



HAL
open science

Simulation de déplacements en milieu urbain à l'aide d'un module sémantique

Kenza Harkouken, Patrick Simo Kanmeugne, Nicolas Sabouret, Aurélie
Beynier

► **To cite this version:**

Kenza Harkouken, Patrick Simo Kanmeugne, Nicolas Sabouret, Aurélie Beynier. Simulation de déplacements en milieu urbain à l'aide d'un module sémantique. Rencontre des Jeunes Chercheurs en Intelligence Artificielle 2011, May 2011, Chambéry, France. hal-00797865

HAL Id: hal-00797865

<https://hal.science/hal-00797865>

Submitted on 7 Mar 2013

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.

Simulation des déplacements en milieu urbain à l'aide d'un module sémantique

Kenza Harkouken^{1,2}, Patrick Simo-Kanmeugne^{1,2}, Nicolas Sabouret¹,
Aurélie Beynier¹

¹ Université Pierre et Marie Curie
Laboratoire d'Informatique de Paris VI — SMA
prenom.nom@lip6.fr

² THALES Services S.A.S
Simulation & Entraînement
kenza.saiah@thalesgroup.com
patrick.simokanmeugne@thalesgroup.com

Résumé : Les travaux présentés dans cet article ont pour but de simuler les déplacements de piétons dans une ville virtuelle, en temps réel, et de manière crédible pour un observateur extérieur.

Nous présentons un moteur de simulation qui comprend un module de navigation et un module sémantique. Le module de navigation s'appuiera sur des règles de raisonnement fournies par le module sémantique. Ces règles permettront, entre autre, d'inférer un «facteur de danger» qui sera exploité par les algorithmes de déplacement. Notre objectif est de mesurer l'apport d'un module sémantique pour le calcul de courts déplacements des piétons dans un environnement urbain tout en mettant l'accent sur leurs interactions avec les véhicules afin de rendre le comportement plus crédible.

Nous présentons tout d'abord l'architecture générale de notre moteur de simulation, qui se compose d'un module de représentation des informations sémantiques de l'environnement et d'un module de navigation pour le déplacement des piétons. Par la suite, nous décrivons l'implémentation qui nous a permis d'évaluer notre modèle.

Mots-clés : Simulation multi-agents, environnements virtuels sémantiques, carte de navigation, path-finding, représentation des connaissances et raisonnement

1. Introduction

Les travaux présentés dans cet article se situent dans le cadre du projet «Terra Dynamica», qui est soutenu par les pôles de compétitivité Cap Digital et Advancity. L'objectif du projet est de développer un moteur de simulation

permettant d'animer une ville virtuelle réaliste, en la peuplant d'habitants et de véhicules réalisant leurs activités habituelles, capables de réagir aux évènements et de s'adapter aux évolutions de l'environnement de manière crédible. Le projet présente plusieurs aspects applicatifs dans de nombreux domaines : la sécurité, les jeux vidéo, l'urbanisme et le transport. Les résultats de ce projet bénéficieront par exemple à l'aide à la décision pour la conception de la ville et de ses services (aménagement d'un lieu urbain en prenant en compte le trafic automobile, le déplacement des individus et des foules) mais il peut aussi aider pour la gestion des opérations et des crises urbaines (la réaction et l'intervention pour gérer un accident, un incendie, etc).

Dans cet article, nous nous intéressons en particulier aux déplacements des piétons et à leurs interactions avec les véhicules. La navigation (c'est-à-dire le déplacement d'entités mobiles) est un problème très étudié en intelligence artificielle. Il comprend généralement deux grandes étapes :

1. La création d'une *carte de navigation*,
2. La conception de *techniques de navigation* à l'intérieur de cette carte
 - Recherche de chemin «*path finding*» : algorithme A*, Algorithme de plus court chemin, etc. (Rabin (2000))
 - Suivi de chemin et évitement des collisions «*path following*» : forces sociales, règles de déplacement, vitesse-obstacle (Helbing *et al.* (1998); Reynolds (1987); Fiorini & Shillert (1998)), etc.

Cependant, dans un environnement urbain, la navigation est très contrainte par l'environnement, et le déplacement ne se ramène pas simplement à trouver un chemin entre deux points et à éviter des obstacles. Nous n'aborderons pas, dans cet article, les évitements de collisions entre acteurs, qui est un autre aspect de la navigation. Plusieurs facteurs externes — nombre élevé d'acteurs, feux de circulation, densité du trafic, trottoirs, chaussées, passages piéton, etc. — interviennent directement dans le choix des déplacements. En effet, la crédibilité de déplacement des piétons dépend de leur bonne compréhension de l'environnement. Il est donc nécessaire non seulement, de fournir un modèle de données topologiques de l'environnement, mais aussi de raisonner sur cet environnement. C'est-à-dire, donner un sens aux composants (Tutenel *et al.* (2008)) et les prendre en compte conjointement avec l'aspect dynamique de l'environnement dans le calcul des déplacements. Ceci nous amène à introduire des données d'ordre sémantique dans tout le processus de navigation. Nous proposons d'utiliser deux modules — sémantique et navigationnel — communiquant par le biais de requêtes et de notifications, dans le but de reproduire des déplacements conformes au cadre de l'environnement.

