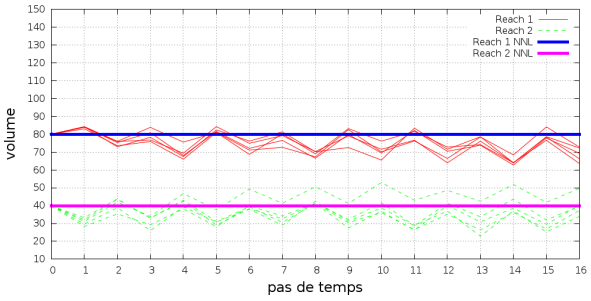


FIGURE 4 – Scénario 1 : partant des NNL sans perturbation

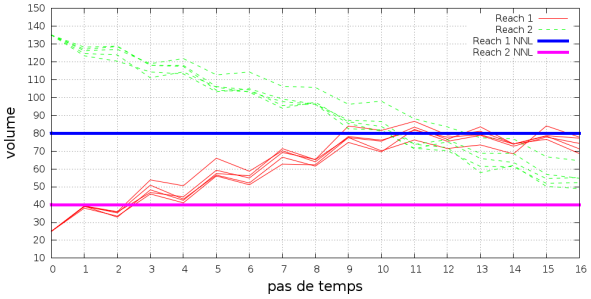


FIGURE 5 – Scénario 2 : partant du LNL et du HNL sans perturbation

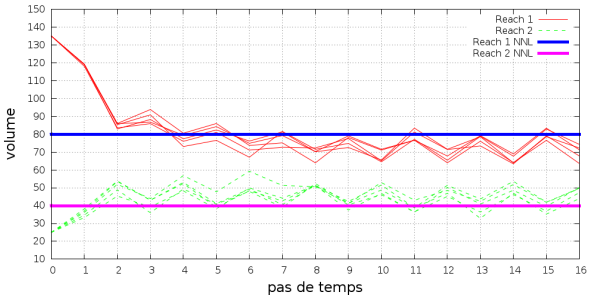


FIGURE 6 – Scénario 3 : partant du HNL et du LNL sans perturbation

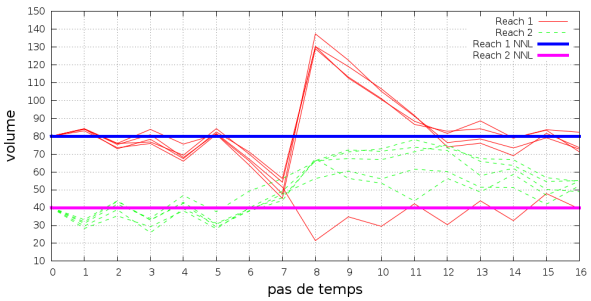


FIGURE 7 – Scénario 4 : partant des NNL et avec perturbation

Et il est observable que la politique, afin de se prémunir contre ce débordement, commence à vider le premier bief quelques pas de temps avant la perturbation, l'éloignant du NNL, tout en préservant les rectangles de navigation.

©AFIA 2016

4.3 Limitation du passage à l'échelle

Une implémentation naïve de la fonction de transition consiste à créer une matrice de taille $|S|^2 \times |A|$, qui contiendrait pour notre exemple $1377^2 \times 60 = 1.137\,677\,40 \times 10^8$ valeurs. En supposant que le stockage en mémoire de chaque valeur nécessite 8 octets, cela impliquerait un minimum 0.91 Go d'espace mémoire pour stocker la fonction de transition.

Cependant, la plupart des transitions entre états sont impossibles donc nulles et cela, principalement du fait de la continuité temporelle. Pour un état s au pas temps t, seuls les états au pas de temps $t + 1$ sont atteignables. Pour ce type de configuration, une matrice creuse permet de réduire drastiquement le nombre de valeurs à stocker. Seuls les indices des valeurs et leurs valeurs ont à être stockés pour les valeurs non nulles. Tant que la matrice est plus qu'à moitié vide, l'utilisation de matrice creuse est bénéfique.

Lors du calcul de la politique optimale du MDP, plusieurs résultats ont pu être observés : les politiques donnent des résultats attendus ; la construction de la fonction de transition est une des étapes les plus longues ; enfin, la convergence des algorithmes est très rapide. La définition du temps n'étant pas cyclique, le choix des actions au dernier pas de temps ne dépend que de la récompense immédiate (une seule itération) et récursivement, les actions des états à un pas de temps t ne dépendent que des états pour les pas de temps supérieurs ($\forall t' > t$). Cela donne donc une borne maximale sur le nombre d'itérations nécessaires pour trouver la politique optimale. Elle est égale au nombre total de pas de temps modélisés, ici 17. Le nombre d'itérations étant fixé indépendamment de γ, il est possible d'utiliser $\gamma = 1$ afin d'obtenir les meilleurs résultats.

5 Approches pour contourner les limitations de l'approche naïve

Lorsque l'on augmente la taille du réseau étudié et/ou la précision des intervalles, nous nous heurtons rapidement à des problèmes de limitations de mémoire. En effet, l'ensemble d'états croît, par construction, exponentiellement par rapport au nombre de biefs. Or les applications réelles contiennent un nombre important de biefs. Le réseau de voies navigables du nord de la France contient près de 50 biefs. Notre approche naïve serait par exemple incapable de construire l'ensemble des états nécessaire à notre application. Pour contourner ce type de limitations spatiales, des extensions des MDP ont été définies dans la littérature telle que la représentation factorisée du modèle. Une autre technique consiste à décomposer, à diviser le MDP en sous-MDPs locaux. Nos recherches se limitent sur les approches permettant une planification sur l'ensemble de l'espace d'états. Pour le moment, nous ne sommes pas intéressés par les approximations comme les recherches arborescentes de Monte-Carlo [8], où la politique calculée ne s'applique qu'aux états les plus probables. Cette approche requiert la connaissance des états initiaux et un mécanisme continu si le système dérive vers des états inconnus.

5.1 MDP factorisé

L'approche des MDP factorisés vise à représenter de manière compacte la fonction de transition et de récompense, introduite dans *Boutilier, Dearden, Goldszmidt et al.* [4]. Pour cette raison, les états sont représentés par une assignation des variables. Chaque variable peut avoir une influence sur la valeur d'une variable spécifique au pas de temps suivant. L'idée derrière les MDP factorisés est d'exploser l'espace d'état pour regrouper les parties similaires des fonctions de transition et de récompense.

Dans notre cas, l'espace d'états (resp. d'actions) est obtenu par le produit cartésien de l'espace d'état de chaque bief (resp. espace d'action de chaque point de transfert). De plus l'espace d'état d'un bief ne dépend, en règle générale, pas directement de l'état de ses voisins, seules les actions l'influencent. Lorsqu'un bief reçoit de l'eau, les volumes des biefs amont et aval ne sont pas utilisés pour déterminer le nouveau volume, seuls les volumes échangés sont utilisés. Nous supposons qu'il est toujours possible de déplacer de l'eau, un bief n'étant jamais ni plein ni vide. Les actions conduisant à de tels cas sont interdites dans le modèle. Les états des biefs sont indépendants et nous pourrions l'utiliser pour factoriser notre MDP.

5.2 MDP décomposé

La décomposition d'un MDP permet de réduire la complexité du calcul de la politique en construisant une hiérarchie entre des problèmes locaux et une solution globale [3, 7]. Elle est particulièrement efficace dans des problèmes spatiaux puisqu'elle est basée sur les aspects topologiques des transitions.

Dans la majorité des problèmes réels, la décomposition de MDP pourrait simplifier le calcul de la politique (avec ou sans garantie d'optimalité), mais requiert de générer une partition de l'ensemble d'états [15, 17]. S'il n'y a pas de décomposition évidente, le partitionnement est un problème très difficile [2] et pourrait pénaliser l'approche par décomposition.

Un MDP de voies navigables n'est pas facilement décomposable, bien que chaque état représente un aperçu du réseau entier. Cependant, une option pourrait être de considérer plusieurs niveaux de détérioration des conditions de navigation. Chaque sous-MDP correspondant à un niveau de détérioration produira une politique visant à rétablir les conditions normales de navigation. Par exemple, si le MDP est divisé en trois sous-MDPs : normal, inondation, sécheresse, nous pouvons nous attendre que la politique gardera le système dans les états normaux (proche du NNL) avec peu de dépendance entre les trois sous-MDPs. De cette manière, résoudre en premier le sous-MDP normal puis les deux autres permettrait d'accélérer le calcul de la politique. Cependant, la décomposition n'aura pas d'impact sur la taille de la fonction transition, seul son calcul pourra s'effectuer en plusieurs temps.

©AFIA 2016

5.3 MDP distribué

Les MDPs distribués semblent être une méthode ad hoc pour résoudre les problèmes coopératifs d'une modélisation multi-agents. Une telle approche est utilisée pour résoudre des MDPs décentralisés [6, 12], un framework où la politique doit être distribuée sur les agents et utilisée de façon décentralisée. Chaque agent est responsable du calcul de sa propre politique en prenant en compte ses objectifs. Des mécanismes orientés protocole permettent aux agents d'adapter leur politique afin d'atteindre un intérêt commun. Les MDP distribués sont utilisés, par exemple, dans une mission robotique, pour traiter la coordination de voyageurs de commerce [9].
Cette approche combine les idées de la factorisation et la décomposition. Le MDP est divisé en plusieurs sous-MDPs en partitionnant l'ensemble d'états et d'actions. Chaque sous-MDP est ensuite responsable d'un sous-ensemble des variables du problème et ignore les autres. Dans une modélisation orientée agents, chaque sous MDP correspondra aux capacités d'un agent dans le groupe (perceptions individuelles et actions).
Une approche itérative est utilisée pour résoudre les MDPs distribués, chaque itération modifiera la structure de chaque sous-MDP (valeurs de la fonction de transition et/ou récompense). Le calcul s'arrêtera lorsque les politiques seront stables pour tous les sous-MDPs (agents). L'espace d'états exploré pour calculer la politique pourrait être significativement réduit. Cela permet d'accélérer le calcul, sans qu'il y ait cependant de garantie sur l'optimalité de la solution.
Le réseau de voies navigables devrait être facilement distribuable puisque les points de transfert sont déjà distribués sur un territoire. Un agent serait responsable du contrôle d'un ou plusieurs points de transfert et le mécanisme de coordination serait basé sur les biefs communs à un ou plusieurs agents. Les MDPs distribués semblent très prometteurs pour répondre à notre problème, car ils peuvent réduire significativement la complexité de calcul et permettent une définition flexible du réseau. Cependant, la résolution de MDP distribué est une approche récente, sans framework générique établi. Les résultats restent donc incertains.

6 Vers une modélisation distribuée

Nous avons commencé à explorer l'adaptation de notre cas d'étude à l'approche distribuée. Nous définissons un agent comme un sous-ensemble de points de transfert du réseau. Un choix cohérent, consiste à ce que l'agent forme un sous-graphe connexe, dans le graphe formé par le réseau, avec les biefs comme sommets et les points de transfert comme arcs. De plus, chaque point de transfert ne peut être assigné qu'à un agent. Notons $\alpha = \{L_{i,j}, \ldots, L_{i',j'}\}$ la représentation d'un agent et $reach_\alpha = \{i, \ldots, i', j, \ldots j'\}$ l'ensemble des biefs affectés par cet agent. Nous considérons que si deux agents affectent un même bief alors ces agents sont voisins.

Un état d'un agent représente l'état des biefs affectés par les points de transfert de l'agent. Nous avons donc l'ensemble d'états de l'agent α :

$$S_\alpha = \{1, \ldots, t\} \times \prod_{i \in reach_\alpha} [0, ri_{out}]$$

Trivialement, l'ensemble d'actions d'un agent est la combinaison des intervalles de volumes de ses points de transfert.

$$A_\alpha = \prod_{l \in \alpha} l$$

La modélisation des états et des agents est la même que pour l'approche naïve, le découpage du réseau en agent reste néanmoins à définir.
L'algorithme de résolution envisagé est une variante de l'algorithme $LID - JESP$ [12]. Il se déroulerait de la façon suivante.

1. Calculer une politique gloutonne : π_α
2. Partager cette politique avec ses voisins
3. Recevoir les politiques des voisins
4. Mettre à jour T_α avec les politiques reçues
5. Déterminer l'amélioration possible g_α de π_α sur le nouveau MDP
6. Partager g_α avec ses voisins
7. Si un voisin à une plus grande amélioration possible alors retourner en 3.
8. Construire π_α à partir de $\langle S_\alpha, A_\alpha, T_\alpha, R_\alpha \rangle$
9. Si l'algorithme converge la politique optimale locale est π_α
10. Sinon retourner en 2.

L'objectif en utilisant cette approche distribuée consiste à valider une réduction de la complexité des calculs et permettre une définition flexible du réseau tout en limitant les pertes de qualité sur les solutions produites de supervision du réseau. Si la réduction au moins en taille de la modélisation est assez évidente, les points critiques d'une telle approche sont liés au processus distribué (convergence et qualité globale des politiques jointes).

7 Conclusion

Dans cet article, une approche orientée MDP est présentée pour optimiser la gestion de l'eau dans un réseau de voies navigables avec une vue globale et une planification sur un horizon de gestion. Cette approche vise à réduire l'impact des sécheresses et des inondations qui risque d'augmenter à cause du changement climatique, dans les années à venir. En utilisant des MDPs, il est possible de modéliser la dynamique et les incertitudes d'un tel système afin d'optimiser les conditions de navigation. Cependant, ce modèle est rapidement limité par la taille de l'espace d'état. Mais plusieurs pistes permettraient de contourner cette limitation : les approches factorisées, décomposées et distribuées des

©AFIA 2016

MDPs. Les approches factorisées et distribuées tirent avantage de la corrélation des variables dans la définition des états et des actions.
Une approche basée sur les MDPs distribués est envisagée plus concrètement avec une modélisation orientée agents du réseau de voies navigables. Cette approche devrait permettre un bon contrôle des ressources de calcul nécessaire pour produire une solution intéressante, mais sans garanties a priori sur son optimalité.
Dans des travaux futurs basés sur cette approche, nous chercherons à valider une bonne gestion des ressources pour gérer des réseaux de toutes tailles. L'étude du calcul de la probabilité d'atteindre l'intervalle attendu est souhaité, en parallèle d'une détermination de règles de discrétisation pertinantes, en se basant sur de donnéess réelles d'exploitation.

Références

[1] R. Bellman. A Markovian Decision Process. *Journal of Mathematics and Mechanics*, 6(4) :679–684, 1957.

[2] C.-E. Bichot et P. Siarry. *Graph Partitioning*. Wiley-ISTE, 2011.

[3] C. Boutilier, T. Dean, et S. Hanks. Decision-theoretic planning : Structural assumptions and computational leverage. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 11 :1–94, 1999.

[4] C. Boutilier, R. Dearden, M. Goldszmidt, et others. Exploiting structure in policy construction. In *IJCAI*, volume 14, pages 1104–1113, 1995.

[5] C. Brand, M. Tran, et J. Anable. The UK transport carbon model : An integrated life cycle approach to explore low carbon futures. *Energy Policy*, 41 :107–124, 2012.

[6] I. Chades, B. Scherrer, et F. Charpillet. A Heuristic Approach for Solving Decentralized-POMDP : Assessment on the Pursuit Problem. In *SAC '02 : Proceedings of the 2002 ACM symposium on Applied computing*, pages 57–62, Madrid, Spain, 2002. ACM.

[7] T. Dean et S. hong Lin. Decomposition techniques for planning in stochastic domains. In *In Proceedings Of The Fourteenth International Joint Conference On Artificial Intelligence (IJCAI-95)*, pages 1121–1127. Morgan Kaufmann, 1995.

[8] L. Kocsis et C. Szepesvári. Bandit Based Monte-Carlo Planning. In J. Fürnkranz, T. Scheffer, et M. Spiliopoulou, editors, *Machine Learning : ECML 2006*, volume 4212 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 282–293. Springer Berlin Heidelberg, 2006.

[9] G. Lozenguez, L. Adouane, A. Beynier, A.-I. Mouaddib, et P. Martinet. Punctual versus continuous auction coordination for multi-robot and multi-task topological navigation. *Autonomous Robots*, pages 1–15, 2015.

[10] I. Mallidis, R. Dekker, et D. Vlachos. The impact of greening on supply chain design and cost : a case for a developing region. *Journal of Transport Geography*, 22 :118–128, 2012.

[11] S. Mihic, M. Golusin, et M. Mihajlovic. Policy and promotion of sustainable inland waterway transport in Europe – Danube River. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(4) :1801–1809, 2011.

[12] R. Nair, P. Varakantham, M. Tambe, et M. Yokoo. Networked Distributed POMDPs : A Synthesis of Distributed Constraint Optimization and POMDPs. In *National Conference on Artificial Intelligence*, page 7, 2005.

[13] H. Nouasse, L. Rajaoarisoa, A. Doniec, E. Duviella, K. Chuquet, P. Chiron, et B. Archimede. Study of drought impact on inland navigation systems based on a flow network model. In *Information, Communication and Automation Technologies (ICAT), 2015 XXV International Conference on*, pages 1–6. IEEE, 2015.

[14] R. K. Pachauri, M. Allen, V. Barros, J. Broome, W. Cramer, R. Christ, J. Church, L. Clarke, Q. Dahe, P. Dasgupta, et others. Climate Change 2014 : Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014.

[15] R. Parr. Flexible Decomposition Algorithms for Weakly Coupled Markov Decision Problems. In *14th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*, pages 422–430, 1998.

[16] M. L. Puterman. *Markov Decision Processes : Discrete Stochastic Dynamic Programming*. John Wiley & Sons, Inc., 1994.

[17] R. Sabbadin. Graph partitioning techniques for Markov Decision Processes decomposition. In *15th Eureopean Conference on Artificial Intelligence*, pages 670–674, 2002.

©AFIA 2016

Recherche efficace de motifs fréquents dans des grilles

Romain Deville[2] Elisa Fromont[1] Baptiste Jeudy[1] Christine Solnon[2]

[1] Univ Lyon, UJM, CNRS, Lab Hubert Curien UMR 5516, F-42023, SAINT-ETIENNE, France
[2] Université de Lyon, CNRS INSA-Lyon, LIRIS, UMR5205, F-69622, France

Résumé

La complexité des algorithmes de fouille de graphes généraux est telle qu'ils sont peu utilisés en pratique. Cette complexité est due à la fois aux tests d'isomorphisme et au grand nombre de combinaisons permettant d'étendre un graphe durant le processus de fouille. Dans cet article, nous proposons d'exploiter des représentations géométriques régulières (des grilles) pour rechercher efficacement des motifs fréquents dans un ensemble de grilles. Nous présentons un algorithme appelé GRIMA *qui, contrairement aux algorithmes généraux, peut passer l'échelle. Nous appliquons cet algorithme à un problème de classification d'images, pour lesquelles nous proposons une représentation par* Sac de grilles*. Les expérimentations montrent l'efficacité de notre algorithme et l'intérêt d'utiliser une représentation structurée pour représenter les images.*

Mots Clef

Fouille de graphes, grilles, classification d'images.

Abstract

General-purpose exhaustive graph mining algorithms are seldom used in real life contexts due to the high complexity of the process mostly based on costly isomorphism tests and countless expansion possibilities. In this paper, we show how to exploit grid-based representations to efficiently extract frequent grid subgraphs, and we introduce an efficient grid mining algorithm called GRIMA *designed to scale to large amount of data. We apply our algorithm on image classification problems. Experiments show that our algorithm is efficient and that adding the structure may help the image classification process.*

Keywords

Graph Mining, sub-graphs, grids, image classification.

1 Introduction

La complexité des algorithmes de fouille de graphes généraux est telle qu'ils sont peu utilisés en pratique. Cette complexité est due à la fois aux tests d'isomorphisme et au grand nombre de combinaisons permettant d'étendre un graphe durant le processus de fouille [6]. Afin de pouvoir effectivement utiliser ces algorithmes dans des applications réelles, il est souvent nécessaire de réduire la complexité en considérant des graphes particuliers ((outer)planar, clique, de degré borné, etc.), en contraignant la stratégie d'expansion, ou en relâchant la propriété de complétude.

Dans cet article, nous nous intéressons au problème de la recherche de motifs fréquents dans des graphes qui sont des grilles : les grilles ont une topologie fixée telle que le degré de chaque sommet est constant, *e.g.*, 4 dans une grille carrée 2D. Cette structure de grille est par exemple naturellement présente dans de nombreux jeux de plateau (dames, échecs, go, etc), ou encore dans les modélisations d'écosystèmes à base d'automates cellulaires [11]. En image en particulier, il est maintenant reconnu que les représentations haut niveau à base de graphes (*e.g.*, graphes d'adjacence de régions ou triangulations de points d'intérêt) sont sensibles au bruit de sorte que deux images légèrement différentes sont représentées par des graphes très différents [23, 22]. Cependant, les images sont intrinsèquement des grilles : des grilles 2D de pixels pour les images 2D, des grilles 3D de voxels pour les images tomographiques ou IRM, et des grilles 2D+t pour des vidéos. Nous proposons d'exploiter cette structure de grille naturellement présente dans les images pour caractériser les images par des histogrammes de motifs (sous-grilles) fréquents.

Dans la section 2, nous décrivons des travaux existants à base de fouille pour classer des images. Dans la section 3, nous rappelons quelques définitions sur les graphes, et dans la section 4 nous introduisons les grilles. Dans la section 5, nous décrivons notre algorithme, GRIMA, en lien avec les autres algorithmes de fouille de graphes. Dans la section 6 nous comparons expérimentalement ces différents algorithmes et nous montrons l'intérêt de cette approche pour la classification d'images.

2 Fouille pour la classification d'images

La fouille a été récemment utilisée avec succès pour faire de la classification d'images [10, 26] et permet d'obtenir des caractéristiques de plus haut niveau et plus discriminantes. Cependant, ces approches exploitent des caractéristiques telles que les sacs-de-mots (*Bags-Of-Visual-Words, BOW*), par exemple, et aucune information spa-

©AFIA 2016

tiale entre ces caractéeristiques n'est exploitée. L'utilisation de sacs-de-graphes à la place des BOW a déjà été proposée dans [21] pour la classification d'images satellite : les sommets du graphe correspondent à des régions de l'image et les arêtes à des pavages de Voronoi (duaux des triangulations de Delaunay). Dans ce travail, les occurrences des sous-graphes dans chaque image sont dénombrées, et un support basé sur un ensemble indépendant maximum est utilisé. Dans notre approche, nous considérons une définition plus classique de la notion de support, basée sur le nombre d'images dans lesquelles un motif apparaît. Les auteurs de [21] ne proposent pas d'algorithme spécifique pour résoudre leur problème de fouille. La triangulation de Delaunay a également été utilisée dans [23] pour classer des images. Cependant, les triangulations ne sont pas invariantes aux changements d'illumination ou d'échelle des objets dans les images de sorte qu'elles ne permettent pas de bons résultats de classification. Des travaux récents [2, 24] mentionnent également l'utilisation de sacs-de-graphes pour de la classification en biologie. Cependant, les auteurs ne décrivent pas comment les motifs sont extraits des graphes, ni même comment les graphes sont créés à partir d'une image (ils considèrent que cela est dépendant de l'application). Dans [20], les auteurs ont montré qu'en combinant la fouille de graphes et le *boosting*, ils peuvent obtenir des règles de classification plus pertinentes qu'en utilisant simplement des ensembles de caractéristiques. Dans ces graphes, chaque sommet correspond à un point d'intérêt et est étiqueté par un descripteur discret. Le graphe est complet et chaque arête est étiquetée par un vecteur discret modélisant l'échelle, la distance et l'orientation. L'algorithme GSPAN [27] est ensuite utilisé pour extraire des sous-graphes fréquents, mais seulement un nombre limité de caractéristiques est utilisé pour chaque image afin de permettre un passage à l'échelle sur des jeux de données réels.

3 Définitions sur les graphes

Nous considérons des graphes non orientés connexes et étiquetés. Un **graphe** est défini par un triplet (N, E, L) où N est un ensemble de nœuds, $E \subseteq N \times N$ un ensemble d'arêtes et $L : N \cup E \to \mathbb{N}$ est une fonction qui associe une étiquette $L(c)$ à chaque composant (nœud ou arête) $c \in N \cup E$. Un **graphe géométrique** est un graphe dont les nœuds sont plongés dans un espace 2D. Il est défini par un tuple (N, E, L, η) tel que (N, E, L) est un graphe et $\eta : N \to \mathbb{R}^2$ associe chaque nœud à un point 2D (appelé coordonnées). Un **graphe plan** est un graphe géométrique dont les arêtes ne s'intersectent pas, à l'exception de leurs extrémités. Nous considérons des graphes plans dont les arêtes sont des segments de droites de sorte qu'un graphe géométrique (N, E, L, η) est plan si pour chaque couple d'arêtes différentes $\{(u, u'), (v, v')\} \subseteq E$, les deux segments ouverts $]\eta(u), \eta(u')[$ and $]\eta(v), \eta(v')[$ ont une intersection vide. Les arêtes d'un graphe plan partitionnent le plans en plusieurs régions, appelées **faces**. La face correspondant à la région infinie est appelée **face externe** ; les autres faces sont des **faces internes**.

Un **sous-graphe** d'un graphe $G = (N, E, L)$ est un graphe $G' = (N', E', L')$ tel que $N' \subseteq N$, $E' \subseteq E$ et L' est la restriction de L à $N' \cup E'$. L'extension de cette définition aux graphes géométriques est immédiate : nous ajoutons simplement que le plongement η' de G' est la restriction de η à N'. Cependant, l'extension aux graphes plans mérite une discussion. Nous pouvons simplement considérer la même définition que pour les graphes géométriques, comme cela est proposé dans [9]. Dans ce cas, certaines faces internes de G' peuvent ne plus correspondre à des faces internes de G (par exemple, si une arête entre deux faces adjacentes de G est supprimée de sorte que les deux faces de G sont fusionnées en une seule face dans G', comme illustré dans les figures 1(a) et 1(b)). Dans [8], une condition est ajoutée pour assurer que chaque face interne de G' est aussi une face interne de G. Plus formellement, étant donnés deux graphes plans $G = (N, E, L, \eta)$ et $G' = (N', E', L', \eta')$: G' est un **sous-graphe plan** de G si (N, E, L) est un sous-graphe de (N', E', L') et η' est la restriction de η à N' ; G' est **face-induit sous-graphe plan** de G si G' est un sous-graphe plan de G et chaque face interne de G' est aussi une face interne de G.

Deux graphes $G = (N, E, L)$ et $G' = (N', E', L')$ sont **isomorphes** s'il existe une bijection $f : N \to N'$, appelée fonction d'isomorphisme, qui préserve arêtes et étiquettes, *i.e.*, $\forall i, j \in N, (i, j) \in E \Leftrightarrow (f(i), f(j)) \in E'$; $\forall i \in N, L(i) = L'(f(i))$; et $\forall (i, j) \in E, L(i, j) = L'(f(i), f(j))$. Dans le cas de graphes géométriques, la fonction d'isomorphisme doit aussi préserver le plongement, mais les transformations rigides sont autorisées (voir [1] pour une définition des transformations rigides) : $G = (N, E, L, \eta)$ et $G' = (N', E', L', \eta')$ sont **géométriquement isomorphes** s'il existe une fonction d'isomorphisme $f : N \to N'$ et une transformation rigide $T : \mathbb{R}^2 \to \mathbb{R}^2$ telle que $T(\eta(u)) = \eta'(f(u))$ pour chaque nœud $u \in N$.

Dans le cas de graphes plans, la fonction d'isomorphisme ne doit pas nécessairement préserver le plongement, mais elle doit préserver les faces, *i.e.*, G et G' sont **plan isomorphes** s'il existe une fonction d'isomorphisme f telle que, pour chaque face F de G, les arêtes bordant F sont appariées par f aux arêtes bordant une face F' de G', dans le même ordre en tournant autour des faces F et F'.

Finalement, un graphe (resp. un graphe géométrique) G_1 est **sous-isomorphe** (resp. **géométriquement sous-isomorphe**) à un graphe G_2, noté $G_1 \subseteq G_2$ (resp. $G_1 \subseteq_{\text{geo}} G_2$), si G_1 est isomorphe (resp. géométriquement isomorphe) à un sous-graphe de G_2. Dans le cas de graphes plans, nous obtenons deux relations différentes de sous-isomorphisme, selon la définition de sous-graphe considérée : G_1 est **plan sous-isomorphe** (resp. **face-induit plan sous-isomorphe**) à G_2, noté $G_1 \subseteq_{\text{plan}} G_2$ (resp. $G_1 \subseteq_{\text{face}} G_2$) si G_1 est plan isomorphe à un sous-graphe plan (resp. face-induit sous-graphe plan) de G_2.

©AFIA 2016

Relation de sous-isomorphisme entre deux graphes G_1 et G_2	Carac. de G_1 préservées dans G_2			
	Faces internes	Angles	Ordre voisins	Longueur arêtes
$G_1 \subseteq G_2$ (sous-graphe)	Non	Non	Non	Non
$G_1 \subseteq_{\text{plan}} G_2$ (sous-graphe plan)	Non	Non	Oui	Non
$G_1 \subseteq_{\text{face}} G_2$ (face-induit sous-graphe plan)	Oui	Non	Oui	Non
$G_1 \subseteq_{\text{geo}} G_2$ (sous-graphe géométrique)	Non	Oui	Oui	Non
$G_1 \subseteq_{\text{grid}} G_2$ (sous-grille)	Non	Oui	Oui	Oui

TABLE 1 – Comparaison des relations de sous-isomorphisme.

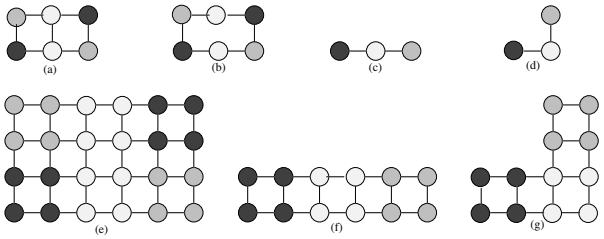


FIGURE 1 – Exemples de graphes. (b) est un sous-graphe plan de (a), mais pas un sous-graphe plan face-induit de (a). (c) et (d) sont des graphes isomorphes et sont des sous-graphes de (a). Cependant, (c) et (d) ne sont pas grille-isomorphes, et (c) est une sous-grille de (a) tandis que (d) n'est pas une sous-grille de (a).

4 Grilles

Soient u et v deux nœuds de coordonnées $\eta(u) = (x_u, y_u)$ et $\eta(v) = (x_v, y_v)$. u et v sont voisins dans le plan si $|x_u - x_v| + |y_u - y_v| = 1$. Une **grille** est un graphe géométrique $G = (N, E, L, \eta)$ tel que $\forall u \in N, \eta(u) \in \mathbb{Z}^2$ et $\forall (u, v) \in E$, u et v sont voisins dans le plan. Par définition, les grilles sont aussi des cas particuliers de graphes plans (les arêtes ne peuvent se croiser puisqu'elles ne relient que des nœuds voisins dans le plan).

Chercher des motifs dans des grilles revient à chercher des isomorphismes de sous-grilles. Dans un contexte d'analyse d'images, ces motifs doivent être invariants aux translations et aux rotations de sorte que deux motifs équivalents à une rotation et/ou une translation près doivent être isomorphes. Par conséquent, comme pour l'isomorphisme de graphes géométriques, l'isomorphisme de grilles autorise les translations et les rotations [1]. Par exemple, les graphes plans (c) et (d) de la figure 1 sont plan-isomorphes. Cependant, (d) ne peut être obtenu en translatant et/ou tournant (c), car l'angle entre les arêtes de (d) est différent de l'angle entre les arêtes de (c). Par conséquent, (c) et (d) ne sont pas grille-isomorphes.

Finalement, une grille G_1 est **sous-grille-isomorphe** à une grille G_2 (noté $G_1 \subseteq_{\text{grid}} G_2$) si G_1 est grille-isomorphe à un sous-graphe plan de G_2. La table 1 résume les propriétés des cinq relations de sous-isomorphisme définies précédemment. Pour chacune de ces relations $\subseteq_x \in \{\subseteq, \subseteq_{\text{geo}}, \subseteq_{\text{plan}}, \subseteq_{\text{face}}, \subseteq_{\text{grid}}\}$, si $G_1 \subseteq_x G_2$ alors une fonction d'isomorphisme f de G_1 vers un sous-graphe de G_2 est appelée **occurrence** de G_1 dans G_2.

Complexité. L'isomorphisme de sous-graphes (planaires) est un problème $\mathcal{NP}$-complet. Cependant, il existe des cas particuliers de graphes planaires pour lesquels ce problème devient polynomial, *e.g.*, les graphes 2-connexes outerplanar, et les graphes outerplanar graphs avec la contrainte block-and-bridge [12]. Le sous-isomorphisme plan face-induit est polynomial quand le graphe motif est 2-connexe [8], mais il devient NP-complet quand on relâche cette contrainte [25]. L'isomorphisme de sous-grilles n'est pas un cas particulier de l'isomorphisme de sous-graphes plans face-induits (car il n'impose pas que les faces soient préservées), et il n'est pas non plus une généralisation de ce problème (car il ajoute la contrainte que les angles doivent être préservés). L'isomorphisme de sous-grilles est un cas particulier de l'isomorphisme de sous-graphes géométriques, où les arêtes doivent relier les nœuds voisins dans le plan. Dans [1] (cf section 5), il est montré que nous pouvons énumérer tous les sous-graphes géométriques maximaux en temps incrémental polynomial, et en espace polynomial.

1. Pour les graphes géométriques, il est aussi possible d'appliquer une transformation de changement d'échelle. Cependant, cette transformation n'a pas de sens dans un contexte de grille où les arêtes ne peuvent relier que des nœuds voisins dans le plan.

5 Algorithme de fouille de grilles

Nous présentons maintenant notre algorithme de fouille de grilles, appelé GRIMA, en lien avec les autres algorithmes de fouille de graphes existants. Des algorithmes de fouille de graphes précurseurs sont GSPAN [27], et les algorithmes similaires de fouille exhaustive de graphes [13]. Ces algorithmes ne tiennent pas compte des angles relatifs des arêtes pendant la fouille de sorte que GSPAN considère comme isomorphes des graphes qui sont différents du point de vue des grilles, comme illustré dans la figure 1 (c et d). Par conséquent, des algorithmes non spécialisés comme GSPAN peuvent considérer comme fréquents un grand nombre de motifs, et mal passer à l'échelle. Par ailleurs, PLAGRAM [22] a été conçu pour fouiller des graphes plans et passe mieux à l'échelle sur ces graphes. Cependant, dans PLAGRAM, la stratégie d'extension implique une limite forte : les motifs sont composés de faces et le plus petit motif est une face. Il est possible d'utiliser PLAGRAM pour fouiller des grilles mais cela impose de transformer les grilles de sorte que chaque nœud de la grille initiale corresponde à une face dans le graphe fourni à PLAGRAM. Cette transformation est illustrée dans la figure 1 : les deux graphes isomorphes (c) et (d) (qui sont des sous-graphes de (a)) sont transformés en deux graphes non isomorphes (f) et (g) (de sorte que seul (f) est sous-graphe de (e)). Cependant, cette transformation augmente artificiellement le nombre de nœuds et d'arêtes, ce qui peut de nouveau causer des problèmes de passage à l'échelle pour PLAGRAM. Les grilles ont été introduites dans [17], mais les auteurs ne tiennent pas compte des informations d'angles entre arêtes. Enfin, les grilles sont des cas par-

©AFIA 2016

Algorithme	Relation	Motif	Extension
GSPAN	$\subseteq$	sous-graphe connexe	une arête
FREQGEO	$\subseteq_{\text{geo}}$	sous-graphe géométrique	une arête/nœud
PLAGRAM	$\subseteq_{\text{face}}$	sous-graphe plan 2-connexe	une face
GRIMA	$\subseteq_{\text{grid}}$	sous-grille connexe	une arête

TABLE 2 – Caractéristiques des quatre algorithmes de fouille de graphes. Le type de motif est une conséquence de la relation d'isomorphisme et du choix d'extension.

ticuliers de graphes géométriques, pour lesquels un algorithme de fouille a été proposé dans [1]. Cet algorithme, appelé FREQGEO, peut être vu comme une généralisation de GRIMA mais, du fait de cette généralisation, il n'est pas optimisé pour le cas des grilles. De plus, les auteurs ne fournissent aucune implémentation ni ne rapportent de résultats expérimentaux, dans leur article comme dans leurs publications suivantes, ce qui ne nous permet pas de nous comparer à eux. MAXGEO [1] est une amélioration de FREQGEO qui ne fouille que des motifs fermés (ou maximaux). Cependant, dans notre application, les expérimentations ont montré que quasiment tous les motifs extraits sont fermés. Par conséquent, fouiller des motifs clos ne change pas les résultats, et nous ne parlerons pas de MAXGEO ni de graphes clos dans la suite.

Afin de mieux mettre en évidence les points communs et différences entre GRIMA, GSPAN, PLAGRAM, et FREQGEO, nous décrivons ces différents algorithmes comme des instanciations d'un unique algorithme générique. Cet algorithme générique calcule des sous-graphes fréquents, *i.e.*, des sous-graphes qui apparaissent au moins une fois dans au moins σ graphes de la base de graphes, où σ est un seuil fixé par l'utilisateur. Plus formellement, étant donnés un ensemble de graphes D, un seuil de fréquence σ, et une relation de sous-isomorphisme $\subseteq_x \in \{\subseteq, \subseteq_{\text{face}}, \subseteq_{\text{geo}}, \subseteq_{\text{grid}}\}$, le **problème de fouille de graphes** consiste à trouver tous les graphes motifs P dont la fréquence dans D est plus grande ou égale à σ. À l'exception de FREQGEO, la **fréquence** d'un graphe dans D est le nombre de graphes $G_i \in D$ qui contiennent au moins une occurrence de P, *i.e.*, fréquence$(P) = |\{G_i \in D \mid P \subseteq_x G_i\}|$. Cela est différent du nombre total d'occurrences dans D dans la mesure où un motif P peut avoir plusieurs occurrences dans un même graphe cible G_i. Pour FREQGEO, D est constitué d'un seul graphe et la fréquence d'un motif P est le nombre d'occurrences de P dans D.

5.1 Algorithme générique

L'algorithme utilise des codes pour représenter les graphes : le **code** d'un graphe peut être une liste d'arêtes rencontrées pendant le parcours du graphe [27, 22] ou une liste de nœuds et d'arêtes en ordre lexicographique [1]. Un graphe peut avoir plusieurs codes, mais un seul est choisi comme signature : le **code canonique**. Pour GSPAN et FREQGEO, c'est le plus petit code tandis que pour PLAGRAM et GRIMA c'est le plus grand.

Algorithm 1 Fouille de sous-graphes fréquents générique

Entrée : Une base de graphes $D = \{G_1, ..., G_n\}$ et un seuil de fréquence σ.
Sortie : L'ensemble des motifs fréquents dans D.

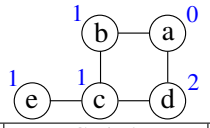
1: **for all** extension e fréquente dans D **do** Extend(e, D)
2:
3: **function** EXTEND(code P, base de graphes D)
4: Output P
5: $E \leftarrow \emptyset$
6: **for all** graphe G_i de D **et chaque** occurrence o du motif P dans G_i **do**
7: $E \leftarrow E \cup$ ValidExtensions(P, G_i, o)
8: **for all** extension $e \in E$ **do**
9: **if** fréquence$(P.e) > \sigma$ **et** $P.e$ est canonique **then** Extend($P.e$, D)

L'algorithme 1 décrit l'algorithme de fouille générique (voir [27, 22, 1] pour plus de détails), qui explore l'espace des codes canoniques en profondeur d'abord et récursivement. Chaque fois qu'un code correspondant à un graphe fréquent est trouvé, il est étendu en ajoutant une arête et/ou un nœud ou une face, en fonction de la stratégie d'expansion (voir Table 2). L'algorithme calcule d'abord toutes les extensions fréquentes et appelle la fonction `Extend` pour chacune de ces extensions (ligne 1).
La fonction `Extend` a deux paramètres en entrée : un code P fréquent et canonique, et une base de graphes D. Elle retourne en sortie tous les codes fréquents canoniques dont P est préfixe. Pour cela, elle calcule l'ensemble E de toutes les extensions valides de toutes les occurrences de P dans D : une extension valide est le code e d'un composant (nœud, arête ou face) tel que $P.e$ apparaisse dans D. Ensuite, `Extend` est récursivement appelée pour chaque extension e telle que $P.e$ est fréquent et canonique. Ainsi, à chaque appel récursif, le motif grossit. Dans les paragraphes qui suivent, nous décrivons l'instanciation des étapes de `Extend` pour GRIMA.

5.2 Code d'une grille

Dans les algorithmes de fouille de graphes, un point clé est d'éviter de générer le même motif plusieurs fois. En effet, un motif avec n arêtes peut être généré en ajoutant n'importe laquelle de ses n arêtes à un motif de $n-1$ arêtes. Nous utilisons pour cela la notion de code canonique [27] pour représenter des motifs de sorte que nous explorons l'espace des codes canoniques. Dans cet espace, il existe un seul chemin pour atteindre un code canonique depuis la racine (*i.e.*, un seul ordre pour ajouter les arêtes au motif).
Pour GRIMA, un **code** d'une grille G est une séquence de n codes d'arêtes $C(G) = \langle ec_0, ..., ec_{n-1} \rangle$, associée à un parcours en profondeur de G, au départ d'un nœud donné. Pendant ce parcours, chaque arête est parcourue une fois, et les nœuds sont numérotés : le nœud initial a le numéro 0 ; à chaque fois qu'un nouveau nœud est découvert, il est numéroté avec le plus petit entier pas encore utilisé dans le parcours. Chaque code d'arête correspond à une arête différente de G et l'ordre des codes d'arêtes dans $C(G)$ correspond à l'ordre dans lequel les arêtes sont parcourues.

©AFIA 2016



Code 1		Code 2		Code 3	
edge	$d\ i\ j\ a\ L_i L_j L_{ij}$	edge	$d\ i\ j\ a\ L_i L_j L_{ij}$	edge	$d\ i\ j\ a\ L_i L_j L_{ij}$
(a,b)	0 0 1 0 0 1 0	(a,b)	0 0 1 0 0 1 0	(d,c)	0 0 1 0 2 1 0
(b,c)	0 1 2 3 1 1 0	(b,c)	0 1 2 3 1 1 0	(c,e)	0 1 2 2 1 1 0
(c,e)	0 2 3 1 1 1 0	(c,d)	0 2 3 3 1 2 0	(c,b)	0 1 3 1 1 1 0
(c,d)	0 2 4 3 1 2 0	(d,a)	1 3 0 3 2 0 0	(b,a)	0 3 4 1 1 0 0
(d,a)	1 4 0 3 2 0 0	(c,e)	0 2 4 1 1 1 0	(a,d)	1 4 0 1 0 2 0

FIGURE 2 – Exemples de codes pour une grille (les étiquettes des nœuds sont affichées en bleu : toutes les arêtes ont la même étiquette 0). Les codes 1 et 2 correspondent à des parcours commencés depuis l'arête (a,b), et diffèrent pour la troisième arête. Le code 3 correspond à un parcours commencé depuis l'arête (d,c) et il est canonique.

Ainsi, ec_k est le code de la k^e arête parcourue. Ce code d'arête ec_k est le tuple $(d,i,j,a,L_i,L_j,L_{(i,j)})$ tel que

- i et j sont les numéros associés aux nœuds de la k^e arête parcourue ;
- $d \in \{0,1\}$ est la direction de la k^e arête parcourue :
  - $d=0$ si elle est "en avant", *i.e.*, i apparaît déjà dans le préfixe $\langle ec_0,...,ec_{k-1}\rangle$ du code et j est un nouveau nœud qui vient d'être découvert ;
  - $d=1$ si elle est "en arrière", *i.e.*, à la fois i et j apparaissent déjà dans le préfixe ;
- $a \in \{0,1,2,3\}$ est l'angle de la k^e arête parcourue :
  - $a=0$ si $k=0$ (première arête) ;
  - sinon, $a = 2A/\pi$ où $A \in \{\pi/2, \pi, 3\pi/2\}$ est l'angle entre (i,j) et l'arête utilisée pour atteindre i la première fois ;
- L_i, L_j, $L_{(i,j)}$ sont les étiquettes de nœuds et d'arête.

Considérons par exemple le code 1 de la figure 2. La quatrième arête parcourue est (c,d). C'est une arête en avant (car d n'a pas encore été découvert) de sorte que $d=0$. L'angle entre (b,c) et (c,d) est $3\pi/2$ de sorte que $a=3$. La cinquième arête parcourue est (d,a) qui est une arête en arrière (car a a déjà été découvert) de sorte que $d=1$.

Étant donné un code, nous pouvons reconstruire la grille correspondante dans la mesure où les arêtes sont listées dans le code, avec leurs angles et leurs étiquettes. Cependant, il existe plusieurs codes différents pour une même grille, comme cela est illustré dans la figure 2 : chaque code correspond à un parcours différent (partant d'un nœud différent ou parcourant les arêtes dans un ordre différent).

Nous définissons maintenant un ordre total sur l'ensemble de tous les codes pouvant être associés à une grille. Nous définissons un ordre total sur les codes des arêtes, en considérant l'ordre lexicographique induit par l'ordre des composants du tuple (qui sont des valeurs entières). L'ordre sur les codes de grille est l'ordre lexicographique induit par l'ordre sur les codes des arêtes. Le **code canonique** d'une grille est le plus grand de tous ses codes, selon l'ordre ainsi défini, et il est unique. Nous pouvons prouver (par manque de place, la preuve est omise) qu'il n'est pas possible d'étendre un code non canonique en un code canonique de sorte que *tout préfixe d'un code canonique est également canonique*. Ainsi, nous pouvons élaguer les codes non canoniques de l'espace de recherche.

5.3 Extensions et canonicité d'un code

La fonction `Extend` de l'algorithme 1 retourne tous les motifs fréquents canoniques P' tels que le motif P en entrée est préfixe de P'. Cela est fait en deux étapes : d'abord elle recherche toutes les extensions possibles de P (lignes 6-7), où une extension est le code e d'une arête tel que $P.e$ apparaît dans D ; ensuite, pour chaque extension e, si $P.e$ est fréquent et canonique, elle étend récursivement $P.e$.

Pour chaque code motif P et chaque grille $G_i \in D$, nous mémorisons la liste $L(P,G_i)$ de toutes les occurrences de P dans G_i (pour chaque occurrence, nous mémorisons uniquement l'appariement de la première arête). Ces listes sont maintenues incrémentalement : pour chaque code e tel que $P.e$ est canonique, la liste $L(P.e,G_i)$ est une sous-liste de $L(P,G_i)$. Nous utilisons des *sparse sets* [15] pour maintenir efficacement ces listes à chaque appel récursif : les *sparse sets* permettent de rétablir en temps constant $L(P,G_i)$ à partir de $L(P.e,G_i)$ au moment d'un retour-arrière. Les fréquences sont également maintenues incrémentalement.

Ainsi, dans la fonction `ValidExtensions`, pour chercher toutes les extensions de P dans une grille G_i, nous parcourons la liste $L(P,G_i)$ et pour chaque occurrence $o \in L(P,G_i)$, nous cherchons toutes les arêtes de G_i qui n'appartiennent pas à o mais sont incidentes à au moins un nœud de o. Cela est fait en temps linéaire par rapport au nombre de nœuds de P. Comme le nombre d'occurrences de P dans G_i est borné par $2|G_i|$ (pour chaque arête de G_i, il y a au plus 2 occurrences de P partant de cette arête), la complexité des lignes 6–7 pour un motif P est $\mathcal{O}(|P|.\sum_i |G_i|)$.

Enfin, nous devons vérifier si $P.e$ est canonique (ligne 9) pour chaque code d'arête e tel que $P.e$ est fréquent dans D. Ce test de canonicité est réalisé en deux temps : d'abord nous reconstruisons la grille motif à partir du code P ; ensuite, pour chaque arête (i,j) dans la grille, nous construisons les deux codes $P_{(i,j)}$ et $P_{(j,i)}$ correspondant aux deux parcours différents partant de i et de j, respectivement, et commençant par l'arête (i,j). À chaque étape du parcours, si nous avons le choix entre plusieurs arêtes, nous choisissons toujours les arêtes en arrière d'abord, puis nous départageons les ex-aequo en choisissant celle dont l'angle maximise le code. Par exemple, dans la figure 2, si nous commençons le parcours à partir de a et choisissons en premier l'arête (a,b), la deuxième arête traversée est (b,c). Pour l'arête suivante, nous devons choisir entre (c,e) et (c,d). Comme aucune des deux n'est en arrière, et que l'angle entre (b,c) et (c,e) est $\pi/2$ et l'angle entre (b,c) et (c,d) est $3\pi/2$, nous choisissons l'arête (c,d) qui donne

©AFIA 2016

un plus grand code (Code 2) et nous ne générons pas le code obtenu en choisissant l'arête (c, e) (Code 1) car nous savons qu'il sera nécessairement plus petit. Si nous trouvons un code $P_{(i,j)}$ plus grand que P, nous concluons que P n'est pas canonique, tandis que si tous les codes $P_{(i,j)}$ sont plus petits ou égaux à P, nous concluons que P est canonique.

Si P contient p arêtes, nous devons faire au plus $2p$ parcours, et chaque parcours est fait en $\mathcal{O}(p)$, de sorte que la complexité du test de canonicité est $\mathcal{O}(p^2)$. Cependant, chaque parcours peut être arrêté dès qu'un code d'arête dans $P_{(i,j)}$ est différent du code d'arête à la même position dans P, i.e., ce pire des cas n'est quasiment jamais atteint en pratique (il n'est atteint que si le motif est complètement symétrique de sorte que tous les codes sont égaux, quelle que soit la première arête).

Pour un motif P, nous devons tester la canonicité de $P.e$ pour chaque extension fréquente e. Le nombre d'occurrences de P dans un graphe G_i avec p_i arêtes est borné par $2p_i$ et chaque occurrence de P a au plus $2p_i$ extensions. Le nombre total d'extensions de P dans D est donc borné par $4\sum_{G_i \in D} p_i^2$. Comme les fréquences sont maintenues incrémentalement (lignes 5–7), le test de fréquence de la ligne 9 est réalisé en temps constant. Ainsi, la complexité des lignes 8–9 est $\mathcal{O}(p^2 \cdot \sum_{G_i \in D} p_i^2)$.

5.4 Propriétés de Grima et optimisations

Nous pouvons prouver (non détaillé ici par manque de place) que GRIMA est à la fois *correct*, *i.e.*, il ne retourne que des sous-grilles fréquentes (voir lignes 1 et 9 de l'algorithme 1) et *complet*, *i.e.*, il retourne tous les motifs fréquents. Si la base D de grilles contient k grilles chacune ayant au plus n arêtes, alors GRIMA énumère tous les motifs fréquents en $\mathcal{O}(kn^4)$ pour chaque motif P. En effet, la complexité d'un appel à `Extend` pour un motif P est $\mathcal{O}(n^2)$ pour les lignes 6–7 de l'algorithme 1 et $\mathcal{O}(kn^4)$ pour les lignes 8–9. Cela représente une réelle amélioration par rapport à FREQGEO et MAXGEO qui ont une complexité en temps de $\mathcal{O}(k^2n^4.\ln n)$ [1] par motif (quand D est une grille).

Motifs induits par les nœuds. Dans nos expérimentations, il n'y a pas d'étiquette sur les arêtes, seulement sur les nœuds. Par conséquent, la liste des occurrences d'un motif ne change pas si nous lui ajoutons des arêtes sans ajouter de nouveau nœuds. Ainsi, nous avons conçu une variante de GRIMA, appelée node-induced-GRIMA, qui calcule des sous-grilles induites par les nœuds (ce qui peut être vu comme une forme relâchée de grilles fermées).

6 Évaluation expérimentale

6.1 Protocole expérimental

Nous avons évalué notre approche sur la base d'images *Oxford-Flowers17* [18], qui contient 17 classes de fleurs, chaque classe contenant 80 images. Pour évaluer l'intérêt d'une structure de grille pour la classification d'images, nous proposons de représenter chaque image par une grille de mots visuels, et d'extraire des sous-grilles fréquentes pour obtenir des sacs-de-grilles (BOG). Nous comparons ces BOG avec une représentation par sacs-de-mots (BOW).

Modélisation par BOW. Étant donné un ensemble de descripteurs, associés à des régions d'images extraites d'une base d'images, les mots visuels sont créés en regroupant les descripteurs similaires en utilisant l'algorithme K-means [7, 4]. L'ensemble des mots visuels est appelé vocabulaire visuel. Chaque image est décrite par l'histogramme de fréquence de ce vocabulaire, appelé sac-de-mots. Jusqu'à il y a une dizaine d'années, les régions utilisées pour créer le vocabulaire visuel étaient sélectionnées en utilisant des détecteurs de points d'intérêt ou des méthodes de segmentation. Cependant, [19] a montré que les résultats de classification sont aussi bons, et même souvent meilleurs, lorsque les régions sont sélectionnées aléatoirement sur une grille (*dense sampling*). Cette modélisation est donc particulièrement bien adaptée pour notre approche. Dans nos expériences, nous avons utilisé des descripteurs SIFT [16], qui sont des vecteurs à 128 dimensions décrivant des informations de gradient dans un carré centré autour d'un pixel donné. Les descripteurs SIFT sont extraits régulièrement sur une grille telle que les centres des carrés sont espacés de 8 pixels. Nous sommes conscients que les méthodes basées sur des BOW ne sont plus l'état de l'art pour la classification d'images, mais notre but est de comparer un ensemble non structuré de descripteurs et un ensemble de descripteurs structurés en grille, afin d'évaluer l'apport de la structuration pour la classification d'images.

Modélisation par BOG. Nous commençons par calculer un vocabulaire visuel en utilisant la méthode décrite précédemment. Nous décrivons ensuite chaque image par une grille obtenue en connectant chaque mot avec ses 4 voisins (sauf sur les bords). Nous recherchons ensuite les motifs fréquents avec GRIMA, pour chaque classe séparément. Enfin, nous faisons l'union de tous les motifs fréquents trouvés dans chaque classe, et décrivons chaque image par l'"histogramme de fréquence (nombre d'occurrences) de ces motifs dans l'image.

Paramètres. Le paramètre K de l'algorithme K-means détermine le nombre de mots visuels, et nous avons fait varier K dans l'ensemble $\{100, 200, 250, 500, 1000\}$. Pour la classification, nous utilisons l'implémentation Libsvm [3] de SVM avec le noyau d'intersection de [10]. Nous effectuons une validation croisée en 10 parties : pour chaque partie, nous avons 72 images par classe dans la base d'entrainement (utilisée pour calculer les BOW, extraire les motifs fréquents pour BOG, et entrainer SVM), et 8 images par classe dans la base de test (utilisée pour calculer le pourcentage d'images bien classées).

6.2 Comparaison de l'efficacité

La figure 3 compare GRIMA, node-induced-GRIMA, GSPAN et PLAGRAM pour les 1360 images de notre base, avec $K = 100$ mots. Rappelons que la stratégie d'expansion

©AFIA 2016

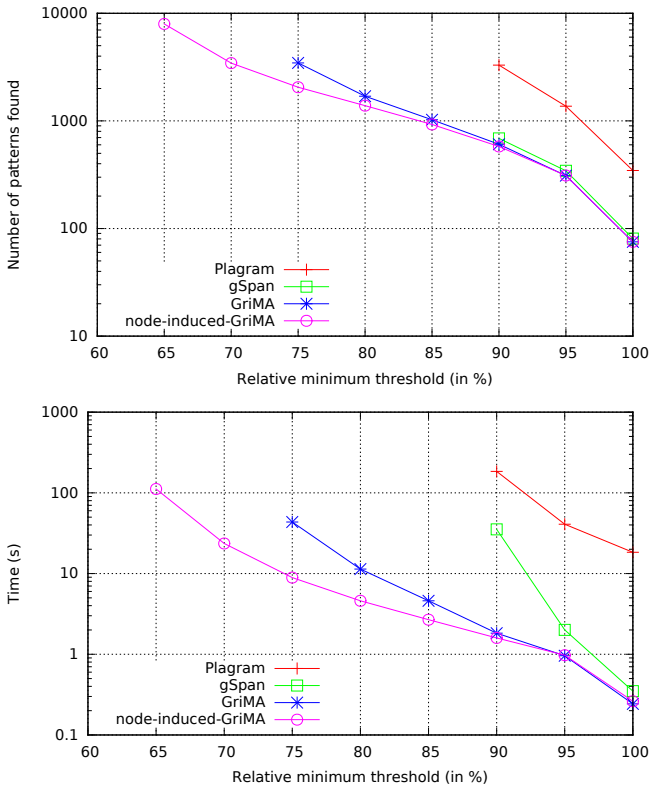


FIGURE 3 – Nombre de motifs extraits (en haut) et temps de fouille (en bas) en fonction du seuil de fréquence σ, en moyenne pour toutes les classes de *Oxford-Flowers17*, pour GSPAN, PLAGRAM, GRIMA et node-induced-GRIMA. Le temps est limité à 1 heure par classe.

de PLAGRAM ne permet pas de calculer des motifs sans face. Pour permettre à PLAGRAM de fouiller les mêmes motifs que les autres algorithmes, chaque nœud de la grille originale est remplacé par une face à quatre nœuds, de sorte que chaque motif fréquent dans la grille initiale soit trouvé par PLAGRAM. Cependant, certains motifs trouvés par PLAGRAM ne correspondent pas à des motifs dans la grille initiale (*e.g.*, des faces dans la grille étendue, correspondant à des arêtes dans la grille initiale). Ainsi, PLAGRAM trouve plus de motifs que les autres algorithmes, et est donc logiquement plus lent. GSPAN ne tient pas compte des angles entre arêtes au moment de la fouille, et deux sous-graphes isomorphes peuvent ne pas correspondre à des sous-grilles isomorphes, comme illustré dans la figure 1. Ainsi, GSPAN et GRIMA calculent des ensembles différents de motifs fréquents. Cependant, la figure 3 montre que le nombre de motifs est relativement similaire (légèrement supérieur pour GSPAN). GRIMA et plus particulièrement sa version induite par les nœuds passe bien mieux à l'échelle que GSPAN, et est capable d'extraire tous les motifs fréquents en moins de 10 secondes quand $\sigma = 85\%$ alors que GSPAN n'a pas terminé au bout d'une heure. Le nombre de motifs trouvés par PLAGRAM et GSPAN pour un support inférieur à 90% n'est donc pas pertinent et n'est pas montré dans la figure. Node-induced-GRIMA extrait moins de motifs et est donc plus efficace que GRIMA, et bien plus efficace que GSPAN et PLAGRAM.

	100		250		500		750		1000	
σ	%	#pat	%	#pat	%	#pat	%	#pat	%	#pat
BOG 0.9	**59.9**	2136	57.9	658	59.9	244	61.1	115	61.3	57
BOG 0.8	58.7	8483	59.6	1623	60.0	683	61.2	390	61.6	241
BOG 0.7	53.9	62016	59.6	4142	60.6	1635	60.7	998	61.1	686
BOG 0.6	51.3	302111	**59.7**	11624	**61.2**	3878	**61.5**	2106	**62.1**	1444
BOW	48.5		55.9		58.7		60.7		61.5	

TABLE 3 – Résultats de classification. Les quatre premières lignes donnent les résultats de BOG, quand σ est fixé à 0.9, 0.8, 0.7 et 0.6, respectivement. La dernière ligne donne les résultats de BOW. Chaque ligne donne le pourcentage d'images bien classées (%), quand K est fixé à 100, 250, 500, 750, et 1000 mots, respectivement. Pour BOG, la colonne #pat donne le nombre de motifs extraits par node-induced-GRIMA.

6.3 Comparaison des taux de classification

La table 3 donne les résultats de classification pour différents nombres de mots K, compris entre 100 et 1000. Pour BOG, nous donnons les résultats obtenus avec différents seuils de fréquence σ, compris entre 0.9 et 0.6. Le nombre de motifs extrait augmente quand on diminue σ ou K. Par exemple, quand $\sigma = 0.9$, le nombre de motifs passe de 57 (quand $K = 1000$) à 2136 (quand $K = 100$) ; quand $K = 100$, il augmente de 2136 (quand $\sigma = 0.9$) à 302111 (quand $\sigma = 0.6$). Quand le nombre de mots (correspondant au nombre d'étiquettes sur les nœuds des grilles) est petit (*e.g.*, 100), nous avons besoin de moins de motifs pour obtenir des gains importants pour BOG (59.9) par rapport à BOW (48.5). Pour de plus grands vocabulaires (*e.g.* 1000 mots), nous devons baisser le seuil de fréquence pour obtenir des motifs plus pertinents. De façon générale, ces résultats montrent qu'ajouter une information structurelle sous la forme de grilles améliore la représentation des images, et que notre algorithme de fouille peut être utilisé dans un contexte réel.

Nous avons effectué des expériences similaires sur la base *15-Scenes* [14]. Cependant, sur cette base, les résultats de BOW et BOG sont très similaires. Notons enfin que ces résultats ne sont pas compétitifs avec l'état de l'art. En particulier, [5] montre que les techniques d'apprentissage profond permettent d'obtenir de bien meilleurs résultats que les BOW. Cependant, notre méthode est générique et peut être appliquée à n'importe quelle grille (dont les nœuds peuvent être étiquetés par n'importe quelle caractéristique, y compris des caractéristiques calculées à l'aide de réseaux de convolution profonds.

7 Conclusion

Nous avons présenté GRIMA, un algorithme de fouille de grilles permettant de faire de la classification à partir de sacs-de-grilles. GRIMA exploite les informations d'angle

©AFIA 2016

entre arêtes de la grille et a été conçu pour mieux passer à l'échelle sur de gros volumes de données. Nous pensons que cette structure de grille apporte des informations pertinentes non seulement dans l'application de classification d'images présentée ici, mais également dans d'autres applications telles que les jeux de plateaux (dames, échecs, go, etc) ou les modélisations d'écosystèmes à base d'automates cellulaires. Notons que pour ces applications, nous avons non pas une grille, mais une séquence temporelle de grilles (*i.e.*, une grille 2D+t). Ainsi, nous prévoyons d'étendre GRIMA à ce type de grilles. Par ailleurs, nous envisageons d'ajouter une étape de post-traitement, après l'extraction des motifs, afin de sélectionner les motifs les plus discriminants dans le cas où un trop grand nombre de motifs a été extrait, comme proposé dans [10].

Remerciements. Ce travail a été en partie financé par le projet ANR SoLStiCe (ANR-13-BS02-0002-01).

Références

[1] Hiroki Arimura, Takeaki Uno, and Shinichi Shimozono. Time and space efficient discovery of maximal geometric graphs. In *International Conference on Discovery Science*, pages 42–55, 2007.

[2] F. Brandao Da Silva, S. Goldenstein, S. Tabbone, and R. Da Silva Torres. Image classification based on bag of visual graphs. In *IEEE SPS*, pages 4312–4316, 2013.

[3] Chih-Chung Chang and Chih-Jen Lin. LIBSVM : A library for support vector machines. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, 2 :27 :1–27 :27, 2011. Software available at `http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm`.

[4] K. Chatfield, V. Lempitsky, A. Vedaldi, and A. Zisserman. The devil is in the details : an evaluation of recent feature encoding methods. In *BMVC*, pages 76.1–76.12, 2011.

[5] K. Chatfield, K. Simonyan, A. Vedaldi, and A. Zisserman. Return of the devil in the details : Delving deep into convolutional nets. In *BMVC*, 2014.

[6] Diane Cook and Lawrence Holder. *Mining Graph Data*. J. Wiley & Sons, 2006.

[7] G. Csurka, C. R. Dance, L. Fan, J. Willamowski, and C. Bray. Visual categorization with bags of keypoints. In *ECCV*, pages 1–22, 2004.

[8] C. de la Higuera, J.-C. Janodet, E. Samuel, G. Damiand, and C. Solnon. Polynomial algorithms for open plane graph and subgraph isomorphisms. *TCS*, 498 :76–99, 2013.

[9] F. Dorn. Planar subgraph isomorphism revisited. In *STACS*, pages 263–274, 2010.

[10] B. Fernando, É. Fromont, and T. Tuytelaars. Mining mid-level features for image classification. *IJCV*, 108(3) :186–203, 2014.

[11] P. Hogeweg. Cellular automata as a paradigm for ecological modelling. *Applied Mathematics and Computation*, 27 :81–100, 1988.

[12] T. Horváth, J. Ramon, and S. Wrobel. Frequent subgraph mining in outerplanar graphs. *DMKD*, 21(3) :472–508, 2010.

[13] C. Jiang, F. Coenen, and M. Zito. A survey of frequent subgraph mining algorithms. *KER*, 28 :75–105, 2013.

[14] S. Lazebnik, C. Schmid, and J. Ponce. Beyond bags of features : Spatial pyramid matching for recognizing natural scene categories. In *CVPR*, pages 2169–2178, 2006.

[15] V. Le Clément de Saint-Marcq, P. Schaus, C. Solnon, and C. Lecoutre. Sparse-Sets for Domain Implementation. In *TRICS*, pages 1–10, 2013.

[16] D. G. Lowe. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *IJCV*, 60(2) :91–110, 2004.

[17] R. Marinescu-Ghemeci. Maximum induced matchings in grids. In *Optimization Theory, Decision Making, and Operations Research Applications*, pages 177–187. Springer, 2013.

[18] M.-E. Nilsback and A. Zisserman. Automated flower classification over a large number of classes. In *ICVGIP*, pages 722 –729, 2008.

[19] E. Nowak, F. Jurie, and B. Triggs. Sampling strategies for bag-of-features image classification. In *ECCV*, volume 3954, pages 490–503, 2006.

[20] S. Nowozin, K. Tsuda, T. Uno, T. Kudo, and G. Bakir. Weighted substructure mining for image analysis. In *IEEE CVPR*, pages 1–8, 2007.

[21] B. Ozdemir and S. Aksoy. Image classification using subgraph histogram representation. In *ICPR*, pages 1112–1115, 2010.

[22] A. Prado, B. Jeudy, E. Fromont, and F. Diot. Mining spatiotemporal patterns in dynamic plane graphs. *IDA*, 17 :71–92, 2013.

[23] É. Samuel, C. de la Higuera, and J.-C. Janodet. Extracting plane graphs from images. In *SSPR*, pages 233–243, 2010.

[24] F. Brandão Silva, S. Tabbone, and R. Torres. Bog : A new approach for graph matching. In *ICPR*, pages 82–87, 2014.

[25] C. Solnon, G. Damiand, C. de la Higuera, and J.-C. Janodet. On the complexity of submap isomorphism and maximum common submap problems. *PR*, 2014.

[26] W. Voravuthikunchai, B. Crémilleux, and F. Jurie. Histograms of Pattern Sets for Image Classification and Object Recognition. In *CVPR*, pages 1–8, 2014.

[27] X. Yan and J. Han. gSpan : graph-based substructure pattern mining. In *ICDM*, pages 721–724, 2002.

©AFIA 2016

Modèle de formation de coalitions A-core dans un contexte incertain

Pascal François FAYE[1,2] Samir AKNINE[1] Mbaye SENE[2]
[1] LIRIS UCBL, FRANCE
[2] LID UCAD, SENEGAL
pfmfaye@hotmail.com, samir.aknine@univ-lyon1.fr, ngalagne@yahoo.com

Résumé

Nous proposons un modèle de formation de coalitions stables dans un contexte de tâches stochastiques qui tient compte des incertitudes sur les dépendances, les conflits de préférences et la disponibilité imprévisible des agents. Nous ne supposons aucune connaissance a priori sur les coalitions stables à former et il n'est pas possible de les calculer de façon centralisée en raison de ces incertitudes sur les agents et des contraintes de temps des tâches stochastiques. Nous appelons S-NRB (Sequential Non-Return Broadcast), notre mécanisme qui permet de former les coalitions dites A-core, c'est-à-dire, core-stable et auto-stables. S-NRB combine les méthodes de la théorie des jeux avec les lois de probabilités. L'analyse théorique et les expérimentations montrent que S-NRB surmonte dynamiquement les incertitudes des agents et des tâches et favorise l'établissement de coalitions A-core.

Mots Clef

Agents, Coalition, Stabilité, Dynamique, Incertain.

Abstract

We focus on devising a coalition formation model where the mechanism deals with uncertainties on agent's dependencies, on agent's conflicts, on agents' preferences and on agents' availability when stable coalitions are required to achieve stochastic tasks. We assume no prior knowledge on stable coalitions to form and we consider it is not possible to compute in a centralized manner these coalitions before tasks' achievement due to agents' uncertainties and the time constraint of tasks. Our coalition formation mechanism is named S-NRB (Sequential Non-Return Broadcast). The main property we emphasize is the A-Core (core-stable and auto-stables coalitions). S-NRB combines methods of game theory and the laws of probability. The analysis and the experiments show that, S-NRB dynamically overcomes uncertainties on agents and on tasks.

Keywords

Agents, Coalition, Stability, Dynamic, Uncertainty.

1 Introduction

Avec la profusion des composants électroniques (e.g. smartphones, robots, capteurs, etc.) qui améliorent la sécurité et les prises de décision des humains, plusieurs applications multi-agents actuelles axent leurs solutions dans un contexte où les agents sont déployés dans des robots autonomes et dans des dispositifs personnels connectés. Plusieurs mécanismes de formation de coalitions ont été étudiés dans le domaine des agents (e.g., [7]), cependant, un ensemble d'aspects intéressants qui sont sous-jacents à l'utilisation de tels composants électroniques pour le déploiement des agents, restent faiblement explorés. [4] propose une application utilisant les réseaux de capteurs pour la surveillance de cibles sans tenir compte de la possibilité d'indisponibilité de certains capteurs et lorsque les informations sont complètes. Dans [5] les auteurs considèrent la dynamique des tâches mais avec des agents homogènes et coopératifs. Ils proposent une méthode de formation de coalitions basée sur les MDP mais sans tenir compte de la disponibilité aléatoire des agents et ils utilisent des connaissances a priori sur les préférences des agents et sur la dynamique des tâches pour guider le choix des coalitions à former sans garantir leurs stabilités. Dans [3], les auteurs cherchent à former des coalitions Nash-stables dans un contexte dynamique et incertain. Cependant, dans ce travail nous allons plus loin en cherchant à former des coalitions A-Core (*core stables* [2] qui se stabilisent dynamiquement dans le temps (auto-stables)). En utilisant la théorie des graphes, [8] cherchent à trouver de manière centralisée, l'ensemble des structures de coalitions *core-stables* en utilisant comme connaissance à priori, la force des relations qui existent entre les agents.

La principale contribution de ce travail est la proposition d'un mécanisme décentralisé de formation de coalitions *A-Core*. Plus en détail, nous proposons un mécanisme de formation de coalitions appelé *S-NRB (Sequential Non-Return Broadcast)* qui se fonde sur des négociations multilatérales et tient compte : des incertitudes sur les dépendances qui existent entre les agents ; des préférences des agents ; et de leur disponibilité afin que les coalitions requises soient stables pour l'exécution des tâches stochastiques. En distribuant le contrôle et les prises de décisions des agents, *S-NRB* garantit une convergence vers des coalitions *core stables* malgré les changements dynamiques du contexte des agents (tâches et voisinages). *S-NRB* associe : - les lois de probabilités pour prédire les changements qui vont s'opérer sur les tâches et sur la disponibilité des agents, et - les méthodes de la théorie des jeux pour trouver l'ensemble des agents qui peuvent former des coalitions *A-core*

©AFIA 2016

en profitant des dépendances et de la structure en réseau des agents. Comme contexte applicatif, nous considérons un environnement de sinistre où les agents sont déployés dans des nœuds ad-hoc (e.g. PDAs, capteurs, smartphones) qui ont des disponibilités aléatoires, où il est impossible de prédire a priori les interdépendances des agents et les stratégies de collaboration à établir avant le début de l'exécution des tâches stochastiques (cf. section 2). Les interdépendances peuvent provenir du fait que des intervenants de spécialités différentes (e.g. pompiers, organismes de secours, volontaires, etc.) qui ont des composants électroniques qui hébergent des agents dans leur kit de secours, doivent prendre des décisions en fonction de leur groupe d'appartenance avant le déploiement sur le terrain et des informations contextuelles auxquelles se réfèrent les agents. Il est clair que dans un tel contexte, ces composants ad-hoc intégrés dans les kits d'assistances ne peuvent pas avoir des ressources énergétiques et une puissance de calcul illimitée. De plus, ils doivent tenir compte de la portée limitée de leur signal et de leur indisponibilité temporaire ou définitive (e.g. pannes, dysfonctionnement électronique, etc.) ce qui rend difficile ou impossible la prédiction des tâches à exécuter ou des coalitions à former.

2 Concepts de notre modèle

Le but d'un agent est de maximiser l'utilité et l'efficacité d'un intervenant (e.g. robot, secouriste humain), favoriser les travaux en équipe (coalitions) en cas de nécessité et l'émergence de décisions pertinentes. Formellement, soit A=$\{a_1, ..., a_n\}$ un ensemble d'agents de l'environnement multi-agents où chaque $a_i \in A : i \in [1, |A|]$ est un agent égoïste déployé dans un unique composant ad-hoc. Par C, nous définissons une coalition telle que C=$\{A_c, G_c, T_c, V_c\}$, où $A_c \subset A$. A_c=$\{a_1, a_2, ..., a_k\}$ l'ensemble des agents de la coalition C et qui ont comme ensemble de buts $G_c \subseteq \{G_{a_i}, a_i \in A_c\}$. T_c définit un ensemble de tâches stochastiques à exécuter par la coalition C et V_c est la récompense associée à la coalition C après l'exécution de T_c. Nous définissons une tâche stochastique comme un ensemble d'actions non-déterministes à exécuter pour résoudre un problème. Par exemple, les actions à effectuer pour éteindre un feu qui peut s'amplifier, rester stationnaire ou régresser.

En raison du contexte incertain et dynamique considéré, les paramètres essentiels que nous prenons en compte pour un agent a_i s'expriment à un instant t sous la forme : $\{R_{a_i}, Aut^t_{a_i}, Hs_{a_i}, \vartheta^t_{a_i}, U_{a_i}, L^{Net}_{a_i}, \rho_{a_i}, P^{a_i}_s\}$. Pour un agent a_i, l'information R_{a_i} décrit la ressource mise à la disposition de la tâche et $Aut^t_{a_i}$ son autonomie énergétique à l'instant t. Hs_{a_i} représente l'*historique* de ses interactions avec d'autres agents. $\vartheta^t_{a_i}$ est la vue d'un agent a_i à l'instant t, c'est-à-dire, l'ensemble des agents de son voisinage (cf. figure 1). U_{a_i} est la fonction d'utilité de a_i et $L^{Net}_{a_i}$ définit, à un instant t, le niveau de dépendance de l'agent a_i par rapport aux autres agents de son voisinage $\vartheta^t_{a_i}$ dans une structure réseau notée Net. $\rho_{a_i} \in [0, 1]$ est la fiabilité de l'agent a_i et $P^{a_i}_s$ est la probabilité de stabilité de a_i. $P^{a_i}_s = 1 - Q^{a_i}_s$ où $Q^{a_i}_s$ est la probabilité d'indisponibilité de a_i. Pour déterminer $Q^{a_i}_s$, a_i utilise la *loi géométrique modifiée* [9] qui est la loi de probabilité a priori quand on s'intéresse à l'arrivée de sa première indisponibilité. $Q^{a_i}_s$=$(q^{a_i}_s)^k$*$(1 - q^{a_i}_s)$, où $q^{a_i}_s$=$e^{-\lambda_{a_i}} * \frac{(\lambda_{a_i})^k}{k!}$. λ_{a_i} est le taux d'indisponibilité de a_i, k est le nombre de fois où l'agent à été indisponible.

Définition 1 *La fonction d'utilité U_{a_i} d'un agent a_i s'exprime sous la forme U_{a_i}=$\sum_{c=1}^{\infty} u^{a_i}_c$ où $u^{a_i}_c$ est son utilité dans la coalition C. $U^t_{a_i}$ est la valeur de cette fonction d'utilité à l'instant t. $u^{a_i}_c = v_{a_i} - Cost^{a_i}_c$. Cette fonction d'utilité est une information privée vue que la fonction de coût $Cost^{a_i}_c$ est privée. La seule connaissance partagée par les agents est la récompense attendue par la coalition V_c une fois que la tâche T_c est réalisée. V_c=$\sum_{a_i \in c} v_{a_i}$ où v_{a_i} est la récompense a_i dans la coalition C.*

Définition 2 *Soit $L^{Net}_{a_i}$ les dépendances de a_i avec les agents de sa vue $\vartheta^t_{a_i}$ qui forment une structure réseau quelconque (Net) telle que $\vartheta^t_{a_i} \subseteq Net$. $\forall a_i \in Net, \exists\ L^{Net}_{a_i}$ telle que $L^{Net}_{a_i} = \{\gamma^{Net}_{a_i}, H^{Net}_{a_i}, S^{Net}_{a_i}\}$. $\gamma^{Net}_{a_i}$ est l'ensemble des agents dont dépend a_i. $S^{Net}_{a_i}$ est l'ensemble des agents qui dépendent de a_i. $H^{Net}_{a_i}$=$(\vartheta^t_{a_i} \setminus \gamma^{Net}_{a_i}) \setminus S^{Net}_{a_i}$ est l'ensemble des agents qui ont la même importance que a_i dans l'environnement de déploiement.*

Cette formulation des dépendances possibles pour un agent s'explique par le fait que, dans un environnement sinistré, des intervenants peuvent être sous les ordres d'un ensemble de leaders ou peuvent simplement avoir des accords antérieurs auxquels ils doivent tenir compte au moment du déploiement. De plus, certains intervenants peuvent n'être que des volontaires indépendants.

Exemple 1 *Considérons le déploiement des agents cidessous :*

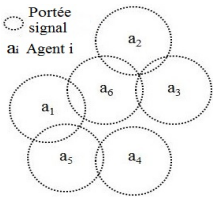


FIGURE 1 – La figure suggère que, $\vartheta^t_{a_1}$=$\{a_5, a_6\}$, $\vartheta^t_{a_2}$=$\{a_6, a_3\}$, $\vartheta^t_{a_3}$=$\{a_2, a_6\}$, $\vartheta^t_{a_4}$=$\{a_5\}$, $\vartheta^t_{a_5}$=$\{a_1, a_4\}$ et $\vartheta^t_{a_6}$=$\{a_1, a_2, a_3\}$.

Si nous considérons que, a_2 et a_3 dépendent seulement de a_6 et que le reste des agents sont uniquement des voisins, alors : $L^{Net}_{a_1}$=$\{\{\emptyset\}, \{a_5, a_6\}, \{\emptyset\}\}$ $L^{Net}_{a_2}$=$\{\{a_6\}, \{a_3\}, \{\emptyset\}\}$ $L^{Net}_{a_3}$=$\{\{a_6\}, \{a_2\}, \{\emptyset\}\}$ $L^{Net}_{a_4}$=$\{\{\emptyset\}, \{a_5\}, \{\emptyset\}\}$ $L^{Net}_{a_5}$=$\{\{\emptyset\}, \{a_1, a_4\}, \{\emptyset\}\}$ $L^{Net}_{a_6}$=$\{\{\emptyset\}, \{a_1\}, \{a_2, a_3\}\}$.

Ainsi, les agents doivent aussi tenir compte de ces dépendances pour déterminer leurs préférences et leurs interactions prioritaires ou interdites lorsqu'ils cherchent à maximiser leur utilité.

©AFIA 2016

3 Notre mécanisme S-NRB

L'objectif est de trouver le ou les meilleures coalitions stables qui maximisent le bien-être social des agents (coalitions *core stables* [2]) et qui peuvent se stabiliser dynamiquement (coalitions A-cores).

Définition 3 *Soit une coalition C et E_C un ensemble de coalitions. Si $C \in E_C$ est une coalition A-core, alors :*
- Il n'existe aucun agent ou groupe d'agents qui a la possibilité d'augmenter son utilité en changeant de coalition, c'est-à-dire, $\forall\ a_i \in C$ et $\forall\ C, C' \in E_C, u_c^{a_i} \geq u_{c'}^{a_i}$.
- Tout agent a_i de C a une alliance $Al_{a_i,aj}$ avec au moins un agent a_j de C, ($\forall\ a_i \in C, \exists Al_{a_i,aj} : a_j \in C$).
- Les agents de C forment un ensemble connexe, c'est-à-dire, $\forall\ a_i \in C, \exists a_j \in \vartheta_{a_i}^t : a_j \in C$.

S-NRB utilise un principe de sondage parallèle et asynchrone pour des offres composées et un ensemble de règles afin d'éviter des offres erronées ou en boucles dues aux incertitudes et aux dynamiques du contexte considéré.

Définition 4 *L'offre composée pour la formation d'une coalition C d'un agent a_i est notée $O_c^{a_i}$. Formellement, $O_c^{a_i}$=$\{\{B_i, B_j, B_k, ...\}, \{pl_{a_i}\}\}$: B_i=$(Ri, \Delta i, Ui)$. B_i est un but à atteindre par l'offre qui spécifie, la ressource Ri requise pour T_c, les contraintes Δi de B_i et la récompense Ui associée à B_i. pl_{a_i}=$\{a_i, a_j, a_k, ...\}$: $a_i \in A$ désigne une liste de sondage qui permet de savoir dynamiquement, les agents qui acceptent de s'associer.*

Un agent a_i peut proposer une offre $O_c^{a_i}$ si $a_i \in C$ et chaque but $B_i \in O_c^{a_i}$ est requis pour la formation et la stabilité de C. Un agent a_j peut accepter $B_i \equiv G_{a_j} \in O_c^{a_i}$ si et seulement si $Ri \in B_i : Ri \in R_{a_j}$. De plus, a_j ne peut participer à C que si $\forall a_i \in C, u_{c'}^{a_i} \geq u_c^{a_i} : C'$=$C \cup \{a_j\}$.

Définition 5 *Deux agents a_j et a_k sont en conflit pour une offre composée $O_c^{a_i}$, lorsque a_j et a_k ont la même contribution marginale (X_{a_j}=X_{a_k}), le même but $B_x \in O_c^{a_i}$ et veulent tous les deux participer à la même coalition C.*

Notations :
$\equiv$ L'équivalence entre paramètres. $\not\equiv$ La non équivalence entre paramètres. $\succsim_P$ Dominance au sens de Pareto. $\succsim_L$ Dominance au sens de Lorenz. $Card(n)$ le cardinal de n.

Notre mécanisme *S-NRB* (cf. algorithme 1), peut être décrit en ces quatre étapes ci-dessous :
Étape 1 : Stratégies de diffusion des offres.
Tout agent a_j qui reçoit une offre $O_c^{a_i}$ pour la formation d'une coalition C doit envoyer au maximum un message avec un TTL=1 (cf. équation 1) dans son voisinage représenté par sa vue $\vartheta_{a_j}^t$. Ce message doit indiquer sa réponse à l'agent par qui il a reçu cette offre. Nous imposons $TTL = 1$ pour permettre aux agents de privilégier les agents de leur vue, pour simplifier les négociations et ainsi raccourcir les délais d'attentes des réponses des agents. Le *TTL* définit le nombre de sauts autorisés pour un message.

$$1 \leq TTL \leq |\frac{Sz}{2 * \Upsilon}| \quad (1)$$

où Sz est la taille de l'environnement couvert par la tâche, Υ la portée du signal du composant qui héberge l'agent qui a initié le message. Un agent a_j ne diffuse l'offre $O_c^{a_i}$ dans son voisinage direct $\vartheta_{a_j}^t$ que s'il accepte de participer à C (cf. ligne 1 - 4 algorithme 1). Ce message est envoyé en mode *non-return* $broadcast$ après avoir vérifié que son but $G_{a_j} \equiv B_i : B_i \in O_c^{a_i}$, que son utilité $U_{a_j}^t$ à l'instant t est supérieure à son utilité $U_{a_j}^{t-1}$ à l'instant $t-1$ et après avoir inscrit son identifiant dans la liste de sondage $pl_{a_i} \subset O_c^{a_i}$.

Définition 6 *Le mode non-return $broadcast$ signifie que si a_k reçoit un message de a_j, alors a_k le diffusera seulement aux agents de $\vartheta_{a_k}^t \setminus a_j$.*

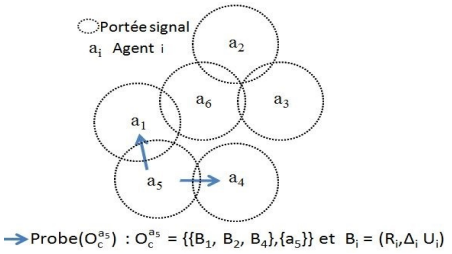


FIGURE 2 – Diffusions dans $\vartheta_{a_5}^t$ du message de sondage $Probe(O_c^{a_5})$ pour l'offre $O_c^{a_5}$ assignée à a_5. a_4 et a_1 doivent prendre alors, une décision locale pour savoir s'ils vont contacter leur(s) voisin(s) ou pas.

À noter que, si un agent accepte une offre, il supprime de cette offre l'information sur son but $G_{a_j} \equiv B_i : B_i \in O_c^{a_i}$ afin de n'envoyer dans son voisinage que les buts qui restent à atteindre et pour réduire le nombre de conflits de buts qui peuvent apparaître entre les agents. De plus, cette suppression des informations sur les buts déjà acquis permet dans une certaine mesure, d'accélérer la convergence du mécanisme et de favoriser les agents proches de l'agent qui a initié l'offre de formation de coalition. Un agent peut répondre à l'offre par un rejet grâce à un message de type $ResetProbe(O_c^{a_i})$ (cf. ligne 26 - 28 algorithme 1) ou par une demande de modification de l'offre (contre-proposition) en utilisant un message de type *counter*$(O_c^{a_i})$ (cf. ligne 23 - 25 algorithme 1). C'est seulement dans le cas d'une contre-proposition, qu'un agent peut entrer en négociation, s'il n'y a pas suffisamment d'acceptation de l'offre ou si la contre-proposition n'engendre pas d'incohérence sur l'offre $O_c^{a_i}$.

Étape 2 : Stratégies d'optimisation des messages.
Soit $a_j, \forall\ a_k \in \vartheta_{a_j}^t : a_k \in pl_{a_i}$ ou $\vartheta_{a_j}^t = \emptyset$, alors a_j doit rendre sa décision (acceptation ou contre-proposition ou rejet). Si a_j formule une contre-proposition de l'offre $O_c^{a_i}$ telle que $B_i \equiv G_{a_j} \in O_c^{a_i} : a_i \in C$, alors a_j est automatiquement désengagé de tout accord précédent et doit refaire une négociation avec les autres agents ou avec a_i. Cependant, si la coalition a été validée, la fiabilité de a_j est d'abord réduite par tous les autres agents avant de vérifier

©AFIA 2016

si une autre négociation peut être entreprise avec a_j. Un agent peut se désengager d'un accord s'il doit pénaliser un autre agent de C ou s'il devient indisponible. À cause des contraintes des équipements (e.g. portée du signal, débit des liens de communications) où les agents sont hébergés, parfois, un agent ne peut pas contacter au même moment tous les autres agents de l'environnement de déploiement, ce qui peut entraîner l'apparition de plusieurs chemins de messages entre deux agents. Ainsi, plusieurs listes de sondage peuvent coexister pour une même offre si des mesures ne sont pas prises pour l'éviter (cf. figure 3). C'est pourquoi, S-NRB cherche aussi à éliminer dynamiquement les listes redondantes en privilégiant les agents avec qui la stabilité et le bien-être social des agents sont préservés pour favoriser la formation de coalitions (*core stables*).

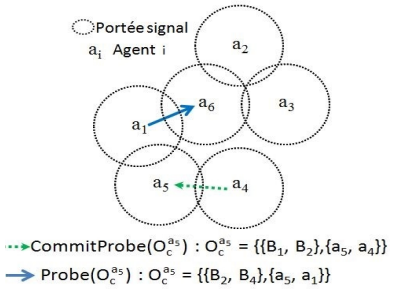


FIGURE 3 – Il y a une différence entre pl_{a_5}=$\{\{a_5, a_4\}\}$ dans la réponse de a_4 et pl_{a_5}=$\{\{a_5, a_1\}\}$ dans le message de a_1, car chacun d'eux ignore la réponse de l'autre.

Étape 3 : Assurer l'unicité d'une liste de sondage.
Tout agent qui reçoit plus d'une liste de sondage et qui veut participer à la coalition C, doit effectuer une fusion des différentes listes de sondage afin de limiter les conflits entre les agents et de produire une seule liste de sondage (cf. ligne 11 - 14 algorithme 1 et l'algorithme 2).

Définition 7 *Soit $pl^1_{a_i}, pl^2_{a_i}$, ..., $pl^n_{a_i}$, n listes de sondage pour une offre $O_c^{a_i}$. La fusion de ces listes est le fait de les associer afin de générer une seule liste pl_{a_i} résultante qui ne contient pas de conflits entre les agents. Formellement, pl_{a_i}=$(pl^1_{a_i} \cup pl^2_{a_i} \cup ... \cup pl^n_{a_i}) : (pl^1_{a_i} \cap pl^2_{a_i} \cap ... \cap pl^n_{a_i}) = \emptyset$ et $\forall a_x, a_y \in pl_{a_i}$, $a_x \neq a_y$, alors $G_{a_x} \not\equiv G_{a_y}$.*

Étape 4 : Prise d'une décision collective.
Si $(\cup Bi \subset O_c^{a_i}) \neq (\underset{a_j \in pl_{a_i}}{\cup} G_{a_j})$, alors les agents qui sont dans la liste de sondage cherchent à prédire s'ils sont capables de former une coalition stable et dans quelle mesure y parvenir (cf. ligne 20 - 22 algorithme 1). Pour ce faire, ils utilisent la loi de probabilité hypergéométrique [9], [1] qui est la loi a priori pour la prédiction de l'issue probable d'un sondage. Ainsi, $\forall\ a_j \in pl_{a_i}$, *échantillon*=$n$=$Card(pl_{a_i})$, *population*=$N$=$Card(\cup B_i) : B_i \in O_c^{a_i}$.
Soit $P_{counter}$ la probabilité d'avoir un agent qui accepte de rejoindre la liste de sondage après avoir renégocié l'offre. Soit P_{reject} la probabilité d'avoir un agent qui rejette l'offre. $\forall\ a_j \in pl_{a_i} : a_x \in \vartheta^t_{a_j}, a_x \notin pl_{a_i}$, il calcule $Q_{counter}$=$1 - (P_{counter} + P_{reject})$ c'est-à-dire la probabilité de contacter un agent qui accepte sans renégocier l'offre. Soit k le nombre de fois qu'il est nécessaire de contacter des agents afin de former C pour l'offre $O_c^{a_i}$. La probabilité de X=k est donnée par l'équation :

$$P[X = k] = \frac{C^k_{NQ_{counter}} C^{n-k}_{NP_{counter}}}{C^n_N} \quad (2)$$

L'espérance de cette probabilité est :

$$E(X) = nQ_{counter} \quad (3)$$

Si $P[X = k] \neq 0$, l'agent responsable de la poursuite du sondage est celui de la liste de sondage qui domine au sens de Lorenz les autres agents de cette liste si on considère les paramètres $P[X = k]$ et $E(X)$. Nous utilisons la dominance de Lorenz [6] (cf. définition 8) pour éviter les cas où une prise de décision est impossible avec la dominance de Pareto.

Algorithme 1 : : S-NRB

Require: $Probe(O_c^{a_i}) : \vartheta^t_{a_i} \neq \emptyset, O_c^{a_i}$=$\{\{B_i : i \in [1, |T_c|]\}, \{pl_{a_i} : i \in [1, |A|]\}\}$
RESULT : Coalition C
1: **if** $G_{a_j} \equiv B_i \in O_c^{a_i}$ et $Aut^t_{aj} \neq 0$ et $U^{t-1}_{aj} \leq U^t_{aj}$ **then**
2: **if** $\vartheta^t_{a_j} \neq \emptyset$ et $a_j \in pl_{a_i}$ **then**
3: Envoyer $Probe(O_c^{a_i}) : pl_{a_i}$=$\{a_i, a_j\}\ \forall\ a_k \in \vartheta^t_{a_j}$
4: **end if**
5: **if** $\vartheta^t_{a_j}$==$\emptyset$ et $a_j \in pl_{a_i}$ **then**
6: Envoyer $CommitProbe(O_c^{a_i}) : pl_{a_i}$=$\{a_i, a_j\}\ \forall$ $a_k \in \vartheta^t_{a_j}$
7: **end if**
8: **if** $\vartheta^t_{a_j} \neq \emptyset$ et $a_j \in pl_{a_i}$ et $\exists\ CommitProbe(O_c^{a_i})$ **then**
9: Envoyer $Commit(pl_{a_i})$
10: **end if**
11: **if** $(\exists\ a_j \in pl_{a_i})$ ou $(\exists\ a_k \in pl'_{a_i})$ et $(a_k \notin pl_{a_i})$ **then**
12: $UpdateProbe(O_c^{a_i})$ *//pour mettre à jour pl_{a_i} après fusion de pl_{a_i} et pl'_{a_i}*
13: **end if**
14: **if** $\exists$ conflit entre a_j et a_k **then**
15: $Matching(pl_{a_i}, pl'_{a_i})$ *//pour initier l'algorithme 2*
16: Envoyer $UpdateProbe(O_c^{a_i})$ *//pour mettre à jour pl_{a_i}*
17: **end if**
18: **if** $\cup Bi \subset O_c^{a_i}$==$\cup_{a_j \in pl_{a_i}} G_{a_j}$ **then**
19: Valider C=$\{\forall\ a_j \in pl_{a_i}\}$ et G_c=$\cup_{a_j \in pl_{a_i}} G_{a_j}$
20: **else**
21: $\forall\ a_j \in pl_{a_i}$ trouver plus de ressources en utilisant $Al_{a_j,a_k} : a_k \in A$, $L^{Net}_{a_j}$ et $Counsel(a_i)$ *//Pour guider les recherches de a_i.*
22: **end if**
23: **else**
24: **if** $G_{a_j} \equiv B_i \in O_c^{a_i}$ et $Aut^t_{aj} \neq 0$ et $U^{t-1}_{aj} > U^t_{aj}$ **then**
25: Envoyer $Counter(O_c^{a_i})$
26: **else**
27: Envoyer $ResetProbe(O_c^{a_i})$
28: **end if**
29: **end if**

©AFIA 2016

Définition 8 *Pour tout $x \in \mathbb{R}_+^q$, le vecteur de Lorenz généralisé associé à x est le vecteur :* $L(x)=(x_1, x_1+x_2, x_1+x_2+x_3, ..., x_1+x_2+...+x_q)$ *où,* $x_1 \geq x_2 \geq x_3 \geq ... \geq x_q$ *représentent les composant de x rangées par ordre décroissant. L'expression d'une n^{ieme} composante de $L(x)$ peut s'écrire sous la forme :* $L_n(x)=\sum_{i=1}^{n} x_i$. *On dit que x domine y au sens de Lorenz et on le note par $x \succsim_L y$, si $\forall\, x, y \in \mathbb{R}_+^q, L(x) \succsim_P L(y)$, c'est-à-dire, $L(x)$ domine $L(y)$ au sens de Pareto.*

Faire un choix entre deux agents a_j et a_k, en utilisant $P[X = k]$ et $E(X)$, revient à poser comme vecteur de Lorenz généralisé associé pour a_j, $L(x)=(x_1, x_1 + x_2)=(P_j[X = k], P_j[X = k] + E_j(X))$ et pour a_k, $L(y)=(y_1, y_1 + y_2)=(P_k[X = k], P_j[X = k] + E_k(X))$. Si $\sum_{i=1}^{2} L_i(x) \geq \sum_{i=1}^{2} L_i(y)$, alors $x \succsim_L y \Leftrightarrow L(x) \succsim_P L(y)$. Cela, signifie que x domine y au sens de Lorenz et donc a_j est responsable de la poursuite du sondage.
a_j peut conseiller a_i ($Counsel(a_i)$) sur des modifications à apporter sur $O_c^{a_i}$, si Al_{a_i,a_j} existe, si $G_{a_i} \in O_c^{a_i}$ et si cela peut éventuellement intéresser un agent appartenant à $L_{a_j}^{Net} \neq \emptyset$. Les conseils de modification des offres ont pour objectif de permettre aux agents d'améliorer leurs connaissances sur les autres agents et sur les offres pouvant les intéresser. Ainsi un conseil doit assurer que la modification de l'offre pour intéresser un agent a_j à C ne va pas diminuer l'utilité d'un agent qui a déjà donné son accord pour participer à C, c'est-à-dire, $\forall a_i \in C$ $u_{c'}^{a_i} \geq u_c^{a_i} : C'=C \cup \{a_j\}$. De plus, a_j peut conseiller a_i s'il existe une *alliance* Al_{a_i,a_j} ou s'il existe une *alliance* Al_{a_i,a_k} telle que, $a_k \in C$ puisse se porter garant (*grant*) de a_j, sinon a_i ignore le conseil de a_j. L'expression formelle d'un conseil est sous la forme : $Counsel(a_i)=(O_c^{a_i}, B_i)$, qui signifie que le conseil de modification de l'offre $O_c^{a_i}$ de a_i concerne le but $B_i \in O_c^{a_i}$.
Notons que le premier identifiant d'une liste de sondage (e.g. pl_{a_i}) est celui de l'agent a_i qui a initié l'offre $O_c^{a_i}$ de formation de C. Cela, permet de différencier les offres, car de manière simultanée, nous pouvons avoir plusieurs tâches à exécuter. De plus, les agents peuvent se déplacer en cas de nécessité, pour former un ensemble connexe.

3.1 Résolution des conflits dans S-NRB

Nous détaillons ici, les stratégies que les agents utilisent pour résoudre leurs conflits et favoriser la formation de coalitions *core stables*.

Étape 1 : Matching et mesure de dissemblances.

Définition 9 *L'indice de Jaccard évalue la similarité entre des ensembles. Soit n ensembles S_1, S_2, ..., S_n l'indice de Jaccard est donner par :*

$$J(S_1, S_2, ..., S_n) = \frac{Card(S_1 \cap S_2 \cap ... \cap S_n)}{Card(S_1 \cup S_2 \cup ... \cup S_n)} \qquad (4)$$

La distance de Jaccard mesure la dissemblance entre ensembles. Elle consiste à soustraire l'indice de Jaccard à 1.

$$J_\delta(S_1, S_2, ..., S_n) = 1 - J(S_1, S_2, ..., S_n) \qquad (5)$$

Algorithme 2 : : S-NRB-CRP()

Require: $\exists\, (a_j \in pl_{a_i})$ et $(a_k \notin pl'_{a_i})$ et G_{a_j}==G_{a_k} et X_{a_j}==X_{a_k}.
RESULT : $pl_{a_i} \cup pl'_{a_i} : pl_{a_i} \cap pl'_{a_i} = \emptyset$

1: **if** $a_j \in S_{a_k}^{Net}$ **then**
2: Notifier à a_j que sa demande est rejetée
3: **else**
4: $L_{a_j}^{Jacc}$=$Jacc(a_j)$ et $L_{a_k}^{Jacc}$=$Jacc(a_k)$
5: $Jaccard(a_j, a_k)$=$|\frac{L_{a_j}^{jac} \cap L_{a_k}^{jac}}{L_{a_j}^{jac} \cup L_{a_k}^{jac}}|$
6: **if** $1 - Jaccard(a_j, a_k) \neq 0$ **then**
7: **if** $Card(L_{a_j}^{Jacc}) < Card(L_{a_k}^{Jacc})$ **then**
8: Notifier à a_j que sa demande est rejetée
9: **else**
10: Notifier à a_k que sa demande est rejetée
11: **end if**
12: **else**
13: $L(x)=(x_1, x_1+x_2, x_1+x_2+x_3)=(Card(L_{a_j}^{Jacc}), Card(L_{a_j}^{Jacc}) + \rho_{a_j}, Card(L_{a_j}^{Jacc}) + \rho_{a_j} + P_s^{a_j})$
14: $L(y)=(y_1, y_1+y_2, y_1+y_2+y_3)=(Card(L_{a_k}^{Jacc}), Card(L_{a_k}^{Jacc}) + \rho_{a_k}, Card(L_{a_k}^{Jacc}) + \rho_{a_k} + P_s^{a_k})$
15: **if** $x \succsim_L y$ **then**
16: Notifier à a_k que sa demande est rejetée
17: **end if**
18: **if** $y \succsim_L x$ **then**
19: Notifier à a_j que sa demande est rejetée
20: **else**
21: $Grant(a_j, a_k)$
22: **end if**
23: **end if**
24: **if** $\exists\, (a_j \in pl_{a_i})$ et $(a_k \notin pl'_{a_i})$ et G_{a_j}==G_{a_k} et X_{a_j}==X_{a_k} **then**
25: Sélectionner un agent tel que, $Max(\rho_{a_j}, \rho_{a_k})$, $Max(Aut_{a_j}^t, Aut_{a_k}^t)$ et $Max(P_s^{a_j}, P_s^{a_k})$.
26: **end if**
27: **end if**

À la ligne 4 de l'algorithme 2, $Jacc(a_j)$ et $Jacc(a_k)$ signifie que a_j et a_k doivent donner respectivement leur liste $L_{a_j}^{Jacc}$ et $L_{a_k}^{Jacc}$. $L_{a_j}^{Jacc}$ et $L_{a_k}^{Jacc}$ contiennent respectivement l'ensemble des agents des listes de sondage pl_{a_i} de a_j et pl'_{a_i} de a_k avec qui, ils ont des accords (alliances, dépendances) pour participer à la même coalition C. Si nous notons par $AllianceSet^{a_x}$ l'ensemble des agents alliés d'un agent a_x, alors :
$L_{a_j}^{Jacc}$=$(\gamma_{a_j}^{Net} \cup S_{a_j}^{Net} \cup AllianceSet^{a_j}) \cap pl_{a_i}$.
$L_{a_k}^{Jacc}$=$(\gamma_{a_k}^{Net} \cup S_{a_k}^{Net} \cup AllianceSet^{a_k}) \cap pl_{a_i}$.
$Jaccard(a_j, a_k)$ correspond à l'indice de Jaccard entre les deux ensembles $L_{a_j}^{Jacc}$ et $L_{a_k}^{Jacc}$ obtenue respectivement par les agents a_j et a_k.

Étape 2 : Prise de décision..
Elle utilise les ensembles $L_{a_j}^{Jacc}$ et $L_{a_k}^{Jacc}$, les fiabilités ρ_{a_j} et ρ_{a_k} et les probabilités de stabilité $P_s^{a_j}$ et $P_s^{a_j}$ des agents en conflits (cf. ligne 12 - 19 algorithme 2). En posant :
$L(x)=(Card(L_{a_j}^{Jacc}), Card(L_{a_j}^{Jacc})+\rho_{a_j}, Card(L_{a_j}^{Jacc})+\rho_{a_j} + P_s^{a_j})$.

©AFIA 2016

$L(y)$=$(Card(L^{Jacc}_{a_k}), Card(L^{Jacc}_{a_k})+\rho_{a_k}, Card(L^{Jacc}_{a_k})+\rho_{a_k}+P^{a_k}_s)$. Si $\sum_{i=1}^{3} L_i(x) \geq \sum_{i=1}^{3} L_i(y)$, alors $x \succsim_L y \Leftrightarrow L(x) \succsim_P L(y)$ ce qui signifie que x domine y au sens de Lorenz. Dans ce cas, la participation de a_j est préférée à celle de a_k.

Dans la mesure où la sélection d'un agent n'est toujours pas possible, alors un mécanisme de demande de garants est initié (cf. ligne 21 algorithme 2) par l'agent responsable du matching. Cette demande de garants est envoyée aux agents $a_x \in pl_{a_i} \setminus \{a_j, a_k\}$ et $a_y \in pl'_{a_i} \setminus \{a_j, a_k\}$.

3.2 Contraintes de la demande de garants

Nous donnons de manière succincte l'ensemble des étapes :

Étape 1 : Demande de garants.

Définition 10 *Un agent a_i est garant pour un agent a_j, si a_i se fonde sur ses alliances, sur ses dépendances avec a_j ou sur la fiabilité de a_j pour indiquer sa préférence pour a_j par rapport aux agents qui sont en conflit avec a_j.*

Un agent ne peut être garant d'un autre agent que s'il est dans au moins l'une des listes de sondage pour l'offre de formation d'une coalition C où les agents sont en conflits. Cette contrainte permet d'éviter les cas où, un agent qui n'a pas accepté la demande de formation de C ne déstabilise volontairement le processus de résolution de conflits et par là, entraîner l'échec de la formation de C.

Étape 2 : Risque pour un agent impliqué.

Si un agent qui a un garant quitte la coalition ou l'environnement avant la fin de l'exécution de la tâche, sa fiabilité ainsi que celle de ses garants sont réduites par les agents qui sont restés dans la coalition. De plus, chaque agent garant doit supporter un coût (cf. définition 1) supplémentaire dû à la disparition d'un agent dont il est le garant.

Étape 3 : Calcul du poids des garants.

Ce calcul se fonde sur le nombre d'alliés qu'un agent a parmi ses agents garants et sur la moyenne des fiabilités des agents garants. Soit $AllianceSet^{a_i}$ l'ensemble des agents alliés d'un agent a_i. Soit AG l'ensemble des agents garants de l'agent a_i. Le poids des garants de l'agent a_i est égal à :

$$\frac{(AllianceSet^{a_i} \cap AG) + \sum_{a_x \in AG} \rho_{a_x}}{Card(AG)} \quad (6)$$

Plus cette valeur est grande, plus l'agent est préféré.

Étape 4 : Proposition d'une nouvelle liste de sondage.

Soit $pl_{a_i}, pl'_{a_i}, pl"_{a_i}, ...$ un ensemble de listes de sondage. La liste résultante sera : $pl_{a_i} \cup pl'_{a_i} \cup pl"_{a_i} \cup ...$ telle que $pl_{a_i} \cap pl'_{a_i} \cap pl"_{a_i} \cap ... = \emptyset$ et $\forall a_x \in pl_{a_i}$, $a_y \in pl'_{a_i}$, $a_z \in pl"_{a_i}$ ... $\forall B_i \in O^{a_i}_c$, $G_{a_x} \neq G_{a_y} \neq G_{a_z}$.

Étape 5 : Attente d'amendements justifiés.

Il peut arriver qu'un agent a_j demande à ce qu'un autre agent soit retenu dans la liste de sondage pl_{a_i} à cause de ses dépendances, de ses *alliances*, ... avec ce dernier. Pour ce faire, l'agent a_j qui a émis l'amendement sur la pl_{a_i}, doit indiquer sa probabilité de stabilité $P^{a_j}_s$ et accepter d'être garant pour l'ensemble des agents qu'il demande d'ajouter dans pl_{a_i}. Si aucun amendement n'est fait, pl_{a_i} est validée comme une coalition. Dans le cas où, des amendements ont été apportés sur pl_{a_i}, les agents choisissent une nouvelle liste de sondage pl'_{a_i} qui est la plus connexe et qui a le plus d'agents qui ont des *alliances* dans pl'_{a_i}.

3.3 Propriétés de S-NRB

Nous donnons un ensemble de propriétés de S-NRB qui mène à l'existence de coalitions *A-core*.

Lemme 1 *Qu'une possibilité de former une coalition core stable existe ou non, S-NRB termine toujours sans blocage.*

Preuve 1 *Soit $U^t_{a_j}$ l'utilité de a_j à l'instant t. $\forall Probe(O^{a_i}_c)$ d'un agent a_i, un agent $a_j \neq a_i$ ne diffuse ce message de sondage que si $U^{t-1}_{a_j} \leq U^t_{a_j}$ et $\vartheta^t_{a_j} \neq \emptyset$, ce qui est une manière de gérer les coûts des communications et d'éviter les négociations en boucles. Tout conflit entre a_i et a_j est géré par les autres agents appartenant à leur liste de sondage grâce au calcul de la dominance de Lorenz entre a_i et a_j. Cette méthode évite le cas où les agents a_i et a_j sont dans une impasse au moment où les agents de leur liste attendent la validation de la liste de sondage en une coalition. Ainsi, les blocages sont évités grâce à cette gestion des communications et la résolution décentralisée des conflits. Ce qui prouve notre lemme.*

Lemme 2 *S-NRB permet aux agents de former des coalitions core stables.*

Preuve 2 *Soit $U^t_{a_i}$ l'utilité de a_i à l'instant t et $U^t_{a_j}$ l'utilité de a_j à l'instant t. $\forall B_i \in G_c$ et $B_i \in O^{a_i}_c$, si $\exists a_i, a_j \in A : R_{a_i} \in B_i, Aut^t_{ai} \neq 0, U^{t-1}_{a_i} \leq U^t_{a_i}$ et $R_{a_j} \in B_i, Aut^t_{aj} \neq 0, U^{t-1}_{a_j} \leq U^t_{a_j}$, alors, a_i (respectivement a_j) va atteindre un accord en utilisant ses dépendances $L^{Net}_{a_i}$ (respectivement $L^{Net}_{a_j}$). Cela se vérifie à la ligne 1 de l'algorithme 2.*

L'utilisation de l'index de Jaccard et la dominance de Lorenz permettent de faire le meilleur choix entre les deux agents. Si la liste de sondage pl_{a_i} est validée comme une coalition C, cela signifie que :

(1) $\forall a_i \in pl_{a_i}, \exists a_j \in pl_{a_i} : a_j \in \gamma^{Net}_{a_i}$ ou $a_j \in H^{Net}_{a_i}$ ou $a_j \in S^{Net}_{a_i}$;

(2) $\forall a_i \in pl_{a_i}, U^{t-1}_{a_i} \leq U^t_{a_i}$;

(3) $\forall a_i \in pl_{a_i}, \exists a_j \in pl_{a_i} : \exists Al_{a_i,a_j}$.

De là, C sera core stable car aucun agent $a_i \in pl_{a_i}$ ne sera motivé à quitter C pour une autre coalition C' et risquer ainsi de perdre ses alliance(s), réduire son utilité et être considéré comme non fiable par les agents avec lesquels il a des dépendances. Ce qui prouve notre lemme.

Théorème 1 *S-NRB permet toujours la converge vers une coalition core stable si celle-ci existe.*

Preuve 3 *Le lemme 1 montre que S-NRB termine son exécution et le lemme 2 prouve que S-NRB mène à la formation de coalitions core stables si ces dernières peuvent*

©AFIA 2016

exister entre les agents. Ainsi, nous pouvons affirmer que S-NRB cherche toujours à déterminer une coalition stable qui maximise le bien-être social des agents quels que soient les états initiaux des agents. Ce qui prouve notre théorème.

Lemme 3 *Le processus de sondage de S-NRB fait émerger une structure connexe d'agents pl_{a_i} où chaque agent a_j de cette structure a au moins un agent voisin a_k dans pl_{a_i} avec lequel il accepte de partager la coalition C.*

Preuve 4 *$\forall a_j \in A$, s'il reçoit une offre $O_c^{a_i}$, cela signifie que, $a_j \in \vartheta_{a_j}^t$ ou $\exists \{a_x, a_y, ...\} \in A : a_j \in L_{a_i}^{Net}$ et $a_i \in L_{a_j}^{Net}$. Ainsi, si a_i et $a_j \in pl_{a_i}$ alors, $a_j \in \vartheta_{a_i}^t$ ou $\exists \{a_x, a_y, ...\} \in pl_{a_i}$ car dans notre approche a_x ne diffuse pl_{a_i} que s'il appartient à pl_{a_i} (cf. lignes 3 - 5 algorithme 1) ou s'il existe un message de mise à jour de pl_{a_i} ($UpdateProbe(O_c^{a_i})$). Dans ce dernier cas, si un agent a_j souhaite atteindre un but $B_i \in O_c^{a_i}$ il doit appartenir à $\vartheta_{a_i}^t$ ou à $\vartheta_{a_x}^t : a_x \in pl_{a_i}$. Ce qui prouve notre lemme.*

Lemme 4 *Les agents les plus proches et les plus fiables du voisinage de l'agent qui a initié le mécanisme de formation de coalitions S-NRB ont toujours une plus grande probabilité d'être choisi pour former la coalition.*

Preuve 5 *Considérons les agents a_i, a_j et a_k tels que $a_j \in \vartheta_{a_i}^t$ et $a_k \in \vartheta_{a_j}^t$. Si $G_{a_j} \equiv G_{a_k} \equiv B_i \in O_c^{a_i}$ et $U_{a_j}^{t-1} \leq U_{a_j}^t$ et $U_{a_k}^{t-1} \leq U_{a_k}^t$ alors, a_j et a_k ne seront pas en conflits car si a_j reçoit l'offre $O_c^{a_i}$, il ajoute son identifiant dans la liste de sondage pl_{a_i} et supprime l'information concernant $G_{a_j} \equiv B_i \in O_c^{a_i}$ avant d'envoyer l'offre $O_c^{a_i}$ à $a_k \in \vartheta_{aj}^t$. Ainsi, si a_k reçoit $O_c^{a_i}$ alors l'information $G_{a_k} \equiv B_i \notin O_c^{a_i}$ et donc aucun conflit n'arrive entre a_j et a_k. Ce qui prouve qu'un agent plus proche est toujours privilégié s'il faut former une coalition. Maintenant supposons que, $a_j, a_k \in \vartheta_{a_i}^t$ alors, les deux agents vont recevoir l'offre $O_c^{a_i}$ en même temps. Si $G_{a_j} \equiv G_{a_k} \equiv B_i \in O_c^{a_i}$ et $U_{a_j}^{t-1} \leq U_{a_j}^t$ et $U_{a_k}^{t-1} \leq U_{a_k}^t$ alors, a_i, a_j et a_k vont procéder à la résolution du conflit en utilisant l'algorithme 2. Cela mène à la détermination de l'agent le plus fiable entre a_j et a_k. Ce qui donne la preuve de notre lemme.*

Théorème 2 *S-NRB permet une auto-stabilisation des coalitions core stables.*

Preuve 6 *Le lemme 2 prouve la convergence de S-NRB vers des coalitions core stables où aucun agent n'est motivé à quitter sa coalition. Le lemme 3 montre que, chaque évènement qui impacte dynamiquement l'état d'une (des) tâche(s) ou la disponibilité d'un ensemble d'agents sera détecté par au moins un agent de la liste de sondage ou de la coalition. Les lemmes 1 montrent qu'après une instabilité d'une coalition, cette dernière redevient stable après un nombre fini d'étapes. De plus, pour tout agent ajouté dans une coalition core stable, les conflits éventuels sont gérés de manière décentralisée et la décision d'ajouter un ensemble d'agents dans une coalition se fait en respectant les préférences des agents qui sont déjà dans la coalition. Avec ces contraintes de participation dans une coalition, notre mécanisme S-NRB évite le cas où un ensemble d'agents est motivé à quitter sa coalition après une instabilité causée par un ensemble de conflits ou à cause d'une décroissance de leur utilité. Ce qui prouve notre théorème.*

4 Évaluations de performances

Pour l'ensemble des expériences que nous avons menées, une tâche est assignée à un agent unique qui doit utiliser ses stratégies de négociation afin d'établir une coalition stable pour l'exécution de cette tâche. La stratégie d'un agent durant une phase de négociation peut porter sur la manière d'utiliser ses dépendances, ses contraintes et les récompenses associées à une tâche. Nous effectuons ces simulations quand les indisponibilités des agents, les conflits dus aux préférences et dépendances des agents et les états des tâches suivent des distributions de probabilités de loi Uniforme, Normale ou de Poisson. Chaque agent est autonome et égoïste avec des dépendances natives ou non. Aléatoirement, un agent peut initier un processus de formation de coalitions, être libre de tout engagement envers les autres agents ou devenir indisponible. La dynamique de la localisation et des états des tâches est générée aléatoirement de même que pour les ressources nécessaires pour l'exécution d'une tâche à un instant t donné. Le nombre d'agents dans l'environnement est choisi entre 10 et 100 et le nombre de tâches simultanées dans l'environnement est compris entre 3 et 8 tâches où les propriétés de chaque tâche sont générées aléatoirement. Les simulations sont effectuées dans une machine Intel i7 (4 GHZ) avec 4GB de RAM. À cause de la dynamique des ressources disponibles ou requises pour une tâche, nous faisons nos simulations en considérant les *ratios*. Par exemple, dans un environnement Net, supposons qu'il y a 12 agents de même caractéristiques. Si dans Net, l'objectif est de former deux coalitions où la première coalition requiert 9 agents et où la seconde coalition requiert 6 agents, alors nous avons, *ratio*=$\frac{12}{9+6}$=$\frac{12}{15}$=0.8. Pour obtenir des valeurs moyennes, nous répétons 10 fois chaque simulation. Nous étudions ici, la capacité des coalitions *core stables* formées à s'auto-stabiliser.

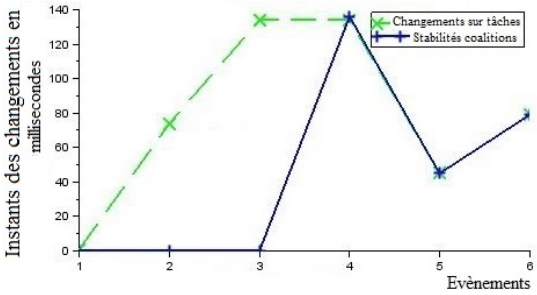


FIGURE 4 – Auto-stabilisation des coalitions si les changements d'états des tâches et la disponibilité des agents suivent une distribution de probabilités Uniforme $U(a, b)$ où a=0 et b=10. Évolutions des $ratios$: 1.42, 1.66, 2, 3.33, 1.66 et 2.

©AFIA 2016

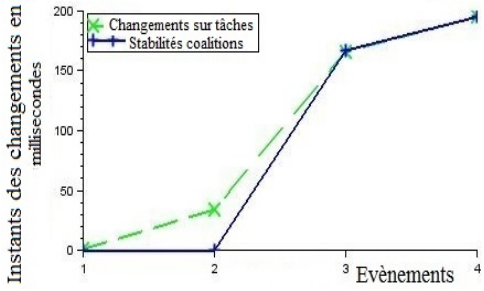


FIGURE 5 – Auto-stabilisation des coalitions si les changements d'états des tâches et la disponibilité des agents suivent une distribution de probabilités Normale $N(\mu, \sigma^2)$ où μ=0.5 et σ=0.1. Évolutions des $ratios$: 0.90, 3.33, 3.33, 2.50.

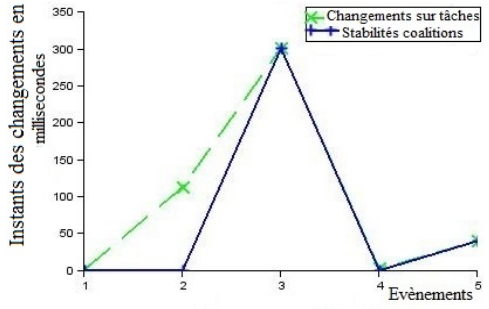


FIGURE 6 – Auto-stabilisation des coalitions si les changements d'états des tâches et la disponibilité des agents suivent une distribution de probabilités de Poisson $P(\lambda)$ où λ=0.5. Évolutions des $ratios$: 3.33, 1, 2.5, 2, 1.66.

Les résultats des simulations illustrés par ces figures montrent que, si une coalition est *core stable*, elle le reste même s'il y a des changements dynamiques sur les $ratios$ et les tâches, d'où la propriété *A-core* que nous avons prouvé analytiquement.

5 Conclusion

Nous avons proposé un modèle de formation de coalitions *core stables* adaptatif, asynchrone et décentralisé qui permet une auto-stabilisation des coalitions formées d'agents égoïstes. À cause des incertitudes et des contraintes sur les tâches stochastiques et les agents, nous ne supposons aucune connaissance a priori sur la stabilité des coalitions à former et qu'il n'est pas possible de les calculer de manière centralisée. Nous avons appelé notre mécanisme, S-NRB. Nous avons, principalement, prouvé sa convergence vers des coalitions *core stables* qui se stabilisent dynamiquement dans le temps (auto-stabilité) en cas de disparition d'un ensemble d'agents ou de changements sur les contraintes des tâches. S-NRB se fonde sur un ensemble de lois de probabilité pour prédire les événements qui peuvent changer les états des tâches ou pour prédire les indisponibilités des agents et sur les principes de la théorie des jeux pour identifier les coalitions *core stables*. L'analyse théorique et les simulations montrent les propriétés de S-NRB qui permettent de surmonter les incertitudes et les contraintes du contexte considéré afin de trouver les coalitions *A-cores*.

Dans nos travaux futurs, nous avons l'intention d'étudier la coordination inter-coalitions disjointes pour augmenter l'efficacité des agents.

Références

[1] B. Baynat. *Théorie Des Files D'attente - Des Chaînes De Markov Aux RÃl'seaux À Forme Produit*. Hermes Science Publications - Lavoisier, June 2000.

[2] G. Chalkiadakis, E. Elkind, and M. Wooldrdidge. *Computational Aspects of Cooperative Game Theory*, volume 5, No 6. Morgan & Claypool, October 2011.

[3] P.F. Faye, S. Aknine, O. Shehory, and M. Sène. Formation de coalition stable dans un contexte non-déterministe et instable. *Reconnaissance de Formes et l'Intelligence Artificielle (RFIA)*, July 2014.

[4] B. Horling, R. Vincent, R. Mailler, J. Shen, R. Becker, K. Rawlins, and V. Lesser. Distributed sensor network for real time tracking. *AGENTS'01 Autonomous Agents*, pages 417–424, 2001.

[5] M. A. Khan, D. Turgut, and L. Bölöni. Optimizing coalition formation for tasks with dynamically evolving rewards and nondeterministic action effects. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, pages 415–438, May 2011.

[6] A. W. Marshall and I Olkin. *Inequalities : Theory of Majorization and Its Applications*, volume 143. Academic Press, Inc., New York, 1979.

[7] T. W. Sandholm, K. Larson, M. Andersson, O. Shehory, and F. Tohmé. Coalitions structure generation with worst case guarantees. *AI Journal*, pages 209–238, July 1999.

[8] L. Sless, N. Hazon, S. Kraus, and M. Wooldridge. Forming coalitions and facilitating relationships for completing tasks in social networks. *AAMAS*, pages 261–268, May 2014.

[9] R. D. Yates and D. J. Goodman. *Probability and Stochastic Processes : A Friendly Introduction for Electrical and Computer Engineers*. John Wiley and Sons, INC, Rutgers, The State University of New Jersey, 2005.

©AFIA 2016

ASDA : Analyseur Syntaxique du Dialecte Algérien dans un but d'analyse sémantique

Imène GUELLIL[1] Faiçal AZOUAOU[2]

[1,2] Laboratoire de méthode de conception de système LMCS
Ecole Supérieure d'Informatique ESI
Alger, Algérie

{i_guellil, f_azouaou}@esi.dz

Résumé

La fouille d'opinions et analyse de sentiments au sein des médias sociaux représente une piste de recherche suscitant un grand intérêt de la communauté scientifique. Néanmoins avant de procéder à cette analyse, nous sommes confrontés à un ensemble de problématiques. La première concerne la richesse des langues et dialectes au sein de ces médias. Afin de répondre à cette problématique, nous proposons dans ce papier une approche de construction et d'implémentation d'un analyseur syntaxique d'un dialecte arabe (le dialecte algérien) nommé ASDA servant à étiqueter les termes d'un corpus donné. Nous récupérons ainsi une table d'étiquetage contenant pour chaque terme son radicale, différents préfixes et suffixes, nous permettant de déterminer les différentes parties grammaticales, une sorte d'étiquetage POS[1]. Cet étiquetage, nous servira par la suite dans le traitement sémantique de ce dialecte, c'est-à-dire la traduction automatique de ce dernier ainsi que l'analyse de sentiment de messages rédigés en ce dialecte

Mots Clef

Dialecte arabe, Dialecte algérien, analyseur syntaxique, analyse de sentiments, lexique du dialecte.

Abstract

Opinion mining and sentiment analysis in social media is a research issue having a great interest in the scientific community. However, before begin this analysis, we are faced with a set of problems. In particular, the problem of the richness of languages and dialects within these media. To address this problem, we propose in this paper an approach of construction and implementation of Syntactic analyzer named ASDA. This tool represents a parser for the Algerian dialect that label the terms of a given corpus. Thus, we construct a labeling table containing for each term its stem, different prefixes and suffixes, allowing us to determine the different grammatical parts a sort of POS tagging. This labeling will serve us later in the semantic processing of the Algerian dialect, like the automatic translation of this dialect or sentiment analysis

[1] POS : Part Of Speech

Keywords

Dialecte algérien, analyseur syntaxique, analyse de sentiments, lexique du dialecte

1 Introduction

L'émergence des médias sociaux a conduit à l'explosion de la quantité de données générées par les utilisateurs. La fouille de ce contenu représente une mine d'or pour plusieurs disciplines et même autre que l'informatique. Néanmoins, confronté à la richesse des opinions, sentiments et émotions présents sur ces médias, une des pistes de recherche de la fouille des médias sociaux suscite un grand intérêt de la part de la communauté de recherche. Cette piste n'est autre que la fouille d'opinion et analyse de sentiments. Cependant, une des caractéristiques majeures du contenu présent au sein des médias sociaux est la richesse des langues et dialectes auxquels font appel les utilisateurs [1]. Récemment, un intérêt considérable a été donné aux dialectes arabes et surtout à la variété de ce dialecte se trouvant au sein des médias sociaux. L'identification et le traitement de dialecte a été même considéré comme le premier composant du prétraitement pour n'importe quel problème NLP (traduction automatique, recherche d'information, sans oublié la fouille d'opinion et analyse de sentiments) [2]. Parmi les dialectes arabes les plus recensé, nous trouvant le dialecte algérien. Ce dernier est caractérisé par l'absence de standard et de ressources [3]. Il diffère de l'arabe classique en termes de représentation linguistique (phonologique et morphologique), et de lexique ainsi que dans la représentation syntaxique. Tous ces aspects rendent les outils NLP qui ont été développé pour le traitement de la langue arabe impuissants devant un tel dialecte [3]. Nous avons cependant constaté que la plupart des travaux effectués se basent sur le dialecte égyptien et tunisien. En ce qui concerne le dialecte algérien très peu de travaux y ont touché [4]. Les travaux ayant traité ce dialecte, se concentrent sur l'aspect linguistique en général en omettant les différentes écritures possibles au sein des médias sociaux. Nous n'avons cependant recensé aucun travail traitant de la syntaxe ou encore du découpage des termes manipulés dans le dialecte algérien. Pour répondre à cette problématique, nous proposons au sein de ce papier un analyseur syntaxique du dialecte algérien. Ce dernier extrait d'un même terme plusieurs parties (correspondant aux verbes, noms, adjectifs, conjonctions, sans oublié les pronoms personnels avec lesquels est conjugué un verbe, pronoms COD, COI, la forme d'un verbe, adjectifs possessifs pour les noms, etc.). Notons seulement que pour construire cet analyseur, nous avons tout d'abord enrichit un lexique de

©AFIA 2016

traduction entre le dialecte algérien et le français, à l'aide de différentes extensions phonologiques. A partir de cet analyseur, nous pourrons produire une table d'étiquetage de tous les termes servant par la suite différents traitements sémantiques du dialecte algérien tels que la traduction automatique et l'analyse de sentiments.

Notre article est organisé comme suit : Nous présentons d'abord les travaux reliés à notre problématique, c'est-à-dire les travaux traitant des dialectes arabes en général et dialecte algérien en particulier en section 2. Nous exposons ensuite notre approche de construction d'analyseur syntaxique au sein de la section 3. Nous implémentons cette dernière à l'aide du langage java au sein de la section 4. Enfin, nous concluons notre article par une synthèse en section 5

2 Les travaux étudiés

Plusieurs études ont été menées sur le traitement du langage naturel en arabe. Cependant la plupart des techniques traditionnelles se sont focalisées sur le traitement du MSA (arabe classique) **[2].** Néanmoins ces dernières années, l'intérêt de traitement des dialectes arabes a augmenté. Cette augmentation peut être attribuée à plusieurs facteurs tels que l'usage étendu des dialectes arabes au sein des médias sociaux **[4].** Pour bien présenter les choses, nous allons diviser cette section en deux parties : la première présentant les travaux sur le traitement des dialectes arabes en général, la deuxième présentant les travaux menés sur le dialecte algérien en particulier.

2.1 Traitement des dialectes arabes en général

En se basant sur l'étude de l'état de l'art **[4]**, nous classons les travaux menés sur le ANLP (traitement de langage naturel du dialecte arabe), en quatre catégories principales : 1) Analyse basique du langage, 2) Construction des ressources pour les dialectes arabe, 3) Identification des différents dialectes et 4) Analyse sémantique.

L'analyse basique du langage consiste à étiqueter les différentes partie d'un corpus à l'aide d'une analyse morphologique ou encore l'analyse syntaxique et orthographique. Ces travaux veillent cependant au respect des différentes règles syntaxiques. Plusieurs travaux ont été menés au sein de cette catégorie, parmi ces derniers nous citons les travaux de HABECH et al. dans [5], qui présentent un analyseur et générateur morphologique, nommé MAGED. Cet outil peut analyser le dialecte levantine (le dialecte de la Syrie, le Liban, l'Israël, la Palestine ainsi que la Jordanie) et convertir par la suite le MSA (l'arabe classique) au levantine. Les règles orthographiques de cet outil ont été détaillées par la suite dans l'article de HABASH et al. dans **[6].** En ce qui concerne l'analyse syntaxique, SADAT et al. dans **[7]** présentent un ensemble de règles grammaticales fournissant des ressources de traduction du dialecte tunisien au MSA ainsi qu'à d'autres langues définis. Pour l'analyse orthographique, les travaux s'orientent vers la proposition de conventions orthographiques servant à construire des modèles pour le traitement des dialectes arabes tel que l'égyptien **[8].**

Identify applicable sponsor/s here. If no sponsors, delete this text box (*sponsors*).

Les travaux s'orientant sur la construction de ressources pour les dialectes arabes concernent : la construction de lexiques et de corpus. La construction de lexique se fait en premier lieu manuellement, leurs enrichissement se fait par la suite à l'aide de dictionnaire de langues tels que l'arabe, l'anglais, etc. Ceci à pu être fait pour la construction d'un lexique irakien par GRAFF et al. dans**[9],** ainsi que pour le lexique tunisien par BOUJELBANE et al. dans **[10].** La construction de corpus quant à elle inclue l'identification des règles de bases (tels que les différentes écritures de voyelles). Cette construction fait appel à une autre catégorie de travaux qui n'est autre que l'identification de dialectes **[11].** Ces corpus peuvent également être construits à l'aide de corpus parallèle, comme cela a été fait pour le dialecte algérien par SMAÏLI et al. dans **[10]**.

L'identification des différents dialectes a pu être effectuée dans deux axes de recherches (textuelle et vocale). Dans le cadre de l'identification textuelle, ELFARDY et al. dans **[13]** propose une approche supervisée basée sur le niveau phrase afin de différencier entre l'arabe classique et le dialecte égyptien. L'équipe de SADAT et al. considèrent que le problème d'identification des différents dialectes arabe peut être traité à l'aide d'un modèle du langage Markovien N-gram **[2]**. Ce modèle est utilisé pour calculer la probabilité qu'un texte en entré soit dérivé d'un langage donné. Pour la classification des différents dialectes arabes, ces auteurs font appel à un classificateur bayésien naîf. En ce qu'est de la reconnaissance vocale du dialecte, la plupart des travaux menés s'orientent vers la reconnaissance vocale en premier lieu pour ensuite identifier le dialecte **[14]**.

Pour la dernière catégorie de travaux gérant l'analyse sémantique des dialectes arabes, la plupart des auteurs se consacrent au traitement de la traduction. De ce fait, nous pouvons citer les travaux de MOHAMED et al. dans **[15]** où les auteurs présentent un traducteur de l'arabe classique vers le dialecte égyptien. Dans l'article de JEHL et al. dans **[16]**, les auteurs ont collecté un ensemble de pairs de phrases bilingues pour entrainer un système de traduction statistique. Ceci afin de traduire des messages de *microblogs* dans les différents dialectes des pays du golf, levantine, égyptien, etc. D'autres tâches sémantiques consistent à utiliser le traitement du dialecte arabe pour l'analyse de sentiments et de subjectivité. Par exemple, dans **[17],** les auteurs se focalisent sur le traitement de dialectes arabes, plus précisément sur la manière d'extraire les caractéristiques ayant le plus grand impact sur l'analyse de sentiments. Dans **[18]**, les auteurs présentent un classificateur de sentiment des expressions courantes du dialecte arabe. Ces derniers se basent sur les commentaires extraits de *Facebook*.

Les auteurs de cet état de l'art **[4]**, terminent leur analyse en présentant un tableau synthétisant les travaux effectués dans chacune des quatre catégories tout en distinguant entre les différents dialectes traités. A partir de ce dernier, nous

©AFIA 2016

pouvons constater que la plupart des travaux menés concernent les dialectes : égyptien, levantine, tunisien et irakien. Néanmoins, nous n'avons pu recenser sur ce tableau que trois travaux concernant le dialecte algérien.

2.2 Traitement du dialecte Algérien

En ce qui concerne les travaux effectués sur le dialecte algérien, nous pouvons en premier lieu citer le travail de SAADANE al dans **[3]**, qui peut être classé au sein de la catégorie traitant de l'analyse basique des dialectes arabe et plus précisément celle se concentrant sur la présentation de règle orthographiques. Les auteurs de cet article se basent sur le modèle orthographique CODA [2] (Conventions orthographiques pour les dialectes arabes) proposé par HABASH et al. dans **[8],** pour le dialecte égyptien. Ces auteurs débutent leur travail en comparant le dialecte algérien au dialecte tunisien et égyptien. Ils présentent par la suite les différentes variations phonologiques entre le dialecte algérien, égyptien et tunisien, tel que le *q*, *g*, *ʔ*, ou *k* pour la lettre arabe (ق), le dj pour la lettre (ج) ou encore *γ pour*(غ) ou θ pour (ث). Ces auteurs proposent également l'ajout des deux lettres (yn) comme suffixes aux noms pour former leurs pluriels ainsi que la présence du caractère n en début des verbes qui prévoit que le verbe est conjugué à la première personne du singulier. Ils finissent par les différentes variations lexicales. Ils présentent ensuite le CODA algérien tout en présentant les différentes extensions effectuées au CODA égyptien.

Pour les travaux sur la construction de ressources, nous recensons deux travaux de MEFTOUH et al. dans **[19]** et SMAÏLI et al dans **[12]**. Le travail de MEFTOUH et al. est certainement le premier des travaux ayant traité le dialecte algérien. Cet article présente une analyse linguistique d'une catégorie de dialecte algérien qui n'est autre que le dialecte d'Annaba (Est de l'Algérie). Il expose également la méthodologie suivie par les auteurs afin de construire un corpus parallèle entre l'arabe classique (MSA) et le dialecte arabe. Ce corpus servira par la suite à la traduction automatique des textes écrits en dialecte arabe vers le MSA. Pour cela, ces auteurs présentent les spécifications du dialecte d'Annaba. Ils présentent également les généralités reliées à ce dialecte tel que la traduction des pronoms personnels, l'ajout des suffixes, la formulation de la phrase interrogative et négative en dialecte d'Annaba, etc. Le deuxième travail **[12]**, représente la suite du premier. Le but de ce dernier est de procéder à une traduction entre le dialecte algérois et le MSA. Ce dernier se consacre sur deux types de dialectes : l'Algérois et le dialecte d'Annaba. Pour ce faire, les auteurs construisent deux dictionnaires (le premier MSA-Algérois et le deuxième MSA-Annaba) et ce à partir des sites de diffusion de film et d'émissions Algériennes. Ils construisent par la suite un dictionnaire du dialecte se basant sur les différences existantes entre les dialectes Algérien et le MSA (tels que les préfixes au début des verbes, le pluriel des noms féminin, etc). Ces auteurs finissent leur travail en exposant le premier moteur de traduction entre le MSA et dialecte Algérien. Cependant, ce dernier ne donne pas de très bons résultats (surtout pour l'Algérois). Les auteurs soulèvent des difficultés de traduction du dialecte algérois (plus que le dialecte d'Annaba). Ces derniers expliquent cela par le fait que le dialecte d'Annaba est beaucoup plus proche de l'arabe classique MSA que le dialecte algérois.

Après analyse de ces travaux nous constatons les problématiques suivantes :

- Le manque de papiers traitant du dialecte algérien ainsi que la non couverture de plusieurs catégories de recherche pour ce dialecte (celles concernant l'analyse syntaxique, construction de lexique ainsi que les différentes analyses sémantiques).
- Dans l'analyse orthographique des dialectes algériens ([3] et [19]), les auteurs présentent certaines conventions entre les lettre arabes et celle utilisées en dialectes tels que *γ pour* (غ) ou θ pour (ث). Néanmoins ces conventions sont valables d'un point de vue linguistique seulement. Dans le cas d'exploitation, de ces connaissances dans le cadre des médias sociaux, elles ne donneraient pas un bon résultat, puisque aucun des utilisateurs de ces médias ne fait appel au caractère *γ pour* (غ) et θ pour (ث).
- Aucun des travaux effectués sur le dialecte algérien ne prévoit l'exploitation de ces résultats dans le cadre d'analyse de sentiments dans les médias sociaux. De ce fait les concepts présentés, les verbes analysés sont très générales et non dirigés vers ce type d'analyse particulière.

Nous présentons dans la section suivante notre approche visant à résoudre les problèmes identifiés ci-dessus.

3 Contribution

Pour répondre aux problématiques citées précédemment, nous proposons une approche d'analyse et de traitement du dialecte algérien. Cette approche analyse le dialecte algérien au sein des médias sociaux dans le but de construire un analyseur syntaxique des termes d'un corpus donné.

Nous visons plusieurs objectifs par cette approche. D'abord nous comptons analyser les termes du dialecte algérien utilisé dans les médias sociaux. Pour ce faire, nous nous appuyons sur un corpus de données extrait précédemment. Nous extrayons par la suite le modèle de termes de ce corpus, qui pourrait également être utilisé dans de futurs travaux, dans le cadre d'enrichissement de lexique du dialecte algérien. L'analyse effectuée servira plusieurs traitements dont le prétraitement des termes, l'extraction et enrichissement de lexique ainsi qu'à la construction d'un analyseur syntaxique servant à étiqueter les termes d'un corpus donné. L'analyseur syntaxique permettra la construction d'une table d'étiquetage des termes d'un corpus. Notons que la table d'étiquetage de tous les termes du corpus nous servira par la suite dans de futurs travaux où nous nous intéresserons à l'analyse sémantique du dialecte algérien dans les médias sociaux. Par aspect sémantique, nous désignons la traduction automatique

[2] Convention Orthography for Dialectal Arabic

©AFIA 2016

ainsi que l'analyse de sentiments. Afin d'éclaircir la situation, nous divisons notre contribution en deux parties : 1) analyse du dialecte algérien, analysant les termes les plus utilisés au sein des médias sociaux et 2) traitement de ce dialecte en présentant un analyseur syntaxique des différents termes. Nous détaillons ces deux parties dans ce qui suit :

3.1 Analyse du dialecte Algérien au sein des médias sociaux

Pour pouvoir effectuer cette analyse nous nous basons sur un corpus de données que nous avons extrait dans un précédent travail, de la page de *Facebook*[3] (reconnu être le média social le plus populaire) [1]. Notre premier constat est que les algériens au sein de cette page (ainsi que dans d'autres pages), font appel au dialecte algérien ainsi qu'au français pour communiquer (rarement à l'anglais). Ce qui fait appel à une autre problématique reconnu par le *« code Switching »* (c'est-à-dire faire appel à plusieurs langues et dialecte au sein du même discours. Nous pouvons donc trouver des commentaires de la forme : « *inchlah nafozo ma3kom* » (en dialecte, signifiant, si dieu le veux, nous gagnerons avec vous), « Dommage qu'en Algérie il ne marche que par défaut en plus du fait qu'il ne fonctionne pas en mode hors connexion » (en français) ou encore « mais nchallah ghadi nab9a ntélécharger ghi manah » (un mélange entre le français et le dialecte algérien, signifiant mais si dieu le veux nous n'allons plus télécharger que ce de cet opérateur). Afin d'étudier l'ensemble des mots utilisés dans ce corpus, nous avons en premier lieu construit un modèle de termes, qui contient pour chaque terme sa fréquence d'utilisation dans le corpus (dans le but de trier les termes par rapport à leur fréquence d'apparition). Nous avons ensuite filtré les termes pour ne garder que ceux appartenant au dialecte algérien (avec leurs fréquences d'utilisation bien sûre). Nous pouvons illustrer les étapes de cette partie au sein de la "Fig. 1".

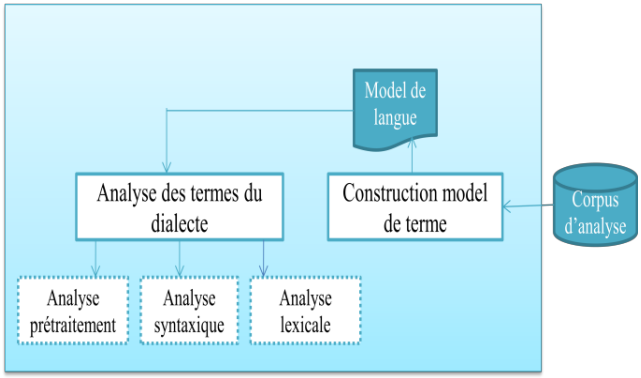


Fig .1. Analyse du dialecte algérien dans les médias sociaux

En se penchons sur les termes appartenant au dialecte, nous pouvons extraire un ensemble de constats:

- Le premier constat concerne le besoin de prétraitement de certains termes. Par exemple nous remarquons que les termes bezzzzzzaf, Sahiiiit, sahbiii contiennent la répétition d'une certaine lettre (z dans le premier terme, i dans le deuxième et troisième). Des termes sous cette forme ne peuvent donc pas être reconnus par le lexique avant que cette exagération ne soit traitée.
- Le deuxième constat concerne l'analyse phonologique de certains sons utilisés dans les médias sociaux. Cette analyse servira à enrichir notre lexique de dialecte-français. Les sons détectés sont les suivants : Pour le son (غ), les utilisateurs font appel à la combinaison des deux lettres (gh), par exemple : *ghaya, ghalta, ghiba*, etc. En ce qui concerne le son (ق), la plupart des travaux étudiés font référence aux différentes lettres k et q. Pour notre part nous constatons l'apparition du chiffre (9) pour remplacer ce son, par exemple: *wa9tach, na9sin, t9oul*. Cet appel aux chiffres remplaçant les lettres se fait beaucoup ressentir au sein des médias sociaux, par exemple pour la lettre (ع), les utilisateurs font appel au chiffre (3) (*3yana, ma3kom, ma3andek*), ou encore pour la lettre (ح), qui est représentée par le chiffre 7 (*Ch7al, sa7, 7ala*). Noter seulement que la lettre (ع), peut également être représenté à l'aide des deux lettres (aa) et (ح) à l'aide de h (Néanmoins h peut également représenter la lettre (ه) comme dans *hayla*). Pour le son (ش), il peut être représenté par ch (*machi, chokran, Manich*), che (*makache, matgoloche, matahbasche*) ou encore sh (*kash, Wesh, bash*). Le (و) peut également être écrit de différentes manières, à l'aide du w (*wa9tach*), des deux lettre oua (*houa*), oui (*touil*). Le son (ي), peut être obtenu à l'aide de la lettre y (*khoya, kayna, yi*). Le son (خ), peut être obtenu grâce aux deux lettres kh(*khoya, khir*). Le son (ج), peut être représenté soit à l'aide de la lettre j (*haja, nji*) ou encore la combinaison des deux lettre dj (*hadja, ydji*). La dernière remarque que nous pouvons faire concerne les voyelles en arabe ou en dialecte (reconnu par *tachkil*). Nous ne parlerons, néanmoins que d'*el fatha* (qui s'effectue à l'aide d'un petit trait sur la lettre comme dans بَ). Nous avons cependant constaté que cette *fatha* pouvait s'écrire en dialecte, à l'aide de « a » (*rabi*) ou « e » (*rebi*). De même pour la *damma* (tel que dans بُ). Cette dernière est représentée soit à l'aide de « o » (*khoya*) ou «ou » (*khouya*).
- Le troisième et dernier constat concerne l'analyse syntaxique des différents termes. Contrairement aux autres langues, l'analyse syntaxique, peut concerner un seule terme. Par exemple, la phrase « Je t'ajoute… » en français, est reconnu au sein de notre dialecte par « *nzidlek* » où le n représente je, *zid* représente le verbe « ajouter » et *lek* représente le pronom COI « te ». Nous pouvons citer un autre exemple concernant les noms, la phrase « mon dieu » sera représenter par « *rabi* » en dialecte. Ce terme peut donc être divisé en deux parties : nom qui est « *rab* » et l'adjectif possessif mon qui est « *i* ». De même pour les adjectifs où le « a » à la fin désigne le féminin. Par exemple pour « *sghira* », vu que « *sghir* » désigne petit, donc en ajoutant le « *a* » à la fin, ça désignera « *petite* ».

[3]https://www.facebook.com

©AFIA 2016

Les différents constats auxquels nous avons pu aboutir au sein de cette étape, nous servirons pour concevoir les différentes techniques et algorithmes des prochaines étapes.

3.2 Traitement du dialecte Algérien au sein des médias sociaux

Cette partie reçoit en entré un corpus en dialecte algérien devant être traité dans le but de concevoir une table d'étiquetage où chaque terme de ce lexique sera étiqueter. Le but principal de cet étiquetage est de pouvoir extraire différentes parties grammaticales encapsulées dans le même mot. Cette table pourra donc nous servir dans de futurs travaux afin de procéder à plusieurs analyses sémantiques telles que la traduction ou l'analyse de sentiment. Néanmoins pour pouvoir aboutir à cet analyseur syntaxique, le terme doit être préalablement prétraité et un lexique de dialecte doit être construit et enrichit à l'aide de règles phonologiques. Nous illustrons les étapes de cette partie au sein de la "Fig. 2". Afin d'éclaircir les choses, nous présentons au sein de cette partie trois aspects : 1) Le prétraitement de termes, 2) la construction et enrichissement d'un lexique dialecte-français et 3) la construction d'un analyseur syntaxique.

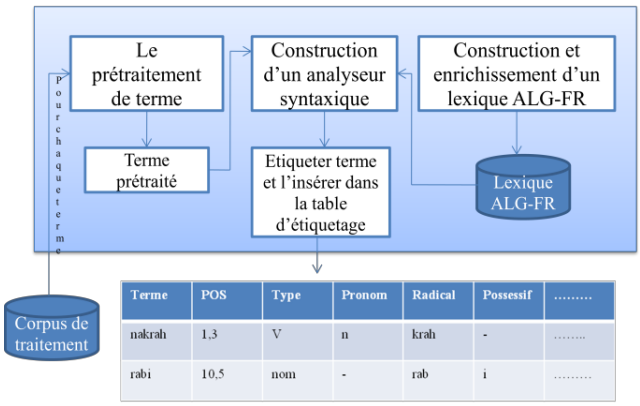


Fig .2. Traitement du dialecte algérien dans les médias sociaux

1) Le prétraitement des termes : D'après les résultats d'analyse effectués précédemment, rappelons qu'un terme peut contenir des exagérations (bezzzzzzzzzaf). Avant de procéder à l'étiquetage des termes, nous devons tout d'abord vérifier que le terme n'est pas dans cette catégorie. Notons que la recherche de répétitions de lettre peut se faire à l'aide des expressions régulière. Pour les termes contenant des exagération, nous devons tous d'abord supprimer les lettres répétés. Nous devons également garder trace des mots contenant des exagérations car ceci ne pourra qu'accentuer le sentiment.

2) La construction et enrichissement d'un lexique dialecte-français: S'appuyant sur les caractéristiques du dialecte algérien présenté au sein de l'analyse lexicale, nous avons pu extraire du net[4] un lexique contenant la traduction entre les termes du dialecte algérien et le français. Ce dernier contient 228 verbes, 73 adjectifs, 297 noms, ainsi que d'autre nom et expressions particulières (reliés au domaine médical et autre). Dans le cadre de ce travail, nous nous concentrons sur les verbes, adjectifs et noms. Nous laissons la partie domaine particulier et expressions particulière, à traiter dans d'autre travaux. En se penchant sur ce lexique, nous avons constaté qu'il a été effectué dans un but linguistique, la représentation de lettre en français est donc loin de celle utilisée au sein des médias sociaux. Par exemple le « ح » a été représenté par « ḥ », le « غ » par « ġ », le « ش » par « š », etc. Néanmoins, d'après tous les exemples que nous venons de citer précédemment, nous pouvons constater qu'au sein des médias sociaux, aucun utilisateur ne fait appel à ces lettres pour s'exprimer. La première étape de l'amélioration de ce lexique est donc de changer ces lettres par les lettres les plus utilisés au sein des médias sociaux.

Vu que le but primaire de notre travail est de pouvoir traiter le dialecte algérien dans un contexte d'analyse de sentiment. Nous devons donc intégrer des termes représentant le sentiment de la population à notre lexique. Dans un premier temps, nous comptons uniquement extraire les verbes, adjectifs et noms reconnus avoir une polarité intense au sein de SentiWordNet [5] (tels que excellent, lamentable, love, disrespect, hate,…), sans oublié leurs traduction vers le dialecte algérien. Notons seulement que SentiWordNet est une ressource très utilisés dans les travaux de recherche traitant de l'analyse de sentiment.
D'après l'analyse du modèle de termes construit précédemment, nous pouvons constater l'apparition de plusieurs termes dont la fréquence est élevée. Néanmoins ces derniers ne sont pas inclus au sein de notre lexique. Parmi ces derniers nous pouvons citer : « *fi* » qui signifie « dans », « *ana* » qui signifie « moi », « *nchallah* » qui signifie « si dieu le veut », etc. nous définissons donc une partie de notre lexique reconnue par (particules : conjonctions et pronoms) où nous définissons la traduction de ces termes.

Néanmoins, comme nous l'avons cité précédemment, un même terme peut s'écrire différemment selon l'utilisateur. Après analyse des différents termes ayant le même sens mais qui diffèrent au sein d'une lettre ou deux, nous pouvons extraire des règles de convention entre les lettres nous permettant d'enrichir le lexique obtenu. Ces conventions ne sont autre que l'enrichissement des mots contenant le son « q » par « k et 9 », le son « k » par « q et 9 », le son « h » par 7 ou encore le son « ch » par « che et sh », ect.

[4]http://www.flipsnack.com/95C5C758B7A/dictionnaire-arabe-algerien.html

[5]http://sentiwordnet.isti.cnr.it/

©AFIA 2016

3) La construction d'un analyseur syntaxique : Après une analyse détaillée de la structure des éléments : verbes, noms et adjectif, nous avons pu dégager une syntaxe générale du dialecte algérien les concernant.

Pour les verbes, nous nous intéressons au mode impératif et indicatif. Notons seulement que pour le mode indicatif, nous nous concentrons, que sur le temps présent (nous comptons étendre cet analyseur au autres temps dans de futurs travaux). Nous nous penchons également sur la négation (ne…pas), les pronoms COD (me, le, la, les…) ainsi que les pronoms COI (me, lui, leur,…). Vu que notre recherche sera orientée par la suite vers l'analyse de sentiments dans les médias sociaux, prenant par exemple deux verbes exprimant un sentiment et une émotion tels que : aimer et pleurer. La TABLE.I ci-dessous, présente les différents changements que présentent ces deux verbes pour l'impératif et le présent ainsi que pour la négation et les différents pronoms

TABLE. II. Traitement syntaxique des verbes en dialecte algérien

Verbe/ préfixes et suffixes	**Le mode impé-ratif**	**Présent à l'aide des prono msn/t/ y/i**	**Négation Ma…ch**	**Pronoms COD ni/ek,k/o u/h,ha/n a/ kom/ho m**	**Pronoms COI Li/ lek/lou,lha/ ena, elna,lna/ elkom/lko m/ elhom/lho m**
Aimer	hab hab***i*** hab***ou***	***n***hab ***t***hab/ ***t***hab***i*** ***y***hab/ ***i***hab/ ***t***hab ***n***hab***ou*** ***t***hab***ou*** ***y***hab***ou***	***man***hab***ch*** ***mat***hab***ch***/ ***mat***hab***ich*** ***may***bab***ch***/ ***mat***hab***ch*** ***man***hab***ouch*** ***mat***hab***ouch*** ***may***hab***ouch***	yhab***ni*** yhab***ek*** yhab***ou***/ yhab***ha*** yhab***na*** yhab***kom*** yhab***hom***	yhab***li*** yhab***lek*** yhabl***ou***/ yhab***elha*** yhab***ena/*** yhab***elna*** yhab***elkom*** yhab***elhom***
Pleurer	ebki ebki***ou*** ebki**w**	***n***ebki ***t***ebki ***y***ebki/ ***t***ebki ***n***ebk***ou*** / ***n***ebki***w*** ***t***ebk***ou***/ ***t***ebki***w*** ***y***ebk***ou*** / ***y***ebki***w***	***man***ebki***ch*** ***mat***ebki***ch*** ***may***ebki***ch***/ ***t***ebki***ch*** ***n***ebk***ouch***/ ***n***ebki***wch*** ***mat***ebk***ouch***/ ***mat***ebki***wch*** ***may***ebk***ouch***/ ***may***ebki***wch***	yebki***ni*** yebki***k*** yebki***h***/ yebki***ha*** yebki***na*** yebki***kom*** yebki***hom***	yebki***li*** yebki***lek*** yebki***lou***/ yebki***lha*** yebki***lna*** yebki***lkom*** yebki**lhom**

Pour les noms, nous nous intéressons à la combinaison de ces derniers avec les adjectifs possessifs. Néanmoins pour pouvoir généraliser la terminaison, nous identifions plusieurs cas en rapport au genre et au nombre du nom ainsi que le genre et le nombre de l'adjectif possessif. Par exemple pour le nom « *ktab* » (qui veut dire livre), l'ajout du "i" à la fin dans *ktabi* signifie mon livre, l'ajout du kom dans ktabkom signifie votre livre, etc.

Concernant les adjectifs, nous n'avons pu faire cette généralisation que pour le féminin où l'adjectif prend « a » à la fin pour passer du masculin au féminin. Nous pouvons prendre l'exemple de l'adjectif « *sghir* : petit » qui deviendra « *sghira* » au féminin ou encore « *meskine* : pauvre » qui deviens « *meskina* ». Nous présentons à la"Fig. 3". , notre analyseur syntaxique sous forme d'automates à états finit. Cet automate contient 15 états dont 10 qui peuvent être finaux. Pour ne pas encombrer cet automate, nous préférons représenter les transitions par leurs dénominations générales. Par exemple par première partie de la négation, nous référons aux « *ma* », par pronoms personnels, nous distinguons : n/t/y/i/ne/te/ye/na/ta/ya. Notons seulement que les auxiliaires être et avoir ne suivent pas le même model que les autres verbes et ceci est parfaitement représenté sur notre automate.

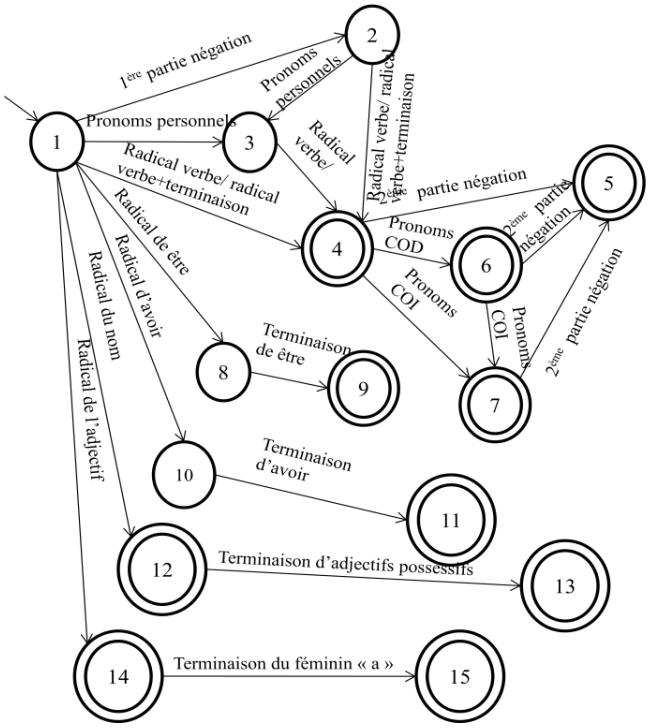


Fig. 3. Automate représentant notre analyseur syntaxique

Afin d'étiqueter un terme du corpus, il nous suffit de récupérer le chemin de l'automate qu'il est entrain de suivre. Supposons qu'on ait le terme « *mandirhach* ». Nous devons donc commencer par l'état initial (1). Nous passerons ensuite par la transition qui reconnait « ma » pour aboutir à l'état (2). Nous passerons par la transition qui reconnait « n » pour aboutir à l'état (3). Nous chercherons ensuite le radical « dir » dans le lexique, comme ce dernier existe, nous passons à l'état (4). Nous passons ensuite par la transition « ha » pour aboutir à l'état (6) (car ha est un pronom COD). Nous finissons par la transition qui clôture la négation, donc « ch » qui nous fait arriver à l'état (5) (qui est un état final). Ce terme est donc reconnu par l'automate. A l'aide de cet automate nous pouvons également garder trace des étapes par lesquelles nous sommes passés et donc étiqueter le terme (qui a été reconnu).

©AFIA 2016

A travers ces différents passage, l'étiquetage de ce terme sera de cette forme *mandirhach* (type : verbe, radical :dir, pronom personnel : n, pronom_COD :ha, pronom_COI :-, négation : true). L'étiquetage des termes combiné à des règles de traduction nous permettra dans de futurs travaux à procéder à la traduction d'un corpus du dialecte algérien vers une autre langue. Cet étiquetage nous servira également au sein de l'analyse de sentiments des utilisateurs des médias sociaux vis-à-vis d'un sujet donnée.

4 Implémentation

Notre approche a été implémentée au sein de l'environnement Windows 7, à l'aide du langage de programmation java (JRE 8 SE), sous l'IDE Eclipse. En ce qui concerne le stockage des lexiques et corpus étudiés, nous utilisons le tableur Excel 2007. Nous n'avons pas besoin d'utiliser une base de données puisque le nombre de nos enregistrements est pour l'instant limité. Néanmoins, nous comptons par la suite utiliser une base de données Nosql pour le stockage de nos corpus extraits des médias sociaux. Afin d'implémenter notre approche, nous avons procédé comme suit :

Nous enrichissons, en premier lieu, notre lexique de traduction entre le dialecte algérien et le français. Pour cela nous faisons appel aux différents termes de fortes intensités extraits de « SentiWordNet », tels que : aimer, détester, splendid, etc. En premier temps, nous extrayons les termes de « SentiWordNet » ayant une valence (qu'elle soit positive ou négative) égale à 1 (100%). C'est-à-dire les termes étant strictement positif ou strictement négatif. Nous procédons ensuite à la traduction manuelle de ces termes vers le Français ainsi que vers le dialecte Algérien .Nous ajoutons une partie particules (conjonction et pronoms) à notre lexique de base, tels que : dans, de, moi, etc. Nous finissons par ajouter les différentes extensions phonologiques permettant à chaque mot d'avoir différentes manière d'écriture par exemple : *oq3od* qui est enrichie en *oq3oud, ok3od, ok3oud, ouq3od, ouq3oud, ouk3od, ouk3oud, o93od, o93oud*. Pour aboutir à tous ces termes, nous avons simplement procéder aux enrichissements phonologiques présentés ci-dessus. Pour ce cas, nous étendons l'apparition de « o » par « ou » et « q » par « k » et « 9 ». Notons que pour un seul terme nous obtenons 9 autres termes.

Pour le corpus de traitement, nous nous sommes basés sur un ensemble de messages extrait sur la page *Facebook* de l'opérateur de téléphonie Algérien « *Mobilis* »[6]. Nous avons par la suite extrait manuellement les messages rédigés en dialecte algérien (notez que nous comptons par la suite automatiser cette tâche à l'aide d'un travail sur la détection du dialecte algérien au sein des messages). Nous présentons au sein de la "Fig. 4", cinq de ces messages.

Pour le traitement de ces messages, nous devons d'abord, découper chaque message en mots. Chaque mot sera ensuite analysé pour voir s'il contient une exagération (répétition d'un caractère pour accentuer un sentiment) de la forme : *maroooooooooooook*. Une fois le terme détecté, cette exagération sera supprimée à l'aide des expressions régulières. Le terme obtenu peut par la suite être analysé syntaxiquement.

Pour procéder à l'analyse syntaxique d'un terme, nous avons tout d'abords implémenté l'automate en construisant en premier lieu sa table de transition [20,21] (considéré également comme la matrice d'adjacence dans le cas des graphes). Cette dernière a ensuite été implémentée à l'aide d'un algorithme vérifiant l'appartenance d'un terme à notre dialecte et en étiquetant chaque partie des termes acceptés. Le but de ce travail est de pouvoir récupérer une table d'étiquetage de toutes les parties syntaxiques et ce de tous les termes reconnus par notre automate. Par exemple, nous pouvons constater que le terme *tro7*, se compose d'un radical « *roh* » qui fait partie des verbes (ce dernier signifie aller en français). Ce terme est également composé d'un préfixe « t » (indiquant le pronom personnel associé à ce verbe). Il ne contient cependant aucune exagération, aucun préfixe ou suffixe de négation et aucun pronom COD, ni même COI.

Nous présentons au sein de la "Fig. 4", ci-dessous, les mots reconnus à partir des messages présentés, ainsi que leurs

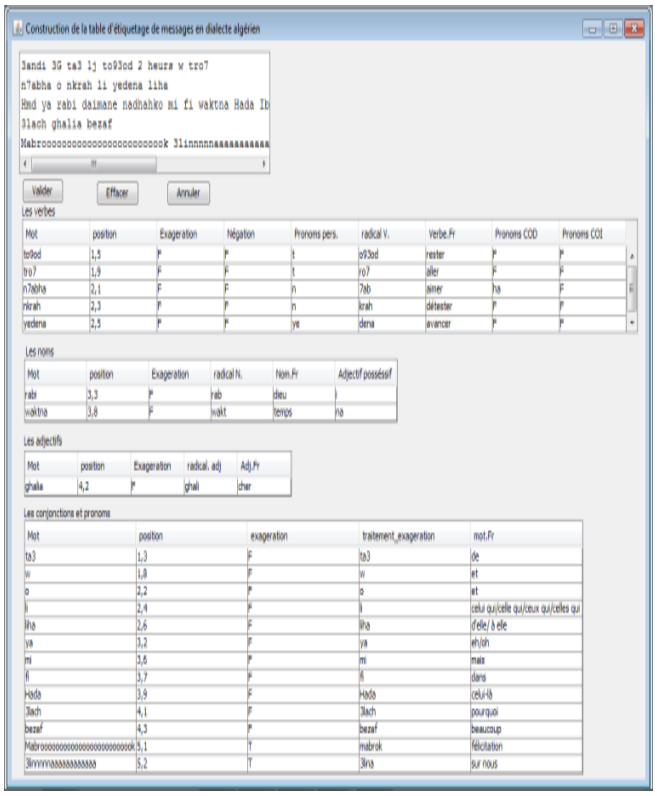


Fig. 4 Interface de l'application

différents découpages syntaxiques. Notez seulement que pour chaque mot, nous devons également garder sa position (c'est-à-dire le numéro de message auquel il appartient ainsi que sa position au sein de ce message). Pour des besoins de clarté d'affichage, nous présentons au sein de cette maquette un regroupement des différentes tables d'étiquetage selon la partie grammaticale (c'est-à-dire que nous présentons une table pour les verbes, une pour les noms, une autre pour les adjectifs et la dernière pour les conjonction et pronoms).

[6] http://www.mobilis.dz/

©AFIA 2016

Cette table d'étiquetage est la première résultante d'un grand travail de recherche se consacrant à la fouille d'opinion et analyse de sentiments des commentaires au sein des média sociaux en particulier et sur l'intégralité du web en général. Pour cela, nous nous basons sur la première des problématiques citée au sein de notre précédent travail dans [1], c'est-à-dire concernant le traitement des différentes langues et dialectes (plus précisément, le dialecte Algérien) .

5 Conclusion

L'objectif de ce travail est de présenter, ASDA, un analyseur syntaxique du dialecte algérien. Ce dernier permettra par la suite, la traduction automatique et l'analyse de sentiments de messages rédigés en ce dialecte. Pour ce faire, nous nous sommes d'abord concentrés sur l'analyse des dialectes arabes et plus précisément le dialecte algérien. Contrairement aux autres travaux [3,19,12], nous avons considéré un environnement particulier pour l'utilisation de ce dialecte qui n'est autre que les médias sociaux. Nous avons analysé le style d'écriture au sein de ces médias, puis proposé un certain nombre de formalismes nous aidant à extraire et enrichir un lexique de traduction entre le dialecte algérien et le français. Une fois ce lexique construit nous nous sommes concentrés sur l'analyse syntaxique des différents termes d'un corpus donné au sein des médias sociaux. Pour ce faire nous avons proposé un analyseur syntaxique sous forme d'automate aidant au découpage et étiquetage des termes. Enfin, nous avons présenté la maquette d'implémentation de notre approche, prenant en entrés un ensemble de messages en dialecte algérien et dégageons une table d'étiquetage des différents termes de ces messages. Cette table servira par la suite à la traduction automatique et analyse de sentiments des messages en dialecte algérien. Cette approche présente cependant un certain nombre de failles qui peuvent être amélioré à l'aide des points suivants :

- Intégrer à cette approche une partie de détection automatique du dialecte algérien, ce qui nous permettra de filtrer les messages écrit en dialecte des autres messages rédigés en français ou en anglais.
- Cette approche ne traite que les verbes en mode impératif et indicatif présent, ça serait intéressent d'intégrer les autres temps, tels que le passé et le futur, etc.
- Cette approche procède à une analyse terme par terme, or que le dialecte algérien est riche en terme d'expression. Il serait donc intéressent d'intégrer une analyse niveau phrase et non niveau terme.

Bibliographie

[1] Guellil, Imene;Boukhalfa, Kamel, "Social big data mining: A survey focused on opinion mining and sentiments analysis," in Programming and Systems (ISPS), 2015 12th International Symposium on.IEEE, vol., no., pp.1-10, 28-30 April 2015.

[2] SADAT, Fatiha, KAZEMI, Farnazeh, et FARZINDAR, Atefeh. Automatic identification of arabic dialects in social media. In : *Proceedings of the first international workshop on Social media retrieval and analysis*. ACM, 2014. p. 35-40..

[3] SAADANE, Houda et HABASH, Nizar. A Conventional Orthography for Algerian Arabic. In : *ANLP Workshop 2015*. 2015. p. 69.

[4] SHOUFAN, Abdulhadi et AL-AMERI, Sumaya. Natural Language Processing for Dialectical Arabic: A Survey. In : *ANLP Workshop 2015*. 2015. p. 36.

[5] HABASH, Nizar et RAMBOW, Owen. MAGEAD: A morphological analyzer and generator for the Arabic dialects. In :Proceedings of the 21st International Conference on Computational Linguistics and the 44th annual meeting of the Association for Computational Linguistics. Association for Computational Linguistics, 2006. p. 681-688.

[6] HABASH, Nizar et RAMBOW, Owen. Morphophonemic and orthographic rules in a multi-dialectal morphological analyzer and generator for arabic verbs. In :*International Symposium on Computer and Arabic Language (ISCAL), Riyadh, Saudi Arabia*. 2007.

[7] SADAT, Fatiha, MALLEK, Fatma, SELLAMI, Rahma, *et al.*Collaboratively Constructed Linguistic Resources for Language Vari-ants and their Exploitation in NLP Applications–the case of Tunisian Arabic and the Social Media. In :*Workshop on Lexical and Grammatical Resources for Language Processing*. 2014. p. 102.

[8] HABASH, Nizar Y., DIAB, Mona T., et RAMBOW, Owen C. Conventional Orthography for Dialectal Arabic (CODA): Principles and Guidelines--Egyptian Arabic-Version 0.7-March 2012. 2014.

[9] GRAFF, David, BUCKWALTER, Tim, JIN, Hubert, *et al.* Lexicon Development for Varieties of Spoken Colloquial Arabic. In :*Proceedings of the Fifth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC)*. 2006. p. 999-1004.

[10] BOUJELBANE, Rahma, BENAYED, Siwar, et BELGUITH, LamiaHadrich. Building bilingual lexicon to create Dialect Tunisian corpora and adapt language model. *ACL 2013*, 2013, p. 88.

[11] AL-SABBAGH, Rania et GIRJU, Roxana. YADAC: Yet another Dialectal Arabic Corpus. In :*LREC*. 2012. p. 2882-2889.

[12] ELFARDY, Heba et DIAB, Mona T. Sentence Level Dialect Identification in Arabic. In :*ACL (2)*. 2013. p. 456-461.

[13] ALGHAMDI, Mansour, ALHARGAN, Fayez, ALKANHAL, Mohammed, *et al.*Saudi accented Arabic voice bank. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 2008, vol. 20, p. 45-64.

[14] MOHAMED, Emad, MOHIT, Behrang, et OFLAZER, Kemal. Transforming standard Arabic to colloquial Arabic. In :*Proceedings of the 50th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: Short Papers-Volume 2*. Association for Computational Linguistics, 2012. p. 176-180.

[15] JEHL, Laura, HIEBER, Felix, et RIEZLER, Stefan. Twitter translation using translation-based cross-lingual retrieval. In :*Proceedings of the Seventh Workshop on Statistical Machine Translation*. Association for Computational Linguistics, 2012. p. 410-421.

[16] ABDUL-MAGEED, Muhammad, DIAB, Mona, et KÜBLER, Sandra. SAMAR: Subjectivity and sentiment analysis for Arabic social media. *Computer Speech & Language*, 2014, vol. 28, no 1, p. 20-37.

[17] HEDAR, Abdel Rahman et DOSS, M. M. MINING SOCIAL NETWORKS'ARABIC SLANG COMMENTS.

[18] SMAÏLI, Kamel, ABBAS, Mourad, MEFTOUH, Karima, *et al.*Building Resources for Algerian Arabic Dialects. In :*15th Annual Conference of the International Communication Association Interspeech*. 2014.

[19] MEFTOUH, Karima, BOUCHEMAL, Nadjette, et SMAÏLI, Kamel. A study of a non-resourced language: an Algerian dialect. In : *SLTU*. 2012. p. 125-132.

[20] BLANC, Olivier et DISTER, Anne. Automates lexicaux avec structure de traits. *Actes de RECITAL*, 2004, p. 23-32.

[21] WOLPER, Pierre. Introduction à la calculabilité. Dunod, 2006.

Extending GWAPs for Building Profile Aware Associative Networks

Abdelraouf Hecham[1], Madalina Croitoru[1], Pierre Bisquert[2], Patrice Buche[2]
[1] GraphIK, LIRMM, University of Montpellier, France
[2] GraphIK, IATE, INRA, Montpellier, France

Abstract. Associative networks have been long used as a way to provide intelligent machines with a working memory and applied in various domains such as Natural Language Processing or customer associations analysis. While giving out numerous practical advantages, existing Games With a Purpose (GWAPs) for eliciting associative networks cannot be employed in certain domains (for example in customer associations analysis) due to the lack of profile based filtering. In this paper we ask the following research question: "Does considering agents profile information when constructing an associative network by a game with a purpose allows one to extract subjective information that might have been lost otherwise?". In order to answer this question we present the KAT (Knowledge AcquisiTion) game that extends upon the state of the art by considering agent profiling. We formalise the game, implement it and carry out a pilot study that validates the above mentioned research hypothesis.

1 Introduction

Associative networks have been investigated as a way of representing human memory. Starting from the PhD of Quillian 1966 [14] they have been used as a way to provide intelligent machines with a working memory. A lot of work has (understandably) focused on the logical underpinning of such networks (having eventually evolved in systems such as KL ONE [4] and later on Description Logics [1] on one hand; and Conceptual Graphs [16] on the other). One aspect that has not yet been explicitly considered when constructing s is the degree of subjectivity or objectivity of the associations elicited from the humans. Such aspect is especially important in some applications that are underpinned by associative networks [7].

Associative networks have a wide range of use, from natural language processing (NLP) [13], to consumer associations analysis [10]. Each domain of application requires associative networks with different degrees of association subjectivity or objectivity. In customers analysis [17] or cognitive models [3] associative networks are only useful if they contain subjective information (i.e. reflecting the associative networks of a specific type of agents – for example the associative network of old women for 'cat food' or for a brand of makeup etc.). On the other hand, in NLP, associative networks must contain objective information and therefore are being created by aggregating associative networks of different agents without any pre-condition on those agents.

In order to elicit associative networks from humans, different knowledge acquisition and elicitation techniques have been used [24]. Such techniques range from direct interviews and questionnaires to games with a purpose (GWAPs). The main idea in GWAPs is to integrate tasks (such as image tagging, video annotation, knowledge acquisition etc.) into games [20]. This technique is cheaper to implement than other knowledge acquisition methods because it relies on entertainment rather than material compensation while at the same time yielding similar or better results as shown in [19].

There are two main problems with existing GWAPs for associative network acquisition that drastically limit their use. First, unlike questionnaires, existing GWAPs do not take into account any information regarding the agents themselves. Therefore GWAPs are inherently designed to extract objective information while at the same time dismissing subjective ones. In domains such as consumer analysis such loss of information is critical. A second problem is the fact that GWAPs only elicit associative networks for concepts that come from a predefined list (dictionaries, etc.) not modifiable by external agents. This poses problems since the game itself is not easily configurable to focus on particular domains (e.g. a specific brand or product etc.) or on particular kinds of complex concepts (e.g. 'Cat' vs 'Cat owner' vs 'Good cat owner').

Therefore, in this paper, [1] we extend upon the state of the art of GWAPs for associative network acquisition and ask the following research question: "Does considering agents profile information when constructing an associative network by a game with a purpose allows one to extract subjective information that might have been lost otherwise?". In order to answer this question we present the KAT [2] (Knowledge AcquisiTion) game. We formalize the game by instantiating the formal model introduced by [6]. We implemented the game and have carried out an experimentation that validates the above mentioned research hypothesis.

The paper is structured as follows. In Section 3 we formally define the KAT game and highlight its properties. In Section 4 we describe the experimental validation of our research hypothesis using KAT Game. Finally in Section 5 we conclude the paper. Let us start by putting our work in the context of existing approaches in the next section.

[1] ***Please note that this paper has been accepted at ICCS 2016***
[2] KAT Website: lirmm.cloudapp.net

©AFIA 2016

2 Related Work and Motivating Example

Questionnaires & interviews for associative networks acquisition are limited by the resources required for acquiring large numbers of responses. The fun nature of GWAPs provide an intrinsic motivation for more participants to play and keep playing, thus, gaining greater computing power, increasing the quality of the results and lowering the cost of associative network construction [19].

GWAPs for knowledge acquisition can be partitioned in two classes of systems [5]. On one hand GWAPs can elicit semantically structured knowledge (OntoPronto [15], GuessWhat [12], SpotTheLink [18] etc). On the other hand, certain GWAPs elicit knowledge but in a less structured manner (WikiGame, Wikispeedia [23], Verbosity [22] or JeuxDesMots [11]). Our work is placed within the second class of GWAPs.

Existing GWAP are primarily designed to construct associative networks for NLP (namely 'Words associations') [20]. They do not take into account any information regarding the agents themselves (i.e. their profile). Therefore, the resulting associative network is an aggregated representation of what all agents think and might not be representative of a specific subset of agents due to the noise introduced by others. In domains such as consumer analysis such loss of information is critical. Therefore, in this paper we are interested in whether considering the profile of agents will impact the aggregated associative network. A second problem with existing GWAPs for knowledge acquisition is that they are not configurable, meaning that the concepts used as input to the game come from a predefined list. This rigidity when wanting to focus on certain concepts that are not commonly available.

For example, if a company wanted to know what customers associate 'Good pasta quality' with, they would not be able to use existing Knowledge acquisition GWAPs. The first reason is that there is no such complex concept in their networks. While we can find words like 'pasta', 'good' or 'quality', the concept of 'Good pasta quality' is not represented. KAT addresses this problem by allowing a user to define a domain and its concepts. Therefore the fictitious company mentioned above could input 'Good pasta quality' in the game.

Second, no profile information is considered when constructing the final associative network. Therefore potentially meaningful associations are drowned by the noise of the large quantity of unfiltered associations (as demonstrated by our experiment in Section 4). KAT handles this issue by allowing the user to define profile criteria that will generate various profiles (either explicitly or implicitly through profile similarity degree), these profiles will allow the filtering of associations corresponding to classes of customers the company wants to specifically target.

The associative network elicited by the GWAP presented in this paper is a graph. The nodes represent labeled concepts and the edges associations between these objects. Each player is asked a set of questions that will determine his profile (for example gender, interests, qualifications etc.). The ordered list of associations given by players with similar profiles will be aggregated in order to build the final associative network. The players are also asked if the associated concepts hold a positive, negative or neutral connotation. With respect to the state of the art, the associative network elicited by KAT has the following novel features:

- The initial game concepts and profile questions are dynamically created by players.
- The associations between concepts are computed by taking into account the profile of the players.
- The associated concepts are ordered.
- The associated concepts hold a positive, negative or neutral connotation.

In the next section we formalise the KAT game and explore its properties.

3 KAT: Formalisation and Properties

In this paper we propose a method to build an associative network using a GWAP that takes into account the profile of the players. Here, the associations creation task is transformed into elements of a game where profile teamed players construct and validate associations as a consequence of playing the game, rather than by performing a more traditional direct questions-answering task. In order to explain and define formally the associative network we build, several concepts need to be introduced first: concept, opinion, domain, profile and association.

3.1 Preliminary Notions

A concept is a well formed formula of $\mathcal{L}$, where $\mathcal{L}$ is a propositional logic language based on a set of propositional symbols $\mathcal{V}$.

Given a set of concepts $C \subseteq \mathcal{L}$, an opinion is a function that maps a concept $\varphi \in C$ to a set of appreciations in $\mathcal{L}_{\mathcal{O}}$, where $\mathcal{L}_{\mathcal{O}}$ is an opinion representation language.

Opinions can be represented using different languages. In this paper, we will use $\mathcal{L}_{\mathcal{O}}$ that defines three levels of opinions {like, dislike, indifferent} denoted $\{\oplus, \ominus, \odot\}$ respectively.

An associative network is a binary relation $\mathcal{AN} \subseteq (\mathcal{L} \cup \mathcal{L}_{\mathcal{O}}) \times (\mathcal{L} \cup \mathcal{L}_{\mathcal{O}})$, that can associate a concept with an opinion, a concept with a concept or an opinion with an opinion. The $\mathcal{AN}$ creation is the task of eliciting from an agent the associations between concepts and possibly his opinions about them. Then, by aggregation, we can construct the associative network of a certain profile (group of agents).

The main novel aspect introduced in the game by this paper is the notion of profile. A profile defines the various classes of game players. Given $\mathcal{P}$ the set of agents (participants), a profile Pr_j is a subset of $\mathcal{P}$. There are many ways of

©AFIA 2016

building a profile, defined explicitly by fixing a set of criteria that have to be met (e.g. participants that are women and are at least 30 years old), or defined implicitly using a *'similarity degree'* based on a set of weighted criteria (e.g. participants that are at least 30% similar). To determine the similarity degree regarding a set of weighted criteria we use the *OKCupid* matching algorithm [8]. These criteria are encapsulated with a concept set in a domain.

Definition 1 (Domain) *a domain is a tuple* $\mathcal{D} = (\mathcal{C}^{\mathcal{D}}, \mathcal{CR}^{\mathcal{D}})$ *s.t:*

- $\mathcal{C}^{\mathcal{D}}$ *is a set of concepts.*
- $\mathcal{CR}^{\mathcal{D}} = \{(\mathcal{CR}_1, importance_1), ..., (\mathcal{CR}_n, importance_n)\}$ *is a set of profile criteria weighted by importance s.t:*
  - $\mathcal{CR}_n$ *is a profile criterion (e.g. age, gender, expertise...etc.).*
  - $importance \in \{ notAtAllImportant, aLittleImportant, somewhatImportant, veryImportant, mandatory\}$.

The $\mathcal{AN}$ of an agent can be constructed by asking multiple agents of the same profile three simple questions for every key concept $\varphi \in \mathcal{C}$ of the domain:

1. What do you associate this concept φ with?
2. Classify these associations from most relevant to least relevant.
3. Give -if possible- an opinion for every one of these related concepts.

The construction of the $\mathcal{AN}$ of each profile related to the domain of study by a game with a purpose provides an intrinsic motivation for players (agents) to keep playing, which can increase the quality of the associative networks created. By playing the KAT game, the $\mathcal{AN}$ of a profile would then be constructed by aggregating the associative networks of all the agents in that profile.
The output of the KAT Game is the profile associative network for the given concept, and defined as the aggregation by profile of the agents associative networks.

Definition 2 (Agent Associative network) *An associative network of an agent* p_i *is a tuple* $AN^{\varphi}_{p_i}$ *= (R, op,* $weight$*) where*

- $R \subseteq C \times \mathcal{L}$ *is a binary relation called association that maps a concept to another wff of* $\mathcal{L}$.
- $op : \mathcal{L} \rightarrow \mathcal{L}_{\mathcal{O}}$ *is a function that maps a concept to an opinion in* $\mathcal{L}_{\mathcal{O}}$.
- $weight : R \rightarrow \mathbb{N}$ *is a function that maps each association* $r \in R$ *to an integer called weight of* r.

The profile associative network is defined as follows:

Definition 3 (Profile Associative Network) *An associative network* $AN^{\varphi}_{Pr_j}$ *for a profile* $Pr_j \subseteq \mathcal{P}$ *is the aggregation of the associative networks of all agents* $p_i \in Pr_j$*:* $AN^{\varphi}_{Pr_j}$ *=* $\biguplus_{i=1}^{n} AN^{\varphi}_{p_i}$ *where* $\biguplus$ *is an aggregation function s.t:*
$\biguplus_{i=1}^{n} AN^{\varphi}_{p_i} = (\biguplus_{i=1}^{n} R_i\,,\ \biguplus_{i=1}^{n} op_i\,,\ \biguplus_{i=1}^{n} weight_i)$.

$AN^{\varphi}_{Pr_j}$ is obtained by computing the aggregation of the relations which is the union of all relations $\biguplus_{i=1}^{n} R_i = \bigcup_{i=1}^{n} R_i$, the aggregation of opinions which is the median of the set of all opinions $\biguplus_{i=1}^{n} op_i = \text{median}\{op\}$, and the aggregation of weights which is the arithmetic mean of all weights divided by the number of occurrences $\biguplus_{i=1}^{n} weight_i = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^{n} weight$.

3.2 Game Description

In [21] three game-structure templates are defined: *output-agreement games, inversion-problem games, and input-agreement games*. KAT falls into the class of output-agreement games, these games have the following structure:

- **Initial setup**: Two strangers are randomly chosen by the game itself from among all potential players;
- **Rules**: In each round, both are given the same input. Players cannot see each others outputs or communicate with one another;
- **Winning condition**: Both players must produce the same output; they do not have to produce it at the same time but must produce it at some point while the input is displayed on screen.

KAT is a two player blind game based on output-agreement. Blind implies that the other player is unknown until the end. Output-agreement means that both players will always score the same amount of points according to what they have proposed in common. The game is designed to inherently ensure both data correctness and produce a representation as close as possible to the typical associative network of a defined profile. KAT is a cooperative game in which two players strive to gain points by entering terms (concepts) they associate with the input, ordering them, and by giving their opinions about these concepts. (e.g. in Figure 1, the player is playing the 'Cat Owner' concept that he associates with 'Woman', 'Cat lover', 'Dog hater' and 'House owner' in this order, the player then gives his opinion about some of his associations, he likes 'Woman', dislikes 'Dog hater' and is indifferent towards 'house owner').
Before the beginning of a game session, players select a domain, then they proceed to answer profile related questions, these answers will be taken into account in order to pair players with similar profile against each other. (As shown in Figure 2, the player answers a set of questions defined by the creator of the domain 'Cat' such as their gender, whether they have allergies to cats or not etc.).
At the beginning of a game session two players are paired. They are shown an input (a concept) that was randomly chosen from the set of concepts associated with the played domain. Each player can enter up to 10 ordered terms that are related to the input, then they can give their opinion regarding each one of these terms. Without seeing or communicating with each other, the players must agree on as many terms as possible, they gain more points if they agree on the order of the terms and their opinion. By agreeing with the

©AFIA 2016

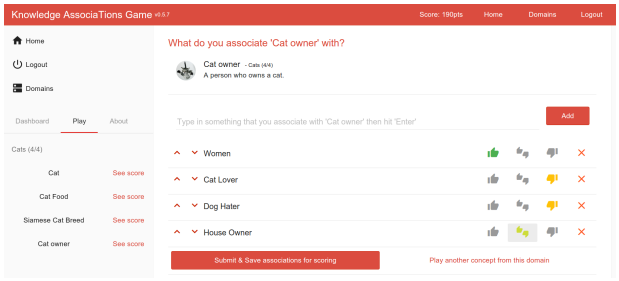


Fig. 1: Example of a game session for the concept 'Cat owner'. The player inputs his/her associations, orders them, and optionally gives his/her opinions.

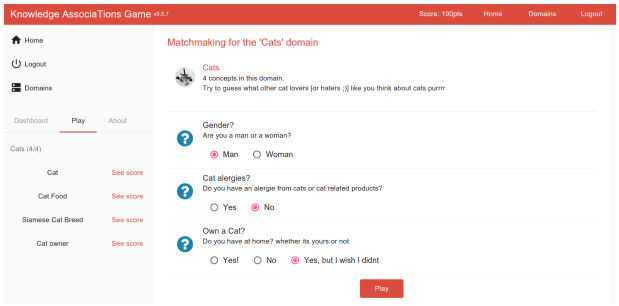


Fig. 2: Pre-game profile selection. Before playing the concepts of a domain, a player has to answer some questions in order to define his/her profile.

partner on terms and their order for as many concepts as possible we ensure that the players associations are accurate representation of the associative network of a typical agent from that profile. While KAT relies on comparison between two players inputs to determine the score and the winning condition, both players are not necessarily playing at the same time. To implement this we follow [19] where a game session is randomly chosen between two types: either the player will complete a game previously created by another player (concluding a game) where his inputs will be compared to a previously stored one from the other player or start a new game by storing his input for further comparison. When concluding a game, the player is given his score immediately, and the other player will be notified of his score.

3.3 Game Formalisation

In order to formally define our KAT game, we use the GWAP formal model introduced by [8], this model was defined to be generic enough to incorporate all types of GWAP games (input-agreement, output-agreement and inversion-problem games [20]). For the sake of simplicity, we will only define components that are necessary to formalize an output-agreement GWAP. In the KAT game, an input data $\mathfrak{D}$ is a concept $\varphi \in \mathcal{C}$ that is composed of a name (c_{name}), a description ($c_{description}$) and potentially an image (c_{image}). A concept has only one attribute that is a set of associations $Attr = (associations)$.

Definition 4 (The Knowledge AcquisiTion Game) *KAT is a 4-tuple ($\mathcal{SGPD}$, $\mathcal{GR}$, $\mathcal{GF}$, $\mathcal{ANS}$) where sets:*

1. $\mathcal{SGPD} = (e, \mathcal{F}, \mathcal{G})$ *is the Social Game Problem Domain:*
   - *A)* e *is the problem we want to solve which is to collect the associations metadata of an input data* $\mathfrak{D}$.
   - *B)* $\mathcal{F} = \{f_i | i = 1, ..., y\}$ *is the answers domain. (Solutions to the problem* e*, where* f_i *is an association, can only be in* $\mathcal{F}$*).*
   - *C)* $\mathcal{G} : e \times \mathcal{F} \rightarrow \mathfrak{R} \in [0..1]$ *is a function that determines whether an answer is correct to a problem.*
2. $\mathcal{GR} = (\mathcal{P}, \mathcal{I}, \mathcal{O}, \mathcal{W})$ *represents the rules of the social game*
   - *a)* $\mathcal{P} = \{p_1, p_2\}$ *is the set of players.*
   - *b)* $\mathcal{I}$ *is the set of inputs given to the player for solving the problem of input* $\mathfrak{D}$ *during a game:* $I(p_1) = I(p_2) = \{c_{name}, c_{description}, c_{image}\}$.
   - *c)* $\mathcal{O}(p_j) = \{o_m^j | m = 1, ..., n\}$ *is the set of outputs provided by the player* p_j *for solving the problem of input* $\mathfrak{D}$ *during the game.*
   - *d)* $W(p_j)$ *is the reward that the player can receive for solving the problem of input* $\mathfrak{D}$ *during a game where* $W(p_j) \in \{w_i | i = 1, ..., y\}$*. Players will receive a reward when achieving the winning condition of the game.*
3. $GF = \{pSel, eSel, tMax, pNum, GM\}$ *represents the flow of a GWAP.*
   - *a)* $pSel()$ *is a procedure that selects players and assigns roles to them.*
   - *b)* $eSel()$ *is a procedure that picks a problem from the problem set.*
   - *c)* $tMax$ *is the maximum duration of a game.*
   - *d)* $pNum = 2$ *is the number of players of a game.*
   - *e)* $GM \in \{collaborative, competitive, hybrid\}$ *is the mechanism of the game. KAT is a collaborative game.*
4. $\mathcal{ANS} = (\xi, \tau)$ *represents answer extraction. It defines how answers are generated for a problem based on all the games played.* ξ *is a data structure and* τ *is a frequency threshold for accepting an answer. If an answer is given by at least* τ *players it will be added to the set of correct answers* $c\mathcal{F} \subseteq \mathcal{F}$.

The objective of a KAT game session is to solve the problem e of collecting associations for a given concept φ, these associations have to be within the domain correct answers $c\mathcal{F}$. The problem e is selected using the $eSel()$ procedure that randomly picks a concept from the set of concepts $C^{\mathcal{D}}$ of the chosen domain $\mathcal{D}$.
In each session, two-player (p_1 and p_2) aim to provide a common output $((\mathcal{O}(p_1) \cap c\mathcal{F}) \cap (\mathcal{O}(p_2) \cap c\mathcal{F}) \neq \varnothing)$. These players are selected to compete against each other by the $pSel()$ procedure that takes into account the degree

©AFIA 2016

of similarity between players and attempts to pit against each other players with similar profiles.

KAT is a collaborative game, both players are given the same input $I(p_1) = I(p_2)$, they try to fulfill their assigned tasks by helping each other complete the task and achieve the winning condition, they receive rewards $W(p_1)$ and $W(p_2)$ (called score) that depend on the number of common correct answers $|(\mathcal{O}(p_1) \cap c\mathcal{F}) \cap (\mathcal{O}(p_2) \cap c\mathcal{F})|$, the number of common opinions, the order of the given outputs, and the degree of similarity between the two players profile.

3.4 KAT Game Properties

One of the main properties of a GWAP is the **type of information** outputted by the game. Such information can be objective or subjective. Subjective information is information that is related to the mental model of one particular group of agents. Such information is only shared between a specific type of agents (for example, associations such as (cat, child) is more recurrent between 'old women' whereas (cat, useless) is more frequently given by 'young men'). Objective information on the other hand is not affected by users profile, it is shared by almost all agents. An example of objective information could be the association (cat, animal).

For a given problem e, the probability that players' outputs are accepted depends on $|\mathcal{O}(p_1) \cap \mathcal{O}(p_2)|$, where $\mathcal{O}(p_1) \cap \mathcal{O}(p_2)$ is the set of potential outputs shared by players. Objective information -by definition- have higher chance of being shared by various players, thus, the correct common output between player 1 and player 2 is almost the same as the correct output of player 1 together with the correct output of player 2: $(\mathcal{O}(p_1) \cap O(p_2) \cap c\mathcal{F}) \approx ((\mathcal{O}(p_1) \cap c\mathcal{F}) \cup (\mathcal{O}(p_2) \cap c\mathcal{F}))$. Similarly, subjective information have lower probability of being shared by different agents, therefore, the correct common output of player 1 and player 2 is much lower than the correct output of player 1 together with the correct output of player 2: $(\mathcal{O}(p_1) \cap O(p_2) \cap c\mathcal{F}) \ll ((\mathcal{O}(p_1) \cap c\mathcal{F}) \cup (\mathcal{O}(p_2) \cap c\mathcal{F}))$. Existing associations acquisition GWAPs extract truly objective information that are shared between the majority of agents, and in the same process, they inherently eliminate subjective information. Whereas, by using profiles in KAT, we can 'isolate' specific groups of agents, and within these groups, a previously subjective information might become an objective one (e.g the association (cat, child) is subjective if we consider all agents and thus it won't be included in the final associative network for 'cat', but if we only consider 'old women', this association might become objective because it is shared by most considered agents). To say this otherwise, subjective information can become objective when restricted to a profile.

While having the ability to define the wanted profile explicitly allows a KAT user to eliminate 'noise' information from the resulting associative network, having the ability to implicitly define profiles using a 'profile similarity degree' allows KAT to smoothly transition from truly objective information (similarity degree 0%) to subjectively objective information (similarity degree 100%) i.e. the higher the similarity degree the better the chance is to extract subjective information.

4 KAT Experimental Validation

In this section we present how we conducted the experimental validation of the research hypothesis presented in the paper. We recall the reader that the experiment aims to validate the following research question: "Does considering agents profile information when constructing an associative network by a game with a purpose allows one to extract subjective information that might have been lost otherwise?". We have chosen to build an associative network of the Durum Wheat domain. The first experimentation was carried out with the experts of the DUR-DUR project, a French government funded project aiming at studying the sustainability of the Durum Wheat food chain. The second experimentation was carried out with undergraduate students in computer science in a life long learning class.

4.1 Experiment Design

We are interested in the impact of taking into account participants profiles when generating the aggregated set of associations. We will consider different profile similarity degrees and generate the corresponding associative networks. We then evaluate how representative these associative networks are. Our study requires multiple game sessions to be played for a specific set of concepts by participants with different profiles. We quantify the impact of a participant profile on the aggregated set of associations by using a relevance metric. We define the relevance of an association regarding a set of aggregated associations as how many participants agreed on it compared to the total number of participants taken into account in the aggregated associations.

Definition 5 (Relevance of an association) *Let $AN^{\varphi}_{Pr_j} = \biguplus_{i=1}^{n} AN^{\varphi}_{p_i}$ be the aggregated associative network of a set of players Pr_j for the concept $\varphi \in \mathcal{C}$ where $AN^{\varphi}_{p_i}$ is the associative network of a player $p_i \in Pr_j$ for φ. We define the relevance of an association relation $r \in R$ of $AN^{\varphi}_{p_i}$ regarding $AN^{\varphi}_{Pr_j}$ as: $relevance(r, AN^{\varphi}_{Pr_j}) = \frac{occurence(r, AN^{\varphi}_{Pr_j})}{|Pr_j|}$ where $occurence(r, AN^{\varphi}_{Pr_j})$ is the number of participants that had r in their Association Network for φ.*

We define the relevance of an associative network $AN^{\varphi}_{p_i}$ as the average relevance of all its associations. To compare two aggregations of associative networks we simply need to compare their relevance for each of the participants. The higher the average relevance the more representative the aggregated associative network is. Please note that the more representative the associative network the better subjective associations are exposed. This is due to the fact

©AFIA 2016

that subjective information has a lower probability of being shared by many players, thus by definition, a subjective association will have a lower relevance when we consider all players.

4.2 Profile Criteria

We chose to conduct our experiments in the domain of the DUR-DUR project aiming at studying the Durum Wheat food chain. Our participants got shown 15 concepts specific to the DUR-DUR domain. We built profiles implicitly using two criteria Cr_1 and Cr_2.

Cr_1 states whether the participant is part of the DUR-DUR project or not (possible answers are "Yes" or "No"), we gave this criterion an importance of $veryImportant$ because we judge that being an expert or not in this domain will greatly affect what the concepts of that domain are associated with. Cr_2 determines the Area of expertise, (possible answers are "Agronomy", "Transformation", "Socio-economic", "LCA (Life Cycle Analysis)", "Computer Science", "None of the above"). We gave this criterion an importance of $somewhatImportant$ based on the fact that it is significant but not as critical as Cr_1.

Please keep in mind that our hypothesis states that associative networks vary depending on players profiles. The criteria and the corresponding answers allow to partition the players into different profiles and can be defined as needed by the game designer.

4.3 Experiment Execution

The experiment was implemented in two parts. A first experimentation was carried out with 9 experts of the DUR-DUR project (7 of them were Transformation experts while the rest (2) were LCA experts). A second experimentation was carried out with 15 undergraduate students in computer science from the University Institute of Technology (IUT) in Montpelier. All 24 participants played 15 game sessions successfully completed. The experiment took approximately 30 minutes per participant. The experiment was carried out in three phases. The first phase was initial training, all participants were shown how to play and a few game sessions were played for testing purposes. The second phase was when the experiment itself was carried out. Finally, the third phase was data processing where some associations given in French were manually translated in English in order to be taken into account in the statistical analysis.

Concretely, the participants played a game session where they were shown the concept name in English, a description in French and optionally a photo representing the concept, (e.g. For 'Pasta Quality', the game displayed 'Pasta Quality' as concept name, 'Qualité des pates' as a description, and an image of pasta). The participant was then asked to give associations in English, organize them from most relevant to least relevant and, optionally, give an appreciation for each association.

4.4 Statistical Analysis

The participants played 15 game sessions giving a total of 1623 associations. For lack of space, we will only present 3 concepts, of which we show the full results for the concepts 'Pasta Quality' and the partial results for 'Protein content' and 'Couscous Processing' (shown in Tables 1, 2 and 3. Please note that associations are ordered from most relevant on top to least relevant at the end of the tables).