Le module sémantique permet d'exprimer explicitement les connaissances de l'environnement afin de pouvoir les manipuler et faire ressortir des raisonnements (McGuinness (2001)) intéressants pour les agents. Le module de navigation, quant à lui, génère les infrastructures de navigation (carte, graphes, etc.). Il permet à des acteurs de raisonner de manière autonome sur leur environnement et de communiquer avec le module sémantique pour avoir des informations relatives à leurs objectifs.

Cette approche nous permet de décentraliser le traitement de l'information au niveau du module sémantique afin de répartir les tâches et de pouvoir utiliser le résultat d'un seul traitement pour plusieurs agents qui se trouvent dans la même situation.

Une difficulté majeure est de permettre aux piétons d'avoir un accès très rapide à l'information qu'ils attendent du module sémantique. En effet, en raison de l'aspect dynamique de l'environnement, un temps de réponse trop lent peut affecter la pertinence du résultat.

La suite de ce document s'organise comme suit. Dans un premier temps, nous citerons quelques repères de littérature notamment sur les approches de navigation et le rôle de la sémantique dans les environnements virtuels. Puis, nous définirons les grandes lignes de notre approche. Enfin, nous présenterons l'implémentation et les résultats que nous avons obtenus en appliquant notre approche sur un exemple.

2. État de l'art

Dans la première partie de notre état de l'art, nous présentons les différentes approches de modélisation des cartes de navigation. Nous reviendrons par la suite sur la sémantique dans les environnements virtuels.

2.1. Modélisation et exploitation des cartes de navigation

De nombreux travaux de modélisation de cartes de navigation issus de la robotique (Latombe (1991)) ont inspiré le domaine du jeu vidéo, et plus généralement, celui de l'animation comportementale. Nous pouvons distinguer trois principales approches : les approches locales, les approches globales, et les approches par décomposition (Pétré *et al.* (2007)).

Les approches locales se concentrent sur *le traitement des interactions entre les entités mobiles et fixes*, et donc, essentiellement la gestion de collisions. La carte de l'environnement est représentée par une *grille uniforme*

2D. En fonction de la position des buts et des obstacles, les cellules de la grille se voient affecter des valeurs variables qui guident le déplacement des entités. Les champs de potentiels sont une illustration de ce type d'approche (Treuille *et al.* (2006); Dapper *et al.* (2006)). Le principal inconvénient de ces représentations est qu'il est difficile de planifier des déplacements complexes et de gérer plusieurs entités, avec des buts différents. Néanmoins, elles ont l'avantage de faciliter l'évitement de collisions avec les obstacles fixes.

Les approches globales visent à construire, à partir de l'espace navigable¹, un ou plusieurs *graphes de navigation*. Ces graphes peuvent être topologiques et/ou métriques, en fonction du rôle qu'ils jouent dans la navigation. Lorsqu'ils sont *topologiques*, les sommets représentent des lieux clefs. Deux sommets sont alors reliés entre eux si les lieux correspondants sont voisins au sens géographique. Ceci permet d'avoir une vue globale sur l'environnement et de planifier des déplacements à long terme (Botea *et al.* (2004); Shao & et al (2005)). Dans les graphes *métriques*, les sommets représentent des points, et les arêtes sont de vrais chemins entre ces points. Plus délicats à construire, ce sont néanmoins des représentations plus détaillées, et parfois immédiates, des chemins possibles (Karamouzas *et al.* (2009)). Un point faible est qu'il n'est pas facile de prendre en compte les interactions avec l'environnement en se basant uniquement sur ces représentations.

Les approches par décomposition consistent à construire une *représentation continue* de l'environnement. L'idée est de fournir une construction alternative plus légère pour le calcul de chemin. L'environnement est ainsi décomposé en *mailles géométriques* de formes diverses, dont l'union constitue la carte de navigation. La décomposition peut être *continue* (Lamarche (2009)) ou *discrète* (Pettré *et al.* (2007)). Ces approches sont plus adaptées aux environnements complexes, et plus complètes que les précédentes pour gérer l'essentiel de la navigation. Il est possible, en effet, d'en déduire des graphes et de planifier des déplacements importants.