To establish if there was an overall effect we computed the average relevance for each profile partition obtained using a different similarity degree. We can see that higher similarity degree yields higher relevance meaning that $(\mathcal{O}(p_i) \cap O(p_j))$ is getting closer to $(\mathcal{O}(p_i) \cup \mathcal{O}(p_j))$, thus more subjective associations are being exposed. For example, in Table 1 we can notice that for similarity degree superior to 0% the average relevance of 0.22 is greater than 0.08 that corresponds to a similarity degree of 0%.

Please note that by using a similarity degree of 0% (and therefore not considering the profile information) the associations elicited are highly objective. This might pose a problem for certain applications as the associations cannot be used. For instance please look at the associations of *Pasta Quality* that, in terms of objective associations, yields *Italy* and *Cooking Time* as the first two associations. Similarly *Protein Content* yields *Meat* and *Muscle* and *Couscous Processing* yields *Semolina* and *Arab*. These associations might be useful for NLP techniques. However, if pursuing an analysis of expert associations their subjective information gets completely drowned in the noise of all data. Furthermore, opinions for some associations might change depending on the similarity degree, for example, in the associative networks for *Pasta Quality*, experts think positively of *Gluten* while non-experts are totally indifferent.

While this is obvious in all the three examples we chose to show in this paper, let us closely analyse *Couscous Processing*. By using a similarity degree different from 0% we can expose valuable subjective associations of the experts (e.g. *Semolina* and *Rolling* and *Durum Wheat*) that have been drowned in the objective associations of everybody (like *Arab*, *Tajine*). Also please note that the subjective associations of IUT students are similar to the objective associations of everybody due to the higher number of students. This clearly shows how not making the distinction objective/subjective can suppress the associations of under-represented types of agents.

4.5 Threats to Validity

The sources of threats to validity to our work are either based on flaws related to the experimental setting of our validation or the statistical significance of our results. Regarding the last aspect, standard statistical tests (such as the test of Pearson [9]) cannot be employed as the whole alphabet of correlations is not known in advance. All one can do to alleviate such a shortcoming is to increase the dataset (of both experts and non experts). While finding non experts is not difficult, finding experts is a much more challenging

©AFIA 2016

Table 1: Associative Networks for 'Pasta Quality'

Similarity degree of 0%		Similarity degree $\in]0; 83.36]$ %			
No Criteria		Experts		Non-Experts	
Italy	$\oplus$	Yellowness	$\oplus$	Italy	$\oplus$
Cooking time	$\odot$	Color	$\odot$	Cooking time	$\odot$
Taste	$\odot$	Protein Content	$\oplus$	Price	$\odot$
Protein Content	$\oplus$	Texture	$\oplus$	Taste	$\odot$
Yellowness	$\oplus$	Stickiness	$\oplus$	Brand	$\odot$
Nutrition	$\oplus$	Starch	$\odot$	Nutrition	$\oplus$
Price	$\odot$	Cooking loss	$\ominus$	Slow Sugar	$\oplus$
Color	$\odot$	Taste	$\odot$	Gluten	$\odot$
Gluten	$\oplus$	Drying Temperature	$\oplus$	Tomato Sauce	$\oplus$
Brand	$\odot$	Hydration	$\oplus$	Panzanni	$\oplus$
Average relevance: 0.08		Average relevance: 0.22			

Similarity degree $\in]83.36; 100]$ %					
LCA Experts		Transformation Experts		Non-Experts	
Yellowness	$\oplus$	Color	$\odot$	Italy	$\oplus$
Texture	$\oplus$	Protein Content	$\oplus$	Cooking time	$\odot$
Strach	$\oplus$	Yellowness	$\oplus$	Price	$\odot$
Nutrition	$\oplus$	Stickiness	$\oplus$	Taste	$\odot$
Protein Nature	$\odot$	Drying Temperature	$\oplus$	Brand	$\odot$
Network	$\odot$	Overcooking resistance	$\oplus$	Nutrition	$\oplus$
Cropping system	$\oplus$	Gluten	$\oplus$	Slow Sugar	$\oplus$
Quantity	$\oplus$	cooking loss	$\ominus$	Gluten	$\odot$
Brightness	$\oplus$	Texture	$\oplus$	Tomato Sauce	$\oplus$
Color Imperfection	$\ominus$	Viscoelasticity	$\oplus$	Panzanni	$\oplus$
Average relevance: 0.38					

Table 2: Associative Networks for 'Protein Content'

Similarity degree of 0%		Similarity degree $\in]0; 83.36]$ %			
No Criteria		Experts		Non-Experts	
Meat	$\oplus$	Quality	$\oplus$	Meat	$\oplus$
Muscle	$\oplus$	Gluten	$\oplus$	Muscle	$\oplus$
Nutrition	$\oplus$	Gliadine	$\oplus$	Eggs	$\oplus$
Quality	$\oplus$	Nutrition	$\oplus$	Nutrition	$\oplus$
Eggs	$\oplus$	Network	$\oplus$	Chicken	$\oplus$
...	...	...	...	...	...
Average relevance: 0.04		Average relevance: 0.23			

and time consuming task. We plan to carry out a longer experiment to include more experts in future work but for the moment this paper only presents a pilot study.

Regarding the flaws related to the experimental setting we distinguish two kinds of potential threats to validity. First we need to be aware of a potential bias related to the way participants will adapt in order to increase the number of points they score (and thus think of words closer to what the others would write as opposed to their own associations). Please note though that this bias is something that we want as it reinforces the way the aggregated network is constructed. Second, cheating is always possible when the game is conducted with participants that share the same computer room as they could purposely ask the others what their associations are. To the best of our knowledge such conduct has not occurred in any of the game sessions.

Table 3: Associative Networks for 'Couscous Processing'

Similarity degree of 0%		Similarity degree $\in]0; 83.36]$ %			
No Criteria		Experts		Non-Experts	
Semolina	$\oplus$	Semolina	$\oplus$	Arab	$\odot$
Arab	$\odot$	Rolling	$\oplus$	Tajine	$\oplus$
Water	$\oplus$	Durum Wheat	$\odot$	Semolina	$\odot$
Tajine	$\oplus$	Agglomeration	$\oplus$	Water	$\oplus$
Rolling	$\oplus$	Water	$\oplus$	Maghreb	$\odot$
...	...	...	...	...	...
Average relevance: 0.04		Average relevance: 0.19			

5 Conclusion

This paper extended upon the state of the art and presented a GWAP that allows to elicit associative networks and expose subjective associations. We formally defined the game and carried out a pilot study in order to analyse its behavior on a real world scenario. The experimental pilot study confirmed the research hypothesis of the paper, namely that KAT can successfully extract the subjective information that might have been lost within objective information otherwise.

The future work directions this work opens are numerous. First the scoring aspect of the game has yet not been examined in detail. Improving upon this aspect might increase the hedonistic value of the game. Second we can better expose the elicited data by providing dedicated tools and interfaces. Last, please note that while the construction of the associative network of each profile related to the domain of study might be accomplished using text mining techniques, such elements could be incorporated in the game to enrich its basic set of concepts.

We plan to use the KAT game to elicit the association table described in the paper of [3,2]. However this work could also be used in reverse profile elicitation where based on the various associations of an agent, one can define its profile. Therefore such work could also be relevant in the context of recommender systems or customer analysis.

6 Acknowledgements

The authors acknowledge the support of ANS1 1208 IATE INCOM INRA grant, ANR grants ASPIQ (ANR-12- BS02-0003), QUALINCA (ANR-12-0012) and DUR-DUR (ANR-13-ALID-0002). The work of the second author has been carried out part of the research delegation at INRA MISTEA Montpellier and INRA IATE CEPIA Axe 5 Montpellier. The authors are grateful to DUR-DUR participants and IUT AS students for the help with the experimentation.

References

1. F. Baader. *The description logic handbook: Theory, implementation and applications*. Cambridge university press, 2003.

©AFIA 2016

2. P. Bisquert, M. Croitoru, and F. D. de Saint-Cyr. Four ways to evaluate arguments according to agent engagement. In *Brain Informatics and Health*, pages 445–456. Springer, 2015.
3. P. Bisquert, M. Croitoru, and F. D. de Saint-Cyr. Towards a dual process cognitive model for argument evaluation. In *Scalable Uncertainty Management*, pages 298–313. Springer, 2015.
4. R. J. Brachman and J. G. Schmolze. An overview of the kl-one knowledge representation system. *Cognitive science*, 9(2):171–216, 1985.
5. E. Cambria, D. Rajagopal, K. Kwok, and J. Sepulveda. Gecka: game engine for commonsense knowledge acquisition. In *The Twenty-Eighth International Flairs Conference*, 2015.
6. K. T. Chan, I. King, and M.-C. Yuen. Mathematical modeling of social games. In *Computational Science and Engineering, 2009. CSE'09. International Conference on*, volume 4, pages 1205–1210. IEEE.
7. N. V. Findler. *Associative Networks: Representation and Use of Knowledge by Computers*. Academic Press, 2014.
8. H. Fry. *The Mathematics of Love: Patterns, Proofs, and the Search for the Ultimate Equation*. Simon and Schuster, 2015.
9. P. E. Greenwood and M. S. Nikulin. *A guide to chi-squared testing*, volume 280. John Wiley & Sons, 1996.
10. G. R. Henderson, D. Iacobucci, and B. J. Calder. Brand diagnostics: Mapping branding effects using consumer associative networks. *European Journal of Operational Research*, 111(2):306–327, 1998.
11. M. Lafourcade. Making people play for lexical acquisition with the jeuxdemots prototype. In *SNLP'07: 7th international symposium on natural language processing*, page 7, 2007.
12. T. Markotschi and J. Völker. Guesswhat?!–human intelligence for mining linked data. 2010.
13. G. A. Miller. Wordnet: a lexical database for english. *Communications of the ACM*, 38(11):39–41, 1995.
14. M. R. Quillan. Semantic memory. Technical report, DTIC Document, 1966.
15. K. Siorpaes and M. Hepp. Games with a purpose for the semantic web. *IEEE Intelligent Systems*, (3):50–60, 2008.
16. J. F. Sowa. Conceptual graphs for a data base interface. *IBM Journal of Research and Development*, 20(4):336–357, 1976.
17. T. A. Teichert and K. Schöntag. Exploring consumer knowledge structures using associative network analysis. *Psychology & Marketing*, 27(4):369–398, 2010.
18. S. Thaler, E. P. B. Simperl, and K. Siorpaes. Spotthelink: A game for ontology alignment. *Wissensmanagement*, 182:246–253, 2011.
19. D. Vannella, D. Jurgens, D. Scarfini, D. Toscani, and R. Navigli. Validating and extending semantic knowledge bases using video games with a purpose. In *ACL (1)*, pages 1294–1304, 2014.
20. L. Von Ahn. Games with a purpose. *Computer*, 39(6):92–94, 2006.
21. L. Von Ahn and L. Dabbish. Designing games with a purpose. *Communications of the ACM*, 51(8):58–67, 2008.
22. L. Von Ahn, M. Kedia, and M. Blum. Verbosity: a game for collecting common-sense facts. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems*, pages 75–78. ACM, 2006.
23. R. West, J. Pineau, and D. Precup. Wikispeedia: An online game for inferring semantic distances between concepts. In *IJCAI*, pages 1598–1603, 2009.
24. J. R. Wilson and S. Sharples. *Evaluation of human work*. CRC Press, 2015.

©AFIA 2016

Reconnaissance de formes et raisonnement symbolique : Comment traiter ce problème dans le cadre de la satisfaction de contraintes ?

Yann Hodé[1] Aline Deruyver[2]

[1] GDR 3557, Institut of Psychiatry, 7 rue Cabanis 75014 Paris
[2] Laboratoire Icube UMR 7357 300 bd Sébastien Brant - CS 10413 - F-67412 Illkirch Cedex

aline.deruyver@unistra.fr

Résumé

Des travaux antérieurs ont montré que le raisonnement symbolique associé à la vérification de la consistance d'arc avec propagation de contraintes permet de vérifier l'organisation spatiale de différentes composantes d'un objet complexe dans une image. Nous proposons ici d'étendre l'utilisation de ce cadre théorique pour reconnaître sélectivement des formes décrites par des équations mathématiques, grâce à la notion de consistance d'hyper-arc à deux niveaux de contraintes. La pertinence et la faisabilité de cette approche ont été illustrées par de multiples tests. En outre, les résultats obtenus sur des images sursegmentées montrent que la méthode proposée est résistante au bruit, même dans des conditions où les humains (dans certains cas d'agnosie visuelle) peuvent échouer. Ces résultats soutiennent l'intérêt du raisonnement symbolique dans la compréhension de l'image.

Mots Clef

Interprétation d'images, graphe de concepts, consistance d'arc, propagation de contraintes, reconnaissance des formes, réseau sémantique, raisonnement symbolique.

Abstract

Previous works have shown that symbolic reasoning in the framework of arc consistancy checking and constraint propagation is useful for analyzing the spatial organization of different compounds of a complex object. In this study, we focused our attention on shapes that can be described by mathematical equations. When shapes display such properties, we proved that they may be retrieved very selectively in images. To solve this problem, the notion of hyper-arc consistency was employed with bi-level constraints. The relevance and feasibility of this approach were illustrated through tests carried out several images. Moreover, the results obtained for over-segmented images demonstrate that the proposed method is resistant to noise, even in conditions where humans (in some cases of visual agnosia) may fail. These results support the case for symbolic reasoning's place in image understanding.

Keywords

Image understanding, conceptual graph, arc consistency, constraint propagation, pattern recognition, semantic network, symbolic reasoning.

1 Introduction

Les bonnes performances des animaux dans des tâches de discrimination et de prise de décision visuelle semblent montrer que le traitement des données visuelles n'exige pas un degré élevé de raisonnement symbolique. Néanmoins, il est difficile d'affirmer que l'émergence des capacités de raisonnement symbolique chez l'homme lors de la sélection darwinienne ne présente aucun avantage évolutif. De la même façon, il est difficile de croire que l'interprétation d'images ne peut pas bénéficier du raisonnement symbolique, qui est un outil puissant de l'intelligence humaine.
L'objectif de cet article n'est pas de discuter des avantages et inconvénients des différentes approches utilisées en analyse d'image (voir [1]), mais plutôt de montrer que le raisonnement symbolique dans le cadre des problèmes de satisfaction de contraintes mérite un peu plus d'attention. Nous allons montrer à travers les nouveaux outils conceptuels présentés ici que le raisonnement symbolique permet d'effectuer une reconnaissance des formes satisfaisante.
En Intelligence Artificielle, une vaste gamme de problèmes (vision par ordinateur, planification, raisonnement temporel, problèmes de graphes, etc.) sont considérés comme des problèmes de satisfaction de contraintes (PSC) [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].
Les problèmes d'interprétation d'image peuvent être considérés comme des PSC sur un domaine fini. Ce cadre donne la possibilité de travailler avec la connaissance symbolique. Dans ce cas, les contraintes représentent la connaissance décrivant le contenu supposé de l'image. Le problème consiste à mettre en correspondance les régions segmentées d'une image avec cette connaissance. Nous avons centré notre travail sur les PSC car ce cadre théorique important en intelligence artificielle a été insuffisamment exploité dans le domaine de l'interprétation d'images. Peu d'auteurs ont appliqué les PSC à l'interprétation des images

 ©AFIA 2016

[10, 11, 12, 13] ce qui suggère certaines difficultés de l'approche. Nous présentons ici une nouvelle façon d'appliquer le cadre théorique des PSC à des problèmes d'interprétation d'images et quelques suggestions pour réduire ces difficultés potentielles.

Résoudre un problème de satisfaction de contraintes sur un domaine fini est un problème NP complet bien connu. Pour rendre le problème traitable, on peut ne vérifier que la consistance locale grâce à la propagation de contraintes. Dans certains cas, la consistance locale peut seule fournir la solution. Néanmoins, il n'y a que quelques propositions d'applications simples de problèmes de satisfaction de contraintes appliquées à l'interprétation des images. Waltz [14] était le premier auteur à proposer une telle approche pour résoudre un problème d'interprétation de l'image dans le monde des blocs. Par la suite, d'autres auteurs [11, 15, 12, 10, 2] ont proposé différentes méthodes pour appliquer les PSC à l'interprétation des images. Toutes ces approches fonctionnent de la même manière : faire correspondre de façon univoque les noeuds d'un RAG (graphe d'adjacence de régions), qui représente les relations spatiales entre les régions segmentées ou primitives extraites, avec les noeuds du réseau sémantique décrivant ce qui est recherché.

Cependant, les PSC classiques présentent un inconvénient majeur : une seule valeur doit être affectée à une variable discrète. Cette affectation bijective ne permet pas l'association de plusieurs régions segmentées à un concept (ou variable). Pour interpréter les images sur-segmentées, le formalisme des PSC classiques a été modifié en introduisant deux niveaux de contraintes. Un algorithme a été proposé pour résoudre les PSC avec deux niveaux de contraintes (AC_{BC}), basé sur la propagation de contraintes [16]. Dans nos travaux précédents, nous avons abordé le problème de la reconnaissance d'objets complexes (anatomie cérébrale, visages, etc.) [17, 16]. L'objectif était alors de retrouver une organisation spatiale donnée entre les différentes parties d'un objet (généralement entre des éléments saillants de ces parties) et non de retrouver un objet avec un contour ayant une forme spécifique.

Nous désirons maintenant retrouver plus précisément une forme donnée, ce qui implique une façon de décrire des contraintes applicables au contour des formes. Cet article met l'accent sur la reconnaissance de formes géométriques qui peuvent être décrites par des équations mathématiques (lignes, cercles, courbes monotones, etc.). Comme il est généralement possible de subdiviser le contour d'une forme quelconque en un ensemble de segments ou lignes connectées (par exemple, une flèche épaisse peut être décrite par un ensemble de sept lignes), les possibilités de descriptions des objets deviennent très larges. Nous montrons ici, qu'il est possible de reconnaître ces formes en les décrivant avec un graphe de contraintes. Toutefois, pour vérifier si une forme respecte les propriétés morphologiques décrites par des équations mathématiques, il est parfois nécessaire d'imposer des contraintes n-aires. Par exemple, pour vérifier si trois points sont sur un arc de cercle donné, nous devons construire une contrainte entre ces trois points. Dans ce cas, il est nécessaire de construire un hyper-arc et de vérifier la consistance de celui-ci. Cette vérification de la consistance d'hyper-arc à deux niveaux de contraintes constitue un nouveau développement présenté dans cet article et fournit de nouvelles possibilités pour vérifier des contraintes complexes. La méthode proposée reconnaît des formes indépendamment de leur orientation et de leur taille, et est robuste, même sur des images sur-segmentées.

Après avoir exposé les définitions de la consistance d'arc et d'hyper-arc à deux niveaux de contraintes (et les algorithmes associés vérifiant la satisfaction de contraintes), nous introduirons la notion de points caractéristiques d'une région afin de définir des contraintes précises sur les régions segmentées. Ensuite nous présenterons les règles permettant de reconnaitre des formes géométriques. Enfin nous montrons des résultats sur des images avec des formes géométriques variées de tailles et d'orientations différentes. Nous montrons également qu'il est possible d'étendre notre approche à des formes non géométriques, bien que dans ce cas, la reconnaissance de la forme ne peut pas être garantie.

2 Consistance d'arc et consistance d'hyper-arc à deux niveaux de contraintes

2.1 Problème de satisfaction de contraintes à 2 niveaux de contraintes ($FDPSC_{BC}$)

Dans un $FDPSC_{BC}$, on définit deux type de contraintes :

- les contraintes binaires inter-noeud $C_{ij,\alpha}$ représentées par un arc entre deux noeuds i et j. Par commodité, chaque arc est identifié par un nombre α,
- les contraintes binaires intra-noeud $\mathcal{C}mp_{\mathrm{i},\alpha}$ entre deux valeurs du noeud i et associées à l'arc C_α. $\mathcal{C}mp_{\mathrm{i},\alpha}(a,b)$ signifie que a est compatible avec b étant donnée la contrainte $\mathcal{C}mp_{\mathrm{i},\alpha}$.

Nous avons choisi d'utiliser le terme "noeud" pour désigner ce qui est appelé "variable" dans les $FDPSC$ classiques car dans la représentation par graphe les variables sont les noeuds d'un graphe et la notion de contraintes intra-variables est moins compréhensible que la notion de contraintes intra-noeud (voir Fig. 1). L'idée qui se trouve derrière ces deux niveaux de contraintes est d'affaiblir les contraintes inter-noeuds classiques pour éviter un échec de la consistance d'arc lorsque plusieurs valeurs (régions segmentées) doivent être associées à un noeud (nom de la composante à reconnaître), situation fréquente qui viole le principe de correspondance bijective des $FDPSC$ classiques. Pour compenser cet affaiblissement des contraintes qui peut générer un nombre excessif de solutions, un nouveau type de contraintes (le niveau intra-noeud) a été appliqué aux valeurs associées à un noeud donné. Dans le cadre de l'analyse d'image, ces différentes contraintes sont des

©AFIA 2016

contraintes principalement spatiales entre les régions, et les noeuds représentent une partie spécifique d'une forme ou d'un objet.
Soit D_i le domaine associé à un noeud i (dans le cas de l'analyse d'images chaque valeur D_i est une région, et très fréquemment D_i contient plusieurs centaines de valeurs), sans relation d'ordre entre elles. Ceci est très différent de la plupart des applications des PSC, où le nombre de valeurs possibles dans chaque domaine est souvent de petite taille (par exemple des valeurs booléennes). La définition suivante rappelle la définition de la satisfaction d'un $FDPSC_{BC}$ et fait le lien avec la satisfaction des $FDPSC$ classique. Cette définition est illustrée par la figure 1.

Définition 1 *Soit $C_{ij,\alpha}$ une contrainte orientée entre i et j et soit $\mathcal{C}mp_{\mathrm{i},\alpha}$ une relation de compatibilité, telle que $(a,b) \in \mathcal{C}mp_{\mathrm{i},\alpha}$ ssi a et b sont compatibles. $\mathcal{C}mp_{\mathrm{i},\alpha}$ est associée à la contrainte $C_{ij,\alpha}$. Considérons $I_{i,\alpha} \subset D_i$ (Les éléments de $I_{i,\alpha}$ sont à l'"Interface" entre i et le noeud lié à i par l'arc α). $I_{i,\alpha}, D_j \models C_{ij,\alpha}$ signifie que $(I_{i,\alpha}, D_j)$ satisfait la contrainte orientée $C_{ij,\alpha}$ et $D_i, D_j \models (C_{ij,\alpha}, \mathcal{C}mp_{\mathrm{i},\alpha})$ signifie que (D_i, D_j) satisfait la contrainte orientée $C_{ij,\alpha}$. Dans le cadre de l'analyse d'image, les domaines D_i and D_j représentent les ensemble des régions segmentées ou des primitives extraites.*

$$I_{i,\alpha}, D_j \models C_{ij,\alpha} \Leftrightarrow \begin{cases} \forall a_i \in I_{i,\alpha}, \exists a_j \in D_j, \\ tel\ que\ (a_i, a_j) \in C_{ij,\alpha} \end{cases}$$

$$D_i, D_j \models (C_{ij,\alpha}, \mathcal{C}mp_{\mathrm{i},\alpha}) \Leftrightarrow \begin{cases} \forall a_i \in D_i, \\ \exists (a'_i, a_j) \in I_{i,\alpha} \times D_j, \\ tel\ que \\ (a_i, a'_i) \in \mathcal{C}mp_{\mathrm{i},\alpha} \\ et\ (a'_i, a_j) \in C_{ij,\alpha} \end{cases}$$

L'ensemble $\{D_1, ..., D_n\}$ satisfait $FDPSC_{BC}$ ssi $\forall (C_{ij,\alpha}, \mathcal{C}mp_{\mathrm{i},\alpha})$, $D_i, D_j \models (C_{ij,\alpha}, \mathcal{C}mp_{\mathrm{i},\alpha})$. (Note : quand $I_{i,\alpha} = D_i$, nous sommes dans le cas de la consistance d'arc classique. Donc, lorsque $\forall C_{ij}$, $D_i, D_j \models (C_{ij})$, l'ensemble $\{D_1, ..., D_n\}$ satisfait le $FDPSC$ classique).

Bien que $C_{ij,\alpha}$ et $\mathcal{C}mp_{\mathrm{i},\alpha}$ représentent habituellement des contraintes spatiales, leur nature est différente. $C_{ij,\alpha}$ est une contrainte directe entre deux régions (ex : a "est à gauche de" b) et $\mathcal{C}mp_{\mathrm{i},\alpha}$ est une contrainte appliquée au chemin allant d'une région a vers une région d en passant par un ensemble de régions connectées. Par exemple $\mathcal{C}mp_{\mathrm{i},\alpha}$ (a,d) signifie que la région d est atteignable à partir de la région a en passant par un ensemble de régions du noeud i si toutes les régions du chemin sont connectée sur leur bord nord→sud et si la longueur de l'union des régions de ce chemin reste inférieur à un seuil donné (voir Fig. 1). Nous avons montré [16] que ce type de contrainte ne peut être traduit par une contrainte du type $C_{ij,\alpha}$. Comme on peut le voir dans la définition, $\mathcal{C}mp_{\mathrm{i},\alpha}$ est reliée à $C_{ij,\alpha}$ et un même noeud i peut avoir autant de contraintes intra-noeud $\mathcal{C}mp_{\mathrm{i},*}$ que d'arc $C_{ij,*}$.
On associe un graphe G à un problème de satisfaction de

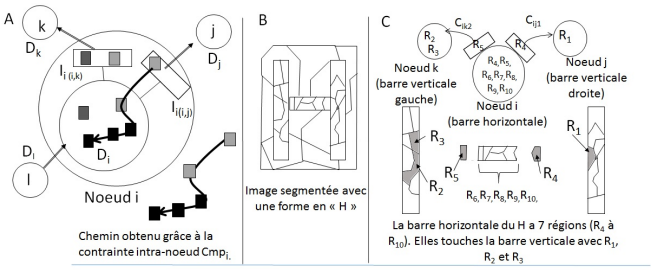


FIGURE 1 – A. Consistance d'arc à deux niveaux de contraintes : Quatre noeuds i, j, k et l sont représentés et le noeud i est détaillé. Les labels des noeuds i sont constraints par deux arcs orientés (i,j) et (i,k) et les labels du noeud l sont contraints par l'arc orienté (l,i). Les carrés gris et noirs sont des labels (régions segmentées) associés au noeud i. Les labels noirs n'appartiennent pas à $I_{i,(i,j)}$. Cependant, grâce à la relation de compatibilité $\mathcal{C}mp_{\mathrm{i},\alpha}$, ces labels sont atteignables à partir du label gris, ils peuvent donc être gardés dans le noeud i. α correspond à l'arc (i,j) qui définit l'ensemble $I_{i,(i,j)}$ (appelé "Interface de i avec α" dans l'algorithme décrit plus loin). $I_{i,(i,j)}$ est l'ensemble à partir duquel les autres régions de i peuvent être atteintes étant donné $\mathcal{C}mp_{\mathrm{i},\alpha}$. Un noeud est constitué d'interfaces (une par arc) et d'un noyau (correspondant à l'ensemble du domaine D_i).
C. Détail du noeud i "barre horizontale du H". $C_{ij,1}$ contraint une région R de i pour qu'elle touche à sa droite la région R' de j. $C_{ik,2}$ constraint une région R de i pour qu'elle touche sur sa gauche une région R' de k. $\mathcal{C}mp_{\mathrm{i},1}$ entre R de $I_{i,(i,j)}$ et R' de i est vraie (R et R' sont compatible étant donné $\mathcal{C}mp_{\mathrm{i},1}$) si il existe un chemin de régions connectées entre R et R' tel que toutes les régions de ce chemin soit "à gauche" de son prédécesseur et "à gauche" de R

contraintes de la façon suivante : **(1)** G a un noeud i pour chaque variable i. **(2)** Un arc orienté (i,j) est associé à chaque contrainte $C_{ij,\alpha}$. **(3)** Arc(G) est l'ensemble des arcs de G. **(4)** Node(G) est l'ensemble des noeuds de G

2.2 Algorithme de consistance d'arc à 2 niveaux de contraintes (AC_{BC})associé à un $FDPSC_{BC}$

Pour résoudre un $FDPSC_{BC}$, on utilise un algorithme de consistance d'arc à deux niveaux de contraintes. L'algorithme résolvant ce problème est détaillé dans [16] et [17] et rappelé dans les Figures 2 et 3

Définition 2 *Soit $(i,j) \in arc(G)$. Arc (i,j) est arc-consistant étant donnés D_i et D_j ssi $\forall v \in D_i\ \exists t \in D_i$, $\exists w \in D_j\ \mathcal{C}_{\mathrm{mp}_{\rangle,\alpha}}(v,t)$ et $C_{ij}(t,w)$. (v et t peuvent être identique)*

La définition d'un graphe arc-consistant devient :

Définition 3 *Soit P=$D_1 \times$ .... $\times D_n$. Un graphe G est arc-consistant étant donné P ssi $\forall arc(i,j) \in Arc(G)$: (i,j) est arc-consistant étant donné D_i et D_j.*

Le but d'un algorithme de vérification de la consistance d'arc à deux niveaux de contraintes est, étant donné un graphe G et un ensemble P, de calculer P', le plus grand domaine arc-consistant avec deux niveaux de contraintes pour G dans P. L'algorithme AC_{BC}, dérivé de l'algorithme AC_4 [18, 8], résoud le problème AC_{BC}.

©AFIA 2016

begin HAC_{BC}
Step1 : Construction des structures de données.
InitQueue(Q) ;
for each $i \in node(G)$ **do**
  for each $b \in D_i$ **do**
    begin
      S[i,b] := empty set ; *//(S[i,b] est l'ensemble des*
      //(label,node,arc) supportés par b et étant dans i
    end ;
for each $a(i, j_1, ..., j_n, C_\alpha) \in arc(G)$ **do**
  for each $b \in D_i$ **do**
    begin
    cpt :=0 ;
    for each $(c_1, c_2, ..., c_n) \in D_{j_1} \times D_{j_2} \times ... \times D_{j_n}$ **do**
      if $C_\alpha(b, c_1, ..., c_n)$ **then**
        begin
          cpt :=cpt+1 ;
          Counter[a,b] := Counter[a,b]+1
            // nombre de supports de 'b' par l'arc 'a'
          for each $(j_k, c_k) \in ((j_1, c_1), ..., (j_n, c_n))$ **do**
          S[j_k, c_k] :=S[j_k, c_k] $\cup$ ((i,b,a),cpt) ;
        end if
    if Counter[$a(i, j_1, ..., j_n, C_\alpha)$,b]$> 0$
    then $I_{i,\alpha} := I_{i,\alpha} \cup \{b\}$;
    end ;
for each $i \in node(G)$ **do**
    CleanKernel(D_i, I_i, Q) ;
      //supprime les labels non supportées dans noeud i
      //(non atteints par $\mathcal{C}mp_{i,a}$)et les met dans Q

Step2 : Elagage des labels inconsistants
  While not Emptyqueue(Q) **do**
    begin
      Dequeue(i,b,Q) ;
      for each $(j, c, a(j, i_1, ..., i_n, C_\alpha, cpt)) \in S[i, b]$ **do**
      begin
        for (k from 1 to n) **do** *// supprime les supports*
        //de c reliés au même hyper-arc et créés
        //avec la même valeur cpt
          S[i_k, b] :=S[i_k, b]- ((j,b,a),cpt)
        end for k
        Counter[a(...),c] := Counter[a(...),c]-1 ;
        if Counter[a(...),c]=0 **then**
          begin
          $I_{j,a} := I_{j,a} - \{c\}$;
          CleanKernel(D_j, I_j, Q) ;
          end ;
  end ;
  end HAC_{BC} ;

FIGURE 2 – L'algorithme HAC_{BC} avec quasi arc-consistance : étape1 et étape 2.

2.3 Problème d'Hyper-Arc consistance à 2 niveaux de contraintes (HAC_{BC}) associé à un $FDPSC_{BC}$

Afin de construire des contraintes plus précises, la gestion de contraintes n-aires est parfois nécessaire. Il est facile de généraliser la notion de contraintes à deux niveaux lorsque les contraintes orientées inter-noeuds deviennent n-aires. Dans ce cas, nous avons un hyper-graphe. Un PSC est hyper-arc consistant si toutes ses contraintes sont hyper-arc consistantes.
Les Figures 2 et 3 décrivent l'algorithme résolvant le problème HAC_{BC}. Cet algorithme comporte deux étapes : une étape d'initialisation et une étape d'élagage. La procédure $CleanKernel$ permet de gérer les relations intra-noeud. Elle appelle la fonction $\mathcal{C}mpiChecking$ qui vérifie si les régions affectées à un noeud donné satisfont une propriété morphologique donnée grâce à des équations mathématique décrivant la forme recherchée.
Dans la Figure 2, on note $a(i, j_1, ..., j_n, C_{i,\alpha})$ l'hyper-arc a associé au noeud i et à l'ensemble des noeuds $j_1, ..., j_n$. $C_{i,\alpha}$ est la contrainte appliquée à cet arc.
Pour savoir si une région segmentée est compatible avec les contraintes équationnelles, il faut vérifier si les pixels de bord de cette région sont compatibles avec les contraintes de l'équation. Stocker les coordonnées de tous les pixels de bord d'une région segmentée n'est pas très pratique et quelques pixels caractéristiques de la région segmentée peuvent résumer l'ensemble du contour de cette région.

3 Points caractéristiques

Pour définir des points d'intérêt décrivant les relations entre les deux régions dans une direction donnée, on définit la courbe qui se situe à l'interface entre une région de R_1 et une région R_2 comme l'ensemble des pixels de la région R_1 qui sont connectés à des pixels de la région R_2. Parmi les différents points caractéristiques de cette courbe, on choisit les points suivants :
– L'extrémité convexe de la courbe interface.
– Les points correspondant aux extremums de la courbe interface.
En outre, une approximation polygonale est appliquée à la courbe interface dans chaque direction. Chaque segment de l'approximation est au plus à une distance de ε pixels de la courbe(Voir Fig. 4). Les sommets sont stockés afin de vérifier, dans le processus de satisfaction de contraintes, si ils satisfont à la contrainte imposée par une équation mathématique donnée d'une courbe théorique. Cette équation mathématique décrit une partie du bord de l'objet que nous recherchons.

4 Règles pour retrouver une courbe avec des contraintes locales

Le problème est de savoir comment, à partir des contraintes locales (entre les petites régions segmentées), nous pouvons assurer une contrainte globale (la forme globale).

©AFIA 2016

$CleanKernel(inD_i, I_i, outQ)$
for each $b \in D_i$ **do** nbnotsatisfied(b)=0
for each $I_{i,\alpha} \in I_i$ **do** *//Pour chaque interface $I_{i,\alpha}$ de i*
for each $r \in I_{i,\alpha}$ **do**
begin
for each $b \in (D_i)$ **do** $markseen(r, b) := false$;
E := $\{r\}$ *//Ensemble initial*
$E' := \emptyset$ *//Ensemble final*
while $E \neq \emptyset$ **do**
begin
for each $e \in E$ **do**
for each $v \in neighbourg(e)$ **do**
begin
if $(\mathcal{C}mpiChecking(r, e, v, equation))$ **then**
begin
$E' := E' \cup v$
$markseen(r, v) := true$
end if
end for
E := E'
end while
end
for each $b \in D_i$ **do**
begin
for each $I_{i,\alpha} \in I_i$ **do**
if $\forall r \in I_{i,\alpha}, \neg markseen(r, b)$ **then**
nbnotsatisfied(b)=nbnotsatisfied(b)+1
if nbnotsatisfied(b) > Relax(i) **then**
begin
EnQueue(i,b,Q)
for each $I_{i,\alpha} \in I_i$ **do** $I_{i,\alpha} := I_{i,\alpha}$-$\{b\}$
$D_i := D_i$ -$\{b\}$
end if
end for

FIGURE 3 – La procédure CleanKernel

Nous proposons quatre règles locales qui garantissent que la forme globale suivra une courbe théorique. Cette propriété que nous avons prouvée par ailleurs est importante car elle permet d'appliquer des contraintes très sélectives sur les formes. Toute forme dans une image qui n'est pas exactement comme la forme définie sera rejetée.

Notation :

- On note R une région d'une image I et $\hat{R}$ les contours de R et $\dot{R}$ l'intérieur de R tel que : $\dot{R}$ soit le complémentaire de $\hat{R}$ dans R.
- On note $\mathcal{C}_f$ une courbe convexe ayant une dérivée monotone entre x_{min} et x_{max}. $\mathcal{C}_f$ est une partie d'un contour d'une forme plus complexe.
- On note d une fonction de distance orientée euclidienne telle que : $d(P, P')$ est la distance entre un point P et un point P', $d(P, D)$ est la distance distance entre un point P et une ligne D, $d(P, \mathcal{C}_f)$ est la distance entre un point P et une courbe $\mathcal{C}_f$. $d(P, \mathcal{C}_f) < 0$ si P est "interne" à la courbe et $d(P, \mathcal{C}_f) > 0$ if P est "externe" à la courbe.
- Soient deux régions R_{head} et R_{tail} telle que (x_{min}, $f(x_{min})$) est un point caractéristique de R_{head}, et (x_{max}, $f(x_{max})$) est un point caractéristique de R_{tail}.
- Soit E un ensemble de régions connectées formant une chaîne entre R_{head} et R_{tail}.

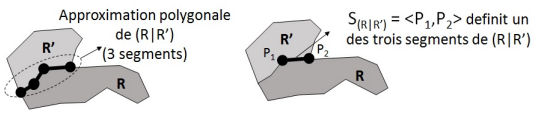


FIGURE 4 – Illustration de l'approximation polygonale.

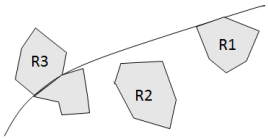


FIGURE 5 – R1 suit la règle 1, mais ni R2 (qui ne forme pas une bord avec la courbe C tracée sur cette figure), ni R3 (qui a des pixels à la fois au dessus et en dessous la courbe C) suivent cette règle.

$\forall R \in E$, On peut montrer que si R possède les 4 propriétés locales suivantes, associées à une courbe théorique $\mathcal{C}_f$, l'ensemble E des régions connectées décrivent $\mathcal{C}_f$.

Règle 1 : R doit être "bord interne compatible" avec la forme définie par $\mathcal{C}_f$: Si D_i est le domaine du noeud i correspondant au bord de la forme, alors $R \in D_i$ reste dans le noeud si les propriétés suivantes sont satisfaites :

1. Tous les points caractéristiques P de R doivent être tels que $d(P, \mathcal{C}_f) \leq 0$ ce qui signifie que P doit être soit sur la courbe, soit dans la partie de la courbe définie comme étant l'intérieur de l'objet. (Régions R1 et R2 de la Figure 5).

2. Au moins deux points définissant un segment du bord de R doivent être sur la courbe et le milieu de ce segment doit être cohérent avec l'équation de la courbe. (Régions R3 et R1 de la Figure 5).

Pour comprendre comment ces contraintes peuvent être appliquées, supposons que le noeud i est un bord d'un triangle. Nous créons la contrainte ternaire entre ce noeud et un noeud j définissant le "coin gauche d'un triangle" et un noeud k définissant le "coin droit d'un triangle" . La contrainte $Arc(i, j, k)$ appliquée au noeud i vérifie que le triplet $(a, b, c) \in D_i \times D_j \times D_k$, définit 3 points alignés.

Règle 2 : Toute région connectée à R doit être compatible avec la forme et doit appartenir au noeud correspondant à la forme ou au noeud correspondant aux régions adjacentes à la forme. (Voir Fig. 6a). Pour comprendre comment cette contrainte est appliquée dans l'exemple précédent, le noeud i étant le bord d'un triangle, dès qu'une région a

©AFIA 2016

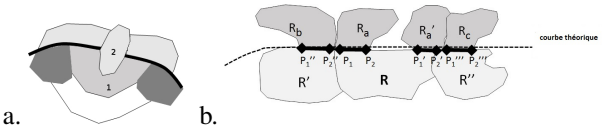


FIGURE 6 – a. Tous les voisins de la région 1 sont soit en dessous soit au dessus la courbe, à l'exception de la région 2 ce qui ne satisfait pas la Règle 2.
b.La région R suit la règle 3 car il existe une continuité de bord avec la région précédente et la région suivante à travers un segment de bord $\langle P_1, P_2 \rangle$ connecté à un segment de bord de R' et au travers d'un segment de bord $\langle P'_1, P'_2 \rangle$ connecté à un segment de bord de R".

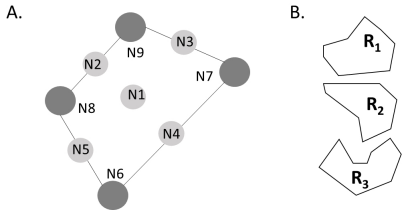


FIGURE 7 – A : N6, N7, N8 et N9 sont les sommets du trapèze. B : Seule la région R1 a un point saillant dans la direction nord et est compatible avec la contrainte de noeud N9.

satisfait la contrainte de la Règle 1 pour le triplet (a, b, c), on vérifie que pour toute les régions d connectées à a, on a pour tous les points caractéristiques p de d $d(p, \mathcal{C}_f) \leq 0$ ou $d(p, \mathcal{C}_f) \geq 0$. Sur la Figure 6a, la région 2 a des points caractéristique tels que $d(p, \mathcal{C}_f) \leq 0$ et d'autres tels que $d(p, \mathcal{C}_f) \geq 0$, ce qui ne satisfait pas la Règle 2.

Règle 3 : si $R \neq R_{head}$ et $R \neq R_{tail}$ $\exists R' \in E$ et $\exists R'' \in E$ qui a une "continuité de bord" avec R (Voir Fig. 6b) . Si $R = R_{head}$ ou $R = R_{tail}$ seule une connexion entre R et ses voisins est nécessaire et la définition de la contrainte est immédiate. Cette contrainte dépend de l'équation mathématique décrivant le bord ($\mathcal{C}_f$) recherché.
L'algorithme vérifie la satisfaction de cette contrainte en mettant en oeuvre les contraintes intra-noeud ($\mathcal{C}_{mpi,\alpha}$) définie dans la section 2.4.
Règle 4 : Nous travaillons uniquement avec des parties de la courbes $\mathcal{C}_f$ qui ont une dérivée monotone. La conséquence est que $\mathcal{C}_f$ doit être concave ou convexe par rapport à un segment dont les extrémités sont deux points caractéristiques appartenant à une même frontière interface entre R et une région connectée.

Théorème 1 *La satisfaction des quatre règles définies précédemment est suffisante pour garantir que* $\forall P \in \mathcal{C}_f$, $\exists R \in E$ *tel que* $P \in \hat{R}$.

Ce théorème établit que travailler avec les points caractéristiques des régions, suffit pour vérifier que tous les pixels de bord des régions appartenant à E suivent $\mathcal{C}_f$.

5 Expérimentations

Nous avons testé notre méthode sur des images synthétiques et sur des images de la vie réelle.

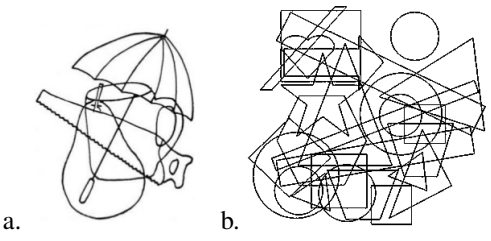


FIGURE 8 – a. Un exemple d'image utilisée pour tester l'agnosie visuelle. b. L'image de test d'origine contenant des formes géométriques superposées.

5.1 Tests avec différentes formes constituées de parties décrites par une équation

Des graphes ont été construits pour modéliser des triangles, des rectangles, des parallélogrammes, des cercles, des anneaux, des losanges, des étoiles, des hexagones et des flèches. Un exemple de graphe construit pour reconnaitre un trapèze est montré dans la Fig. 7. Une image contenant ces formes avec des orientations et des tailles différentes a été utilisée. Cette image "tout-en-un" (Fig. 8b) présente plusieurs avantages :
– Pour une forme donnée, les autres formes servent de leurre pour tester la sélectivité de la détection.
– Le chevauchement des formes crée du bruit, ce qui rend la détection des formes plus difficile. L'image test ressemble aux images utilisées pour détecter les agnosies visuelles (Fig. 8a).

Notre approche permet la détection correcte et sélective de toutes les différentes formes, en dépit du chevauchement (Fig. 9). Pour chaque famille de formes, le graphe correspondant a permis la détection de toutes les formes sans changer les valeurs des paramètres du graphe pour tenir compte du changement de taille ou d'orientation des formes d'une même famille.
Les graphes représentant les triangles, les cercles et les losanges ont aussi été utilisés sur des images de la vie réelle présentant des formes géométriques(voir Fig. 10). Ils ne contenaient aucune information sur la taille, la localisation et le niveau de gris des objets dans les images. Les étiquettes initiales des noeuds des graphes sont les régions obtenues à l'aide d'un algorithme de détection des lignes de partage des eaux [19]. Comme notre formalisme de graphe peut également décrire des scènes (relations entre les objets), nous avons illustré cette possibilité par la modélisation des scènes simples :
– Un carré avec un triangle en dessous (relation spatiale directionnelle) (Voir Fig. 11a). Deux carrés de la figure 8b satisfont cette propriété.
– Un cercle dans un autre cercle, tous deux possédant le même point central (objets partageant une propriété de localisation relative non-directionnelle) (Voir Fig. 11b). Un seul cercle de la figure 8 satisfait cette propriété.
– Deux carrés de la même taille (objets qui partagent une propriété de taille relative) (voir Fig. 11c). Un couple de carrés de la figure 8 satisfait cette propriété

©AFIA 2016

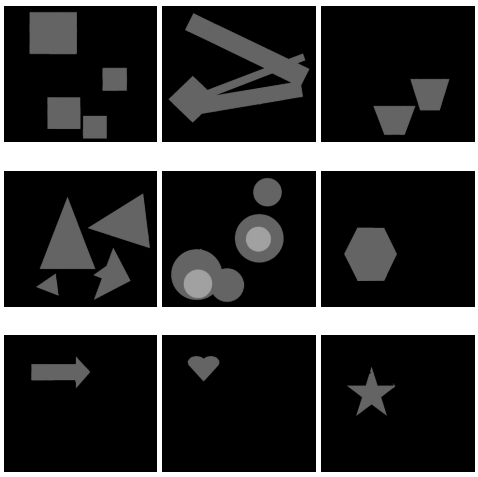


FIGURE 9 – Extraction des formes géometrique de la figure 8b. Chaque image correspond au resultat obtenu avec un graphe spécifique d'une forme donnée.

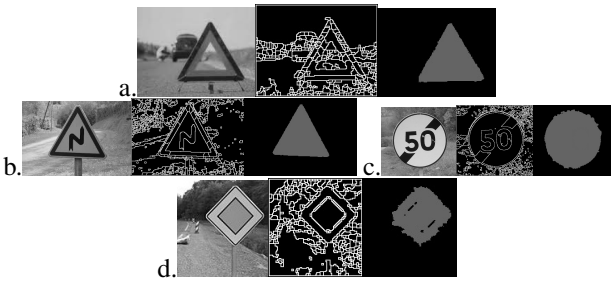


FIGURE 10 – Formes géométriques en environnement naturel. A chaque fois, l'image d'origine, l'image segmentée, et l'image contenant la forme reconnue, sont montrée. La forme superposée cache d'autres formes plus petites.

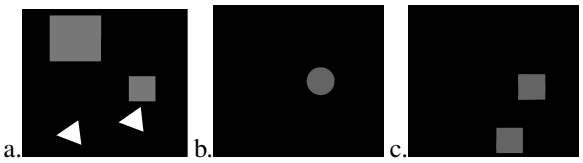


FIGURE 11 – Analyse de scènes de la figure 8.a. Carrés ayant un triangle en-dessous. b. Cercles qui se trouvent à l'intérieur d'un autre cercle et qui partagent le même centre. c. Carrés avec la même taille.

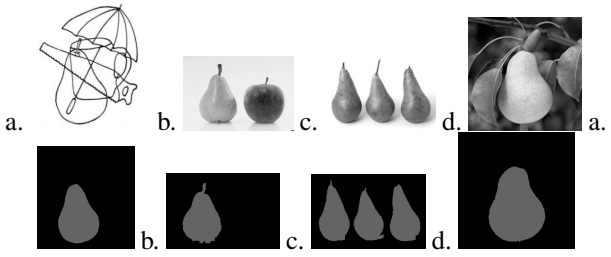


FIGURE 12 – En haut :Image originale de poires. En bas : Images interprétées

Bien que ce ne soit pas le but de cet article de montrer dans quelle mesure nous pouvons décrire des scènes, on peut noter que des relations spatiales, mais aussi des relations conceptuelles plus complexes (taille relative et position relative), peuvent être exprimées pour retrouver un objet.

5.2 Reconnaissance d'objets avec des parties ne pouvant pas être définies par une équation connue

Le but de cet article est de montrer que des formes dont les contours sont décrits entièrement par un ensemble de courbes définies par une équation peuvent être identifiées de manière sélective, et il est souvent possible d'approximer de nombreuses formes par un ensemble de ces courbes. Toutefois, cette contrainte est parfois trop forte. Par exemple, la partie supérieure d'une forme de coeur n'est pas strictement définie par une équation et peut être dessinée avec de nombreuses variations. Un moyen de contraindre une telle courbe est de veiller à ce que la partie des régions composant la courbe définisse une chaîne de segments ayant un changement de pente monotone. Notre méthode a pu détecter les courbes formant le contour d'un coeur (voir la 8ème image de la Fig. 9). La forme d'une poire, entre aussi dans cette catégorie et peut être décrite par un graphe simple, car cette forme est composée de parties monotones. Notre approche a été testée avec des images contenant des poires pour voir si elle peut être étendue à des formes qui sont moins contraintes. La première image issue d'un test visuel neuropsychologique (celui de la figure 8). Les deuxième et troisième images contiennent des fruits (poires et pommes) sur un fond uniforme et la dernière contient une poire dans un environnement naturel. Les images ont été segmentées avec l'algorithme de détection des lignes de partage des eaux. Cette segmentation fournit l'ensemble des régions à traiter par l'algorithme HAC_{BC}. Il est important de noter que le résultat de cette étape doit être une sur-segmentation. La sous-segmentation empêche la détection de certains objets. Ces images contenaient entre 40 et 575 régions et les poires étaient constituées de 11 à 210 régions. Dans chaque cas, les poires ont été correctement détectées et le graphe modèle permet la distinction entre une pomme et une poire (Voir Fig. 12) et entre une poire et d'autres formes qui se chevauchent. Toutes les poires ont été détectées avec le même graphe et les mêmes valeurs de paramètres, bien que la taille des poires varie de 1 à 17. Contrairement aux formes géométriques, la sélectivité n'est pas garantie pour la reconnaissance de ces formes. Cependant, le formalisme présenté pour la description et la gestion des contraintes est assez puissant pour être utilisé avec succès dans un contexte plus large que celui des formes géométriques.

©AFIA 2016

6 Conclusion

Les extensions proposées au cadre des PSC offrent la possibilité de contraindre plus sélectivement les régions segmentées ou les primitives extraites. On peut ajouter à ce qui est présenté ici la possibilité de combiner les contraintes dans des expressions logiques [17] qui constitue une façon supplémentaire de décrire des objets de façon plus adaptée et précise. L'avancement conceptuel proposé ici permet d'élargir l'utilisation des PSC dans le domaine de la reconnaissance d'objets. Cette approche augmente les chances de trouver des solutions partielles au problème ouvert de l'interprétation d'image. L'utilisation des PSC dans le cadre de notre formalisme pour représenter des contraintes peut être un outil utile pour l'interprétation des images et ceci pour deux raisons en particulier :
1) Le même cadre permet la reconnaissance des formes, l'analyse de scène, mais également un raisonnement sur des problèmes sans rapport avec les images, comme la crypto-arithmétique, la planification de réunions ou la résolution de grilles de Sudoku. La possibilité d'avoir un même algorithme pour résoudre des problèmes très divers est assez attrayant, ou du moins intellectuellement satisfaisant. De plus, il est conforme à des hypothèses concernant la représentation symbolique dans le cerveau humain, qui sont soutenus par des données expérimentales [20].
2) La possibilité de travailler sur une représentation explicite (verbale) de la connaissance correspond mieux à la façon de penser de certaines personnes. Par exemple, dans les livres médicaux d'anatomie, la description des organes correspond à la description par graphe que nous utilisons.

Références

[1] A. Andreopoulos and J. K. Tsotsos, "50 years of object recognition : Direction forward," *Computer Vision and Image Understanding* **117**, pp. 827–891, 2013.

[2] A.Rosenfeld, R. Hummel, and S. Zucker, "Scene labeling by relaxation operations," *IEE trans. Systems, Man., Cybernet.* **6**, pp. 420–433, 1976.

[3] A. Mackworth and E. Freuder, "The complexity of some polynomial network consistency algorithms for constraint satisfaction problems," *Artificial Intelligence* **25**, pp. 65–74, 1985.

[4] J. Mulder, A. Mackworth, and W. Havens, "knowledge structuring and constraint satisfaction : mapsee approach," *IEEE Transaction on P.A.M.I.* **10**, pp. 866–879, 1988.

[5] R. Mohr and G. Masini, "Good old discrete relaxation," *Proceedings ECAI-88* , pp. 651–656, 1988.

[6] P. V. Hentenryck, Y. Deville, and C. Teng, "A generic arc-consistency algorithm and its specializations," *Artificial Intelligence* **57**(2), pp. 291–321, 1992.

[7] E. Freuder and R. Wallace, "Partial constraint satisfaction," *Artificial Intelligence* **58**, pp. 21–70, 1992.

[8] C. Bessière, "Arc-consistency and arc-consistency again," *Artificial intelligence* **65**, pp. 179–190, 1994.

[9] M. Cooper, P. G. Jeavons, and A. Z. Salamon, "Generalizing constraint satisfaction on trees : Hybrid tractability and variable elimination," *Artificial Intelligence* **174**, pp. 570–584, 2010.

[10] J. Benmouffek, Y. Belaid, A. Belaid, and L. Minacelli, "Rer : un systéme de reconnaissance d'empreintes de rats," *In proceedings of 8iéme congrés AFCET : Reconnaisance des formes et intelligence artificielle* , 1991.

[11] J. Mahonney and M. Fromherz, "Interpreting sloppy stick figures by graph rectification and constraint-based matching," *LNCS* **2390**, pp. 222–235, 2002.

[12] O. Nempont, J. Atif, and E. A. I. Bloch, "Structure segmentation and recognition in images guided by structural constraint propagation," *Proceeding of the 2008 conference on ECAI 2008 : 18th European Conference on Artificial Intelligence* , pp. 621–625, 2008.

[13] K. Rothaus, X. Jiang, and P. Rhiem :, "Separation of the retinal vascular graph in arteries and veins based upon structural knowledge.," *Image Vision Comput.* **27**(7), pp. 864–875, 2009.

[14] D. Waltz, "Understanding line drawing of scenes with shadows," *Psychology of computer vision* , pp. 19–91, 1975.

[15] C. Hudelot, J. Atif, and I. Bloch, "Ontologies de relations spatiales floues pour l'interprétation d'images," *Rencontres francophones sur la logique floue et ses applications, LFA 2006, Toulouse, France* , pp. 363–370, 2006.

[16] A. Deruyver and Y. Hodé, "Constraint satisfaction problem with bilevel constraint : application to interpretation of over segmented images," *Artificial Intelligence* **93**, pp. 321–335, 1997.

[17] A. Deruyver and Y. Hodé, "Qualitative spatial relationships for image interpretation by using a conceptual graph," *Image and Vision Computing* **27**, pp. 876–886, 2009.

[18] R. Mohr and T. Henderson, "Arc and path consistency revisited," *Artificial Intelligence* **28**, pp. 225–233, 1986.

[19] S. Beucher and F. Meyer, "The morphological approach to segmentation : the watershed transform," *in : E.R. Dougherty (Ed.), Mathematical Morphology in Image Processing, Marcel Dekker, New York* , pp. 433–481, 1993.

[20] D. Landy and R. Goldtone, "Formal notations are diagrams : evidence from a production task.," *Mem Cognit.* **35**(8), pp. 2033–2040, 2007.

©AFIA 2016

Simuler des erreurs de communication au sein d'une équipe d'agents virtuels en situation de crise

L. Huguet[1,2] N.Sabouret[2] D.Lourdeaux[1]

[1] Sorbonne universités, Université de technologie de Compiègne, CNRS, Heudiasyc UMR 7253, 60203 Compiègne Cedex
[2] Limsi, CNRS, Univ. Paris Sud, Université Paris Saclay, F – 91405, Orsay

lauriane.huguet@hds.utc.fr

Résumé

Dans le contexte de la formation de leaders d'équipe médicale, nous présentons un modèle de communication qui permet de reproduire des erreurs au sein d'une équipe d'agents virtuels. Ce modèle est élaboré à partir des travaux du domaine des systèmes multiagents et de la théorie des actes de langage, et d'un corpus de dialogues collectés sur le terrain lors de séances de formation. Notre modèle permet de simuler quatre types d'erreurs de communication (malentendu, mauvaise interprétation, incompréhension et non-réponse) introduites à différentes étapes du cycle de communication.

Mots clefs

Intelligence Artificielle, Environnement virtuel d'Entraînement, Système multiagent, Communication, Stress, Travail d'équipe

Abstract

In the context of training medical team leaders, we present a multiagent communication model that can produce errors in a team of agents. This model is built from existing work from the literature in multiagent systems and speech act theory, but also from a corpus of dialogues collected during actual field training for medical teams. Our model supports four types of communication errors (misunderstanding, misinterpretation, non-understanding and absence of answer) that appear at different stages of the communication process.

Key Words

Artificial Intelligence, Virtual Environment for training, Multiagent Systems, Communication, Stress, Teamwork

1 Introduction

Le métier de secouriste est en train d'évoluer : les interventions, aussi bien en milieu urbain avec des populations civiles que dans le contexte militaire, se déroulent souvent en terrain non sécurisé ou avec un afflux de victimes trop important par rapport aux ressources disponibles. Ces situations sont donc sources de stress [Lazarus and Folkman, 1984] et donc plus propices aux erreurs, comme l'ont montré [Driskell and Salas, 2013]. Pour gérer ce stress, il est nécessaire d'être préparé pour faire face à différentes situations « exceptionnelles », de manière à ce qu'un certain nombre de situations imprévues [Hollnagel, 2004] ne soient pas des situations impensées mais des situations possibles, du même ordre que celles auxquelles on a déjà été confronté en théorie ou en pratique.

C'est pourquoi, dans le contexte de la formation des équipes de secouristes, les organismes comme la Brigade de Sapeurs Pompiers de Paris ou l'École du Val de Grâce réalisent des simulations « grandeur nature ». Ces formations requièrent l'intervention d'un grand nombre d'opérateurs et mobilisent beaucoup de matériel. Elles ne peuvent donc pas être multipliées à l'infini. Pour palier ce problème, le projet VICTEAMS [1] a pour objectif de proposer un environnement virtuel d'entraînement dans lequel l'utilisateur interagit avec une équipe d'agents virtuels secouristes *autonomes*, implémentée à l'aide d'un système multiagent. Ce type d'approche en environnement virtuel permet non seulement d'augmenter la fréquence des formations mais aussi de confronter les apprenants à des situations que l'on ne peut pas reproduire en simulation réelle. Dans le projet VICTEAMS, nous ne nous intéressons pas à la formation aux gestes techniques : nous travaillons sur la formation des compétences non-techniques, c'est-à-dire les compétences cognitives, sociales et les ressources personnelles qui complètent les compétences techniques d'une personne et contribuent à la sécurité et à une meilleure efficacité dans l'exécution de la tâche [Flin et al., 2008]. En effet, des études [Flin et al., 2009] ont montré que plus de 70% des erreurs médicales sont dues à des erreurs liées aux

1. VIrtual Characters for team Training : Emotional, Adaptative, Motivated and Social. https ://victeams.hds.utc.fr/

©AFIA 2016

FIGURE 1 – Premier aperçu de l'environnement virtuel du projet VICTEAMS, développé par Reviatech.

compétences non-techniques et plus particulièrement à la communication au sein de l'équipe médicale.
Dans ce contexte de formation, nous proposons un modèle de communication capable de reproduire dans le simulateur des erreurs comme il s'en produit au sein d'une équipe de véritables secouristes. Pour cela, nous allons déterminer les différentes erreurs à reproduire et à quelles étapes les introduire. Par exemple, nous souhaitons que nos agents puissent ne pas communiquer une information ou ne pas la transmettre au moment opportun ou encore mal interpréter le message qu'ils reçoivent.
La prochaine section présente une brève revue de la littérature qui met en évidence les modèles d'erreurs possibles. Nous présenterons ensuite notre modèle de communication intégrant des erreurs de communication (section 3) puis une évaluation préliminaire fondée sur un questionnaire (section 4).

2 Travaux connexes

Pour notre étude, nous avons été amenés à étudier plusieurs domaines de recherche autour de la communication, les théories de la communication en traitement de l'information et en sciences du langage d'une part et le traitement informatique des communications d'autre part.

2.1 Les théories de la communication

L'un des premiers modèles formels de la communication vient de Shannon [Shannon and Weaver, 1949] qui propose un modèle mathématique de la communication en traitement de l'information. Pour lui un message est encodé puis envoyé par un certain canal à un destinataire qui le décode. Pour garantir l'intégrité du message il est donc nécessaire d'avoir un canal de transmission non bruité et un codage de l'information partagé entre émetteur et récepteur. Ces éléments sont intéressants pour comprendre où l'on peut introduire des erreurs de communication : au niveau de l'émetteur (encodage), au niveau de l'environnement qui véhicule le message et au niveau du récepteur qui décode le message.
À l'issue de cette dernière étape, c'est-à-dire à la réception du message, on retrouve les trois types d'erreur définis par Mac Roy [McRoy, 1998].

1. Incompréhension (non-understanding) : le message reçu ne fait pas sens et le sens ne peut pas être réparé.
2. Mauvaise interprétation (misinterpretation) : le message a du sens mais est en désaccord avec les connaissances du récepteur.
3. Malentendu (misunderstanding) : le récepteur pense avoir compris le message qu'il reçoit mais ce qu'il comprend est différent de ce que voulait dire le locuteur.

À partir de l'étude d'un corpus vidéo collecté avec des médecins militaires, on a pu observer ces différents types d'erreurs. Dans le premier cas, l'erreur sur le message n'est pas sémantique, le message est trop dégradé pour être accepté (par exemple, un hélicoptère passe au moment où l'opérateur annonce le temps restant avant l'évacuation). Le récepteur est donc obligé de demander de répéter l'information.
Dans le deuxième cas, le message pose un problème sémantique au récepteur parce qu'il entre en conflit avec ses connaissances. Par exemple, lorsque le médecin coordinateur demande à l'infirmier comment va le bras de la victime et que l'infirmier ne comprend pas la question. Il n'avait pas eu l'information d'une douleur dans le bras du patient et s'était focalisé sur les autres traumatismes portés à sa connaissance.
Enfin dans le troisième cas, l'erreur n'est généralement pas visible immédiatement. Le récepteur pense avoir compris le message mais sa compréhension est différente de celle de l'émetteur. Il est même parfois possible de ne pas s'en rendre compte. Par exemple, dans l'une de nos vidéos, le médecin dit « on lui fait une coniotomie ? » à son infirmier qui le comprend non pas comme une question mais comme un ordre et répond simplement « oui ». Cette erreur n'a été détectée que lors du débriefing.
Ce dernier type d'erreur est intéressant, car il montre qu'un message peut être compris de différentes manières par les interlocuteurs. Le modèle carré de Schulz Von Thun [Schulz von Thun, 1981] donne un cadre intéressant pour conceptualiser ce phénomène. Il part du principe qu'un message porte toujours quatre composantes : un fait, une information sur l'émetteur, une information sur la relation entre l'émetteur et le récepteur et un appel à agir. Ces quatre composantes seraient toujours présentes mais de manière plus ou moins accentuée et plus ou moins intentionnelle. Ce modèle donne une explication pour les erreurs de type malentendu : d'après [St Pierre et al., 2008], les erreurs se produisent lorsque le récepteur et l'émetteur ne donnent pas la même importance aux différentes composantes du message. L'idée qu'un message comporte plusieurs interprétations possibles est une idée fondamentale pour notre modèle. Cependant, il nous a paru difficile de trouver exactement quatre significations correspondant aux quatre composantes définies par le modèle carré. C'est pourquoi dans notre modèle, nous autorisons un nombre quelconque de significations.

©AFIA 2016

2.2 Les modèles informatiques

L'étude des théories de la communication nous a permis de mettre en valeur un certain nombre de possibilités pour introduire des erreurs dans les communications. Afin d'opérationnaliser ces éléments, il faut maintenant s'intéresser à ce qui est fait en informatique, et en particulier dans les systèmes multiagents.

Génération de messages. Les travaux en informatique reposent sur la théorie des actes de langage développée par Austin [Austin, 1975] et Searle [Searle, 1969]. Dans ce modèle, on distingue le locutoire (la forme du message en langage naturel), l'illocutoire (le sens du message envoyé) et le perlocutoire (l'effet du message sur le recepteur). Pour décrire les phénomènes illocutoire et perlocutoire, un message est formé à partir d'un performatif qui indique le but de la communication, par exemple « Informer » ou « Ordonner » et un contenu qui permet de définir le sujet de la communication.

Dans les systèmes multiagents, c'est la norme FIPA [2] qui est la plus répandue. Elle propose, pour qu'une communication soit réussie, que l'illocutoire et le perlocutoire ne soient pas différenciés. C'est-à-dire qu'il n'y a pas d'erreur de communication possible à ce niveau, le message envoyé est bien le message reçu. De plus, la norme FIPA définit des protocoles de communication qui contraignent l'agencement des messages pouvant être reçus et la manière de les interpréter. Le but est donc de minimiser les erreurs.

C'est le cas aussi des systèmes de dialogue qui s'intéressent à générer un énoncé pertinent dans le contexte de la conversation que ce soit par planification réactive [Rich and Sidner, 1998] ou par initiative mixte [Ferguson and Allen, 1998]. Obtenir une bonne communication dans le cadre de la communication humain-agents dans une environnement virtuel est déjà une difficulté en soi car il faut supportertous les types d'interactions humain-agent ou agent-agent et que tous les messages soient interprétables sans perdre en liberté et en expressivité [Barange, 2015].

Optimiser la communication dans le but d'une coopération efficace a donc été le principal point d'intérêt de la communauté. Notre travail cherche au contraire à introduire des erreurs dans la communication. Dans le but de sensibiliser l'utilisateur aux conséquences des erreurs de communication, ces erreurs doivent être générées de manière opportune et explicable.

Traitement des erreurs de communication. Certains travaux en traitement automatique des langues [Shin et al., 2002] se sont intéressés à l'étude d'erreurs de communication, et plus particulièrement aux erreurs syntaxiques. Les modèles obtenus sont essentiellement statistiques (ils portent sur des taux d'erreur au niveau lexical ou syntaxique), et ne s'intéressent généralement pas au contexte de l'interaction.

2. http ://www.fipa.org/repository/aclspecs.html

Or la prise en compte du contexte est importante dans notre modèle pour comprendre les erreurs au niveau sémantique. Par exemple, une erreur classique observée sur le terrain est d'échanger les termes « morphine » et « adrénaline ». Ce sont des termes sémantiquement proches car ce sont tous les deux des termes médicaux, désignant des produits pouvant être injectés et fréquemment utilisés par les secouristes. Cependant leurs utilisations sont contraires et la confusion des deux a de lourdes conséquences sur les victimes. La confusion qui semble lexicale est en fait une confusion au niveau sémantique liée au contexte médical. C'est pourquoi nous proposons un modèle sémantique capable de reproduire ce type d'erreurs de communication.

D'autre part, dans les systèmes de dialogue, il existe des travaux proposant des algorithmes de gestion des communication pour réparer les erreurs de type « mauvaise interprétation » [Ardissono et al., 1997]. Cependant, ils ne proposent pas, à notre connaissance, de modèle pour produire ces erreurs à réparer.

Dans la suite, nous allons exposer une première version de notre modèle de communication qui permet d'introduire des erreurs de communication à la génération, lors du transport et à la réception du message.

3 Proposition

3.1 Principe général

Nous nous plaçons dans un environnement virtuel peuplé d'agents autonomes interagissant entre eux et avec l'avatar de l'utilisateur à l'aide de messages structurés (voir section 3.2). Chaque agent est caractérisé par un nom, un rôle (leader, opérateur de transmission…) et un statut (médecin, infirmier…) permettant de l'interpeller. Ces différents éléments permettent de garder une certaine ambiguité quant au destinataire réel du message.

L'agent dispose aussi de variables d'état. Parmi ces variables, nous nous intéresserons plus particulièrement à sa position dans l'environnement virtuel et à la direction dans laquelle l'agent regarde, dont nous verrons l'utilisation dans la section 3.3. Nous utilisons aussi une variable de « stress » qui prend sa valeur dans $[0, 1]$ et qui permettra de contrôler le taux d'erreur (voir section 3.5).

$$\text{Agent} = \langle\ \text{Nom, rôle, statut, position, orientation,}\ \text{seuil_stress, stress}\ \rangle$$

Comme cela se fait classiquement en système multiagent et comme nous l'illustrons sur la figure 2, chaque agent qui souhaite communiquer avec les autres agents ou l'avatar construit un message (cf **(1.)**, figure 2), le dépose dans l'environnement qui le transmet aux agents (cf **(2.)**, figure 2). Le transport des messages se fait au sein d'un environnement actif [Platon et al., 2005] permettant l'altération des messages et la distribution à d'autres agents que le destinataire initial. Enfin, chaque agent choisit d'ignorer ou de traiter les messages qu'il reçoit (cf **(3.)**, figure 2).

©AFIA 2016

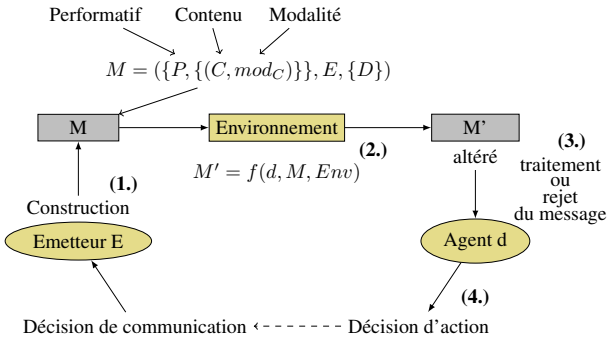


FIGURE 2 – Schéma récapitulatif du modèle

3.2 Structure des messages

Acte illocutoire. La structure d'un message est fondée sur la théorie des actes de langage [Searle, 1969] : elle comprend l'émetteur, les destinataires et les informations de l'acte illucotoire sous la forme $(performatif, contenu)$. Les destinataires sont définis par leur nom, leur rôle ou leur statut. Il est aussi possible de ne pas préciser de destinataire dans un message (il est alors lancé à la volée). Les performatifs, qui caractérisent le traitement associé au message, ne sont pas contraints : ils peuvent par exemple être choisis parmi ceux définis par les normes FIPA ou DIT++ [Bunt, 2009], mais il est possible de définir d'autres performatifs propres à l'application considérée. Pour le moment, nous utilisons les quatre performatifs décrits sur la figure 3. Les contenus sont formalisés des requêtes SPARQL [Prud'Hommeaux et al., 2008] ou des ensembles de triplets RDF [Klyne and Carroll, 2006].
À titre d'exemple, informer de l'état d'un patient se fait à l'aide du performatif INFORMER et d'un ensemble de triplets RDF :

```
INFORMER { (patient-3 has-etat _:e),
           (_:e rdf:type Etat),
           (_:e cardio ...),
           ... }
```

Demander l'heure prévue d'évacuation se fait à l'aide de l'acte illocutoire :

```
DEMANDER ?x { (?x rdf:type Date),
              (e1 rdf:type Evacuation),
              (e1 has-date ?x) }
```

Actes perlocutoires. Pour simuler les interprétations multiples portées par un message, l'acte illocutoire est complété par d'autres couples (performatif, contenu), symbolisant les actes perlocutoires possibles. Par exemple, pour le locutoire « on intube ? » qui porte une ambiguïté de performatif, nous aurons (au moins) deux actes de langage : l'ordre avec le performatif ORDONNER et la question avec le performatif QUESTIONNER. De même, pour une erreur d'interprétation de l'objet (« mets-le ici » où « le » peut désigner un objet différent pour l'émetteur et le destinataire), nous aurons plusieurs actes de langage, chacun avec un contenu différent.

Performatif	**Utilisation**
Informer	Transmettre une information
Questionner	S'enquérir d'une information
Ordonner	Donner un ordre
Interpeller	Attirer l'attention d'un agent

FIGURE 3 – Performatifs utilisés dans VICTEAMS.

Nous ne présentons pas ici de mécanisme automatique pour générer ces actes perlocutoires, car c'est un problème difficile que nous n'avons pas encore abordé. Dans la version actuelle du système, ces actes sont définis manuellement et à l'avance pour les différents *types* de mauvaise compréhension se produisant en situation réelle. Ces situations ont été extraites d'un corpus de communications recueillies lors de formations à l'École du Val de Grâce. Nous avons pu identifier deux catégories d'erreurs. La première, souvent liée au contexte, porte sur le contenu sémantique, comme dans l'exemple de confusion entre adrénaline et morphine. Celui-ci se produit si l'on parle d'adrénaline alors qu'il y a une seringue de morphine déjà prête à être utilisée par exemple. C'est donc la proximité physique de l'objet ou le fait qu'on vienne de s'en servir qui crée la confusion.
L'autre catégorie d'erreur observée porte sur les performatifs (prendre une question pour une affirmation ou l'inverse). Nous avons observé que ce type d'erreur est fortement liée au locutoire (par exemple, poser une question avec une tournure affirmative : « on y va ? »). Nous avons donc fait le choix de proposer systématiquement le même contenu avec les deux autres performatifs de la liste (INFORMER, QUESTIONNER, ORDONNER), le cas du performatif Interpeller étant un peu à part (il s'agit juste d'attirer l'attention d'un agent).

Modalités. En complément des éléments classiques présentés ci-dessus, chaque partie du message est associée à une modalité. Par exemple, considérons un secouriste qui dit à son collègue « Passe-moi le ... [geste désignant la trousse de secours] ». Le message est complet mais il est composé d'une première partie verbale et d'une seconde partie visuelle. Le contenu est donc découpé en un ensemble de couples (c, m) où c est un ensemble de triplets RDF, sous-ensemble du contenu global du message, et m la modalité qui y est associée.

Ainsi, dans notre modèle de communication, un message M est constitué d'un ensemble de significations S, d'un émetteur E, et d'un ensemble de destinataires D :

$$M = (\{\mathrm{S}\}, E, \{D\}) \ .$$

Les destinataires D sont désignés soit par leur noms, par

©AFIA 2016

exemple l'agent Toto :

```
D = {(_:a rdf:agent Agent),
     (_:a has-name Toto)} ;
```

soit par leur fonction, par exemple tous les infirmiers :

```
D = {(_:a rdf:agent Agent),
     (_:a has-status Infirmier)} .
```

Une signification S correspond à un acte perlocutoire. Elle est constituée d'un performatif P et d'un ensemble de couples (contenu, modalité) :

$$S = (P, \{(\text{contenu, modalité})\}) \ .$$

Ce message ainsi formé est alors envoyé dans l'environnement.

3.3 Transport et altération des messages

L'environnement a une double fonction dans notre modèle : il détermine quels agents vont recevoir chaque message et avec quel degré de dégradation. La dégradation du message peut varier suivant le canal de transmission ou la modalité utilisée et peut être différente entre les différents récepteurs du message.

Si les contenus présents dans un message passent par deux canaux de transmission différents, on aura la possibilité, dans le cas où un seul canal de transmission est rompu, de ne supprimer du message que les contenus passant par ce canal. Par exemple, si le secouriste dit à son collègue « Passe-moi le ... [geste désignant la trousse de secours] » alors que le collègue est en train de regarder le patient, il ne verra peut-être pas la partie visuelle du message et recevra donc « Passe-moi le » qui est un message incomplet.

Les personnes susceptibles de percevoir un message sont celles vérifiant les conditions de transmission pour les modalités envisagées. Pour chaque agent d existant, l'environnement détermine si cet agent peut recevoir le message M envoyé par l'émetteur en fonction des modalités utilisées et de l'état des canaux de transmission pour chaque modalité $\{etat_{mod}\}$. Il construit alors un message M' altéré à partir de M :

$$M' = \texttt{percu}(M, d, \{etat_{mod}\})$$

Par exemple si la modalité est visuelle, le message sera transmis aux personnes positionnées au bon endroit et regardant dans la bonne direction ; si la modalité est vocale, le message sera transmis aux agents suffisamment proches et qui ne sont pas affectés par des bruits parasites.

Les agents qui reçoivent le message ne sont donc pas forcément dans la liste des destinataires du message, car l'environnement envoie un message, plus ou moins altéré, à tous les agents qui satisfont aux conditions de transmission d'au moins une des modalités utilisées. Cela permet de reproduire le phénomène d'écoute flottante (*overhearing*) [Balbo et al., 2004, Platon et al., 2005]. Ce phénomène permet aux agents de répondre à une question qui ne leur est pas destinée mais dont ils pensent connaître la réponse ou d'inférer des choses sur les conversations entre leurs collègues car ils en ont ainsi connaissance, ce qui ne serait pas le cas si le message n'était transmis qu'aux destinataires intentionnels.

3.4 Reception des messages

Chaque agent à portée du message reçoit alors son message M' plus ou moins altéré et décide s'il l'ignore ou s'il le traite. S'il décide de le traiter, il lui faut ensuite choisir un acte perlocutoire, c'est-à-dire l'une des significations contenues dans le message M', et agir en fonction, comme indiqué au point **(4.)** de la figure 2.

Le tableau de la figure 4 résume ainsi les différentes étapes du modèle avec les types d'erreurs générées à chaque étape et les fonctions proposées pour ces étapes. Dans la suite nous détaillons chacune de ces fonctions.

étape	type d'erreur	commentaire
(1.)	malentendu	génération des significations alternatives
(2.)	incompréhension	Algorithme 1
(3.)	non réponse	Algorithme 2
(4.)	mauvaise interprétation	Algorithme 2

FIGURE 4 – Récapitulatif des erreurs traitées par le modèle

3.5 Implémentation

Pour mettre en œuvre les mécanismes présentés ci-dessus, nous avons défini trois fonctions essentielles, comme illustré sur la figure 5 :

- Pour la distribution et l'altération du message par l'environnement, nous avons utilisé une fonction `perception` (*cf :* Algorithme 1) qui prend en argument un message et un agent et détermine si l'agent reçoit ou non le message, et avec quelle(s) altération(s).
- La fonction `niveau_degradation` permet à un agent de déterminer le taux de dégradation d'un message reçu.
- La fonction `acceptation` permet à cet agent, en fonction du niveau de dégradation et de son propre état interne (en particulier le niveau de stress), de décider s'il doit traiter le message, demander qu'on le lui ré-envoie ou simplement l'ignorer.

Ces trois fonctions sont détaillées dans les paragraphes suivants.

La fonction de perception du message et d'altération par l'environnement. Tous les messages, indépendamment des destinataires explicites, sont potentiellement transmis à tous les agents, conformément au principe d'écoute flottante. Ainsi, pour message M et pour chaque agent a, l'environnement construit un message altéré $M'(a)$ qui définit le message reçu par l'agent a.

©AFIA 2016

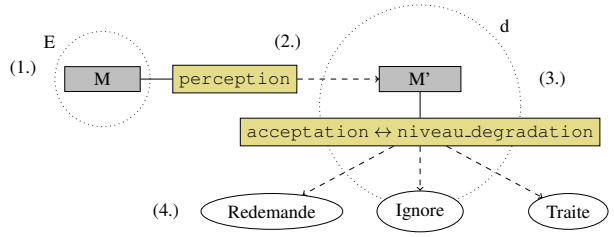


FIGURE 5 – Étapes du traitement d'un message

Deux cas particuliers sont à considérer. Si le message n'a pu être transmis par aucun canal entre l'émetteur et a alors il n'est pas distribué à l'agent a. L'autre cas est celui où le message a pu être transmis mais avec un contenu vide. Par exemple, imaginons deux secouristes qui se voient mais utilisent une radio pour communiquer. Si l'un des secouristes voit l'autre parler dans la radio et que celle-ci est en panne, il recevra un message mais de contenu vide.

Algorithme 1 `perception`(msg, agent)

```
pour signification ∈ msg.significations faire
  pour (contenu, modalite) ∈ signification faire
    si canal_rompu(emetteur, agent, modalite) alors
      Remplacer contenu par X
    fin si
  fin pour
fin pour
```

La fonction `canal_rompu` prend en entrée deux agents et une modalité et renvoie `True` si le canal véhiculant la modalité entre les deux agents est rompu.
Lorsqu'une partie du message ne peut être perçue par l'agent qui reçoit le message, nous avons fait le choix de remplacer les contenus correspondants par un mot clé X. Cela nous permet de repérer les parties endommagées du message pour le calcul du taux de dégradation présenté ci-après.

Le calcul de la dégradation. Dans la version actuelle du modèle, le calcul de la dégradation du message est un simple calcul du taux de contenu manquant. Il n'y a donc pas d'information sémantique sur la dégradation du message. Comme expliqué dans la section précédente, le calcul est rendu possible par le remplacement des contenus non perceptibles par le mot-clé X.

$$\texttt{niveau_degradation}(msg) = \frac{\text{nombre de X}}{\text{nombre de triplets}}$$

Ce calcul de dégradation n'est bien évidemment pas optimal car il est possible que l'altération se produise sur des informations superflues et que la partie perçue soit suffisante pour traiter le message. Cependant, nous voulions que dans une situation non stressée nos agents adoptent un comportement prudent. À terme, nous souhaitons définir un mécanisme plus complet pour calculer le taux de dégradation qui prend en compte le contexte.

La fonction de décision : quand faire répéter. En s'appuyant sur une revue de littérature en sciences humaines, il apparaît que plus l'on est stressé plus l'attention se focalise [Easterbrook, 1959] (on parle de *tunnelisation*). Notre fonction d'acceptation des messages se décompose en deux parties. Si le niveau de stress de l'agent est supérieur à un seuil propre à l'agent alors il y a une probabilité α élevée qu'il ignore le message reçu (le paramètre α devant être calibré). Sinon, nous nous appuyons sur l'affirmation de Driskell et Salas [Driskell and Salas, 2013] qui expliquent que plus les agents sont stressés, plus ils sont enclins à faire des erreurs (c'est-à-dire le contraire de ce qu'ils devraient faire en situation optimale). Ainsi, lorsque l'agent est stressé (mais sous le seuil de tunnelisation), il devrait faire plus répéter les bons messages que les mauvais. Lorsque l'agent a un stress nul, la probabilité de faire répéter un message est proportionnelle à son taux de dégradation.
Ce point nous amène donc à choisir une fonction dite en « selle de cheval » de la figure 6. Grâce à une interpolation et en tenant compte des contraintes énoncées précédemment, nous avons obtenu l'équation :

$$\texttt{redemande}(s, d) = 0.625s^2 - 1.55sd + 0.125s + 0.95d + 0.04,$$

où s est le stress et d la dégradation.
La fonction de décision `acceptation` (*cf :* Algorithme 2), indique, en fonction du message reçu et de son état de stress, si l'agent ignore le message qu'il reçoit, s'il demande au locuteur de répéter ou s'il décide d'agir en fonction de ce qu'il peut inférer.

Algorithme 2 `acceptation`(agent, msg)

```
si stress > seuil ET rand() < α alors
  retourner "ignore"
sinon
  msg' = percu(msg, agent)
  degradation = niveau_degradation(msg')
  r = redemande(stress, degradation)
  p' = rand()
  si p' < r alors
    retourner "redemande"
  sinon
    retourner "infère"
  fin si
fin si
```

4 Évaluation préliminaire

La génération de significations alternatives décrites précédemment devrait permettre de générer un grand nombre de possibilités. Il faut ensuite en sélectionner une ou deux à envoyer à l'agent pour éviter que les messages transmis dans le système ne soient trop lourds. De plus, les différentes solutions proposées ne sont pas de même difficulté technique.

©AFIA 2016

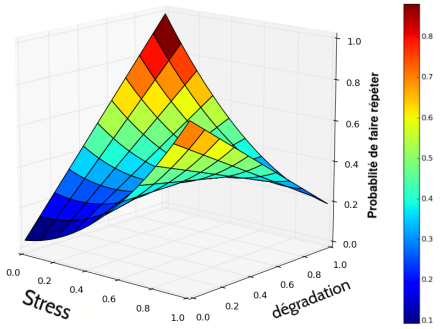


FIGURE 6 – Allure de la courbe de la fonction `redemande`(stress, dégradation)

Nous avons donc voulu confirmer les erreurs les plus fréquentes et les plus probables dans notre environnement virtuel avec les biais liés à la communication par messages écrits et non via synthèse vocale. Nous avons pour cela fait une étude subjective, à l'aide d'un questionnaire.

Le questionnaire proposait des messages en langage naturel mais écrits sans ponctuation pour ne pas contraindre l'interprétation des participants. Il était alors demandé de noter (de 0 à 4) les différentes significations alternatives proposées pour ce message en essayant de répondre assez rapidement. Les participants avaient aussi la possibilité de proposer une autre signification s'ils avaient compris le message d'une manière non proposée. Les messages étaient écrits et non audios car c'est le type d'intéraction qui sera proposé dans un premier temps pour le prototype du projet VICTEAMS dans lequel s'inscrit ce travail.

Ce questionnaire a été rempli par 16 participants (non-experts) bien que ce ne soit pas suffisant pour faire une étude statistique, cela nous a permis de faire ressortir certains points. Premièrement, il y a très peu de consensus sur les réponses apportées par les participants comme on peut le voir sur la figure 7. Cela milite en faveur du fait de maintenir plusieurs significations alternatives.

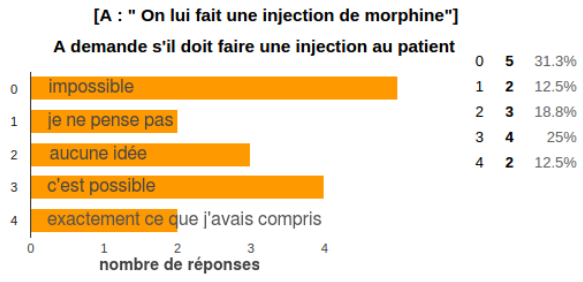


FIGURE 7 – Cas où les participants ne semblent pas d'accord entre eux - malentendu

Ensuite, nous avons pu confirmer que l'erreur sémantique (« adrénaline » à la place de « morphine ») est fréquente (figure 8). C'est pourquoi nous voulons, à terme, générer ce type de significations alternatives grâce à des mesures de distances sémantiques dans des ontologies de domaine [Mazuel and Sabouret, 2008].

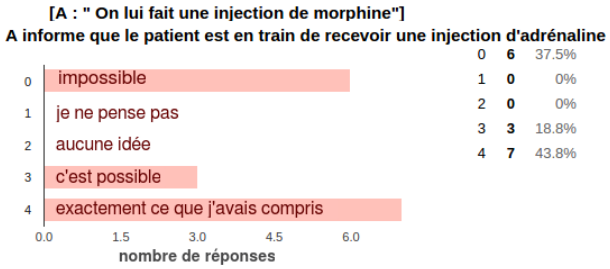


FIGURE 8 – Confirmation d'erreur de type « un mot pour un autre »

Enfin, nous observons sur certaines significations un écart important entre les participants, c'est-à-dire que certaines significations sont totalement rejetées (notées 0) par une majorité de participants et parallèlement jugées totalement plausibles (notées 4) par d'autres (figure 9). On peut donc imaginer que si ces participants se retrouvaient à travailler ensemble, ils auraient plus de mal à se comprendre.

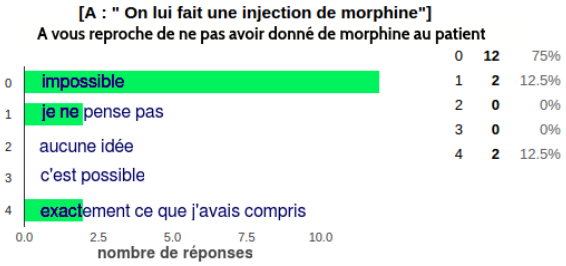


FIGURE 9 – Significations qui semblent réfutées

5 Conclusion et perspectives

Notre modèle permet d'introduire des erreurs de communication à quatre étapes différentes dans le cycle de traitement d'un message :

1. Lors de la création du message, des significations alternatives sont produites pour produire des malentendus. Nous avons proposé des significations alternatives potentielles d'un message en nous appuyant sur des relevés de conversations *in situ*.
2. Lors du transport du message par l'environnement, celui-ci l'altère en fonction des canaux de communication utilisés entre l'émetteur et chacun des récepteurs. L'altération est donc différente pour chaque récepteur du message. Nous pouvons ainsi simuler des erreurs d'incompréhension.
3. À la réception du message par un agent récepteur, nous reproduisons des erreurs de non-réponse :

©AFIA 2016

l'agent décide s'il ignore le message ou non.

4. Au traitement du message, si l'agent récepteur n'a pas ignoré le message qu'il a reçu, il décide s'il agit ou s'il demande à l'émetteur de répéter. Lorsqu'il décide d'agir, il peut alors y avoir des erreurs de mauvaise interprétation.

Ce modèle apporte deux originalités : d'une part l'utilisation de significations alternatives (actes perlocutoires) et d'autre part la prise en compte de la multi-modalité dans l'interaction.
La principale limite du modèle actuel est que les significations alternatives ne se font pas automatiquement. Nous nous sommes appuyés sur un questionnaire pour valider, de manière subjective et avec un nombre restreint de sujets, les erreurs que nous avons introduites dans le modèle. Nous souhaitons à terme automatiser la génération des significations alternatives et prendre en compte la probabilité d'apparition de ces significations, en nous appuyant sur les données des questionnaires.

Remerciements

Les auteurs remercient la Région Picardie et le Fond européen de développement régional (FEDER) 2014/2020 pour le co-financement de ce travail. Celui-ci a été réalisé dans le cadre du projet VICTEAMS (ANR-14-CE24-0027), financé par l'Agence National de la Recherche (ANR) et la Direction Générale de l'Armement (DGA) et labelisé par le Labex MS2T.

Références

[Ardissono et al., 1997] Ardissono, L., Boella, G., and Damiano, R. (1997). A computational model of misunderstandings in agent communication. In *AI* IA 97 : Advances in Artificial Intelligence*, pages 48–59. Springer.

[Austin, 1975] Austin, J. L. (1975). *How to do things with words*. Oxford university press.

[Balbo et al., 2004] Balbo, F., Maudet, N., and Saunier, J. (2004). Interactions opportunistes par l'écoute flottante. *Actes des Journées Francophones sur les Systèmes Multi-Agents*, 2004 :265–270.

[Barange, 2015] Barange, M. (2015). *Task-Oriented Communicative Capabilities of Agents in Collaborative Virtual Environments for Training*. PhD thesis, Université de Bretagne Occidentale (UBO), Brest.

[Bunt, 2009] Bunt, H. (2009). The dit++ taxonomy for functional dialogue markup. In *AAMAS 2009 Workshop, Towards a Standard Markup Language for Embodied Dialogue Acts*, pages 13–24.

[Driskell and Salas, 2013] Driskell, J. E. and Salas, E. (2013). *Stress and human performance*. Psychology Press.

[Easterbrook, 1959] Easterbrook, J. A. (1959). The effect of emotion on cue utilization and the organization of behavior. *Psychological review*, 66(3) :183.

[Ferguson and Allen, 1998] Ferguson, G. and Allen, J. F. (1998). Trips : An integrated intelligent problem-solving assistant. In *Proceedings of the Fifteenth National Conference on AI (AAAI-98)*.

[Flin et al., 2009] Flin, R., Winter, J., and Cakil Sarac, M. R. (2009). Human factors in patient safety : review of topics and tools. *Bulletin of the World Health Organisation*, page 2.

[Flin et al., 2008] Flin, R. H., O'Connor, P., and Crichton, M. (2008). *Safety at the sharp end : a guide to non-technical skills*. Ashgate Publishing, Ltd.

[Hollnagel, 2004] Hollnagel, E. (2004). *Barriers and accident prevention*. Ashgate.

[Klyne and Carroll, 2006] Klyne, G. and Carroll, J. J. (2006). Resource description framework (rdf) : Concepts and abstract syntax.

[Lazarus and Folkman, 1984] Lazarus, R. S. and Folkman, S. (1984). Stress. *Appraisal, and coping*, 725.

[Mazuel and Sabouret, 2008] Mazuel, L. and Sabouret, N. (2008). *Semantic relatedness measure using object properties in an ontology*. Springer.

[McRoy, 1998] McRoy, S. (1998). Preface : Detecting, repairing and preventing human—machine miscommunication. *International Journal of Human-Computer Studies*, 48(5) :547–552.

[Platon et al., 2005] Platon, E., Sabouret, N., and Honiden, S. (2005). Overhearing and direct interactions : Point of view of an active environment. In *Environments for multi-agent systems II*, pages 121–138. Springer.

[Prud'Hommeaux et al., 2008] Prud'Hommeaux, E., Seaborne, A., et al. (2008). Sparql query language for rdf. *W3C recommendation*, 15.

[Rich and Sidner, 1998] Rich, C. and Sidner, C. L. (1998). Collagen : A collaboration manager for software interface agents. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 8(3-4) :315–350.

[Schulz von Thun, 1981] Schulz von Thun, F. (1981). Miteinander reden : Störungen und klärungen [talk with each other]. *Rowohlt, Reinbek*.

[Searle, 1969] Searle, J. R. (1969). *Speech acts : An essay in the philosophy of language*. Cambridge university press.

[Shannon and Weaver, 1949] Shannon, C. E. and Weaver, W. (1949). The mathematical theory of communication. University of Illinois Press.

[Shin et al., 2002] Shin, J., Narayanan, S. S., Gerber, L., Kazemzadeh, A., Byrd, D., et al. (2002). Analysis of user behavior under error conditions in spoken dialogs. In *INTERSPEECH*.

[St Pierre et al., 2008] St Pierre, M., Hofinger, G., and Buerschaper, C. (2008). *Crisis Management in Acute Care Settings*. Springer Berlin Heidelberg.

©AFIA 2016

Systèmes multi-agents pour l'ordonnancement de ressources dans les systèmes embarqués

Tifaine Inguère [1 2] Valérie Renault [1] Florent Carlier [1] Pascal Leroux [1]

[1] Université du Maine [2] STMicroelectronics
Avenue O. Messiaen, 72085 Le Mans, France
prénom.nom@univ-lemans.fr

Résumé

Dans les systèmes embarqués, les ressources processeurs sont limitées. L'ordonnancement de ressources, dans ce domaine, correspond à une allocation de temps processeur à un processus. On parle donc de la répartition de ressources de calcul pour l'exécution d'un programme. Par ailleurs, en terme d'ordonnancement, les systèmes multi-agents apportent de nombreux algorithmes prédictifs leur permettant de rester adaptés à l'évolution de leur environnement. Ces méthodes ont beaucoup été étudiées en simulation et ont démontré une efficacité en terme de modularité. Les systèmes multi-agents pourraient apporter cette caractéristique aux systèmes embarqués en étant utilisés comme méthode de gestion interne au processeur. Dans cet article, nous présentons un cas de traitement d'images pour proposer une adaptation des modèles multi-agents à un système embarqué.

Mots Clef

Systèmes multi-agents, Systèmes Embarqués, Ordonnancement, Gestion des Ressources

Abstract

In embedded systems, processor resources are limited. Resources scheduling, in this field, refers to a processor's time assignment to a process. So we are talking about sharing calculation's resources out for programs execution. Otherwise, in terms of scheduling, multi-agents systems bring numerous predictive algorithms allowing them to stay compatible with the evolution of their environment. These methods have been mostly studied in simulation and have demonstrated an efficiency in terms of modularity. Multi-agents systems could bring this feature to embedded systems by being used as a processor's intern management's method. During this article, we will present a case of image processing to propose an adaptation of multi-agents models to an embedded system.

Keywords

Multi-agents systems, embedded systems, Scheduling, Resources management

1 Introduction

Les systèmes multi-agents (SMA) correspondent à des systèmes constitués de plusieurs entités autonomes, appelées agents, situées dans un même environnement et interagissant pour répondre à des requêtes ou objectifs précis [9]. De par leur nature distribuée, les SMA s'adaptent à des problèmes complexes et ouverts qui nécessitent des algorithmes prédictifs. Par le biais de leurs multiples interactions, ils font émerger des réponses sous forme d'algorithmes ou de méthodes qui s'adaptent au mieux à leur environnement. Cette méthodologie est largement utilisée dans de nombreux domaines tels que la simulation et la robotique distribuée [9].

L'étude d'un déploiement des algorithmes agents dans le monde des systèmes embarqués fait l'objet de quelques travaux et se concentre sur des études de cas. Les agents permettent le calcul d'une solution algorithmique adaptée à un problème posé. Cette solution est ensuite appliquée au système embarqué. Par exemple, si on cherche une façon optimale de gérer les feux d'un carrefour, les agents simuleront de nombreux cas pour calculer le plus efficace. Une fois cette solution trouvée, les feux de signalisation seront programmés pour y correspondre. Nous souhaiterions pour notre part nous focaliser sur le potentiel des interactions des agents. Cela nous permet de répartir des ressources en temps-réels de façon appropriée dans des cas classiques et face à des situations imprévues ou nouvelles. En proposant d'intégrer un système multi-agents au plus bas niveau de l'embarqué, nous voulons donc nous confronter à des contraintes matérielles réelles. Nous faisons l'hypothèse que cette intégration apporterait un nouvel intérêt aux agents en leur attribuant un aspect temps-réel dur. Le temps-réel dur correspond au non respect d'une échéance considéré comme une défaillance pouvant entraîner des conséquences sur la fiabilité du système.

La contrainte principale que nous rencontrerons est directement liée à ce contexte matériel : une limitation en terme de ressources. Dans le cadre de l'embarqué, les ressources représentent les apports matériels nécessaires à la réalisation d'un processus. On peut ainsi citer la mémoire, les processeurs ou encore la bande passante du bus pour les transferts d'information. La notion de la distribution des tâches

 ©AFIA 2016

représente la gestion de ces ressources limitées, afin de les répartir entre les processus en attente. Ce type de répartition fait appel à des mécaniques d'ordonnancement. Ce terme correspond au fait d'ordonner des tâches à exécuter selon certaines contraintes, la tâche représentant ici le traitement du processus. Face à ces limitations en terme de ressources, nous avons choisi le contexte applicatif de la distribution de tâche (processus) dans un cadre multimédia : le traitement d'images. Notre premier SMA embarqué repose sur la réalisation d'un zoom sur une image. Ce domaine représente des consommations importantes de ressources et nous considérons que c'est un bon moyen d'illustrer notre problématique afin d'ordonnancer tout type de tâche. En effet, le rendu étant très visuel, un problème de limitation dû à de mauvais choix d'ordonnancement sera flagrant. Notre finalité reste la répartition des ressources du système entre différentes tâches. Pour la réalisation du système multi-agents, nous partirons de modèles existants et validés en simulation pour les adapter à notre contexte matériel.

Pour présenter ce travail de recherche, nous commencerons par détailler le positionnement de nos travaux vis-à-vis de l'existant à travers un état de l'art à la fois dans le domaine des systèmes multi-agents et dans celui des systèmes embarqués. Par la suite nous détaillerons nos objectifs afin de mieux cerner notre problématique et nos hypothèses. Enfin, nous expliquerons l'avancée de nos travaux et nos perspectives.

2 Etat de l'art

2.1 Les systèmes embarqués et la gestion des ressources

Les systèmes embarqués, à l'instar des ordinateurs, sont des unités de calcul puissantes capables de réaliser des tâches déterminées. Cependant, ce milieu est soumis à de bien plus fortes contraintes matérielles du fait de son intégration à l'environnement de l'utilisateur, impliquant des ressources limitées [26]. On peut ainsi nommer les limites en terme de ressources de calcul, de mémoire, d'énergie, de bande-passante du bus ou encore des ports d'entrée-sortie. Les processus doivent partager l'accès à chacune de ces ressources, ce qui demande des algorithmes particuliers pour gérer les conflits d'intérêts pouvant en découler. Au cours de ce travail de recherche, nous nous concentrerons sur les ressources de calcul (on quantifiera ces ressources en terme de *MIPS*, Million d'instructions par seconde, unité de mesure des processeurs). L'importance d'allier la programmation au niveau logiciel à ces contraintes matérielles est donc de taille pour assurer la qualité et la performance du système embarqué. Pourtant ce besoin n'est pas encore parfaitement intégré [7] et de nombreuses options restent donc à explorer. C'est d'autant plus une notion importante qu'avec le contexte de l'embarqué, diminuer les ressources nécessaires tout en gardant les mêmes performances grâce à une gestion plus intelligente permettrait un gain en terme d'espace pour l'architecture matérielle. Des recherches sont menées sur des algorithmes d'ordonnancement et de répartition des ressources. À l'origine, l'algorithme utilisé était FIFO (*First In First Out*) suivant un principe d'ordonnancement extrêmement basique. Il s'agit d'un système de file d'attente représentant un ordre d'exécution classique. Il pénalise les processus à bref temps d'exécution, ou prioritaires. Ces problèmes furent un point de départ pour réaliser de nouveaux algorithmes d'ordonnancement. Aujourd'hui, les algorithmes les plus utilisés pour la gestion de ressources de calcul sont listés dans la TABLE 1. On y résume leurs différences en fonction des caractéristiques suivantes :

- **Est-ce un algorithme préemptif (Pr)** : Cette notion indique qu'après avoir lancé l'exécution d'un processus pour un temps donné, cette exécution peut être interrompue en faveur d'un autre processus plus prioritaire arrivé après.
- **La priorité est-elle donnée en fonction de l'ordre d'arrivée (Ar)** : Ce principe représente simplement la base en terme de priorité. Les processus sont traités dans l'ordre de leur arrivée.
- **La priorité est-elle donnée en fonction de la durée d'exécution du processus (Du)** : Si le processus est court et donc rapide à achever, la priorité lui est donnée.
- **Le processus est-il priorisé si son échéance est plus proche (Ec)** : Ici on considère la date limite à laquelle le processus doit avoir été exécuté. Celui qui a le moins de temps restant est priorisé.
- **Le temps d'exécution est-il réparti de façon égale entre tous les processus en attente (Eg)** : Selon ce principe, on passe la main au processus suivant au bout d'un temps donné et ce temps sera le même pour tous. Plus il y a de processus en attente, plus le temps est court.

Tous ces algorithmes, bien qu'efficaces, ont tous le même inconvénient : ils se basent sur des caractéristiques fixes, sans prendre en compte une éventuelle évolution de leur environnement ou des besoins utilisateurs. Le système ne peut donc pas s'adapter à un contexte changeant en prenant en compte plusieurs indicateurs de façon modulable.

Une autre solution, utilisée en industrie, est d'allouer de façon fixe une partie des ressources pour chaque type de processus. Ainsi, un sous-processeur sera dédié au décodage d'images, un autre à la gestion du son, etc. Cette pratique globale prévoit une marge pour éviter les blocages. Cela implique que lorsque la ressource n'est pas utilisée au maximum par le processus, elle ne pourra pas pour autant être mise à disposition de processus différents qui pourraient en avoir l'utilité. La capacité de l'appareil n'est donc généralement pas pleinement exploitée. La contrainte matérielle ne permet pas non plus de trop grande liberté au niveau de l'utilisation des ressources. En effet, une certaine unité de calcul matérielle (*hardware*) a besoin de microprogrammes (*firmware*) décrivant ses fonctionnalités pour une

©AFIA 2016

Algorithme	Description	Pr	Ar	Du	Ec	Eg
Round-Robin [24]	Répartition du temps de calcul d'un processeur de façon équitable entre les processus en attente		X			X
RTF	(*Rate-Monotonic Scheduling*) Priorité aux tâches de plus faibles périodes.			X		
EDF [16]	(*Earliest Deadline First*) Priorité plus importante aux tâches ayant la plus proche échéance.				X	
SJF	(*Shortest Job First*) Peut être implémenté en préemptif. Favorise les tâches courtes	X		X		
CFS [3]	(*Completely Fair Scheduler*) Arbre bicolore représentant une chronologie des futures exécutions des tâches : l'arbre trie les processus selon le manque de temps d'exécution par rapport au temps alloué par un processeur multi-tâches idéal	X		X	X	

TABLE 1 – Liste des algorithmes classiques d'ordonnancement utilisés dans les systèmes embarqués, selon les caractéristiques suivantes : Préemptif (*Pr*), ordre d'Arrivée (*Ar*), Durée du processus (*Du*), Echéance proche (*Ec*), Répartition égale(*Eg*)

utilisation logicielle (*software*). Pour réaliser une tâche logicielle, il faut donc que l'unité possède le *firmware* adapté et non pas seulement la puissance de calcul. Pour qu'une unité puisse réaliser plusieurs types de tâches très différentes, il faudrait que le firmware soit beaucoup plus important. Cela n'est pas possible dans le cadre des ressources limitées des systèmes embarqués. Un autre moyen serait qu'il soit réécrit à chaque fois, mais cela consommerait énormément de ressources en terme de temps processeur et en terme de mémoire. Des recherches ont été effectuées dans ce sens, tel que THINK, un modèle pour une architecture du système flexible [8]. Ces travaux se sont concentrés sur la proposition de cette méthode et ces avantages. Avant de pouvoir l'implémenter dans l'industrie, il faudrait cependant d'autres études se focalisant sur les inconvénients cités précédemment. Cependant, sans aller jusqu'à reprogrammer chaque firmware, plusieurs unités de calcul sont déjà capables d'effectuer les mêmes tâches. Si on prend l'exemple du domaine du multimédia, on remarquera ainsi qu'une image peut être aussi bien décodée par le CPU que par un driver hardware. Chacun possédant son avantage : le décodage hardware est beaucoup plus rapide, mais ne décode qu'une image à la fois alors que le CPU permet un décodage de plusieurs images en parallèle. Face à ce choix, la démarche généralement employée est ici encore une allocation fixe des ressources en fonction du codec utilisé, mais pas du contexte de décodage, n'exploitant donc pas les différents avantages de ces unités de calculs. L'implémentation d'un algorithme dynamique de distribution des tâches adapté aux ressources de calculs disponibles et au contexte du processus pourrait donc représenter un gain en performance. En effet, le service serait plus rapide, ou le même service consommerait moins de ressources. Pour ne pas impacter la fluidité du sytème, nous posons l'hypothèse qu'un algorithme distribué est plus efficace pour des choix intelligents d'ordonnancement en adaptant les méthodologies des systèmes multi-agents.

2.2 Les systèmes multi-agents dans le domaine de l'embarqué

Il existe de nombreuses méthodologies pour les systèmes multi-agents. La plupart de ces méthodes sont centrées sur l'analyse des tâches des agents ou sur leur rôle et organisation. Nous nous détacherons des comportements et des rôles de l'agent pour cibler une approche alternative proposée dans la littérature et basée sur les interactions et l'analyse de l'environnement. Nous aurons, en effet, des agents répartis à différents niveaux de l'architecture matérielle, voir sur différents supports matériels, avec différentes contraintes. Il est donc important que nous restions indépendants de la construction de l'agent pour garantir une meilleure intégration. De plus, dans les algorithmiques agents nous nous intéressons aux décisions qui peuvent découler des interactions, et sommes donc focalisés sur cette partie.

La méthode IODA (*Interaction-Oriented Design of Agent simulations*) va dans ce sens, basant sa construction sur les interactions entre agents et leur spécification [14]. La méthode AEIO (Agent Environnement Interaction Organisation) privilégie également une description explicite des interactions et de l'environnement de l'agent plutôt que ce dernier [6]. Bien que plus ancien, ce concept est ré-utilisé par la méthode DIAMOND (*Decentralized Iterative Multiagent Open Networks Design*) qui l'utilise pour son étape d'analyse tout en l'étendant également à une analyse du matériel. En effet, cette méthode permet également de couvrir la réalisation d'une architecture matérielle car elle se présente comme une méthode de co-design dédiée à la réalisation d'un système embarqué et à l'intégration d'un systèmes multi-agents dans ce système embarqué[12]. Dans le cadre de nos recherches, nous n'aurons pas à réaliser un système embarqué car nous nous concentrons sur l'adaptation d'un système multi-agent à une architecture matérielle existante. Mais l'analyse proposée par cette méthode nous permettra de mieux nous y adapter. Aussi, nous envisageons d'utiliser le modèle IODA pour la réalisation de

©AFIA 2016

notre système multi-agents, tout en intégrant des parties de la méthode DIAMOND.

Les recherches proposant d'utiliser des SMA dans un contexte matériel sont généralement à un haut niveau d'abstraction, comme, par exemple, dans le domaine de la régulation intelligente de l'énergie dans les bâtiments. On peut ainsi citer le cas de SAVES (*Sustainable multi-agents building application for optimizing Various objectives including Energy and Satisfaction*) où les agents gèrent des données de la maison et simulent des possibilités pour baisser le niveau de consommation de l'énergie. Une fois une solution établie, l'agent la propose à l'utilisateur pour qu'il puisse ou non la mettre en pratique. L'agent n'est pas directement intégré au coeur du matériel pour appliquer lui même des solutions [27]. Dans le même contexte, BLEMS (*Building-Level Energy Management Systems*), un système multi-agents, utilise des capteurs de présence pour estimer le nombre de personnes dans une pièce et proposer une adaptation de la consommation d'énergie en fonction de cette information. Encore une fois le SMA est utilisé pour de la prédiction et de la simulation. Il n'est pas intégré au coeur des composants matériels pour interagir directement avec eux [18]. La prédiction de l'activité et de la présence humaine est également le cas d'étude du modèle SMACH, une plateforme multi-agents qui permet de simuler les déplacements d'une famille dans sa maison, dans la vie de tous les jours. Les résultats des simulations ont ici pour but d'être analysés afin de proposer des solutions pour réduire la consommation d'énergie de façon intelligente, mais sans s'intégrer directement dans les systèmes embarqués du foyer [10]. Ces recherches sont similaires car elles cherchent à optimiser une consommation de ressources, ici énergétiques. Nous nous distinguons en souhaitant nous concentrer sur l'architecture interne du matériel et donc aller plus loin en terme de système embarqué. Des recherches parlent de la possibilité d'intégrer des SMA au coeur de la machine, en se concentrant sur une approche théorique développant une formalisation des méthodes à appliquer. Ainsi, le projet MAHAS (*Multi-Agents Home Automation System*) pour la régulation de l'énergie dans le bâtiment propose une intégration dans les systèmes embarqués à travers les appareils consommateurs et producteurs d'énergie [2]. Depuis ce projet s'est poursuivi sous forme de simulation avec la plateforme JADE [1]. Dans le contexte du multimédia, des travaux ont été effectués pour mettre en place un SMA sur plateforme JADE pour réaliser un service de jeu multi-joueur. Leur objectif est de pouvoir s'intégrer aussi bien sur un ordinateur que sur un téléphone mobile ou une télévision interactive. Le projet reste cependant concentré sur les agents logiciels [23]. Pour notre part, nous nous confronterons aux problématiques apportées par une adaptation à une distribution de tâches en interne de notre carte embarquée. Ces problématiques peuvent être liées aux notions de limitation de bande passante, de contraintes mémoire ou de synchronisation pour les interactions des agents. Des travaux sur des algorithmes d'intégration des SMA dans le matériel via l'exploitation du processeur graphique (GPU - *Graphical Processing Unit*) ont également été menés. Ils cherchent à atteindre une vitesse de calcul plus importante pour les résultats des simulations, avec des gains exponentiels. Ainsi des travaux de recherche sur la plateforme de simulation multi-agents TurtleKit3 lui permette d'intégrer le GPGPU (*General-Purpose Computing on Graphics Processing Units*) pour faire des simulations à très grande échelle [19]. Le projet IDP a également été amélioré pour que l'algorithme tourne sur GPU afin d'en augmenter les performances de calcul [22]. Ces travaux restent concentrés sur l'obtention d'un meilleur rendement de calcul. Ici, l'utilisation de l'embarqué sert de nouvelle ressource de calcul. Nous souhaitons nous distinguer en faisant du système embarqué un objectif plus qu'un moyen.

Nous nous focaliserons donc sur l'intégration d'un système multi-agents au coeur d'un environnement matériel réel, afin de gérer la distribution des tâches internes du processeur.

2.3 Les systèmes multi-agents et l'ordonnancement

Dans le domaine des systèmes multi-agents, par métaphore sociale, le terme d'ordonnancement se traduit par les mécaniques de coordination, de coopération et de négociation des agents. En effet, leurs fortes capacités d'adaptations et d'auto-organisation leur permet de former des systèmes hétérogènes évolutifs qui se construisent essentiellement au travers des interactions entre les différents agents. Ces dernières nécessitent de la coordination [25], qui doit tenir compte du temps de réaction de chaque agent et du temps de décision [20]. C'est d'autant plus vrai dans le cadre d'une intégration dans l'embarqué, où la notion de temps est réelle.

Régulièrement, du fait de l'exécution simultanée des actions des différents agents, des conflits peuvent émerger. Les agents doivent alors procéder à des interactions pour résoudre le problème posé tout en satisfaisant l'intérêt respectif de chaque agent. Les conflits émergent dans le cas où ces intérêts sont incompatibles et on cherche à travers l'interaction a obtenir un accord mutuellement acceptable. On parle alors de négociation [11]. Dans le cadre de buts compatibles, mais de capacités de chaque agent insuffisantes pour les réaliser, ou de ressources limitées, les interactions pourront servir à une coordination des agents pour atteindre leur but ensemble. On parle alors de coopération [5]. Les protocoles et algorithmes de négociation et de coopération des systèmes multi-agents permettent de faire émerger une solution optimale en peu de temps, dans des environnements dynamiques. Ils sont donc exploités dans de nombreux travaux de recherches couvrant diverses domaines. Nous en présentons quelques-uns ci-dessous. Dans le domaine de la robotique, le protocole de négociation Contract Net est utilisé pour répartir les tâches entre différents robots [15]. Son utilisation en environnement réel montre malgré

©AFIA 2016

tout certaines limites, entraînant des recherches pour améliorer ce protocole de négociation et le rendre plus dynamique [13]. Ces méthodes sont également étudiées pour être utilisées dans le domaine de la sécurité pour la répartition optimale des tâches. Dans le cas d'une situation d'urgence due à un désastre et où l'adaptation dynamique aux changements de l'environnement est primordiale [21], ou bien pour réaliser des planifications complexes optimales pour éviter des collisions dans le transport maritime [17]. Les méthodes d'interactions des SMA sont développées et améliorées pour pouvoir être adaptées à de nombreux domaines. Leurs algorithmes de prise de décision ont démontré leur efficacité et leur modularité. Nous pensons donc que ces méthodes peuvent également s'adapter au contexte de l'embarqué pour fournir des solutions en termes de distribution des tâches.

3 Problématique

Les systèmes multi-agents permettent de faire émerger un comportement "intelligent" de multiples entités simples. De plus, leur démarche décentralisée les rend particulièrement adaptés à une intégration sur un système embarqué. À travers ce projet de recherche, nous cherchons à concevoir un système multi-agents intégré directement au coeur de l'embarqué, afin de gérer les ressources de calcul en les distribuant de façon dynamique et adaptée aux variations des besoins utilisateurs. Nos agents définissent des processus gérant des tâches ou des ressources. En utilisant le contexte de la gestion de la distribution de tâches qui est une problématique importante du domaine des systèmes embarqués, nous souhaitons étudier l'intérêt d'une solution qu'apporterait un SMA avec ses modèles de négociation dynamiques et modulables. Pour réaliser une plateforme multi-agents ajustée à l'embarqué avec des solutions de communications inter-processus adaptées, nous sommes partis de normes multi-agents éprouvées. Ainsi, nous avons choisi pour base la norme FIPA (*Foundation for Intelligent Physical Agents*) proposant la mise en place de trois agents particuliers pour la gestion du système multi-agents : AMS, DF et ACC. AMS est le Système de Gestion d'Agents (*Agent Management System*). Il exerce le contrôle de supervision sur la plate-forme. DF est le Facilitateur d'Annuaire (*Directory Facilitator*). Il tient une liste des services actifs sur la plateforme et de chaque agent auquel ils sont reliés. Enfin, ACC, le Canal de Communication entre Agents (*Agent Communication Channel*), est l'agent qui fournit un service fiable et précis pour le routage des messages. Nous utiliserons la norme ACL (*Agent Communication Language*) pour l'encapsulation des messages à la base de la communication de nos agents. Ces normes sont utilisées par de nombreuses plateformes multi-agents, comme par exemple JADE et sont considérées comme des standards [4]. Le SMA sera lui modélisé en suivant le modèle IODA. Comme détaillé dans l'état de l'art, ce dernier se concentre sur les interactions du système. Il nous permet de rester indépendant du type d'agent et de son emplacement matériel. Cette indépendance nous permettra de formaliser le système, puis d'y intégrer nos agents à différents niveaux logiciels. Il permet également une grande modularité avec la possibilité d'ajouter de nouveaux types d'agents au système, ou encore d'avoir des agents sur différentes plateformes matérielles. Pour tester les différents algorithmes d'ordonnancement des systèmes multi-agents, nous nous placerons en comparaison avec les solutions existantes en terme de politique d'ordonnancement concernant la gestion des ressources dans l'embarqué et vis-à-vis des modèles de systèmes multi-agents existants en terme de négociation. Pour éprouver les contraintes impliquées par cet environnement réel, nous projetons d'intégrer les agents à un niveau logiciel dans un premier temps, puis de les faire "descendre" petit à petit au plus bas des couches matérielles. Afin de bien illustrer notre optique, nous allons présenter plus en détail le travail actuellement réalisé. Nous avons choisi un cas d'utilisation "gourmand" en terme de ressources et exigeant en terme de rendu : le traitement d'images.

4 Modèle d'interaction agent pour la gestion des ressources internes

4.1 Une architecture basée sur l'adaptation de modèles agents

À terme, notre plateforme sera placée au plus proche de la couche matérielle dans notre système embarqué. Nous adoptons donc une architecture modulaire qui s'adapte plus facilement à une architecture matérielle et permet d'assurer la portabilité du projet sur différentes cartes embarquées. Nous avons ainsi déterminé deux couches applicatives : la couche de communication qui regroupe les fonctionnalités relatives aux interactions inter-processus agents et la couche plateforme. Cette dernière est séparée en deux. Elle comporte une section comprenant une partie agent générique et le respect de la norme FIPA-ACL pour l'encapsulation des messages. La deuxième section comprend les trois agents de gestion AMS ACC et DF présentés précédemment. Ce découpage doit permettre une maintenance de l'ensemble simplifiée, ainsi qu'une validation des différentes fonctionnalités sans impact sur les autres.
Nous avons choisi de travailler avec le protocole de communication inter-processus D-Bus pour assurer les interactions entre les agents. Ce bus présente l'avantage de fonctionner en terme de messages plutôt que de flot de données. Ainsi, l'utilisateur peut directement envoyer le type de données qui lui convient le mieux plutôt que de s'adapter à la spécification du protocole de communication. De plus, il fonctionne en deux bus couvrant la partie logicielle (bus session) et la partie matérielle (bus système). Nous pourrons donc l'utiliser également dans les couches matérielles bas niveau. De part notre architecture modulaire, nous pourrions modifier ce choix de protocole à tout moment si besoin. Notre couche plateforme n'en serait aucunement modifiée. Les agents utiliseront donc ces différentes couches de façon transparente pour l'utilisateur.

©AFIA 2016

Cette architecture est représentée sur la FIGURE 1.

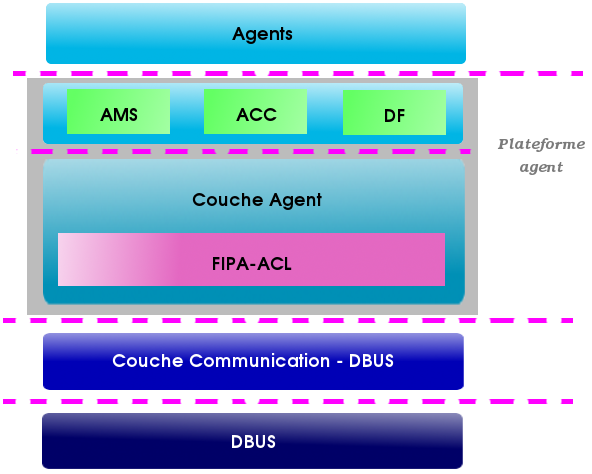


FIGURE 1 – L'architecture modulaire de notre plateforme

Dans le cadre d'un système embarqué, la communication se déroule en temps-réel et demande une synchronisation qui nécessite du traitement en parallèle. En effet, après l'envoi d'un message chaque agent attend une confirmation de la réception (*acknowledge receipt*). Cette confirmation doit se faire à la réception du message et non à la fin du traitement. Si le message demande une réponse, cette dernière fera l'objet d'un nouveau message. De plus, lorsqu'un agent effectue un traitement, il peut toujours recevoir des messages d'autres agents. Ces derniers doivent être enregistrés pour être traités plus tard, ils ne peuvent être ignorés, au risque d'entraîner un blocage des agents. Par conséquent, l'écoute des messages est une boucle parallèle. La réception d'un message génère une interruption pour permettre son enregistrement et le renvoi d'un accusé de réception. Cette interruption est aussi brève que possible. Certains agents proposent des services différents. Par exemple l'agent AMS peut aussi bien enregistrer un agent que demander à tous les agents de se terminer. Comme un traitement peut être plus long qu'un autre et encore une fois pour assurer une synchronisation la plus efficace possible, chaque service d'un agent est donc réalisé par un thread différent, gérant une file d'attente de requêtes spécifique. Pour éviter un problème de monopolisation du processeur nous avons inclut un système de mise en veille de nos threads en posant une condition d'attente sur les files de messages. Au moment de la réception d'un message, la fonction d'interruption envoie donc une notification au thread concerné lors de l'enregistrement d'un message pour le 'réveiller'. Dans le cadre de la thèse, nous réaliserons des tests en nous positionnant en comparaison avec des plateformes agents validées.

4.2 Cas d'étude : le traitement d'images

L'expérimentation de notre architecture repose sur un cas de traitement d'images : un zoom par interpolation de pixels. Pour déterminer les agents dont nous aurons besoin, nous suivons le modèle IODA. Ce dernier se base sur les interactions nécessaires au système pour déduire les entités agents à créer. D'après IODA, une interaction est définie comme un bloc d'action, impliquant un nombre fixe d'agents qui décrit quand et sous quelles conditions les agents vont interagir entre eux et avec leur environnement. Ce bloc est défini selon les caractéristiques listées ci-dessous :

- **Une condition de déclenchement** décrit implicitement le but de l'interaction,
- **Des pré-conditions** doivent être remplies pour initier l'interaction,
- **Les actions** correspondent aux modifications des agents et de l'environnement effectuées par cette interaction,
- **Le nombre d'agents** impliqués pour cette interaction,
- **Une liste de fonctions** réalisées par les différents agents impliqués.

Dans notre cas, on se concentre sur des interactions impliquant soit deux agents différents (cardinalité (1,1)), soit impliquant le même agent (cardinalité (1,0)). Pour déterminer de façon claire les interactions régissant un système multi-agent dans un cadre établi, IODA propose de réaliser une matrice récapitulative. On commence par déterminer une interaction du contexte. Dans notre cas de zoom sur une image par interpolation, une interaction pourra être ce calcul d'interpolation. On détermine ensuite une Source (S) et une Cible (C) pour cette interaction, en déterminant s'il s'agit d'une même unité. Dans notre cas, nous considérerons que le calcul d'interpolation sera réalisé par un agent distinct. On a donc déterminé que notre système aurait au moins deux agents : l'un réalisant ce calcul d'interpolation, l'autre en faisant la requête.

Dans le cas où l'on détermine que notre source et notre cible représentent le même agent, on représente la cible par "∅". Il s'agira alors des traitements internes de l'agent. En suivant ce procédé, nous construisons notre matrice des interactions, volontairement très simple pour ce premier cas. Elle est représentée en FIGURE 2. Elle fait ressortir trois types d'agents : l'agent Image (IM), l'agent Interpolation (INT) et l'agent Bords (BO).

S \ C	∅	IM	INT	BO
IM	+affiche +position +arrêt		+moyenne	+limites
INT	+arrêt			
BO	+arrêt			

FIGURE 2 – La matrice des interactions de notre SMA selon le modèle IODA

À partir de cette matrice, IODA nous propose de distinguer les conditions de déclenchement de ces interactions à tra-

©AFIA 2016

vers la distance entre deux agents, et la priorité. Ainsi, une interaction ne peut s'exécuter que si l'agent cible est à portée de l'agent source. De plus, dans le cas où plusieurs interactions devraient être déclenchées, seule celle possédant la plus haute priorité serait réalisée. Ces pré-requis sont représentatifs pour des SMA de simulation qui servent à démontrer des comportements sociaux. Dans notre contexte, nous adaptons cette méthode à des conditions de déclenchement plus appropriées à nos besoins. En effet, tous les agents présents dans le système étant reliés au bus de session D-Bus, ils sont tous à portée pour déclencher une interaction. On ne considérera donc pas la distance comme une condition d'exécution. La priorité pourra elle être conservée dans le cadre d'agents travaillant en parallèle afin de déterminer un point de départ aux interactions. Pour ce premier cas simpliste, nous suivons un ordre de résolution classique qui ne nécessite pas cette primauté.

Notre matrice est donc finalisée par la description de ces interactions qui ne nécessitent pour cet exemple pas de conditions de déclenchement. Nous pouvons donc passer à la dernière étape qui consiste à lister les actions impliquées par chaque interaction, puis à rédiger les fonctions correspondantes pour les agents sources et cibles.

À partir de cette matrice, on constate que notre agent Image est de nature complexe alors que les deux autres agents se contentent d'un traitement très simple sur demande. Ainsi, l'agent Image se charge de l'affichage d'une image et de récupérer la position de la souris lorsque l'utilisateur clique sur cette dernière. Une fois cette position enregistrée, il interroge l'agent Bords pour que ce dernier lui retourne les limites de la zone sur laquelle on va effectuer le zoom en fonction de la position de la souris. Une fois cette information obtenue, l'agent image va procéder au remplissage d'une nouvelle matrice de pixels à partir de l'ancienne, en interrogeant régulièrement l'agent Interpolation pour calculer les nouvelles valeurs à partir des anciennes. Actuellement, le calcul d'interpolation est réalisé par une moyenne entre deux points. Ce choix est réalisé en considération du fait que nous ne sommes ici pas intéressés par une réelle précision du résultat. Cependant nous pouvons tout à fait remplacer ce calcul par un autre plus complexe, ou même en proposer plusieurs. L'agent choisirait alors l'algorithme à appliquer en fonction des paramètres de l'image. Pour le moment, nous gardons ce premier cas volontairement très simple car il s'agit essentiellement de tester le fonctionnement de la plateforme. Nous préparons également un programme classique réalisant le même travail mais sans faire appel à un système multi-agents. Ce programme nous servira de repère pour comparer les deux méthodes. Pour nos tests, nous utilisons la photographie de Lena, élément servant de référence dans le domaine du traitement d'images.

5 Conclusion et Perspectives

En partant de la méthode IODA que nous avons adaptée, nous avons pu formaliser un premier système multi-agents intégré dans un système embarqué. Cette étape nous a permis d'ajuster les méthodologies de communication d'une plateforme agent suivant la norme FIPA-ACL à une architecture matérielle. Notre prochaine étape sera de complexifier notre exemple pour prendre en compte la parallèlisation des traitements. Cette nouvelle étape nous permettrait de nous pencher plus avant sur la formalisation des conditions de déclenchement décrites par IODA. La méthodologie IODA sera alors complètement adaptée à notre contexte embarqué, et nous pourrons nous pencher sur son utilisation pour interagir avec l'environnement matériel et ainsi interroger les processeurs pour distribuer directement les ressources de calcul. À partir de cette étape, nous formaliserons un environnement de test adapté à nos agents embarqués, prenant en compte à la fois les notions agents (complexité algorithmique, nombre de messages) et les notions embarquées (nombre de MIPS nécessaires, quantité mémoire consommée, temps de réponse). Ainsi, nous nous concentrerons bien sur des algorithmes de prise de décision agents pour gérer des ressources de calcul au sein d'un système embarqué.

Remerciements

Les travaux menés dans cet article bénéficient d'un financement de thèse CIFRE en partenariat entre le laboratoire Centre de Recherche en Education de Nantes (CREN) et l'entreprise STMicroelectronics Le Mans avec la collaboration de Stéphane Henry, Directeur Innovation et de Emmanuel Grandin, Architecte Système.

Références

[1] Shadi Abras, Christophe Kieny, Stéphane Ploix, and Frederic Wurtz. Mas architecture for energy management : Developing smart networks with jade platform. In *IEEE International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Applications*, Kuala Lumpur, Malaysia, 2013.

[2] Shadi Abras, Stéphane Ploix, Sylvie Pesty, and Mireille Jacomino. Apport d'une approche multi-agents pour la resolution d'un probleme de gestion de l'energie dans l'habitat. In *17emes Journees Francophones sur les Systemes Multi-Agents*, pages 110–116, Lyon, France, 2009. Cepadues.

[3] Tobias Beisel, Tobias Wiersema, Christian Plessl, and André Brinkmann. Cooperative multitasking for heterogeneous accelerators in the linux completely fair scheduler. *Application-Specific Systems, Architectures, and Processors (ASAP). IEEE Computer Society*, 2011.

[4] Fabio Bellifemine, Agostino Poggi, and Giovanni Rimassa. JADE - a FIPA-compliant agent framework. In *Proceedings of the Practical Applications of Intelligent Agents*, 1999.

[5] Federico Bergenti and Alessandro Ricci. Three approaches to the coordination of multiagent systems. *ACM Symposim on Applied computing*, 2002.

©AFIA 2016

[6] Yves Demazeau. From interactions to collective behaviour in agent-based systems. In *Proceedings of the 1st. European Conference on Cognitive Science. Saint-Malo*, pages 117–132, 1995.

[7] Umm e Habiba, Shoab Ahmed Khan, and Younus Javed. Gap analysis in software engineering process adoption in implementing high end embedded system design. *4th International Conference on Circuit, System and Simulation 2014, At UK*, pages 495–503, 2014.

[8] Jean-Philippe Fassino, Jean-Bernard Stefani, Julia Lawall, and Gilles Muller. Think : A software framework for component-based operating system kernels. *USENIX Annual Technical Conference, Monterey, California, USA*, 2002.

[9] Jacques Ferber. Les systèmes multi-agents : un aperçu général. *Technique et Science Informatiques*, pages 979–1012, 1997.

[10] Javier Gil-Quijano and Nicolas Sabouret. Prediction of humans' activity for learning the behaviors of electrical appliances in an intelligent ambiant environment. In *Proc. of the IEEE/WIC/ACM IAT'10*, page 283–286, 2010.

[11] Hamza Halioui. Spécification formelle de la négociation avec les sma. 2010.

[12] Jean-Paul Jamont and Michel Occello. Designing embedded collective systems : The diamond multiagent method. In *Proceedings of the 19th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence - Volume 02*, ICTAI '07, pages 91–94, Washington, DC, USA, 2007.

[13] Sandeep Kaur, Harjot Kaur, and Sumeet Kaur Sehra. Modification of contract net protocol(cnp) : A rule-updation approach. *international journal of advanced computer science and applications (IJACSA)*, 2013.

[14] Yoann Kubera, Philippe Mathieu, and Sébastien Picault. Ioda : An interaction-oriented approach for multi-agent based simulations. *Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 23(3) :303–343, 2011.

[15] Aleksis Liekna, Egons Lavendelis, and Arvids Grabovskis. Experimental analysis of contract net protocol in multi-robot task allocation. *Applied Computer Systems*, 13(1) :6–13, 2012.

[16] Chung Laung Liu and James W. Layland. Scheduling algorithms for multiprogramming in a hard-real-time environment. *Journal of the ACM*, 20(1) :46–61, 1973.

[17] Yuhong Liu, Chunsheng Yang, and Xuanmin Du. Multi-agent planning for ship collision avoidance. *Conference on Robotics, Automation and Mechatronics*, pages 549 – 554, 2008.

[18] Sunil Mamidi, Yu-Han Chang, and Rajiv Maheswaran. Improving building energy efficiency with a network of sensing, learning and prediction agents. In *Proceedings of the 11th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems - Volume 1*, AAMAS '12, pages 45–52, Richland, SC, 2012. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems.

[19] F. Michel. Intégration du calcul sur gpu dans la plateforme de simulation multi-agent générique turtlekit 3. In *Journée Francophone des Systèmes Multi-Agents*, 2013.

[20] Michael C. Mozer. Lessons from an adaptive home. pages 273–294. In D. Cook & R. Das (Eds.), Smart environments : Technologies, protocols, and applications, 2005.

[21] Reza Nourjou, Stephen F. Smith, Michinori Hatayama, and Pedro Szekely. Intelligent algorithm for assignment of agents to human strategy in centralized multi-agent coordination. *Journal of Software*, 9(10) :2586–2597, October 2014.

[22] Krzysztof Pawlowski, Karol Kurach, Kim Svensson, Sarvapali Ramchurn, Tomasz P. Michalak, and Talal Rahwan. Coalition structure generation with the graphics processing unit. In *Proceedings of the 2014 International Conference on Autonomous Agents and Multi-agent Systems*, AAMAS '14, pages 293–300, Richland, SC, 2014.

[23] Agostino Poggi. Developing multi-user online games with agents. *W. Trans. on Comp.*, 7(8) :1240–1249, August 2008.

[24] Rasmus V. Rasmussen and Michael A. Trick. Round robin scheduling - a survey. *European Journal of Operational Research*, 188 :617–636, 2008.

[25] Budhitama Subagdja and Ah-Hwee Tan. On coordinating pervasive persuasive agents. In *Proceedings of the 2014 International Conference on Autonomous Agents and Multi-agent Systems*, AAMAS '14, pages 1467–1468, Richland, SC, 2014. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems.

[26] Aneta Vulgarakis and Cristina Seceleanu. Embedded systems resources : Views on modeling and analysis. *2014 IEEE 38th Annual Computer Software and Applications Conference*, 0 :1321–1328, 2008.

[27] Jun young Kwak, Pradeep Varakantham, Rajiv Maheswaran, Milind Tambe, Farrokh Jazizadeh, Geoffrey Kavulya, Laura Klein, Burcin Becerik-Gerber, Timothy Hayes, and Wendy Wood. Saves : A sustainable multiagent application to conserve building energy considering occupants. In *Proceedings of the 11th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems - Volume 1*, AAMAS '12, pages 21–28, Richland, SC, 2012.

©AFIA 2016

Extraction interactive de règles d'adaptation à partir de feedback utilisateurs

Évaluation sur un robot compagnon adaptatif

Abir B. Karami[1] Karim Sehaba [2] Benoît Encelle [3]

[1] Université de Lille Nord de France, École des Mines de Douai, F-59500 Douai, France
[2] Université de Lyon 2, LIRIS, UMR CNRS 5205, F-69676, Lyon, France
[3] Université de Lyon 1, LIRIS, UMR CNRS 5205, F-69622, Lyon, France

abir.karami@mines-douai.fr, karim.sehaba@liris.cnrs.fr, benoit.encelle@liris.cnrs.fr

Résumé

Nos travaux s'inscrivent dans le cadre du projet FUI–RoboPopuli qui vise à développer un robot compagnon doté d'un comportement social et adaptatif. Plus précisément, nous cherchons à équiper ce robot d'une capacité à adapter son comportement/ses actions vis–à–vis d'une situation d'interaction. Une situation, dans notre contexte, représente l'utilisateur courant (en interaction avec le robot) et l'environnement ambiant (e.g. lieu, luminosité, etc.) à l'aide d'un ensemble d'attributs. Nos travaux antérieurs nous ont permis de développer une approche adaptative basée sur la détection des attributs importants pour chaque décision, afin d'optimiser le processus d'apprentissage à partir des feedback des utilisateurs. A l'aide de cette approche, le comportement du robot converge plus rapidement vers le comportement attendu. Dans cet article, nous présentons une expérience effectuée à l'aide du robot adaptatif EMOX – calqué sur notre approche – et discutons des résultats obtenus, résultats évaluant la satisfaction des utilisateurs vis–à–vis du comportement personnalisé et adaptatif du robot.

Mots Clef

Comportement adaptatif ; Personnalisation ; Apprentissage à partir de feedback utilisateur ; Traces d'interaction ; Modèles décisionnels de Markov (PDM) ; Robots compagnons.

Abstract

Our work is part of the FUI–RoboPopuli project, which concentrates on endowing entertainment companion robots with adaptive and social behaviour. More precisely, we focus on the capacity of an intelligent system to learn how to personalize and adapt its behaviour/actions according to its interaction situation that describes (a) the current user(s) attributes, (b) the current environment attributes. We argued in a previous study that systems that are based on detecting important attributes for each decision are more likely to converge faster than those that are not based on such information. In this paper, we present an experiment with EMOX robot. Through this experiment we show the applicability of our proposed algorithms in a real situation and we discuss the acceptability of such adaptive and personalized behaviour by real users.

Keywords

Adaptive behaviour ; Personalization ; Learning from users' feedback ; Interaction Traces ; Markov Decision Processes (MDPs) ; Companion Robots.

1 Introduction

Des travaux récents cherchent à prendre en compte les spécificités de chaque utilisateur pour mieux l'accompagner à l'aide de robots. Que ce soit dans le domaine éducatif [1], social, hospitalier [2] ou du service à la personne [3], le robot doit être en capacité d'accompagner plusieurs types d'utilisateurs différents – ayant des âges, préférences et besoins propres. De ce fait, un intérêt croissant a été porté aux robots capables de réaliser ce type d'adaptation.

La plupart des travaux actuels sur l'adaptation aux utilisateurs sont basés sur des règles d'adaptation prédéfinies. Dans [4], un robot destiné aux enfants propose, en fonction de l'historique de ses interactions avec un enfant donné, des actions selon un ordre prédéfini. Par exemple, si le robot ne s'est pas encore présenté à l'enfant en question, il se présente puis chante avec lui. Le robot exécute donc d'une manière séquentielle des actions en fonction de la situation courante. Les règles d'adaptation sont prédéfinies et ne sont pas apprises automatiquement.

Pour acquérir automatiquement ces règles d'adaptation, une approche consiste à se baser sur le guidage de l'utilisateur. Dans ce sens, [5] propose un robot qui apprend à accomplir une tâche souhaitée par l'utilisateur en suivant des ordres verbaux, passant d'un état à un autre. Après plu-

 ©AFIA 2016

sieurs interactions, le robot est capable de classifier un état comme désiré ou non. Les auteurs ont défini un nombre important d'attributs pour modéliser une situation (contexte d'une tâche à accomplir) et ont utilisé les résultats d'une enquête pour déterminer ceux pertinents pour la bonne réalisation d'une tâche donnée. Par conséquent, la pertinence des attributs face à une tâche donnée n'est pas apprise automatiquement.

Le feedback (retour) utilisateur est utilisé différemment selon les approches dans les processus de planification. Certaines approches intègrent les feedback pour apprendre à réaliser une tâche. Dans de telles approches, la source du feedback est considérée comme un observateur, un juge du système qui évalue chaque action du robot. L'environnement TAMER [6] propose une méthode pour apprendre à un robot à effectuer correctement une tâche en l'ajustant en fonction des feedback positifs ou négatifs. Ces approches ne sont toutefois pas destinées à apprendre des préférences personnelles d'utilisateurs et donc à être employées dans des contextes multi–utilisateurs, ce qui représente une caractéristique de notre problématique de recherche.

Dans cet article, nous présentons brièvement notre méthode d'adaptation du comportement du robot basée sur les feedback utilisateurs (positifs ou négatifs) [7]. Cette méthode est basée sur la détection d'un sous–ensemble d'attributs (provenant de l'environnement et/ou du profil utilisateur) importants qui influençent la décision concernant l'action à effectuer. Cette détection permet de généraliser les règles apprises (fonction de récompense) et de converger vers un comportement optimal tout en réduisant les données nécessaires à l'apprentissage. Pour la prise de décision, nous nous basons sur un processus de décision markovien (MDP) tout en mettant à jour la fonction de récompense à l'aide de notre méthode.

Dans les sections qui suivent, l'état de l'art est présenté (section 2). Nous présentons ensuite notre approche : son architecture générale et l'algorithme d'apprentissage pour la personnalisation et l'adaptativité des systèmes robotiques (section 3). L'expérimentation présentée en section 4 illustre la mise en œuvre de notre approche sur un scénario utilisant un robot compagnon et mesure la satisfaction des utilisateurs vis–à–vis de son comportement personnalisé et adaptatif. Enfin, nous concluons et exposons nos perspectives de recherche.

2 État de l'art

La majorité des approches visant à l'adaptativité des robots utilise des statistiques et des modèles basés sur la théorie des probabilités, comme les processus décisionnels de Markov. Par exemple, deux approches, l'une proposée pour un robot infirmier [8] et l'autre pour un robot compagnon [9], sont basées sur un processus de décision markovien partiellement observable (POMDP). Un POMDP est un modèle permettant de calculer des mesures de contrôle optimales dans un environnement incertain. Dans ces approches, le robot s'adapte à la situation et au besoin inféré de l'utilisateur. Cependant, son comportement n'est pas personnalisé en fonction du profil de l'utilisateur (e.g. préférences) et le feedback utilisateur n'est pas considéré pour améliorer l'adaptation.

D'autres approches visent à l'apprentissage d'actions en fonction de situations en employant des méthodes d'apprentissage par renforcement. Par exemple, [10] propose un robot assistant pour faire des exercices de réhabilitation. L'algorithme Policy Gradient Reinforcement Learning (PGRL) est employé pour optimiser des paramètres du comportement et de la personnalité du robot en fonction de l'utilisateur. Dans cette approche, le feedback utilisateur est utilisé dans le processus d'apprentissage. Toutefois, les caractéristiques de l'utilisateur intervenant dans le processus de décision du robot (*e.g.* les paramètres de personnalité) sont spécifiées au préalable et ne sont donc pas détectées ou apprises automatiquement.

Notre problématique est très proche de différente approche d'apprentissage par renforcement inversé [11] et par démonstration où un agent apprendre une fonction de récompense en observant un expert ou en étant guidé par un. Dans ces approches, l'agent est limité par les exemples démontrés d'où l'apparition des approches d'apprentissage active. Dans ce dernier l'agent demande explicitement un exemple de l'expert sur certaines situations estimées importantes dans le processus d'apprentissage. Pour certaines problématiques, le notre inclus, l'agent ne reçoit pas des exemples démontrés ni a le choix de la situation courante. La seule information utilisée par ces agents est le retour des utilisateurs vis–à–vis de leur le comportement [6]. Les techniques d'apprentissage supervisé ne sont également pas appropriées pour des problèmes où les feedbacks sont effectués par des utilisateurs (et non des experts) et où le modèle à apprendre n'est pas nécessairement déterminé (les préférences utilisateur peuvent varier dans le temps).

Pour personnaliser le comportement d'un robot dans des environnements multi–utilisateurs, il est quasi impossible de définir *a priori* les règles d'adaptation couvrant tous les profils utilisateurs et toutes les situations possibles et imaginables. Par conséquent, nous avons proposé dans des travaux antérieurs [7] d'apprendre les préférences utilisateurs (représentées dans une fonction de récompense) à travers l'analyse de l'historique des interactions robot–utilisateurs. L'approche que nous suggérons part du principe que l'utilisateur peut fournir un feedback positif ou négatif suite à une action du robot. Ce feedback peut être collecté à l'aide d'expressions faciales, de gestes, d'instructions orales, *etc.*.

3 Architecture générale et algorithme d'apprentissage

Dans cette section, nous décrivons l'architecture générale du système robotique représentée dans la figure 1. Les entrées du système sont les observations concernant l'utilisateur, y compris ses **feedback**, et liées à l'environnement, y compris les observations concernant les utilisateurs potentiels. Nous appelons *utilisateur*, la personne qui partage

©AFIA 2016

l'activité avec le robot et *utilisateurs potentiels*, ceux qui ont partagé/peuvent partager une activité avec le robot dans le passé/avenir. En sortie du système se trouvent les actions du robot. Comme le montre la figure 1, le système comprend quatre bases de connaissances : les traces d'interaction, les activités, les profils des utilisateurs et les récompenses apprises ainsi que deux processus principaux : le processus de décision et le processus d'apprentissage à partir des feedback (cf. [7] pour une version détaillée de l'architecture, des modèles de représentation des données et un pseudo–code détaillé de l'algorithme d'apprentissage).

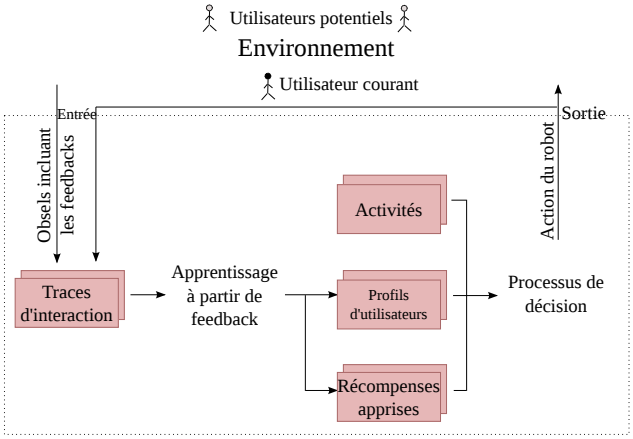


FIGURE 1 – Architecture générale

3.1 Données et connaissances

La base **activités** contient une description de toutes les activités que le robot peut partager avec – ou proposer à – ses utilisateurs (par exemple : projeter une vidéo, écouter la radio, ...). Chaque utilisateur est représenté par un profil. **Le profil utilisateur** contient toutes les caractéristiques de l'utilisateur qui pourraient être utiles dans le processus de décision.

Nous avons basé notre modèle de **traces d'interaction** sur le modèle défini par [12]. D'une manière générale, une trace est un ensemble d'**obsels** (OBServed ELementS) ordonné suivant leur moment d'apparition. Les obsels sont générés lors des interactions entre le système (*e.g.* Le robot) et l'environnement (y compris les utilisateurs). Formellement, un obsel o est représenté par le couple $\langle j, \mathcal{B}_o \rangle$, où j est son origine (*e.g.* l'utilisateur, le robot ou l'environnement), et $\mathcal{B}_o$ un ensemble d'attributs qui caractérise l'événement observé.

Nous désignerons les obsels d'entrée liés aux utilisateurs $\mathcal{O}_u$ et l'environnement $\mathcal{O}_e$. $\mathcal{O}_u$ et $\mathcal{O}_e$ sont des listes d'observations. Les actions du robot sont intégrées dans la trace en tant que des obsels de sortie $\mathcal{O}_r$. Nous notons l'ensemble de tous les obsels : $\mathcal{O} = \mathcal{O}_u \cup \mathcal{O}_e \cup \mathcal{O}_r$. Les feedback d'un utilisateur u sont représentés dans $\mathcal{O}_u$ et seront analysés pour apprendre les préférences de l'utilisateur et la façon de s'y adapter. Dans notre modèle, une *trace* comprend la séquence d'entrées/sorties pendant *une activité* entre le robot et un utilisateur.

Une trace $\mathcal{T}$ concernant une activité ac est représenté par un tuple $\langle id_t, id_p, id_{ac}, o_1, \dots o_i, \dots, o_n \rangle$ où : id_t, id_p et id_{ac} sont respectivement l'identifiant de la trace, celle de l'utilisateur et celle de l'activité ; et la liste $o_1, \dots o_i, \dots, o_n$ représente la séquence des obsels reçue pendant l'activité.

Lors du traitement d'une trace, chaque obsel rencontré de type action du robot (voir Hypothèse 1) est utilisé avec le feedback associé (s'il existe) pour créer ce qu'on appelle une récompense de base fr. À partir de chaque trace, le système peut extraire plusieurs récompenses de base. Une récompense de base fr est représenté par un tuple $\langle \mathcal{C}_p, \mathcal{C}_{ac}, id_{ac}, o_i, o_{i+1}, \mathcal{TR}, v \rangle$, où : $\mathcal{C}_p$ et $\mathcal{C}_{ac}$ représentent les contraintes sur les attributs de profil utilisateur et sur les attributs de l'activité respectivement ; id_{ac} est l'identifiant de l'activité représentée par la trace ; $o_i \in \mathcal{O}_r$ est l'action du robot ; $o_{i+1} \in \mathcal{O}_u$ est le feedback de l'utilisateur vis–à–vis l'action du robot o_i ; $\mathcal{TR}$ une liste des identifiants de toutes les traces qui participe dans la création ou la modification de fr ; $v = \mathcal{V}(o_{i+1})$ est une valeur quantifiée du feedback o_{i+1}. L'extraction d'une récompense de base à partir d'une trace respecte l'hypothèse suivante :

Hypothèse 1 *Un feedback utilisateur o_u peut être reçu après l'action du robot. Ce feedback est quantifié en utilisant la fonction $\mathcal{V}$. $\mathcal{V}$ est une fonction de valeur prédéfinie qui attribue un poids positif, négatif ou nul pour chaque feedback $\mathcal{V} : \mathcal{O}_u \to [-1, 1]$ [1]. L'absence de feedback pour une action peut être quantifiée comme valeur positive, négative ou nulle selon le scénario ou les habitudes des utilisateurs apprises par le système. Considérant le problème de l'intervalle temporel entre l'action du robot, et le feedback de l'utilisateur, il est possible de définir une fonction $\mathcal{V}(o_i) = h(\mathcal{V}(o_1), \dots, \mathcal{V}(o_i))$ en utilisant une heuristique [13, 6].*

Les récompenses de base sont ensuite traitées (grâce à notre algorithme d'apprentissage) pour créer **les récompenses acquises** qui sont intégrées dans la fonction de récompense. Les récompenses de base et les récompenses acquises ont la même forme de représentation. Une récompense de base tient en partie aux valeurs des attributs de l'activité et du profil de l'utilisateur. Cependant, au cours de la phase d'apprentissage, ces valeurs d'attributs peuvent être généralisées ou décrites comme des contraintes (expressions logiques) sur leurs valeurs possibles dans une récompense apprise.

3.2 Processus de décision

Le système peut utiliser n'importe quel processus de décision qui permet l'intégration et l'utilisation des récompenses apprises (règles d'adaptation). Pour plus de simplicité et de généralité, nous avons choisi d'utiliser un proces-

1. Par exemple, $\mathcal{V}$(pouce_vers_le_haut) = $\mathcal{V}$(oui) = $+1$ et $\mathcal{V}$(pouce_vers_le_bas) = $\mathcal{V}$(non) = -1.

©AFIA 2016

sus de décision de Markov (PDM) dans nos expérimentations. Cependant, d'autres processus de décision pourraient être plus appropriés en fonction des propriétés du problème, par exemple un processus de décision de Markov partiellement observable [14] pour les environnements partiellement observables ou *contextual bandit* [15] pour les processus de décision séquentielle à horizon 1.

Par définition, un PDM est représenté par un quadruplet $\langle S, A, T, R\rangle$ où : S est un ensemble fini d'états ; A est un ensemble fini d'actions de l'agent ; T est une fonction de transition d'état où $T(s,a,s') = Pr(s_t = s'|s_{t-1} = s, a_{t-1} = a)$ représente la probabilité de la transition de l'état s vers l'état s' après avoir fait l'action a, et $\sum_{s' \in S} T(s,a,s') = 1 \forall (s,a)$; et R est une fonction de récompense qui à $(s,a,s) \in S \times A \times S$ associe un nombre réel qui représente la récompense immédiate de l'agent pour prendre l'action a tout en étant dans l'état s et se terminant dans l'état s'. L'objectif de l'agent est de calculer une politique $\pi : S \rightarrow A$ qui attribue pour chaque état possible une action optimale qui maximise la récompense prévue à long terme $E\left[\sum_0^\infty \gamma^t r_t\right]$ où γ est un facteur d'escompte et où r_t est la récompense au temps t. Il existe plusieurs algorithmes pour résoudre un PDM, Value Iteration [16] et Policy Iteration [17]. La complexité de ces algorithmes est de $\mathcal{O}(|S^2||A|)$.

Nous utilisons un PDM pour planifier les décisions du robot. Le comportement souhaité du robot est adaptatif en fonction de la *situation* (donc personnalisé en fonction de l'utilisateur). Dans nos expériences, la fonction de transition est connue et déterministe. La fonction initiale de récompense contient uniquement des règles respectant l'ordre des phases dans la mission. Cependant, grâce à l'interaction, cette fonction est enrichie afin de guider le système vers un comportement plus adaptatif et personnalisé en fonction des préférences apprises.

3.3 Apprentissage à partir de feedback

Le processus d'apprentissage permet au robot d'apprendre les préférences et les habitudes des utilisateurs en analysant les traces d'interaction. Nous présentons brièvement l'algorithme avec généralisation (détaillé dans [7]) que nous avons utilisé dans nos expérimentations avec le robot EMOX. L'algorithme apprend à partir d'un ensemble de récompenses de base ($\mathcal{FR}$). Les récompenses de base sont extraites des traces d'interaction. La sortie de l'algorithme est l'ensemble des récompenses apprises $\mathcal{LR}$ modifié après le traitement de chaque récompense de base $fr \in \mathcal{FR}$. $\mathcal{LR}$ est alors ajoutée à la fonction de récompense du PDM.

Le but de l'algorithme de généralisation est de détecter les attributs importants pour chaque action éventuelle du robot o_i lors d'une activité ac. On note $\mathcal{IA}_{o^i}$ l'ensemble des attributs importants concernant l'action o^i. Un attribut important (lié à un profil ou à l'environnement) est un attribut qui impacte par sa valeur la direction (i.e. le signe) de la valeur du feebdack (FD) (*c.à.d* $\mathcal{V}(o^i)$ est positif ou négatif). Les attributs non importants sont généralisés à toute valeur (*) dans toutes les récompenses $\mathcal{LR}$ de l'action o^i concernées de l'activité ac.

Cet algorithme sauvegarde toutes les récompenses de base, il n'y a donc pas de perte d'information en raison de la généralisation. Les récompenses sauvegardées $\mathcal{FR}$ sont continuellement consultées dans le processus de détection des attributs importants. La détection des attributs importants est principalement déclenchée par la détection d'une contradiction entre la récompense de base reçue fr et les récompenses généralisées dans $\mathcal{LR}$.

L'algorithme de généralisation devrait permettre au système de converger avec un nombre moins important d'interactions en détectant les attributs importants pour chaque décision. Il généralise les récompenses apprises pour être appliquées sur des *situations* inconnues (des profils ou des paramètres environnementaux inconnus). Le principal inconvénient de cet algorithme est le fait qu'il comporte un risque d'actions erronées avant de converger vers une généralisation correcte. Le gain en nombre d'interactions nécessaires et le risque avant la convergence sont évalués dans des expérimentations simulées dans [7, 18].

Le mécanisme utilisé dans cet algorithme est inspiré de la technique de spécialisation et de généralisation de l'espace de versions. L'espace de version [19] est une méthode d'apprentissage automatique utilisée pour la classification binaire. Son inconvénient majeur provient de son incapacité à traiter le bruit, ce qui signifie que toute contradiction détectée peut causer l'espace de versions à l'échec dans le processus d'apprentissage.

4 Expérimentations avec le Robot EMOX

Nous avons réalisé une expérience pour tester notre algorithme sur un scénario avec le robot compagnon EMOX (figure 2) et pour évaluer la pertinence des actions proposées. Nous avons choisi comme scénario la sélection adaptative d'une activité par le robot.

4.1 Scénario

Dans cette expérience, quand le robot identifie un utilisateur, il lui propose une activité personnalisée. Le robot choisit une des 11 activités possibles : appeler quelqu'un, regarder la télévision, écouter de la musique, rappeler son agenda, écouter les nouvelles, écouter les prévisions météorologiques, commander un repas, jouer à un jeu, faire du sport, faire des exercices de musique ou faire la cuisine. Pendant cette expérimentation, seule la proposition de l'activité a été faite, nous supposons qu'après sélection de l'activité, le robot aide ou guide l'utilisateur dans son activité (*e.g.* proposer des émissions de télévision, donner les recettes de cuisine ou tout simplement soutenir l'utilisateur pendant ses exercices sportifs).

4.2 Procédure

L'expérimentation s'est déroulée en deux phases. La première consistait à recueillir les traces d'interaction pour

©AFIA 2016

1.	Sexe : Masculin et féminin		
2.	Faites–vous de l'exercice sportif plus de deux fois par semaine ?	Oui	Non
3.	Aimez–vous cuisiner ?	Oui	Non
4.	Si vous jouez d'un instrument musical, faites–vous l'exercice plus de deux fois par semaine ?	Oui	Non
5.	Vous jouez (jeux de carte, jeux vidéo, jeux sérieux ...) plus de 12 heures par semaine ?	Oui	Non
6.	Vous commandez des repas à la maison au moins une fois par semaine ?	Oui	Non
7.	Faites–vous plus de trois appels téléphoniques par jour ?	Oui	Non

TABLE 1 – Profil utilisateur utilisé pour l'expérience « proposition d'une activité »avec EMOX.

FIGURE 2 – EMOX : Un turtle–bot composé d'un appareil photo, télémètre laser, pico projecteur, microphone et haut–parleur.

l'algorithme d'apprentissage. La deuxième phase consistait à évaluer la fonction de récompense apprise et le comportement du robot entraîné. Dans les deux phases, tous les participants ont rempli leur profil (indiqué dans le tableau 1) avant de participer à l'expérience. Les participants étaient des étudiants d'une formation à l'université de Lyon et ils avaient entre 17 et 22 ans. Comme le montre le tableau, chaque profil est défini par 7 attributs et chaque attribut possède un domaine de deux valeurs. Par conséquent, le nombre total de profils possibles est de $2^7 = 128$. Deux profils de deux utilisateurs différents sont considérés comme identiques s'ils ont les mêmes valeurs d'attributs et sont considérés comme différents sinon. Dans la première phase, il y avait 17 participants avec 17 profils différents. Dans la deuxième phase, il y avait un total de 16 participants dont 9 de la première phase et 7 nouveaux (2 d'entre eux ont de nouveaux profils et 5 ont des profils similaires à d'autres participants de la première phase).

Nous avons considéré deux attributs environnementaux : le lieu (cuisine, salon, bureau, chambre ou salle de bains) et l'heure (matin, midi, après–midi, le soir ou la nuit).

Pour chaque expérience dans la première phase, le robot identifie l'utilisateur (profil), le lieu et le temps, puis demande à l'utilisateur de trier selon son ordre de préférence les activités qu'il aimerait faire dans une telle situation (i.e. activités positives). Le robot demande également à l'utilisateur de sélectionner les activités qu'il ne penserait jamais faire dans une telle situation (i.e. activités négatives). Une trace est créée à partir de chaque expérience où l'obsel de feedback est à -1 pour chaque activité négative et $(\frac{\text{nombre d'activités} - \text{positives}(\text{ordre} - 1)}{\text{nombre d'activités positives}})$ pour chaque activité positive.

Toutes les traces de la première phase ont été utilisées pour apprendre la fonction de récompense. La fonction de récompense apprise est ensuite utilisée pour calculer la politique du PDM – en exécutant l'algorithme Value Iteration [16] – à son tour utilisée dans la deuxième phase de l'expérience.

Pour chaque expérience dans la deuxième phase, le robot identifie l'utilisateur (profil), le lieu et le temps puis, en utilisant la politique apprise, propose une activité personnalisée. L'activité personnalisée est celle dont la valeur de l'action résultant de Value Iteration est la plus élevée connaissant l'état actuel (connaissant le profil de l'utilisateur et des informations liées à l'activité). Si l'utilisateur accepte l'activité, l'expérience est terminée. Si l'utilisateur refuse l'activité, le robot propose la deuxième meilleure activité. En cas de nouveau rejet, le robot propose au final la troisième meilleure (nous nous sommes volontairement limités à trois propositions dans le but de ne pas agacer l'utilisateur). Une trace est ensuite créée à partir de chaque expérience où l'obsel de feedback est défini à -1 pour chaque activité refusée et +1 pour celle qui est acceptée (si elle existe). Un apprentissage (online) est fait après chaque expérience dans la deuxième phase : les récompenses de base extraites de l'expérience sont utilisées pour calculer une nouvelle politique qui sera appliquée dans l'expérience suivante.

4.3 Interaction avec Emox

Comme le montre la figure 3, le robot dispose d'un pico–projecteur lui permettant de communiquer avec l'utilisateur en projetant les activités (sous forme de texte, d'images ou de vidéo) sur le sol. De leur côté, les utilisateurs communiquent avec le robot à travers le mouvement des mains. Il s'agit de déplacer la main (droite ou gauche) vers le haut, le bas, la droite ou la gauche ainsi que vers l'avant ou l'arrière. Les quatre premiers gestes permettent

©AFIA 2016

de naviguer dans les différentes activités proposées par le robot, et les deux derniers permettent d'accepter ou de refuser une activité proposée.

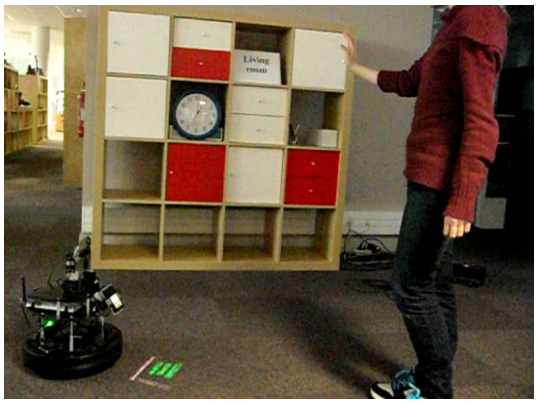


FIGURE 3 – Un participant communiquant avec Emox.

Pour simplifier la phase de détection de l'utilisateur, ce dernier sélectionne son propre profil, stocké dans la base de données du robot. Concrètement, l'utilisateur navigue dans l'ensemble de profils et sélectionne le sien à l'aide d'un geste de poussée (vers l'avant puis l'arrière).

4.4 Résultats et discussion

Les 17 participants de la première phase ont généré 89 traces. Ces traces ont été utilisées pour apprendre la fonction de récompense.
Durant la deuxième phase, les participants ont généré 68 traces représentant autant d'expériences. 47%, 29%, 9% et 12% de ces traces comprenaient respectivement 0, 1, 2 et 3 proposition(s) négative(s) (une proposition négative correspond à une activité proposée par le robot et refusée par l'utilisateur).
Dans deux expériences parmi les 68 de la deuxième expérimentation, le robot n'a proposé aucune activité. Ceci s'explique par le fait qu'aucune activité n'avait d'actions positives en se basant sur la fonction de récompense existante.
Les résultats montrent également que dans 47% des expériences, la première activité proposée par le robot était adaptée à la situation et que dans 76% des expériences la première ou la deuxième était adaptée (sachant que le robot dispose de 11 activités à proposer).
En ce qui concerne la capacité d'adaptation aux nouvelles situations (utilisateurs/profils et/ou état de l'environnement), nous avons analysé 7 expériences avec deux nouveaux profils dans la deuxième phase. Les résultats montrent 1, 5, 0 et 1 expériences avec respectivement 0, 1, 2, et 3 propositions négatives. La fonction de récompense issue de l'apprentissage était capable de générer une politique adaptée pour les nouveaux utilisateurs (plusieurs expériences ont satisfait l'utilisateur à partir des deuxièmes propositions).
L'analyse des 68 traces de la deuxième phase montre que des actions variées ont été proposées. 10 actions (activités proposées) sur les 11 possibles ont été proposées et pour chacune, acceptée dans au moins 3 traces. La majorité des actions acceptées étaient « écouter la musique » et « jouer ».
A l'issue de la deuxième phase, les participants ont été invités à remplir un questionnaire utilisant des échelles de Likert (échelle de jugement avec 5 choix de réponse). Comme le montre le tableau 2, le questionnaire portait sur la satisfaction des utilisateurs vis–à–vis de la communication avec le robot, son utilité, etc. (questions 1-9 et17-19) et sur la satisfaction vis–à–vis le comportement adaptatif du robot (questions 10-16).
La plupart des utilisateurs sont pour l'idée d'ajouter une nouvelle forme d'interaction avec le robot. En effet, ils ont trouvé difficile et fatigante la communication avec le mouvement des mains, et préfèrent une communication vocale. Concernant le comportement du robot, la plupart des participants sont satisfaits des activités proposées. En effet, ils les trouvent pertinentes et adaptées à leurs préférences. Néanmoins, ils admettent presque tous que le robot manque d'informations sur leurs profils et sur l'état de l'environnement afin de mieux s'adapter aux situations.

4.5 Analyse de la complexité du modèle

Nous nous sommes basés sur le scénario « sélection d'activités »pour étudier la complexité de nos algorithmes. Pour ce scénario, le nombre d'attributs est $|At| = 9$ (7 attributs de profil et 2 liés à l'activité). Le nombre de valeurs pour ces attributs est entre 2 (attributs de profil) et 5 (attributs d'activité), et le nombre d'états possibles du PDM (représentant toutes les situations du scénario) est $|S| = 2^7 + 5^2 = 153$. Le nombre d'actions (activités) possibles est $|A| = 11$. Le nombre d'attributs importants pour une action (a_i) est compris entre 0 et 4 ($|imAt|_{ai} \in \{0, 1, \ldots, 4\}$). Dans cette expérimentation, l'apprentissage a été basé sur 89 traces. Ces traces sont suffisantes pour apprendre la fonction de récompense permettant de prendre des décisions adaptées aux différentes situations. Concernant le passage à l'échelle, et en se basant sur [18], les résultats de nos expérimentations démontrent que le système n'a pas besoin de converger (ce qui nécessite 900 traces) afin de se comporter de manière acceptable. A partir de 100 traces environ (10% de traces nécessaires), les utilisateurs ont montré qu'ils étaient satisfaits du comportement du robot.

5 Conclusion et perspectives

Dans cet article, nous avons présenté une architecture d'un robot adaptatif capable d'apprendre les préférences des utilisateurs en se basant sur leurs feedback. Afin d'étudier la faisabilité et la pertinence du comportement adaptatif, nous avons mené une expérience avec le robot EMOX. Les résultats de cette expérimentation montrent que le robot, dont les décisions sont basées sur l'algorithme de généralisation, a été en mesure de généraliser les règles d'adaptation à des situations inconnues. Les participants à cette expérimentation sont généralement satisfaits du comportement du ro-

©AFIA 2016

1.	**Pensez–vous que la taille du robot est cohérente avec le service qu'il propose ?**				
	Pas du tout d'accord (**1**)	*Pas d'accord* (**1**)	*Ni en désaccord ni en accord* (**5**)	*D'accord* (**7**)	*Tout à fait d'accord* (**2**)
2.	**Avez–vous facilement pu communiquer avec EMOX ?**				
	Pas du tout d'accord (**0**)	*Pas d'accord* (**9**)	*Ni en désaccord ni en accord* (**4**)	*D'accord* (**3**)	*Tout à fait d'accord* (**0**)
3.	**Pensez–vous que la façon de communiquer avec EMOX est originale ?**				
	Pas du tout d'accord (**0**)	*Pas d'accord* (**1**)	*Ni en désaccord ni en accord* (**5**)	*D'accord* (**7**)	*Tout à fait d'accord* (**3**)
4.	**Pensez–vous que d'autres moyens de communication avec EMOX doivent être mises en place (vocale, expressions faciales, . . .) ?**				
	Pas du tout d'accord (**1**)	*Pas d'accord* (**0**)	*Ni en désaccord ni en accord* (**0**)	*D'accord* (**4**)	*Tout à fait d'accord* (**11**)
5.	**Pensez–vous que le niveau de réactivité du robot était satisfaisant ?**				
	Pas du tout d'accord (**0**)	*Pas d'accord* (**6**)	*Ni en désaccord ni en accord* (**4**)	*D'accord* (**6**)	*Tout à fait d'accord* (**0**)
6.	**Pensez–vous qu'un robot compagnon peut vous être utile ?**				
	Pas du tout d'accord (**2**)	*Pas d'accord* (**2**)	*Ni en désaccord ni en accord* (**6**)	*D'accord* (**6**)	*Tout à fait d'accord* (**0**)
7.	**Pensez–vous qu'il est utile d'avoir un robot compagnon comme EMOX à votre domicile pour vous aider dans votre quotidienne ?**				
	Pas du tout d'accord (**2**)	*Pas d'accord* (**4**)	*Ni en désaccord ni en accord* (**6**)	*D'accord* (**3**)	*Tout à fait d'accord* (**1**)
8.	**De manière générale, pensez–vous qu'il est utile pour d'autres membres de votre famille (enfants, personnes âgées, . . .) d'avoir un robot compagnon ?**				
	Pas du tout d'accord (**1**)	*Pas d'accord* (**2**)	*Ni en désaccord ni en accord* (**1**)	*D'accord* (**10**)	*Tout à fait d'accord* (**2**)
9.	**Pensez–vous qu'un robot compagnon peut ajouter une présence sociale au cours de vos activités quotidiennes ?**				
	Pas du tout d'accord (**1**)	*Pas d'accord* (**4**)	*Ni en désaccord ni en accord* (**2**)	*D'accord* (**6**)	*Tout à fait d'accord* (**3**)
10.	**Est–ce que les activités proposées vous ont satisfait ?**				
	Pas du tout d'accord (**0**)	*Pas d'accord* (**3**)	*Ni en désaccord ni en accord* (**4**)	*D'accord* (**9**)	*Tout à fait d'accord* (**0**)
11.	**Selon vous, est–ce que les premières activités proposées par EMOX vous ont convenu ?**				
	Pas du tout d'accord (**0**)	*Pas d'accord* (**1**)	*Ni en désaccord ni en accord* (**5**)	*D'accord* (**9**)	*Tout à fait d'accord* (**1**)
12.	**À votre avis, est–ce qu'EMOX est capable de s'adapter à des situations différentes (eg. l'après–midi dans la cuisine, le matin au salon, . . .) ?**				
	Pas du tout d'accord (**2**)	*Pas d'accord* (**9**)	*Ni en désaccord ni en accord* (**2**)	*D'accord* (**3**)	*Tout à fait d'accord* (**0**)
13.	**À votre avis, est–ce qu'EMOX est capable de s'adapter à vos préférences ?**				
	Pas du tout d'accord (**0**)	*Pas d'accord* (**0**)	*Ni en désaccord ni en accord* (**3**)	*D'accord* (**12**)	*Tout à fait d'accord* (**1**)
14.	**Est–ce qu'EMOX vous a proposé, dans l'ensemble, des activités pertinentes ?**				
	Pas du tout d'accord (**0**)	*Pas d'accord* (**0**)	*Ni en désaccord ni en accord* (**3**)	*D'accord* (**12**)	*Tout à fait d'accord* (**1**)
15.	**Pensez–vous qu'EMOX est capable de vous satisfaire après avoir proposé plusieurs activités ?**				
	Pas du tout d'accord (**0**)	*Pas d'accord* (**1**)	*Ni en désaccord ni en accord* (**2**)	*D'accord* (**11**)	*Tout à fait d'accord* (**2**)
16.	**Pensez–vous qu'EMOX a besoin de plus d'information concernant l'environnement et vous même pour mieux s'adapter ?**				
	Pas du tout d'accord (**0**)	*Pas d'accord* (**2**)	*Ni en désaccord ni en accord* (**2**)	*D'accord* (**6**)	*Tout à fait d'accord* (**6**)
17.	**J'étais motivé(e) à l'idée de participer à cette expérience :**				
	Pas du tout d'accord (**0**)	*Pas d'accord* (**1**)	*Ni en désaccord ni en accord* (**4**)	*D'accord* (**8**)	*Tout à fait d'accord* (**3**)
18.	**L'expérience que j'ai effectuée m'a plu :**				
	Pas du tout d'accord (**0**)	*Pas d'accord* (**1**)	*Ni en désaccord ni en accord* (**2**)	*D'accord* (**11**)	*Tout à fait d'accord* (**2**)
19.	**Je me suis ennuyé(e) pendant l'expérience :**				
	Pas du tout d'accord (**2**)	*Pas d'accord* (**10**)	*Ni en désaccord ni en accord* (**2**)	*D'accord* (**2**)	*Tout à fait d'accord* (**0**)

TABLE 2 – Réponses des participants au questionnaire.

bot. Cependant, une expérimentation avec des participants représentant des caractéristiques plus larges (personnes aggers, enfants, etc.) peut être intéressant sachant que le cadre d'application le plus réputé pour les robots compagnons c'est l'éducation et la qualité de vie.

Comme perspectives, nous aimerions travailler sur la mise à jour des profils utilisateurs en analysant les traces d'interaction. En effet, les activités proposées par le robot dépendent du profil de l'utilisateur. Comme ce profil évolue avec le temps, ce changement peut être détecté à travers l'analyse des interactions utilisateurs–robot. Nous souhaitons ainsi développer des modèles permettant de détecter ces changements et mettre à jour automatiquement le profil. En outre, il est important de tenir compte des contradictions et, comme nous l'avons mentionné ci–avant, de détecter l'absence d'informations dans l'espace d'état.

Le problème de l'apprentissage à partir des feedback multi–utilisateurs possède un certain nombre de propriétés : les utilisateurs ont des profils différents et, en fonction de leurs profils et de l'application elle–même, ont tendance à réagir positivement ou négativement vis–à–vis des activités proposées par le robot [20]. En outre, le processus d'apprentissage doit faire face à la confusion causée par le manque de réactions des utilisateurs. L'absence de feedback dans certains scénarios pourrait représenter une satisfaction de l'utilisateur et dans d'autres contextes une insa-

©AFIA 2016

tisfaction. Nous nous concentrons actuellement sur l'étude de l'efficacité de notre algorithme avec généralisation dans différents contextes en analysant sa capacité à gérer ces problématiques (absence de feedback, utilisateurs avec tendance positive ou négative, ...).

Remerciement

Ce travail a été financé par le projet FUI–RoboPopuli. Nous remercions les membres de la société Awabot [2], porteur du projet RoboPopuli, pour nous avoir permis d'utiliser le robot Emox dans les différentes expérimentations. Nous remercions également les étudiants de la formation GAMAGORA et les membres de la société Awabot et du laboratoire LIRIS pour avoir participé aux expérimentations.

Références

[1] Iris HOWLEY, Takayuki KANDA, Kotaro HAYASHI et Carolyn ROSÉ : Effects of social presence and social role on help-seeking and learning. *In Proceedings of the 2014 ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction*, pages 415–422. ACM, 2014.

[2] Reza KACHOUIE, Sima SEDIGHADELI, Rajiv KHOSLA et Mei-Tai CHU : Socially assistive robots in elderly care : A mixed-method systematic literature review. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 30(5):369–393, 2014.

[3] Thomas BREUER, Geovanny R. GIORGANA MACEDO, Ronny HARTANTO, Nico HOCHGESCHWENDER, Dirk HOLZ, Frederik HEGGER, Zha JIN, Christian MÜLLER, Jan PAULUS, Michael RECKHAUS, José Antonio Álvarez RUIZ, Paul G. PLÖGER et Gerhard K. KRAETZSCHMAR : Johnny : An autonomous service robot for domestic environments. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 66(1-2):245–272, avril 2012.

[4] Takayuki KANDA et Hiroshi ISHIGURO : Communication robots for elementary schools. *Proceedings of AISB'05 Symposium Robot Companions : Hard Problems and Open Challenges in Robot-Human Interaction (Hatfield Hertfordshire)*, pages 54–63, 2005.

[5] Martin MASON et M LOPES : Robot self-initiative and personalization by learning through repeated interactions. *2011 6th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction HRI'11*, pages 433–440, 2011.

[6] W. Bradley KNOX et Peter STONE : Interactively shaping agents via human reinforcement : the tamer framework. *In Proceedings of the fifth international conference on Knowledge capture*, K-CAP '09, pages 9–16, New York, NY, USA, 2009. ACM.

[7] A.B. KARAMI, K. SEHABA et B. ENCELLE : Towards adaptive robots based on interaction traces : A user study. *In 16th International Conference on Advanced Robotics (ICAR), 2013*, 2013.

[8] Joelle PINEAU, Michael MONTEMERLO, Martha POLLACK, Nicholas ROY et Sebastian THRUN : Towards robotic assistants in nursing homes : Challenges and results. *Robotics and Autonomous Systems*, 42(3-4):271–281, mars 2003.

[9] Abir B KARAMI et Abdel-illah MOUADDIB : A Decision Model of Adaptive Interaction Selection for a Robot Companion. *proceedings of the 5th European Conference on Mobile Robots, ECMR'11*, pages 83–88, 2011.

[10] Adriana TAPUS, Cristian TAPUS et Maja J. MATARIĆ : User-robot personality matching and assistive robot behavior adaptation for post-stroke rehabilitation therapy. *Internationl Journal on Intelligent Service Robotics*, 1(2):169–183, février 2008.

[11] Pieter ABBEEL et Andrew Y NG : Apprenticeship learning via inverse reinforcement learning. *In Proceedings of the twenty-first international conference on Machine learning*, page 1. ACM, 2004.

[12] Damien CLAUZEL, Karim SEHABA et Yannick PRIÉ : Enhancing synchronous collaboration by using interactive visualisation of modelled traces. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 19(1):84–97, jan 2011.

[13] W. E. HOCKLEY : Analysis of response time distributions in the study of cognitive processes. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 10(4):598–615, 1984.

[14] Leslie Pack KAELBLING, Michael L LITTMAN et Anthony R CASSANDRA : Planning and acting in partially observable stochastic domains. *Artificial intelligence*, 101(1):99–134, 1998.

[15] Robert LOFTIN, James MACGLASHAN, Bei PENG, Matthew E TAYLOR, Michael L LITTMAN, Jeff HUANG et David L ROBERTS : A strategy-aware technique for learning behaviors from discrete human feedback. *In Proc. of AAAI*, 2014.

[16] Richard BELLMAN : A Markovian Decision Process. *Indiana University Math. J.*, 6:679–684, 1957.

[17] Ronald A HOWARD : Dynamic programming and markov processes.. 1960.

[18] Abir B. KARAMI, Karim SEHABA et Benoit ENCELLE : Adaptive artificial companions learning from users' feedback. *Adaptive Behavior*, page Accepted, 2016.

[19] Tom M MITCHELL : Generalization as search. *Artificial intelligence*, 18(2):203–226, 1982.

[20] Charles Lee ISBELL JR, Michael KEARNS, Satinder SINGH, Christian R SHELTON, Peter STONE et Dave KORMANN : Cobot in lambdamoo : An adaptive social statistics agent. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 13(3):327–354, 2006.

2. http://www.awabot.com/

©AFIA 2016

Les boîtes arc-en-ciel : une nouvelle technique pour visualiser les relations d'instanciation dans les ontologies et son application à la comparaison des propriétés des médicaments

Jean-Baptiste Lamy[1] Hélène Berthelot[1] Madeleine Favre[2,3]

[1] LIMICS Université Paris 13 - Sorbonne Paris Cité, 93017 Bobigny, INSERM UMRS 1142
UPMC Université Paris 6, Sorbonne Universités, Paris, France
[2] Université Paris Descartes, Faculté de Médecine, Département de Médecine Générale, Paris, France
[3] Société de Formation Thérapeutique du Généraliste (SFTG), Paris, France

jean-baptiste.lamy@univ-paris13.fr

Résumé

Dans les ontologies, les relations hiérarchiques de subsomption (est-un) et d'instanciation (est-l'instance-de) jouent un rôle important et sont notamment utilisées pour visualiser les ontologies sous forme de graphe. Cependant ces graphes deviennent vite illisibles lorsque les relations sont complexes et font intervenir de l'héritage multiple. C'est le cas dans l'exemple simple des acides aminés (20 acides aminés et 10 classes), mais aussi dans des applications plus complexes telles que la comparaison des propriétés des médicaments (2-10 médicaments de même indication et 10-100 classes correspondant à une propriété commune, contre-indication ou effet indésirable).
Dans cet article, nous présentons les boîtes arc-en-ciel, une nouvelle technique de visualisation adaptée à la présentation des relations d'instanciation complexes et multiples dans des ontologies de faible taille. Nous décrivons l'application de cette technique aux deux exemples précédents. Nous présentons aussi une expérimentation utilisateur sur l'application médicale, montrant que les médecins accèdent plus rapidement à l'information avec les boîtes arc-en-ciel qu'avec une approche « classique » à base de tableaux.

Mots Clef

Visualisation d'ontologie, Visualisation de connaissance, Médicaments, Expérimentation utilisateur

Abstract

In ontologies, hierarchical relations of subsumption (is-a) and instantiation (is-instance-of) play an important role, in particular for visualizing the ontology, generally using a graph. However, these graphs become hard-to-read when the relations are numerous and complex, and when multiple inheritance is involved. This is the case in the simple example of amino-acids (20 amino-acids and 10 classes), but also in more complex applications such as the comparison of drug properties (2-10 drugs with the same indication and 10-100 classes corresponding to a common property, contraindication or adverse effect).
In this paper, we present rainbow boxes, a novel visualization technique adapted to the presentation of complex and numerous instantiation relations in small ontologies. We describe the application of this technique to the two previous examples. We also present a user study in the medical application, showing that physicians find information faster with rainbow boxes than with a «classic» table approach.

Keywords

Ontology visualization, Knowledge visualization, Drugs, User study

1 Introduction

Les ontologies sont de plus en plus employées dans le monde de l'informatique. Dans les ontologies, les relations hiérarchiques de subsomption (*est-un*) et d'instanciation (*est-l'instance-de*) jouent un rôle important. Ces relations sont notamment utilisées pour organiser graphiquement et visualiser les classes et les instances d'une ontologie, généralement à l'aide d'arbres ou de graphes. Cependant les graphes deviennent vite illisibles lorsque les relations sont nombreuses et complexes, et font intervenir de l'héritage ou de l'instanciation multiple.
Un exemple est celui des acides aminés. Il existe 20 acides aminés (Alanine, Proline... que l'on peut abréger en code de 3 lettres : Ala, Pro...). Plusieurs acides aminés ont des propriétés physiques ou chimiques communes, telles que leur *petite* taille ou la présence d'un cycle *aromatique*. Une dizaine de propriétés sont traditionnellement considérées et visualisées dans un diagramme de Venn (Figure 1). Ces connaissances peuvent être formalisées dans une ontologie

 ©AFIA 2016

comprenant 20 individus (les acides aminés) et 10 classes (regroupant les acides aminés partageant une propriété, par exemple la classe des *petits* acides aminés ou la classe des acides aminés *aromatiques*). Les classes ne sont pas indépendantes les unes des autres : par exemple, il est évident que les acides aminés *minuscules* sont aussi *petits* (subsomption), et les acides aminés *aromatiques* ne peuvent pas être *petits* (disjonction, car le cycle aromatique est volumineux). À cause du nombre important de relations et de l'instanciation multiple, la visualisation de l'ontologie des acides aminés conduit au graphe de la Figure 2, qui est encore moins lisible que le diagramme de Venn, déjà complexe.

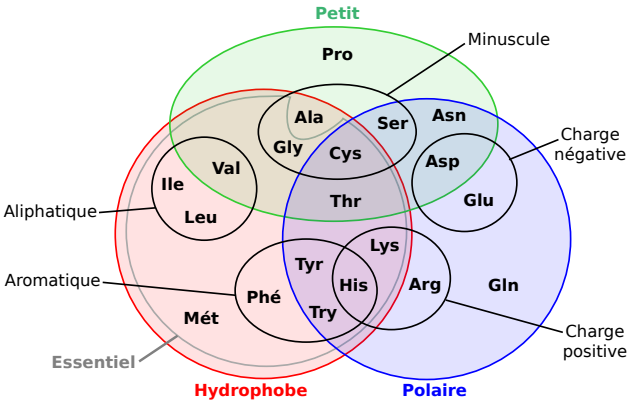


FIGURE 1 – Diagramme de Venn montrant les propriétés des acides aminés.

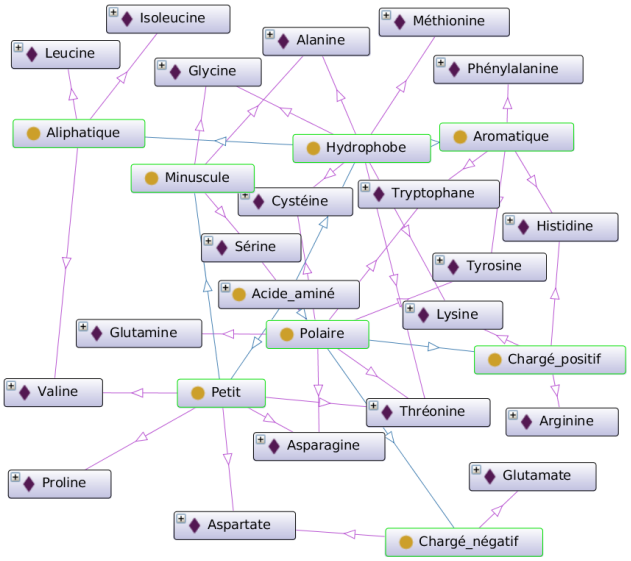


FIGURE 2 – Graphe représentant l'ontologie des acides aminés (généré avec OntoGraph).

Un autre exemple plus complexe concerne la comparaison des propriétés de médicaments similaires. Les propriétés des médicaments telles que les indications, contre-indications, interactions et effets indésirables sont listées dans des textes officiels appelés Résumés des Caractéristiques Produits (RCP), et ensuite rassemblées dans des bases de données. Parmi les médicaments partageant une même indication, plusieurs classes peuvent être définies en fonction de leurs propriétés, par exemple la classe des médicaments *contre-indiqués en cas d'hypertension* ou la classe des médicaments *pouvant provoquer des nausées* (effet indésirable). Un même médicament peut bien sûr appartenir à plusieurs de ces classes. La présentation visuelle des relations d'instanciation entre ces classes et les médicaments permettrait aux médecins d'avoir une vue d'ensemble sur les médicaments disponibles pour une indication donnée. Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet VIIIP (Visualisation Intégrée de l'Information sur l'Innovation Pharmaceutique) qui vise à permettre la comparaison visuelle des propriétés des médicaments, notamment pour les nouveaux médicaments.

Dans cet article, afin de faciliter la visualisation, nous proposons de nous limiter aux seules relations d'instanciation. Nous présentons pour cela les *boîtes arc-en-ciel* (*rainbox boxes* en anglais), une nouvelle technique de visualisation que nous avons mise au point et qui permet la représentation de relations d'instanciation complexes et multiples pour des ontologies de faible taille (environ 2-25 individus et 5-100 classes).

L'article est organisé de la manière suivante. La section 2 présente un état de l'art sur la visualisation des ontologies. La section 3 décrit les boîtes arc-en-ciel en s'appuyant sur l'exemple simple des acides aminés. La section 4 décrit l'utilisation des boîtes arc-en-ciel dans un domaine plus complexe, la comparaison des propriétés des médicaments (contre-indications et effets indésirables). La section 5 présente une expérimentation utilisateur sur cette application médicale. Enfin, la section 6 discute les principaux résultats et propose des perspectives.

2 État de l'art

La visualisation des relations d'instanciation dans les ontologies s'apparente à la visualisation d'*ensembles non disjoints* (ou ensembles chevauchant, *overlapping sets* en anglais) : les individus d'une ontologie peuvent être considérés comme des éléments et les classes comme des ensembles incluant tout ou partie de ces éléments. Les ensembles ainsi constitués se chevauchent, c'est-à-dire qu'un élément peut appartenir à plusieurs ensembles (en cas d'instanciation multiple). La visualisation d'ensembles non disjoints a donné lieu à de nombreux travaux dont B. Alsakallah *et al.* ont effectué une revue récente [2]. La grande majorité des travaux s'inspire des diagrammes d'Euler ou de Venn, ou bien s'intéresse à la représentation de jeux de données volumineux.

En revanche, peu de travaux ont cherché à visualiser de la connaissance plutôt que des données, c'est-à-dire des volumes relativement faibles mais complexes et pour lesquels il est souhaitable de visualiser la totalité des éléments simultanément. La visualisation des ontologies et des hiérar-

©AFIA 2016

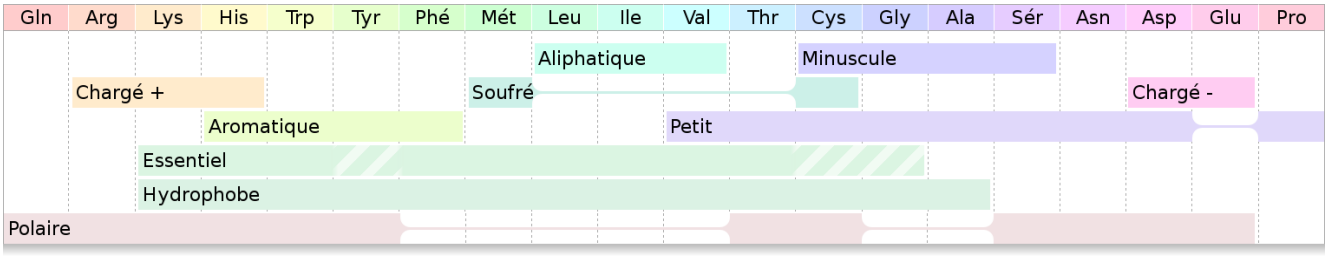


FIGURE 3 – Boîtes arc-en-ciel montrant 10 propriétés des 20 acides aminés.

chies de subsomption a fait l'objet de deux revues [9, 6]. La plupart des approches présentent les relations hiérarchiques sous forme de graphes, deux cas particuliers bien connus étant les arbres et les listes indentées. Ces méthodes ont par exemple été appliquées à la visualisation d'ontologies en anatomie [5] et de terminologies médicales [1]. Les diagrammes de Venn et les *treemaps* ont aussi été utilisés, par exemple en bioinformatique [3], et ont donné lieu à des variantes telles que Jambalaya [16] et CropCircle [19]. Cependant, une étude [10] comparant quatre modes de visualisation a montré que la liste arborescente indentée (présente de base dans l'éditeur Protégé), bien que très simple, donnait les meilleurs résultats en termes de temps de réponse. Il reste donc certainement des améliorations possibles dans ce domaine.

Concernant la comparaison des propriétés de plusieurs médicaments, les seules approches de visualisation utilisées dans la littérature sont des tableaux ou des matrices. Wroe *et al.* [20] ont proposé DOPAMINE, un outil à base de matrices, principalement à des fins de rédactions et de vérifications des propriétés dans les bases de données. Iordatii *et al.* [8] ont proposé une approche à base de tableaux pour comparer les contre-indications et les effets indésirables d'un nouveau médicament à un médicament de référence. Les *Drug Fact Boxes* [17] offrent une information comparative sur le médicament, mais limitée à un faible nombre d'entre eux et destinée aux patients plutôt qu'aux médecins.

3 Les boîtes arc-en-ciel

3.1 Principe général

Les boîtes arc-en-ciel sont une nouvelle technique pour visualiser des relations d'instanciation ou des ensembles non disjoints. Dans les boîtes arc-en-ciel, chaque instance est représentée par une colonne et chaque classe par une boîte rectangulaire qui occupe les colonnes correspondant aux instances membres de la classe. Le nom de la classe est affiché à l'intérieur de la boîte. Lorsque cela est nécessaire, des « trous » sont présents dans les boîtes ; les instances sont ordonnées de sorte à limiter au maximum les trous, à l'aide d'un algorithme décrit en section 3.2. Les boîtes les plus larges sont placées en bas (la largeur étant calculée globalement, sans tenir compte des trous), ensuite les boîtes sont empilées comme les blocs d'un jeu de « Tétris » ; plusieurs boîtes peuvent donc être côte à côte du moment qu'elles n'occupent pas les mêmes colonnes. La Figure 3 présente l'ontologie des acides aminés avec des boîtes arc-en-ciel.

Par défaut, les boîtes arc-en-ciel n'utilisent pas la couleur pour apporter une information supplémentaire, mais plutôt pour faciliter la lecture et rendre la visualisation plus attractive. Chaque instance reçoit une couleur différente, du rouge (à gauche) au violet (à droite) en traversant tout le spectre selon l'ordre des colonnes. La couleur d'une boîte est la moyenne des couleurs (en coordonnées RVB) des instances de la classe. Par conséquent, les boîtes regroupant peu d'instances ont tendance à prendre la couleur de leurs instances tandis que les boîtes avec beaucoup d'instances tirent sur le gris.

Néanmoins les couleurs peuvent aussi être spécifiées manuellement pour chaque couple (classe, instance) afin d'apporter une information complémentaire (voir exemple sur les effets indésirables en section 4.2). Les boîtes peuvent aussi inclure des hachures pour indiquer une appartenance « partielle » d'une instance à une classe, par exemple pour les acides aminés semi-essentiels sur la Figure 3.

Les boîtes arc-en-ciel indiquent l'appartenance des instances aux différentes classes, mais permettent aussi de découvrir de nouvelles relations ou similarités. Sur la Figure 3, les relations de subsomption entre classes ne sont pas représentées explicitement mais peuvent néanmoins se deviner « par extension », par exemple les acides aminés *minuscules* sont tous *petits* puisque la boîte *petit* couvre la totalité des colonnes couvertes par la boîte *minuscule*. De même pour les disjonctions, par exemple il est facile de constater qu'aucun acide aminé n'est à la fois *petit* et *aromatique*. Par ailleurs, il est frappant de constater que la classe des acides aminés *essentiels* correspond quasiment à celle des *hydrophobes*.

3.2 Optimisation de l'ordre des colonnes

Pour tracer des boîtes arc-en-ciel avec le plus petit nombre possible de trous, l'ordre des colonnes (c'est-à-dire des instances) doit être optimisé. Le nombre d'ordres possibles est $n!$ (factoriel n) où n est le nombre d'instances. La complexité du problème est donc $\mathcal{O}(n!)$. Pour des valeurs de n relativement élevées (au-delà de 10), il n'est pas possible de tester tous les ordres possibles. Pour l'ontologie des acides aminés, il y a $20\,! \approx 2{,}43\text{x}10^{18}$ ordres possibles. Pour résoudre ce problème dans un temps satisfaisant, nous

©AFIA 2016

Algorithme 1 Heuristique pour trouver les ordres candidats (quasi-)optimaux (*ordres_candidats*). *instances* est l'ensemble de toutes les instances et *classes* l'ensemble de toutes les classes.

premiers_éléments_candidats = { *i0* pour chaque instance *i0* dans *instances* qui appartient au plus grand nombre de classes dans *classes* }
ordres_en_construction = { tuple (*i0*) pour chaque instance *i0* dans *premiers_éléments_candidats* }
ordres_candidats = { } (ensemble vide)

Tant que *ordres_en_construction* $\neq$ { } :
  ordre = Prendre et enlever un tuple de *ordres_en_construction*
  restant = *instances* $\setminus$ *ordre*
  insertions_possible = { (*i*, "début") pour chaque *i* dans *restant* } $\bigcup$ { (*i*, "fin") pour chaque *i* dans *restant* }
  Pour chaque couple (*i*, *position*) dans *insertions_possible* avec le plus grand **score_d_insertion**(*i*, *position*, *ordre*) :
    Si *position* est "début" : *nouvel_ordre* = (*i*, *ordre*)
    Sinon si *position* est "fin" : *nouvel_ordre* = (*ordre*, *i*)
    Si *instances* $\setminus$ *nouvel_ordre* = { } : Ajouter *nouvel_ordre* dans *ordres_candidats*
    Sinon : Ajouter *nouvel_ordre* dans *ordres_en_construction*

Fonction **score_d_insertion**(*instance*, *position*, *ordre*) :
  Si *position* est "début" : *voisin* = Premier élément de *ordre*
  Sinon si *position* est "fin" : *voisin* = Dernier élément de *ordre*
  score = 0
  Pour chaque classe *X* dans *classes*, tel que (*instance* $\sqsubset X$) et (*voisin* $\sqsubset X$) : *score* = *score* + 2
  Pour chaque classe *Y* dans *classes*, tel que (*instance* $\not\sqsubset Y$) et ($\nexists\, j \in ordre, j \sqsubset Y$) : *score* = *score* + 1
  Retourne *score*

proposons ici une heuristique pour obtenir un ordre (quasi) optimal dans un temps raisonnable. Cette heuristique génère dans un premier temps une liste réduite d'*ordres candidats* (204 dans l'exemple des acides aminés) et ensuite teste chacun de ces ordres candidats pour garder le meilleur (c'est-à-dire celui conduisant au moins de trous et aux trous les plus courts dans la visualisation).

L'Algorithme 1 génère la liste des ordres candidats. Les ordres candidats sont construits progressivement, en commençant par *i0*, l'instance qui appartient au plus grand nombre de classes et qui est donc la plus susceptible de créer des trous puisqu'elle fait intervenir le plus grand nombre de boîtes. Ensuite, les instances restantes sont ajoutées soit au début soit à la fin de l'ordre en cours de construction. À chaque étape, l'instance à ajouter et sa position (début ou fin) sont déterminées à l'aide d'un score d'insertion (l'insertion avec le meilleur score étant retenue). Ce score prend en compte (a) le nombre de classes auxquelles appartiennent à la fois l'instance à ajouter et sa voisine (c'est-à-dire la première ou la dernière instance actuelle de l'ordre en cours de construction, selon que l'on ajoute au début ou à la fin, respectivement) et (b) le nombre de classes auxquelles n'appartiennent ni l'instance à ajouter ni aucune des instances déjà présentes dans l'ordre en cours de construction. La partie (a) favorise l'ajout d'une instance qui appartient aux mêmes classes que sa future voisine, tandis que la partie (b) favorise l'ajout d'une instance qui n'appartient pas à des classes qui sont pour l'instant absentes de l'ordre en cours de construction, c'est-à-dire que (b) tend à « retarder » l'ajout de nouvelles boîtes dans la visualisation. Enfin, lorsque plusieurs *ex aequo* sont présents pour choisir *i0* ou pour choisir l'instance à ajouter ou sa position, toutes les possibilités sont considérées, ce qui conduit à la génération de plusieurs ordres candidats.

4 Application à la comparaison des propriétés des médicaments

Nous décrirons dans cette section l'application des boîtes arc-en-ciel à la comparaison des contre-indications et des effets indésirables des médicaments.

4.1 Comparaison des contre-indications

La Figure 4 présente sous forme de boîtes arc-en-ciel les contre-indications de 8 médicaments pour la dysfonction érectile. Les boîtes arc-en-ciel « basiques » décrites à la section 3 ont été enrichies avec : (a) des en-têtes indiquant les classes pharmaco-thérapeutiques, au-dessus des en-têtes de colonnes, tels que « Prostaglandine E1 » pour Vitaros®, (b) des hachures pour représenter les situations où le médicament est déconseillé, c'est-à-dire des contre-indications relatives et non absolues, telles que l'insuffisance rénale sévère pour Cialis®, (c) des *widgets*, pour ajouter des informations spécifiques sur un couple (médicament, contre-indication) donné, tels que l'étiquette « (non-controllée) » pour la contre-indication hypertension artérielle de Cialis® ou les barres colorées dans la boîte « Âge », (d) des icônes VCM à droite des boîtes.

Le langage iconique VCM (Visualisation des Concepts en Médecine) [12, 13, 14] propose des icônes pour représenter les principaux concepts médicaux, et notamment les conditions patients et les maladies. VCM comprend un ensemble de primitives graphiques (couleurs, formes et pictogrammes) et une grammaire graphique qui permet de combiner les primitives pour créer les icônes.

Les boîtes arc-en-ciel de la Figure 4 montrent les contre-indications de 8 médicaments, mais montrent aussi les similarités entre médicaments et en particulier les ressemblances qui existent au sein de chacune des deux

©AFIA 2016

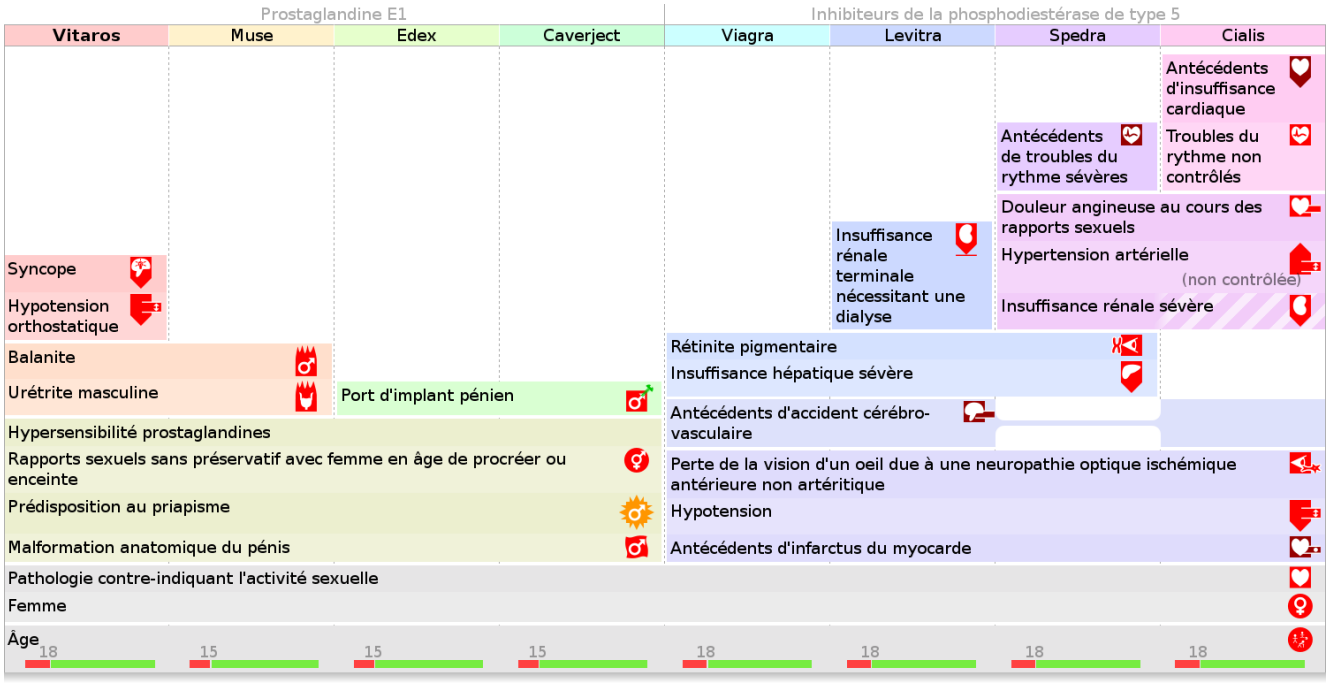


FIGURE 4 – Boîtes arc-en-ciel montrant les 79 contre-indications (26 distinctes) de 8 médicaments pour traiter la dysfonction érectile.

classes pharmaco-thérapeutiques. Par exemple, la contre-indication avec la prédisposition au priapisme est clairement une propriété commune à la classe des prostaglandines E1.

La visualisation a été rendue interactive : en cliquant sur les colonnes, l'utilisateur peut afficher une comparaison limitée aux deux médicaments choisis (Figure 5). Cette comparaison comprend trois parties : en haut à gauche, les contre-indications spécifiques du premier médicament, en haut à droite, celles du second médicament, et en bas, les contre-indications communes aux deux. Dans chaque partie, les contre-indications sont triées par organes.

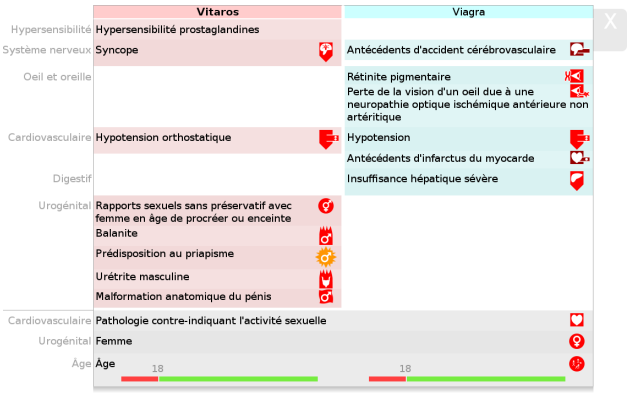


FIGURE 5 – Comparaison des contre-indications de deux médicaments (Vitaros® et Viagra®).

4.2 Comparaison des effets indésirables

La Figure 6 montre un exemple de boîtes arc-en-ciel pour présenter les effets indésirables des huit médicaments. Les effets indésirables sont plus complexes à visualiser que les contre-indications, car ils sont caractérisés par deux attributs additionnels : la gravité (attribut booléen) et la fréquence de l'effet (mesurée sur l'échelle standard de cinq valeurs : très rare, rare, peu fréquent, fréquent, très fréquent). Seuls les effets graves et/ou fréquents (ou très fréquents) ont été retenus, en effet les médecins ne sont pas intéressés *a priori* par les effets non-graves et peu fréquents, d'après un focus groupe réalisé au début du projet.

Les deux attributs ont été représentés à l'aide de couleurs personnalisées dans chaque cellule. La teinte indique la gravité (rouge : grave, orange : non grave) tandis que la saturation indique la fréquence (les couleurs plus saturées correspondent à des effets plus fréquents). Pour certaines boîtes, la couleur peut changer d'une colonne à l'autre (par exemple la boîte « Douleur du pénis » est moins saturée pour Vitaros® car cet effet est moins fréquent avec ce médicament qu'avec les autres prostaglandines E1).

La Figure 6 donne une vue globale des effets indésirables des huit médicaments et permet plusieurs constats tels que : Vitaros® a de nombreux effets indésirables non graves, Viagra® a de nombreux effets graves, la plupart étant communs avec Cialis®, ou Spedra® est le médicament qui présente le moins d'effets indésirables.

©AFIA 2016

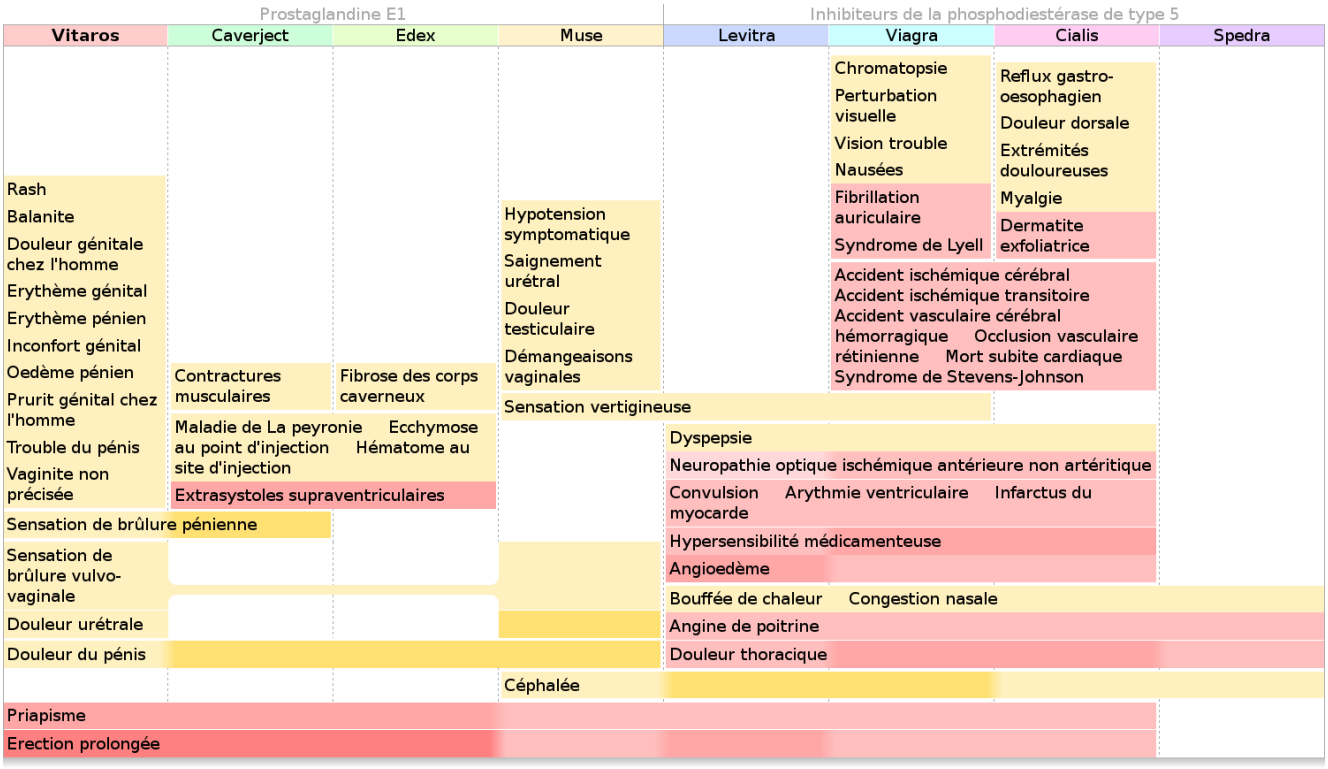


FIGURE 6 – Boîtes arc-en-ciel montrant les 116 effets indésirables (56 distincts) de 8 médicaments pour traiter la dysfonction érectile. Des couleurs personnalisées sont utilisées pour indiquer la gravité (teinte rouge ou orange) et la fréquence (saturation) des effets.

4.3 Implémentation

L'application présentée ici a été implémentée en Python 3, en deux parties : un module pour la génération des boîtes arc-en-ciel et un autre pour la gestion des propriétés des médicaments. Le premier module produit des pages HTML avec des feuilles de style CSS et du JavaScript. Le second permet soit la saisie manuelle des propriétés des médicaments soit leur extraction automatique à partir de la base de données sur le médicament Thériaque ou à partir des textes des RCP (pour les effets indésirables seulement). Les contre-indications ont été codées avec la CIM-10 (Classification Internationale des Maladies, 10ème version) et les effets indésirables avec MedDRA (*Medical Dictionary for Regulatory Activities*). PyMedTermino [15] a été utilisé pour gérer les deux terminologies. Les propriétés des médicaments ont été enregistrées dans une ontologie formelle en OWL/XML avec le module Python OwlReady [11].

La version complète du site web du projet VIIIP, visant à comparer les nouveaux médicaments aux anciens et portant sur quatre nouveaux médicaments, est disponible à l'adresse suivante : http://www.lesfleursdunormal.fr/static/viiip_proto/html.
Le code source du module Python permettant la génération des boîtes arc-en-ciel en HTML est disponible à l'adresse suivante : http://bitbucket.org/jibalamy/rainbowbox, sous licence libre (GNU LGPL v3).

5 Expérimentation utilisateur

5.1 Protocole

Les boîtes arc-en-ciel ont été évaluées lors d'une étude sur l'application aux propriétés des médicaments, en les comparant à des tableaux dynamiques (avec les médicaments en colonne et les contre-indications ou les effets indésirables en ligne, et des symboles colorés indiquant dans chaque case les contre-indications absolues ou relatives, ou la fréquence et la gravité des effets indésirables). Les tableaux étaient interactifs et permettaient d'afficher les propriétés d'un, de deux ou de tous les médicaments. Les tableaux ont été choisis comme référence lors de l'étude car ils paraissaient la manière la plus « évidente » de présenter les propriétés des médicaments aux auteurs mais aussi dans la littérature [20, 8].
L'étude a été réalisée selon un protocole en *cross-over*. 3 jeux de données sur les médicaments (dont celui sur la dysfonction érectile présenté plus haut) ont été extraits manuellement, chaque jeu comprenant 2 comparaisons (contre-indications et effets indésirables) et chaque comparaison a produit 2 documents (un avec les tableaux et l'autre avec les boîtes arc-en-ciel). Cela a conduit à 12 documents. 12 questions à choix fermés et uniques ont été écrites et validées par deux experts (2 questions pour chaque comparaison). Chaque question impliquait au moins deux médicaments et la réponse était présente dans

©AFIA 2016

le document, par exemple : « Vitaros® est-il préférable à Edex® chez les patients porteurs d'un implant pénien ? (Oui/Non) » ou « Quel médicament présente le plus d'effets indésirables cardiaques graves ? (Vitaros®/Caverject®/..., 8 réponses possibles) ». Deux questions « d'échauffement » sur un 4ème jeu de données ont été ajoutées au début de l'évaluation, mais leurs résultats n'ont pas été pris en compte pour l'analyse.

Des médecins ont été recrutés et brièvement formés aux deux modes de visualisation (15 minutes environ). Ils ont ensuite répondu sur ordinateurs aux questions, chaque question étant accompagnée d'un document. Les médecins étaient répartis en deux groupes ; pour une comparaison donnée, l'un des groupes avait la première question avec les tableaux et la seconde avec les boîtes arc-en-ciel, et l'autre l'inverse.

Durant le test, nous avons mesuré la justesse des réponses et le temps de réponse ; après, nous avons mesuré l'utilisabilité perçue à l'aide d'un questionnaire standard SUS (*System Usability Scale*) [4]. Les données ont été analysées avec le logiciel R version 3.2.3. Une discussion générale avec les médecins a ensuite été organisée.

5.2 Résultats

22 médecins ont été recrutés (12 hommes, 10 femmes, âge moyen : 54,6 ans). Ils ont été grandement intéressés à l'idée de comparer les propriétés des médicaments. 9 médecins ont préféré les tableaux dynamiques et 7 les boîtes arc-en-ciel (6 n'ont pas exprimé de préférence). Le score SUS était de 72,0 pour les tableaux contre 66,9 pour les boîtes arc-en-ciel, la différence n'est pas significative (p = 0,25, test de Wilcoxon).

99 réponses sur 132 (75%) étaient corrects avec les tableaux contre 103 sur 132 (78%) avec les boîtes arc-en-ciel, la différence n'est pas significative (p = 0,66, test du Chi-2 corrigé). Le temps de réponse moyen était de 39,0 secondes avec les tableaux contre 29,7 secondes avec les boîtes arc-en-ciel, la différence est significative au risque $\alpha = 5\%$ (p = 0,011, test T de Student sur *log*(temps de réponse) pour normaliser les distributions).

Lors de la discussion, les médecins nous ont dit qu'ils avaient plus de difficultés à utiliser les boîtes arc-en-ciel. Ils ont aussi trouvé que les deux modes de visualisation leur permettraient de répondre a des questions différentes dans leur pratique quotidienne : les tableaux seraient plus appropriés en consultation lorsque le médecin a un patient précis en tête, tandis que les boîtes arc-en-ciel seraient plus adaptées pour la formation, lorsque le médecin a besoin d'une vue d'ensemble des propriétés des médicaments.

6 Discussion

6.1 Boîtes arc-en-ciel

Les boîtes arc-en-ciel permettent de visualiser les relations d'instanciation entre instances et classes (*est-instance-de*) dans une ontologie, tout en restant lisibles lorsque ces relations sont nombreuses et complexes. En revanche, les relations de subsomption entre classes (*est-un*) ne sont pas représentées de manière explicite. Par exemple, il est facile de constater sur la Figure 3 que tous les acides aminés *aliphatiques* sont aussi *essentiels*, cependant les boîtes arc-en-ciel n'indiquent pas si ce fait est purement fortuit ou bien s'il existe une relation de subsomption entre la classe des acides aminés *aliphatiques* et celle des *essentiels*.

En l'état, les boîtes arc-en-ciel peuvent être utiles pour découvrir des similarités entre instances ou entre classes, et faire des hypothèses sur des relations de subsomption. Elles pourraient cependant être améliorées en prenant en compte les relations de subsomption entre classes. L'héritage simple entre classes pourrait par exemple être représenté en incluant les boîtes des classes plus spécifiques dans les boîtes des classes plus générales (par exemple la boîte des acides aminés *minuscules* pourrait être incluse dans celle des *petits*). De même, la visualisation des disjonctions entre classes pourrait être facilitée si l'on plaçait les classes disjointes sur la même ligne. Ces connaissances ontologiques pourraient ainsi intervenir dans l'heuristique.

Pour l'optimisation de l'ordre des colonnes, nous avons testé d'autres approches qui n'ont pas conduit à des résultats aussi bons que l'heuristique présentée ici. Nous avons essayé l'*analyse en composante principale* (ACP) après avoir transformé l'ontologie en un espace à n dimensions (où n est le nombre de classes) dans lequel chaque instance est un point dont les coordonnées sont 1 (si l'instance est membre de la classe associée à la dimension) ou 0 (sinon). L'ACP permet ensuite de calculer l'axe permettant le mieux de séparer les points ; les instances sont alors placées dans l'ordre où elles figurent sur cet axe. Nous avons aussi essayé des méthodes de construction d'arbre (*unweighted pair group method with arithmetic mean*, UPGMA, et *neighbor-joining*, NJ). Ces méthodes permettent de regrouper les instances similaires de manière hiérarchique, cependant elles ne définissent pas un ordre à proprement parler, en particulier les fils de chaque nœud de l'arbre ne sont pas ordonnés. Il faut alors tester tous les ordres possibles satisfaisant l'arbre, et cela conduit à tester un nombre d'ordres bien plus grand que l'heuristique que nous avons proposée (pour les acides aminés, 524 288 pour UPGMA et 786 432 pour NJ). Les algorithmes de classification double (*biclustering*) pourraient aussi être envisagés, avec néanmoins le même problème : l'objectif est ici de trouver un ordre optimal et non pas un ensemble de classes (*clusters*).

6.2 Application à la comparaison des propriétés des médicaments

L'expérimentation utilisateur a montré que les médecins avaient une légère préférence pour les tableaux, mais qu'ils trouvaient l'information significativement plus rapidement avec les boîtes arc-en-ciel. Ces résultats ne sont pas contradictoires : en effet le score SUS mesure l'*utilisabilité perçue* mais celle-ci n'est pas nécessairement corrélée à l'utilisabilité réelle. Temps de réponse, justesse des réponses et satisfaction de l'utilisateur sont trois paramètres à mesu-

©AFIA 2016

rer lors des expérimentations utilisateurs et ceux-ci doivent être considérés *a priori* comme non corrélés [7].
Les difficultés rencontrées par les médecins avec les boîtes arc-en-ciel peuvent s'expliquer par le fait que cette visualisation est nouvelle pour eux, alors qu'ils sont habitués aux tableaux, et par l'âge élevé d'un certain nombre des évaluateurs (certains mentionnant eux-mêmes ce point dans les questionnaires). Les boîtes arc-en-ciel pourraient être utiles pour la formation initiale et continue, par exemple pour les enseignements de pharmacologie ou l'information sur les nouveaux médicaments.

7 Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté les boîtes arc-en-ciel, une nouvelle technique pour la visualisation des relations hiérarchiques dans les ontologies. Cette technique est particulièrement intéressante pour mettre en évidence les similarités entre instances et entre classes, et pour découvrir des relations de subsomption. Nous avons montré comment elle pouvait être appliquée à l'exemple des acides aminés et à la comparaison des propriétés des médicaments. Ensuite, nous avons décrit une expérimentation utilisateur qui a montré que les boîtes arc-en-ciel permettaient aux médecins de répondre plus rapidement à des questions précises qu'une approche à base de tableaux ; cependant davantage de formation est sans doute nécessaire avant de pouvoir utiliser efficacement ce nouvel outil.
Les boîtes arc-en-ciel pourraient être appliquées dans bien d'autres domaines, tels que la bioinformatique (par exemple pour la visualisation de *Gene Ontology*), les résultats des moteurs de recherche, les classifications et terminologies ou l'analyse et l'appréciation des bases de connaissances [18]...

Remerciements

Ce travail a été financé par l'ANSM (Agence Nationale de Sécurité du Médicament et des produits de santé) au travers du projet de recherche VIIIP (AAP-2012-013).

Références

[1] I Alecu, C Bousquet, P Degoulet, and M C Jaulent. PharmARTS : terminology web services for drug safety data coding and retrieval. *Stud Health Technol Inform*, 129(Pt 1) :699–704, 2007.

[2] B Alsallakh, L Micallef, W Aigner, H Hauser, S Miksch, and P Rodgers. Visualizing Sets and Set-typed Data : State-of-the-Art and Future Challenges. In *Eurographics Conference on Visualization (EuroVis)*, 2014.

[3] E H Baehrecke, N Dang, K Babaria, and B Shneiderman. Visualization and analysis of microarray and gene ontology data with treemaps. *BMC bioinformatics*, 5 :84, 2004.

[4] A Bangor, P Kortum, and J Miller. Determining what individual SUS score mean : adding an adjective rating scale. *J Usability Stud*, 4 :114–123, 2009.

[5] A S Dadzie and A Burger. Providing visualisation support for the analysis of anatomy ontology data. *BMC Bioinformatics*, 6(74), 2005.

[6] M Dudás, O Zamazal, and V Svátek. Roadmapping and navigating in the ontology visualization landscape, 2014.

[7] E Frøkjær, M Hertzum, and K Hornbæk. Measuring Usability : Are Effectiveness, Efficiency, and Satisfaction Really Correlated ? In *Proceedings of the ACM CHI 2000 Conference on Human Factors in Computing Systems*, volume 345-352, The Hague, The Netherlands, 2000.

[8] M Iordatii, A Venot, and C Duclos. Design and evaluation of a software for the objective and easy-to-read presentation of new drug properties to physicians. *BMC medical informatics and decision making*, 15 :42, 2015.

[9] A Katifori and C Halatsis. Ontology visualization methods - A survey. *ACM Computing Surveys*, 39(4) :10, 2007.

[10] A Katifori, E Torou, C Vassilakis, G Lepouras, and C Halatsis. Selected results of a comparative study of four ontology visualization methods for information retrieval tasks. In *Research Challenges in Information Science*, volume 133-140, 2008.

[11] J B Lamy and H Berthelot. Ontopy : programmation orientée ontologie en Python. In *Actes du congrès d'Ingénierie des Connaissances (IC2015)*, Rennes, France, 2015.

[12] J B Lamy, C Duclos, A Bar-Hen, P Ouvrard, and A Venot. An iconic language for the graphical representation of medical concepts. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 8 :16, 2008.

[13] J B Lamy, C Duclos, and A Venot. De l'analyse d'un corpus de texte à la conception d'une interface graphique facilitant l'accès aux connaissances sur le médicament. In *Actes des 20es Journées Francophones d'Ingénierie des Connaissances*, volume 265-276, Hammamet, Tunisie, 2009. PUG.

[14] J B Lamy, L F Soualmia, A Venot, and C Duclos. Validation de la sémantique d'un langage iconique médical à l'aide d'une ontologie : méthodes et applications. In *Actes du congrès d'Ingénierie des Connaissances (IC2014)*, Clermont-Ferrant, France, 2014.

[15] J B Lamy, A Venot, and C Duclos. PyMedTermino : an open-source generic API for advanced terminology services. *Stud Health Technol Inform*, 210 :924–928, 2015.

[16] R Lintern and M A Storey. Jambalaya Express : Ontology visualization-on-demand. In *International Protégé Conference*, 2005.

[17] L M Schwartz, S Woloshin, and H G Welch. The Drug Facts Box : Improving the communication of prescription drug information. *Ann Intern Med.*, 150 :516–27, 2009.

[18] F Vexler, A Berger, J P Cotton, and A Belloni. Eléments d'appréciation et d'analyse d'une base de connaissance : l'expérience industrielle d'Ardans. In *Atelier aide à la décision à tous les étages (AIDE), conférence extraction et gestion des connaissances (EGC)*, volume 59-72, 2013.

[19] T D Wang and B Parsia. CropCircles : Topology sensitive visualization of OWL class hierarchies. In *International Semantic Web Conference (ISWC)*, 2006.

[20] C Wroe, W Solomon, A Rector, and J Rogers. DOPAMINE : a tool for visualizing clinical properties of generic drugs. In *Proceedings of the Fifth Workshop on Intelligent Data Analysis in Medicine and Pharmacology (IDAMAP)*, volume 61-65, 2000.

©AFIA 2016

Une Approche basée sur la Théorie des Jeux pour la Reconnaissance d'Objectif d'un Adversaire et la Planification de Réponse en Environnements Compétitifs

Nicolas Le Guillarme[1,2] Abdel-Illah Mouaddib[2] Xavier Lerouvreur[3] Sylvain Gatepaille[4]

[1] Pôle Innovation, Cordon DS2i, Val-de-Reuil, France
[2] GREYC (UMR 6072), Université de Caen Normandie, Caen, France
[3] Signal Processing, Algorithms & Performance, Airbus Defence and Space, Toulouse, France
[4] Advanced Information Processing, Airbus Defence and Space, Élancourt, France

{nicolas.leguillarme, abdel-illah.mouaddib}@unicaen.fr

Résumé

Cet article traite des problèmes de reconnaissance d'objectif d'un adversaire et de planification de réponse dans un contexte multi-agent compétitif. La reconnaissance d'objectif est le problème qui consiste à inférer le but d'un agent à partir d'observations de son comportement. Dans les situations antagoniques, où deux forces sont en compétition pour la réalisation d'objectifs incompatibles dans un environnement partagé, le comportement de l'agent observé dépend non seulement de l'objectif qu'il cherche à accomplir, mais également du comportement de son opposant. Nous proposons un nouveau modèle de jeu stochastique basé sur les graphes d'attaque permettant de représenter le processus de planification d'un adversaire intentionnel et nous montrons qu'il est possible d'inférer son intention en inversant ce modèle. Nous évaluons le potentiel de notre approche pour la reconnaissance d'objectif et l'aide à la décision sur un scénario illustratif dans le cadre duquel un défenseur cherche à protéger un ensemble de cibles d'un attaquant, et nous discutons les extensions à venir.

Mots Clef

Planification compétitive, reconnaissance d'objectif, jeux stochastiques, théorie des jeux, planification inverse, graphes d'attaque.

Abstract

This paper addresses the problems of adversarial goal recognition and response planning in a competitive multi-agent setting. Goal recognition is the problem of inferring the goal of an agent from observations of its actions. In adversarial situations, where two opposing forces are competing to achieve conflicting goals in a shared environment, the behavior of the observed agent will not only depend on the goal it is trying to achieve, but also on the behavior of its opponent. We propose a new model of stochastic game based on attack graphs to represent the planning process of such an adaptive goal-directed adversary and show how we can infer its intention by inverting this model. We evaluate the potential of our approach for goal recognition and decision-support on an illustrative scenario where a defender needs to protect multiple targets against an attacker, and discuss planned extensions.

Keywords

Adversarial planning, goal recognition, stochastic games, game theory, inverse planning, attack graphs.

1 Introduction

In many defense and security activities, such as critical infrastructures and convoy protection to name a few, a key challenge for the friendly force (Blue) is to predict its opponent's (Red) future actions and to formulate an effective response that will take into account potential counteractions of the adversary [11]. To better anticipate and counter Red's actions, Blue has to infer the intentions of its opponent, i.e. the goals which are driving Red's behavior.

In [1], adversarial plan recognition (APR) is defined as the use of plan recognition in settings where the observed agent is considered a potential adversary, having plans or goals that oppose those of the observer. They further distinguish between keyhole APR [10], where the adversary is unaware or indifferent about the recognition of its plans, and intended APR [12], where the observed adversary is actively hostile to the recognition process and is likely to use concealment and/or deceptive actions to mislead the observer. This paper addresses the problem of keyhole adversarial goal recognition, a sub-problem of APR which consists of inferring the goals of an adversary from observations of its actions.

©AFIA 2016

In adversarial situations, where the Blue and Red forces are competing to achieve conflicting goals in a shared environment, it is very likely that each force will plan its actions in a way that maximizes the likelihood of achieving its goals, while taking into account the behavior of the opposing force. As a consequence, the actions of the adversary, from which we try to infer its intentions, depend not only on the goals it is trying to achieve, but also on the behavior of the observer/Blue force. Most of the previous works on APR do not take into account the game-theoretic nature of the interactions which exist between opposing forces in competitive environments [8, 14, 11]. Two notable exceptions are [5] and [12] in which game-theoretic formulations of the problem of intended APR are presented. However, these works do not detail the way observations are matched to plans, which is a key challenge for plan/goal recognition. Furthermore, as outlined in [13], previous works on APR are related to the detection and recognition of adversarial behaviors, not the prevention of their detrimental outcomes.

In this paper, we propose a unified game-theoretic approach to both keyhole adversarial goal recognition and response planning in a shared multi-agent stochastic environment. Our method is grounded in the framework of *goal recognition as inverse planning* [3], which, in our view, seems more adapted for incorporating the strategic interactions between opposing forces in the goal recognition process than classical approaches based on handcrafted plan libraries. Under the assumption of (partial) rationality for both the Blue and Red agents, our approach is able to determine (1) which goal among a predefined set of possible goals is the true hidden goal of the adversary, and (2) what is Blue's best response to the current intention of its opponent.

2 Related Work

Goal recognition as inverse planning is a new paradigm for goal inference proposed in [22], and further studied in a series of works by Baker *et al.* [3, 2] and Ramírez and Geffner [15, 16, 17]. It is based on the idea that goal recognition is planning in reverse : while planning is the process by which intentions become actions, goal recognition is the process by which intentions are inferred from observations of an agent's actions. Therefore, intentions can be inferred by inverting a model of the agent's planning process. Inverse planning approaches (see Table 1 for a comparison) consider that the observed agent is a rational planner and that its goal can be inferred from observations of the (possibly imperfect) execution of an optimal plan for this goal. The main advantage is that the need for a plan library is replaced by an implicit encoding of the observed agent's possible behaviors as an action model and a set of possible goals, thus making such methods more generic and less dependent on the availability of expert knowledge. Furthermore, these methods can leverage existing planners, including classical planners [15], MDPs [3] and POMDPs [17]. Our work is closely related to the one described in [21] which also address the problem of goal recognition in multi-agent environments. However, possibly competitive interactions are modeled as multi-agent MDPs, while we adopt a strict game-theoretic approach.

	Multi-agent environment	Partial Observability		Stochastic actions	Goal library
		Actions	States		
[16]		✓			✓
[13]		✓			
[3]		✓		✓	✓
[17]		✓	✓	✓	✓
[21]	✓			✓	✓
This paper	✓	(✓)		✓	✓

TABLE 1 – Comparative analysis of the principal approaches for goal recognition as inverse planning. While our formulation handles partial observability of the adversary's actions, it is left for future work.

3 Adversarial Goal Recognition as Inverse Adversarial Planning

We introduce the model of Attack Stochastic Games (ASGs) to represent the goal-directed interactions between the observed adversary and the observer. An ASG can be seen as a particular case of discounted stochastic game with a goal-dependent reward function. The goal recognition task is to infer a probability distribution over the possible goals of the adversary, whose behavior results from probabilistic planning in one of several possible ASGs (one per possible goal).

3.1 Problem Definition

We start with a formal definition of the adversarial goal recognition problem within our game-theoretic framework. Our state and action models are based on the object-oriented MDP formalism [7], a factored representation where states are represented as sets of objects and the dynamics of the system are defined in terms of conditional effects on objects attributes. OO-MDPs are a natural way of compactly representing states and transition dynamics in relational domains and offer many opportunities for generalization.

Definition 1. *An object-oriented adversarial planning (OO-AP) domain is a tuple* $\mathcal{D} = \langle \mathcal{C}, \mathcal{F}, \{A^i\}_{i \in Ag} \rangle$ *where* $\mathcal{C}$ *is a set of object classes,* $\mathcal{F}$ *is a set of propositional functions, and* A^i *is the set of actions available to planning agent i.*

An OO-AP domain consists of the knowledge which must be provided by the system designer for the system to reason about the situation and its dynamics. This includes the definition of object classes and their attributes, but also the definition of propositional functions (PFs), i.e. boolean functions defined over classes or objects and whose value in a specific state gets defined when grounding the function parameters into objects of the corresponding class. PFs

©AFIA 2016

are used to evaluate an object attributes, to represent relations between objects, or to encode any prior knowledge. The domain dynamics is represented by action schemas, i.e. possibly parameterized abstract actions whose preconditions are expressed as conjunction of PFs and effects are operations on objects attributes, and which once instantiated become (grounded) actions.

Definition 2. *An object-oriented adversarial planning problem is a tuple $\mathcal{P} = \langle \mathcal{D}, \mathcal{W}, s_0, \mathcal{T} \rangle$ where $\mathcal{D}$ is an OO-AP domain, $\mathcal{W}$ is a set of object instances, s_0 is the initial state of the world, and $\mathcal{T}$ is a set of termination conditions.*

An OO-AP problem is a specific instance of an OO-AP domain for which adversarial goal recognition is required. Let $\mathcal{G} = \{g_1, ..., g_{|\mathcal{G}|}\}$ denote the set of possible goals for the observed agent provided by the system designer, where each goal $g \in \mathcal{G}$ is a conjunction of propositional functions. The overall idea of our approach is to derive a set of $|\mathcal{G}|$ OO-AP problems $\mathcal{P}_g = \langle \mathcal{D}, \mathcal{W}, s_0, \mathcal{T} \cup \{g\} \rangle$. Each problem will be modeled as an Attack Stochastic Game whose structure (states and transitions between states) is generated automatically using the available domain knowledge. We limit the scope of this paper to purely competitive (i.e. zero-sum) two-player settings ($Ag = \{attacker, defender\}$), where the objective of the defender (Blue force) is to prevent the attacker (Red force) from achieving its true goal, which is hidden to the defender.

Definition 3. *An adversarial goal recognition problem is a triplet $\langle \mathcal{P}, \mathcal{G}, O \rangle$ where $\mathcal{P}$ is an OO-AP problem, $\mathcal{G}$ is the set of possible goals of the observed agent, and O is a sequence of observations.*

The solution to an adversarial goal recognition problem can be expressed as a posterior distribution over the set of possible goals $\mathcal{G}$ given the observation sequence O. In the section dedicated to inverse planning in Attack Stochastic Games, we show that for each goal $g_i \in \mathcal{G}$, the likelihood $P(g_i|O)$ can be derived from the optimal value function $V^*_{g_i}(s)$ which represents the expected reward for the adversary when playing a Nash equilibrium to achieve goal g_i starting from state s.

3.2 Attack Stochastic Games

The interactions between an attacker trying to achieve a goal $g \in \mathcal{G}$, and a defender trying to prevent the attacker from achieving goal g, are modeled as an Attack Stochastic Game.

Definition 4. *An Attack Stochastic Game for $g \in \mathcal{G}$ is a tuple $\Gamma_g = \langle Ag,\ s_0,\ S_u,\ S_s,\ S_g,\ \{A^i\}_{i \in Ag},\ \{R^i\}_{i \in Ag},\ T,\ \gamma \rangle$:*

- *$Ag = \{attacker, defender\}$ is a finite set of players ;*
- *$s_0 \in S_u$ is the initial state of the game ;*
- *S_u is a finite set of unsafe states ;*
- *S_s is a finite set of safe states ;*
- *S_g is a finite set of goal states ;*
- *$S = S_u \cup S_s \cup S_g$;*
- *$S_u \cap S_s = \emptyset$, $S_u \cap S_g = \emptyset$, $S_s \cap S_g = \emptyset$;*
- *$A^i(s)$ is the set of actions applicable by player i in $s \in S_u$, $\mathbf{A}(\mathbf{s}) = \times_{i \in Ag} A^i(s)$ is the set of applicable joint actions, and $\mathcal{A} = \{(s, \mathbf{a}) \mid s \in S_u,\ \mathbf{a} \in \mathbf{A}(\mathbf{s})\}$;*
- *$R^i : S \to \mathbb{R}$ is a goal-based reward function for player i ;*
- *$T : \mathcal{A} \times S \to [0,1]$ is a transition function. $T(s, \mathbf{a}, s')$ represents the probability for the system to transit to state s' after taking joint action $\mathbf{a} \in \mathbf{A}(\mathbf{s})$ in s ;*
- *$\gamma \in [0,1[$ is a discount factor.*

The state space of an ASG is split into three mutually exclusive sets of states : a set of unsafe states, a set of safe states, and a set of goal states. We call *goal state* every state s such that g is true in s ($s \vDash g$). A state s is an *unsafe state* if there exists a sequence of joint actions starting from s which leads to a goal state with non-zero probability. Finally, we call *safe state* any state which is neither a goal state nor an unsafe state, i.e. a state from which it is not possible for the opponent to force the system into a goal state. Safe and goal states are final. There is no transition out of these states. The reward function is goal-dependent : the opponent receives a positive reward when reaching a goal state, and gets zero reward in every other state ; it must also satisfy the zero-sum constraint : $\forall s \in S,\ R^{attacker}(s) = -R^{defender}(s)$.

An Attack Stochastic Game Γ_g represents all the possible paths that end in a state where the adversary has successfully achieved his goal g, as well as the possible countermeasures for a defender trying to drive the system into a safe state. Therefore, ASGs can be seen as a multi-agent extension of probabilistic attack graphs [9] where the attacker and the defender are respectively rewarded and penalized when the system reaches a goal state.

Our algorithm for ASGs generation (Algorithm 1) is inspired by the model checking algorithm for attack graphs generation described in [9]. The first step of the algorithm is to determine the set S_r of states that are reachable from the initial state (line 1). This helps to improve the planner efficiency by preventing it from focusing on the unreachable part of the state space. In [9], attacks (paths in an attack graph) are considered as violations of a safety property $\mathbf{AG}(\neg unsafe)$ which states that an unsafe state cannot be reached from the initial state and constructs attack graphs for such safety properties using model checking. Similarly, given a goal $g \in \mathcal{G}$, we use model checking to build an attack graph for the safety property $\mathbf{AG}(\neg g)$ (line 5 and Algorithm 3). Finally, if s_0 is an unsafe state, we create an ASG Γ_g by restricting transition function T to states in the set of unsafe states S_u (since safe and goal states are final) and associating a goal-dependent reward function to the attack graph (line 6). Otherwise, this means that s_0 is a safe state (we exclude the case where the goal condition holds in the initial state) and that there exists no way for the attacker to force the system into a state where g is achieved.

Reachability analysis Algorithm 2 first checks if the current state s is terminal, i.e. at least one of the termination conditions (propositional function) in $\mathcal{T}$ holds in s

©AFIA 2016

Algorithme 1 : Attack Stochastic Games generation.

Data : An OO-AP problem $\mathcal{P}$, a set of possible goals $\mathcal{G}$
Result : A set of Attack Stochastic Games $\{\Gamma_g | \forall\, g \in \mathcal{G}_a \subseteq \mathcal{G}\}$

1 **begin**
2 $\quad\langle S_r, s_0, T\rangle \leftarrow$ `reachabilityAnalysis` $(\mathcal{P})$
3 $\quad\mathcal{G}_a \leftarrow \{\}$
4 $\quad$**foreach** $g \in \mathcal{G}$ **do**
5 $\quad\quad\langle S_u, S_s, S_g\rangle \leftarrow$ `modelChecking` (S_r, s_0, T, g)
6 $\quad\quad$**if** $s_0 \in S_u$ **then**
7 $\quad\quad\quad\Gamma_g \leftarrow \langle Ag,\ s_0,\ S_u,\ S_s,\ S_g,\ \{A^i\}_{i\in Ag},\ \{R^i\}_{i\in Ag},\ T_{|S_u}\rangle$
8 $\quad\quad\quad\mathcal{G}_a \leftarrow \mathcal{G}_a \cup \{g\}$
9 $\quad\quad$**return** $\{\Gamma_g | \forall\, g \in \mathcal{G}_a\}$

Algorithme 2 : Reachability analysis.

Data : An OO-AP problem $\mathcal{P} = \langle \mathcal{D}, \mathcal{W}, s_0, \mathcal{T}\rangle$
Result : A transition system $\langle S_r, s_0, T\rangle$

1 **procedure** `reachabilityAnalysis` $(\mathcal{P})$
2 $\quad S_r \leftarrow \{s_0\},\ T \leftarrow \{\}$
3 $\quad$`getReachableStates` $(\mathcal{P},\ s_0,\ S_r,\ T)$
4 $\quad$**return** $\langle S_r, s_0, T\rangle$
5 **procedure** `getReachableStates` $(\mathcal{P},\ s,\ S_r,\ T)$
6 $\quad$**if** *not* $\exists\, t \in \mathcal{T}$ *such that* $s \vDash t$ **then**
7 $\quad\quad$**for** $i = 1...|Ag|$ **do**
8 $\quad\quad\quad A^i(s) \leftarrow$ `App` $(s, i, \mathcal{D})$
9 $\quad\quad\mathbf{A}(\mathbf{s}) \leftarrow \times_{i\in Ag} A^i(s)$
10 $\quad\quad$**foreach** $\mathbf{a} \in \mathbf{A}(\mathbf{s})$ **do**
11 $\quad\quad\quad P(S'|s,\mathbf{a}) \leftarrow$ `generateSuccessors` $(s, \mathbf{a})$
12 $\quad\quad\quad$**foreach** $s' \in S'$ *such as* $P(s'|s,\mathbf{a}) \neq 0$ **do**
13 $\quad\quad\quad\quad T(s,\mathbf{a},s') \leftarrow P(s'|s,\mathbf{a})$
14 $\quad\quad\quad\quad$**if** $s' \notin S_r$ **then**
15 $\quad\quad\quad\quad\quad S_r \leftarrow S_r \cup \{s'\}$
16 $\quad\quad\quad\quad\quad$`getReachableStates` $(\mathcal{P},\ s',\ S_r,\ T)$

(line 6). Note that $\mathcal{T}$ may be empty : specifying termination conditions of an OO-AP problem allows the designer to reduce manually the size of the state space. The second step of the algorithm consists of using $\texttt{App}(s,i,\mathcal{D})$ to determine the actions that are applicable by player i in state s (line 8). When determining if the preconditions of an action $a \in A^i$ hold in a state s, we have to search for a grounding of the propositional functions parameters into objects of the world. Each possible grounding which makes these conditions come true defines a new applicable action. Once $A^i(s)$ is known for each player, the algorithm builds the set $\mathbf{A}(\mathbf{s})$ of joint actions applicable in s (line 9). Then for each joint action $\mathbf{a} \in \mathbf{A}(\mathbf{s})$, the `generateSuccessors` procedure returns a conditional probability distribution over the set S' of successor states that may result from the execution of $\mathbf{a}$ in s (line 11). An example of successor states generation is depicted in Figure 1. Finally, each new successor state $s' \in S'$ with non-zero transition probability is added to the set of reachable states S_r (lines 12-15). This recursive state generation procedure is applied in each state until no new state can be added to S_r (line 16). The complexity of this algorithm is quadratic in the number of reachable states and applicable actions. In practice, the transition probabilities $T(s,\mathbf{a},s')$ are generally sparse. If there are on average a constant number of successor states with non-zero probability then the algorithm is linear in the number of reachable states.

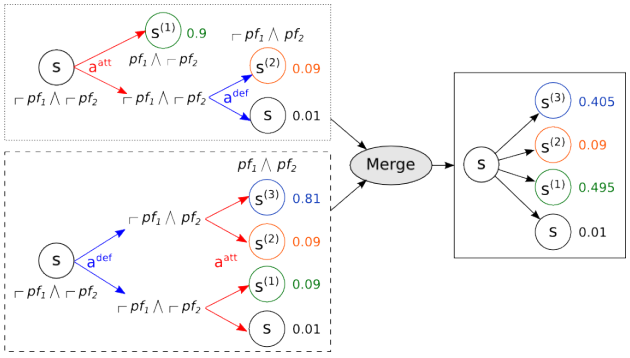


FIGURE 1 – Computation of the possible effects of joint action $\langle a^{att}, a^{def}\rangle$, where a^{att} (resp. a^{def}) is an applicable action for the attacker (resp. defender) whose possible outcomes are to make an hypothetical propositional function pf_1 (resp. pf_2) becoming true with probability 0.9 and remaining false with probability 0.1 (with $\neg pf_1$ a precondition of a^{def}). Outcome probabilities are set arbitrarily in this example.

Model checking Algorithm 3 is inspired from the f-exhaustive RS-automaton generation algorithm of [18]. The algorithm first builds the set of reachable goal states S_{rg} (lines 2-4). If S_{rg} is empty, then all reachable states are safe states for g and we stop the generation procedure. Otherwise, we restrict the transition function to non-goal states so that each goal state is final (line 6 and Figure 2a). Secondly, the algorithm constructs a strongly connected component (SCC) graph $SCC_g = \langle C, E_{\bar{T}}, c_0\rangle$, where C is a set of strongly connected components, $c_0 \in C$ is the initial component ($s_0 \in c_0$), and $E_{\bar{T}} \subseteq C \times C$ is a transition relation on C such that $(c_1, c_2) \in E_{\bar{T}}$ iff $c_1 \neq c_2$ and there exists a non-zero transition probability between two states $s_1 \in c_1$ and $s_2 \in c_2$. The SCC graph is a directed acyclic graph which can be easily constructed using Tarjan's algorithm [20]. This algorithm finds the strongly connected components of a graph and is linear in the number of nodes and edges of the graph. We apply a variation of Tarjan's algorithm which we call `OneShotTarjan` which starts the depth-first search for SCCs at s_0 and visits only the states which are reachable from s_0 given the restriction $\bar{T}$ of T to non-goal states.

The next step of the algorithm consists of partitioning the set of strongly connected components C into three mutually exclusive classes represented in Figure 2b. Class 1 components contain only states from which it is possible to reach a goal state. Class 2 components contain only goal states. Class 3 includes all the components which do not belong to class 1 or class 2. For each SCC $c \in C$, $RSet(c)$ is the set of components reachable from c via the transition relation $E_{\bar{T}}$ (including c itself). The procedure `RSet-Existential`

©AFIA 2016

(a) (b)

FIGURE 2 – Attack Graph generation algorithm : (a) the transition function is restricted to non-goal states, and (b) construction of the SCC graph using Tarjan's algorithm and partitioning of the set of components into three mutually exclusive classes.

Algorithme 3 : Model checking.

Data : A transition system $\langle S_r, s_0, T\rangle$, a goal g
Result : Sets S_u, S_s, and S_g of unsafe, safe, and goal states

1 **procedure** `modelChecking` (S_r, s_0, T, g)
2 $S_{rg} \leftarrow \{\}$
3 **foreach** $s \in S_r$ *such that* $s \vDash g$ **do**
4 $S_{rg} \leftarrow S_{rg} \cup \{s\}$
5 **if** $S_{rg} \neq \emptyset$ **then**
6 $\bar{T} \leftarrow T_{|S_r \setminus S_{rg}}$
7 $\langle C, C_0, E_{\bar{T}}\rangle \leftarrow$ `OneShotTarjan`$(s_0, S_r, \bar{T})$
8 $Q_e \leftarrow Pred(c) = (\exists\, s \in c \text{ s.t. } s \vDash g)$
9 $Q_u \leftarrow Pred(c) = (\forall\, s \in c, s \vDash g)$
10 $C_e \leftarrow$ `RSet-Existential`$(C, C_0, E_{\bar{T}}, Q_e)$
11 $C_u \leftarrow$ `RSet-Universal`$(C, C_0, E_{\bar{T}}, Q_u)$
12 $C_1 \leftarrow C_e \setminus C_u$
13 $C_2 \leftarrow C_u$
14 $C_3 \leftarrow C \setminus (C_1 \cup C_2)$
15 $S_u \leftarrow \bigcup_{c \in C_1} c$
16 $S_g \leftarrow \bigcup_{c \in C_2} c$
17 $S_s \leftarrow \bigcup_{c \in C_3} c$
18 **return** $\langle S_u, S_s, S_g\rangle$
19 **else**
20 **return** $\langle \emptyset, S_r, \emptyset\rangle$

(line 10) returns the set of components C_e such that for all $c \in C_e$, predicate Q_e identifying SCCs with at least one goal state is true for *some* component in $RSet(c)$. Similarly, the procedure `RSet-Universal` (line 11) returns the set of components C_u such that for all $c \in C_u$, predicate Q_u identifying SCCs where every state is a goal state is true for *every* component in $RSet(c)$. In other words, C_e is the set of SCCs from which a goal state can be reached and C_u is the set of SCCs containing only goal states. Finally, the three component classes are obtained via operations on sets C, C_e, and C_u (lines 12-14). Pseudo-code for procedures `RSet-Existential` and `RSet-Universal` can be found in [18]. They both traverse the SCC graph in depth-first order. This algorithm requires one depth-first search in the reachable state space (Tarjan's algorithm), and two in the SCC graph.

3.3 Inverse Planning in Attack Stochastic Games

Solving the adversarial goal recognition problem $\langle \mathcal{P}, \mathcal{G}, O\rangle$ consists of inferring a posterior distribution over the set of reachable goals $\mathcal{G}' \subseteq \mathcal{G}$ given observation sequence O. The posterior goal probabilities $P(g_i|O)$ are obtained using Bayes' rule :

$$P(g_i|O) = \alpha P(O|g_i)P(g_i), \tag{1}$$

where α is a normalizing factor. In the following, we assume uniform priors $P(g_i)$. Thus, the problem of inferring $P(g_i|O)$ is mapped into the problem of computing the likelihood $P(O|g_i)$. We assume that we have full observability of the adversary's actions and of the states visited by the players. We also know the action played by the defender in each state. Let $O_{0:n}$ denote the sequence of observations $(s_i, a_i), i = 0, \ldots, n$, where a_i is the action played by the attacker in state s_i, and $\mathbf{a_i} = \langle a_i, \bar{a}_i\rangle$ denotes the joint-action played in s_i. According to the belief network depicted in Figure 4, we have the following recursive decomposition :

$$P(O_{0:n}|g) = P(a_n|s_n, g)T(s_{n-1}, \mathbf{a_{n-1}}, s_n)P(O_{0:n-1}|g). \tag{2}$$

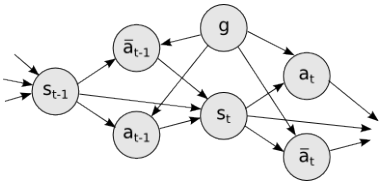
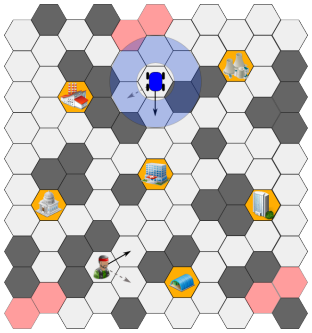


FIGURE 4 – Dynamic Bayesian network resulting from adversarial planning in an Attack Stochastic Game Γ_g.

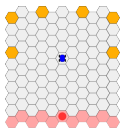
Proposition 1. *Given observation sequence $O = O_{0:t}$, the belief that g_i is the real goal of the adversary at t is given by :*

$$\begin{aligned} b_{t>0}(g_i) &\propto P(a_t|s_t, g_i) \times T(s_{t-1}, \mathbf{a_{t-1}}, s_t) \times b_{t-1}(g_i), \\ b_0(g_i) &\propto P(a_0|s_0, g_i). \end{aligned} \tag{3}$$

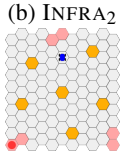
©AFIA 2016



(a) INFRA$_1$



(b) INFRA$_2$



(c) INFRA$_3$

OO-AP problem	C(%)	L	T	PRE	TPR	FPR	F1	CR	CP
INFRA$_1$	30	2,5	0,04	0,406	0,975	0,285	0,574	18,3	–
	50	4,2	0,07	0,512	0,925	0,177	0,659	43,3	–
	70	5,9	0,09	0,657	0,958	0,100	0,780	64,2	–
	100	8,4	0,14	0,875	0,992	0,028	0,930	90,0	61,4
INFRA$_2$	30	3,3	0,11	0,484	0,767	0,163	0,594	44,2	–
	50	5,5	0,20	0,664	0,825	0,083	0,736	65,0	–
	70	7,7	0,26	0,848	0,933	0,033	0,889	85,0	–
	100	11,1	0,35	0,968	1,000	0,007	0,984	97,5	44,1
INFRA$_3$	30	2,5	0,08	0,503	0,817	0,162	0,622	42,5	–
	50	4,2	0,16	0,644	0,783	0,087	0,707	62,5	–
	70	5,9	0,22	0,877	0,950	0,027	0,912	89,2	–
	100	8,4	0,33	0,992	1,000	0,002	0,996	99,2	48,6

(d) Performance of the goal recognizer ($\tau = 10^{-3}$) : problem, scenario completion (C), average length of the observation sequence (L), average time in seconds to process the sequence (T), precision (PRE), true positive rate/recall (TPR), false positive rate (FPR), f-score (F1), average convergence rate (CR), and average convergence point (CP, in percentage of scenario completion).

FIGURE 3 – The INFRASTRUCTURE PROTECTION domain and the three INFRA problems studied in these experiments.

The key challenge in solving this inverse planning formulation of the adversarial goal recognition problem is to estimate the adversary's probability over actions $P(a|s,g)$ given a goal g. A first possibility is to compute a Nash equilibrium $\langle \pi_g, \bar{\pi}_g \rangle$ for each game Γ_g, where π_g is a mixed strategy for the observed adversary and $\bar{\pi}_g = br(\pi_g)$ is the defender's best response to π_g (and $\pi_g = br(br(\pi_g))$). Therefore, we have $P(a|s,g) = \pi_g(s,a)$. There are two main drawbacks to this method : first, there is no guarantee that Γ_g has a single Nash equilibrium, and secondly, this assumes that the adversary is completely rational, which in practice is rarely true.

The second possibility is to approximate the action selection probabilities $P(a|s,g)$ by assuming that the adversary follows a Boltzmann (or softmax-optimal) policy [19] :

$$P(a|s,g) = \alpha' \exp(q_g(s,a)/\tau), \quad (4)$$

where α' is a normalizing factor, q_g is a (possibly optimal) action-value function associated with goal g, and $\tau > 0$ is the temperature parameter, weighing randomness against greediness : the higher τ, the more randomly the adversary chooses its actions, and in the limit as $\tau \to 0$, the best action is always chosen. Using the Boltzmann policy allows the observed agent to behave sub-optimally.

The problem that arises when modeling the attacker as a Boltzmann agent in our competitive multi-agent setting is that we do not know the action value function q_g. In single-agent settings, such as in [17] or [3], the optimal *action value* function q_g^* can be obtained directly by solving the underlying (PO)MDP. When solving an ASG, using for instance Shapley's algorithm, an extension of value iteration to two-player zero-sum discounted stochastic games [6], we obtain an optimal state value function V_g^* from which we can derive an optimal *joint-action value* function $Q_g^* : \mathcal{A} \to [0,1]$ which represents the expected value for the attacker of playing a joint action $\mathbf{a} = \langle a, \bar{a} \rangle$ in a given state :

$$Q_g^*(s,\mathbf{a}) = \sum_{s' \in S} T(s,\mathbf{a},s') \left[R^{attacker}(s') + \gamma V_g^*(s') \right], \forall s \in S_u. \quad (5)$$

When selecting an applicable action to play in state s, the attacker does not know which action will be played by the defender since action selection is simultaneous in stochastic games. Therefore, we cannot use Q_g^* directly to calculate the Boltzmann policy as per equation (3). We need some heuristic to transform the optimal joint-action value functions Q_g^* into action value functions q_g from which we can estimate the Boltzmann policies modeling the possible goal-directed behaviors of the attacker. Many different heuristics exist for transforming a joint-action value function into a simple action value function : each heuristic corresponds to a specific model of the defender's planning strategy that the attacker uses as a basis for its own planning. In our experiments, we used the following simple heuristic corresponding to a greedy defender :

$$q_g(s,a) = \min_{\bar{a} \in A^{defender}(s)} Q_g^*(s, \langle a, \bar{a} \rangle), \forall s \in S_u, a \in A^{attacker}(s), \quad (6)$$

which can be directly incorporated into equation (3) to approximate the adversary's probabilities over actions.

4 Experimental Evaluation

Previous works on goal recognition using inverse planning, such as [17, 13], evaluated their approaches on variants of well known planning benchmarks or problems derived manually from plan libraries. However, we are not aware of such publicly available benchmarks for multi-agent adversarial settings. We performed our experiments on different instances (INFRA$_1$ to INFRA$_3$) of the INFRASTRUCTURE PROTECTION domain depicted in Figure 3. The domain is inspired from patrolling scenarios : a defender (here, a robot) needs to protect high-value targets from an attacker whose goal is to head to one of the targets (chosen at the beginning of the game) without entering the protection range of the defender (blue area). Therefore, the optimal strategy for the attacker is not simply the shortest path to its goal but depends on the behavior of the defender. The attacker starts in one of the entry points (red areas) and the defender starts

©AFIA 2016

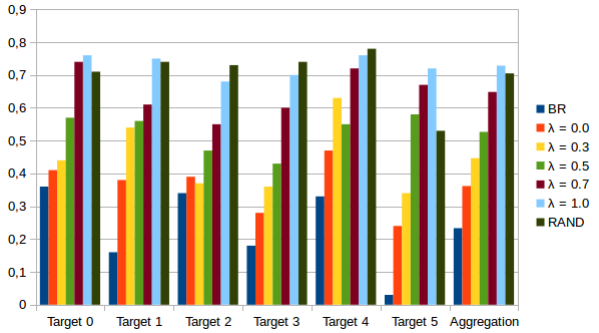


FIGURE 5 – The average percentage of attacker victories for problem INFRA$_1$ with a defender augmented with goal recognition capabilities (MAX$_\lambda$) and the two baselines : best response (BR) and random best response (RAND).

at a random position in the grid. Both agents can move in all six directions. With probability 0.1, an action fails and the agent is moved to the east or west of its intended destination. The implementation of our goal recognition system is based on BURLAP [1], a Java library for planning and RL based on the OO-MDP paradigm.

We evaluated the performance of our goal recognition algorithm using the metrics proposed by [4], namely *precision* (PRE), *recall* (TPR), *convergence rate* (CR), and *convergence point* (CP). Our dataset is made up of a set of instances $\langle g, O \rangle$, where O is an observation sequence obtained from executions of Γ_g. The attacker is a greedy agent and the temperature parameter τ of equation (3) is set to 10^{-3}, which assumes an (almost) greedy observed agent. The execution of our goal recognizer on an instance $\langle g, O \rangle$ results in a set of most likely goals that maximize the posterior goal probabilities, from which we can compute the number of true/false positives and true/false negatives. The table in Figure 3(d) shows the performance of our goal recognizer for the different problems at 30, 50, 70, and 100% of scenario completion. Quite obviously, the precision and recall globally increase with the number of observations, to reach very satisfying levels (in terms of TPR and FPR) around 70% of scenario completion for problems INFRA$_2$ and INFRA$_3$, and slightly lower performance on problem INFRA$_1$, which turns out to be more challenging because of the constraints imposed by the environment on the attacker's behavior which make the observation sequence more ambiguous. The average CP also gives insight into the complexity of problem INFRA$_1$: while the convergence rate is high for the three problems, convergence occurs earlier for problems INFRA$_2$ and INFRA$_3$ (before 50% of scenario completion), and much later for problem INFRA$_3$.

Similarly to [12], we evaluated the ability of our approach to support decision-making via response planning. We compare the performance of an assisted defender who selects the appropriate response to the most likely goal of the attacker, as inferred by our goal recognition system, to two baseline values, namely the best response (BR), where the defender always play the best (Nash) response $br(\pi_{g^*})$ to the real goal g^* of the attacker, and the random best response (RAND), where the defender chooses a goal $g \in \mathcal{G}$ randomly at the beginning of the game and plays $br(\pi_g)$. Figure 5 shows the average percentage of defeats for a defender using the proposed approach (MAX$_\lambda$) to identify the most likely goal $g = argmax_{g' \in \mathcal{G}}\ b_t(g')$ of the adversary, and playing the best response $br(\pi_g)$ if $b_t(g) > \lambda$. The MAX$_\lambda$ response planning strategy, with $\lambda = 0$ performs slightly worse than the best response and outperforms any other strategies. Therefore, it seems preferable for the defender to start executing possibly suboptimal countermeasures as soon as the game begins, rather than waiting to reduce uncertainty.

Compared to inspirational works reported in [17] and [12], we propose a *unified* approach to both goal recognition and response planning in adversarial settings where the state of the world is impacted by the actions of both agents. Our method exhibits results that are similar to their counterparts in the two aforementioned works.

5 Discussion and Future Works

In this paper, we propose a game-theoretic framework for both adversarial goal recognition as inverse planning and response planning. In adversarial settings, where agents are competing to achieve conflicting goals in a shared environment, the actions selected by the observed (red) agent depend not only on the goal it pursues, but also on the behavior of its opponent (the blue agent). We showed that this adaptive goal-directed behavior of a rational adversary can be modeled as an Attack Stochastic Game, and that we can invert this model to infer the intention of the observed agent from observations of its (possibly suboptimal) actions. Once the real goal of the red agent is known with a certain level of certainty, the blue agent can execute effective countermeasures by following the best response strategy resulting from the resolution of the corresponding game. Our approach shows promising results and interesting directions for future research : the underlying two-player zero-sum model could be generalized to represent more complex domains, to the detriment of scalability which is already the principal limitation of our approach. Future work will consist of extending our framework to intended adversarial goal recognition, where the adversary is actively hostile to the recognition of its goals, and may use deception and concealment. We believe that one effect of concealment, namely missing actions in the observation sequence, can be addressed quite easily by marginalizing over the actions available to the attacker in a state when the action played in this state has gone unnoticed to the observer. We will also extend our framework to address the more specific problem of threat assessment, which consists of computing threat values for different attack scenarios based on a conjoint evaluation of a threatening agent's capabilities, opportunities, and intentions.

1. http ://burlap.cs.brown.edu/

©AFIA 2016

Références

[1] Dorit Avrahami-Zilberbrand and Gal A Kaminka. Keyhole adversarial plan recognition for recognition of suspicious and anomalous behavior. In *Plan, Activity, and Intent Recognition Theory and Practice*, volume 1, pages 87–119. Elsevier, 2014.

[2] Chris L Baker, Rebecca Saxe, and Joshua B Tenenbaum. Action understanding as inverse planning. *Cognition*, 113(3) :329–349, 2009.

[3] Chris L Baker, Joshua B Tenenbaum, and Rebecca R Saxe. Goal inference as inverse planning. In *Proceedings of the 29th annual meeting of the cognitive science society*, 2007.

[4] Nate Blaylock and James Allen. Hierarchical goal recognition. In *Plan, Activity, and Intent Recognition*, volume 1, pages 3–32. Elsevier, 2008.

[5] Sviatoslav Braynov. Adversarial planning and plan recognition : Two sides of the same coin. In *Secure Knowledge Management Workshop*, 2006.

[6] A. Burkov and B. Chaib-draa. Stochastic games. In *Markov Decision Processes in Artificial Intelligence*, volume 1, pages 229–276. Wiley Online Library, 2008.

[7] Carlos Gregorio Diuk Wasser. *An object-oriented representation for efficient reinforcement learning*. PhD thesis, Rutgers, The State University of New Jersey, 2010.

[8] Christopher W Geib and Robert P Goldman. Probabilistic plan recognition for hostile agents. In *FLAIRS Conference*, pages 580–584, 2001.

[9] Somesh Jha, Oleg Sheyner, and Jeannette Wing. Two formal analyses of attack graphs. In *Computer Security Foundations Workshop, 2002. Proceedings. 15th IEEE*, pages 49–63. IEEE, 2002.

[10] Froduald Kabanza, Philipe Bellefeuille, Francis Bisson, Abder Rezak Benaskeur, and Hengameh Irandoust. Opponent behaviour recognition for real-time strategy games. In *Plan, Activity, and Intent Recognition*, 2010.

[11] Alexander Kott and William M McEneaney. *Adversarial reasoning : computational approaches to reading the opponent's mind*. CRC Press, 2006.

[12] Viliam Lisỳ, Radek Píbil, Jan Stiborek, Branislav Bosanskỳ, and Michal Pechoucek. Game-theoretic approach to adversarial plan recognition. In *ECAI*, pages 546–551, 2012.

[13] David Pattison and Derek Long. Accurately determining intermediate and terminal plan states using bayesian goal recognition. ICAPS, 2011.

[14] Xinzhou Qin and Wenke Lee. Attack plan recognition and prediction using causal networks. In *20th Annual Computer Security Applications Conference*, pages 370–379. IEEE, 2004.

[15] Miquel Ramırez and Hector Geffner. Plan recognition as planning. In *Proceedings of the 21st international joint conference on Artifical intelligence. Morgan Kaufmann Publishers Inc*, pages 1778–1783, 2009.

[16] Miquel Ramırez and Hector Geffner. Probabilistic plan recognition using off-the-shelf classical planners. In *Proceedings of the Conference of the Association for the Advancement of Artificial Intelligence (AAAI 2010)*, 2010.

[17] Miquel Ramırez and Hector Geffner. Goal recognition over pomdps : Inferring the intention of a pomdp agent. In *IJCAI*, pages 2009–2014, 2011.

[18] Oleg Mikhail Sheyner. *Scenario graphs and attack graphs*. PhD thesis, US Air Force Research Laboratory, 2004.

[19] Richard S Sutton and Andrew G Barto. *Reinforcement learning : An introduction*, volume 1. MIT press Cambridge, 1998.

[20] Robert Tarjan. Depth-first search and linear graph algorithms. *SIAM journal on computing*, 1(2) :146–160, 1972.

[21] Tomer Ullman, Chris Baker, Owen Macindoe, Owain Evans, Noah Goodman, and Joshua B Tenenbaum. Help or hinder : Bayesian models of social goal inference. In *Advances in neural information processing systems*, pages 1874–1882, 2009.

[22] Deepak Verma and Rajesh P Rao. Goal-based imitation as probabilistic inference over graphical models. In *Advances in neural information processing systems*, pages 1393–1400, 2005.

©AFIA 2016

Behavior Policy Prediction of Non-Optimal Semi-Autonomous Agents *

Mathieu LELERRE Abdel-Illah MOUADDIB

Université de Caen Basse-Normandie

firstname.lastname@unicaen.fr

Résumé

Quand des agents interagissent ensembles (coopérativement), ils doivent comprendre le comportement des autres à partir de leurs observations pour reconnaître leurs plans ou leurs politiques respectifs, même approximée. Un agent autonome doit acquérir des informations sur les états, actions ou buts des autres agents pour comprendre leur comportement et adapter leur politique comportementale. De nombreuses approches ont été développées concernant les plans ou politiques optimales des autres agents. Néanmoins, le comportement d'agents semi-autonomes, guidés ou télé-opérés par une entité externe comme un humain, ne suit pas une politique optimale. Ceci est dû à plusieurs facteurs comme la limite des capteurs/actionneurs ou des considérations spécifiques de l'humain comme les préférences ou l'hésitation. Ces situations rendent la prédiction et la reconnaissance difficile. En effet, il est impossible de modéliser toutes les hésitations ou préférences possibles.
Dans cet article, nous proposons une approche pour prédire les futures actions et comportements de ces agents pour n'importe quelle politique. Afin d'éviter de modéliser toutes les hésitations ou préférences, nous proposons un modèle d'apprentissage en ligne. Ainsi, nous utilisons un Processus Décisionnel de Markov combiné avec des techniques d'apprentissage par renforcement pour avoir une meilleure prédiction. L'idée principale de cette approche est basée sur la mise à jour d'une politique initialement optimale pour dériver vers une politique estimée. Dans cet article, nous considérons 3 méthodes de mise à jour de la politique, les comparons entre elles et analysons leur stabilité et leur efficacité.

Mots Clés

MDP, Comportement, Raisonnement Probabiliste et Incertain

Abstract

When autonomous agents act in an interactive way (cooperatively), they need to understand the behavior of each other from their observations to recognize their respective plans, or policies even if this recognition is approximate. An autonomous agent should acquire information on states, actions or goals of the other autonomous agents to understand their behaviors and to derive their behavior policies. Most of approaches have been developed considering the optimal plans or policies of the other agents. However, when agents are semi-autonomous and guided or tele operated by an external entity such as a human, the behaviors of such agents do not follow an optimal policy. This is due to many factors such as limited sensor/effector or specific consideration of humans like preferences or hesitation. Such situations make the prediction and the recognition hard. Indeed, trying to model every possible hesitations or preferences is impossible.
In this paper, we propose an approach able to predict future actions and behavior of such agents when they can follow any policy. To avoid to model every possible hesitations or preferences, we propose an online learning model. To this end, we use Markov Decision Processes combined with reinforcement-learning techniques for better prediction. The main idea of our approach is based on estimating, initially, the policy to the optimal one that we update according to the observed behavior to derive a new estimated policy. In this paper, we consider three methods of updating policies and we compare them and analyze their stability and efficiency.

Keywords

MDP, Behavior, Uncertain and probabilistic reasoning

1 Introduction

Recent developments on autonomous systems lead to a more consideration on limited capacities of sensing and acting in difficult environments to accomplish complex missions such as patrolling [13], security [7] and search and rescue [2] applications. Introducing the human in the control loop is a challenging and promising research direction that attracts more and more researchers. The human in the control loop can help an autonomous systems to perceive more information, to act more efficiently or to guide is behavior [10]. Adjustable autonomous is the concept of considering different levels of autonomy from full autonomy to full teleoperation. A system behaves with adjus-

*We thanks Direction Générale de l'Armement (DGA), Nexter Robotics and Dassault Aviation for a financial support to these results.

 ©AFIA 2016

table autonomy is a system following a policy where some human advice are considered. For example, an operator can send advice to a robot to avoid an area, or not to use an action on a specific state. When considering a system composed of a set of semi-autonomous agents, the coordination of semi-autonomous agents becomes a challenging issue.

We are studying a multi-agent system, in which the agents are based on adjustable autonomy. In fact, they can be autonomous, but a human operator can send recommendations to the agent, such as avoiding an area, or directly pilot the agent. The less autonomous agent is considered as a "leader", and the other agents have to "follow" the leader to help him during the mission. With this Cooperative Leader-Follower[6] model, we tried to propose an algorithm to predict the behavior of an agent considering different autonomy levels.

When autonomous agents interact each other, they need to understand the behavior of each other from their observations to recognize their respective plans, or policies even if the recognition is approximate. Usually, autonomous agents choose an optimal policy to accomplish an objective. Consequently, another agent just has to compute his optimal policy to predict his future actions. Yevgeniy Vorobeychik and Satinder Singh shows a way to exploit the estimated policy of an opponent in [14] by using a leader-follower approach on a stochastic game.

However, a semi-autonomous agent or a tele-operated agent doesn't, always, follows an optimal policy. Indeed, the operator may have preferences or hesitations which might influence the agent's policy and leading to a satisfying behavior rather than an optimal one. For example an operator may prefer a path on which he sees rather than the optimal one. He may also hesitate on emergency situations. Trying to model each hesitation, or each preference is impossible, due to the high number of cases. That is why we consider an online model to learn the human behavior, based on the action selected by the operator.

To interact with another one, an agent will first consider his policy to adapt his behavior. On this paper we focus only on the policy prediction for a semi-autonomous agent.

The aim of this paper is to propose a new approach, based on a combination of Markov Decision Processes [11] and Reinforcement learning [12], to predict another agent's action when assuming the optimal one is not realistic. Indeed, we consider an approach where the optimal policy is initially assumed and by learning from previous actions, the initial policy is updated. We present three update methods : (i) the first method consists in learning from a complete history of the couples state and the last executed action at this state, for all states ; (ii) the second method consists in learning from the last executed actions the preferences of the human on the agent behavior considering an update of the whole system ; (iii) the third method is similar to the second method but focused on a local update where only the states in the neighborhood of the current state, from which a deviation is observed, are considered.

In the paper we describe these methods, their stability and their efficiency. We develop experimental results and we show that the method based on local updates on the estimated preference is more stable and more efficient in predicting the policy than the two others. We also compare these results with TAMER[3] (Training an Agent Manually via Evaluative Reinforcement), a training methods who uses reward signals to learn the behavior wanted by the operator.

The paper is organized as follow, the second section is dedicated to the background necessary for the paper where we present MDPs and reinforcement learning, the third section describes the basis of our approach and the three methods of update, the fourth section presents the experiments and the obtained results and we finish the paper by a conclusion.

2 Background

2.1 Markov Decision Processes

Markov Decision Process is a decision model for autonomous agent allowing us to derive an optimal policy dedicating to the agent the optimal action to perform at each state. More formally speaking, an MDP is a tuple $\langle S, A, p, r\rangle$ where :

- S is the state space.
- A is the action space.
- $p(s'|s,a)$ is the transition function. It returns the probability to reach the state s' from the state s by performing the action a.
- $r(s'|s,a)$ is the reward function. It returns a reward obtained by the agent when he reaches the state s' from the state s by performing the action a.

The expected value V^* maximization allows us to derive the optimal policy π^* using the Bellman equation [8] :

$$V^*(s) = \max_{a\in A} \sum_{s'\in S} p(s'|s,a)(r(s'|s,a) + V^*(s')) \quad (1)$$

$$\pi^*(s) = \operatorname*{argmax}_{a\in A} \sum_{s'\in S} p(s'|s,a)(r(s'|s,a) + V^*(s')) \quad (2)$$

There exists many algorithms to solve this equation where the most popular are value iteration [9] and the policy iteration [9]. In our approach, we consider an MDP-based model.

2.2 Reinforcement Learning

The reinforcement learning is a method allowing an autonomous agent to adapt his behavior during the execution by updating his model.

The agent starts with an initial model to compute the policy to be followed during the execution. The execution of this initial policy leads to feedbacks from the environment, particularly the reward obtained after the execution. This obtained feedback allow us to update the model and to compute a new policy and so on.

Several methods of reinforcement learning exist and we will present some popular ones.

©AFIA 2016

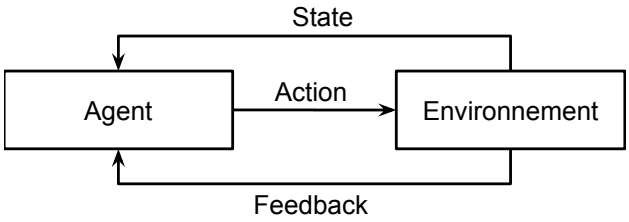


FIGURE 1 – Representation of reinforcement learning

State-Action-Reward-State-Action. SARSA[12] is a learning method algorithm based on MDP models.
To compute the policy, we will first initialize the policy and the Value function to 0 for each state. Then, for each time step, the agent will update is Value function as follows :

$$V(s,a) \leftarrow V(s,a) + \alpha(r + \gamma V(s', \pi(s')) - V(s,a)) \quad (3)$$

Where r is the feedback received, α is a factor of learning and γ is a discount factor, representing the importance of the future reward in the current state. The policy will be computed has followed :

$$\pi(s) = \underset{a \in A}{\operatorname{argmax}}\, V(s,a) \quad (4)$$

During the execution, the agent may choose a random action to "explore" (to try to find a better policy) or the optimal policy obtained by the equation above.
Many algorithms have been developed such as Q-learning [15], temporal difference TD(λ) [12].

Training an Agent Manually via Evaluative Reinforcement. TAMER[3] is an algorithm used to train an agent with deterministic actions. It uses a model closed to MDPs, but without reward function an only deterministic transition function. An operator will train the robot by sending a positive or a negative signal H to the agent. Then, the agent will choose the best policy, maximizing the expected reward $\hat{H}$. It doesn't update his policy in function of the actions, but in function of the states related to the transition. The algorithm decomposes states into feature vectors, and apply a weight to them to estimate the best policy. The weight is updated in function of the reward received by the operator.

$$\pi^*(s) = \underset{a}{\operatorname{argmax}}\, \hat{H}(s,a) \quad (5)$$

This algorithm differs with what we want to do, because the agent needs to be trained before executing the algorithm. Moreover, We are not trying to train an agent, but to learn his policy to adapt the observer behavior. But we can adapt him by sending a positive reward for each state reached by the agent.
TAMER+RL[4][5] is the computation between TAMER and a Reinforcement Learning method, such as SARSA-λ. It permits to reduce the time of training, or to train the agent during the execution. There is many ways to combine them, but we were more interested by the Control sharing method. To choose an action, the algorithm will proceed as followed :

$$P(a = \underset{a}{\operatorname{argmax}}[\hat{H}(s,a)]) = min(\beta, 1) \quad (6)$$

The equation 6 implies that the action chosen by TAMER&RL will be taken randomly between TAMER and SARSA-λ. The probability to choose TAMER is equal to $min(\beta, 1)$. If β decreases over the time, the agent will first use TAMER results, which learns faster, and then progressively choose SARSA-λ results, which are better after a some period of time.

Imitation Learning. Imitation Learning is a training method. The agent first observes an operator to complete the mission, and learns the policy with this observation. Many algorithms exist for imitation learning and presented in [1]. The idea of this algorithm is similar to our idea. However, the agent tries to learn the Master (leader in our case) policy to imitate him. In our approach we learn the Leader policy not to imitate him but to compute a best-response to better coordinate with him.

3 Our approach

The policy prediction is mainly based on series of policy estimation followed by a policy update. The observed agents (Leaders) are semi-autonomous or tele-operated. Consequently, the MDP model of the observed agent is already defined, even in the tele-operation case. First, we compute an optimal policy from their MDP model as an approximate initial policy and then we update it during the execution of this policy using the reinforcement learning techniques. Indeed, we, initially, assume that the Leader (the semi-autonomous agent) follows an optimal policy and when observing its behavior, we get information on the executed action, the rewarded value and the state $o = (a, r, s)$. When the observation o shows that the executed action a is different from the expected action (by the estimated policy) $\pi(s)$), then the autonomous agent (follower) updates the predicted policy π considering this deviation. The policy update to predict a new policy is based on three methods :

— The first method consists in learning from the last executed action at each state as a history and to **force** the execution of these actions at the corresponding states in the new policy. We name this method "Force" method.
— The second method concerns the update of the reward function by considering a factored variable-vector representation of states. The semi-autonomous system behaves considering some human preferences. The feedbacks of the execution will allow us to learn the human preferences by updating all the state space. This method is called the "Learn" method.

©AFIA 2016

— The third method is similar to the second method by considering a restricted state space to update using a local update of states in the neighborhood of the current state from which the agent derived from the current estimated policy. This method is named "Dist".

3.1 Initialization

We assume that the behavior controller of the agents is formalized by an MDP $\langle S, A, T, r\rangle$ where S, A, T are respectively the state space, the action space and the transition function. The reward function r is given or estimated and formalizes the preferences and objectives of the agent. In the applications considered, we assume that the decision-making models of UAV and robots are represented by MDPs. From the MDPs, we compute an optimal policy according to the agent preferences expressed through the reward function and used as an initial estimated policy.

$$\pi^*_{init}(s) = \underset{a\in A}{\operatorname{argmax}} \sum_{s'\in S} p(s'|s,a)(r(s'|s,a) + V^*(s'))$$

3.2 Policy Adaptation

Initially, the agent follows the policy π_{init} constructed from the initial model with the initial preferences of the agent. However, the agents are semi-autonomous and an operator, with more ability of sensing or acting can change the actions of the semi-autonomous agents. These changes express the preferences of the operator that would be different from the initial model because of many reasons such as more knowledge about the situation, the stress of the operator, ... These changes area stored in a history H and let $H_s(t)$ and $H_a(t)$ be respectively the history of the state and the action of the last operations up to time t. These histories represent the feedbacks of the environment during the last t operations which will be considered for updating the initial policy π_{init}. To this end, we will present three update methods to generate a new estimated policy π from π_{init} and ($H_s(t)$, $H_a(t)$).

The "Force" method. The idea behind this method is to update the current estimated policy by modifying some actions at some states using the history. Indeed, this method is a "forcing" approach where actions performed at some states in the last operations are introduced in the current estimated policy when a deviation from the estimated policy is observed. We assign, then, states in $H_s(t)$ with actions in $H_a(t)$, and then we compute the optimal actions for the other states not concerned with the changes to generate a new estimated policy. More formally :

$$\pi_{new} = \begin{cases} \forall 0 \le k \le t, s^k \in H_s(t) \text{ and } a^k \in H_a(t) : \\ \quad \pi_{new}(s^k) = a^k \\ \\ \forall s \notin H_s(t) : \pi_{new}(s) = \\ \underset{a\in A}{\operatorname{argmax}} \sum_{s'\in S} p(s'|s,a)(r(s'|s,a) + V^*(s')) \end{cases}$$

By this way, the current estimated policy will always perform with the last preferred actions of the operator.
By forcing the integration of the last executed actions in the policy, we learn from the operator his preferred actions at some states.

The "Learn" method. Instead of the previous method where we change actions at some states of the current policy, this method is based on adapting the reward function to consider the preferences of the operator observed from the last previous operations. To this end, we assume that the operator acts to reach the desired and preferred states.
More formally, we will define X as the set of n variables composing the states of the agent. Each of theses variables $x_i \in X$ are defined in a domain D_i. The idea is to assign a reward to each variable which may interest the operator, and apply a cost for each variable which could be unpleasant to him. Then, by changing the reward function every k actions, the policy might evolve consequently. Let $x_i(s)$ be the value of the variable x_i from the state s, and let Q_i be the preference function for the operator for the variable x_i. $Q_i(x)$ is the reward function to the variable x_i when it takes the value x. Consequently, $Q_i(x_i(s))$ is the reward attributed to the variable x_i from the state s. Initially, every variables Q_i are set to 0, and c is the constant value to add to the reward function.

Algorithme 1 : Reward update

```
for t ∈ [0..k] do
    if H_a(t) ≠ π(H_s(t)) then
        for s' successor of (H_s(t), H_a(t)) do
            for i ∈ [0..n] do
                Q_i(x_i(s')) =
                Q_i(x_i(s')) + p(s'|H_s(t), H_a(t)) × c;
        for s' successor of (H_s(t), π(H_s(t))) do
            for i ∈ [0..n] do
                Q_i(x_i(s')) =
                Q_i(x_i(s')) − p(s'|H_s(t), π(H_s(t))) × c;
```

Algorithm 1 allows us to assign, to each successor state reachable from the deviation of the original policy, a reward according to the probability to reach it from the deviation. In the same way, we assign a cost for each state which should be reached by the current policy. To generate the new policy, we then compute a new reward function r', with the following equations :

$$r'(s'|s,a) = r(s'|s,a) + \sum_{x_i\in X} Q_i(x_i(s')) \qquad (7)$$

Generalization : Consider a factored states with n variables such that $s = (X_1, \ldots, X_n)$, as depicted in Fig.2. The expected action at s is $\pi(s)$ leading to $s' = (X'_1, X'_2, \ldots, X'_{n-1}, X'_n)$ while the system executes action $a(s)$ leading to $s'' = (X''_1, X'_2, \ldots, X'_{n-1}, X''_n)$. s'' differs

©AFIA 2016

from s' at the first and the last variables. $X'_1 \neq X''_1$ and $X'_n \neq X''_n$ while the other variables are identical.

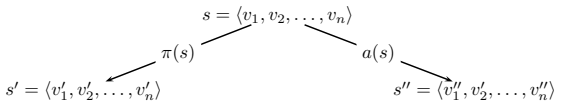


FIGURE 2 – Representation of a derivation

Learn method will increase the reward of all states $s = (X''_1, *, \ldots, *, *)$ and $s = (*, *, \ldots, *, X''_n)$ representing the preferred states of the operator and will reduce the reward of states $s = (X'_1, *, \ldots, *, *)$ and $s = (*, *, \ldots, *, X''_n)$ representing unpleasant states by assuming that the operator prefers $a(s)$ to $\pi(s)$ to reach preferred states with features X''_1 and X''_n rather than the ones with features X'_1 and X'_n.

$$r'(s = \langle X''_1, *, \ldots, * \rangle) = r'(s) + Q_1(X''_1)$$
$$r'(s = \langle *, *, \ldots, X''_n \rangle) = r'(s) + Q_n(X''_n)$$

$$r'(s = \langle X'_1, *, \ldots, * \rangle) = r'(s) - Q_1(X'_1)$$
$$r'(s = \langle *, *, \ldots, X'_n \rangle) = r'(s) - Q_n(X'_n)$$

We will then generate a new policy by solving the new MDP $\langle S, A, p, r' \rangle$.

Algorithme 2 : Prediction update

Data : MDP $\langle S, A, T, r^* \rangle$;
// Initialization
for $i \in [0..n]$ **do**
  for $v \in D_i$ **do**
    $Q_i(v) = 0$;
while $< conditions >$ **do**
  $\pi \leftarrow solve(\langle S, A, T, r' \rangle)$;
  Save the k last operations;
  Update Q and r';

This algorithm estimates the operator preferences according to the concerned states. Meanwhile, when a deviation occurs, the reward update is propagated into the whole state space (and then the whole policy). That is why a local preference will affect the whole system. The system may overreact to derivations, and then generate much prediction errors than corrections, and then creates an instability in the prediction.

The "Dist" method. This method is similar to the "Learn" Method by reducing the impact of the local updates. To this end, we should restrict the propagation to some states which are close to the updated state. To assess the closeness, we define the distance between two states in an MDP as the number of variables different from each others. For example, if the distance equals to 0, the two states have the same variables. If the distance equals to n, the two states have no common point. Each state reachable by the predicted action will receive a cost and reversely. But each state reachable by the predicted reward will get a reward corresponding to the value of the parameters with reward for the observed action, in the condition that the distance between this state and another reachable by the observed action is inferior or equals to δ. This will help to reduce the impact of prediction errors.

Generalization : We consider at a time t that the human derives from the predicted policy.

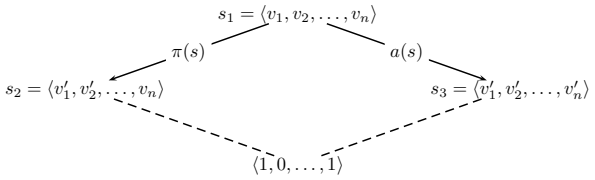


FIGURE 3 – Calculation of a distance

The distance between s' and s'' is 2 because $(X'_1, X'_2, \ldots, X'_n)$ differs from $(X''_1, X'_2, \ldots, X''_n)$ on variables X_1 and X_n. For example, if $\delta = 1$, considering s_o as a state reachable by the observed action and s_p as a state reachable by the predicted action, we will obtain the following modifications : $r'(s') = r(s') + \sum_{i=1}^{n} Q_i(X'_i)$

$$r'(s'') = r(s'') + \sum_{i=1}^{n} Q_i(X''_i)$$
$$r'(s_o = \langle X'_1, X'_2, \ldots, X''_n \rangle) = r(s_o) + Q_n(X''_n)$$
$$\vdots$$
$$r'(s_o = \langle X''_1, X'_2, \ldots, X'_n \rangle) = r(s_o) + Q_1(X''1)$$

$$r'(s_p = \langle X''_1, X''_2, \ldots, X'_n \rangle) = r(s_p) - Q_n(X'_n)$$
$$\vdots$$
$$r'(s_p = \langle X'_1, X'_2, \ldots, X''_n \rangle) = r(s_p) - Q_1(X'_1)$$

This method offers an advantage to adapt the size of the subspace to update. Indeed, by setting $\delta = 0$, the previous state will be the only one to be modified while $\delta = n$, all variables will be modified globally.

4 Experiments

To study the different algorithms, we develop few experiments to study their efficiency, the influence of human hesitation on the prediction and the influence of the δ in the Dist method. We simulated a piloted agent evolving in a 2D space. The agent has 3 configurations possible (for example three levels of light), and can switch from one to the other on one action. For each state corresponds an optimal configuration, and the agent may get a cost if he doesn't use the optimal configuration on states. The mission of the agent is to reach a goal state from the beginning state.

We model the pilot of the agent from an MDP policy. But the pilot doesn't know the optimal policy, and may have much information than observed on the optimal policy (for example, a path may be blocked by an object), or have preferences on the environment. That is why his policy will differs from the optimal one. To model these differences,

©AFIA 2016

we will force the policy to choose one action on specific states (to force the agent to cross or to avoid a path) before generating the optimal policy. Furthermore, the pilot may have hesitations during the execution. For example, the left or the right path. To model the hesitation, we define probabilistic policy the states in which the pilot will hesitates in function of a factor of hesitation. For example, if the factor is 0.4, the agent may go 40% of the time on the left, and 60% of the time on the right.
To represent the impact of the learning on the time, we will repeat the mission 50 times without deleting data learned during the executions.
During the execution, we used the predictions methods described before to predict the behavior of the agent, and compare the predictions results. To evaluate their efficiency, we consider the number of prediction errors gotten by each prediction method.
We also compare these methods with an adapted TAMER&RL, on which the learning algorithm will receive a reward for each actions executed by the piloted agent. TAMER&RL was configured below :

Parameter	value
TAMER	
α	0.2
SARSA-LAMBDA :	
α	0.8
ϵ	0
γ	1
λ	1
β	0.98

FIGURE 4 – Configuration of TAMER&RL

Note that we do not explore in TAMER&RL, because the algorithm is not used to select the actions executed but the actions predicted. That is why the algorithm will always choose the optimal one. TAMER&RL is also configured with a state featured vector, filled here with the Manhattan distance between the agent and the goal state, x, where x equals to 0 if the agent configuration is the one needed to the state, and 1 otherwise. β decreases over the time to let SARSA-LAMBDA take the place of TAMER on the prediction.
Learn and Dist methods are configured with c=3 and k=10.

5 Results

During the experiments we counted the number of prediction errors during the 50 executions of the missions.

5.1 Without hesitation

The Fig.5 represents the amount of prediction errors encountered in function of the amount of execution of the mission. The curve autonomous corresponds to the optimal policy for an autonomous agent. This algorithm is used here to show the impact of learning. Note that Dist-i corresponds to Dist method, with δ=i.

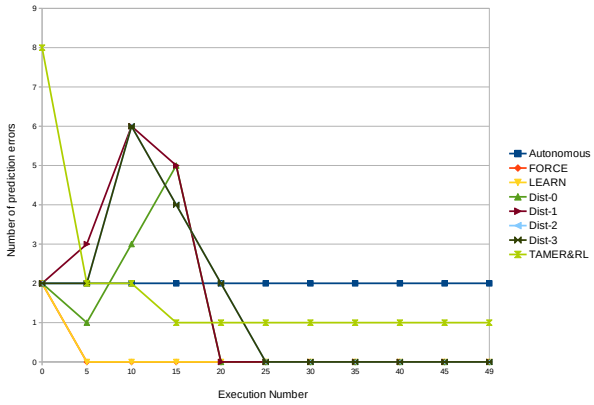


FIGURE 5 – Results with no hesitation.

We can see that almost every curves tend to 0, which means that almost every algorithms learn correctly the agent policy. The only exception is TAMER&RL, which keep one prediction error over the time. But he stays under the autonomous curve. TAMER&RL start with a high number of prediction error, because the algorithm start the learning from scratch.
Force and Learn curves are superposed, and are the first to finish the learning. We can see that Dist methods are not stable at first, but they still find the agent policy after a certain time.

5.2 With 10% hesitation

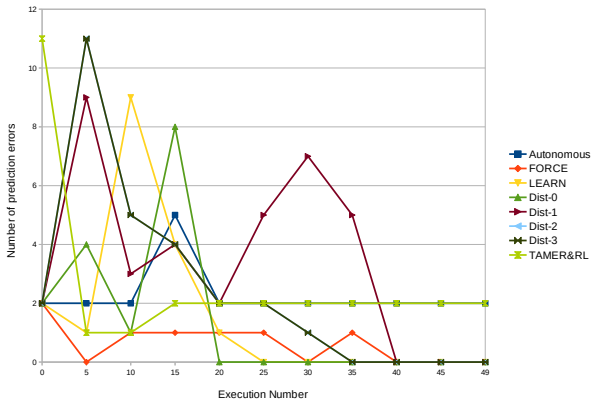


FIGURE 6 – Results 10% hesitation.

We can see in Fig.6 that generally, the predictions are more unstable with hesitations. The force method is not so impacted by the hesitations, he just get an error when the agent switch the action used on a state.
Dist and Learn methods are more unstable. They get firstly high values errors, but quickly has a good approximation of the agent policy. These prediction methods may first learn mistakes before correcting them. Dist-1 and Dist-3 seems to learn more slowly than the others.
TAMER&RL remains stable, but cannot get better results than the policy without learning techniques.

©AFIA 2016

5.3 With 30% hesitation

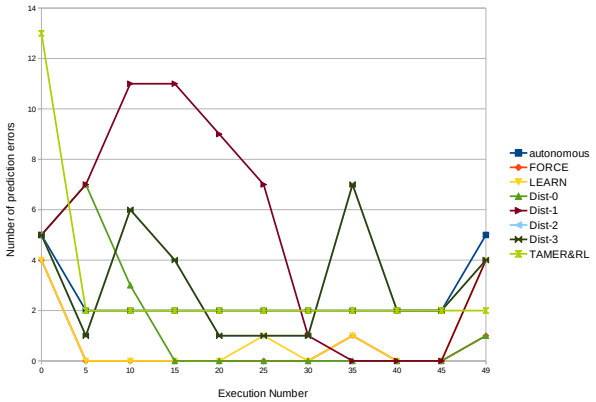


FIGURE 7 – Results with 30% hesitation on some states.

We can see in Fig.7 that the prediction methods are more unstable during the whole execution, except for the Learn Method, Force Method and TAMER&RL. Learn curve follows the Force curve near the value 0, but still get a few errors sometimes. But this algorithm learns globally the agent policy.

TAMER&RL cannot eliminate all prediction errors, but stay stable, whether or not the agent changes its policy during the time.

Dist methods are more unstable than before, and get a lot of prediction errors at the beginning. The only one who seems to be stable his for $\delta = 0$. The others seems to be closed to the agent policy, but each variation on the agent policy generates many perturbations on the prediction.

The Learn method does not present a high number of mistakes, but he is much perturbed by hesitations than the FORCE or the TAMER&RL methods. So we can suppose that in the case where the hesitation would decrease over the time (the pilot may take habits), then his method may learn quickly the usual behavior.

The Force method gets an error every time the agent switch action on a state. Otherwise he is the most efficient.

TAMER&RL learns quickly, but he cannot correct every prediction mistakes, whenever the agent choose the optimal policy when he hesitates (when the optimal policy get two errors).

5.4 Impact of stochastic transitions

For the experiments, we first used deterministic actions to compare the results with TAMER&RL, because this method needs deterministic transitions. We repeated the experiments to see the impact of stochastic transitions, to analyze the robustness of the different algorithms. To do so, we adapted the TAMER&RL policy by considering the stochastic transition function on the action selection.

We can see in fig.8 that TAMER does not present the same results with stochastic transitions. Infact, it does not seem capable of learning if transitions are not deterministic. Every other policies beat him on prediction.

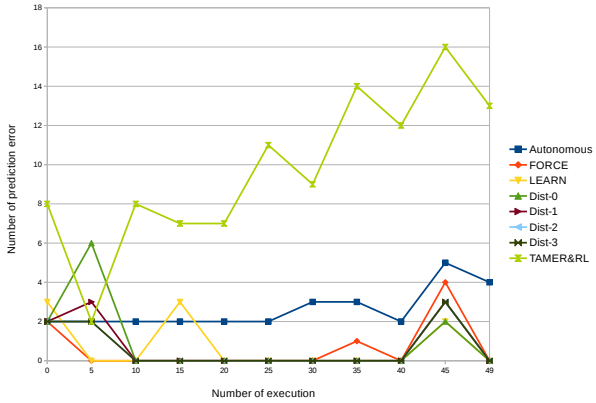


FIGURE 8 – no hesitation, but stochastic transitions

On the other hand, without hesitation, Dist methods seems to be more efficient with stochastic transitions than deterministic ones. The reason may be that each transition leads to several states, so the Dist methods learns on more states, but still locally.

Force and learn methods are more unstable than before, but this is because more states are reached, and also states near forbidden ones. On these states, the pilot does not have the same behavior than the autonomous agent, that is why the prediction methods have to learn more than with deterministic actions.

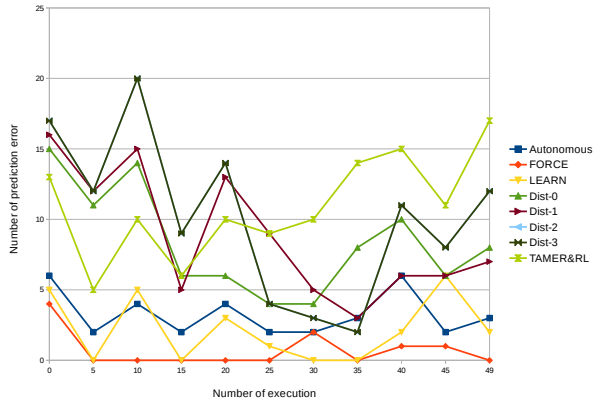


FIGURE 9 – 30% hesitation, but stochastic transitions

On the fig.9, we can see that with a high rate of hesitations, every methods get unstable. This is not surprising, because it implies a lot of execution changes. For each time a new state is reached, each time the pilot policy can derive from the autonomous policy. It implies a lot of policy modifications to learn.

The force and the learn methods seem to get good predictions. But Dist and methods and TAMER&RL are totally unstable and does not predict well. Dist methods seem to learn after the 20th execution. But we can suppose that a lot of new states were reached between the 35th and the 40th, since every methods started to get prediction errors at this moment.

©AFIA 2016

Nevertheless the hesitation is implemented by choosing between two actions with equal probability distribution. In the reality, the operator can hesitate between more actions, and he will not choose his action with equal probability distribution. Moreover, the agent policy is generated with the hesitations, but a pilot would not know when he will have doubts. Furthermore, the hesitations rate may decease over the time, since the pilot is getting used to the mission. It would be interesting to observe the results with more realistic hesitations.

6 Conclusion

We addressed in this paper the problem of estimating the policy of a semi-autonomous agent where this latter could follow a policy other than the optimal one. To this end, we develop an approach based on initializing the policy to the optimal one and then update this policy according to the observed behavior and the operator actions. We propose three update methods to predict the next behavior of the system by estimating the new policy. These methods are based on the history of the last operations to change the current policy or to update the reward function. We distinguished between a method propagating the reward update in the whole state space and a method restricting the propagation to subspace by defining a notion of distance among states.

The experiments show satisfying and promising results and showing a robustness to the operator mistakes, except for the "Dist" method who learns mistakes and take a lot of time before learning. TAMER&RL is much stable with deterministic actions than Force and Learn methods, but less efficient. And on stochastic transition TAMER&RL is beaten by every other methods. It would be still interesting to complete the experiments with more realistic hesitations.

Future work will concern using more experiments with more realistic hesitation, and with a piloted agent with non deterministic actions.

Références

[1] H. He, J. Eisner, and H. Daume. Imitation learning by coaching. In F. Pereira, C. Burges, L. Bottou, and K. Weinberger, editors, *Advances in Neural Information Processing Systems 25*, pages 3149–3157. Curran Associates, Inc., 2012.

[2] H. Hüttenrauch and K. Severinson Eklundh. Beyond usability evaluation : Analysis of human-robot interaction at a major robotics competition. *Interaction Studies*, 7(3) :455–477, 2006.

[3] W. Knox and P. Stone. Tamer : Training an agent manually via evaluative reinforcement. In *Development and Learning, 2008. ICDL 2008. 7th IEEE International Conference on*, pages 292–297, Aug 2008.

[4] W. B. Knox and P. Stone. Combining manual feedback with subsequent MDP reward signals for reinforcement learning. In *Proc. of 9th Int. Conf. on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2010)*, May 2010.

[5] W. B. Knox and P. Stone. Reinforcement learning with human and mdp reward. In *Proceedings of the 11th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2012)*, June 2012.

[6] D. Panagou and V. Kumar. Cooperative Visibility Maintenance for Leader-Follower Formations in Obstacle Environments. *Robotics, IEEE Transactions on*, 30(4) :831–844, 2014.

[7] P. Paruchuri, J. P. Pearce, J. Marecki, M. Tambe, F. Ordonez, and S. Kraus. Playing games for security : An efficient exact algorithm for solving bayesian stackelberg games. In *Proceedings of the 7th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems - Volume 2*, AAMAS '08, pages 895–902, Richland, SC, 2008. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems.

[8] E. Pashenkova, I. Rish, and R. Dechter. Value iteration and policy iteration algorithms for markov decision problem. In *AAAI'96 : Workshop on Structural Issues in Planning and Temporal Reasoning*. Citeseer, 1996.

[9] M. L. Puterman. *Markov Decision Processes : Discrete Stochastic Dynamic Programming*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA, 1st edition, 1994.

[10] M. Shiomi, D. Sakamoto, T. Kanda, C. T. Ishi, H. Ishiguro, and N. Hagita. A semi-autonomous communication robot : a field trial at a train station. In *Proceedings of the 3rd ACM/IEEE International Conference on Human Robot Interaction*, pages 303–310, New York, NY, USA, 2008. ACM.

[11] O. Sigaud and O. Buffet. *Markov Decision Processes in Artificial Intelligence*. Wiley-ISTE, 2010.

[12] R. S. Sutton and A. G. Barto. *Introduction to Reinforcement Learning*. MIT Press, Cambridge, MA, USA, 1998.

[13] Y. Vorobeychik, B. An, and M. Tambe. Adversarial patrolling games. In *Proceedings of the 11th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems - Volume 3*, AAMAS '12, pages 1307–1308, Richland, SC, 2012. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems.

[14] Y. Vorobeychik and S. P. Singh. Computing stackelberg equilibria in discounted stochastic games. In *AAAI*, 2012.

[15] C. Watkins and P. Dayan. Q-learning. *Machine Learning*, 8(3-4) :279–292, 1992.

©AFIA 2016

Expérimentation et évaluation d'une approche multi-agent pour la découverte de services Web fondée sur la confiance

Amine Louati[1] Joyce El Haddad[1] Suzanne Pinson[1]

[1] PSL, Université Paris-Dauphine, LAMSADE CNRS UMR 7243, France

{amine.louati,elhaddad,pinson}@lamsade.dauphine.fr

Résumé

De plus en plus de services sont proposés dans les réseaux sociaux. Dans un tel contexte, un demandeur a besoin de méthodes efficaces pour découvrir les services requis offerts par des fournisseurs dignes de confiance. Cependant, les approches existantes à base de registre ne sont pas en mesure de déterminer si les fournisseurs sont dignes de confiance ou pas et souvent échouent à se conformer aux nouvelles attentes des demandeurs. Pour répondre à ce problème, nous proposons une nouvelle approche multi-agent pour la découverte et la sélection de services fondée sur la confiance en utilisant les informations sémantiques contenues dans les réseaux sociaux. Dans cet article, nous déroulons plusieurs expériences pour évaluer la performance de notre approche de découverte et de sélection de services appelée Trusty. Les résultats montrent que notre approche est valable en termes d'efficacité, d'efficience et présente de meilleures performances que les méthodes existantes.

Mots Clef

Système multi-agent, découverte et sélection de services Web, modèle de confiance, réseaux sociaux, expérimentations.

Abstract

More and more services are proposed in social networks. In such context, a requester needs efficient methods to discover required services given by trustworthy providers. However, existing registry-based approaches are not able to determine whether the service providers are trustworthy or not and often fail to comply with new requesters' expectations. To address this issue, we propose a new multi-agent approach for service discovery and selection based on trust by using semantic information in social networks. In this paper, we run several experiments to evaluate the performance of our service discovery and selection approach namely Trusty. The results show that our approach is successful in terms of effectiveness, efficiency and exhibits better performances than existing methods.

Keywords

Multi-agent system, Web service discovery and selection, Trust model, Social networks, Experimentation.

1 Introduction

Les méthodes classiques de découverte et de sélection de services Web [1, 3, 4] s'appuient sur l'utilisation de registres centralisés (par exemple, UDDI, ebXML). Elles sont généralement basées sur la description non-fonctionnelle des services en utilisant des techniques axées sur les attributs de qualité de services (QoS). Avec l'augmentation du nombre de services offerts dans les réseaux sociaux, les résultats ne répondent pas toujours aux besoins du demandeur de services. Ceci est dû au fait que le contexte social (e.g. la confiance, les relations entre individus, les préférences des individus) et les informations résultant des expériences précédentes des individus ne sont pas prises en considération. Nous avons proposé dans nos travaux précédents [13, 14] une amélioration de cette procédure de découverte et sélection de services Web à savoir 1) la prise en compte de l'information sémantique (e.g. les types de relations, les profils des individus) contenue dans les réseaux sociaux du demandeur de services, 2) la prise en compte de la confiance qui existe entre les différents agents après avoir modélisé le processus par un système multi-agent.

Dans cet article, nous détaillons les différentes expérimentations menées dans le but d'évaluer notre approche sur des réseaux sociaux simulés et en vraie grandeur en particulier le réseau Facebook [1]. Dans un premier temps, nous décrivons les données utilisées pour notre validation expérimentale. Puis, nous présentons notre méthodologie d'expérimentation des différentes stratégies et expliquons comment chacune d'elles influe sur la prise de décision des agents. Ces expérimentations montrent que notre approche a de meilleures performances que les méthodes existantes en termes d'efficacité et d'efficience. L'efficacité examine la qualité d'expertise des fournisseurs découverts pour différentes valeurs du seuil de confiance alors que l'efficience étudie le nombre des fournisseurs découverts en fonction de leur distance dans le réseau par rapport au demandeur. Ces expérimentations montrent également que la modélisation multi-agent, dans lequel les agents interagissent en s'appuyant sur la notion de confiance, améliore l'utilité des fournisseurs et la satisfaction des demandeurs.

Le reste de l'article est organisé comme suit. Dans la section 2, nous définissons les principaux concepts utili-

1. http ://snap.stanford.edu/data/egonets-Facebook.html

©AFIA 2016

sés dans ce travail. Dans la section 3, nous fournissons une description de notre approche multi-agent de découverte et de sélection de services fondée sur la confiance. La section 4 présente dans un premier temps les données simulées et réelles utilisées pour évaluer la performance de notre approche puis, elle expose respectivement les résultats expérimentaux des phases de découverte et de sélection de services. Enfin, la section 5 conclut et présente les perspectives pour les travaux futurs.

2 Définition de concepts

Dans cette section, nous définissons les principaux concepts utilisés dans ce travail.

• **Réseaux Sociaux.** Nous considérons le réseau social multi-relationnel (RSMR) qui prend en considération la sémantique de la relation reliant deux nœuds. Les relations peuvent être de différents types. Par exemple, si l'on considère deux types, R_1 peut être une relation d'amitié et R_2 peut être une relation de partenariat. Plus formellement, un RSMR est défini comme suit :

Définition 1 *(Réseau social multi-relationnel) Soit* $V = \{a_1, a_2, ..., a_s\}$ *un ensemble d'agents et soit* $R = \{R_1, R_2, ..., R_r\}$ *un ensemble de types de relations symétriques défini sur* V*, un RSMR est un graphe connecté non orienté* $G =< V, E_1, E_2, ..., E_r >$ *où* $E_i \subseteq V \times V \, \forall i \in \{1, ..., r\}$ *est l'ensemble des arêtes par rapport à la* i*-ème relation, i.e., une arête* $(a_k, a_j) \in E_i$ *représente une relation sociale de type* R_i *entre* a_k *et* a_j*.*

• **Services.** Un service est décrit en termes d'une fonctionnalité, des entrées, des sorties et des valeurs d'attributs de qualité de services QoS.

Définition 2 *(Service) Un service* s *est un n-uplet* $\{in, out, f, q^1, \ldots, q^d\}$ *où* in *est un ensemble d'entrées requises pour utiliser le service,* out *est un ensemble de sorties prévues à la fin de l'exécution du service,* f *est la fonctionnalité offerte, et* $q^1, \ldots, q^d$ *sont les valeurs des* d *attributs de qualité de service.*

• **Requête du demandeur.** Un demandeur a_r communique ses besoins dans une requête en exprimant ses préférences sur les services requis.

Définition 3 *(Requête) Une requête* Q *est un 5-uplet* $(F, U, \alpha, \beta, \mu)$ *où* $F = \{s_1, s_2, ..., s_n\}$ *est l'ensemble des fonctionnalités requises,* $U : R \mapsto]0, 1]$ *est une fonction d'utilité exprimant les préférences du demandeur pour les types de relations,* $\alpha \in [0, 1]$ *est le seuil de confiance en la crédibilité sociale,* $\beta \in [0, 1]$ *est le seuil de confiance en la recommandation et,* $\mu \in [0, 1]$ *est le seuil de confiance en l'expertise.*

L'utilité d'une relation R_i reflète le rang de cette relation selon les préférences du demandeur. Elle peut être définie par $U(R_i) = \frac{1}{2^{i-1}}$ où $i \in \mathbb{N}^*$. Par exemple, considérons un RSMR avec trois types de relations $R_1 = famille$, $R_2 = ami$ et $R_3 = collegue$ telles que les préférences du demandeur sont $R_1 \succ R_2 \succ R_3$. Ainsi, $U(R_1) = 1, U(R_2) = \frac{1}{2}$ et $U(R_3) = \frac{1}{4}$. Cela signifie que le demandeur préfère deux fois plus recevoir le service de la part d'un membre de la famille que de la part d'un ami et encore moins d'un collègue. Ces valeurs seront utilisées comme des poids dans le calcul de la confiance en la crédibilité sociale. De ce fait, l'important est la relation ordinale entre les R_i et non leur valeur absolue.

3 Approche multi-agent pour la découverte et la sélection de services

Comme nous l'avons dit précédemment, l'un des défis les plus importants auxquels fait face la communauté des services Web est d'aller au delà des annuaires centralisés dans la découverte de services en utilisant d'autres mécanismes et outils de recherche. Outre la question de centralité, d'autres questions doivent être abordées, comme la grande quantité d'informations, l'échange de connaissances, les requêtes complexes et le contrôle distribué.

L'approche multi-agent apparait comme étant l'approche la plus adéquate pour appréhender ces questions et effectuer une découverte, une sélection et une composition de services distribuées [5, 17, 21]. En effet, par définition, les agents, qu'ils soient coopératifs ou compétitifs, sont capables de réaliser des tâches complexes et distribuées, ils considèrent différentes formes d'interactions et ils disposent de capacités pour raisonner sur les données sémantiques ainsi que des métaphores sociales comme la confiance.

C'est dans cette perspective que nous avons utilisé une modélisation multi-agent. Dans notre approche, les agents interagissent en s'appuyant sur la notion de confiance. Pour ce faire, nous avons défini dans un travail antérieur [14] un modèle de confiance composé de trois composantes : *la confiance en la crédibilité sociale*, *la confiance en la recommandation* et *la confiance en l'expertise* en se fondant sur les études sociologiques de la confiance entre individus [6, 16]. La confiance en la crédibilité sociale juge si un agent est suffisamment digne de confiance pour interagir avec lui indépendamment des services qu'il offre. La confiance en la recommandation vérifie si un agent est bon ou pas en évaluant sa qualité de recommandation. La confiance en l'expertise estime si un service se comporte bien et comme prévu en se basant sur les valeurs de ses QoS. Notre approche appelée *Trusty* est constituée de trois phases que nous allons décrire.

La première phase : Découverte de services. Elle est composée de trois étapes qui sont le calcul de la confiance en la crédibilité sociale, l'appariement sémantique et le calcul de la confiance en la recommandation. S'il n'y a pas de relations directes entre les agents, nous introduisons la notion des *systèmes de références* [21] qui agissent à la fois comme un mécanisme social de découverte de services et aussi comme un système de recommandation. Une découverte de services basée sur un système de références favorise la coopération des agents pour localiser les fournisseurs pertinents (i.e. qui ont le service recherché). Nous avons distribué la prise de décision associée à la diffusion de la recherche dans les systèmes de références actuels [21]. Ainsi, les agents

©AFIA 2016

décident localement de continuer ou non la diffusion de la recherche sans revenir à l'agent demandeur.

À la fin de cette première phase, nous obtenons, un graphe de références appelé aussi *réseau social de confiance RSC*. Il s'agit d'un réseau social monorelationnel, orienté et annoté dans lequel les fournisseurs et les recommandeurs [2] dignes de confiance sont découverts. Ce réseau social de confiance est un réseau formé par les différentes chaînes fournisseur-recommandeur reliant le demandeur de services à chacun des fournisseurs découverts dans le réseau social initial. Les relations entre les agents intermédiaires sont pondérées par leurs valeurs de confiance respectives.

À ce stade, les fournisseurs et les recommandeurs sont découverts respectivement en fonction de leur degré de crédibilité sociale et de leurs aptitudes à fournir des bonnes recommandations. Cependant, l'aspect non fonctionnel exprimé dans la confiance en l'expertise n'est pas encore pris en considération.

La deuxième phase : Calcul de la confiance. Cette phase consiste à calculer la confiance que le demandeur a en chacun des fournisseurs découverts en agrégeant les valeurs de confiance en la crédibilité sociale et en la recommandation entre les différent les agents intermédiaires. Cela est fait en propageant les valeurs de confiance depuis chaque fournisseur découvert tout le long de la chaîne jusqu'au demandeur de services (voir [14]). À la fin de l'algorithme de propagation, le demandeur de services, noté a_r, maintient des enregistrements relatifs à chaque fournisseur découvert a_p. Ces enregistrements contiennent les différentes valeurs de confiance de chaque agent intermédiaire dans la chaîne $(a_r, \ldots, a_p)$ conduisant à a_p.

Notre algorithme de propagation évite les références redondantes (c'est à dire, un agent recommandé par deux recommandeurs différents) et les chaînes cycliques car chaque agent a un seul prédécesseur (i.e., père) et ne participe qu'une seule fois au processus de découverte.

La propagation des valeurs de confiance pour calculer la confiance d'un agent cible (le fournisseur) en fonction de la confiance des autres agents est un problème important dans les réseaux sociaux. Dans la littérature, les méthodes de propagation de la confiance s'appuient sur le mécanisme de référencement pas à pas pour la transmission des valeurs de confiance entre les agents. La plupart de ces méthodes [9, 18, 19] proposent des opérateurs d'agrégation pour calculer la confiance entre des agents non adjacents provenant de chemins multiples. Dans [18] Wang et al. proposent une approche probabiliste appelée *SocialTrust* qui est sensible au contexte social (les interactions entre les individus, pour calculer la confiance dans les réseaux sociaux. Ils modélisent le réseau d'agents comme un réseau probabiliste. En appliquant la loi de probabilité totale, ils estiment la confiance entre deux agents distants selon trois types de structures atomiques de propagation (séquentielle, parallèle et mixte). Cependant, ce processus de calcul est centralisé car il suppose que l'agent évaluateur dispose d'une connaissance globale de la structure du réseau ce qui n'est pas notre cas. Cette approche a permis d'améliorer la précision de la prédiction de la confiance mais n'a pas pris en compte d'autres facteurs qui influent sur la prédiction de la confiance tels que la fiabilité des recommandations des agents intermédiaires. Pour ce faire, nous intégrons la confiance en la recommandation dans le modèle probabiliste de calcul proposé dans [18] et cela en fonction du rôle (recommandeur ou fournisseur) joué par chacun des agents intermédiaires. De plus, étant donné que chaque agent a un seul père dans le réseau social de confiance, la confiance entre les agents non adjacents est calculée uniquement pour une seule structure de propagation qui est la chaîne fournisseur-recommandeur.

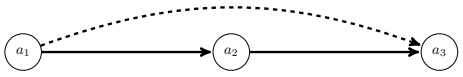


FIGURE 1 – Structure séquentielle de propagation de confiance.

Décrivons tout d'abord le mécanisme de calcul de la confiance dans une structure de chaîne (voir Fig. 1) selon le modèle probabiliste de [18]. Soit $P(a_2)$ la probabilité qui désigne la confiance des agents connectés à a_2 et $P(\neg a_2)$ la probabilité que a_2 ne soit pas digne de confiance. Soit $P(a_2|a_1)$ la probabilité conditionnelle qui désigne la confiance de a_1 en a_2 et $P(a_2|\neg a_1))$ la probabilité conditionnelle qui désigne la confiance des autres agents connectés à a_2 sauf a_1. En appliquant la loi de la probabilité totale, nous avons :

$$\begin{aligned} P(a_2) &= P(a_2|a_1)P(a_1) + P(a_2|\neg a_1)P(\neg a_1) \\ &= P(a_2|a_1)P(a_1) \end{aligned}$$

Dans notre structure de chaîne de la figure 1, a_1 est le seul agent en interaction avec a_2 ainsi, $P(a_2|\neg a_1) = 0$. De la même manière nous avons :

$$\begin{aligned} P(a_3) &= P(a_3|a_2)P(a_2) + P(a_3|\neg a_2)P(\neg a_2) \\ &= P(a_3|a_2)P(a_2) \end{aligned}$$

Au final, la confiance calculée entre l'agent demandeur a_1 et l'agent a_3 dans cette chaîne est définie comme suit :

$$P(a_3) = P(a_3|a_2)P(a_2|a_1)P(a_1)$$

Plus généralement, la confiance calculée entre l'agent demandeur a_r et un fournisseur a_p pour le service s_p notée $Trust(a_r, a_p, s_p)$ est donnée par cette expression :

$$Trust(a_r, a_j, s_{pl}) = P(a_r) \times P(a_{r+1}|a_r) \times P(a_{r+2}|a_{r+1}) \times \ldots \times P(a_j|a_{j-1})$$

$P(a_r)$ représente la confiance de l'agent demandeur a_r. Comme ce dernier n'a pas de prédécesseur dans la chaîne, nous supposons que $P(a_r) = 1$.

2. Un recommandeur est un agent qui n'a pas le(s) service(s) requis, mais peut participer implicitement à la résolution de la requête en la propageant à des référents.

©AFIA 2016

La troisième phase : Sélection de services. Dans les phases précédentes, le demandeur a découvert un ensemble de fournisseurs dignes de confiance dans le réseau social. La présente phase consiste à sélectionner les meilleurs fournisseurs répondant aux besoins et préférences du demandeur au moyen d'un classement établi sur la base de *la confiance en l'expertise*. Après le calcul de la confiance en l'expertise, le demandeur sélectionne les fournisseurs dont la valeur de confiance est supérieure à μ. Ces fournisseurs vont participer ultérieurement à la phase de composition de services.

4 Évaluation des performances de notre approche

Dans cette section, nous présentons les expérimentations réalisées sur différents jeux de données dans le but d'évaluer les performances des deux phases de découverte et de sélection de notre approche multi-agent. Pour ce faire, nous avons développé un prototype en utilisant la plateforme multi-agent Jade [3] et Java 1.7.

4.1 Description des jeux de données

Nous présentons tout d'abord les jeux de données que nous utilisons. Ces jeux de données doivent décrire les agents du réseau social et les relations qui les relient, ainsi que les requêtes qui seront lancées sur le réseau. Rappelons que l'environnement expérimental de notre approche multi-agent est un réseau social dans lequel nous distinguons deux familles d'agents ; des fournisseurs et des demandeurs de services.

Pour l'évaluation, nous utilisons aussi bien des données simulées que des données réelles. Les données simulées sont des graphes générés dont la structure est aléatoire avec un nombre d'agents et une densité précisés a priori. Les données réelles en vraie grandeur ont été récupérées à partir de sources de données connues et accessibles au public. Contrairement aux données simulées, la structure des graphes réels possède certaines caractéristiques (e.g., « petit monde » [4] (small-world), « invariant d'échelle » [5] (scale-free)) des réseaux sociaux.

Notons que pour tous les jeux de données (simulées ou réelles), les types de relations, les profils ainsi que les services ont été distribués aléatoirement parmi les agents, ainsi chaque agent peut être un fournisseur potentiel en fonction de la requête d'un demandeur.

Jeux de données simulées La génération des réseaux simulés se fait selon le modèle de génération aléatoire de *Erdös-Rényi* [7], noté $G(n, p)$. La construction du réseau se fait d'une manière progressive. Initialement, le graphe contient n nœuds et pas d'arêtes. Ensuite, pour chaque arête possible entre deux nœuds distincts dans le graphe, on ajoute une arête avec une probabilité p. Ainsi, la plupart des nœuds ont approximativement le même degré. Les données simulées sont utilisées principalement pour mesurer les performances (efficacité et efficience) de notre phase de découverte et aussi pour étudier la robustesse du système dans des configurations différentes.

Jeux de données réelles Nous avons récupéré sur internet un réseau social de type Facebook [6] contenant 4039 nœuds et 88234 arêtes.

[11, 20] ont prouvé que ce réseau social possède les caractéristiques « petit monde » et « invariant d'échelle ». Les données ont été anonymisées en remplaçant les identifiants Facebook de chaque individu par une nouvelle valeur. Bien que le contenu sémantique de ces données ait été fourni, l'interprétation n'est pas claire. Par exemple, pour un attribut reflétant la sensibilité politique "politique=Parti démocrate", les nouvelles données peuvent tout simplement contenir "politique= valeur anonyme 1". De ce fait, il n'est pas possible de déterminer l'affiliation politique individuelle. Par contre, nous pouvons déterminer si deux individus ont la même affiliation politique.

Afin de rendre les réseaux sociaux (réels et simulés) des réseaux sociaux multi-relationnels, nous introduisons différents types de relations $\{R_i \mid i \in \mathbb{N}^*\}$.

4.2 Étude des performances de la phase de découverte de services

Nous avons réalisé cette étude via des simulations en considérant les deux critères définis dans l'introduction : *l'efficacité* et *l'efficience*. Pour ce faire, nous avons généré 5 instances de graphes où le nombre d'agents est égal à 1000 et le nombre d'arêtes est égal à 6000. Nous considérons trois catégories de fonctionnalités : transport, hébergement et divertissement. Dans chacune d'elles, nous avons défini 5 services différents. Nous équipons chaque agent avec trois services différents, un de chaque catégorie, choisi au hasard. Pour les valeurs de QoS, nous considérons le jeu de données WS-Dream [7]. Rappelons que la requête du demandeur est définie par $(F, U, \alpha, \beta, \mu)$. Par souci de simplicité, nous supposons que les demandeurs ont besoin d'un seul service $F = \{s\}$. Nous considérons trois types de relations $\{R_1, R_2, R_3\}$. Nous faisons varier la valeur du seuil de confiance en la crédibilité sociale α's dans $[0, 1]$. Nous fixons la valeur du seuil β de la confiance en la recommandation à 0.4 (valeur médiane) et la valeur du seuil μ de la confiance en l'expertise à la moyenne des valeurs d'expertise de tous les services disponibles. Dans notre cas $\mu = 0.4$.

Efficacité. Rappelons que l'efficacité consiste à calculer la qualité moyenne de l'expertise des fournisseurs découverts en se basant sur les systèmes de références. L'expertise d'un fournisseur correspond à la valeur de sa confiance en l'expertise établie à partir des valeurs des attributs de QoS des services qu'il offre (voir [14]). Cela nous permet d'estimer à l'avance la qualité des services découverts pour différents valeurs de seuils de confiance.

Comme méthodologie d'expérimentation, nous considérons trois politiques de référencement :

3. Telecom Italia Lab. JADE 4.3 http ://jade.tilab.com/
4. Un réseau dans lequel chaque individu peut être relié à n'importe quel autre individu par une courte chaîne de relations sociales
5. Un réseau dont les degrés suivent une loi de puissance.
6. http ://snap.stanford.edu/data/egonets-Facebook.html
7. https ://github.com/wsdream/wsdream-dataset

©AFIA 2016

– **referAll** : un agent envoie la requête à l'ensemble de ses accointances appelé réseau égocentrique. C'est un cas particulier de référencement dans lequel la confiance n'est pas prise en considération. Cela ressemble au processus de recherche de *GNUtella* [10] où les requêtes sont propagées par inondation c'est à dire, chaque agent transmet la requête entrante à tous ses voisins s'il la reçoit pour la première fois.
– **referTrust** : un agent envoie la requête uniquement aux agents dont la confiance en la crédibilité sociale est au-dessus d'un seuil de confiance prédéfini. Plus la valeur du seuil augmente, plus le nombre d'agents contactés diminue.
– **referBest** : un agent réfère un seul agent, son meilleur voisin, dont le score de crédibilité sociale est le plus élevé. Cela est similaire au routage de messages de Freenet [12] dans lequel chaque client transmet la demande à l'agent le plus susceptible d'avoir les informations demandées.

La figure 2 illustre l'évolution de la qualité moyenne de l'expertise en fonction de la variation du seuil α pour les différentes politiques de référencement. Durant la simulation, chaque agent présente 5 requêtes générant au total 5000 requêtes pour lesquelles nous calculons la valeur moyenne de l'expertise des fournisseurs découverts. Nous limitons la longueur des chaînes de références à cinq comme la valeur "time-to-live" de *GNUtella*.

Dans la figure 2, la politique referAll correspond au cas où le seuil de confiance $\alpha = 0$. Elle est représentée par un seul point. La politique referBest référençant le meilleur voisin est indépendante du seuil de confiance. Elle demeure constante pour toutes les valeurs de α. La première observation à noter est que parmi les trois politiques mises en place, la politique referAll est la moins performante car sa qualité d'expertise est égale à 0.27. Ce résultat est justifié par le fait, qu'étant donné que la confiance n'est pas prise en considération, tous les fournisseurs sont découverts ce qui diminue la qualité moyenne de l'expertise. Par conséquent, échanger plus de références ne garantit pas que la qualité d'expertise soit plus élevée d'où l'intérêt d'intégrer la confiance dans le processus de découverte.

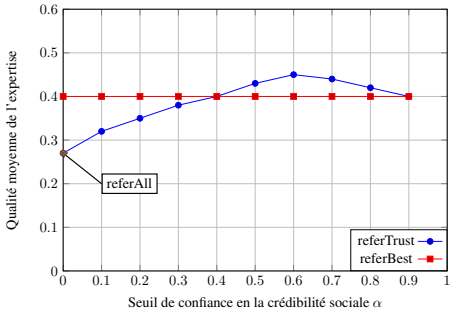


FIGURE 2 – Efficacité de la phase de découverte

La deuxième observation concerne l'évolution de la qualité moyenne de l'expertise de referTrust rapportée à la variation de la valeur de α. Nous relevons trois points importants.

Tout d'abord, la meilleure performance d'expertise enregistrée dans la figure 2 correspond à $\alpha = 0.6$. Selon ces résultats, nous pouvons considérer cette valeur comme une valeur de référence qui pourrait être recommandée au demandeur avant de lancer le processus de découverte.

Deuxièmement, lorsque $\alpha = 0.9$, les courbes de referBest et referTrust se croisent. Cela veut dire qu'un seul fournisseur a une valeur de confiance au dessus de 0.9. Ainsi, les deux politique sont équivalentes.

Troisièmement, dans la plage des valeurs $\alpha \in [0, 0.6]$, la courbe de la politique referTrust a une pente positive (i.e., les fournisseurs avec une faible crédibilité sociale ont également une faible expertise). Cela indique l'existence d'une corrélation entre la valeur de la crédibilité sociale et la qualité d'expertise d'un agent. Avec l'augmentation de la valeur de α, les fournisseurs faiblement dignes de confiance sont filtrés et la valeur moyenne de la qualité d'expertise augmente.

Cependant, cette corrélation n'est plus valable (c'est à dire que l'expertise d'un fournisseur ne s'améliore pas avec l'augmentation de sa crédibilité sociale) pour de grandes valeurs de α. Les agents deviennent trop sélectifs dans le référencement et peu d'agents dignes de confiance sont contactés pour trouver des fournisseurs pertinents. Cela signifie que pour des grandes valeurs de confiance, certains fournisseurs avec une bonne expertise ne sont plus découverts car ils sont socialement déconnectés du demandeur c'est à dire, il n'y pas de chaîne de références dignes de confiance menant à eux. Ce qui n'est pas le cas de referBest, car il y a toujours un agent à contacter.

Efficience. Rappelons que l'efficience consiste à étudier le pourcentage des fournisseurs découverts en fonction de la longueur de la chaîne fournisseur-recommandeur. Durant cette simulation, chaque agent présente 5 requêtes résultant en 5000 requêtes au total pour lesquelles nous calculons la moyenne en pourcentage des fournisseurs découverts.

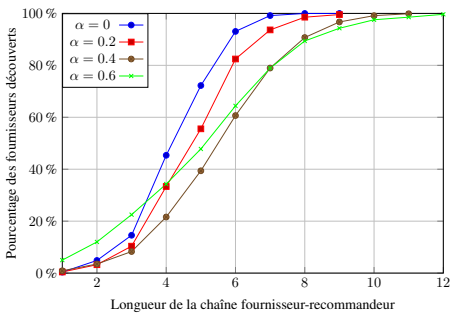


FIGURE 3 – Efficience de la phase de découverte

Les approches qui évaluent la confiance dans les réseaux sociaux proposent des modèles de calcul qui opèrent sur des chemins à n ($n \in R$) arêtes ([9, 18, 19]). Pour illustrer ce point, nous représentons dans la figure 3 la répartition moyenne en pourcentage cumulé des fournisseurs découverts en fonction de la longueur de la chaîne fournisseur-recommandeur. Pour différentes valeurs de α, nous notons dans la figure 3 que le nombre des fournisseurs découverts dans l'ensemble des accointances des demandeurs (i.e., leur réseaux égocentriques) ne représente qu'une petite fraction (environ 1%) de l'en-

©AFIA 2016

semble total des fournisseurs découverts. En réalité, certains agents peuvent ne pas être de bons experts, mais peuvent être bien connectés en recommandant de bonnes références. D'où l'intérêt des systèmes de références dans la recherche des fournisseurs.

Dans notre approche, la crédibilité sociale montre la capacité d'un agent de fournir de bonnes références. La propagation de la recherche est effectuée via navigation dans le réseau social ce qui explique l'augmentation du nombre de fournisseurs découverts en fonction de la longueur de la chaîne.

Il est aussi intéressant de noter qu'il y a un compromis entre la longueur de la chaîne et le nombre de fournisseurs découverts : nous avons six fois plus de chances de trouver un fournisseur de services digne de confiance pour une longueur de chaîne égale à 7 que pour une chaîne de longueur 3 (de 14% à 80%). De plus, nous remarquons que pour des valeurs de seuil supérieures à $0,4$, les fournisseurs dignes de confiance sont découverts relativement loin du demandeur de services. Cela indique que certains fournisseurs sont faiblement reliés aux demandeurs de services et requièrent une longue chaîne pour être découverts. De plus, le nombre moyen de fournisseurs découverts tend à se stabiliser une fois que la longueur atteint une certaine valeur (ici, égale à 10) indépendamment de la confiance. Concrètement, lorsque la longueur de la chaîne va au-delà d'une certaine limite, les fournisseurs restants sont socialement déconnectés du demandeur et ne peuvent pas être découverts.

Selon ces résultats, nous pouvons considérer la chaîne fournisseur-recommandeur comme un paramètre d'entrée qui pourrait être ajusté avant de lancer le processus de découverte de services. Au cours de la recherche, il est inutile de propager la requête au delà d'une chaîne de longueur 7 étant donné que la plupart des fournisseurs (environ 80%) sont découverts au dessous de cette longueur. Considérant la valeur 7 comme étant la longueur maximale autorisée nous permet d'une part, d'être en accord avec la caractéristique du réseau « petit monde » et d'autre part, de contrôler l'espace de recherche limitant ainsi les coûts de calcul.

4.3 Étude des performances de la phase de sélection de services

Dans cette section, nous évaluons les performances de la phase de sélection de services en terme d'*utilité des fournisseurs* et de *satisfaction des demandeurs* via une étude comparative avec trois approches de sélection à savoir l'approche de Bansal et *al.* [2], l'approche de Maaradji et *al.* [15] et une approche de sélection aléatoire purement fonctionnelle sans confiance. Les expériences sont réalisées sur les données réelles de Facebook décrites précédemment dans la section 4.1. Nous utilisons le jeu de données WSDream qui contient 5825 services Web avec les valeurs de QoS. Chaque agent est équipé de trois services différents. De même, pour la requête nous supposons que les demandeurs ont besoin d'un seul service $F = \{s\}$. Suite aux résultats obtenus lors de l'expérience précédente, nous fixons le seuil de confiance $\alpha = 0.6$. Comme expliqué dans la section 4.2, nous fixons les seuils de confiance comme suit : $\beta = 0.4$ et $\mu = 0.4$.

Méthodologie d'expérimentation. Comme méthodologie d'expérimentation, nous avons mis en place quatre stratégies de sélection de services :

- Stratégie **Random** : cette stratégie permet aux demandeurs de sélectionner aléatoirement un fournisseur parmi l'ensemble les candidats découverts. Ainsi, la sélection d'un service est purement fonctionnelle sans aucune considération liée à la confiance.
- Stratégie **basique** : la prise de décision d'un demandeur lors de la sélection d'un service est guidée par l'un des deux modèles de confiance de Bansal et *al.* et Maaradji et *al.*. L'approche Bansal et *al.* est basée uniquement sur la composante de la confiance en la crédibilité sociale en utilisant la mesure de degré d'un nœud dans le graphe. L'approche Maaradji et *al.* considère à la fois les composantes de la confiance en la crédibilité sociale (i.e. proximité sociale) et la confiance en l'expertise pour évaluer la confiance d'un fournisseur.
- Stratégie **d'inférence** : cette stratégie met en œuvre notre approche de découverte et de sélection *Trusty* telle qu'elle est décrite dans [14]. Similaire à la stratégie basique, la prise de décision relative à la sélection de services est basée sur la confiance. Contrairement aux approches Maaradji et *al.*. et Bansal et *al.*, l'approche Trusty utilise d'une façon séparée et non agrégée les différente composantes de la confiance. D'abord dans la découverte de services puis, dans la sélection de services (voir section 3).

Dans le réseau social, nous définissons quatre ensembles d'agents où chaque ensemble est équipé d'une stratégie différente. Étant donné que la seule différence entre les demandeurs est la stratégie de sélection qu'ils utilisent, l'utilité des fournisseurs et la satisfaction exprimées par chaque agent refléteront la performance du modèle de confiance de chaque stratégie adoptée.

Utilité des fournisseurs et satisfaction des demandeurs. L'utilité des fournisseurs est un critère objectif défini par les valeurs de deux attributs de QoS (à savoir, la spécialisation [8] et la disponibilité [9]) des services qu'ils offrent. Pour un attribut de QoS objectif, l'utilité correspond à la moyenne de ses valeurs relevées pour les services sélectionnés. La satisfaction des demandeurs est un critère subjectif qui reflète l'opinion des demandeurs concernant le comportement d'un service après utilisation. Elle correspond à la moyenne des valeurs de l'attribut *Eval* [10] de tous les services sélectionnés.

Durant l'exécution de la simulation, chaque agent génère 10 requêtes résultant en 40390 requêtes au total sur lesquelles nous calculons la valeur moyenne de la spécialisation et de la disponibilité des services sélectionnés.

Utilité des fournisseurs. Comme nous l'avions prévu, la figure 4 montre que le groupe d'agents Random (i.e.,

8. La spécialisation d'un service est le degré de spécialisation du fournisseur pour ce service par rapport aux autres services qu'il offre.

9. La disponibilité d'un service est la probabilité qu'il soit opérationnel au moment de l'invocation.

10. l'Eval d'un service représente la moyenne des notes qui lui sont attribuées par les demandeurs après utilisation

©AFIA 2016

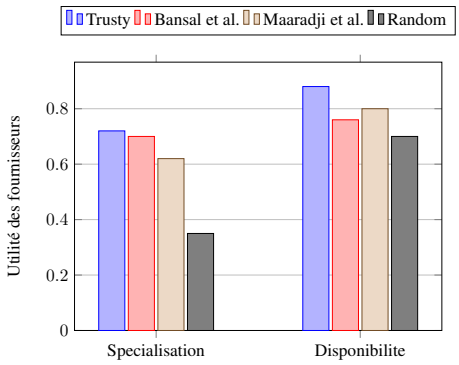


FIGURE 4 – Phase de sélection : Utilité des fournisseurs

sélection aléatoire parmi les services découverts sans aucune considération liée à la confiance) possède la plus faible performance pour tous les attributs de QoS. D'un autre coté, Trusty, Bansal et *al.* et Maaradji et *al.* s'avèrent bénéfiques pour les demandeurs en les aidant à obtenir une utilité significativement plus élevée c'est à dire, des services avec de meilleures QoS. Cela montre qu'une approche de sélection basée sur la confiance est plus efficace qu'une autre n'utilisant pas la confiance car elle permet aux agents d'interagir avec des fournisseurs plus dignes de confiance donc plus pertinents.

Nous remarquons que notre approche se comporte mieux que les approches de Bansal et *al.* et Maaradji et *al.* sur les deux attributs. Cela est concrétisé par le fait que le modèle de confiance de l'approche Trusty est plus expressif et plus riche étant donné qu'il évalue non seulement la crédibilité sociale et l'expertise d'un agent mais aussi la qualité de recommandation des agents intermédiaires conduisant à cet agent. Cela augmente la qualité des services sélectionnés et par la suite l'utilité mesurée. Bansal et *al.* par exemple se base uniquement sur la crédibilité sociale évaluée à l'aide de la mesure de degré. La différence de performance entre Trusty et Maaradji et *al.* s'explique par le fait que Trusty n'agrège pas la confiance en la crédibilité sociale et la confiance en l'expertise mais les utilise séparément dans deux phases. Cette désagrégation nous permet d'éviter les occasions manquées dans la découverte de services. En effet, un agent socialement digne de confiance qui a une expertise faible ne sera pas contacté dans la stratégie de Maaradji et *al.* car l'agrégation des deux composantes donne une valeur de confiance inférieure au seuil. Par contre, dans la stratégie Trusty cet agent sera contacté étant donné qu'il est digne de confiance et même s'il ne fournit pas un service avec la fonctionnalité requise, il peut être utile en recommandant un bon fournisseur.

Bien que le modèle de confiance de Maaradji et *al.* soit plus riche que celui de Bansal et *al.*, nous notons qu'il est moins performant sur l'attribut spécialisation. Cela peut être expliqué par le fait que la spécialisation d'un fournisseur est naturellement corrélée à son degré dans le réseau qui est la mesure utilisée par Bansal et *al.*. De ce fait, plus un agent est spécialiste d'un service, plus il est sollicité dans le réseau ce qui augmente le nombre de ses interactions et par la suite son degré. Cette observation justifie le fait que l'utilité de Bansal et *al.* est plus élevée que celle de Maaradji et *al.* pour cet attribut.

Satisfaction des demandeurs. Pour mieux observer l'influence des différentes stratégies de sélection sur la satisfaction des demandeurs, nous appliquons un amorçage négatif (i.e. valeurs faibles) pour les valeurs initiales d'Eval.

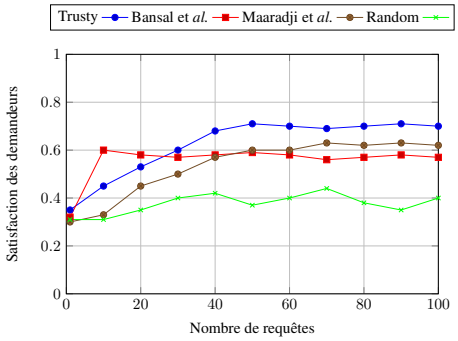


FIGURE 5 – Phase de sélection : Satisfaction des demandeurs

Chaque agent génère 100 requêtes (résultant en 403900 requêtes au total) qu'il soumet séquentiellement dans le réseau social. Afin de surveiller la progression de la satisfaction des demandeurs, nous relevons, après chaque 10 requêtes, la moyenne des notes attribuées aux services après utilisation [11]. Au démarrage de la simulation, nous notons que la satisfaction des demandeurs se comporte de façon similaire pour les différentes stratégies de sélection. Cela est dû au fait que pour un petit nombre de requêtes, ces valeurs sont modifiées lentement. Cependant, au bout de 10 requêtes nous remarquons une différence notable dans les valeurs de satisfaction. Les résultats des premières sélections de services réalisées par la stratégie Bansal et *al.* montrent qu'elle sont plus performantes que celles des autres stratégies. Cela peut s'expliquer par le fait qu'au démarrage de la simulation, l'attribut qualité de l'ensemble des services est initialisé avec une valeur faible (amorçage négatif). Par conséquent, pour des stratégies de sélection comme Trusty et Maaradj et *al.* qui utilisent cet attribut dans l'évaluation de l'expertise, les agents échouent à trouver les bons fournisseurs. Par contre, ces valeurs faibles de la qualité n'influencent pas l'évaluation de la stratégie Bansal et *al.* car cette stratégie se base uniquement sur la mesure de degré. Ainsi, les fournisseurs sélectionnés par Bansal et *al.*, dont le degré est élevé, ont de fortes chances d'offrir de bons services, ce qui est le cas. Cela confirme notre intuition sur l'influence de la crédibilité sociale sur l'évaluation de la confiance.

Un autre point notable qui se dégage de cette expérience est que la satisfaction finit par se stabiliser après un nombre fini de requêtes et cela pour toutes les stratégies de sélection qui utilisent la confiance (i.e., Trusty, Bansal et *al.*, Maaradji et *al.*). En réalité, ces groupes d'agents sont capables d'apprendre progressivement, mais avec des vitesses différentes, la qualité effective des services. Par exemple, le groupe d'agents Trusty est le groupe le

11. https ://github.com/wsdream/wsdream-dataset

©AFIA 2016

plus rapide, il est capable d'apprendre au bout de 50 requêtes. Cependant, pour une approche aléatoire qui n'utilise pas la confiance, la satisfaction reste fluctuante et chute progressivement ce qui est tout à fait prévisible. Nous remarquons qu'au bout de 45 requêtes, la satisfaction associée à la stratégie de Maaradji et *al.* finit par surpasser celle du groupe d'agents Bansal et *al.*. Aussi, nous constatons que parmi toutes les stratégies de sélection avec confiance, l'approche Trusty est la plus performante car elle maintient une satisfaction élevée et stable.

5 Conclusion et perspectives

Dans ce travail, nous avons exposé les différentes expérimentations de notre approche multi-agent de découverte et de sélection de services Web fondée sur la confiance et les réseaux sociaux. Pour ce faire, nous avons mené ces expériences sur des réseaux sociaux simulés et en vraie grandeur en particulier Facebook. Dans un premier temps, nous avons évalué les performances de la phase de découverte de services en termes d'efficacité et d'efficience. Les résultats obtenus ont montré que notre mécanisme de découverte fondé sur la confiance donne de meilleurs résultats que les approches classiques. Dans une deuxième partie, nous avons évalué la performance de la phase de sélection de services en terme d'utilité des services offerts par les fournisseurs et de satisfaction des demandeurs via une étude comparative avec d'autres approches de sélection. Les résultats ont démontré que notre approche surpasse les autres approches similaires et donne de meilleurs résultats sur les deux critères précédemment cités.

Une perspective de ce travail est d'élargir le domaine d'application en incluant des réseaux plus complexes tels que les réseaux multiplex [8]. Une autre perspective est d'étudier la robustesse de notre modèle de confiance et l'impact des valeurs des différents seuils sur les résultats expérimentaux. De plus, par le biais de simulations, l'idée est de manipuler les valeurs de certaines mesures de confiance en introduisant des agents malveillants et de mesurer l'impact de ces manipulations sur les résultats de sélection de services. Enfin, nous avons l'intention d'étendre notre approche afin d'effectuer une composition de services basée sur la confiance à travers une formation de coalition.

Références

[1] E. Al-Masri and Q. H. Mahmoud. Toward quality-driven web service discovery. *IT Professional*, 10 :24–28, 2008.

[2] S. K. Bansal, A. Bansal, and M. B. Blake. Trust-based dynamic web service composition using social network analysis. In *IEEE International Workshop on Business Applications for Social Network Analysis*, pages 1–8, 2010.

[3] D. Bianchini, V. De Antonellis, and M. Melchiori. Flexible semantic-based service matchmaking and discovery. *World Wide Web*, 11 :227–251, 2008.

[4] A. Bose, R. Nayak, and P. Bruza. Improving web service discovery by using semantic models. In *WISE*, pages 366–380. Springer, 2008.

[5] Y. Charif-Djebbar and N. Sabouret. Dynamic service composition enabled by introspective agent coordination. *AAMAS*, 26(1) :54–85, 2013.

[6] J. Dunn. The concept of trust in the politics of John Locke. *Cambridge University Press*, 1984.

[7] P. Erdos and A. Renyi. On the evolution of random graphs. *Publ. Math. Inst. Hung. Acad. Sci.*, 7 :17, 1960.

[8] S. Gómez, A. Díaz-Guilera, J. Gómez-Gardeñes, C. J. P. Vicente, Y. Moreno, and A. Arenas. Diffusion dynamics on multiplex networks. *CoRR*, 2012.

[9] C.-W. Hang, Y. Wang, and M. P. Singh. Operators for propagating trust and their evaluation in social networks. In *AAMAS*, pages 1025–1032, 2009.

[10] G. Kan. *8 : GNUtella. In Peer-to-Peer : Harnessing the Power of Disruptive Technologies, pages 94-122*. O'Reilly & Associates, Inc., 2001.

[11] J. Kleinberg. The small-world phenomenon : An algorithmic perspective. In *Proceedings of the Thirty-second Annual ACM Symposium on Theory of Computing*, pages 163–170. ACM, 2000.

[12] A. Langlet. *9 : Freenet. In Peer-to-Peer : Harnessing the Power of Disruptive Technologies, pages 123-132*. O'Reilly & Associates, Inc., 2001.

[13] A. Louati, J. El Haddad, and S. Pinson. Trust-based service discovery in multi-relation social networks. In *ICSOC*, pages 664–671, 2012.

[14] A. Louati, J. El Haddad, and S. Pinson. A Multi-Agent Approach for Trust-based Service Discovery and Selection in Social Networks. *Scalable Computing : Practice and Experience*, 16(4) :381–402, 2015.

[15] A. Maaradji, H. Hakim, J. Daigremont, and N. Crespi. Towards a social network based approach for services composition. In *IEEE International Conference on Communications*, pages 1–5, 2010.

[16] B.A. Misztal. *Trust in Modern Societies*. Polity, Oxford, 1996.

[17] M. P. Singh and M. Huhns. *Service-oriented computing :semantics, processes, agents.* Wiley, 2005.

[18] Y. Wang, L. Li, and G. Liu. Social Context-Aware Trust Inference for Trust Enhancement in Social Network based Recommendations on Service Providers. *World Wide Web Journal*, pages 1–26, 2013.

[19] Y. Wang and M. P. Singh. Trust representation and aggregation in a distributed agent system. In *AAAI*, pages 1425–1430. AAAI Press, 2006.

[20] J. Wohlgemuth. *Small World Properties of Facebook Group Networks*. PhD thesis, University of Nebraska at Omaha, 2012.

[21] B. Yu and M. P. Singh. Searching social networks. In *AAMAS*, pages 65–72, 2003.

©AFIA 2016

Diagnostic pour le maintien de la qualité des bases du Web des données

Pierre Maillot[1] David Genest[2] Stéphane Loiseau[2] Thomas Raimbault[3]
pierre.maillot@irisa.fr {genest,loiseau}@info.univ-angers.fr thomas.raimbault@devinci.fr

[1] IRISA, Université de Rennes 1, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes cedex, France
[2] LERIA, UFR Sciences d'Angers, 4 Boulevard Lavoisier, 49000 Angers, France
[3] De Vinci Technology Lab, ESILV, 92916 Paris La Défense Cedex, France

Résumé

Au cours de son existence, la qualité des données d'une base du Web des données est maintenue par des évolutions périodiques. Ces évolutions nécessitent des administrateurs avec une expertise dans les langages du Web des données et dans le domaine de la base pour leur permettre d'identifier les parties de la base à faire évoluer. Dans cet article, nous proposons une nouvelle méthode pour faciliter l'évolution d'une base par un administrateur. Notre méthode fournit à un administrateur un diagnostic d'une base qui lui décrit les incohérences entre les données de la base et l'ontologie. Les incohérences sont décrites par les motifs qui apparaissent autour des ressources qui sont similaires et en conflit avec une définition de l'ontologie. Cette méthode a été testée sur les données de la base DBPedia.

Mots Clef

Évolution d'ontologie, évolution de base RDF, extraction de motif, contrainte d'intégrité, Web des données, cohérence.

Abstract

Data quality in a semantic web base is periodically maintened through the evolution of both data and bases ontology. These periodic evolutions require from administrators both knowledge about semantic web technologies and about the base's subject. They also have to be done through a detailed examination of the base's content. In this article we present an easier way for an administrator to do this examination. Our solution provides an administrator with a diagnosis describing notable inconsistencies between data and ontology. Inconsistencies are described by patterns appearing in the neighbourhood of groups of similar incoherent ressources.

Keywords

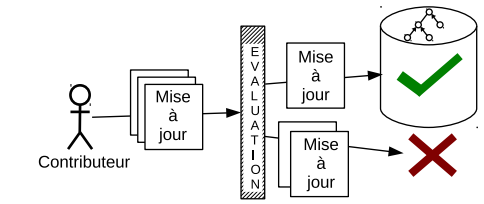
Evolution, pattern extraction, integrity constraint, semantic web, consistency.

Introduction

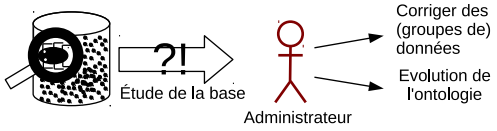
Le Web des données est un mouvement collaboratif pour le partage de données sur le web, soutenu par le W3C. Il se base sur le framework RDF [Wood et al., 2014] pour la représentation des données sous la forme de triplets, sur le langage OWL [Schreiber and Dean, 2004] pour leur structuration à l'aide d'ontologies et sur le langage de requêtes SPARQL [Harris and Seaborne, 2013] pour leur interrogation. Un des principaux représentants du Web des données est le Linked Data. Le Linked Data est un ensemble de bases libres d'accès et interconnectées qui est apparu en 2007 et dont le nombre de bases et la quantité de triplets n'ont cessé de grandir depuis. Actuellement, le Linked Data contient plusieurs centaines de bases, chacune contenant en moyenne plusieurs dizaines de millions de triplets. La base la plus connue du Linked Data est la base DBPedia, le reflet dans le Web des données de Wikipedia. La base DBPedia contient les informations structurées disponibles dans les pages Wikipedia. La version internationale de DBPedia contient actuellement environ 60 millions de triplets qui représentent les descriptions de 3,7 millions de ressources. Elle reçoit les mêmes mises à jour que Wikipedia, soit 77 mises à jour par minute en moyenne et subit un examen annuel par un administrateur.

Une base du Web des données a plusieurs usages qui peuvent être séparés selon deux grandes problématiques : l'interrogation et le maintien de la qualité. L'interrogation des bases RDF est effectuée essentiellement par les utilisateurs du Web des données. Le maintien de la qualité des bases du Web des données se fait de deux manières (figure 1) : la mise à jour et l'évolution des bases du Web des données. La mise à jour d'une base est faite par sa communauté de contributeurs qui proposent de nouvelles données ou des modifications des données existantes. Ces contributions sont parfois évaluées automatiquement selon différentes approches, par exemple en fonction de leur respect de l'ontologie [Kontokostas et al., 2014] ou leur provenance [Mendes et al., 2012, Bonatti et al., 2011]. L'évolution d'une base du Web des données correspond à l'examen périodique par un administrateur du contenu de la base et a pour but de décider des corrections à appor-

 ©AFIA 2016



(a) Mise à jour



(b) Évolution

FIGURE 1 – Maintien de la qualité des bases du Web des données.

ter aux données ou à l'ontologie de la base : dans le cas de DBPedia cette opération est annuelle. Cette opération nécessite que l'administrateur soit à la fois un expert dans le domaine de connaissance de la base et dans les technologies du Web des données pour qu'il sache repérer les incohérences et déterminer les corrections à apporter. Les corrections apportées par l'administrateur peuvent concerner les données de la base, pour corriger des erreurs des contributeurs. Elle peuvent également concerner l'ontologie de la base, lorsque celle-ci devient obsolète pour la description des ressources de la base. Nous proposons dans cet article une nouvelle méthode pour faciliter l'évolution d'une base du Web des données par un administrateur.

Le but de notre méthode est de fournir une forme de résumé, appelé *diagnostic*, des incohérences qui apparaissent dans les données de la base pour faciliter le travail de l'administrateur lors de l'évolution d'une base. Le diagnostic est une description des points communs des ressources qui ne respectent pas des définitions de l'ontologie. Une incohérence est la conséquence de la violation d'une contrainte d'intégrité. Une *contrainte d'intégrité* est une assertion logique de l'ontologie que doivent respecter les données de la base ; les domaines et co-domaines de propriétés, les classes disjointes sont des exemples de contraintes d'intégrité. Notre méthode utilise des *motifs de description* pour représenter les points communs entre les ressources concernées par une contrainte. Les points communs des ressources qui respectent une contrainte d'intégrité forment des *motifs positifs* ; les points communs des ressources qui ne respectent pas une contrainte forment des *motifs négatifs*. Un diagnostic va être construit sur ces ensembles de motifs pour représenter synthétiquement les erreurs. Sa lecture par l'administrateur va lui permettre de facilement corriger les données et/ou faire évoluer l'ontologie.

Deux grands types de travaux existent dans la bibliographie pour la correction des ressources ou l'évolution de l'ontologie par l'administrateur. D'une part, les travaux sur l'évolution de bases du Web des données, tels que ceux listés dans [Zablith et al., 2015], se concentrent sur la cohérence des changements appliqués sur l'ontologie. D'autre part, les travaux, parfois à base de participation collaborative tels que [Mortensen et al., 2013, Kontokostas et al., 2013], se concentrent sur la détection d'incohérences dans les données de la base et leur correction. Parmi ces travaux, l'article [Kontokostas et al., 2014] propose une suite d'évaluation de bases RDF nommée RDFUNIT [1]. Cette suite se repose sur les contraintes d'intégrité de l'ontologie des données à évaluer pour générer un ensemble de tests à effectuer pour vérifier la qualité des données RDF. Ces tests sont générés sous la forme de requêtes SPARQL simples qui permettent leur évaluation rapide sur toute base RDF. Notre méthode se base sur le même concept de contrainte d'intégrité et utilise également la génération de requête SPARQL à partir de ces contraintes. RDFUNIT sert à la vérification de toutes les contraintes d'intégrité d'une ontologie dans une base alors que notre méthode donne un diagnostic d'une contrainte d'intégrité, lisible sous la forme d'un graphe de données. L'article [Fleischhacker et al., 2014] étudie les données aberrantes qui apparaissent dans les valeurs numériques de propriétés dans les bases RDF. La méthode proposée sert à détecter des erreurs dans les valeurs d'une propriété. Cette méthode vérifie si il existe des valeurs numériques aberrantes pour une propriété au sein de la base, puis elle exploite les relations sameAs pour vérifier si ces valeurs sont également aberrantes par rapport aux valeurs indiquées dans d'autres bases pour décrire la même ressource. Cette approche se limite aux propriétés numériques mais elle exploite les propriétés du Linked Data pour avoir des points de références supplémentaires intéressants dans son résultat final.

Dans cet article, les notions de contrainte d'intégrité d'une base RDF, de motif de description, de motifs positifs et de motifs négatifs sont présentées en première partie. La construction du diagnostic d'une contrainte d'intégrité est présentée en seconde partie. Le système implémenté et l'expérimentation de notre approche dans DBPedia est présentée en troisième partie.

1 Motifs de description fondés sur des contraintes

Le but de notre méthode est de mettre en évidence les ressources qui (i) ne respectent pas l'ontologie et (ii) sont semblables à d'autres ressources qui ne respectent pas l'ontologie. Pour identifier les ressources qui respectent ou non l'ontologie, nous utilisons les *contraintes d'intégrité*, notion empruntée aux bases de données relationnelles. Les contraintes d'intégrité permettent d'extraire de la bases les ressources qui respectent ou qui ne respectent pas l'ontologie. Pour déterminer si certaines de ces ressources

1. Accessible sur `http://rdfunit.aksw.org/`.

©AFIA 2016

sont semblables entre elles et donner à l'administrateur un résumé concis de leurs points communs, nous définissons les *motifs de description*. Les motifs de description donnent un résumé des points communs d'un ensemble de ressources sous la forme d'un ensemble de triplets. Les motifs positifs sont ceux qui respectent une contrainte et les motifs négatifs sont ceux qui ne la respectent pas.

1.1 Contrainte

Les contraintes d'intégrité d'une base RDF sont tirées des définitions de l'ontologie dont le non-respect entraîne des incohérences dans la base RDF. Telles que décrites dans [Motik et al., 2009] pour le Web des données, les contraintes d'intégrité correspondent à des règles générées à partir de certaines définitions de l'ontologie dont le respect est requis pour maintenir la cohérence de la base RDF. Selon [Sirin and Tao, 2009], les contraintes d'intégrité tirées d'une ontologie sont à classer de manière similaire à celles utilisées dans les bases de données relationnelles : (i) Les contraintes de typage, qui exigent que les ressources liées par une relation donnée aient un type précis sont générées, entre autres, par les domaines et codomaines des propriétés ainsi que par les disjonctions. (ii) Les contraintes d'unicité, qui exigent qu'une ressource ne puisse pas être présente dans plus d'un triplet contenant la même relation sont générées, entre autres, par les propriétés fonctionnelles. (iii) Les contraintes de définition, qui exigent qu'une ressource soit liée à une autre par un triplet contenant une relation ou des ressources précises sont générées, entre autres, par les définitions de classes par restriction en OWL.
Une ressource qui ne respecte pas ces contraintes issues de l'ontologie est en conflit avec les définitions de l'ontologie ; elle est source d'incohérences dans la base.
À noter que l'extraction des ressources concernées par ces contraintes est aisément exprimable sous la forme de requêtes SPARQL, comme le montre l'article [Sirin and Tao, 2009]. Ceci permet d'aisément extraire d'une base RDF l'ensemble des ressources en conflit ou en accord avec une contrainte donnée à l'aide d'une requête SPARQL. Ayant choisi une contrainte d'intégrité, l'administrateur obtient donc les ressources en conflit : de celles-ci vont être obtenus les motifs de description.

1.2 Motifs de description

Le *voisinage* d'une ressource dans une base, aussi parfois appelé « description de la ressource », est l'ensemble des triplets dans lesquelles la ressource apparait. Un *motif de description* représente mises en relation qui apparaîssent de façon récurrente dans les triplets du voisinage d'un groupe de ressources. Un motif de description partagé par un ensemble de ressources contient les ressources en sujet, objet ou relation de triplets qui sont communes à tous les voisinages des ressources de l'ensemble Un motif de description est constitué de triplets qui peuvent contenir des ressources RDF ou des variables, de la même manière que les triplets du corps d'une requête SPARQL. Nous définissons un motif partagé par un ensemble de ressources comme une *généralisation* du voisinage de chaque ressource.

Définition 1 (Généralisation)**.** *Un ensemble de triplets est une généralisation d'un autre s'il s'obtient en lui appliquant les règles suivantes :*
- *Supprimer un triplet*
- *Remplacer une ressource par une variable*

Un motif est construit à partir des triplets du voisinage d'une ressource. Nous définissons maintenant formellement le voisinage au rang n d'une ressource dans une base.

Définition 2 (Fonction de voisinage)**.** *Soient un ensemble de triplets RDF B, $\mathcal{N}_E$ l'ensemble des ressources sujets ou objets des triplets d'un ensemble de triplets E, $r \in \mathcal{N}_B$ et $n \in \mathbb{N}^*$.*
La fonction voisinage$_B^n(r)$ *telle que :*
- voisinage$_B^1(r) = \{t \mid t \in B, r \in \mathcal{N}_{\{t\}}\}$
- *Pour* $n > 1$, voisinage$_B^n(r) =$ *voisinage*$_B^{n-1}(r) \cup \bigcup_{k \in \mathcal{N}_{\text{voisinage}_B^{n-1}(r)}}$ *voisinage*$_B^1(k)$

est appelée fonction de voisinage *de* r.

Le voisinage d'une ressource est défini récursivement au rang un comme étant l'ensemble des triplets contenant cette ressource et au rang n comme étant l'ensemble des triplets contenant les autres ressources sujets ou objets des triplets du rang précédent. Un motif de description est constitué d'un ensemble de ressources et d'un ensemble de triplets qui généralisent les voisinages des ressources de l'ensemble.

Définition 3 (Motif de description)**.** *Soit une base RDF B et $n \in \mathbb{N}$.*
Un motif de description est un couple (S, m) tel que :
- *(i) S est un ensemble de ressources, nommé* ensemble des sources du motif,
- *(ii) m est un ensemble connexe de triplets issus des triplets de B, nommé* ensemble des triplets de description du motif *tel que $\forall s \in S$, m est une généralisation de* voisinage$_B^n(s)$.

Un motif est caractérisé par les ressources qui le partagent, ses *sources* et par les triplets du motif, que nous appelons *description*. La structure des motifs est également à rapprocher de celle des subsumeurs communs, tels que définis dans [Colucci et al., 2014] pour le Web des données, bien que leur usages soient différents.
Un motif est défini à partir des voisinages au rang n d'un ensemble de ressources. Le motif d'une ressource seule est constitué des triplets du voisinage au rang n de cette ressource. Les ressources sources d'un motif partagés par au moins deux ressources sont toujours remplacées par une variable dans les triplets de description du motif puisqu'elles sont différentes. Nous nommons la variable qui les remplacent le *centre* d'un motif.
Un motif peut être une généralisation d'un autre motif, on parle alors d'inclusion d'un motif dans un autre.

©AFIA 2016

Définition 4 (Inclusion de motif)**.** *Soient deux motifs* (S_1, m_1) *et* (S_2, m_2)*. On a* $(S_1, m_1) \subset (S_2, m_2)$ *si et seulement si* m_1 *est une généralisation de* m_2*.*

Pour un ensemble de ressources, il existe un unique motif qui est le moins généralisé, ce motif est dit maximal.

Définition 5 (Motif maximal)**.** *Le motif* (S, m) *tel que* $\forall (S, m_i)$ *avec* $m_i \neq m$*,* $(S, m_i) \subset (S, m)$*, est appelé* motif maximal *de* S*.*

En pratique, le motif maximal est celui qui contient le plus d'éléments, et donc le plus d'informations à propos d'un groupe de ressources.

1.3 Motif positif

Notre méthode utilise les motifs pour décrire les groupes de ressources qui ne respectent pas une contrainte d'intégrité. Pour pouvoir identifier ces groupes de ressources, nous devons d'abord être capable de décrire les groupes de ressources qui respectent la contrainte. Pour cela, nous définissons pour une contrainte la notion de *motif positif*.

Définition 6 (Motif positif)**.** *Un motif positif lié à une contrainte d'une base est un motif de description dont les sources respectent la contrainte dans la base.*

Un motif positif d'une contrainte est un motif partagé par des ressources qui la respectent. Ces motifs positifs donnent une description de ce qui apparait normalement autour des ressources qui respectent la contrainte.

Exemple 1. *Notre exemple est celui d'une base fictive, semblable à DBPedia, dans laquelle nous examinons la contrainte de domaine définie sur la relation* os *qui définit le système d'exploitation d'une ressource. Dans notre base, le domaine d'*os *est limité aux instances de la classe* Ordinateur*.*
Il existe trois ressources qui utilisent la relation os *en respectant son domaine :* Aspire S3*,* Yoga *et* MacBook*. On extrait les voisinages au rang un de ces trois ressources, représentés sous forme de graphe en figure 2, pour déterminer leurs motifs. Ces trois ressources sont toutes*

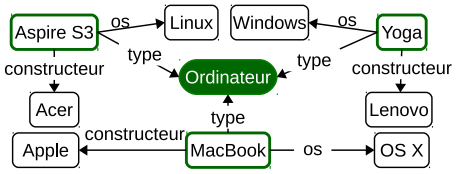


FIGURE 2 – Voisinage des trois ressources qui respectent la contrainte de domaine de os.

des ordinateurs avec des constructeurs et des systèmes d'exploitation différents. Par conséquent on obtient le motif maximal pour les trois ressources, représenté en figure 3.

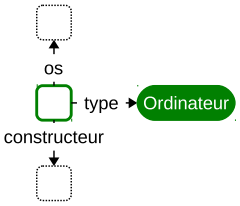


FIGURE 3 – Motif positif maximal de Aspire S3, Yoga et MacBook.

1.4 Motif négatif

À l'opposé des motifs positifs, les *motifs négatifs* sont partagés par des ressources qui ne respectent pas une contrainte donnée, qui sont en conflit avec l'ontologie.

Définition 7 (Motif négatif)**.** *Un motif négatif lié à une contrainte d'une base est un motif de description dont les sources ne respectent pas la contrainte dans la base.*

Un motif négatif d'une contrainte est partagé par des ressources qui ne la respectent pas. En pratique, un motif négatif d'une contrainte donne une description concise des voisinages de ressources qui ne la respectent pas.

Exemple 2. *Dans la base utilisée pour l'exemple 1, et toujours pour la contrainte de domaine de* os*, nous extrayons cinq ressources qui ne respectent pas la contrainte de domaine de la relation* os*. Ces cinq ressources, dont nous extrayons le voisinage représenté en figure 4, sont :* Lumia*,* Iphone 3*,* Galaxy S3*,* Sonata*,* C4*. Les ressources* Lumia*,* Iphone

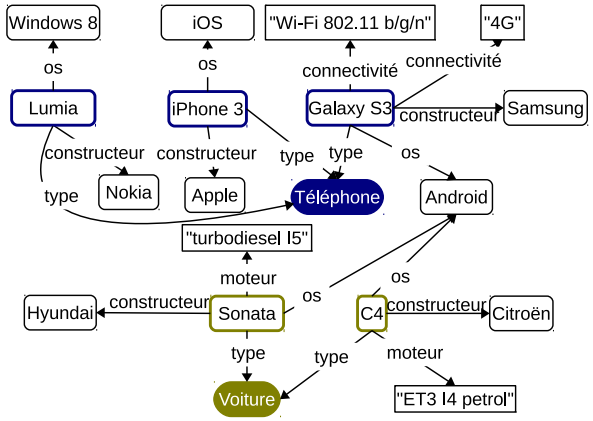


FIGURE 4 – Voisinage des ressources qui ne respectent pas la contrainte de domaine de os.

3, Galaxy S3 *sont des « smartphones » et les ressources* Sonata *et* C4 *sont des voitures connectées. On peut extraire quatre motifs maximaux qui généralisent les voisinages d'au moins deux de ces cinq ressources, représentés en figure 5. Le motif n°1 est partagé par les cinq ressources.* Le motif n°2 *est partagé par les ressources* Lumia*,* Iphone 3 *et* Galaxy S3*. Le motif n°3 est partagé par les ressources* Galaxy S3*,* Sonata *et* C4*. Le motif n°4 est partagé par les ressources* Sonata *et* C4*.*

©AFIA 2016

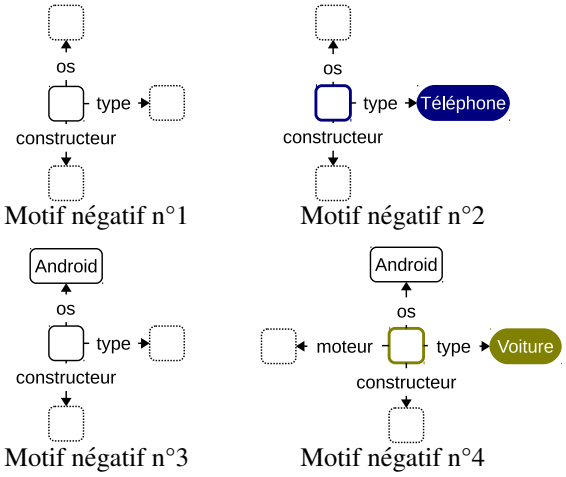


FIGURE 5 – Motifs négatifs

À partir des motifs positifs et les motifs négatifs d'une contrainte, le but de notre méthode est de générer un diagnostic qui présente les points communs des ressources qui ne respectent pas la contrainte en étant sûr que ces points communs ne sont pas partagés par les ressources qui respectent la contrainte.

2 Diagnostic

Notre méthode a pour but de présenter de façon synthétique à l'administrateur les groupes de ressources qui ne respectent pas une contrainte dans un *diagnostic*. Grâce à cela, la détection des corrections à apporter à la base est facilitée en mettant en évidence des incohérences similaires et récurrentes dans la base. Le diagnostic est composé des motifs négatifs maximaux d'ensembles de ressources qui ne respectent pas la contrainte. De plus, les motifs du diagnostic sont caractéristiques des ressources qui ne respectent pas la contrainte puisqu'ils sont différents des motifs positifs de la contrainte.

2.1 Comparaison de motifs

Comparer deux motifs de description peut être fait selon la relation d'inclusion (définition 4). En plus de cette relation, nous définissons d'autres critères de comparaison de motifs : leur *occurrence* et leur *taille*.

Définition 8 (Occurrence et taille d'un motif)**.** *Soit* (S, m) *un motif de description pour un rang* $n \in \mathbb{N}$.
La fonction $occ((S, m)) = |S|$ *est appelée* occurrence *de* (S, m).
La fonction $taille((S, m)) = |m|$ *est appelée* taille *de* (S, m).

L'occurrence d'un motif de description est son nombre de sources. La taille d'un motif de description est le nombre de triplets qu'il contient.
Ces trois critères de comparaison (*i.e.* occurrence, taille et inclusion) vont permettre d'ordonner et de filtrer les motifs de description présentés dans le diagnostic.

2.2 Présentation du diagnostic

Le diagnostic est le regroupement des motifs les plus significatifs pour la description des ressources en conflit avec une contrainte donnée. Les motifs les plus significatifs sont les motifs qui (i) donnent une description du plus grand nombre possible de ressources, (ii) ne sont pas inclus dans un autre motif positif ou négatif.

Définition 9 (Diagnostic d'une contrainte)**.** *Soient une contrainte d'intégrité concernant un ensemble de ressources* R *dans une base* B *et* $n \in \mathbb{N}^*$ *un nombre minimum de ressources concernées par un motif.*
Soient l'ensemble des motifs positifs maximaux M^+ *et l'ensemble des motifs négatifs maximaux* M^- *de la contrainte tels que* $\forall (S^+, m^+) \in M^+$, $occ((S^+, m^+)) > n$ *et* $\forall (S^-, m^-) \in M^-$, $occ((S^-, m^-)) > n$.
L'ensemble de motifs D *tel que :*

1. $\forall d \in D$, $d \in M^-$
2. $\forall d \in D$, $\nexists d' \in D$ *tel que* $d \subset d'$
3. $\forall d \in D$, $\nexists m^+ \in M^+$ *tel que* $m^+ \subset d$
4. $\forall d \in D$, $\nexists m^+ \in M^+$ *tel que* $d \subset m^+$

est appelé diagnostic de la contrainte.

Un diagnostic d'une contrainte est un ensemble de motifs négatifs sans relations d'inclusion entre eux (1 et 2) ou avec les motifs positifs maximaux (3 et 4). Ces motifs doivent également avoir pour source un ensemble de ressource de taille supérieure à un nombre minimum de ressources concernées par un motif fixé. Ce nombre minimum de ressources concernées par un motif est un paramètre fixé par l'administrateur qui peut dépendre par exemple du nombre de ressources concernées par la contrainte.

Exemple 3. *Pour faire le diagnostic de la contrainte de domaine de la relation* os*, on compare les quatre motifs négatifs à notre unique motif positif. Le motif négatif n°1 est inclus dans le motif positif (par le remplacement la ressource* Ordinateur *par une variable) et des autres motifs négatifs, par conséquent motif négatif n°1 ne fait pas partie du diagnostic. Les motifs négatifs n°2, 3 et 4 sont tous différents du motif positif (définition 9, points 3 et 4) et ne sont pas liés par une relation d'inclusion, ils font donc partie du diagnostic.*

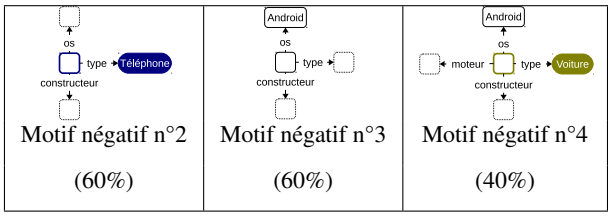


FIGURE 6 – Diagnostic de la contrainte de domaine de os, avec le pourcentage de ressources .

Finalement, le diagnostic de la contrainte de domaine de la relation est représenté en figure 6 et contient les motifs

©AFIA 2016

négatifs n°2 et n°3 (partagés par 60% des ressources) et n°4 (partagé par 40% des ressources). À partir de ces informations, un administrateur va pouvoir décider soit de corriger certaines des cinq ressources qui ne respectent pas la contrainte, soit de prendre en compte dans l'ontologie les notions de smartphone ou de voiture connectée et de changer le domaine de la relation os, par exemple parce que le domaine de la relation os a été décidé à une époque ou seuls les ordinateurs avaient un système d'exploitation.

3 Système

Nous avons expérimenté notre méthode de diagnostic sur la base DBPedia. Lors de cette expérimentation nous avons utilisé un algorithme pour l'extraction des motifs maximaux de sous-ensembles d'un ensemble de ressources que nous présentons ici.

3.1 Algorithme

Nous proposons dans l'algorithme 1 une méthode d'extraction des motifs d'un ensemble de ressources. Pour cet algorithme, nous utilisons les opérateurs d'intersection et de soustraction de motifs, que nous définissons comme tel :

- L'intersection $m_1 \cap m_2$ de deux motifs m_1 et m_2 est le motif maximal m tel que $m \subset m_1$ et $m \subset m_2$.
- La soustraction d'un motif m_2 à un motif m_1 est le motif maximal extrait de m_1 tel que $(m_1 \setminus m_2) \cap m_2 = \emptyset$.

Algorithme 1 Procédure d'extraction des motifs maximaux d'ensembles de ressources.

```
Entrée: Liste<Ressource> liste
Entrée: Entier rgVoisin                          ▷ Rang du voisinage
 1: Liste<Motif> resultat = {}
 2: pour tout source de liste faire
 3:     Pile<Motif> cibles = { voisinage(source, rgVoisin) }
 4:     tant que cibles ≠ ∅ faire
 5:         Motif courant = cibles.pop()
 6:         pour tout elem de resultat faire
 7:             si courant ∩ elem ≠ ∅ alors
 8:                 si courant = elem ou elem ⊂ courant alors
 9:                     elem.sources += courant.sources
10:                 fin si
11:                 si elem ⊂ courant alors
12:                     Motif nmotif = courant \ elem
13:                     nmotif.sources = courant.sources
14:                     cibles += nmotif
15:                 sinon si courant ⊂ elem alors
16:                     courant.sources += elem.sources
17:                 sinon
18:                     Motif nmotif = courant ∩ elem
19:                     nmotif.sources = elem.sources + courant.sources
20:                     cibles += nmotif
21:                 fin si
22:             fin si
23:         fin pour
24:         si courant ∉ resultat alors
25:             resultat += courant
26:         fin si
27:     fin tant que
28: fin pour
Sortie: resultat
```

Cet algorithme extrait d'un motif les motifs maximaux inclus dans les motifs précédemment extraits. Pour cela on initialise les motifs ≪ cibles ≫ (desquels on va extraire des motifs) de l'algorithme par le voisinage d'une ressource, à la ligne 3. L'algorithme compare chaque voisinage de ressource, aux motifs extraits précédemment. Tant qu'ils ont une ressource en sujet, objet ou relation de triplet en commun, on considère que ces éléments communs forment un nouveau motif tel que :

- Si le nouveau motif est déjà parmi les motifs connus ou contient un motif connu, alors ses sources sont ajoutées à la liste des sources du motif déjà présent dans la liste (lignes 8 et 10).
- Si le nouveau motif contient un motif connu, un nouveau motif est créé avec les triplets spécifiques au nouveau motif et est ajouté à la liste des motifs à ajouter (lignes 11 à 14).
- Si le nouveau motif est inclus dans un motif connu, les sources du motif connu sont ajoutées à celles du nouveau motif (lignes 15 et 16).
- Sinon un nouveau motif est créé, contenant les chemins communs avec un motif connu et les sources adéquates, il est ajouté à la liste des motifs à ajouter (lignes 17 à 20)

Enfin, si le nouveau motif n'est pas connu, il est ajouté à la liste des motifs connus (lignes 24 et 25).
L'ensemble de motifs obtenu en résultat contient tous les motifs communs partagés par des groupes de ressources parmi les ressources étudiées avec un voisinage au rang n. Pour utiliser ces résultats pour le diagnostic il reste à filtrer les motifs selon leur nombre de sources et à effectuer les différentes comparaisons entre différents motifs négatifs et entre motifs négatifs et motifs positifs.
On remarque intuitivement que la complexité de l'algorithme rend difficile son utilisation sur de grandes quantités de données ou avec un rang de voisinage très grand. Il est possible de fixer un seuil de taille de motif, lié à $taille((S, m))$ pour limiter la création de nouveaux motifs à évaluer lors de l'étape entre les lignes 17 et 20.

3.2 Expérimentation

Nous avons implémenté notre méthode d'extraction de motifs et de diagnostic à l'aide de la bibliothèque Apache Jena. Nous avons testé notre méthode sur une contrainte tirée de l'ontologie de la base DBPedia [Lehmann et al., 2014] dans sa version internationale de 2014. Du fait de la densité de la base DBPedia, telle que mesurée dans l'article [Guéret et al., 2012], nous nous sommes limités à un voisinage de rang 1 pour chaque

©AFIA 2016

ressource. La contrainte étudiée était la contrainte de domaine de la relation dbpp:class, utilisée pour décrire la classe d'un moyen de transport et qui a donc pour domaine la classe dbpo:MeanOfTransportation. Cette contrainte a été choisie car elle a déjà été remarquée comme étant source d'incohérences dans différents travaux étudiant la qualité de DBPedia, tels que [Töpper et al., 2012] et [Sheng et al., 2012]. À cause de la grande complexité de calcul de notre méthode d'extraction, nous avons effectué le diagnostic d'abord sur un échantillon pris au hasard de 200 ressources qui respectent l'ontologie et 200 ressources prises au hasard qui ne respectent pas l'ontologie. A partir de cet échantillon de ressources, nous avons tiré un diagnostic nous limitant aux motifs partagés par une majorité de ressources, *i.e.* par au moins 50% des ressources des échantillons.

3.3 Résultats

Nous avons obtenu le motif représenté en figure 7, caractéristique de la représentation d'espèces vivantes dans DBPedia. Pour étendre ce diagnostic à toute la base, nous

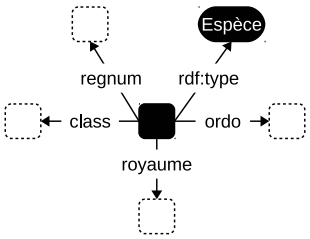


FIGURE 7 – Unique motif du diagnostic de la contrainte de domaine de dbpp:class dans DBPedia

avons utilisé une requête SPARQL pour extraire les ressources partageant ce motif. Le résultat de cette requête nous a permis de trouver 227 503 ressources partageant ce motif dans la base, soit 85% des ressources qui ne respectent pas la contrainte de domaine de dbpp:class.
À partir de ce diagnostic, un administrateur pourrait donc décider de corriger les 227 503 erreurs qui apparaissent dans la base DBPedia ou de modifier le domaine de la relation dbpp:class pour inclure les individus en conflit ou encore de corriger les mappings utilisés pour moissonner les pages de Wikipedia dans DBPedia. Ce diagnostic indique une erreur de vocabulaire répétée par les contributeurs dans le domaine de la biologie dans Wikipedia. Les résultats obtenus par notre expérimentation sont en accord avec les nombreux articles d'étude de DBPedia qui soulèvent cette incohérence, *e.g.* [Töpper et al., 2012, Sheng et al., 2012].

4 Conclusion

Dans cet article nous avons proposé une méthode de détection des incohérences qui fournit un diagnostic de l'ontologie d'une base du Web des données. Ce diagnostic présente un résumé, sous la forme de triplets, du voisinage des ressources qui sont similaires et qui ne respectent pas l'ontologie. Cette méthode a été testée dans la base DBPedia et a détecté des groupes de ressources incohérentes déjà repérées dans d'autres travaux sur la qualité de DBPedia.
Dans de futurs travaux, nous souhaitons améliorer l'algorithme d'extraction des motifs de description, potentiellement en se basant sur des algorithmes de clustering de données RDF et d'effectuer de nouvelles expérimentations sur de nouvelles sources de données.

Références

[Bonatti et al., 2011] Bonatti, P. A., Hogan, A., Polleres, A., and Sauro, L. (2011). Robust and scalable linked data reasoning incorporating provenance and trust annotations. *Web Semantics : Science, Services and Agents on the World Wide Web*, 9(2) :165–201.

[Colucci et al., 2014] Colucci, S., Giannini, S., Donini, F. M., and Di Sciascio, E. (2014). A deductive approach to the identification and description of clusters in linked open data. In *Proc. of the 21th European Conf. on Artificial Intelligence (ECAI'14). IOS Press*.

[Fleischhacker et al., 2014] Fleischhacker, D., Paulheim, H., Bryl, V., Völker, J., and Bizer, C. (2014). Detecting errors in numerical linked data using cross-checked outlier detection. In *The Semantic Web–ISWC 2014*, pages 357–372. Springer.

[Guéret et al., 2012] Guéret, C., Groth, P., Stadler, C., and Lehmann, J. (2012). Assessing linked data mappings using network measures. In *The Semantic Web : Research and Applications*, pages 87–102. Springer.

[Harris and Seaborne, 2013] Harris, S. and Seaborne, A. (2013). SPARQL 1.1 Query Language. W3C Recommendation, W3C. `http://www.w3.org/TR/sparql11-query/`.

[Kontokostas et al., 2014] Kontokostas, D., Westphal, P., Auer, S., Hellmann, S., Lehmann, J., Cornelissen, R., and Zaveri, A. (2014). Test-driven evaluation of linked data quality. In *Proceedings of the 23rd international conference on World Wide Web*, pages 747–758. International World Wide Web Conferences Steering Committee.

[Kontokostas et al., 2013] Kontokostas, D., Zaveri, A., Auer, S., and Lehmann, J. (2013). Triplecheckmate : A tool for crowdsourcing the quality assessment of linked data. In *Knowledge Engineering and the Semantic Web*, pages 265–272. Springer.

[Lehmann et al., 2014] Lehmann, J., Isele, R., Jakob, M., Jentzsch, A., Kontokostas, D., Mendes, P. N., Hellmann, S., Morsey, M., van Kleef, P., Auer, S., et al. (2014). Dbpedia-a large-scale, multilingual knowledge base extracted from wikipedia. *Semantic Web Journal*, 5 :1–29.

[Mendes et al., 2012] Mendes, P. N., Mühleisen, H., and Bizer, C. (2012). Sieve : linked data quality assessment and fusion. In *Proceedings of the 2012 Joint EDBT/ICDT Workshops*, pages 116–123. ACM.

©AFIA 2016

[Mortensen et al., 2013] Mortensen, J. M., Musen, M. A., and Noy, N. F. (2013). Crowdsourcing the verification of relationships in biomedical ontologies. In *AMIA Annual Symposium Proceedings*, volume 2013, page 1020. American Medical Informatics Association.

[Motik et al., 2009] Motik, B., Horrocks, I., and Sattler, U. (2009). Bridging the gap between owl and relational databases. *Web Semantics : Science, Services and Agents on the World Wide Web*, 7(2) :74–89.

[Schreiber and Dean, 2004] Schreiber, G. and Dean, M. (2004). OWL web ontology language reference. W3C recommendation, W3C. `http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-ref-20040210/`.

[Sheng et al., 2012] Sheng, Z., Wang, X., Shi, H., and Feng, Z. (2012). Checking and handling inconsistency of dbpedia. In *Web Information Systems and Mining*, pages 480–488. Springer.

[Sirin and Tao, 2009] Sirin, E. and Tao, J. (2009). Towards integrity constraints in owl. In *OWLED*, volume 529.

[Töpper et al., 2012] Töpper, G., Knuth, M., and Sack, H. (2012). Dbpedia ontology enrichment for inconsistency detection. In *Proceedings of the 8th International Conference on Semantic Systems*, pages 33–40. ACM.

[Wood et al., 2014] Wood, D., Lanthaler, M., and Cyganiak, R. (2014). RDF 1.1 Concepts and Abstract Syntax. W3C Recommendation, W3C. `http://www.w3.org/TR/rdf11-concepts/`.

[Zablith et al., 2015] Zablith, F., Antoniou, G., d'Aquin, M., Flouris, G., Kondylakis, H., Motta, E., Plexousakis, D., and Sabou, M. (2015). Ontology evolution : a process-centric survey. *The Knowledge Engineering Review*, 30(01) :45–75.

©AFIA 2016

Le projet FOURIRE * : une approche méthodologique pour l'intégration de l'incertitude dans le processus de reconnaissance d'objets urbains

Stella MARC-ZWECKER Caroline RUDOLF

Laboratoire ICube, équipe SDC, CNRS, Université de Strasbourg, France

stella@unistra.fr

Résumé

Dans cet article nous présentons les concepts développés dans le cadre du projet FOURIRE, dont l'objectif est la prise en compte systémique de l'incertitude dans le processus de reconnaissance semi-automatique d'objets urbains issus d'images satellitaires à très haute résolution. Nous considérons, non seulement l'imprécision inhérente aux données issues des capteurs du satellite, mais aussi l'incertitude liée à l'interprétation de l'image. L'imprécision des données est traitée au sein d'une ontologie qui met en œvre un raisonnement flou. L'interprétation subjective de l'image est matérialisée par le concept de « vérité terrain floue ». Celle-ci sert de support à la définition d'une méthode générale, qui permet d'évaluer la pertinence de la classification floue des segments de l'image, effectuée par les règles de l'ontologie.*

Mots Clef

Ontologie, classification floue, vérité terrain floue, méthode d'évaluation, reconnaissance d'objets urbains, images satellitaires.

Abstract

In this paper we present the concepts that we have developed in the FOURIRE project, which aims to take into account uncertainty and imprecision in the whole process of semi-automatic recognition of urban objects from very high resolution satellite imagery. We consider, not only the imprecision which is inherent to data coming from the satellite sensors, but also the uncertainty associated with the interpretation of the image. The vagueness of data is treated within an ontology which implements a fuzzy reasoning. We introduce the concept of « fuzzy ground truth », which takes into account the subjectivity from image interpretation, and serves as a support for the definition of a general method, which evaluates the relevance of the fuzzy classification by ontology rules of image segments.*

Keywords

Ontology, fuzzy classification, fuzzy ground truth, evaluation method, urban object recognition, satellite image.

*Fuzzy Ontologies for URban Image REcognition

1 Introduction

Nos travaux dans le domaine de la représentation de connaissances, ont pour objectif de proposer un système basé sur des ontologies, qui permette de guider le processus de reconnaissance semi-automatique d'objets urbains dans des images satellitaires à très haute résolution (THR) [de Bertrand de Beuvron et al., 2013]. La prise en compte systémique de l'incertitude et de l'imprécision est le fil conducteur de cette étude. Le plan de l'article est le suivant : tout d'abord, dans la section suivante, nous situons notre approche dans le contexte des travaux existants, puis nous en exposons les objectifs. Ensuite, dans la troisième section, nous présentons les principes du prototype FOURIRE*, et les concepts développés (ontologies, raisonnement flou, vérité terrain floue). Puis nous introduisons, dans la quatrième section, une méthodologie générale permettant d'évaluer la pertinence de la classification floue, effectuée par les règles de l'ontologie. Finalement, nous présentons les premiers résultats expérimentaux qui découlent de l'application de cette méthodologie, avant de conclure sur l'intérêt et les perspectives de ce travail.

2 Contexte et objectifs

2.1 Etat de l'art

Dans la communauté de la télédétection, deux paradigmes de classification des images coexistent : les approches orientées pixel et orientées objet [Bhaskaran et al., 2010]. Nous considérons ici la deuxième catégorie, et plus précisément l'approche GEOBIA (Geographic Object-Based Image Analysis) [Hay and Castilla, 2008], où les méthodes de classification consistent à partitionner l'image en régions appelées « objets image », qui représentent les objets d'intérêt. [Blaschke, 2010] souligne que les approches orientées objets sont mieux adaptées à des images à haute résolution que les approches centrées sur les pixels, car les objets recherchés sont constitués de plusieurs pixels (alors que dans les images à basse résolution, un pixel contient plusieurs objets). L'approche GEOBIA repose sur une conceptualisation des objets recherchés, qui décrit leurs caractéristiques intrinsèques (forme, taille, texture, couleur, etc.) et contextuelles (orientation, distance, relations spa-

 ©AFIA 2016

tiales d'adjacence ou d'inclusion, etc.), et permet donc une meilleure intégration des connaissances des experts. Il en résulte que l'utilisation des ontologies, qui sont des outils formels permettant de spécifier la conceptualisation d'un domaine de connaissances [Gruber, 1995], semble bien adaptée aux approches GEOBIA [Blaschke et al., 2014]. Ainsi, le développement d'ontologies pour modéliser les systèmes d'information géographiques (SIG) a fait l'objet de nombreux travaux [Fonseca et al., 2002]. Les ontologies doivent permettre de partager la conceptualisation d'un domaine au sein d'une communauté, et donc de décrire des connaissances consensuelles sous forme de taxonomies, comme par exemple le CORINE Land Cover. [Arvor et al., 2013] réalisent une synthèse de l'utilisation des ontologies dans le domaine de la télédétection pour les approches GEOBIA : bien que celles-ci aient traditionnellement pour objectif de permettre une meilleure communication entre les acteurs du domaine, les ontologies peuvent aussi être utilisées avec une visée applicative [Andres et al., 2012, Durand et al., 2007], afin de guider l'interprétation automatique de l'image. Nos travaux se situent dans cette optique, dans la lignée des travaux de [Forestier et al., 2012], qui proposent une approche permettant de faire le lien entre les concepts de haut niveau et les données numériques issues de l'image. Ce problème, connu sous le nom du fossé sémantique [Smeulders et al., 2000], constitue la principale difficulté à laquelle se confrontent les approches ontologiques classiques, car elles formalisent des concepts de haut niveau, sans pouvoir les relier aux données numériques qui caractérisent ces concepts au niveau physique. Par ailleurs, les experts décrivent souvent leur connaissance en langage naturel et de manière qualitative (par exemple un lac est une grande étendue d'eau, ou la texture d'une forêt est dense, etc.). Afin de pouvoir utiliser ces règles il faut lier les valeurs qualitatives à des valeurs quantitatives (problème de l'ancrage des symboles [Coradeschi and Saffiotti, 2003]). La logique floue est particulièrement bien adaptée à la représentation des concepts décrits en langage naturel, de façon vague ou imprécise [Bouchon-Meunier, 2007]. [Khalfi et al., 2015] proposent l'approche « F-Perceptory », basée sur une représentation UML (Unified Modeling Language), qui modélise l'incertitude et l'imprécision spatiale et temporelle des données au sein des systèmes d'information géographiques (SIG). En outre, plusieurs travaux intègrent des concepts flous dans les ontologies : [Stoilos et al., 2005, Bobillo and Straccia, 2011] ont respectivement défini un modèle formel pour les ontologies à concepts flous, et implémenté les plug-ins Fuzzy-OWL et Fuzzy-DL pour Protégé dans le contexte du web sémantique. Dans le cadre GEOBIA, [Sebari and He, 2013] implémentent une base de règles floues, permettant de reconnaître automatiquement des objets urbains extraits d'images satellitaires THR. Les travaux de [Hudelot et al., 2008, Vanegas et al., 2009] modélisent des relations spatiales floues dans des ontologies, et ceux de [de Saint-Cyr and Prade, 2008, de Saint-Cyr et al., 2008] proposent une formalisation logique pour intégrer dans des ontologies des données spatiales imprécises en provenance de plusieurs sources. À notre connaissance, peu de travaux proposent des ontologies intégrant un raisonnement flou pour la reconnaissance d'images urbaines satellitaires [Belgiu et al., 2013, Zanni-Merk et al., 2015].

2.2 Objectifs et propositions

Dans le cadre du projet FOURIRE, nous poursuivons nos travaux sur le prototype que nous avons implémenté dans le cadre du projet ANR COCLICO (COllaboration, CLassification, Incrémentalité, et COnnaissances [Marc-Zwecker et al., 2014]). Deux types d'approches permettent de construire une segmentation « floue » :

• l'approche *orientée pixel,* que nous avons explorée dans le cadre du projet FOURIRE, et qui a consisté à utiliser la théorie de l'évidence de Dempster-Shafer ([Shafer et al., 1976]) pour construire des segments « flous » d'ombre et de végétation.

• l'approche *orientée objets,* qui a consisté à utliser une segmentation réalisée par un algorithme standard, puis à définir des règles réalisant la classification floue des segments obtenus. C'est cette deuxième alternative qui a été retenue, car elle est plus conforme avec l'approche GEOBIA.

Ainsi, le prototype implémenté, réalise une sur-segmentation d'une image urbaine à très haute résolution. L'idée est de regrouper les segments adjacents appartenant *plus ou moins* à une même classe primaire (végétation, eau, sol nu, ombre, artificiel, etc.), dans l'objectif de reconstruire les objets d'intérêt (bâtiments, routes, parcs, piscines, lacs, etc.).

La prise en compte systémique de l'imprécision et de l'incertitude se fait à plusieurs niveaux de l'analyse :

• Tout d'abord, la classification des segments de l'image est considérée comme *floue*, i.e. que les segments appartiennent (avec des degrés d'appartenance compris entre 0 et 1) aux différentes classes primaires (par exemple à la végétation et à l'ombre avec des degrés respectifs de 0.6 et 0.7). Notons ici que la somme des degrés d'appartenance d'un segment aux différentes classes n'est pas forcément égale à 1 (il peut être inférieur ou supérieur). Ces degrés d'appartenance des segments aux classes sont calculés par les règles de l'ontologie. L'objectif est de permettre une meilleure souplesse pour la construction des objets recherchés. Par exemple un segment appartenant à la classe « Ombre » et n'appartenant pas à la classe « Végétation » (i.e. segment de type artificiel ou sol nu), pourra appartenir à la frontière d'un bâtiment.

• Ensuite, afin d'évaluer la pertinence de la classification floue obtenue, nous avons introduit le concept de « vérité terrain floue », qui permet d'interpréter l'image sans devoir prendre de décision *rigide* sur les contours des objets (en effet ceux-ci sont souvent imprécis, même sur une image

©AFIA 2016

satellitaire à très haute résolution). Ces zones incertaines pourront donc être chevauchées par plusieurs classes.

• Finalement, nous proposons une méthodologie générale pour l'évaluation de la pertinence d'une classification floue, qui repose sur la définition d'une « vérité terrain floue ». Cette méthode est indépendante de la segmentation utilisée, ainsi que des règles de classification. Bien que notre expérimentation soit appliquée à une image satellitaire à très haute résolution, cette méthodologie est applicable à des images à plus basse résolution.

3 Présentation du prototype FOURIRE

Le fonctionnement du prototype FOURIRE est illustré dans la figure 1. On travaille sur des extraits de l'image en entrée, qui est une image urbaine à très haute résolution (cf. figure 1 étape b), segmentée selon l'algorithme « Meanshift » [Fukunaga and Hostetler, 1975] par l'intermédiaire de l'« Orfeo Tool Box » développée par le CNES [1] [Inglada and Christophe, 2009]. Cependant n'importe quel algorithme de segmentation peut être considéré, sous réserve que les segments obtenus soient « inclus » dans les objets d'intérêt. En effet, dans les approches GEOBIA, la segmentation de l'image est considérée comme une étape vers la recherche des objets et non comme une fin en soi [Blaschke et al., 2014].

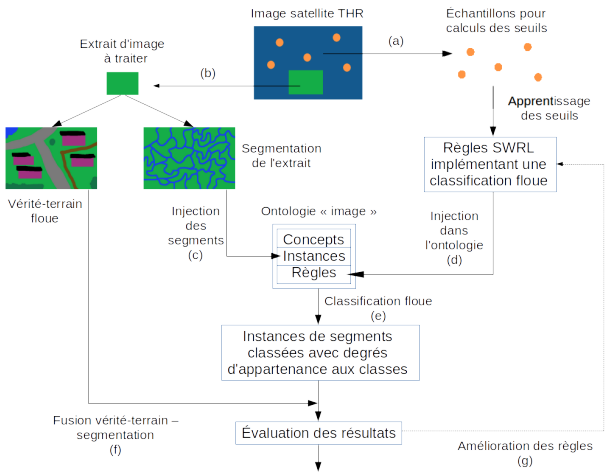


FIGURE 1 – Schéma fonctionnel du prototype FOURIRE

Les différentes étapes décrites dans la figure 1 sont présentées progressivement dans les sections suivantes.

3.1 Les ontologies

Nous avons implémenté deux ontologies :

• une ontologie du « domaine », qui a été définie d'après un dictionnaire d'objets urbains établi par des experts géographes [de Bertrand de Beuvron et al., 2013]. Les propriétés des objets urbains sont décrites qualitativement, et l'objectif de notre prototype est d'utiliser les objets géographiques de l'ontologie du domaine pour guider la construction des objets image.

• une ontologie « image », qui contient des concepts à plusieurs niveaux d'abstraction [Marc-Zwecker 2014] :

- *l'image*, dont les propriétés sont des métadonnées (type de capteur satellite, géolocalisation, date, résolution, etc.)
- les *objets de l'image*, qui sont décrits par leurs caractéristiques (taille, forme, texture, couleur, etc.)
- les *segments de l'image*, qui sont décrits par leurs attributs : *label*, valeur moyenne des bandes spectrales, taille en pixels, et des indices calculés tels que le NDVI (indice de végétation normalisé), SAVI (indice de végétation ajusté au sol), NDWI (indice d'eau normalisé), etc. Remarquons que le *label* d'un segment permet de le relier à sa description dans le système d'information géographique QGIS (Quantum GIS), et ainsi de le visualiser sur l'image géo-référencée d'origine (cf. figures 4 et 5).

Les segments issus de l'extrait d'image sont injectés dans l'ontologie (cf. figure 1 étape c).

Les objets de l'image sont construits ultérieurement en regroupant les segments adjacents de même classe. Cette étape de construction des objets de l'image (par exemple bâtiments et routes) est en cours de développement. Les ontologies ont été implémentées en OWL2 (Ontology Web Language) sous l'éditeur Protégé [2].

3.2 Classification floue des segments dans l'ontologie

Sur des échantillons de segments de l'image d'entrée (cf. figure 1 étape a), nous avons effectué un apprentissage qui a permis de déterminer des seuils de valeurs pour des intervalles flous de type trapézoïdal [Bouchon-Meunier, 2007]. Ces intervalles permettent de déterminer, suivant les valeurs de différents paramètres significatifs (par exemple les valeurs moyennes des bandes spectrales), le degré d'appartenance (compris entre 0 et 1) du segment aux classes primaires. Bien que notre ontologie soit capable de déduire que les segments n'appartenant pas aux classes primaires inférées par les règles (i.e. Végétation, Ombre, Eau et Sol Nu) appartiennent à la classe « Artificiel » (qui englobe les bâtiments et les routes), l'objectif est ici de montrer la démarche méthodologique d'évaluation de la classification floue des segments. Aussi, dans le cadre de l'expérimentation, nous avons limité les classes étudiées à « Végétation » et « Ombre ». D'une part, ce choix est cohérent avec des études existantes qui privilégient la détection simultanée d'ombre et de végétation pour l'extraction de bâtiments [Ngo et al., 2014]. En effet, l'intérêt de la classe « Ombre » est d'aider à la reconstruction des bâtiments et à leur différentiation par rapport aux autres surfaces artificielles plates (routes, parkings, places, etc.). D'autre part, ce choix est adapté à l'extrait d'image sur lequel nous avons élaboré la *vérité terrain floue*, car il s'agit d'un environnement très

1. Centre National des Etudes Spatiales

2. développé par l'Université de Stanford, USA

©AFIA 2016

urbain qui ne contient ni de l'eau, ni du sol nu (cf figure 6). Le raisonnement permettant d'implémenter les intervalles flous caractérisant les degrés d'appartenance des segments aux classes, est traduit sous forme de règles SWRL (Semantic Web Rule Language [Horrocks 2004]) d'après la méthode décrite dans [Fudholi et al., 2009]. Ces règles sont injectées dans l'ontologie « image » (cf. figure 1 étape d).
Remarquons qu'un segment peut être classé par les règles de l'ontologie (cf. figure 1 étape e) comme appartenant à plusieurs classes. Cela se produit particulièrement pour la classe « Ombre », qui se « superpose » sur les autres classes. La figure 2 montre le segment de *label* 17574 classé dans l'ontologie (sous l'éditeur Protégé) à la fois comme « Ombre » (*Shadow_Segment*) et « Végétation » (*Vegetal_Segment_Moyen*).
La figure 3 montre le segment de *label* 9945 classé dans l'ontologie uniquement comme « Ombre » (*Shadow_Segment*). Nous revenons dans la section suivante sur l'analyse de la classification de ces segments.

FIGURE 2 – Description du segment de label 17574 dans l'ontologie sous l'éditeur Protégé

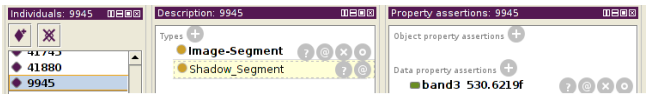


FIGURE 3 – Description du segment de label 9945 dans l'ontologie sous l'éditeur Protégé

3.3 Concept de vérité terrain floue

Le concept de « vérité terrain floue » existe déjà dans la littérature, mais s'applique essentiellement dans le contexte d'approches orientées pixel pour définir les degrés d'appartenance du pixel aux différentes classes [Benz et al., 2004]. Nous proposons dans notre approche *orientée objets*, une nouvelle définition du concept de « vérité terrain floue », qui est basée sur le paradigme du « jaune » et du « blanc » d'œuf, utilisé en raisonnement spatial qualitatif. Ce paradigme, connu sous le nom de « egg/yolk » [Cohn and Gotts, 1996], définit pour les objets une zone *sûre* (le jaune d'œuf) et une zone *incertaine* (le blanc d'œuf). La « vérité terrain floue » permet donc de représenter des objets avec des frontières imprécises.
Les segments classés dans l'ontologie avec leurs degrés d'appartenance par classe sont ensuite projetés sur la vérité terrain floue (fusion vérité terrain-segmentation sur la figure 1 étape f). Puis la méthode d'évaluation que nous exposons dans la section 4 est appliquée, *classe par classe*, afin de tester si les règles de classification floue permettent de tenir compte de l'imprécision :

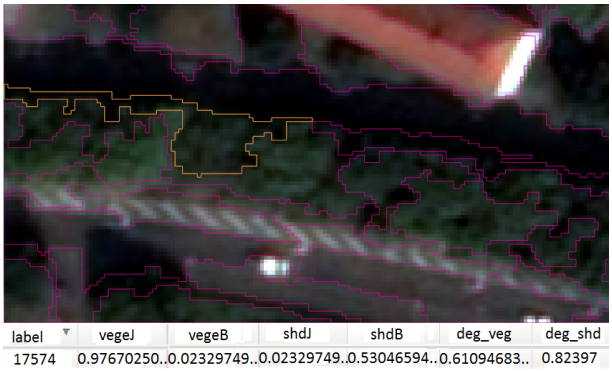
- un segment dont l'intersection avec le « jaune d'œuf » d'une classe est majoritaire, doit avoir un degré d'appartenance *élevé* pour cette classe,
- un segment dont l'intersection avec le « blanc d'œuf » d'une classe est majoritaire, doit avoir un degré d'appartenance *moyen* pour cette classe,
- un segment dont l'intersection avec l'extérieur d'une classe est majoritaire, doit avoir un degré d'appartenance *faible* pour cette classe.

La figure 4 illustre sur QGIS (avec un contour jaune), le segment géoréférencé de *label* 17574, qui a été présenté dans l'ontologie sur la figure 2. Dans la table des attributs de QGIS, apparaissent les degrés d'appartenance qui ont été calculés dans l'ontologie pour ce segment : 0.61094683 (ce qui est considéré comme un degré d'appartenance *moyen*) pour la classe « Végétation » (colonne *veg*) et 0.82397 (ce qui est considéré comme un degré d'appartenance *élevé*) pour la classe « Ombre » (colonne *shd*). Ces degrés d'appartenance sont confrontés pour chaque classe C, à l'intersection du segment avec le *jaune*, *blanc*, et *extérieur* de la classe C sur la vérité terrain floue. Ici le segment de *label* 17574 est recouvert à 97% par le « jaune » de la classe « Végétation » (colonne *vegeJ*), ce qui induira un taux de *faux négatifs* lors de l'évaluation de la classification de ce segment (son degré d'appartenance à la classe « Végétation » aurait dû être plus élevé). Inversement, le segment est recouvert à 53% par le « blanc » de la classe « Ombre » (colonne *shdB*), ce qui induira un taux de *faux positifs* lors de l'évaluation de la classification de ce segment (son degré d'appartenance à la classe « Ombre » aurait dû être moins élevé).

La figure 5 illustre sur QGIS le segment géoréférencé de *label* 9945, qui a été présenté dans l'ontologie sur la figure 3. Remarquons qu'il s'agit d'un segment d'ombre qui se projette sur de l'« artificiel « (par exemple route), et non sur de la végétation. Ceci est cohérent avec les degrés d'appartenance à la classe « Végétation » (0.10207), et à la classe « Ombre » (0.7804). Ainsi les règles de classification permettent sur ces exemples de distinguer un segment d'ombre se superposant sur de la végétation d'un segment d'ombre se superposant sur de l'« artificiel ».
La figure 6 représente un extrait de l'image de référence THR Pleiades [3] de la ville de Strasbourg, acquise en 2012, dont la résolution est 0.7m/pixel et la taille 9211x11275 pixels. Sur cet extrait, nous avons construit la *vérité terrain floue*, représentée sur la figure 7.
Sur la *vérité terrain floue*, les zones certaines (jaune d'œuf) et incertaines (blanc d'œuf), sont représentées respectivement par des teintes plus sombres et plus claires de la même couleur. Par exemple pour les toits des bâtiments, la couleur rose foncé correspond à une zone sûre, et le rose plus clair à une zone incertaine (frontières des bâtiments).

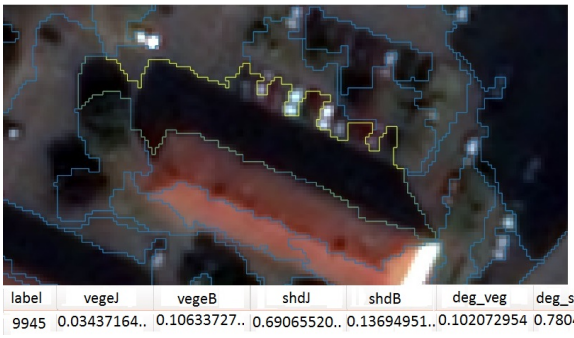
3. Pleiades : satellite de résolution inférieure à 1m en panchromatique (CNES)

©AFIA 2016



label	vegeJ	vegeB	shdJ	shdB	deg_veg	deg_shd
17574	0.97670250..	0.02329749..	0.02329749..	0.53046594..	0.61094683..	0.82397

FIGURE 4 – Illustration d'un segment d'ombre qui se superpose sur de la végétation dans QGIS



label	vegeJ	vegeB	shdJ	shdB	deg_veg	deg_shd
9945	0.03437164..	0.10633727..	0.69065520..	0.13694951..	0.102072954	0.7804384

FIGURE 5 – Illustration d'un segment d'ombre qui se superpose sur de l'« artificiel » dans QGIS

4 Evaluation d'une classification floue sur vérité terrain floue

L'objectif de cette méthodologie est de fournir un cadre formel général pour l'évaluation d'une classification floue quelconque des segments d'une image (i.e. fournissant pour chaque segment son degré d'appartenance aux différentes classes considérées), par projection des segments sur une vérité terrain floue. Rappelons en effet que la classification se fait classe par classe, i.e. que le degré d'appartenance d'un segment est toujours relatif à une classe donnée. Nous définissions tout d'abord les variables que nous allons utiliser (l'indice f exprime une quantité floue, i.e. un *taux* compris entre 0 et 1) :

– $d(s, C_i)$: degré d'appartenance du segment s à la classe $C_i (0 \leq d(s, C_i) \leq 1)$ calculé dans l'ontologie.
– $vp_f(s, C_i)$, $fp_f(s, C_i)$, $vn_f(s, C_i)$, $fn_f(s, C_i)$, correspondent respectivement au taux de vrais positifs, de faux positifs, de vrais négatifs et de faux négatifs, relatifs au segment s pour la classe C_i. Ces taux sont calculés par les formules d'évaluation que nous présentons ci-après.

Pour chaque segment s, l'invariant suivant est vérifié :
$vp_f(s, C_i) + fp_f(s, C_i) + vn_f(s, C_i) + fn_f(s, C_i) = 1$

Le pourcentage (ou taux) de recouvrement d'un segment s par une classe C_i est divisé en trois parties disjointes :

FIGURE 6 – Extrait d'image satellitaire de la cité de l'Ill (Strasbourg) ©LIVE

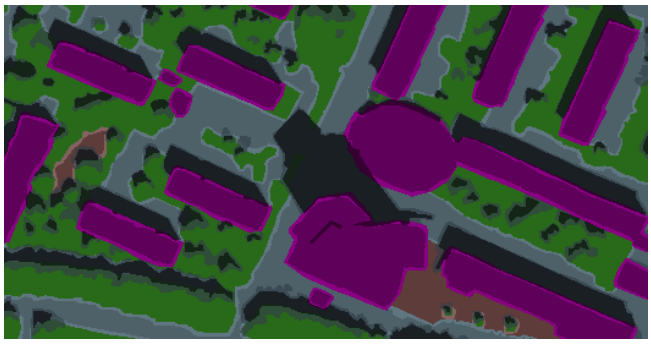


FIGURE 7 – Vérité terrain floue associée à l'extrait de la cité de l'Ill

• $P_{jaune}(s, C_i)$, qui représente le pourcentage du segment s qui est recouvert par la partie *sûre* de la classe C_i (« jaune d' œuf »),
• $P_{blanc}(s, C_i)$, qui représente le pourcentage du segment s qui est recouvert par la partie *incertaine* de la classe C_i (« blanc d' œuf »),
• $P_{ext}(s, C_i)$, qui représente le pourcentage du segment s qui est recouvert par une classe différente de C_i (*extérieur* de la classe C_i).

Le taux de recouvrement d'un segment s par une classe C_i vérifie l'invariant suivant :
$P_{jaune}(s, C_i) + P_{blanc}(s, C_i) + P_{ext}(s, C_i) = 1$

Nous proposons une formule générale d'évaluation qui repose sur la définition d'un seuil $D(0 \leq D \leq 1)$, correspondant au degré que l'on considère comme étant le degré d'appartenance *moyen* caractérisant « au mieux » une zone de la vérité terrain floue. D varie en fonction de la zone considérée (jaune, blanc ou extérieur) :
• pour $P_{jaune}(s, C_i) : D = 1$
• pour $P_{blanc}(s, C_i) : 0 < D < 1$
• pour $P_{ext}(s, C_i) : D = 0$

Pour les zones blanches, la valeur de $D(0 < D < 1)$ doit être fixée arbitrairement. Cette valeur (par exemple $D = 0.5$) correspond au degré d'appartenance *moyen* d'un

©AFIA 2016

segment à une zone blanche. Dans nos expérimentations (cf. section 5), nous avons fait varier la valeur de D. Notons que D est fixé pour l'image, mais qu'on pourrait le définir indépendamment pour chaque classe ($D(C_i)$).

Ainsi l'évaluation de la classification floue pour un segment *s* est optimale si le degré obtenu $d(s, C_i) = D$. En particulier :

- si $d(s, C_i) > D$, on considère que $d(s, C_i) - D$ correspond à un *surplus*, i.e à un taux de faux positifs.
- si $d(s, C_i) < D$, on considère que $D - d(s, C_i)$ correspond à une *carence*, i.e à un taux de faux négatifs.

Nous présentons ci-dessous les formules générales, qui permettent de calculer pour un segment *s* et une classe C_i, le taux de vrais positifs, de faux positifs, de vrais négatifs et de faux négatifs en fonction de son degré d'appartenance d à la classe $C_i (d = d(s, C_i))$ est calculé par les règles de l'ontologie), et des différents taux de recouvrement du segment par les zones « jaune », « blanche » et « extérieure » à la classe C_i (ceux-ci sont calculés lors de la projection du segment *s* sur la vérité terrain floue) :

- $vp_f(s, C_i) = \sum_j min(d, D_j) \cdot P_j(s, C_i)$
- $fp_f(s, C_i) = \sum_j max(0, d - D_j) \cdot P_j(s, C_i)$
- $vn_f(s, C_i) = \sum_j min(1 - D_j, 1 - d) \cdot P_j(s, C_i)$
- $fn_f(s, C_i) = \sum_j max(0, D_j - d) \cdot P_j(s, C_i)$

Où :

• l'indice j $\in \{jaune, blanc, ext\}$ ($\sum_j P_j(s, C_i) = 1$).

• D_j représente la valeur du degré D respectivement sur les zones « jaune », « blanc » et « extérieur » de la vérité terrain.

On en déduit le taux de vrais positifs, de faux positifs, de vrais négatifs et de faux négatifs sur toute l'image :

- $VP_f(C_i) = \sum_s vp_f(s, C_i) \cdot R(s)$
- $FP_f(C_i) = \sum_s fp_f(s, C_i) \cdot R(s)$
- $VN_f(C_i) = \sum_s vn_f(s, C_i) \cdot R(s)$
- $FN_f(C_i) = \sum_s fn_f(s, C_i) \cdot R(s)$

où R(s) représente le ratio de la taille du segment *s* par rapport à la taille de l'image en nombre de pixels.

On peut maintenant calculer la précision floue $P_f(C_i)$, le rappel flou $R_f(C_i)$, et le F-measure flou $FM_f(C_i)$, pour la classe C_i sur toute l'image, et ainsi évaluer la performance globale de la classification floue :

- $P_f(C_i) = VP_f(C_i)/(VP_f(C_i) + FP_f(C_i))$
- $R_f(C_i) = VP_f(C_i)/(VP_f(C_i) + FN_f(C_i))$
- $FM_f(C_i) = \frac{2 \cdot (P_f(C_i) \cdot R_f(C_i))}{(P_f(C_i) + R_f(C_i))}$

Nous présentons dans la section suivante quelques résultats de l'application expérimentale de ces formules.

5 Résultats expérimentaux

Nous avons réalisé une série de tests afin de comparer les classifications rigide et floue sur l'extrait d'image présenté sur la figure 6. Rappelons que :

• dans le cas d'une classification rigide, on définit un seuil de décision d_R tel que :
si $d(s, C_i) < d_R$ alors $d(s, C_i) = 0$ sinon $d(s, C_i) = 1$

• dans le cas d'une classification floue, la valeur de $d(s, C_i)$ n'est pas modifiée ($0 \leq d(s, C_i) \leq 1$).

Nous avons aussi testé l'évaluation des classifications rigide et floue sur des vérités terrain rigide et floue. Pour cela nous avons construit une vérité terrain rigide sur le même extrait d'image que la vérité terrain floue. Cependant les résultats sur vérité terrain rigide n'ont pas un grand intérêt dans le cadre de cette étude, car la classification floue devient triviale sur une vérité terrain rigide, la notion de « blanc d'œuf » disparaissant. Nous avons toutefois observé sur l'image testée, qu'avec une vérité terrain rigide, la classification rigide donne globalement de meilleurs résultats que la classification floue, sauf pour le rappel, qui est toujours meilleur avec la classification floue.

Nous nous concentrons ici sur la comparaison des classifications rigide et floue sur la vérité terrain floue illustrée dans la figure 7.

Bien que nous ayons testé plusieurs valeurs pour le seuil D caractérisant le degré *moyen* optimum ainsi que pour le seuil de décision d_R associé à la classification rigide, nous ne montrons ici que le cas où $D = 0.5$ (sur les zones blanches) et $d_R = 0.7$. En effet ce cas est représentatif de l'allure générale des résultats (sauf pour les seuils extrêmes).

La table 1 montre les résultats des évaluations pour tous les segments de l'image. Ceux-ci sont globalement meilleurs pour la classification rigide, particulièrement pour la végétation. Cela est dû au fait qu'il n'y a pas beaucoup de zones blanches sur la vérité terrain floue. En effet, l'image testée est à très haute résolution, et globalement peu de zones sont incertaines, surtout pour la végétation (il y a peu de segments contenant du « blanc » de végétation). Ainsi, la précision et le f-measure pour l'ombre et la végétation sont meilleures avec une classification rigide, ce qui est cohérent, car prendre une décision rigide réduit le nombre de faux positifs quand le seuil de décision d_R est relativement élevé. Cependant, le rappel est bien meilleur en classification floue parce qu'on réduit le taux de faux négatifs.

Dans la table 2, on n'a évalué que les segments contenant au moins 40% de « blanc » au total (ombre et végétation confondues). Ce deuxième tableau indique que les résultats sont globalement meilleurs pour la classification floue, en particulier pour l'ombre, puisque toutes les mesures sont meilleures. Cela est prévisible car on a pris en compte les segments difficiles à classifier. Pour la végétation, le rappel et le f-measure sont meilleurs en classification floue pour les mêmes raisons que pour l'ombre. Cependant, la précision reste bien meilleure avec une classification rigide, ce qui s'explique par le fait qu'il y a moins de segments « blancs » avec de la végétation.

On peut déduire de ces résultats, que la classification floue est d'autant plus intéressante qu'une classification rigide sur une vérité terrain floue, que la quantité de segments « blancs » est élevée. En effet, notre méthode pénalise l'évaluation des zones *certaines* et avantage l'évaluation des zones *incertaines* dans le cas d'une classification floue.

©AFIA 2016

TABLE 1 – Résultats sur toute l'image avec $D = 0.5$ et $d_R = 0.7$

	Végétation			Ombre		
Classification	Précision	Rappel	f-measure	Précision	Rappel	f-measure
Floue	0.59	0.68	0.63	0.40	0.80	0.54
Rigide	0.94	0.62	0.74	0.64	0.59	0.61

TABLE 2 – Résultats sur les segments majoritairement blancs avec $D = 0.5$ et $d_R = 0.7$

	Végétation			Ombre		
Classification	Précision	Rappel	f-measure	Précision	Rappel	f-measure
Floue	0.46	0.40	0.43	0.63	0.85	0.72
Rigide	0.90	0.18	0.30	0.59	0.58	0.58

6 Conclusion et perspectives

Dans cet article, nous avons présenté les principes du projet FOURIRE, qui vise à prendre en compte l'incertitude dès le stade de classification des segments de l'image par les règles de l'ontologie. Nous avons introduit le concept de *vérité terrain floue*, basé sur le paradigme du « egg/yolk », et avons défini une méthodologie générale pour l'évaluation d'une classification floue des segments de l'image. Les résultats préliminaires sur l'évaluation de la classification floue montrent que l'intérêt de cette approche est étroitement lié à la quantité de zones incertaines dans l'image.
Les expérimentations que nous avons conduites ici portent sur les classes « Végétation » et « Ombre ». Il serait intéressant de vérifier, qu'à l'instar des exemples choisis, les règles de classification permettent dans le cas général de distinguer les segments d'ombre qui se superposent sur de la végétation, de ceux qui se superposent sur de l'« artificiel ». Ce résultat pourrait faciliter l'étape de reconnaissance des bâtiments et des routes.
Afin de compléter cette analyse, nous élargissons actuellement nos tests, en choisissant des extraits d'image qui contiennent, d'une part, les classes « Eau » et « Sol nu » (décrites par les règles de l'ontologie), et d'autre part, davantage de zones incertaines. Pour satisfaire ce dernier point, nous avons sélectionné une image urbaine SPOT 7 à plus basse résolution que l'image Pléiades traitée ici.
Nous sommes aussi en train de développer de nouvelles règles permettant de détecter les classes « Bâtiment » et « Route ». Ces règles exploitent, au moyen d'intervalles flous, des indices de formes et de couleurs caractérisant les objets de l'image, afin d'en permettre une reconstruction plus souple.
Il serait également intéressant d'élargir l'étude de l'incertitude et de l'imprécision en considérant des théories alternatives à la logique floue, comme par exemple la théorie de l'évidence de Dempster-Shafer pour réaliser la classification floue des segments, ou la théorie des ensembles approximatifs (« rough sets ») comme alternative à la théorie du « egg/yolk » pour la modélisation de la vérité terrain floue ([Beaubouef et al., 2007]).
Enfin, les objets image construits dans l'ontologie constituent un socle pour l'intégration d'un raisonnement de plus haut niveau. En particulier, un raisonnement temporel sur des séquences d'images, permettra par exemple, d'analyser l'urbanisation d'une zone.

Remerciements

Nous remercions le laboratoire ICube qui a financé le projet FOURIRE, ainsi que Vincent Mazet, Agnès Braud, François de Bertrand de Beuvron, et Alexandre Corizzi pour leur participation au projet. Ce travail a été soutenu par le projet ANR Coclico (Contrat ANR-12-MN-0001).

Références

[Andres et al., 2012] Andres, S., Arvor, D., and Pierkot, C. (2012). Towards an ontological approach for classifying remote sensing images. In *Eighth International Conference on Signal Image Technology and Internet Based Systems (SITIS)*, pages 825–832. IEEE.

[Arvor et al., 2013] Arvor, D., Durieux, L., Andrés, S., and Laporte, M.-A. (2013). Advances in geographic object-based image analysis with ontologies : a review of main contributions and limitations from a remote sensing perspective. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 82 :125–137.

[Beaubouef et al., 2007] Beaubouef, T., Petry, F. E., and Ladner, R. (2007). Spatial data methods and vague regions : A rough set approach. *Applied Soft Computing*, 7(1) :425–440.

[Belgiu et al., 2013] Belgiu, M., Lampoltshammer, T. J., Hofer, B., et al. (2013). *An extension of an ontology-based land cover designation approach for fuzzy rules*, volume 2013. Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften.

[Benz et al., 2004] Benz, U. C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I., and Heynen, M. (2004). Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for gis-ready information. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 58(3) :239–258.

[Bhaskaran et al., 2010] Bhaskaran, S., Paramananda, S., and Ramnarayan, M. (2010). Per-pixel and object-oriented clas-

©AFIA 2016

sification methods for mapping urban features using ikonos satellite data. *Applied Geography*, 30(4) :650–665.

[Blaschke, 2010] Blaschke, T. (2010). Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 65(1) :2–16.

[Blaschke et al., 2014] Blaschke, T., Hay, G. J., Kelly, M., Lang, S., Hofmann, P., Addink, E., Feitosa, R. Q., van der Meer, F., van der Werff, H., van Coillie, F., et al. (2014). Geographic object-based image analysis–towards a new paradigm. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 87 :180–191.

[Bobillo and Straccia, 2011] Bobillo, F. and Straccia, U. (2011). Fuzzy ontology representation using owl 2. *International Journal of Approximate Reasoning*, 52(7) :1073–1094.

[Bouchon-Meunier, 2007] Bouchon-Meunier, B. (2007). *La logique floue :« Que sais-je ? »*. Number 2702. Presses universitaires de France.

[Cohn and Gotts, 1996] Cohn, A. G. and Gotts, N. M. (1996). The egg-yolk representation of regions with indeterminate boundaries. *Geographic objects with indeterminate boundaries*, 2 :171–187.

[Coradeschi and Saffiotti, 2003] Coradeschi, S. and Saffiotti, A. (2003). An introduction to the anchoring problem. *Robotics and Autonomous Systems*, 43(2) :85–96.

[de Bertrand de Beuvron et al., 2013] de Bertrand de Beuvron, F., Marc-Zwecker, S., Puissant, A., and Zanni-Merk, C. (2013). From expert knowledge to formal ontologies for semantic interpretation of the urban environment from satellite images. *International Journal of Knowledge-Based and Intelligent Engineering Systems*, 17(1) :55–65.

[de Saint-Cyr et al., 2008] de Saint-Cyr, F. D., Jeansoulin, R., and Prade, H. (2008). Fusing uncertain structured spatial information. In *Scalable Uncertainty Management*, pages 174–188. Springer.

[de Saint-Cyr and Prade, 2008] de Saint-Cyr, F. D. and Prade, H. (2008). Logical handling of uncertain, ontology-based, spatial information. *Fuzzy Sets and Systems*, 159(12) :1515–1534.

[Durand et al., 2007] Durand, N., Derivaux, S., Forestier, G., Wemmert, C., Gançarski, P., Boussaid, O., and Puissant, A. (2007). Ontology-based object recognition for remote sensing image interpretation. In *19th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI 2007)*, volume 1, pages 472–479. IEEE.

[Fonseca et al., 2002] Fonseca, F. T., Egenhofer, M. J., Agouris, P., and Câmara, G. (2002). Using ontologies for integrated geographic information systems. *Transactions in GIS*, 6(3) :231–257.

[Forestier et al., 2012] Forestier, G., Puissant, A., Wemmert, C., and Gançarski, P. (2012). Knowledge-based region labeling for remote sensing image interpretation. *Computers, Environment and Urban Systems*, 36(5) :470–480.

[Fudholi et al., 2009] Fudholi, D. H., Maneerat, N., Varakulsiripunth, R., and Kato, Y. (2009). Application of protégé, swrl and sqwrl in fuzzy ontology-based menu recommendation. In *International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS 2009)*, pages 631–634. IEEE.

[Fukunaga and Hostetler, 1975] Fukunaga, K. and Hostetler, L. D. (1975). The estimation of the gradient of a density function, with applications in pattern recognition. *Information Theory, IEEE Transactions on*, 21(1) :32–40.

[Gruber, 1995] Gruber, T. R. (1995). Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing ? *International journal of human-computer studies*, 43(5) :907–928.

[Hay and Castilla, 2008] Hay, G. J. and Castilla, G. (2008). Geographic object-based image analysis (geobia) : A new name for a new discipline. In *Object-based image analysis*, pages 75–89. Springer.

[Hudelot et al., 2008] Hudelot, C., Atif, J., and Bloch, I. (2008). Fuzzy spatial relation ontology for image interpretation. *Fuzzy Sets and Systems*, 159(15) :1929–1951.

[Inglada and Christophe, 2009] Inglada, J. and Christophe, E. (2009). The orfeo toolbox remote sensing image processing software. In *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2009)*, pages 733–736.

[Khalfi et al., 2015] Khalfi, B., de Runz, C., Faiza, S., and Akdag, H. (2015). Improvement of the f-perceptory approach through management of fuzzy complex geographic objects. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 1 :235–241.

[Marc-Zwecker et al., 2014] Marc-Zwecker, S., Asnoune, K., and Wemmert, C. (2014). A fuzzy-rule based ontology for urban object recognition. In *6th International Conference on Knowledge Engineering and Ontology Development (KEOD 2014)*, pages 153–160.

[Ngo et al., 2014] Ngo, T.-T., Collet, C., and Mazet, V. (2014). Détection simultanée de l'ombre et la végétation sur des images aériennes couleur en haute résolution. In *Reconnaissance de Formes et Intelligence Artificielle (RFIA 2014)*.

[Sebari and He, 2013] Sebari, I. and He, D.-C. (2013). Automatic fuzzy object-based analysis of vhsr images for urban objects extraction. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 79 :171–184.

[Shafer et al., 1976] Shafer, G. et al. (1976). *A mathematical theory of evidence*, volume 1. Princeton university press Princeton.

[Smeulders et al., 2000] Smeulders, A. W., Worring, M., Santini, S., Gupta, A., and Jain, R. (2000). Content-based image retrieval at the end of the early years. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 22(12) :1349–1380.

[Stoilos et al., 2005] Stoilos, G., Stamou, G. B., Tzouvaras, V., Pan, J. Z., and Horrocks, I. (2005). Fuzzy owl : Uncertainty and the semantic web. In *OWL : Experiences and Directions, OWLED 2005*.

[Vanegas et al., 2009] Vanegas, M. C., Bloch, I., and Inglada, J. (2009). Fuzzy spatial relations for high resolution remote sensing image analysis : The case of âĂIJto go acrossâĂİ. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2009 IEEE International, IGARSS 2009*, volume 4, pages IV–773. IEEE.

[Zanni-Merk et al., 2015] Zanni-Merk, C., Marc-Zwecker, S., Wemmert, C., and de Beuvron, F. d. B. (2015). A layered architecture for a fuzzy semantic approach for satellite image analysis. *International Journal of Knowledge and Systems Science (IJKSS)*, 6(2) :31–56.

 ©AFIA 2016

A Neural-based Control Architecture for Autonomous Robot Navigation: Synergetic Interface between *a priori* and embedded information

Dalia-Marcela Rojas-Castro Arnaud Revel Michel Ménard

Laboratoire L3i, Université de la Rochelle
Avenue Michel Crépeau 17042 La Rochelle, France

{dalia_marcela.rojas_castro, arnaud.revel, michel.ménard }@ univ-lr.fr

Résumé

Cet article propose une architecture de contrôle neuronale hybride permettant la navigation autonome d'un robot à l'intérieur d'un bâtiment. L'architecture combine les avantages des architectures réactives, tels que la rapidité de réaction face à des problèmes imprévus dans le contexte d'un environnement dynamique, et des architectures délibératives, qui reposent elles sur une connaissance globale de l'environnement. Pour contrôler les actions, le module réactif utilise à la fois le contenu des informations visuelles et la connaissance a priori de l'environnement obtenue à partir d'un plan du bâtiment. Afin de valider la simplicité et l'efficacité de l'architecture, une expérience a été réalisée avec un robot Nao évoluant dans un environnement réel selon un scénario de navigation simplifié.

Mots Clef

Architecture de contrôle neuronale, navigation autonome d'un robot, analyse d'un plan du bâtiment.

Abstract

This paper proposes a neural hybrid architecture to control mobile robots allowing autonomous indoor navigation. This architecture preserves all the advantages of reactive architectures such as rapid responses to unforeseen problems in dynamic environments while combining it with the global knowledge of the world used in deliberative architectures. In order to control the decisions of the actions, the reactive module corroborates the dynamic visual feedback and embedded knowledge with the a priori knowledge of the world gathered from a floor plan. Real time experiments with the robot functioning as intended in a simple navigation scenario prove the advantages of the proposed approach in terms of simplicity and efficacy.

Keywords

Neuronal control architecture, autonomous robot navigation, floorplan analysis.

1 Introduction

Navigation strategies allowing mobile robots to autonomously travel from a starting point to a goal are extremely diverse [18]. Control architectures are the essential component of such a navigation. They define the capacities of the robot to plan a path trajectory, to undertake autonomous decision-making and to execute the appropriate reaction according to the perceived environment information.

A large extent of research in the last three decades has been focused on the conception of robotic control architectures allowing the development of robust, flexible and reliable autonomous systems. Originally, two very different architectural approaches have been proposed in the past: reactive and deliberative, mainly differentiated by the speed of reaction, the consideration of the global knowledge of the world, the usage of perceived data and the computing complexity. However, hybrid architectures were eventually conceived in order to combine advantages of both techniques while diminishing their individual drawbacks.

This paper proposes a special type of such hybrid architectures where the robot emulates human behavior in navigating inside an unknown building by "reading" a map or a floor plan using its camera and "remembering" a sequence of signs to follow on the way. The underlying idea for the presented architecture is that by providing the robot with an *a priori* model of the world gathered from a floor plan while being controlled by a reactive architecture, it would not only be able to plan accurately and achieve its goal destination, but also face unforeseen situations when navigating in an environment prone to change. Such a configuration, based on an approach at the same time top down and bottom up, has led us to the conception of a hybrid neural-based control architecture for indoor navigation.

Hence, as a result of this perceptual combination, the robot is capable of performing autonomous navigation, online learning of sensory-motor associations, decision-making and rapidly responding in dynamic environments.

The reminder of this paper is organized as follows. Section 2 gives an overview of the related work. Section 3 introduces the proposed hybrid neural-based architecture. Section 4 describes in detail the processing within the architecture. Experimental results implementing the architecture in the humanoid robot NAO are described in section 5, and section 6 discusses and concludes this work.

2 Related work

As mentioned, three types of control architecture approaches of mobile robots have been proposed in the literature to plan an optimal trajectory and to execute

 ©AFIA 2016

the appropriate action according to the perceived information.

The classic deliberative approach uses a representation of the robot surroundings, such as a map, for path planning [20] [14]. Although this model allows the robot to reach a specified goal by generating optimal sequences of actions in a complex environment, unforeseen changes such as new obstacles pose a major hurdle in task completion. The need to process a complex hierarchy of information at every step can further slowdown progress through the environment.

The reactive (behavior-based) approach uses a stimulus-response model, which defines the movements of the robot as a consequence of a stimulus similar to the behavior observed in living organisms [6]. It can thus respond robustly and rapidly in dynamic environments [13]. In order to explain complex behaviors (such as those commonly observed in animals in their environment) in simpler terms, [12] proposed the PerAc architecture which uses artificial neural networks. The autonomous system does need an explicit symbolic representation or data resulting from a global model of the environment to decide on the actions to undertake, but instead the robot interacts with the environment. However, the probability and extent of success of correctly reacting in a complex environment of these systems may be affected by the lack of an overview of the environment for reference.

By merging these two approaches, however, it is possible to mitigate their individual limitations. The search for the optimal way to interface the two modules to achieve a hybrid solution is still an area of ongoing research. Most existing hybrid architectures calculate a conventional complete path in the deliberative module that control the behaviors and actions in the reactive module[3]. The SSS architecture (servo, subsumption, symbolic) [8], a symbolic planner controls the reactive module. In CoCo (Cognitive Controller) [21], the deliberative module advices the reactive module through a set of motivational variables. A small variation of these works can be seen in [15] where the planning module produces a sequence of checkpoints that work as sub-goals leading to the final target instead of the entire path.

An additional important aspect of autonomous navigation is the perception of the environment, since it provides the input for successful control. In this respect, in the last three decades, navigation based on visual perception systems (such as onboard camera systems) has been especially prevalent. These systems are robust and reliable as they provide detailed information about the environment which may be overlooked by other types of sensors [1]. The systems can be grouped into outdoor navigation and indoor navigation systems, the latter of which can be subdivided into map-based system which provide the robot with models of the environment and mapless navigation systems in which the movements of the robot depend on the elements observed in the environment [11] [5].

3 Neural-Based Control Architecture

3.1 Context

The global knowledge of the world is represented by a floor plan gathered from a paper-based document that is placed in front of the robot's camera just once, before the navigation activity starts. It contains the important information to define a potential navigation trajectory that might eventually be modified depending on the unforeseen obstacles presented in the real world. In this work, this information is represented by some navigation signs used as reference points that are expected to be seen by the robot in the real world navigation.

By means of computer vision methods, the robot is able to "read" the map, generate an optimal plan to reach the goal, extract and memorize the sequence of signs arranged from the closest point to the furthest with respect to the starting point. Then, when exploring the environment, the robot is able to recognize the expected signs in the pre-computed sequence and use them to achieve its final destination. The robot may or may not know the meaning of each sign in terms of the action it represents with respect to way finding. The architecture is designed such that if the sign is unknown, a reflex exploratory behavior gradually leads it to the correct direction by performing a rotatory movement in one place to look for the next expected sign in the pre-captured sequence and thus learn the association between the sign and the movement performed. Hence, if the same sign appears again, the robot already knows which direction to take.

Moreover, if one or several of the expected signs are not visibly available, the robot is able to build its own representation of the surrounded environment based on the detection of salient features in order to learn the place as a reference point. Since the whole system is a competitive neural network, all possible actions enter in competition for controlling the robot.

3.1 Contributions

Our approach addresses the control in a manner that is significantly different from existing hybrid architectures mainly in two ways. Firstly, the *a priori* information is gathered by the robot from a floor plan of the building since it provides one of the fastest access to comprehensive information about the inside of the building. However, it is only used to corroborate the dynamic visual information perceived during the navigation instead of directly controlling the actions of the robot. Indeed, the information obtained from the floor plan of the building is computed only once and it is stored in the memory of the robot. Then, as the robot navigates the environment, it compares what it perceives in the environment to what it is expected to find and thus it achieves its navigation task. If, by any chance, an unforeseen situation is presented, the robot is able to adapt to it and act accordingly without needing to re-compute a new path from the floor plan. In other words, there is no need of sending the information back to the deliberative module as the reactive one is in charge of dealing with the unexpected situation.

The second point of difference is that instead of using a complete motion path, this architecture makes use of navigation signs (and their expected sequence in the

©AFIA 2016

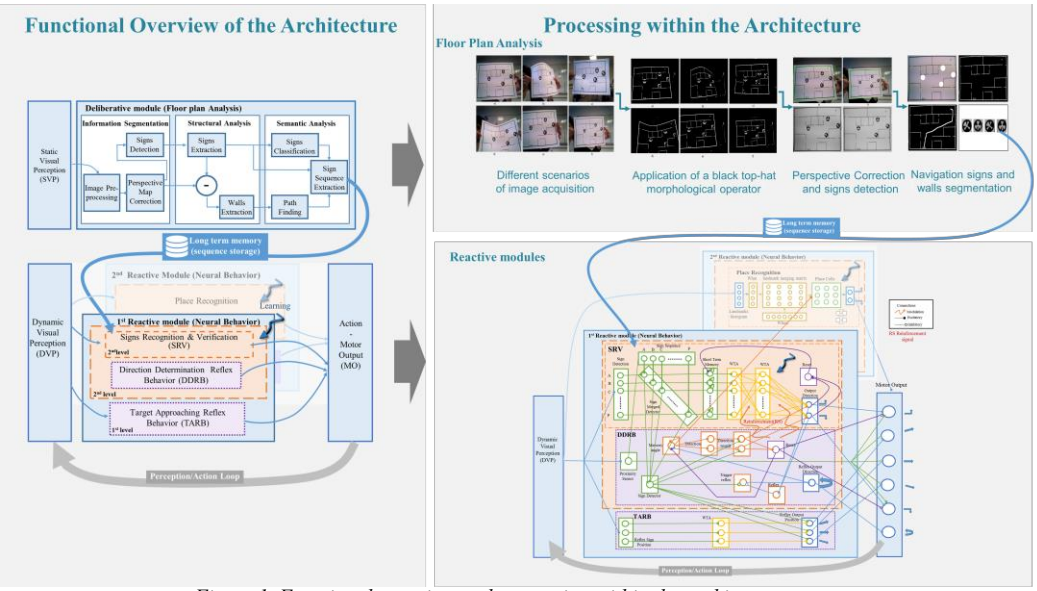


Figure 1. Functional overview and processing within the architecture

route), the associated actions of which may be learnt as a consequence of a stimulus-response model during navigation. In fact, the robot is able to denote an action (e.g. in this work, a directional meaning: turning "right" or "left") to each sign. In this way, the robot learns the action associated to each sign for future reference, once it has deduced it in its first try. Thereafter, it just follows the implied instruction of the learned sign.

The inspiration behind this is to emulate human behavior when trying to navigate an unknown building in the fastest way possible. Digital maps or floor plans of buildings (such as hospitals, schools, residential complexes or factories) are typically not as readily available as maps of entire cities, countries etc. Hence, one has to rely on floor plans, which are usually available in physical form at the entrance of the building to navigate one's way. After calculating the path leading towards the final destination, a person keeps in memory a sequence of salient objects or signs that might be present on the way. Therefore, it is possible to reach the target destination by corroborating the visual perception of the navigation environment with the expected objects or signs in memory.

This control architecture can find applications in Urban Search and Rescue (USAR) scenarios, where a robot would be able to plan its navigation path in the fastest way possible by using the floor plan of the building, while being able to adapt itself to the unforeseen situations that are prone to happen during navigation.

3.2 Functional Overview

The overall architecture proposed in this paper integrates the pre-exploration floor plan analysis into an organized neural structure. It is composed of three modules (as illustrated in the left part of Fig.1). A deliberative module, corresponding to the processing chain in charge of computing a path planning in order to extract a navigation sign sequence from the floor plan and two reactive modules. The first reactive module integrates the said sequence information to control online navigation and allows learning of sensory-motor association. The second reactive module allows learning and recognition of places in order to overcome unforeseen problems such as the absence of the expected signs in non-deterministic scenarios. However, the details of this second module are omitted in this paper for the sake of brevity in favor of detailing the more relevant contributions: floor-plan analysis, information merging and sensory-motor learning association which are explained in detail in section 4 and tested in section 5 under a deterministic scenario.

On one hand, the analysis of the floor plan in real time, represented by the box in the top-left part of Fig.1, undertakes a thorough process permitting the robot to extract the relevant information for its integration into the system. It follows a process similar to the systems found in the literature [2]. It consists of an information segmentation process which identifies and separates different types of information; followed by structural analysis where the information is extracted (walls and navigation signs separately);and finally a semantic analysis allowing the extraction of the sign sequence based on the computation of the path and the information of the signs.

On the other hand, the reactive modules represented by the box in the bottom part of Fig.1 are based on the PerAc (Perception-Action) architecture, proposed by [12], which follows a perception-action mechanism that constantly evolves because of the dynamic interaction between the robot and its environment. Additionally, it has particular properties such as associative memorization, learning by example and parallel processing. It is further composed of two levels of data streams: The first level (purple dotted area) uses a reflex mechanism that controls directly the robot's action based on the information extracted from the perceived input. The second level (orange dashed area) uses a cognitive mechanism performing recognition of the aforementioned perceptive flow and allows learning of the associations between the recognition of a particular shape and the realization of a particular action.

However, the first reactive neural module differs from the PerAc in having a nested PerAc architecture within its own second level as a consequence of the *a priori* information integration. Hence, it is composed of three layers as illustrated in the lower half of Fig.1.

©AFIA 2016

The whole system works in parallel and a 'competitive mechanism' allows deciding on the best behavior (among the layers and several reactive modules) for controlling the robot according to the stimulus received. This is possible because the neural interconnection is done by either excitatory or inhibitory connections allowing or preventing the activation of neurons respectively. Another connection is also used when learning is required: a modulation connection. The learning of the associations between the recognized sign and a particulate action is conditioned by a reinforcement signal, which represents the internal motivations the robot.
Thus, such neural configuration allows to achieve not only a complete but also a generic global architecture.

4 Processing within the Architecture

4.1 Deliberative Module : Floorplan analysis

When working in real time situations, reading and analyzing a document from an image acquired from a mobile device such that of a robot is a challenging task. It not only has to be accurate but it also has to be fast so that the robot can react accordingly. Image acquisition of documents under constrained and dynamic conditions may cause not only degradation but also distortions on the captured image itself due to unpredictable orientation, distance, lighting conditions etc. Different scenarios might be possible (top-right part of Fig.1). For instance in the case of this work, since there is no use of a planar support when acquiring the image, the map might not be completely or at all within the image frame. It might also be too small or suffer from perspective distortion if the image captured is not orthogonal to the plane of the camera. All these circumstances make it hard to properly identify and retrieve the content of the map. Therefore, a set of processes after image acquisition has been implemented (top-right part of Fig. 1).
Usually maps and floor plans contain building elements like walls, doors, windows, etc. and textual information such as the name of the room or the area. The focus of this work is to read a modest floor plan in the simplest way in order to prove the concept of robot navigation as explained above. Therefore, the representation of the doors in the design of the floor plans is done by blank gaps and only the walls (external and internal) as well as the navigation signs are here considered.

A. Information segmentation

In order to simplify the representation of the image for a better analysis, a global thresholding has been applied to the images in this work, as it has proven to perform a good result when working in real time situations [19]. However, non-uniform illumination of the document may cause inaccuracies or complete failure of segmentation. In order to overcome these effects, a black top-hat morphological operator with a 7*7 square mask is first applied on the gray-scale image. This process consists of removing noise and non-relevant small objects. Hence, it improves the clarity of the image outcome and consequently, it makes possible the identification of relevant regions (map) and objects of interest (navigation signs and walls) in the image.
The identification and then extraction of the map from the image is made possible using analysis of the connected components. This process together with the application of some filters based on the size of the connected regions, permit rejection of images likely to contain irrelevant components outside the convex hull or with missing information like an incomplete map boundary. Hence, only the images containing the complete and visible map are selected.
Several methods have been proposed for image perspective correction [9], [16]. The method our work is based on, aims at finding the corners of the quadrilateral formed by the boundary between the background and the document as proposed by [10], [17]. Therefore, the method proposed in this work consists of first creating a bounding box around the image, then retrieving the corners coordinates (X,Y) of the bounding box (rectangle) formed to use them as reference points to find the coordinates (x, y) of the corners of the map contour. By calculating the minimum distance between the coordinates (X, Y) of each corner of the bounding box and each vector point of the map contour, the closest vector point to each corner of the bounding box is found. This gives the corners (x, y) of the map contour. The perspective correction is then performed by using a 3x3 transformation matrix calculated with the coordinates of quadrilateral vertices of the map and those of the destination image.
The navigation signs are represented in this work by circle-shape symbols containing specific patterns that allow them to be differentiated from one another (cf. Fig.6). Hence, in order to distinguish them from the floor plan, sign detection is achieved using a feature based approach, the Hough circles transform [4].

B. Structural Analysis

The information obtained in the previous step is used in order to extract each sign from the floor plan. By considering the parameters referring to the center position and radius of the circles (denoting signs) obtained previously (ycenter, xcenter, r), it is possible to subtract the information within each circle from the floor plan and copy each of the signs into a new image. As a result, a 'walls image' composed of only internal and external walls is produced as well as a set of navigation sign images each consisting of a unique sign.

C. Semantic Analysis

In order to extract the correct sequence of signs from the starting point to the final destination, two different process are simultaneously applied to each of the resulting images from the last step i.e. navigation signs images and walls image.
As part of the first process, each sign image is recognized by the robot. The recognition of signs is here possible by means of a template matching based approach [22] that aims to find small parts of an image that match a template image from existing database. This was possible as the database of the signs images was already available and could easily be recognized by the robot in the environment.

©AFIA 2016

Simultaneously, using the other process, the robot is able to compute a navigation path to reach the final destination in an environment with obstacles (walls on the map). The robot uses a neural network implementation of the resistive grid technique [7]. The image of the walls is used here as a resistive grid where each pixel in the image is represented by a neuron and is connected to its closest neighbors. Each neuron has an activation value which is calculated based on the distance between it and the neuron representing the final destination. This latter having the highest value "1" and those representing the walls the minimum "0". The path is computed by continuously searching among neighboring neurons for the one with the highest activation value. This continues until the final destination is found.

Finally the sequence of the navigation signs is calculated by using the position of the recognized signs with respect to the generated path, from the starting point to the final destination. Hence, the right sequence of signs that the robot will encounter on its way can be finally extracted.

4.2 Reactive Module: Real-world navigation

As illustrated in the lower half of Figure 1, the reactive module consists of three layers that converge towards the motor output group. There are six possible movements: turning left, turning right, walking left, walking right, walking straight ahead and turning left as a reflex movement. These movements correspond respectively to the six neurons of the motor output group and the activation of one excludes the others' depending on inhibitory and excitatory signal connections.

A. Signs Recognition and Verification (SRV)

Once the robot begins exploration, this level enables the robot to perform a movement based on the combination of the acquired static (map reading) data obtained from the Deliberative Module mentioned above, and dynamic visual feedback of the robot's camera. This level is composed of six neural groups as shown in Fig.2. Each group has as many neurons as the total number of signs to be used by the robot, each neuron representing a unique sign. The output direction group is composed of two neurons for left and right movements respectively.

Sign detection group. As the robot interacts with its environment, dynamic visual information is constantly fed to the neural group. However, it is only activated if one or more signs appear in the robot's view activating their corresponding neurons.

Sequenced sign group. It stores the sequenced signs provided by the floor plan. The expected sign of the sequence activates its corresponding neuron and once the robot is close to it, the sequence is scanned so as to obtain the next expected sign. This situation is repeated until the end of the sequence.

Sign merged detector group. It constantly corroborates the sign detected in the environment, using the one expected to be seen. Hence, only the neuron stimulated by the activation of both inputs (from the two precedents neural groups), is activated.

Short term memory group. It stores the activation value of the detected current sign in order to associate it to the movement allowing detection of the next sign.

WTA group. The competitive mechanism "winner-take-all" enables the neuron with the highest activation value to stay active whereas all the other neurons are set to zero. The resulting activated neuron represents the current sign to be associated with a particular action. The interconnectivity is made in such a way that it allows learning of the said association conditioned by a reinforcement signal.

Output Direction group. If the sign has already been associated with a particular movement, its corresponding neuron is activated and sent directly to the motor output.

Otherwise, if the reinforcement signal is activated, it learns the association between the movement triggered by DDBR and the current sign.

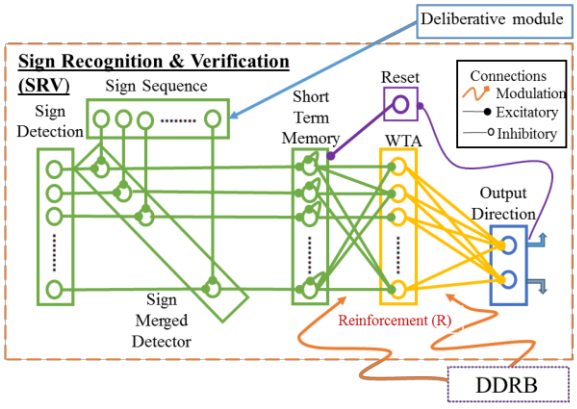


Figure 2 Sign Recognition and Verification (SRV)

B. Direction Determination Reflex Behavior (DDRB)

This level is in charge of making the robot explore the environment by rotating in one place (to its left by design) using small reflex movements, to look for the next expected sign in the pre-captured sequence. The layer is mainly composed of seven neural groups as shown in Fig. 3.

Sign Detector. Receives the input coming from the SRV

Memory Angle group. In order to calculate the total angle of rotation, each turning-angle is stored and then added to itself as many times as it is required to find the next symbol. Once the symbol is found, the total angle is transmitted forward and then reset to 0 for the next calculation.

Trigger Reflex group. This single-neuron group triggers or inhibits the reflex movements.

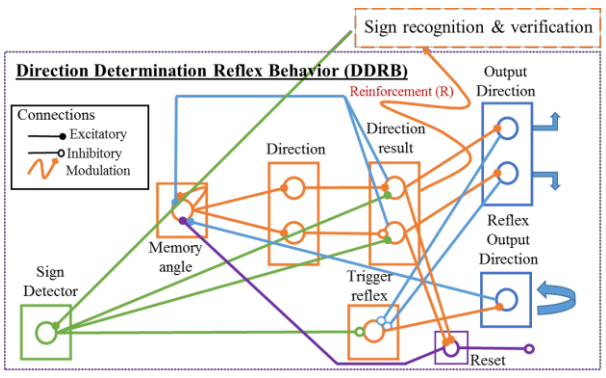


Figure 3 Direction Determination Reflex Behavior(DDRB)

©AFIA 2016

Reflex Output Direction group. Whenever this single-neuron group is activated by the trigger reflex group, it sends the information to the motor output so as to perform small leftwards rotational reflex movements.
Direction. The total angle of rotation calculated in the previous group is compared to a threshold so as to activate the neurons. However, as each neuron represents either a left or a right movement, the resulting activation output of one neuron excludes that of the other.
Direction Result group. It takes as inputs the result of the direction group and the sign detector. This latter is activated by the sign merge detector from the SRV level.
Output Direction. The activated neuron corresponding to the resulting movement is associated to the current sign by activating the reinforcement signal in the WTA group of the SRV level. Since the movements have already been performed, it inhibits the activation of the motor output group.

C. Target Approaching Reflex Behavior (TARB)

This level is triggered when the robot is far from the sign and directs an approach towards it by keeping it in the center of the robot's vision. This layer is composed of the following three neural groups as shown in Figure 4. Each group comprises of three neuron corresponding to a single movement each: walking to the left, walking to the right or walking straight ahead.
Reflex sign position group. Each neuron has a position (x, y) in the robot's visual space so as to be compared to the position (within the same space) of the detected sign. They all behave as neural fields that can be calculated by a Gaussian function. The closer the neuron is in relation to the sign position, the higher the resulting value. All three values are sent to the WTA group.
WTA group. The competitive mechanism "winner-take-all" enables the neuron with the highest activation value to stay active while all the other neurons are set to zero.
Reflex output position group. It sends the resulting movement of the activated neuron to the motor output.

D. Layers Convergence

The three layers described above converge towards the motor output group, which comprises of six neurons corresponding respectively to six possible movements: turning left, turning right, walking left, walking right, walking straight ahead and turning left as a reflex movement (Fig.5). The activation of one excludes the others' depending on inhibitory and excitatory signal connections. When the proximity sensor (robot close to the sign) is on, the activation of the reflex output position is inhibited, and conversely if the robot is far from the sign the direction movements are inhibited.

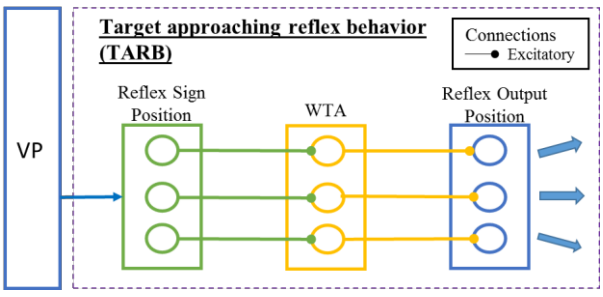


Figure 5 Target approaching reflex Behavior

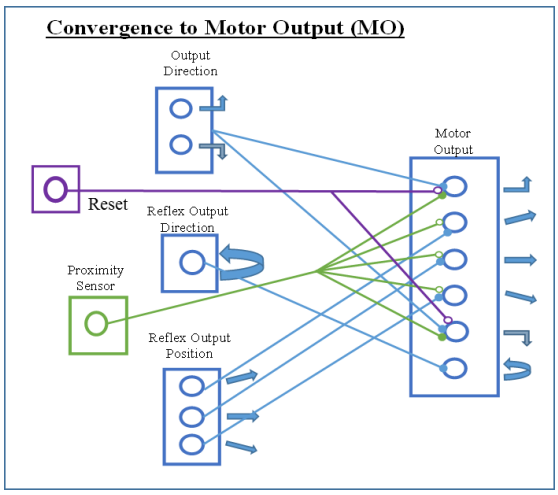


Figure 4 Convergence to Motor Output

The reset neuron allows inhibiting the activation of the motor output group when it is activated by DDRB, as the movement (left or right) has already been performed by the reflex movements.

5 Experiments in real environment

The complete neural architecture was built, implemented in the humanoid robot NAO and tested in a 2.25m x 4.5m space, configured such that it represented a simplified layout of a floor of a building composed of a room delimited by walls (here tables) and a corridor between them. The intended navigation path was free of dynamic obstacles and only the walls were considered as the static obstacles to be avoided.
The NAO robot can detect a sign using its camera (640*480 pixels) if it is within a range of approximately 0.2m to 1.5m away from it. Therefore, the navigation signs were placed in the environment within this range so as to always be readable. It should be noted that in order to achieve a complete and robust architecture, validation of the signs sequence merging into the neural architecture as well as real-time learning of sensory-motor associations was the primary focus. Therefore, scenarios where the expected sign is absent, occluded by a wall etc., are not explained here and are part of ongoing work that can be seen in an extended paper. The test description below is for didactic purposes, detailing, confirming and explaining the proposed architecture's functioning. The learning, followed by the recall of the learned action take place in the same scenario.

5.1 Deliberative module

Before exploration, the robot was shown a floor plan of the test environment so that it could process the image and compute the best way to accomplish the task. By following the steps of floor plan analysis explained in section 4.1, the robot was able to compute the path leading towards the final destination and thus extract the sign sequence :{ A, B, A, B} as shown in Fig.6. When the map was not placed correctly within the frame of the camera, the robot was able to warn the user to move it. Otherwise, when it was correctly positioned, the average computation time to extract the information was of around 5s.

©AFIA 2016

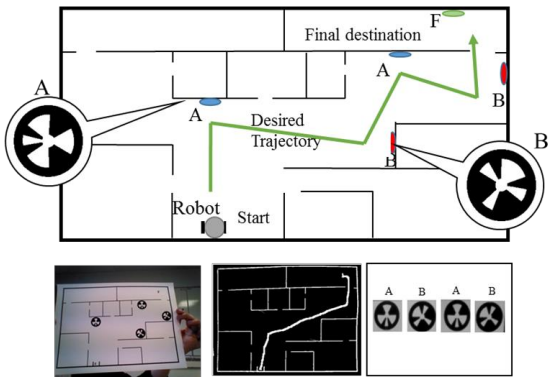


Figure 6 Floorplan analysis and signs extraction

5.2 Reactive module

The robot was placed at the entrance of the test environment from which it could distinctly see the first expected sign, A. While navigating, the following behaviors emerged allowing the robot to successfully reach its goal (cf. Fig. 7):

- when a sign was detected, it was able to compare it to the corresponding sign in the extracted sequence from the memory;
- when the comparison resulted in a positive result i.e. the detected sign was indeed the expected sign, and the meaning of the sign was yet unknown, it was able to perform reflex movements by rotating in one place to search for the next sign, figure out the associated direction and then learn it;
- when the comparison gave a negative result i.e. the detected sign did not match the expected sign, the robot ignored the detected sign and continued performing reflex movements to locate the correct sign;
- when the expected sign was not in its visual field, it was able to perform a reflex behavior to search for it;
- when a sign was faraway, it was able to get closer;
- when a sign appeared again, it was able to recall the learning and perform the associated movement.

Figure 8 shows a summary of results obtained in the form of the activation of the output neural groups corresponding to the six possible movements that can be performed by the robot (so far), as well as the activation of the reinforcement signal allowing the association learning, over time. The movements were a result of either the recognition, the proximity or the absence of any signs from the extracted sign sequence. The activities are explained chronologically and refer to the descriptions and figures of section IV. In each of the (a, t) plots shown, a is the binary activation of each neural group or the reinforcement signal and *t* the time seconds in terms of a PerAc cycle.

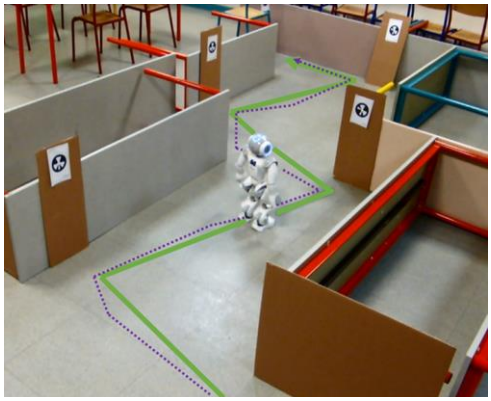


Figure 7 Robot pre-calculated path navigation (green line); and real time robot navigation path (purple dotted line)

For the sake of simplicity, the plot labeled "Cumulative target approaching movements" combines all movements undertaken in one go by the robot to approach a particular sign using TARB.

t_0-t_8 As shown in the visual perception plot, the robot recognized sign *A* at time t_0, so its corresponding neuron got activated and it triggered the activation of the Cumulative target approaching movements by TARB (cf. Fig.4) until time t_7. This allowed the robot to be close enough to the sign to activate the proximity sensor at t_8.

t_9-t_{13} As the robot had not yet associated current sign A with any movement, the reflex exploratory action was triggered by DDRB and so was its corresponding neuron (cf. Fig.3). This continued until sign *B* was detected at t_{13}.

t_{14}-t_{23} After detection, the total angle of rotation undergone during the reflex movement was computed. The equivalent value (more than threshold value) allowed the association learning of sign *A* with the right direction movement in SRV (cf. Fig.2) as the reinforcement signal got activated (see concerning plot) at time t_{14}. While this was taking place, the robot was already performing movements to approach the new sign *B* by TARB (cf. Fig.4) The activity of the proximity sensor got a positive value in t_{23}, as the robot got close enough to the sign.

t_{24}-t_{25} As with sign *A* earlier, current sign *B* is associated movements were not known and the robot used DDRB actions (cf. Fig. 3) to locate the next sign A at t_{26}.

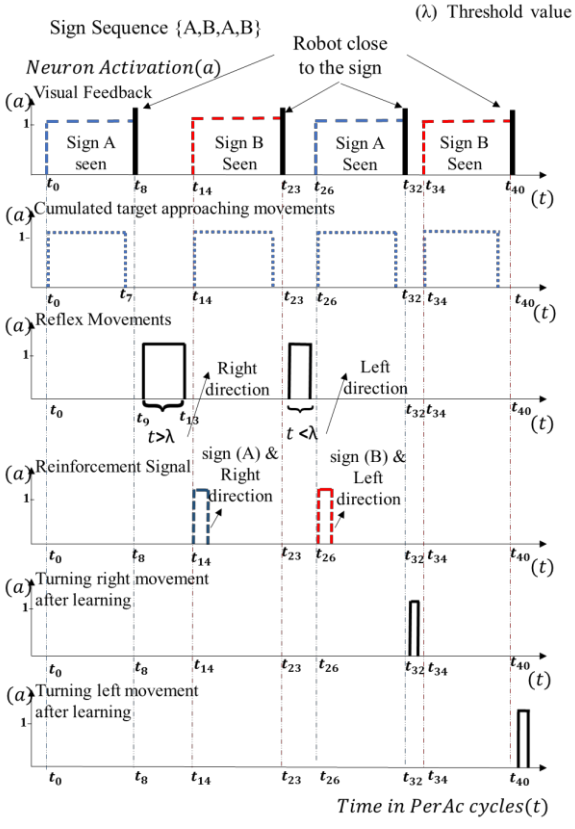


Figure 8 Diagram of the Motor output over time in PerAc

©AFIA 2016

t_{26}-t_{32} This time, the computed result of the angle of rotation was less than the threshold value, hence resulting in the learning association of sign B with the left direction by the activation of the reinforcement signal (see plot) at t_{26} in the SRV level (cf. Fig. 8). While this was taking place, the TARB directed the robot to approach the new sign *A*. The activity of the proximity sensor got a positive value at t_{32}.

t_{33}-t_{34} Now that the robot had learned the associated movement of sign *A*, it performed the right direction action directly by SRV (cf. Fig.2) as soon as the proximity sensor was triggered at time t_{32}. The much shorter execution time of this movement on the plot is especially notable, showing the advantage of learning associations. TARB led the robot to sign *B*.

t_{34}-t_{41} The robot similarly executes the associated learnt movement (left direction) of sign *B* after getting close enough to it at t_{40} and got to its final destination in time t_{41} after a short movement to the left by SRV (cf. Fig. 2).

Hence, it was seen that until time t_{32}, the robot was able to successfully learn the meaning of signs using reflex movements, and was able to apply this learning effectively thereafter in a shorter period of time.

6 Discussions and Conclusions

A unique neural-based architecture that enables autonomous navigation based on both information gathered from a floor plan at the start of journey, and the immediate environment during it, has been presented in this paper as an alternative hybrid control architecture for mobile robot navigation. With the help of an *a priori* knowledge of the world as well as the constant visual perception of the environment and embedded knowledge while navigating, a robot is able to reach a specific place while performing online learning of sensory-motor associations. Experimental results obtained from the physical implementation of the architecture in an indoor environment have shown the efficacy of this approach.

Thanks to its generic composition, the proposed architecture can be applicable to other scenarios where other types of sensors may be added or where the signs may be substituted with other relevant visual or non-visual cues. Thus, one of the major advantages of the architecture is that it is possible to develop the architecture further with respect to robustness and completeness by simply adding new layers without modifying the already in-built components or layers similar to the addition of the place recognition layer.

An eventual scenario that the architecture can be further developed for could be one where the expected signs are not available inside the building and the robot not only is able to achieve its goal destination but also to recreate an updated map according to the information assimilated from the environment.

References

[1] Abascal J, E. Lazkano, and B. Sierra. Behavior-Based Indoor Navigation. Ambien Intelligence for Scientific Discovery. Foundations, Theories, and Systems, LNAI (3345):263–285, 2005.

[2] Ahmed, Sheraz, et al. "Improved automatic analysis of architectural floor plans." Document Analysis and Recognition (ICDAR), 2011 International Conference on. IEEE, 2011.

[3] Ronald C. Arkin, "Integrating Behavioral, Perceptual and World Knowledge in Reactive Navigation," Robotics and Autonomous Systems, vol. 6, pp. 105-122, 1990.

[4] D. Ballard, “Generalizing the Hough transform to detect arbitrary shapes”. Pattern Recognition, vol. 13, no. 2, pp. 111-122, 1981.

[5] F. Bonin-Font, A. Ortiz, and G. Oliver, “Visual navigation for mobile robots: a survey,” Journal of Intelligent and Robotic Systems, vol. 53, no. 3, pp. 263–296, 2008.

[6] Brooks, R. “A Robust Layered Control System for a Mobile Robot”, IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. 2, No. 1, pp. 14 – 23, 1986.

[7] G.Bugmann, J.G. Taylor, and M. Denham. "Route finding by neural nets". Neural networks,pp. 217-230,1995.

[8] J. Connell. SSS: A hybrid architecture applied to robot navigation. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1992.

[9] P. Clark and M. Mirmehdi. "Rectifying perspective views of text in 3D scenes using vanishing points". Pattern Recognition vol. 36, no 11, pp.2673-2686, 2003.

[10] P. Clark and M. Mirmehdi, “Recognising text in real scenes”. International Journal on Document Analysis and Recognition, vol. 4, no. 4, pp. 243-257, 2002.

[11] DeSouza G.N. and Kak A.C. Vision for Mobile Robot Navigation: A Survey. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 24(2):237–267, 2002.

[12] Gaussier, P. and Zrehen, S. Perac: A neural architecture to control artificial animals. Robotics and Autonomous System, 16(2-4):291–320, 1995.

[13] Jones, L. J. and Flynn, A. M., Mobile Robots. Inspiration to Implementation. Pp.243-269. A K Peters. Wellesley, Massachusetts, USA, 1993.

[14] J.C. Latombe. Kluwer. Robot Motion Planning. Academic Publishers, Boston, MA, 1991.

[15] K.H.Low, W.K. Leow, M.H. Ang Jr. A hybrid mobile robot architecture with integrated planning and control. First International Joint Conference on Autonomous Agents and multiagent, 2002.

[16] S. Lu, B.M. Chen, and C.C. Ko. "Perspective rectification of document images using fuzzy set and morphological operations". Image and Vision Computing, vol. 23, no 5, p. 541-553, 2005.

[17] J.Rodríguez-Piñeiro et al. "A new method for perspective correction of document images." IS&T/SPIE Electronic Imaging. International Society for Optics and Photonics, pp. 787410-787410, 2011.

[18] Siegwart, Roland, Illah Reza Nourbakhsh, and Davide Scaramuzza. Introduction to autonomous mobile robots. MIT press, 2011.

[19] K.K. Singh and A. Singh. "A study of image segmentation algorithmsfor different types of images" Int. J. Comput. Sci. Issues vol.7, pp.414-7 2010.

[20] Takahashi O, Schilling RJ .Motion planning in a plane using generalized Voronoi diagrams. IEEE Trans. Robot. Autom, 5(2): 143–150, 1989.

[21] F.Qureshi, D. Terzopoulos, R. Gillett -The cognitive controller: a hybrid, deliberative/reactive control architecture for autonomous robots .Innovations in Applied Artificial Intelligence, 2004.

[22] J. Weber and S. Tabbone. “Symbol spotting for technical documents:Ancient template matching approach”. In Pattern Recognition (ICPR), 21st International Conference, pp. 669-672, Nov 2012.

©AFIA 2016

Abductive reasoning for image interpretation based on spatial concrete domains and description logics

Yifan Yang[1] Jamal Atif[2] Isabelle Bloch[1]

[1] LTCI, CNRS, Télécom ParisTech, Université Paris-Saclay, Paris, France
[2] PSL, Université Paris-Dauphine, LAMSADE, UMR 7243, Paris, France

yifan.yang@telecom-paristech.fr

Résumé

L'interprétation d'images a pour objectif non seulement de détecter et reconnaître des objets dans une scène mais aussi de fournir une description sémantique tenant compte des informations contextuelles dans toute la scène. Le problème de l'interprétation d'images peut être formalisé comme un problème de raisonnement abductif, c'est-à-dire chercher la meilleure explication en utilisant une base de connaissances. Dans ce travail, nous présentons une nouvelle approche utilisant une méthode par tableau pour la génération et la sélection d'explications possibles de l'image donnée lorsque les connaissances, exprimées en logique de description, comportent des concepts décrivant les objets mais aussi les relations spatiales entre ces objets. La meilleure explication est sélectionnée en exploitant les domaines concrets pour évaluer le degré de satisfaction des relations spatiales entre les objets.

Mots Clef

Interprétation d'images, abduction, logiques de description, tableau sémantique, relations spatiales, représentations floues, domaines concrets.

Abstract

Image interpretation aims not only at detecting and recognizing objects in a scene but also at deriving a semantic description considering contextual information in the whole scene. Image interpretation can be formalized as an abductive reasoning problem, i.e. an inference to the best explanation using a background knowledge. In this work, we present a framework using a tableau method for generating and selecting potential explanations of the given image when the background knowledge is encoded in description logics, and includes concepts describing objects and their spatial relations. The best explanation is selected according to a minimality criterion based on the satisfaction degree of spatial relations between the objects, computed in concrete domains.

Keywords

Image interpretation, abduction, description logics, semantic tableau, spatial relations, fuzzy representations, concrete domains.

1 Introduction

As advanced as AI has become, it still remains a big challenge for computers to accomplish complex understanding tasks as humans do, one of which is how to accurately associate perceptual data with appropriate concepts. This relation between visual percepts and high level linguistic expressions is called *semantic gap* [20]. In this work, beyond a single object recognition based on low level features such as color and shape, we focus on a complex description which relies on contextual information like spatial relations between objects as well as prior knowledge on the application domain. We then formalize the interpretation task as an abductive reasoning problem.

Abductive reasoning (abduction) is a backward chaining inference from the observation to the *best* explanations considering the expert knowledge of the domain. Interpretation was considered as abduction for natural language understanding in [11]. Afterwards abduction was applied for a robot system [19], scene understanding problems [17, 18] and image interpretation [1]. A digital image is a numerical representation which does not represent explicitly semantic information. Prior knowledge is intensively used by experts who interpret visually an image. It should then also be used by machines to associate semantics with the image. As illustrated in [1, 15, 17], high level semantics extraction from an image benefits from prior knowledge, such as sport or anatomical knowledge. Description Logics (DLs) are a family of formal knowledge representation formalisms [2] for structural prior knowledge, and was thus used for abduction in [1, 5, 8, 17].

Our aim is to extract high level semantic information from a given image and translate it at a linguistic level. Concretely, we are interested in the interpretation of cerebral images with tumors. High level information consists of descriptions of pathologies as well as of brain structures

 ©AFIA 2016

and spatial relations among them. For instance, according to different levels of anatomical prior knowledge on brain pathology, two possible hypotheses (explanations) could be given for Figure 1:

- an abnormal structure is present in the brain,
- a peripheral non-enhanced tumor is present in the right hemisphere[1].

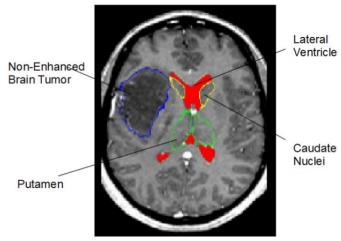


Figure 1: A slice of a pathological brain volume (magnetic resonance imaging (MRI)), where some structures are annotated.

The terminological knowledge of pathological anatomy is formalized in Description Logics and the observation of the scene is represented as instances of the terminologies. The reasoning process is based on a tableau method [2] in order to generate a set of consistent hypotheses, and the *best* explanation is selected based on preference criteria. Semantic and cardinality minimality are two most common criteria in Description Logics [3, 5, 8]. The ranking of explanations is performed in weighted abduction by assigning a cost value to literals in the logic formalism, and in probabilistic abduction by modeling the prior distribution of concepts. In image interpretation, the localization and the spatial relations between the objects are reliable information to derive a description of the spatial entities in a complex scene [4]. Concrete domains are useful to link real world data and abstract reasoning. In [10, 14], Description Logics with concrete domains were proposed for qualitative spatial reasoning, as an efficient way to connect conceptual terminologies to spatial entities and spatial relations in the image domain. In this work, we propose a new preference criterion based on spatial relations to select the *best* explanation in our context. We evaluate the satisfaction degree of qualitative spatial descriptions of a generated hypothesis in the concrete domain (image), hence this evaluation ranking can be used to select the best explanation among the candidates. In particular, the qualitative spatial relations involved in the knowledge representation are encoded in a fuzzy set framework and computed in the image domain. This fuzzy set framework bridges the gap between the concepts and real world data, useful for spatial reasoning. In addition, this allows us to derive a quantitative estimation of the degree of satisfaction of the relations involved in a high level conceptual hypothesis, and thus an evaluation of the hypothesis itself leading to the ranking mentioned above. For example, in the context of medical imaging, obtaining a description of an abnormal structure in a brain requires to derive a hypothesis from the evidence in the image and from anatomical knowledge. The preferred explanation of the observation is then selected based on spatial restrictions such as localization and spatial relations with respect to other structures.

We first present the whole framework of abduction for image interpretation and the related notions in Section 2. We then detail the logical inference process to derive preferred explanations in Section 3. The computation process for estimating the degree of satisfaction of qualitative spatial relations is presented in Section 4. In Section 5 an illustrative example is explained, and we end with a conclusion and future directions in Section 6.

2 Image interpretation as an abduction problem

2.1 Image interpretation framework

Figure 2 shows the major components of our framework in this work. The main components encompass an input image to be interpreted, a prior knowledge base of the application domain and the reasoning service for the purpose of image interpretation. The input image is first translated into symbolic representations in terms of logical formulas. This preprocessing step can be performed either manually or using segmentation and recognition methods as in [9, 16]. The image space is also the concrete domain in which spatial knowledge will be represented. The segmented structure is denoted by an individual associated

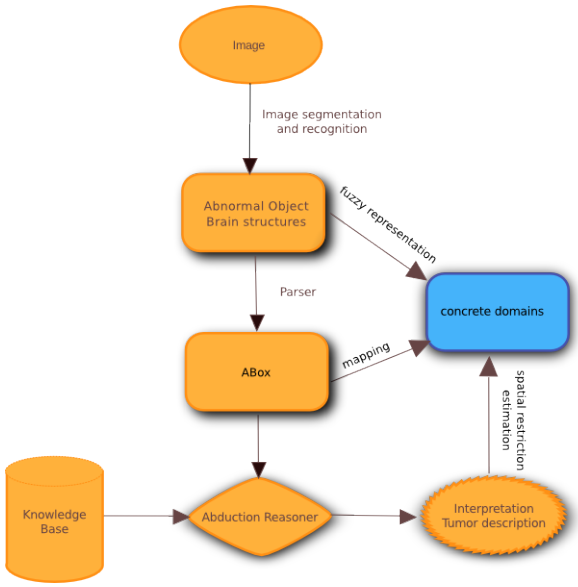


Figure 2: A general diagram of the image interpretation framework.

[1] We use the classical "left is right" convention for display. The "right" structure is on the left side in Figure 1 (i.e. on the right side of the brain).

©AFIA 2016

with a spatial region in the concrete domain. Hypotheses are formulated with the help of the reasoning process taking both the observation (here the image or segmented structures) and the background knowledge into account. The preferred hypothesis depends on the satisfaction of spatial relations in the concrete domain.

2.2 Knowledge representation

In order to represent qualitative spatial relations as well as the inverse and transitive properties useful to reason on such relations, we consider $\mathcal{ALCHI}_{\mathcal{R}^+}$ including inverse roles, symmetric roles and transitive role axioms [12] in this paper. This language supports the transitive and inverse role properties such as $r \equiv s^-$ (inverse role) and $r \circ r \sqsubseteq r$ (transitive role axiom). Accordingly, spatial relations are represented by roles and the spatial properties can be modeled via role axioms. The terminological knowledge is represented using a set of general concepts inclusion (GCIs), in the form $C \sqsubseteq D$ where C and D are two concepts built from a pair of disjoint finite sets N_c (atomic concepts) and N_r (atomic roles), and constructors including concept negation $\neg$, concept conjunction $\sqcap$, concept disjunction $\sqcup$, existential restriction $\exists r.C$ and universal restriction $\forall r.C$.

The semantics is given by an interpretation $\mathcal{I} = (\Delta^{\mathcal{I}}, \cdot^{\mathcal{I}})$, where $\Delta^{\mathcal{I}}$ is a non-empty set which indicates the entire "world" of the application domain, and $\cdot^{\mathcal{I}}$ is an interpretation function which maps concepts and individual symbols to $\Delta^{\mathcal{I}}$ and roles to $\Delta^{\mathcal{I}} \times \Delta^{\mathcal{I}}$.

The knowledge base used in our framework is a triplet $\mathcal{K} = \{\mathcal{T}, \mathcal{R}, \mathcal{A}\}$, where terminologies (TBox, denoted by $\mathcal{T}$) describe basic axioms of the background knowledge, role axioms (RBox, denoted by $\mathcal{R}$) consist of role properties, and assertions (ABox, denoted by $\mathcal{A}$) involve the facts in the observation (such as information extracted from an image).

An example of a knowledge base referring to brain anatomy is as follows, where LVl and LVr denote left and right lateral ventricles, and CNl and CNr left and right caudate nuclei.

$$\begin{aligned} TBox = \{&BrainTumor \sqsubseteq BrainDisease \\ &LVl \sqsubseteq BrainStructure \\ &LVr \sqsubseteq BrainStructure \\ &CNl \sqsubseteq BrainStructure \\ &CNr \sqsubseteq BrainStructure \\ &SmallDeformingTumor \sqsubseteq BrainTumor \sqcap \exists hasEnhancement.NonEnhanced\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} RBox = \{&rightOf \equiv leftOf^- \\ &above \equiv below^- \\ &closeTo \equiv closeTo^- \\ &farFrom \equiv farFrom^- \\ &isPartOf \circ isPartOf \sqsubseteq isPartOf \\ &hasPart \circ hasPart \sqsubseteq hasPart \\ &isPartOf \equiv hasPart^-\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ABox = \{&a : BrainTumor \\ &b : NonEnhanced \\ &\langle a, b\rangle : hasEnhancement\} \end{aligned}$$

2.3 Concept abduction

In this paper, we consider the image interpretation as a concept abduction problem to derive a high level description of the observed tumor. The objects in the observed image are recognized and represented as individuals in the ABox. An ABox abduction problem can be seen as a set of concept abduction problems with respect to each individual. In this work, we focus on the high level description of the obseved tumor. The concept to be explained is constructed on the basis of the individual describing the detected tumor and contextual information in the ABox.

Definition 1 (Concept Abduction)**.** *Let $\mathcal{L}$ be a DL, $\mathcal{K} = \{\mathcal{T}, \mathcal{R}, \mathcal{A}\}$ be a knowledge base in $\mathcal{L}$, and C, D two concepts in $\mathcal{L}$, supposed to be satisfiable with respect to $\mathcal{K}$. The concept abduction problem $\mathcal{P}$ in DL is expressed as follows: given an observation concept $\mathcal{O}$, a satisfiable concept $\mathcal{H}$ with respect to $\mathcal{K}$ is an explanation if $\mathcal{K} \models \mathcal{H} \sqsubseteq \mathcal{O}$ and $\mathcal{H} \not\models \mathcal{O}$.*

The observation concept in concept abduction is a most specific concept of the individual to be explained.

Definition 2 (**Most specific concept** [1])**.** *Given a TBox $\mathcal{T}$ and an associated interpretation $\mathcal{I} = (\Delta^{\mathcal{I}}, \cdot^{\mathcal{I}})$ in a DL $\mathcal{L}$, let $X \subseteq \Delta^{\mathcal{I}}$ be a subset of the interpretation space and E a defined concept of $\mathcal{L}$. The concept E is defined as the most specific concept of X with respect to $\mathcal{I}$ if:*

- $X \subseteq E^{\mathcal{I}}$,
- *for every defined concept $F \in \mathcal{L}$ with $X \subseteq F^{\mathcal{I}}$, we have $\mathcal{T} \models E \sqsubseteq F$.*

Taking the ABox in the previous subsection as an example, the most specific concept of $a^{\mathcal{I}}$ is:
$BrainTumor \sqcap \exists hasEnhancement.NonEnhanced$

Definition 3 (Subconcept [12])**.** *The set $sub(D)$ of the subconcepts of a concept D contains all the concepts occurring in D, and is defined recursively as:*

$$\begin{aligned} sub(A) &= \{A\} \; for \; concept \; names \; A \in N_C \\ sub(C \sqcap E) &= \{C \sqcap E\} \cup sub(C) \cup sub(E) \\ sub(C \sqcup E) &= \{C \sqcup E\} \cup sub(C) \cup sub(E) \\ sub(\exists r.C) &= \{\exists r.C\} \cup sub(C) \\ sub(\forall r.C) &= \{\forall r.C\} \cup sub(C) \end{aligned}$$

For example,

$$\begin{aligned} sub(\exists leftOf.CNl \sqcap \exists closeTo.CNl) = \{&\exists leftOf.CNl \sqcap \exists closeTo.CNl, \\ &\exists leftOf.CNl, \\ &\exists closeTo.CNl, \\ &CNl\} \end{aligned}$$

©AFIA 2016

2.4 Fuzzy concrete domain

Definition 4 (*Fuzzy concrete domain*)**.** *A concrete domain is a pair $\mathcal{D} = \{\Delta_\mathcal{D}, \Phi_\mathcal{D}\}$, where $\Delta_\mathcal{D}$ is a subset of the image domain S (S being $\mathbb{Z}^3$ for a 3D image), and $\Phi_\mathcal{D}$ is a set of functions containing:*

- *a mapping function f associating an individual in the ABox with a fuzzy region of $\Delta_\mathcal{D}$;*
- *an evaluation function e_r^t assigning to a pair of individuals (r, t) a satisfaction degree of a spatial relation, where r is the reference object and t is the target object.*

For example, a region in a MR image is recognized to be the right lateral ventricle. Then, an individual $c : LVr$ is initialized in the ABox. The region $f(c)$ is associated with c by the mapping function. To estimate a satisfaction degree of a relationship $rightOf$ of the target object $a : BrainTumor$ with respect to $c : LVr$, $e_c^a(rightOf)$ is computed by evaluating the satisfaction degree of the proposition "the region $f(a)$ is to the $right\ of$ the region $f(c)$" in the image domain.

2.5 Spatial restriction criterion

Minimality criteria are required to select the *best* hypothesis among the candidate ones. Semantic minimality is one of the most common minimality criteria. Other minimality criteria are discussed in [3] in the context of the DL $\mathcal{EL}$.

Definition 5 (Semantic minimality)**.** *For an abduction problem $\mathcal{P} = \langle \mathcal{T}, \mathcal{H}, \mathcal{O} \rangle$, and $\{\mathcal{H}_1, \ldots, \mathcal{H}_n\}$ a set of potential hypotheses, $\mathcal{H}_i$ is a $\sqsubseteq -minimal$ explanation if there does not exist an explanation $\mathcal{H}_j$ for $\mathcal{P}$ such that $\mathcal{H}_j \sqsubseteq \mathcal{H}_i$.*

The most general hypothesis is selected based on the semantic minimality with respect to the hierarchy of the knowledge base. However, this selection criterion does not reflect the spatial information in the image. Therefore, we propose a preference criterion for hypotheses ranking based on spatial relations restrictions in concrete domains (image domain). The spatial restriction criterion is a quantitative estimation of a concept C involving spatial descriptions $\exists sr.D$ or $\forall sr.D$ where sr is a spatial relation role such as $leftOf$, $closeTo$. The satisfaction degree SD is computed as follows:

- given an instance $a : C$, $E = \exists sr.D$ and $E \in Sub(C)$, and a set of instances I, where $i \in I$ is an instance of a concept D in the ABox ($i : D$), $SD(E) = \sup_{i \in I}(e_i^a(sr))$;
- given an instance $a : C$, $E = \forall sr.D$ and $E \in Sub(C)$, and a set of instances I, where $i \in I$ is an instance of a concept D in the ABox ($i : D$), $SD(E) = \inf_{i \in I}(e_i^a(sr))$;
- for a conjunction of spatial descriptions $C = \sqcap_{j \in J} C_j$, $SD(C) = \inf_{j \in J}(SD(C_j))$;
- for a disjunction of spatial descriptions $C = \sqcup_{j \in J} C_j$, $SD(C) = \sup_{j \in J}(SD(C_j))$.

3 Abductive reasoning using semantic tableau method

In this section, we present the concept abduction method using the semantic tableau method, inspired from [5]. The *best* explanation is then selected based on the spatial restriction criterion. As all observed objects in the ABox can be formulated by the most specific concept, our problem is modeled as a concept abduction.
We present several auxiliary definitions that will be used later.

Definition 6 (Negation normal form)**.** *Negation normal form (NNF) is a concept expression such that the negation constructor appears only before atomic concepts. The rules of transformation are described as follows:*

- $\neg(\neg C) \equiv C$,
- $\neg(C \sqcup D) \equiv \neg C \sqcap \neg D$,
- $\neg(C \sqcap D) \equiv \neg C \sqcup \neg D$,
- $\neg(\exists r.C) \equiv \forall r.\neg C$,
- $\neg(\forall r.C) \equiv \exists r.\neg C$

For example, the negation normal form of the concept $\neg(BrainStructure \sqcap \exists leftOf.CNl)$ is $\neg BrainStructure \sqcup \forall leftOf.\neg CNl$.

Definition 7 (Conjunctive normal form [6])**.** *Conjunctive normal form (CNF) is a concept expression where complex concepts are replaced by the conjunction of their superconcept taking TBox axioms into account. For a concept C and a TBox $\mathcal{T} = \{C \sqsubseteq D\}$, $CNF(C, \mathcal{T}) = C \sqcap D$.*

For example, the conjunctive normal form of the concept $SmallDeformingTumor$ with respect to the TBox described in Section 2 is $SmallDeformingTumor \sqcap BrainTumor \sqcap \exists hasEnhancement.NonEnhanced$.

Definition 8 (Internalized concept [2])**.** *Let $\mathcal{T}$ be a TBox and a set of axioms formulated as $C_i \sqsubseteq D_i$. The internalized concept of the TBox is defined as follows:*

$$C_\mathcal{T} \equiv \sqcap_{(C_i \sqsubseteq D_i \in \mathcal{T})}(\neg C_i \sqcup D_i)$$

For example, the internalized concept of the axiom $LVl \sqsubseteq BrainStructure \sqcap \exists(rightOf \sqcap closeTo).CNl$ is $\neg LVl \sqcup (BrainStructure \sqcap \exists(rightOf \sqcap closeTo).CNl)$.
We reformulate the subsumption in terms of satisfiability: the concept $H \sqcap \neg O$ is not satisfiable with respect to $\mathcal{T}$, where H is a hypothesis, O is an observation, $\mathcal{T}$ is a TBox. This problem can be reduced by testing the satisfiability of a concept $H \sqcap \neg O \sqcap C_\mathcal{T}$, where $C_\mathcal{T}$ is the internalized concept of $\mathcal{T}$. The tableau algorithm is an efficient decision

©AFIA 2016

procedure for the concept satisfiability problem [2]. This method tries to construct a model of a concept C with respect to the given terminological knowledge. All the concepts are required to be expressed in negation normal form. A concept H that causes unsatisfiability of $H \sqcap \neg O \sqcap C_{\mathcal{T}}$ is a potential hypothesis, i.e. the tableau built from this concept is closed. We follow this strategy and propose an extension of the work by Colucci *et al.* in [5].

Definition 9 (A tableau for $\mathcal{ALCHI}_{\mathcal{R}^+}$)**.** *Let D be an $\mathcal{ALCHI}_{\mathcal{R}^+}$ concept in NNF and let R_D be the set of roles in $\mathcal{ALCHI}_{\mathcal{R}^+}$. A tableau T for D is defined as a triplet $(\mathbf{S}, \mathcal{L}, \mathcal{E})$, where $\mathbf{S}$ is a set of interpretation elements; $\mathcal{L}$ relates each interpretation element to a set of concepts occurring in D ($\mathcal{L} : \mathbf{S} \rightarrow \mathbb{P}(sub(D))$ [2]); $\mathcal{E}$ relates each pair of interpretation elements to a set of roles in R_D ($\mathcal{E} : \mathbf{S} \times \mathbf{S} \rightarrow \mathbb{P}(R_D)$).*
Let x and y be two interpretation elements in $\mathbf{S}$ ($x, y \in \mathbf{S}$), C, E be two concepts occurring in D and $r \in R_D$. The tableau to check the satisfiability of D is constructed as a tree structure where each node corresponds to an element of interpretation $x \in \Delta^{\mathcal{I}}$. The node is labeled with a set of concepts $\mathcal{L}(x)$. The edge between the nodes x and y is labeled with corresponding roles $r \in \mathcal{E}(\langle x, y \rangle)$. The following rules are applied for the construction:

1. *if $C \in \mathcal{L}(x)$, then $\neg C \notin \mathcal{L}(x)$;*
2. *if $C \sqcap E \in \mathcal{L}(x)$, then $C \in \mathcal{L}(x)$ and $E \in \mathcal{L}(x)$;*
3. *if $C \sqcup E \in \mathcal{L}(x)$, then $C \in \mathcal{L}(x)$ or $E \in \mathcal{L}(x)$;*
4. *if $\exists r.C \in \mathcal{L}(x)$, then there exists some $y \in \mathbf{S}$ such that $r \in \mathcal{E}(\langle x, y \rangle)$ and $C \in \mathcal{L}(y)$;*
5. *if $\forall r.C \in \mathcal{L}(x)$, then for all $y \in \mathbf{S}$ such that $r \in \mathcal{E}(\langle x, y \rangle)$, $C \in \mathcal{L}(y)$;*
6. *if $\forall r.C \in \mathcal{L}(x)$ and r is a transitive role, then for all $y \in \mathbf{S}$ such that $r \in \mathcal{E}(\langle x, y \rangle)$, $\forall r.C \in \mathcal{L}(y)$.*
7. *$r \in \mathcal{E}(\langle x, y \rangle)$ iff $r^- \in \mathcal{E}(\langle y, x \rangle)$.*
8. *if $r \in \mathcal{E}(\langle x, y \rangle)$ and $r \sqsubseteq v$ (or $r^- \sqsubseteq v^-$) then $v \in \mathcal{E}(\langle x, y \rangle)$.*

Definition 10. *(Clash) A branch contains a clash (i.e. the branch is closed), when $\{C, \neg C\} \subseteq \mathcal{L}(x)$ for a node x and a concept C.*

$$\mathcal{L}(x) = \{C,\ \neg C\}$$
$$\Big|$$
$$\boxtimes$$

A branch is said to be complete when there exists a clash in some node x or none of the rules mentioned above can be applied in the tableau. For a given concept D, D is $satisfiable$ if all the branches in the tableau are complete and at least one branch is open, otherwise D is $unsatisfiable$. By applying expansion rules, the construction process of the tableau is performed until no more rule can be applied or a clash occurs. The hypotheses are generated by constructing a conjunctive concept H including at least the complement of one concept in each open branch. In the selection process, the *best* explanation is selected among a set of consistent hypotheses. In our example, we prefer a high level description of the pathology, which is most specific and has a maximal satisfaction degree of the spatial relations involved in the concept description. Suppose that $\mathcal{H}_1, \cdots, \mathcal{H}_n$ are n most specific candidates. Every $\mathcal{H}$ can be written in CNF with respect to $\mathcal{T}$. An estimation is then performed in the concrete domain (image domain) and $SD(CNF(\mathcal{H}_i))$ can be computed. We will choose the one with maximal value of the satisfaction degree as the *best* explanation. The evaluation of the spatial criterion will be detailed in the next section.

4 Fuzzy representations of spatial relations

In this work, we consider the spatial relations as constraints to evaluate the satisfaction of a hypothesis. The estimation is performed in the concrete domain (image space) using mathematical morphology operators [4] in a fuzzy set framework. The computation aims at answering the question "to which degree a spatial relation is satisfied between two objects".
Let S denote the image space, typically $\mathbb{Z}^3$ for 3D images. A fuzzy set in S is defined by a membership function $\mu : S \rightarrow [0, 1]$ where for $x \in S$, $\mu(x)$ represents the degree to which x belongs to the fuzzy set. For a crisp set, membership degrees take only values 0 and 1. When using spatial representations of spatial relations, $\mu(x)$ will represent the degree to which a spatial relation is satisfied at x with respect to a reference object.

Inclusion Since roles such as $is\ part\ of$ and $has\ part$ are often involved in structural descriptions, inclusion is an important spatial relation. In the crisp case, the inclusion satisfaction degree of "X is a part of Y" often takes values 0 ($X \not\subseteq Y$) or 1 ($X \subseteq Y$). It can also be defined as a number in $[0, 1]$, e.g. $\frac{\sharp(X \cap Y)}{\sharp(X)}$, where $\sharp()$ computes the volume of the object. In the fuzzy case, the satisfaction degree of an inclusion relation of a fuzzy object u in a fuzzy object v is defined using fuzzy set operations [7]: $\inf_{x \in S} I(u(x), v(x))$, where I is a fuzzy implication. The extension of the volume based definition can be formalized as: $\frac{\sum_{x \in S} \min(u(x), v(x))}{\sum_{x \in S} u(x)}$.

Directions Qualitative directional relationships, such as *left of*, *in front of*, *above*, are frequently used in expert knowledge representations (particularly in brain anatomical knowledge [4, 13]) to describe a relative location with respect to a reference object. Such relationships are imprecise even for crisp objects. Fuzzy representations are suitable to model these imperfections in the image domain,

[2] $\mathbb{P}(sub(D))$ is the power set of $sub(D)$.

©AFIA 2016

and can be defined using fuzzy dilation [4]. For instance for "right of", the reference object is dilated using a fuzzy structuring element modeling the semantics of "right of", defining the region of space to the right of it. Then the inclusion of the target object in this fuzzy region is evaluated.

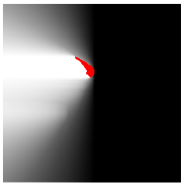


Figure 3: Region to the "right of" the right caudate nucleus (red region).

Distances Distances give metric information in the spatial domain. Qualitative representations of relations such as *close to* and *far from* are also frequently used in anatomical knowledge. Each qualitative distance value can be represented as a fuzzy set on the real line as illustrated in Figure 4. For example, the relation $far\ from$ is an increasing function that maps a distance value to a satisfaction degree in $[0, 1]$. This function can then be used to define the region of space *far from* the reference object, e.g. the fuzzy region of *far from* with respect to the right lateral ventricle, as shown in Figure 5a, where the brightness of pixels represents the degree of *far from* with respect to the reference object. The degree to which another object is close to the reference object can then be computed. This satisfaction degree can also be computed as $\mu_{far}(d)$, where d is the distance between the two objects (minimum, average or Hausdorff distance), as shown in Figure 5b and μ_{far} the fuzzy set defining "far" on the real line as in Figure 4. In our experiments we use this second approach.

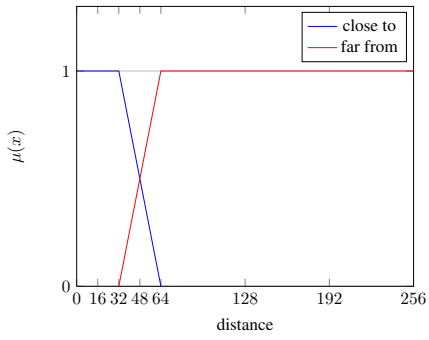
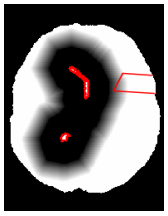


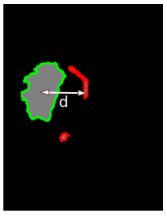
Figure 4: Membership functions of qualitative distance values.

5 An illustrative example

In this section, we give an example to show how the proposed image interpretation framework can be used for a high level semantic description extraction in a pathological brain image context. The following TBox describes a pathological anatomical knowledge and the ABox represents the parsing results of the structures detected using image processing tools [9, 16]. We take the same RBox as in Section 2.2 for the illustration.



(a) Fuzzy region "far from" the right lateral ventricle (the object with red contour).



(b) Distance measurement between two objects (minimum, average or Hausdorff distance can be used).

Figure 5: Two methods of distance computation.

$$
\begin{aligned}
TBox = \{ Hemisphere &\sqsubseteq \exists isPartOf.Brain \\
BrainStructure &\sqsubseteq \exists isPartOf.Brain \\
BrainDisease &\sqsubseteq \exists isPartOf.Brain \sqcap \neg BrainStructure \\
BrainTumor &\sqsubseteq BrainDisease \\
LVl &\sqsubseteq BrainStructure \\
LVr &\sqsubseteq BrainStructure \\
CNl &\sqsubseteq BrainStructure \\
CNr &\sqsubseteq BrainStructure \\
PeripheralRegion &\sqsubseteq \exists isPartOf.Brain \\
SubCorticalRegion &\sqsubseteq \exists isPartOf.Brain \\
SmallDeformingTumor &\sqsubseteq BrainTumor \sqcap \exists hasEnhancement.NonEnhanced \\
PeripheralSmallDeformingTumor &\sqsubseteq SmallDeformingTumor \sqcap \\
&\quad \exists isPartOf.PeripheralRegion \sqcap \\
&\quad \exists farFrom.(LVl \sqcup LVr) \\
SubCorticalSmallDeformingTumor &\sqsubseteq SmallDeformingTumor \sqcap \\
&\quad \exists isPartOf.SubCorticalRegion \sqcap \\
&\quad \exists rightOf.CNr \}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
ABox = \{ a &: BrainTumor \\
b &: NonEnhanced \\
\langle a, b \rangle &: hasEnhancement \\
c &: CNr \\
d &: CNl \\
k &: LVr \\
m &: LVl \\
p &: PeripheralRegion \\
s &: SubCorticalRegion \}
\end{aligned}
$$

Figure 6 shows a slice of the global segmentation of the observed image. The instances in the ABox such as a, c, d, k, m, p and s are associated with subsets of the concrete domain. These regions are presented in Figures 7 and 8.

We aim at extracting a high level description of the tumor in the terminological language. As illustrated in Section 2, the most specific concept of $a^{\mathcal{I}}$ is formalized as $BrainTumor \sqcap \exists hasEnhancement.NonEnhanced$. The semantic tableau method is then applied for generating consistent hypotheses. A possible hypotheses set is: *SmallDeformingTumor*, *PeripheralSmallDeformingTumor*, *Sub-*

©AFIA 2016

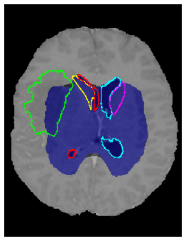


Figure 6: A segmentation of the observed MRI volume. The color shapes represent different structures segmented in the MRI volume. The blue region (respectively the gray region) represents the subcortical region (respectively the peripheral region) in the brain.

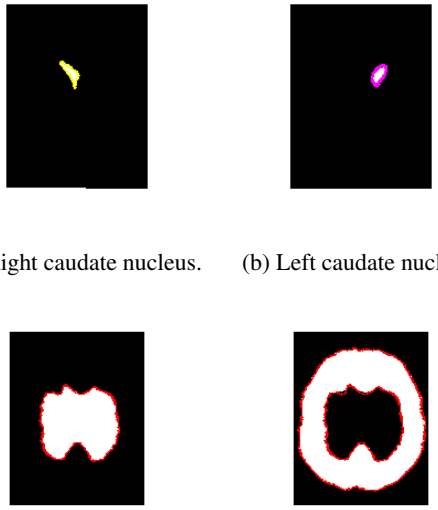
(a) Segmented brain tumor. (b) Right lateral ventricle. (c) Left lateral ventricle.

Figure 7: Segmented brain tumor and lateral ventricles.

CorticalSmallDeformingTumor. Obviously, *PeripheralSmallDeformingTumor*, *SubCorticalSmallDeformingTumor* are two more specific hypotheses compared with *SmallDeformingTumor*. In addition, the spatial restriction criterion is considered to find the *best* explanation. The two hypotheses are represented in CNF:

$$\begin{aligned} PeripheralSmallDeformingTumor \sqcap SmallDeformingTumor \sqcap \\ \exists isPartOf.PeripheralRegion \sqcap \\ (\exists farFrom.LVl \sqcup \\ \exists farFrom.LVr) \\ SubCorticalSmallDeformingTumor \sqcap SmallDeformingTumor \sqcap \\ \exists isPartOf.SubCorticalRegion \sqcap \\ \exists rightOf.CNr \end{aligned}$$

For example, the hypothesis *PeripheralSmallDeformingTumor* consists of three spatial descriptions: $\exists isPartOf.PeripheralRegion$, $\exists farFrom.LVl$, $\exists farFrom.LVr$. Therefore, we can estimate the satisfaction degree of inclusion between fuzzy representations of $BrainTumor$ and $PeripheralRegion$ as well as the distance between fuzzy representations of $BrainTumor$ and LVl, LVr. Here, we take the volume based method to estimate the satisfaction degree of the inclusion, and we measure the distance using the average Euclidean distance. The overall aggregation satisfaction degree of *PeripheralSmallDeformingTumor* is $\min(e^a_p(isPartOf), \max(e^a_k(farFrom), e^a_m(farFrom))) = \min(0.89, \max(0.13, 0.34)) = 0.34$. Similarly, the satisfaction degree of *SubCorticalSmallDeformingTumor* is $\min(e^a_s(isPartOf), e^a_c(rightOf)) = \min(0.81, 0.11) = 0.11$. As a result, the *PeripheralSmallDeformingTumor* is considered as the *best* explanation.



(a) Right caudate nucleus. (b) Left caudate nucleus.

(c) Subcortical region (containing the gray nuclei). (d) Peripheral region (containing the cortex).

Figure 8: Caudate nuclei, subcortical region and peripheral region.

6 Conclusion

We have exploited abductive reasoning based on spatial concrete domains for image interpretation. The proposed framework involves Description Logics for knowledge representation and a semantic tableau method for generating consistent hypotheses for abduction. The *best* explanation is measured based on a spatial restriction criterion in the image domain. The quantitative estimation is computed based on fuzzy representations of spatial relations in concrete domains (image domain) for qualitative spatial relations defined in the knowledge base. This contribution illustrates a concrete criterion in decision making for image interpretation to tackle the semantic gap.

At this stage, the semantic tableau method produces a large number of hypotheses. However, most of them are irrelevant or unsatisfiable. In addition, the concrete domains are only used in the explanation selection. In order to reduce the size of the hypotheses set and improve the efficiency of the inference process, an iterative method will be considered in the future to integrate the selection process using concrete domains in an iterative way. Instead of adding all internalized concepts to the tableau, only relevant axioms are added to corresponding branches that cause a closure. This action can avoid generating unsatisfiable hypotheses. Since the observation is a conjunction of the concepts, the partial hypotheses in each branch will be ordered according to the minimality criterion based on concrete domains. The

©AFIA 2016

selection process for the "best" explanation will be directly embedded into the tableau construction process.
Fuzzy logic is also a useful ingredient in knowledge representation dealing with imprecision and vague information. Another strategy to integrate fuzzy set theory into knowledge representation is to add fuzzy values to terminological and assertional knowledge at the logical level.

References

[1] Jamal Atif, Céline Hudelot, and Isabelle Bloch. Explanatory reasoning for image understanding using formal concept analysis and description logics. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 44(5):552–570, 2014.

[2] Franz Baader, Diego Calvanese, Deborah L. McGuinness, Daniele Nardi, and Peter F. Patel-Schneider. *The Description Logic handbook: theory, implementation, and applications*. Cambridge university press, 2003.

[3] Meghyn Bienvenu. Complexity of abduction in the $\mathcal{EL}$ family of lightweight description logics. In *11th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR08)*, pages 220–230, 2008.

[4] Isabelle Bloch. Fuzzy spatial relationships for image processing and interpretation: a review. *Image and Vision Computing*, 23(2):89 – 110, 2005.

[5] Simona Colucci, Tommaso Di Noia, Eugenio Di Sciascio, Francesco M. Donini, and Marina Mongiello. A uniform tableaux-based approach to concept abduction and contraction in $\mathcal{ALN}$. In *17th International Workshop on Description Logics (DL)*, volume 104, pages 158–167, 2004.

[6] Tommaso Di Noia, Eugenio Di Sciascio, and Francesco M Donini. Semantic matchmaking as nonmonotonic reasoning: A description logic approach. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 29:269–307, 2007.

[7] Didier Dubois and Henri Prade. *Fuzzy sets and systems: theory and applications*. Academic press, 1980.

[8] Corinna Elsenbroich, Oliver Kutz, and Ulrike Sattler. A case for abductive reasoning over ontologies. In *OWL: Experiences and Directions*, volume 216, pages 10–20, 2006.

[9] Geoffroy Fouquier, Jamal Atif, and Isabelle Bloch. Sequential model-based segmentation and recognition of image structures driven by visual features and spatial relations. *Computer Vision and Image Understanding*, 116(1):146–165, 2012.

[10] Volker Haarslev, Carsten Lutz, and Ralf Möller. A description logic with concrete domains and a role-forming predicate operator. *Journal of Logic and Computation*, 9(3):351–384, 1999.

[11] Jerry R. Hobbs, Mark E. Stickel, Douglas E. Appelt, and Paul Martin. Interpretation as abduction. *Artificial Intelligence*, 63(1-2):69–142, 1993.

[12] Ian Horrocks and Ulrike Sattler. A description logic with transitive and inverse roles and role hierarchies. *Journal of Logic and Computation*, 9(3):385–410, 1999.

[13] Céline Hudelot, Jamal Atif, and Isabelle Bloch. A spatial relation ontology using mathematical morphology and description logics for spatial reasoning. In *ECAI workshop on Spatial and Temporal Reasoning*, pages 21–25, 2008.

[14] Céline Hudelot, Jamal Atif, and Isabelle Bloch. $\mathcal{ALC}(\mathbf{F})$: A new description logic for spatial reasoning in images. In *Computer Vision-ECCV 2014 Workshops*, pages 370–384. Springer, 2014.

[15] Ralf Möller, Özgür Özçep, Volker Haarslev, Anahita Nafissi, and Michael Wessel. Abductive conjunctive query answering wrt ontologies. *KI-Künstliche Intelligenz*, pages 1–6, 2015.

[16] Olivier Nempont, Jamal Atif, and Isabelle Bloch. A constraint propagation approach to structural model based image segmentation and recognition. *Information Sciences*, 246:1–27, 2013.

[17] Bernd Neumann and Ralf Möller. On scene interpretation with description logics. *Image and Vision Computing*, 26(1):82–101, 2008.

[18] Sofia Espinosa Peraldi, Atila Kaya, Sylvia Melzer, Ralf Möller, and Michael Wessel. Multimedia interpretation as abduction. In *20th International Workshop on Description Logics*, pages 323–330, 2007.

[19] Murray Shanahan. Perception as abduction: Turning sensor data into meaningful representation. *Cognitive science*, 29(1):103–134, 2005.

[20] Arnold WM Smeulders, Marcel Worring, Simone Santini, Amarnath Gupta, and Ramesh Jain. Content-based image retrieval at the end of the early years. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22(12):1349–1380, 2000.

©AFIA 2016

Activité AFIA

1er août 2014 – 31 juillet 2016

Editeurs : Conseil d'Administration de l'AFIA – Année 2016

AfIA
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

A propos de l'AFIA

L'objet de l'AFIA, Association Loi 1901 sans but lucratif, est de promouvoir et de favoriser le développement de l'Intelligence Artificielle (IA) sous ses différentes formes, de regrouper et de faire croître la communauté française en IA, et d'en assurer la visibilité.

L'AFIA anime la communauté par l'organisation de grands rendez-vous annuels. En alternance les années impaires et paires, l'AFIA organise la « Plate-forme IA » (PFIA 2013 Lille, PFIA 2015 Rennes, PFIA 2017 Caen) et la « Conférence Nationale en Intelligence Artificielle » (CNIA) au sein du Congrès RFIA (RFIA 2014 Rouen, RFIA 2016 Clermont-Ferrand). Chaque année se tiennent également en ces occasions les « Rencontres des Jeunes Chercheurs en IA » (RJCIA) et la « Conférence sur les Applications Pratiques de l'IA » (APIA) comme autant de Sections Spéciales de CNIA.

A l'occasion de son édition 2017 la Plate-Forme IA de l'AFIA, qui se tiendra à Caen du 3 au 7 juillet à (PFIA 2017 Caen) accueillera, outre la 15ème RJCIA et la 3ème APIA, les 11èmes Journées IAF, la 28ème Conférence IC, les 12ème Journées JFPDA, et les 25ème Journées JFSMA. L'AFIA y organise également une compétition « IA dans Jeux Vidéos », un tout nouvel espace de rencontre de la communauté en IA.

Forte du soutien de ses 340 adhérents actuels, l'AFIA assure :

- Le maintien d'un site web dédié à l'IA, reproduisant également les Brèves : AFIA
- Une journée recherche annuelle sur les Perspectives et Défis en en IA (PDIA 2016)
- Une journée industrielle annuelle ou Forum Industriel en IA (FIIA 2016)
- La remise annuelle d'un Prix de Thèse de Doctorat en IA,
- Le soutien à des Collèges ayant leur propre activité, actuellement :
    - Collège Industriel (depuis janvier 2016)
    - Collège Ingénierie des Connaissances (depuis avril 2016)
- La parution trimestrielle des Bulletins de l'AFIA, en accès libre à tous,
- La diffusion mensuelle de Brèves sur les actualités de l'IA en France et à l'étranger,
- La réponse aux consultations officielles (MENESR, MEIN, ANR, CGPME, …),
- Un lien entre adhérents sur les réseaux sociaux LinkedIn et Facebook, et Twitter.
- La réponse à la presse écrite et à la presse orale, également sur internet.

L'AFIA organise aussi des Journées communes à un rythme mensuel (en 2016 : Extraction et Gestion des Connaissances & IA avec EGC, Réalité Virtuelle & IA avec l'AFRV, Traitement Automatique des Langues & IA avec l'ATALA, Santé & IA avec l'AIM, Reconnaissance des Formes & IA avec l'AFRIF, Classification et IA avec la SFC, Systèmes d'Information et IA avec INFORSID) et avec des GdR du CNRS (en 2016 : Robotique & IA avec le GdR Robotique, Masses de Données, Informations et Connaissances en Sciences avec le GdR MaDICS).

Finalement l'AFIA contribue à la participation de ses membres aux grands événements de l'IA. Ainsi, les membres de l'AFIA, pour leur inscription à RFIA 2016, ont-ils bénéficié d'une réduction équivalente à deux fois le coût de leur adhésion à l'AFIA.

Nous vous invitons à adhérer à l'AFIA pour contribuer au développement de l'IA en France. L'adhésion peut être individuelle ou, à partir de cinq adhérents, être réalisée au titre de personne morale (institution, laboratoire, entreprise). Pour adhérer, il suffit de vous rendre sur le site des Adhésions de l'AFIA.

Merci également de susciter de telles adhésions en diffusant ce document autour de vous !

AfIA
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

Conseil d'Administration 2015

Président	Yves DEMAZEAU	GT Communication, PDIA 2014 2015, PFIA 2015
V.-Président	Pierre ZWEIGENBAUM	GT Enseignement, Recherche
Trésorier	Thomas GUYET	GT Trésorerie, Web, PFIA 2015
Secrétaire	Olivier BOISSIER	Parrainages, Prix de Thèse, PDIA 2014, PFIA 2015
Webmestre	Patrick REIGNIER	GT Web & Mail, Communication, Enseignement
Rédacteur	Laurent VERCOUTER	GT Bulletins, Recherche
Membres	Carole ADAM	GT Compétitions, JV&IA 2015, Brèves, Dossier n°87
	Patrick ALBERT	Applications, Communication
	Audrey BANEYX	Finances, Web & Mail, PFIA 2015
	Florence BANNAY	Bulletins, Nuit de l'Info 2015, Dossier n°88
	Amélie CORDIER	Communication, Archivage HAL
	Cédric BUCHE	Compétition
	Catherine FARON-ZUCKER	GT Journées, SI&IA 2015, Finances
	Sébastien KONIECZNY	Collèges, Recherche
	Nicolas MAUDET	Bulletins, RO&IA 2015
	Engelbert MEPHU NGUIFO	EGC&IA 2016
	Davy MONTICOLO	Adhésions, Trésorerie, MACS&IA 2015
	Philippe MORIGNOT	Bulletins, Compétition
	Philippe MULLER	GT Recherche, PDIA 2015, TAL&IA 2016
	Bruno PATIN	GT Applications, Collège Industriel, FIIA 2016

Conseil d'Administration 2016

Président	Yves DEMAZEAU	GT Communication, RFIA 2016
V.-Président	Pierre ZWEIGENBAUM	IM&IA 2016, Recherche
Trésorier	Catherine FARON-ZUCKER	GT Trésorerie, SI&IA 2015, RFIA 2016
Secrétaire	Olivier BOISSIER	Parrainages, Prix de Thèse, RFIA 2016, PDIA 2016
Webmestre	Patrick REIGNIER	Web, Mail, Communication, Enseignement
Rédacteur	Florence BANNAY	GT Bulletins, Nuit de l'Info 2015
Membres	Carole ADAM	GT Compétitions, JV&IA 2015, Brèves
	Patrick ALBERT	Communication, PDIA 2016
	Olivier AMI	Bulletins, Applications
	Audrey BANEYX	GT Web & Mail, Dossier n°92
	Sandra BRINGAY	GT Enseignement, Web
	Cédric BUCHE	RV&IA 2016,
	Thomas GUYET	Trésorerie, Recherche, Web
	Frédéric MARIS	RFIA 2016, Conférences, Archivage HAL
	Nicolas MAUDET	Bulletins, RO&IA 2016
	Engelbert MEPHU NGUIFO	GT Journées, EGC&IA 2016
	Davy MONTICOLO	Adhésions, Trésorerie
	Philippe MORIGNOT	IA sur Robots 2016, Bulletins
	Philippe MULLER	GT Recherche, PDIA 2015, TAL&IA 2016, Dossier n°95
	Bruno PATIN	GT Applications, Collège Industriel, FIIA 2016

AfIA
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

Collège
Ingénierie des Connaissances

Objectif du Collège

L'objectif du collège est d'animer la communauté de recherche française en Ingénierie des Connaissances. Les thématiques de recherche de cette communauté sont relatives aux méthodes et outils de l'Intelligence Artificielle dédiées au partage et la gestion des données et des connaissances au sein des organisations ou des communautés, via leur explicitation, représentation, mise en relation, diffusion et maintenance. Cette communauté de recherche est par essence pluridisciplinaire, se rapproche des sciences cognitives d'autres domaines de l'IA comme la représentation des connaissances ou le traitement automatique du langage naturel. Depuis quelques années, sa problématique est bousculée par la disponibilité de grandes quantités de données et de documents sur le web, et par l'objectif ambitieux de faire du web un web sémantique et un web de données liées. Ces recherches portent sur :

- La définition de modèles, méthodes, algorithmes et outils permettant l'acquisition et l'intégration de connaissances ainsi que les raisonnements automatiques sur ces connaissances dans des environnements informatiques, et sur le web

- La construction, utilisation et maintenance d'ontologies permettant de représenter des connaissances généralistes ou spécifiques, de typer des données et de faciliter leur échange ou leur mise en relation

- La construction des systèmes à base de connaissances faisant appel au traitement automatique des langues, à l'apprentissage automatique, à la fouille de données, à la recherche d'information, à la recherche opérationnelle, à l'analyse de données,

- La modélisation des environnements informatiques incluant la modalisation de ses acteurs humains ou agents logiciels et de leurs interactions,

- Le traitement de la masse de données et de documents disponibles, leur caractérisation sémantique par l'analyse des données et des contenus pour les partager, diffuser, visualiser, interroger, contextualiser, expliquer, valider, recommander, classer, prédire, approximer, sécuriser, fiabiliser, valider, pour pallier à leur imprécision voire incohérence.

Les défis actuels dans le domaine de l'Ingénierie des Connaissances portent sur l'extrême variabilité des sources de connaissances, les dimensions temporelles et spatiales, les passages à l'échelle avec la massification du Web et l'émergence de dispositifs associant la construction de connaissances nouvelles dans des cadres ontologiques dynamiques.

Programme de Travail

Le collège Ingénierie des Connaissances a d'abord un rôle de diffusion de l'information. Il gère une liste de diffusion sur l'ingénierie des connaissances (qui compte près de 800 inscrits), contribue à la rubrique « Collèges » du Bulletin de l'AFIA, et maintiendra prochainement une page web du collège IC sur le nouveau site Web de l'AFIA.

Le collège contribue également à l'animation et au dynamisme de la communauté de recherche en Ingénierie des Connaissances. Il est moteur dans l'organisation de la conférence nationale d'Ingénierie des

Connaissances (IC), ainsi que de la conférence Terminologie et Intelligence Artificielle (TIA) et des Journées Francophones des Ontologies (JFO). Ses membres contribuent également à la fabrication de certaines « Journées Communes » de l'AFIA avec d'autres sociétés savantes, notamment les journées « Informatique médical et Intelligence Artificielle » (IM&IA), « Systèmes d'information et Intelligence Artificielle » (SI&IA), et à l'organisation d'ateliers sur la Plateforme Française d'Intelligence Artificielle (PFIA) et d'ateliers co-localisés avec la Conférence Nationale d'Intelligence Artificielle (CNIA).

Comité de Pilotage

Le comité de pilotage du collège est constitué de 10 chercheurs spécialisés dans le domaine de l'Ingénierie des Connaissances, tous membres des comités de programme de la conférence nationale d'ingénierie des Connaissances (IC) et/ou de la conférence Terminologie et Intelligence Artificielle (TIA) et/ou de la conférence Journées Francophones des Ontologies (JFO), et la plupart présidents d'éditions passées de la conférence nationale d'Ingénierie des Connaissances :

- Marie-Hélène Abel, membre du comité de programme de IC
  Université de technologie de Compiègne, HEUDIASYC

- Sandra Bringay, membre des comités de programme de IC et de JFO
  Université Paul Valéry Montpellier 3, LIRMM

- Jean Charlet, membre des comités de programme de IC et de TIA
  Assistance Publique-Hôpitaux de Paris, INSERM, LIMICS

- Sylvie Després, membre des comités de programme de IC et de JFO
  Université Paris 13, LIMICS

- Catherine Faron-Zucker, membre du comité de programme de IC
  Université Nice Sophia Antipolis, I3S et Inria SAM

- Nathalie Hernandez, membre des comités de programme de IC et de JFO
  Université Jean Jaurès Toulouse 2, IRIT

- Pascale Kuntz, membre du comité de programme de IC
  Université de Nantes, LINA

- Alain Mille, membre des comités de programme de IC et de JFO
  Université Claude Bernard Lyon 1, LIRIS

- Raphaël Troncy, membre du comité de programme de IC
  EURECOM

- Haifa Zargayouna, membre des comités de programme de IC et de JFO
  Université Paris 13, LIPN

Contacts

Liste de diffusion Ingénierie des connaissances : info-ic@listes.irisa.fr
Comité de pilotage du collège Ingénierie des connaissances : college-ic-bureau@irit.fr
Deux membres du comité de pilotage du collège sont membres du conseil d'administration de l'AFIA :

- Catherine Faron Zucker, responsable du collège IC vis-à-vis de l'AFIA, faron@unice.fr

- Sandra Bringay, sandra.bringay@lirmm.fr

AfIA
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

Prix de Thèse IA 2015

Le Jury

- Président : Luis Farinas Del Cerro
- Membres : Leila Amgoud, Christian Bessière, Didier Dubois, Hélène Fargier, Jean-Gabriel Ganascia, Andreas Herzig, Jérôme Lang, Pierre Marquis, François Pachet, Henri Prade, Marie Christine Rousset

Les Lauréats

- Prix de Thèse IA : Jean-Guillaume Fages "Exploitation de structures des graphes en programmation par contraintes", thèse dirigée par M. Nicolas Beldiceanu et M. Xavier Lorca (Ecole des Mines de Nantes), soutenue le 23 octobre 2014.
- 1er Accessit IA (ex-aequo) : Bilal Piot "Apprentissage hors-ligne avec Démonstration Experts", thèse dirigée par Olivier Pietquin et Mathieu Geist (Supélec IMS, Metz), soutenue le 14 Novembre 2014.
- 1er Accessit IA (ex-aequo) : Victor Gabillon "Algorithmes Budgétisés d'Itération sur des politiques Obtenues par Classification", thèse dirigée par Mohammad Ghavamzadeh et Philippe Preux (LIFL & Inria Lille Nord - Europe, Université de Lille 1) soutenue le 12 juin 2014.

Prix de Thèse IA 2016

Le Jury

- Président : Luis Farinas Del Cerro
- Membres : Leila Amgoud, Christian Bessière, Marie Odile Cordier, Hélène Fargier, Jean-Gabriel Ganascia, Malik Ghallab, Andreas Herzig, Jérôme Lang, Pierre Marquis, François Pachet, Henri Prade, Marie Christine Rousset

Les Lauréats

- Prix de Thèse IA (ex-aequo) : Antoine Cully "Adaptation créative par évolution artificielle", thèse dirigée par M. Stéphane Doncieux et M. Jean-Baptiste Mouret (ISIR, UPMC), soutenue le 21 décembre 2015.
- Prix de Thèse IA (ex-aequo) IA : Marc Law "Apprentissage de distance pour la comparaison d'images et de pages Web", thèse dirigée par M. Matthieu Cord et M. Stéphane Gançarski (LIP6, UPMC), soutenue le 20 janvier 2015.

AfIA
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

Bulletins

Le bulletin de l'AFIA fournit un cadre de discussions et d'échanges au sein de la communauté. Toutes les contributions, pour peu qu'elles aient un intérêt général, sont les bienvenues. Le bulletin contient des rubriques régulières de compte-rendu des conférences, journées et autres événements que l'AFIA organise ou parraine, les résumés d'Habilitations à Diriger des Recherches et de Thèses de Doctorat, et un Dossier Spécial qui dresse un état de l'art sur un domaine particulier de l'IA, ou présente des équipes françaises de recherche en IA, académiques ou industrielles. Tous les bulletins de l'AFIA sont accessibles librement depuis le site de l'AFIA.

Le Comité de Rédaction

Le comité de rédaction 2015, comprenait Nicolas Maudet, Philippe Morignot, Patrick Reignier et Laurent Vercouter – Rédacteur en Chef –. Le comité de rédaction 2016, comprend Florence Bannay – Rédactrice en Chef –, Olivier Ami, Dominique Longin, Nicolas Maudet et Philippe Morignot.

Numéro 86 Dossier « IA et EIAH » Octobre 2014

- Sylvie Després, présidente du comité de programme de CNIA 2014, a coordonné avec l'aide des présidents de session la rédaction d'un résumé des présentations que vous pouvez lire en début de ce bulletin. Un résumé des trois conférenciers invités suit ce compte-rendu ainsi que celui de la contribution de Nathanaël Barrot, lauréat du prix du meilleur papier de CNIA 2014. Un compte-rendu de la section RJCIA 2014 est également disponible dans ce numéro.

- Le dossier spécial de ce bulletin a été préparé par Nathalie Guin et Serge Garlatti. Il est consacré aux environnements informatiques pour l'apprentissage humain (EIAH) et aux recherches en Intelligence Artificielle appliquées à ce domaine, par une description de cinq équipes et six projets.

Bulletin 87 Dossier « IA et Jeux Vidéo » Janvier 2015

- Plusieurs compte-rendu de derniers événements et prix parrainés par l'AFIA vous sont proposés avant ce dossier spécial. Il s'agit d'abord de PDIA 2014, la première journée Recherche de l'AFIA qui s'est tenue en octobre 2014 en l'honneur des cinq ECCAI Fellows français élus en 2014 : Leila Amgoud, Jérôme Euzenat, Hélène Fargier, Andreas Herzig et François Pachet. Le second compte-rendu est un résumé des deux articles ayant reçu à égalité le prix de la meilleure contribution aux Journées Francophones sur les Systèmes Multi-Agents.

- Le dossier spécial de ce bulletin est consacré à la présentation d'un ensemble de réalisations appliquant des méthodes d'Intelligence Artificielle au domaine des jeux vidéo. Ce dossier présente des approches issues à la fois du monde académique et de l'industrie et nous livre ainsi une intéressante confrontation de ces deux visions et de leur convergence.

Bulletin 88 Dossier « IA et Aide à la Décision » Avril 2015

- Pierre De Loor nous offre un compte rendu de la journée IHM et I.A. tenue à Télécom ParisTech le 20 mars 2015. Catherine Faron-Zucker nous propose le compte rendu de la journée Sciences Cognitives et I.A. tenue en janvier dernier.

- Dans ce numéro du bulletin, Florence Bannay nous propose un dossier spécial IA et Aide à la décision, rassemblant 18 équipes francophones.

Bulletin 89 **Dossier « Equipes de recherche »** **Juillet 2015**

- Catherine Faron-Zucker nous propose un compte rendu de la journée Systèmes d'informations et I.A. tenue le 27 mai 2015 à Biarritz.

- Ce numéro contient un dossier spécial de présentation d'équipes académiques de recherche en IA.

Bulletin 90 **Dossier « PFIA 2015 »** **Octobre 2015**

- Ce numéro propose deux compte-rendu de journées communes, l'une, EIAH & IA, organisée en coopération avec l'ATIEF, l'autre, Jeux Vidéo et IA, organisée en coopération avec le Pôle de Compétitivité Images et Réseaux.

- Vous trouverez dans ce numéro le compte-rendu détaillé de la plateforme PFIA 2015 qui s'est tenue à Rennes du 29 Juin au 3 Juillet présidée par Thomas Guyet et René Quiniou. Avec pas moins de six conférences hébergées, sans oublier deux ateliers associés en plus des deux journées communes, la plateforme aura permis aux nombreux participants d'avoir une vue d'ensemble de l'I.A., dans sa diversité. L'événement fut aussi une occasion unique d'écouter sept exposés invités, parmi lesquels celui du lauréat du prix de thèse AFIA pour l'année 2015, Jean-Guillaume Fages. Signalons que les vidéos de ces conférences invitées sont accessibles depuis le site de la plateforme (http://pfia2015.inria.fr/), tout comme les actes des différentes conférences et ateliers.

Bulletin 91 **Dossier « IA et Transport »** **Janvier 2016**

- Vous pourrez lire les compte-rendu de nouveaux événements comme celui de la rencontre entre « Science & Télévision » et IA rapportée par Yves Demazeau et Marina Vasseur, la journée MACS& IA relatée par Davy Monticolo et Éric Bonjour, et enfin la journée RI & IA qui nous est décrite par Brigitte Grau et Jean-Pierre Chevallet. Florence Bannay nous fait un compte rendu du premier défi proposé par l'AFIA lors de la nuit de l'info 2015. Philippe Muller présente la deuxième édition de la journée PDIA consacrée aux Apprentissages

- Le dossier IA et Transport a été réalisé par Flavien Balbo et René Mandiau avec la présentation d'une quinzaine d'équipes de recherche qui travaillent dans ce domaine.

Bulletin 92 **Dossier « IA et Humanités numériques »** **Avril 2016**

- Dans ce numéro, nous retrouvons les compte-rendu de trois journées bilatérales tenues récemment, Extraction et Gestion des Connaissances & IA avec EGC, Réalité Virtuelle et IA avec l'AFRV, et Traitement Automatique des Langues et IA, avec ATALA.

- Audrey Baneyx nous propose un dossier sur les Humanités Numériques, qui illustre à travers des exemples de projets ou d'équipes de recherches l'originalité et la vitalité de cette thématique, qui mobilise plusieurs facettes de l'IA autour de questions issues des sciences humaines et sociales.

Bulletin 93 **Dossier « Equipes de recherche »** **Juillet 2016**

- L'AFIA a tenu en Avril 2016 FIIIA 2016, son premier Forum Industriel de l'IA dont un compte-rendu nous est proposé par Bruno Patin. Cet événement est l'occasion de mettre en valeur les membres fondateurs du Collège Industriel de l'AFI qui a été créé en 2016.

- Ce numéro contient un dossier spécial de présentation d'équipes industrielles de recherche en IA.

PDIA 2014

L'Association Française pour l'Intelligence Artificielle organise sa première journée sur les PERSPECTIVES ET DEFIS DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE en l'honneur des « ECCAI Fellows » français élus en 2014.

Cette journée se tient sous le patronage du MESR Direction Générale de la Recherche et de l'Innovation (DGRI), du CNRS Institut des Sciences de l'Information et de leurs Interactions (INS2I), et de Inria.

Date et Lieu

- Date : 02 octobre 2014
- Lieu : Salle A709, Université Paris-Dauphine, Pl. du M. de Lattre de Tassigny, 75016 Paris

Programme

- 09h20 Introduction de la journée par Yves Demazeau *(Président de l'AFIA)*
- 09h30 Ouverture de Pascal Estraillier *(Chargé de mission STIC à la MESR DGRI, Direction Générale de la Recherche et de l'Innovation)*
- 09h40 Ouverture de Michel Bidoit *(Directeur Scientifique de l'Institut INS2I du CNRS, Institut des Sciences de l'Information et de leurs Interactions)*
- 09h50 Ouverture de Bertrand Braunschweig *(Directeur du Centre Inria Rennes Bretagne Atlantique)*

- 10h00 « Quelles logiques pour les systèmes multi-agents ? » par Andreas Herzig *(IRIT, CNRS)*
  On présente un état de l'art sur les modèles logiques des systèmes multi-agents en se focalisant sur les concepts centraux : connaissance, croyance, temps et action. Dans une perspective de représentation des connaissances, il discute les aspects problématiques des approches standard et pose la question de "Quelles logiques pour les systèmes multi-agents ? ". Andreas présente les différents modèles qu'il a réalisés durant sa carrière et il les positionne dans cet état de l'art.

- 10h45 Pause

- 11h00 « Créativité et style : de nouveaux problèmes pour l'IA » par François Pachet *(Sony CSL, Sony)*
  On place les questions de créativité, forme spécifique de l'intelligence humaine, et de style dans une perspective de renouvellement de la notion de problème, centrale dans notre discipline. L'exposé décline ces notions sous la forme de "bons" problèmes pour l'IA, qui soient à la fois bien posés et difficiles. Des applications dans le domaine des arts et du divertissement illustrent ses propos, plus particulièrement en relation avec la musique, sa spécialité.

- 11h45 « Problèmes combinatoires de décision sous incertitude » par Hélène Fargier *(IRIT, CNRS)*
  On propose un état de l'art sur les "Problèmes combinatoires de décision sous incertitude". L'aide à la décision, en particulier sous incertitude, est un sujet aux traditions scientifiques anciennes, particulièrement en économie et en psychologie cognitive. Du fait de l'intérêt fondateur de l'IA pour les questions de représentation des connaissances et de raisonnement, de nouvelles approches logiques et qualitatives du problème ont été proposées permettant de raisonner non simplement pour savoir, mais aussi pour agir.

- 12h30 Buffet

- 14h00 « Représenter, communiquer, échouer » par Jérôme Euzenat *(LIG, Inria)*
  On aborde l'utilisation de connaissances dans la communication entre agents informatiques et humains. A partir du web sémantique, il retrace les travaux visant à la mise en regard de représentations différentes. Réfutant le modèle d'ingénierie classique qui cherche à déterminer à l'avance les conditions de succès d'une communication, il défend la perspective de la communication interpersonnelle qui tire parti des multiples échecs pour être robuste et pour s'adapter à son contexte.

- 14h45 « La théorie computationnelle de l'argumentation » par Leila Amgoud *(IRIT, CNRS)*
  On élabore autour de "la théorie computationnelle de l'argumentation". L'argumentation est l'activité d'un agent lorsqu'il essaye de persuader un ou plusieurs agents (voire de s'auto-persuader) d'adopter un point de vue. La persuasion se fait par échange d'arguments soutenant ou réfutant le point de vue. Elle montre les différentes manières de formaliser cette activité et de l'utiliser pour résoudre des problèmes bien connus en IA tels que le raisonnement en présence d'informations incohérentes et l'aide à la décision sous incertitude.

- 15h30 Clôture

Organisation

Cet événement est organisé par Yves Demazeau et Olivier Boissier pour l'Association Française d'Intelligence Artificielle (AFIA).

Inscriptions

L'accès à la journée PDIA 2014 est limité aux seules personnes qui se seront inscrites avant le 29 septembre 2014 sur le site des inscriptions : http://inscriptions.afia.asso.fr/

Cette journée est suivie de l'Assemblée Générale Ordinaire 2014 de l'AFIA, incluant bilans 2014, prévisions 2015 et est précédée par une intervention des élus des sections 06 et 07 du CoNRS.

Assemblée Générale Ordinaire de l'AFIA

- Date : 02 octobre 2014
- Lieu : Salle A709, Université Paris-Dauphine, Pl. du M. de Lattre de Tassigny, 75016 Paris

- 15h45 « Bilan concours CNRS 2014 sections 06 et sections 07 » par Marie-Christine Rousset *(CoNRS, section 06)* et Philippe Fraisse *(CoNRS, section 07)*

- 16h15 Assemblée Générale Ordinaire 2014 de l'AFIA

- 18h00 Cocktail

PDIA 2014

L'Association Française pour l'Intelligence Artificielle organise sa première journée sur les PERSPECTIVES ET DEFIS DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE en l'honneur des « ECCAI Fellows » français élus en 2014.

Cette journée se tient sous le patronage du MESR Direction Générale de la Recherche et de l'Innovation (DGRI), du CNRS Institut des Sciences de l'Information et de leurs Interactions (INS2I), et de Inria.

Date et Lieu

- Date : 02 octobre 2014
- Lieu : Salle A709, Université Paris-Dauphine, Pl. du M. de Lattre de Tassigny, 75016 Paris

Programme

- 09h20 Introduction de la journée par Yves Demazeau *(Président de l'AFIA)*
- 09h30 Ouverture de Pascal Estraillier *(Chargé de mission STIC à la MESR DGRI, Direction Générale de la Recherche et de l'Innovation)*
- 09h40 Ouverture de Michel Bidoit *(Directeur Scientifique de l'Institut INS2I du CNRS, Institut des Sciences de l'Information et de leurs Interactions)*
- 09h50 Ouverture de Bertrand Braunschweig *(Directeur du Centre Inria Rennes Bretagne Atlantique)*

- 10h00 « Quelles logiques pour les systèmes multi-agents ? » par Andreas Herzig *(IRIT, CNRS)*
  On présente un état de l'art sur les modèles logiques des systèmes multi-agents en se focalisant sur les concepts centraux : connaissance, croyance, temps et action. Dans une perspective de représentation des connaissances, il discute les aspects problématiques des approches standard et pose la question de "Quelles logiques pour les systèmes multi-agents ? ". Andreas présente les différents modèles qu'il a réalisés durant sa carrière et il les positionne dans cet état de l'art.

- 10h45 Pause

- 11h00 « Créativité et style : de nouveaux problèmes pour l'IA » par François Pachet *(Sony CSL, Sony)*
  On place les questions de créativité, forme spécifique de l'intelligence humaine, et de style dans une perspective de renouvellement de la notion de problème, centrale dans notre discipline. L'exposé décline ces notions sous la forme de "bons" problèmes pour l'IA, qui soient à la fois bien posés et difficiles. Des applications dans le domaine des arts et du divertissement illustrent ses propos, plus particulièrement en relation avec la musique, sa spécialité.

- 11h45 « Problèmes combinatoires de décision sous incertitude » par Hélène Fargier *(IRIT, CNRS)*
  On propose un état de l'art sur les "Problèmes combinatoires de décision sous incertitude". L'aide à la décision, en particulier sous incertitude, est un sujet aux traditions scientifiques anciennes, particulièrement en économie et en psychologie cognitive. Du fait de l'intérêt fondateur de l'IA pour les questions de représentation des connaissances et de raisonnement, de nouvelles approches logiques et qualitatives du problème ont été proposées permettant de raisonner non simplement pour savoir, mais aussi pour agir.

- 12h30 Buffet

- 14h00 « Représenter, communiquer, échouer » par Jérôme Euzenat *(LIG, Inria)*
  On aborde l'utilisation de connaissances dans la communication entre agents informatiques et humains. A partir du web sémantique, il retrace les travaux visant à la mise en regard de représentations différentes. Réfutant le modèle d'ingénierie classique qui cherche à déterminer à l'avance les conditions de succès d'une communication, il défend la perspective de la communication interpersonnelle qui tire parti des multiples échecs pour être robuste et pour s'adapter à son contexte.

- 14h45 « La théorie computationnelle de l'argumentation » par Leila Amgoud *(IRIT, CNRS)*
  On élabore autour de "la théorie computationnelle de l'argumentation". L'argumentation est l'activité d'un agent lorsqu'il essaye de persuader un ou plusieurs agents (voire de s'auto-persuader) d'adopter un point de vue. La persuasion se fait par échange d'arguments soutenant ou réfutant le point de vue. Elle montre les différentes manières de formaliser cette activité et de l'utiliser pour résoudre des problèmes bien connus en IA tels que le raisonnement en présence d'informations incohérentes et l'aide à la décision sous incertitude.

- 15h30 Clôture

Organisation

Cet événement est organisé par Yves Demazeau et Olivier Boissier pour l'Association Française d'Intelligence Artificielle (AFIA).

Inscriptions

L'accès à la journée PDIA 2014 est limité aux seules personnes qui se seront inscrites avant le 29 septembre 2014 sur le site des inscriptions : http://inscriptions.afia.asso.fr/

Cette journée est suivie de l'Assemblée Générale Ordinaire 2014 de l'AFIA, incluant bilans 2014, prévisions 2015 et est précédée par une intervention des élus des sections 06 et 07 du CoNRS.

Assemblée Générale Ordinaire de l'AFIA

- Date : 02 octobre 2014
- Lieu : Salle A709, Université Paris-Dauphine, Pl. du M. de Lattre de Tassigny, 75016 Paris

- 15h45 « Bilan concours CNRS 2014 sections 06 et sections 07 » par Marie-Christine Rousset *(CoNRS, section 06)* et Philippe Fraisse *(CoNRS, section 07)*

- 16h15 Assemblée Générale Ordinaire 2014 de l'AFIA

- 18h00 Cocktail

AfIA
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

FIIA 2016

L'AFIA organise son premier FORUM INDUSTRIEL DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE. L'objectif est de permettre aux deux communautés académique et industrielle de mieux dialoguer.

Dans ce cadre, la première édition de cette journée aura pour objectif d'initier ce dialogue par une présentation du Collège Industriel puis quelques présentations de ses membres fondateurs afin de donner une première image des besoins de recherche en Intelligence Artificielle de l'industrie. En fin de journée, une session est réservée à des présentations rapides, pour les industriels invités le souhaitant, des préoccupations de recherche.

Date et Lieu

- Date : 14 avril 2016
- Lieu : Amphi B312, Télécom ParisTech, 46 rue Barrault, 75013 Paris

Programme

- 09h40 Introduction de la journée par Yves Demazeau *(Président de l'AFIA)* et Bruno Patin *(Coordinateur du Groupe de Travail Applications de l'AFIA)*
- 10h00 « Le Collège Industriel de l'AFIA » par Bruno Patin *(Dassault Aviation, St-Cloud)*

- 10h45 « Décision dans les systèmes mixtes » par Stéphane Durand *(Dassault Aviation, St-Cloud)*
- 11h15 « Des systèmes experts à l'Ingénierie des Connaissances » par Alain Berger *(Ardans, Montigny)*
- 11h45 « Quelques aspects liés à l'IA chez Huawei » par Arnaud Lallouet *(Huawei, Boulogne s / Seine)*

- 12h15 Buffet

- 13h30 « Le Pôle de Compétitivité System@tic et l'IA » par Jean-Luc Beylat *(Nokia, Paris)*
- 14h15 « La gestion des connaissances dans l'industrie » par Florence Amardheil *(Mondeca, Paris)*
- 14h45 « Les senseurs et l'IA » par Thierry Lamarque *(Thales Services, Vélizy)*
- 15h15 « Introduction à l'optimisation cognitive » par Eric Mazeran *(IBM, Nice)*
- 16h00 Succession de présentations rapides de sociétés concernées par l'IA en « Trois planches »

- 17h00 Clôture

Organisation

Cet événement est organisé par Bruno Patin et Yves Demazeau pour l'Association Française d'Intelligence Artificielle (AFIA).

Inscriptions

Les inscriptions au Forum (gratuites pour les membres de l'AFIA, 30 € sinon) sont obligatoires et à effectuer sur le site des inscriptions : http://inscriptions.afia.asso.fr/. Le déjeuner est offert à toutes les personnes qui se seront inscrites à FIIA 2016 avant le 11/04/16, et seulement à celles-ci.

TELECOM ParisTech

AfIA
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

Nuit de l'Info 2015

Un défi pour la Nuit de l'info est une question ou un problème à relever lors de la réalisation d'une application dont on ne connaît le thème que le jour même (ou plutôt la nuit) de la "Nuit de l'info".

La Compétition

Mettez de l'intelligence artificielle dans votre moteur. Vous mettez en œuvre une ou plusieurs méthodes d'Intelligence Artificielle (IA) dans votre projet et vous indiquez en quoi ces méthodes rendent votre réalisation plus performante ou pertinente. Vous pouvez faire appel à des techniques classiques, en cours de développement ou futuristes. L'équipe qui aura mis le plus en avant les avantages de l'utilisation de l'IA dans son projet remportera ce défi.

La récompense est un chèque de 1000 € assorti d'une invitation à présenter une démonstration lors de la compétition "IA sur Robots" organisée par l'AFIA au sein du congrès RFIA 2016 à Clermont-Ferrand.

Les Equipes

Le défi a été relevé durant la nuit de l'info du 3 au 4 décembre 2015, de 16h40 à 08h02. Parmi les 25 équipes qui s'étaient inscrites pour relever ce défi, 9 équipes ont envoyé des réponses : "#Les Tarkiflettes", "And his name is [JOHNCENA]", "Douglas Gang", "GRO-KLC", "Les 73", "Pony God Master", "Segmintation Fault", "Syndicat Lunatique des Informaticiens Paresseux", et "Team du JEEJ".

Le Jury

Le jury, composé de Carole Adam, Patrick Albert, Cindy Even, Thomas Guyet, Philippe Morignot, Bruno Patin, Sylvie Saget et Florence Bannay (coordinatrice), s'est réuni par visio-conférence le 4 décembre de 9h à 11h.

Les Résultats

La première place et la récompense furent attribuées à l'équipe "Team du JEEJ" dont l'application propose d'attribuer un centre de refuge à une personne dans le besoin ou à des bénévoles tels que les médecins disponibles pour agir sur place. Les techniques utilisées sont la classification supervisée de données, la mise en oeuvre d'un arbre de décision, l'analyse de la tonalité d'une phrase, et le calcul d'itinéraires. Le jury a tenu à souligner la qualité de ce projet tant sur le plan de la largeur du spectre couvert en IA que sur son applicabilité puisque le projet tourne sur différentes plateforme grâce aux techniques de responsive design. Le jury a également apprécié la qualité des explications fournies et la bonne utilisation de librairies standard existantes.

Le jury a classé en deuxième position l'équipe "Douglas Gang" qui a proposé une application capable de donner des conseils en réponse à des demandes orales. Cette application se base sur des techniques de reconnaissance de la parole et d'apprentissage automatique puisque les conseils appropriés auront été préalablement recueillis par apprentissage.

La troisième place a été attribuée à "Syndicat Lunatique des Informaticiens Paresseux" pour leur proposition d'une intelligence artificielle incarnée dans un robot humanoïde NAO. Leur application se base sur des techniques de reconnaissance de visage et reconnaissance de la parole. Elle permet d'envoyer des messages à des personnes appropriées et d'interroger oralement NAO afin d'obtenir les numéros de téléphone des services d'urgences.

AfIA
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

IA sur Robots 2016

La Compétition

L'Association française pour l'Intelligence Artificielle (AFIA http://www.afia.asso.fr) a organisé une compétition d'Intelligence Artificielle sur Robots lors de la conférence RFIA'16 à Clermont-Ferrand, entre le lundi 27 juin et le vendredi 2 juillet 2016. Si une compétition traditionnelle de robotique favorise l'intégration d'algorithmes liés aux capteurs et actuateurs au sein d'une plateforme unique (perception, décision, action, interaction), le but de la présente compétition a été de se focaliser sur l'intelligence des robots. Allier intelligence et robotique en ce que l'on pourrait appeler une intelligence embarquée.

La plateforme robotique imposée était les robots LEGO MINDSTORMS. Nous avons défini les modalités de la compétition, ainsi que les règles du jeu que les robots ont dû respecter (inspirées du jeu de plateau « robot ricochet »).

Les Equipes

Cette compétition était ouverte à toute personne intéressée par intégrer l'Intelligence Artificielle dans un support robotique : chercheurs, académiques, ingénieurs, industriels, étudiants, lycéens, amateurs et grand public.

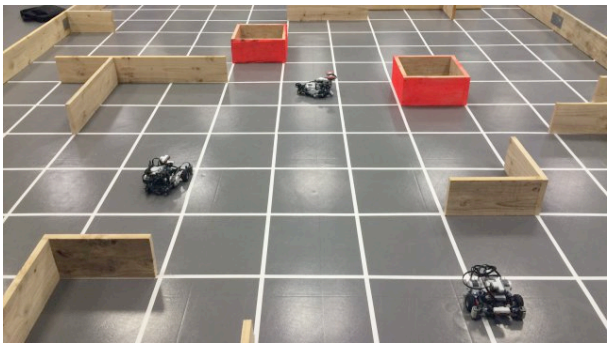
Sept équipes ont participé, venant de Lille, Lyon, Toulouse, Clermont-Ferrand et Chambéry.

Le Jury

Le Jury, également Comité d'organisation, était composé de : Carole Adam, Florence Bannay, Cédric Buche, Christophe Debain, Cindy Even, Philippe Morignot, Sylvie Saget.

Les Résultats

Le premier jour de la compétition a été consacré aux essais dans l'arène réelle. Le deuxième jour fut consacré aux qualifications sur arène réduite et au concours sur les 3 niveaux : les robots d'une équipe, seuls, cartographient l'arène suffisamment pour aller à une destination fixée en rebondissant sur les obstacles (niveau 1) plusieurs équipes avec leurs robots sont sur le terrain et doivent cartographier l'arène sans destination, dès que 2 robots adverses se rencontrent, chacun donne à l'autre sa destination dans l'arène, et peut ensuite s'y rendre, toujours par rebond (niveaux 2 et 3).



La compétition a donné lieu à un reportage sur France 3 Auvergne le premier jour et à la venue de plusieurs classes primaires de la région.

AfIA
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

ARCo
Association pour la Recherche Cognitive

SCo&IA 2015

Cette deuxième journée SCIENCES COGNITIVES et INTELLIGENCE ARTIFICIELLE organisée par Xavier Aimé, Alain Giboin et Benoît Le Blanc, fait se rencontrer l'Intelligence Artificielle et les Sciences Cognitives autour du thème « Modéliser l'Affectif », témoignage de quelque chose de très présent dans les processus cognitifs et pourtant par définition difficilement modélisable : l'irrationnel.

L'objectif de la journée est d'aborder les frontières des deux domaines, de provoquer les débats entre chercheurs et finalement de fertiliser les champs de recherche respectifs des deux domaines. Que ce soit dans des activités liées au langage, à la mémoire, au raisonnement, ou même à l'attention, certaines réactions observées tiennent de l'irrationnel. Faut-il pour autant les éliminer des relevés expérimentaux ? Sont-elles au contraire l'amorce d'une vision différente de la cognition ? Afin d'aborder ces questions, la journée sollicite d'une part l'éclairage de trois experts provenant de communautés scientifiques différentes, d'autre part un ensemble de chercheurs volontaires pour venir débattre en vue d'écrits collectifs.

Date et Lieu

- Date 16 janvier 2015
- Lieu Ecole Nationale Supérieure de Cognitique, 109 avenue Roul, 33400 Talence

Programme

- 09h30 Présentation de l'Association Française d'Intelligence Artificielle, par Yves Demazeau *(Président de l'AFIA) et* de l'Association pour la Recherche sur la Cognition, par Pierre De Loor *(Président de l'ARCo)*.
- 09h50 Présentation de la journée par Xavier Aimé (*INSERM, LIMICS*), Alain Giboin *(INRIA, I3S)* et Benoit Le Blanc *(Bordeaux INP, IMS)*.
- 10h00 « Modélisation des comportements émotionnels et modélisation d'interaction avec des agents émotionnels » par Catherine Pélachaud *(CNRS et Télécom ParisTech)*.
- 10h50 « Intégrer le rôle des émotions dans la modélisation cognitive : apport des neurosciences » par Frédéric Alexandre *(INRIA et Institut des Maladies Neurodégénératives)*.
- 11h40 « Véracité ou simulation de sentiments par une machine (titre provisoire) » par Joffrey Becker *(Laboratoire d'Anthropologie Sociale et Musée du Quai Branly)*.
- 12h30 Pause
- 13h30 Débat et travail collectif.
- 16h00 Clôture

Pour préparer le débat et le travail collectif de l'après-midi, les chercheurs intéressés sont invités à rédiger et adresser un résumé d'intention présentant leur point de vue et leur contribution sur la « modélisation de l'affectif ». Les propositions de contributions au débat de l'après-midi sont à déposer sur le site Easychair de la journée (https://easychair.org/conferences/?conf=jmic2015) au plus tard le 9 janvier 2015.

Organisation

Cet événement est organisé par Alain Giboin pour l'Association Française d'Intelligence Artificielle (AFIA) et Xavier Aimé pour l'Association pour la Recherche sur la Cognition (ARCo).

Inscriptions

Les inscriptions, gratuites mais obligatoires, ainsi que des informations complémentaires à la journée sont disponibles sur le site : https://sites.google.com/site/journeesmic2015/home

ims

Bordeaux INP
ENSC

IHM&IA 2015

L'AFIHM et l'AFIA organisent leur deuxième journée commune INTERACTION HOMME-MACHINE & INTELLIGENCEARTIFICIELLE. Cette journée s'organisera autour d'interventions sur des sujets à l'intersection des deux champs ou mettant en évidence les liens possibles entre les deux disciplines.

Un focus est porté sur la créativité avec l'intervention d'artistes utilisant IA et/ou IHM. Une table ronde est également organisée afin d'aller plus loin sur le débat de la dépendance de l'IA à l'Interaction.

Date et Lieu

- Date 20 mars 2015
- Lieu Télécom ParisTech, 46, rue Barrault, 75013 Paris, Amphithéâtre Estaunié

Programme

- 09h00 Présentations de l'Association Française d'Intelligence Artificielle par Yves Demazeau *(Président de l'AFIA) et* de l'Association Française d'Interaction Homme-Machine par Géry Casiez *(Président de l'AFIHM)*
- 09h20 « Programmation : l'ère des spécifications, l'ère de l'apprentissage, l'ère du feedback » par Michèle Sebag *(CNRS, Orsay)*
- 10h00 « Instruments Musicaux Numériques » par Marcelo Wanderley (*McGill University*).
- 10h40 Pause
- 11h00 « Modèle de représentation des tâches pour les environnements virtuels, la réalité augmentée et les tables interactives » par Ronan Querrec *(Ecole Nationale d'Ingénieurs de Brest)*
- 11h40 « Interagir avec une intelligence en essaim » par Gilles Coppin *(Télécom Bretagne)*
- 12h20 Pause Déjeuner
- 14h00 « Interfaces intelligentes : entre l'apprentissage machine et l'externalisation ouverte » par Jean Vanderdonckt *(Université Catholique de Louvain)*
- 14h40 « Scénarisation d'environnements virtuels pour la formation en environnements sociotechniques complexes » par Dominique Lourdeaux *(Université Technologique de Compiègne)*
- 15h20 « Interaction gestuelle expressive : Approche par modélisation Bayésienne et illustration dans des applications créatives » par Baptiste Caramiaux *(Goldsmith, University of London)*
- 15h50 Pause
- 16h30 « La mer est ton miroir. Projet artistique de BCI – Brain Computer Interface » par Fred Murie *(Collectif Spéculaire)*
- 16h50 « Reflective interaction. Comment élaborer des dispositifs interactifs artistiques pour provoquer des expériences esthétiques, pratiques et critiques ? » par Samuel Bianchini (*Ecole Nationale Supérieure des Arts Décoratifs*)
- 17h10 Table ronde « Dépendance de l'IA à l'Interaction »
- 18h00 Clôture

Organisation

Cet événement est organisé par Pierre De Loor pour l'Association Française d'Intelligence Artificielle (AFIA) et Stéphane Hulot pour l'Association Française d'Interaction Homme-Machine (AFIHM).

Inscriptions

La participation est gratuite et ouverte à tous. Néanmoins, pour et des raisons de logistique, l'inscription à la journée est obligatoire : http://ihmia.afihm.org/inscription/

SI&IA 2015

Cette première journée SYSTEMES D'INFORMATION et INTELLIGENCE ARTIFICIELLE fait se rencontrer les domaines des SI et de l'IA autour du thème : Les utilisateurs, des modèles aux raisonnements.

Par définition même du système d'information, l'utilisateur est au cœur de celui-ci. Depuis plusieurs années, en particulier dans la communauté INFORSID, des compétences scientifiques et technologiques ont été développées en SI pour renforcer la prise en compte de l'utilisateur que ce soit dans la conception du SI, dans l'analyse de son usage ou dans les raisonnements liés par exemple à l'aide à la décision. Des thématiques de recherche analogues sont en plein essor dans la communauté IA : en plongeant l'utilisateur au cœur des systèmes à base de connaissances, l'objectif est d'assister l'utilisateur dans le traitement de la masse des données disponibles ; ceci afin de les visualiser, contextualiser, expliquer, recommander, classer, prédire, approcher, sécuriser, fiabiliser, pallier leur imprécision, leur incohérence.

L'objectif de cet atelier est d'être un espace de discussion, de regards croisés et de confrontation entre les problèmes rencontrés sur le terrain, les solutions pratiques mises en œuvre, et les avancées scientifiques.

Date et Lieu

- Date 27 mai 2015
- Lieu Casino Barrière, 1 avenue Edouard VII, 64200 Biarritz

Programme

- 13h40 Présentations de l'Association Française d'Intelligence Artificielle, par Yves Demazeau *(Président de l'AFIA)* et de l'INFOrmatique des Organisations et des Systèmes d'Information par Régine Laleau *(Présidente d'INFORSID)*.
- 14h00 Conférence invitée. « Ontologies et accès aux contenus, un exemple de fertilisation croisée entre SIG et IA » par Nathalie Aussenac-Gilles *(CNRS Toulouse)*.
- 14h30 « Problématiques de la recommandation sans évaluation » par Clément Guérin *(Université de La Rochelle)*, C. Faucher, A. Prigent et K. Bertet.
- 14h50 « Development of viticulture and vinification ontology for experiment data and knowledge integration » par Aunur Muljarto *(INRA Montpellier)*, A. Tireau, P. Neveu & J.-M. Salmon.
- 15h10 « Apprendre des actions utilisateur pour guider le processus de configuration dans les lignes de produits logiciels » par Simon Urli *(Univ. Nice)*, M. Blay-Fornarino et C. Da Costa Pereira.
- 15h30 Conférence invitée. « Systèmes d'Information généralisés : un domaine de transfert technologique au CEA Tech » par Hubert Dubois *(CEA Sophia Antipolis)*.
- 16h00 Pause
- 16h30 Table Ronde. « SI centrés utilisateur : de la pratique à la recherche et vice-versa » avec Nathalie Aussenac-Gilles *(CNRS Toulouse)*, Hubert Dubois *(CEA Sophia Antipolis)*, Florence Sèdes *(Univ. Toulouse 3)*, et Dominique Rieu *(Univ Grenoble 2)*.
- 17h15 Clôture

Organisation

Cet événement est organisé par Catherine Faron-Zucker pour l'Association Française d'Intelligence Artificielle (AFIA) et Mireille Blay-Fornarino pour l'INFOrmatique des Organisations et des Systèmes d'Information (INFORSID).

Inscriptions

Les inscriptions se font sur le site de INFORSID 2015 : http://inforsid.fr/Biarritz2015/formulaire/

EIAH&IA 2015

L'AFIA et l'ATIEF organisent une deuxième journée ENVIRONNEMENTS INFORMATIQUES POUR L'APPRENTISSAGE HUMAIN & INTELLIGENCE ARTIFICIELLE centrée sur la thématique de la fouille de données éducatives produites par les EIAH. L'objectif de cette journée est de rassembler dans un même espace-temps deux communautés dialoguer et échanger autour de problématiques, de techniques, de concepts communs et de partager des retours d'expériences.

Cette journée est une occasion idéale pour mettre en exergue des travaux de recherche qui s'intéressent à l'utilisation de la fouille de données pour analyser et comprendre les traces des apprenants engendrées au sein de plateformes d'apprentissage, de tuteurs intelligents, de jeux sérieux, de MOOCs, etc. dans le but de diagnostiquer le profil des apprenants, de personnaliser ou d'améliorer ces systèmes. L'analyse et l'exploitation de ces traces requièrent des outils d'analyse et de traitement spécifiques adaptés aux EIAH.

Date et Lieu

- Date 30 juin 2015
- Lieu Inria Rennes, Campus de Beaulieu, 263 av. du Général Leclerc, 35042 Rennes

Programme

- 09h00 Présentation de l'Association Française d'Intelligence Artificielle par Yves Demazeau (*Président de l'AFIA*) et de ssociation des Technologies de l'Information pour l'Education et la Formation par Jean-Marc Labat *(Président de l'ATIEF).*
- 09h15 « L'imaginaire de l'intelligence » par Milad Douelhi *(Univ. Paris-Sorbonne).*
- 10h15 Pause-café
- 10h45 « EDM : Methods, Tasks and Emerging Trends » par Agathe Merceron (*Beuth University of Applied Sciences, Berlin).*
- 12h30 Pause-repas
- 13h30 « PeTRA : un Framework de Traitement de Traces pour l'Analyse de Connaissances Perceptivo-Gestuelles » par Ben-Manson Toussaint *(Univ. Grenoble 1)* et V. Luengo.
- 14h00 « Vers la compréhension de l'activité de l'apprenant à partir de traces hétérogènes » par Rubiela Carrillo Rozo *(Univ. Lyon 1)*, Elise Lavoué et Yannick Prié.
- 14h30 « An Ontology to Enable Linked Data Driven Serious Games » by Oscar Rodríguez Rocha *(Inria Sophia Antipolis Méditerranée)* and Catherine Faron Zucker.
- 15h00 « Discovering Prerequisite Structure of Skills through Probabilistic Association Rules Mining » by Yang Chen, Pierre-Henri Wuillemin and Jean-Marc Labat *(Univ. Paris 6).*
- 15h30 Pause-café
- 16h00 Présentations de projets français du domaine : PERICLES par Azim Roussanaly *(Univ. Nancy 2)* et HUBBLE par Vanda Luengo *(Univ. Paris 6)*
- 17h00 Table Ronde « La fouille de données éducationnelles : perspectives et challenges »
- 17h30 Clôture

Organisation

Cet événement est organisé par Amel Yessad pour l'Association Française d'Intelligence Artificielle (AFIA) et François Bouchet pour l'Association des Technologies de l'Information pour l'Education et la Formation (ATIEF).

Inscriptions

Les inscriptions se font sur le site de PFIA 2015 : http://pfia2015.inria.fr/formulaire-d-inscription

JV&IA 2015

L'AFIA et le POLE IMAGES ET RESEAUX organisent une première journée commune JEUX VIDEOS ET INTELLIGENCE ARTIFICIELLE. La journée est centrée sur la collaboration entre recherche académique en IA et industrie du Jeu Vidéo. Le thème de cette journée sera "Vers une meilleure collaboration entre recherche académique et industrie".

L'objectif de cette journée est de rassembler dans un même espace-temps deux communautés : les chercheurs en IA appliquant leurs travaux au jeu vidéo, et les industriels du jeu vidéo qui font usage de techniques d'IA dans leurs jeux. Cette journée permettra aux deux communautés de dialoguer et d'échanger autour de problématiques, techniques et concepts communs, et de partager des retours d'expériences. Ce sera aussi l'occasion d'établir ou renforcer des collaborations entre recherche et industrie dans ce domaine.

Date et Lieu

- Date 02 Juillet 2015
- Lieu Inria Rennes, Campus de Beaulieu, 263 av. du Général Leclerc, 35042 Rennes

Programme

- 10h30 Présentations de l'Association Française pour l'Intelligence Artificielle par Yves Demazeau (*Président de l'AFIA*) et Pôle Images et Réseaux par Julie Hary *(Resp. Communication PIR)*
- 10h50 « Les enjeux de l'IA pour un jeu de stratégie en temps réel dans un univers procédural persistant » par Samuel Hangouet *(Insane Unity, Rennes)* et Ch. Delacourt
- 11h30 « Automatic observer for RTS games » par Emmanuel Hadoux *(Univ. Paris 6)* et Th. Huraux
- 11h45 « Control of NPC in a medical learning game with Monte Carlo tree search » par Maxime Sanselone *(Univ. Toulouse 1)*
- 12h00 « Energy management in buildings using serious games » par Ayesha Kashif *(Univ. Grenoble 2)*
- 12h15 « Simulateurs de déplacements et Jeux Vidéos : l'interaction sujet-PNJ peut-elle être un objet d'intérêt commun » par J.-Michel Auberlet *(IFSTTAR, Nantes)*
- 12h30 Déjeuner
- 14h00 « Techniques de simulation de foule appliquées aux effets spéciaux » par Mickaël Rouillé *(Golaem Crowd, Rennes)*
- 14h40 « Collecte dirigée d'infos et Jeux Vidéo » par Vincent Thomas *(Univ. Nancy)* et O. Buffet
- 15h00 « Outils et modèles de conception de comportements de PNJ pour simplifier la réalisation d'IA dans les Jeux Vidéos » par Caroline Chopinaud *(MASA Group, Paris)* et J. Lemaitre
- 15h15 « En immersion avec des PNJ socio émotionnels » par Joseph Garnier *(LIRIA, Lyon)*
- 15h30 Pause
- 16h00 « AI & Online Competitions » par Alex Champandard *(AiGameDev.com, Vienne)*
- 16h30 « Compétition d'IA dans les Jeux Vidéo » par Florian Richoux *(LINA, Nantes)*
- 17h00 Table Ronde « Vers une compétition « Jeux Vidéo et IA »
- 17h30 Clôture

Organisation

Cet événement est organisé par Carole Adam pour l'Association Française d'Intelligence Artificielle (AFIA) et Julie Hary pour le Pôle Images et Réseaux (IR).

Inscriptions

Les inscriptions se font sur le site de PFIA 2015 : http://pfia2015.inria.fr/formulaire-d-inscription

AfIA
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

RO&IA 2015

Cette troisième journée RECHERCHE OPERATIONNELLE ET INTELLIGENCE ARTIFICIELLE se déroule le 23 Septembre 2015 à Paris. La journée est organisée conjointement par l'Association Française d'Intelligence Artificielle (AFIA) et la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision (ROADEF).

L'objectif de ces journées est de rassembler les communautés de l'IA et de la RO et d'échanger autour de problématiques, de techniques et de concepts communs. La journée se focalisera cette année sur les thématiques liées à la PROGRAMMATION PAR CONTRAINTES.

Date et Lieu

- Date 23 septembre 2015
- Lieu CNAM, Amphi Friedmann, Accès 33, 292 rue Saint-Martin, 75003 Paris

Programme

- 09h40 Présentation de l'Association Française d'Intelligence Artificielle, par Yves Demazeau *(Président de l'AFIA) et* de la Société Française de Recherche Opérationnelle et Aide à la Décision, par Frédéric Gardi (*Président de la ROADEF*)
- 10h00 Tutoriel « Optimisation dans les modèles graphiques et applications » par Thomas Schiex (*INRA Toulouse*)
- 12h00 Pause déjeuner
- 14h00 « The NValue global constraint » par Hadrien Cambazard (*Grenoble INP*)
- 14h40 « Heuristiques de recherche en programmation par contraintes » par Jean-Guillaume Fagès *(Cosling, Nantes)*
- 15h20 Pause-café
- 15h40 « Solving industrial scheduling problems with constraint programming » par Philippe Laborie *(IBM, Paris)*
- 16h20 « Optimal routing in deterministic delay-tolerant networks » par Ronan Bocquillon *(UTC Compiègne)*
- 17h00 Clôture

Organisation

La journée est organisée par Nicolas Maudet (Univ. Paris 6) pour l'Association Française d'Intelligence Artificielle et Amélie Lambert (CNAM) pour la Société Française de Recherche Opérationnelle et Aide à la Décision.

Inscriptions

L'inscription à la journée est gratuite et inclut la participation aux pause-café. L'organisation et la prise en charge du déjeuner restent à la discrétion des participants. Pour des raisons d'organisation, merci à toute personne intéressée de bien vouloir s'inscrire sur le site : http://www.lamsade.dauphine.fr/~jfro/Inscription/

le cnam

ST&IA 2015

Cet événement commun organisé par l'AST et l'AFIA a pour objectif d'échanger entre scientifiques et grand public autour la mise en scène de l'Intelligence Artificielle (IA) dans les productions médiatiques, en particulier cinématographiques. L'événement est composé de débats qui suivront la projection de films grand public dont la séquence forme une rétrospective de l'IA, de sa naissance à ses perspectives actuelles.

Date et Lieu

- Date 02-05 octobre 2015
- Lieu Cinéma Grand Action, Salle 4, 5 rue des Ecoles, 75005 Paris

Programme

02 octobre 2015

- 19h00 – 21h30 « The Imitation Game » (2015) de Morten Tyldum.

Alain Turing, mathématicien et cryptanalyste, a eu un rôle important lors de la Seconde Guerre mondiale. Ce film revient sur le destin de cet homme qui a accéléré la chute du nazisme et qui a posé les bases de l'IA. Le réalisateur prend quelques libertés par rapport à la réalité, mais, tout comme en IA, laisse le soin au spectateur de prêter une intelligence à la machine observée. *Avec, pour le débat, Jacques Pitrat, Chercheur en IA (Retraité du CNRS, Paris) et Giuseppe Longo, Logicien et Epistémologiste (Professeur à l'ENS Paris).*

03 octobre 2015

- 18h00 – 21h00 « 2001 : l'Odyssée de l'Espace » (1968) de Stanley Kubrick

Embarquez pour la mission Jupiter aux côtés des docteurs Bowman, Poole et du robot intelligent HAL 9000 ! Les liens entre science-fiction et IA ont toujours été très étroits, même si la machine ne pense pas. Le spectateur mesure l'ampleur du chemin parcouru par l'IA en 50 ans et s'interroge la capacité des machines de demain. *Avec, pour le débat, Jean-Gabriel Ganascia, Chercheur en IA et Philosophe (Professeur à l'Université de Paris 6) et Pierre Mounier-Kuhn, Historien (Chargé de Recherche CNRS, Paris).*

04 octobre 2015

- 18h00 – 21h00 « A.I. Intelligence Artificielle » (2001) de Steven Spielberg

Un robot peut-il devenir un vrai petit garçon ? Au-delà de la mise en scène de l'IA, c'est la question de la place de l'être humain dans son environnement qui est posée. Si l'homme et la machine restent de natures différentes, les systèmes intelligents qui sont construits doivent s'adapter à leur environnement, souvent peuplé d'êtres humains. *Avec, pour le débat, Philippe Mathieu, Chercheur en IA (Professeur à l'Université de Lille 1) et Serge Tisseron, Psychiatre et Psychanalyste (Professeur Université Paris 7).*

05 octobre 2015

- 19h00 – 21h00 « Eva » (2011) de Kikke Maillo.

Alex, un ingénieur de renom est rappelé par la Faculté de Robotique pour construire un enfant robot. Ce dernier, choisit de prendre comme modèle sa nièce, Eva. L'IA s'est historiquement développée en étant centrée plus sur l'individu que sur le collectif. Les travaux récents en IA essaient de mieux ancrer les robots et les êtres humains dans le collectif qu'ils constituent ensemble. *Avec, pour le débat, Yves Demazeau, Chercheur en IA (Directeur de Recherche au CNRS, Grenoble) et Raja Chatila, Roboticien (Directeur de Recherche au CNRS, Paris).*

Organisation

Cet événement est organisé par Yves Demazeau pour l'Association Française d'Intelligence Artificielle (AFIA) et Marina Vasseur pour l'Association Science et Télévision (AST).

Inscriptions

Les inscriptions se font sur le site du Festival Pariscience: http://www.pariscience.fr/fr/program/

MACS&IA 2015

L'Association Française d'Intelligence Artificielle (AFIA) et le groupe de travail Modélisation et pilotage des systèmes de Connaissances et de Compétences dans les Entreprises Industrielles (C2EI) du GDR Modélisation, Analyse et Conduite des Systèmes dynamiques (MACS) organisent une deuxième journée commune FORMALISATION DES CONNAISSANCES ET IA.

Cette journée est fondée sur des interventions se situant à l'intersection de l'IA, du domaine de la formalisation et de la gestion du retour d'expériences. Les interventions portent sur des problématiques industrielles et sociétales, des états de l'art, des avancées scientifiques et des perspectives de recherche. Un focus particulier est porté sur des approches fondées sur des traces d'activités.

Date et Lieu

- Date 4 novembre 2015
- Lieu Université Paris-Descartes, Salle Turing, 45 rue des Saints Pères, 75006 Paris

Programme

- 09h15 Présentation de l'Association Française d'Intelligence Artificielle, par Yves Demazeau *(Président de l'AFIA)* et du GT C2EI du GDR Modélisation, Analyse et Conduite des Systèmes dynamiques, par Eric Bonjour *(Animateur du GT C2EI)*
- 09h35 Présentation de la journée par Davy Monticolo (*AFIA*) et Eric Bonjour (*GDR MACS*)
- 09h45 Dynamique des connaissances et expérience tracée, par Béatrice Fuchs (*Université Lyon 1*)
- 10h30 L'observation dans les EIAH : le cas des ENT, des microsondes et des jeux sérieux, par Thibault Carron (*Université de Savoie*)
- 11h15 Comment exploiter le retour d'expérience issu de la résolution de problèmes en entreprises ? par Laurent Geneste (*Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tarbes*)
- 12h00 Pause déjeuner
- 13h30 Traçabilité des connaissances de projets, par Nada Matta (*Université de Technologie de Troyes*)
- 14h15 Capitalisation de traces d'activité pour la reconstitution de démarches métier, par Eric Bonjour (*Université de Lorraine*) et Davy Monticolo (*Université de Lorraine*)
- 15h00 Gestion des connaissances patrimoniales : une expansion des humanités numériques pour le patrimoine industriel, par Florent Laroche (*Université de Nantes*)
- 15h45 Extraction de comportements récurrents dans des traces d'interaction, par Alexandre Pauchet (*INSA Rouen*)
- 16h30 Clôture

Organisation

Cet événement est organisé par Davy Monticolo pour l'Association Française d'Intelligence Artificielle (AFIA) et Eric Bonjour pour le GdR Modélisation, Analyse et Conduite des Systèmes Dynamiques (MACS).

Inscriptions

L'inscription est gratuite mais obligatoire, à prendre auprès de Davy.Monticolo@univ-lorraine.fr. Le déjeuner est à la charge des participants. De nombreux restaurants se trouvent à proximité de la salle Turing.

RI&IA 2015

La recherche d'information (RI), dans la mesure où elle vise à réaliser des tâches relevant de la cognition humaine, a de fait des liens avec l'intelligence artificielle (IA).

L'objectif de cette première journée RECHERCHE D'INFORMATION et INTELLIGENCE ARTIFICIELLE est de mettre en évidence les liens qui existent entre ces deux domaines, et peuvent aider à mettre au point des méthodes qui font avancer l'analyse et la représentation des documents, de quelque type qu'il soit (texte, image, audio, vidéo), ainsi que la modélisation de leur interrogation ou leur exploration.

Date et Lieu

- Date 01 décembre 2015
- Lieu Délégation CNRS d'Ivry, 27 rue Paul Bert, 94200 Ivry sur Seine

Programme

- 09h00 Présentation de l'Association Française d'Intelligence Artificielle, par Yves Demazeau *(Président de l'AFIA)* et de l'Association francophone de Recherche d'Information et Applications, par Max Chevalier *(Président de l'ARIA),*
- 09h10 Présentation de la journée par Jean-Pierre Chevallet (ARIA) et Brigitte Grau (AFIA).
- 09h15 Recherche d'Information : Etat des lieux, par Mohand Boughanem (*Université Toulouse 3*)
- 10h10 Pause
- 10h30 L'apprentissage en Recherche d'Information par Eric Gaussier (*Université Grenoble 1*)
- 11h25 Structuration des Flux TV : Etat de l'Art par Mohamed Bouaziz (*Université d'Avignon*)
- 12h00 Repas
- 13h30 Concept Adjustment for Constructing Description Logic based Ontologies par Yue Ma (*Université Paris 11*)
- 14h25 Recherche d'Images par Hervé Le Borgne (*CEA Saclay*)
- 15h20 Contexte dans les modèles de langue neuronaux par Benjamin Piwowarski (*CNRS Paris*)
- 16h15 Pause
- 16h35 Analyse de graphes de terrain pour la recherche d'information par Rushed Kanawati (*Université Paris 13*)
- 17h30 FolkRec: un système personnalisé de recommandations pour les folksonomies basé sur les concepts quadratiques par Mohamed Nader Jelassi (*Université Clermont-Ferrand 2*)
- 18h00 Clôture

Organisation

Cet événement est organisé par Brigitte Grau pour l'Association Française d'Intelligence Artificielle (AFIA) et Jean-Pierre Chevallet pour l'Association francophone de Recherche d'Informations et Applications (ARIA).

Inscriptions

L'inscription à la journée est gratuite mais obligatoire, à réaliser sur la page : https://www.weezevent.com/journee-commune-ia-et-ri. L'inscription ne comprend pas le repas de midi.

EGC&IA 2016

Cette deuxième journée EXTRACTION ET GESTION DES CONNAISSANCES et INTELLIGENCE ARTIFICIELLE réunit les deux communautés autour du thème des « Données Participatives et Sociales ». Ces données sont au cœur de nouveaux défis tant au niveau de la fouille de données que de l'IA.

Les travaux de la littérature sont généralement associés à l'une des deux communautés, sans montrer le lien entre elles. Cet atelier cherche à focaliser sur ce lien du point de vue représentation qu'analyse.

Date et Lieu

- Date 19 janvier 2016
- Lieu IUT de Reims-Chalons-Charleville, Chemin des Rouliers, 51100 Reims

Programme

- 09h00 Présentation de l'Association Française d'Intelligence Artificielle, par Yves Demazeau *(Président de l'AFIA)* et de l'Association Extraction et Gestion des Connaissances, par Fabrice Guillet *(Président de EGC),*
- 08h45 Présentation de la journée par Arnaud Martin *(Univ. Rennes 1)* et Engelbert Mephu Nguifo *(Univ. Clermont-Ferrand 2)*.
- 09h00 « A la recherche des mini-publics : problème de communautés, de singularités de sémantique » par Eric Leclercq *(Univ. Bourgogne, Dijon)*, S. Kirgizov et M. Danisch.
- 09h30 « Analyse d'activité et exposition de la vie privée sur les médias sociaux » par Younes Abid *(Inria, Nancy)*, A. Imine, A..Napoli, C. Raïssi, M. Rigolot, et M. Rusinowitch.
- 10h00 « Perception de l'usage de matériaux composites pour les véhicules du futur » par Marouane Hachicha *(Univ. Nantes)*, N. Cullot, E. Leclercq, Ph. Castel, M.-F. Lacassagne et S Fontaine.
- 11h00 « Analyse des images qui circulent sur Internet : un aperçu du projet ImagiWeb » par Julien Velcin *(Université Lyon 2)*.
- 11h30 « Catégorisation et Désambiguïsation des Intérêts des Individus dans le Web Social » par Coriane Nana Jipmo *(Centrale Supélec, Paris)*, G. Quercini et N. Bennacer.
- 12h00 « Un système personnalisé de recommandation basé sur le profil des utilisateurs dans les folksonomies » par Mohamed Nader Jelassi *(Univ. Clermont-Ferrand 2),* S. Ben Yahia, et E. Mephu Nguifo.
- 12h30 Pause-repas
- 14h00 Présentations de l'AFIA par Yves Demazeau *(Président de l'AFIA)* et Fabrice Guillet *(Président de EGC).*
- 14h30 « Fabrique logicielle de réseaux sociaux spécialisés : Aspects fonctionnels » par David Fernandez *(Université Montpellier 2)*, B. Billet et D. Parigot.
- 15h00 « Worker-Centricity Could Be Today's Disruptive Innovation in Crowdsourcing » par Sihem Amer-Yahia *(CNRS Grenoble)* (conférence invitée).
- 16h30 « Connaissance et collaboration » par Jérôme Euzenat *(Inria Grenoble)* (conférence invitée).
- 18h00 Clôture

Organisation

Cet événement est organisé par Engelbert Mephu Nguifo pour l'Association Française d'Intelligence Artificielle (AFIA) et Arnaud Martin pour l'Association Extraction et Gestion des Connaissances (EGC).

Inscriptions

L'atelier se tient dans le cadre de la conférence EGC 2016. Les inscriptions se font sur le site de la conférence (http://egc2016.univ-reims.fr/index.php/Inscription).

RV&IA 2016

L'objectif de cette deuxième journée RÉALITÉ VIRTUELLE et INTELLIGENCE ARTIFICIELLE est de mettre en évidence les liens entre ces deux domaines.

La matinée est consacrée à la thématique de la prise de décision pour les comportements humanoïdes virtuelles. L'après-midi se focalise sur les mécanismes intelligents au sein des environnements virtuels d'apprentissage humain.

Date et Lieu

- Date 02 février 2016
- Lieu LIP6-UPMC, Tour 25-26, salle 105, 4 place Jussieu, 75005 Paris

Programme

- 10h00 Présentation de l'Association Française pour l'Intelligence Artificielle par Yves Demazeau *(Président de l'AFIA)* et de l'Association Française de Réalité Virtuelle (AFRV) par *Matthieu Lépine (président de l'AFRV)*
- 10h40 « Modélisation et simulation des comportements humains, utilisations dans les domaines de la sécurité civile ou du militaire » par Caroline Chopinaud *(MAS Group, Paris)*
- 11h15 Pause-café
- 11h30 « Comportement adaptatif de personnages de jeux vidéo. Le modèle CHAMELEON » par Cédric Buche *(ENIB, Brest)*
- 12h05 « Évaluation de la crédibilité des comportements d'entités virtuelles » par Cindy Even *(Virtualys, Brest)*
- 12h40 Pause-repas
- 14h15 « Scénarisation d'environnements virtuels pour la formation en environnements sociotechniques complexes » par Domitile Lourdeaux *(UTC, Compiègne)*
- 14h50 « Pedagogical Collaborative Conversational Agent Architecture for Virtual Reality » par Mukesh Barange *(INSA, Rouen)*, Julien Saunier et Ronan Querrec
- 15h25 Pause-café
- 15h40 « Apprentissage de la calligraphie » par Rémy Frenoy *(UTC, Compiègne),* Indira Thouvenin, et Olivier Gapenne
- 16h15 « Versatile Scenario Guidance for Collaborative Virtual Environments » par Guillaume Claude *(Inria Rennes Bretagne Atlantique)*
- 17h00 Clôture

Organisation

Cet événement est organisé par Cédric Buche pour l'Association Française d'Intelligence Artificielle (AFIA) et Ronan Querrec pour l'Association Française de Réalité Virtuelle (AFRV).

Inscriptions

L'inscription est gratuite mais obligatoire, à réaliser sur: http://doodle.com/poll/w92za5rn6895u3gh. Le déjeuner est à la charge des participants.

TAL&IA 2016

L'objectif de cette troisième journée TRAITEMENT AUTOMATIQUE DES LANGUES et INTELLIGENCE ARTIFICIELLE est de renforcer les liens entre ces deux domaines, avec un accent sur la thématique des représentations utilisées en TAL et la façon de les acquérir et de les manipuler.

Quels types de représentations sous-tendent les modèles aux niveaux lexical, morphologique, syntaxique, sémantique, quels raisonnements vont de pair avec eux : unification, similarité, implication ? Dans cette perspective comment sont utilisés les modèles et calculs de l'IA et quelles pistes sont prometteuses pour le TAL ?

Date et Lieu

- Date 24 mars 2016
- Lieu Amphi Hermite, Institut Henri Poincaré, 11 rue Pierre et Marie Curie, 75005 Paris

Programme

- 09h00 Présentation de l'Association Française d'Intelligence Artificielle, par Yves Demazeau *(Président de l'AFIA)*, de l'Association pour le Traitement Automatique des LAngues, par Patrick Paroubek *(Président de l'ATALA)*
- 09h20 « Représentations lexicales pour l'analyse sémantique : leçons tirées de l'expérience d'un FrameNet pour le français » par Marie Candito *(Université Paris 7)*
- 10h00 « Plongements lexicaux pour la sémantique » par Tim van de Cruys *(CNRS Toulouse)*
- 10h40 Pause
- 11h10 « Modélisation de la langue des signes et représentation sémantique » par Michael Filhol *(CNRS Orsay)*
- 11h50 « Représentation de la dynamique du discours » par Sylvain Pogodalla *(Inria Nancy Grand Est)*
- 12h30 Déjeuner libre
- 14h00 « Apport du modèle BDI Croyances/Désirs/Intentions pour la représentation des opinions, sentiments et émotions » par Patrick Paroubek *(CNRS Orsay)*
- 14h40 « Analyse de Concepts Logiques (LCA) et Traitement Automatique des Langues (TAL) » par Annie Forêt *(Université Rennes 1)*
- 15h20 Pause
- 15h50 « Entités nommées : représentation et structuration » par Sophie Rosset *(CNRS Orsay)*
- 16h30 Table ronde sur les représentations et raisonnements à la frontière du TAL et de l'IA
- 17h30 Clôture

Organisation

Cet événement est organisé par Philippe Muller pour l'Association Française d'Intelligence Artificielle (AFIA) et Yannick Toussaint pour l'Association pour le Traitement Automatique des LAngues (ATALA).

Inscriptions

La participation à la journée est gratuite et ouverte à tous. Pour des raisons de logistique, nous vous demandons néanmoins de vous inscrire auprès de philippe.muller@irit.fr

IM&IA 2016

Cette deuxième journée INFORMATIQUE MEDICALE et INTELLIGENCE ARTIFICIELLE fait se rencontrer les deux disciplines autour du thème de l'ingénierie des connaissances appliquée à l'exploitation des données médicales, dont le nombre n'a cessé d'augmenter au cours de ces dernières années.

L'objectif de la journée est de débattre des verrous liés à la modélisation, la structuration, l'extraction, la recherche et la fouille de données de santé de tous types. Afin d'aborder ces questions, la journée s'appuie sur une conférence invitée et sur un ensemble de travaux qui témoignent de la vitalité et de la diversité de la recherche en France dans ce domaine.

Date et Lieu

- Date 06 juin 2016
- Lieu Hôtel Mercure, 285 bd de l'aéroport – International-Antigone – 34000 Montpellier

Programme

- 09h30 Présentations de l'Association Française d'Intelligence Artificielle, par Yves Demazeau *(Président de l'AFIA)* et de l'Association Française d'Informatique Médicale par Philippe Cinquin *(Président de l'AIM)*.
- 10h00 « Clinical language and scientific language : linguistic contrasts and ontological similarities » par Kevin B. Cohen (Univ. du Colorado)
- 11h00 « Les ontologies pour aider à comprendre les parcours de santé dans le cadre des maladies neurodégénératives » par Sonia Cardoso (IHU-A-ICM Paris) et al.
- 11h25 « OMIConto : une ressource termino-ontologique pour la qualification et l'indexation des outils d'analyse en sciences omiques » Vincent Henry (OMICS Rouen), L. Soualmia et al.
- 11h50 « Approche sémantique pour automatiser le calcul des valeurs nutritionnelles d'une recette de cuisine » par Rabia Azzi (Univ. Paris 13) et al.
- 12h15 Déjeuner
- 14h00 « Tentatives de suicide, prédire la récidive avec des techniques d'apprentissage statistique » par Philippe Combes (CH Montperrin Paris) et al.
- 14h25 « Reconnaissance des stades de sommeil à l'aide d'un outil de support à la décision basé sur les connaissances et la pratique des experts » par Adrien Ugon (Univ. Paris 6) et al.
- 14h50 « Extraction d'associations d'EIM à partir de dossiers patients : expérimentation avec les structures de patrons et les ontologies » par Gabin Personeni (Univ. Nancy) et al.
- 15h15 Pause
- 15h45 « MuEVo, un vocabulaire multi-expertise dédié au cancer du sein » par Solène Eholié (Univ. Montpellier) et al.
- 16h10 « Interopérabilité sémantique dans le domaine du diagnostic in » par Melissa Mary (Univ. Rouen) et al.
- 16h35 « Evaluation de la SNOMED CT comme support à l'alignement de terminologies diagnostiques en cancérologie » par Jean-Noël Nikiema (INSERM U1219 Bordeaux) et al.
- 17h00 Clôture

Organisation

Cet événement est organisé par Fleur Mougin pour l'Association Française d'Intelligence Artificielle (AFIA) et Pierre Zweigenbaum pour l'Association Française d'Informatique Médicale (AIM).

Inscriptions

Les inscriptions se font via le site de IC 2016 : http://ic2016.sciencesconf.org/resource/page/id/11

Rob&IA 2016

Le GdR Robotique et l'AFIA organisent leur deuxième journée commune ROBOTIQUE ET INTELLIGENCE ARTIFICIELLE. Cette journée repose sur des interventions invitées et un appel à exposés se situant à l'intersection des deux disciplines. Cette année, la session de l'après-midi se focalise plus particulièrement sur les systèmes multi-robots.

L'objectif de la journée est de faire le point sur l'impact des avancées en IA sur la Robotique, et à l'inverse, de la Robotique sur les problématiques et résultats de l'IA. La journée se conclut par une table ronde sur l'identification des intérêts communs et sur les supports au développement des projets liant ces deux disciplines.

Date et Lieu

- Date 27 juin 2016
- Lieu Pôle commun Polytech ISIMA, Campus des Cézeaux, 63177 Aubière

Programme

- 08h40 Présentations de l'Association Française d'Intelligence Artificielle, par Yves Demazeau *(Président de l'AFIA) et* du GdR Robotique par Philippe Bonnifait *(Directeur du GdR)*.
- 09h00 Présentation de la journée par Olivier Simonin (INSA Lyon) et Abdel-Illah Mouaddib *(Université de Caen)*.
- 09h10 « Adaptation Créative par Apprentissage » par Antoine Cully *(Université Paris 6)*
- 10h00 Pause
- 10h30 « Effective path planning based on expanding tree for navigation strategy of vehicle using waypoints » par José Vilca *(Université de Clermont-Ferrand)*, L. Adouane et Y. Mezouar.
- 10h50 « Planification et navigation sociale » par Anne Spalanzani *(Université Grenoble Alpes)*.
- 11h20 « Humanoid Robotics and human-robot interaction » par Serena Ivaldi *(INRIA Nancy)*.
- 11h50 « Robotique et Ethique » par Raja Chatila *(CNRS Paris)*.
- 12h20 Déjeuner
- 14h00 « Robotique évolutionnaire : état des lieux » par Nicolas Bredeche *(Université Paris 6)*.
- 14h30 « Projet R-DISCOVER : robots d'exploration coopératifs » par Ouiddad Labbani-Igbida *(Université de Limoges)*.
- 15h00 « Dassault Aviation et la Robotique : un panorama » par Bruno Patin *(Dassault Aviation Saint Cloud)*.
- 15h30 « Navigation autonome d'une flotte de véhicules communicants à partir d'une localisation précise et intègre » par Romuald Aufrère *(Université de Clermont-Ferrand)*, G. Lelong, L. Delobel et R. Chapuis.
- 16h00 Pause
- 16h30 Table Ronde
- 18h00 Clôture

Organisation

Cet événement est organisé par Olivier Simonin pour l'Association Française d'Intelligence Artificielle (AFIA) et Abdel-Illah Mouaddib pour le Groument de Recherche Robotique du CNRS (GdR Robotique).

Inscriptions

Les inscriptions se font via le site: http://rfia2016.iut-auvergne.com/index.php/organisation/inscriptions

RF&IA 2016

L'AFRIF et l'AFIA organisent leur première journée commune RECONNAISSANCE ET INTELLIGENCE ARTIFICIELLE. La journée est consacrée aux TRANSPORTS INTELLIGENTS.

Date et Lieu

- Date 28 juin 2016
- Lieu Pôle commun Polytech ISIMA, Campus des Cézeaux, 63177 Aubière

Programme

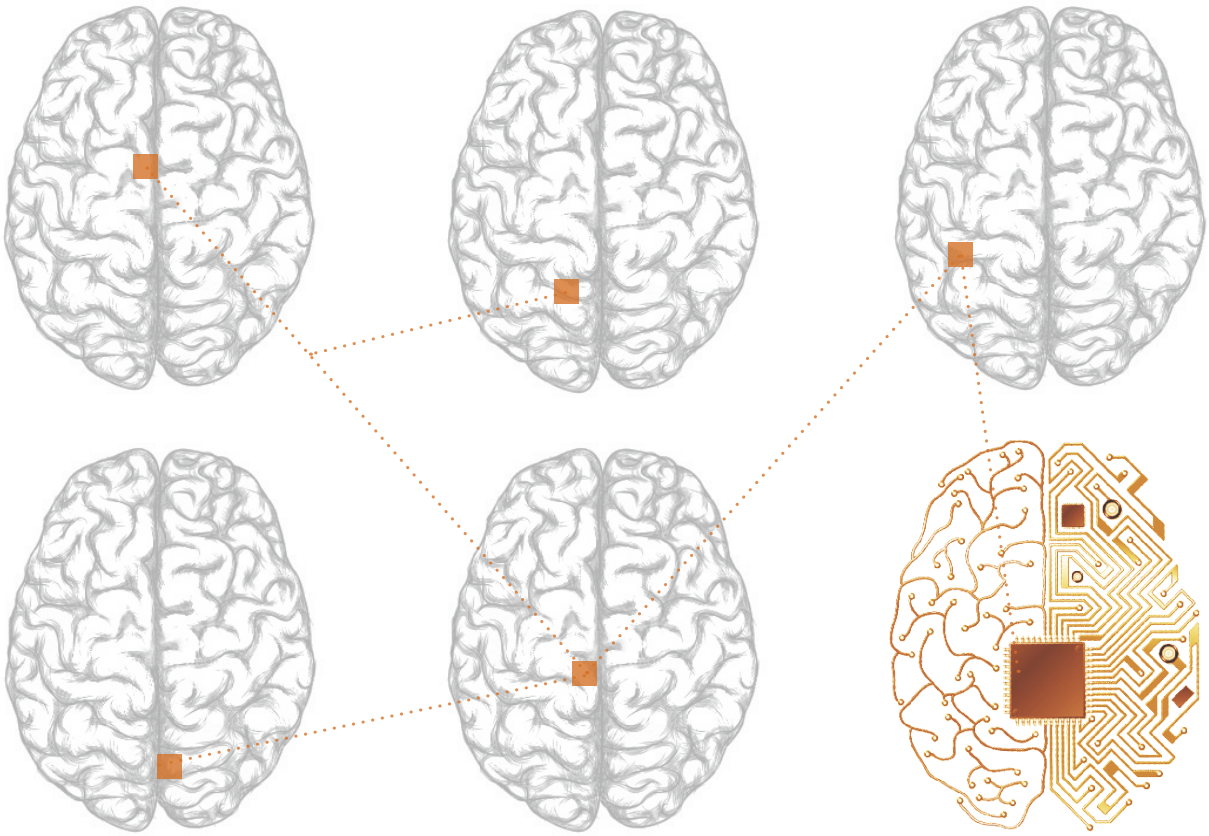
- 08h40 Présentations de l'Association Française d'Intelligence Artificielle, par Yves Demazeau *(Président de l'AFIA) et* de l'AFRIF par Marie-Odile Berger *(Présidente de l'AFRIF)*.
- 09h00 « PSA sur la route du véhicule autonome » par Vincent Abadie *(PSA Paris)*,
- 09h10 Présentation de la journée par Christine Solnon (INSA Lyon) et Patrick Rives (Inria Rennes).
- 10h30 « Retour d'expérience après plus de 1000 Km en navette sans conducteur guidée par vision » par Eric Royer *(Univ. de Clermont-Ferrand)* et al.
- 11h00 « Cohérence entre la modélisation et les objectifs de contrôle pour les véhicules autonomes » par Philip Polack *(Mines ParisTech)* et al.
- 11h30 « Evidential grids with semantic lane information for intelligent vehicles » par Chunlei Yu *(Univ. de Technologie de Compiègne)* et al.
- 12h00 « Correction de nuages de points lidar embarqué sur véhicule pour la reconstruction d'environnement 3D vaste » par Pierre Merriaux *(ESIGELEC Rouen)* et al.
- 12h30 Déjeuner
- 14h00 « Évaluation de l'impact du taux de pénétration des systèmes coopératifs sur la consommation énergétique des véhicules » par Louahdi Khoudour *(Univ. Toulouse 3)* et al.
- 14h30 « Détection de vélos inutilisables grâce aux données ouvertes du système de vélos en libre-service Citibike » par Rémi Delassus *(Univ. Bordeaux)* et al.
- 15h00 « Vers l'utilisation de graphes de liens causaux pour l'amélioration de la prévision court-terme du trafic routier » par Julien Salotti *(INSA Lyon)* et al.
- 15h20 « Réflexion sur la notion d'agent markovien dans des réseaux de transports » par Guillaume Lozenguez *(Ecole des Mines de Douai)* et al.
- 15h40 « Un algorithme multicritère pour l'optimisation des routes maritimes en temps réel » par Estelle Chauveau *(Univ. Aix-Marseille)* et al.
- 16h30 « Descripteurs d'images en contexte routier » et « Visual saliency on the road » par Pierre Duthon *(CEREMA Clermont-Ferrand)* et al.
- 17h00 « Localisation à base d'amers visuels » par Bahman Soheilian *(IGN Saint Mandé)* et al.
- 17h30 « Calibration d'un dispositif stereo-fisheye large baseline pour le diagnostic d'intersections routières » par René Datondji *(Univ. Rouen)* et al.
- 18h00 Clôture

Organisation

Cet événement est organisé par Christine Solnon pour l'Association Française d'Intelligence Artificielle (AFIA) et Patrick Rives pour l'Association Française pour la Reconnaissance et l'Interprétation des Formes (AFRIF).

Inscriptions

Les inscriptions se font via le site: http://rfia2016.iut-auvergne.com/index.php/organisation/inscriptions



PFIA 2015

Plate-forme de l'Intelligence Artificielle

Rennes

du 29 juin au 3 juillet 2015

Centre Inria Rennes - Bretagne Atlantique

APIA - IAF - IC - JFPDA - JFSMA - RJCIA

Inria Inventeurs du monde numérique

AfIA Association française pour l'Intelligence Artificielle

UMR IRISA

http://pfia2015.inria.fr

CONGRÈS

RFIA 2016

Reconnaissance de Formes et
Intelligence Artificielle

27 juin
1er juillet 2016
CLERMONT-FERRAND

Notes

En partenariat avec