Les cartes de navigation se doivent d'être les plus complètes possible pour répondre simultanément aux problématiques de temps de calcul et de crédibilité. Des techniques qui consistent à calculer, au préalable, toutes les combinaisons de chemins possibles, et à les stocker dans un graphe, permettent de réduire les temps de calcul. L'essentiel de la navigation se ramène alors à suivre les chemins déjà calculés en mémoire (Kamphuis & Overmars (2004)). Cependant, pour les raisons que nous avons citées en introduction (voir sec-

1. espace navigable : environnement dépourvu de tous les obstacles fixes

tion 1.), les modèles proposés ci-dessus s'avèrent assez pauvres pour simuler la navigation en milieu *urbain*. C'est pourquoi nous nous intéressons aux modèles sémantiques de l'environnement comme complément d'informations aux cartes de navigation.

2.2. Sémantique et environnements virtuels

Les *environnements virtuels sémantiques* (EVS) sont utilisés pour enrichir le domaine d'information par des données sémantiques qui ne peuvent pas être déduites de la géométrie de l'environnement (passage piéton, chaussée, etc.). Ils permettent de renforcer les interactions entre les agents et les objets de l'environnement (Otto & Berlin (2005)). En effet, ils fournissent aux agents des informations sur le savoir (*le feu est rouge*) et sur le savoir-faire, c'est-à-dire les interactions qu'il est possible de faire et dans quelles conditions (*quand le feu est rouge les piétons peuvent traverser par le passage protégé en toute sécurité*).

La sémantique des environnements virtuels peut intervenir dans trois niveaux (Tutenel *et al.* (2008)). Le niveau le plus élémentaire est celui de l'objet (composant de l'environnement). Un objet contient un certain nombre de propriétés physiques ou fonctionnelles qui lui sont spécifiques. Par exemple, l'information fonctionnelle d'un objet est nécessaire pour décider si un agent peut l'utiliser pour atteindre un objectif. Au niveau supérieur, nous avons les relations entre les différents objets de l'environnement. Les objets peuvent être liés entre eux selon la catégorie, l'inclusion, la proximité, la coordination, ou de nombreux autres types de relations. Par exemple, une voiture et un bus sont tous les deux des moyens de transport. À un niveau encore plus élevé, nous trouvons une sémantique plus globale, comme le temps, la météo, et les propriétés climatiques.

Le formalisme qui s'est imposé pour la modélisation de l'information sémantique est celui des ontologies (Gruber (1993)). Les ontologies peuvent servir à la conception et la création des environnements virtuels (Troyer *et al.* (2003); Bram Pellens (2005); Otto & Berlin (2005)). Elles constituent un formalisme de représentation pour l'ensemble des connaissances de l'environnement, et offrent une souplesse dans la manipulation de l'information sémantique. Par exemple, Chu & Li (2008) ont décrit la sémantique des objets d'un environnement virtuel dans une ontologie, de telle sorte que les utilisateurs puissent concevoir leurs propres procédures d'animation en facilitant le calcul des procédures de raisonnement, comme la planification du chemin. Ce

travail se rapproche de ce que nous voulons faire en rajoutant de l'information sémantique qui sera par la suite exploitée par les techniques de navigation.

Des approches proposent de séparer la représentation de l'environnement du module de sélection des actions de l'agent tout en ayant une interaction entre eux (Grimaldo *et al.* (2008); Abaci *et al.* (2005)).

Dans notre architecture, nous avons repris cette idée qui permet que l'environnement n'ait pas d'influence sur l'interaction entre les agents et les objets de ce dernier (ni de prendre la décision à sa place), comme cela est présenté dans les Smarts objects (Kallmann & Thalmann (1999)) et STARFISH (Marwan Badawi (2004)).

3. Présentation générale de l'approche

Deux idées principales motivent notre approche. La première est de modéliser, à l'intérieur d'une carte de navigation, l'essentiel de l'information nécessaire à la planification des déplacements. Il s'agit non seulement de données géométriques — directionnelles (approches locales), topologiques et métriques (approches globales), surfaciques (approches par décomposition) — mais aussi de données sémantiques, à savoir : les types de surface (chaussée, trottoir, etc.), les propriétés du trafic (occupation, sens du déplacement, etc.), les feux de circulation ainsi que leur influence, etc. La deuxième idée est de se doter de techniques de navigation adaptées à la nature des données contenues dans la carte. En effet, notre objectif est de pouvoir capturer la dynamique de l'environnement de manière fiable, et raisonner sur l'environnement (moteur d'inférence) pour anticiper les événements et mieux y faire face. En particulier, dans le cadre de la simulation d'une ville virtuelle, nous nous sommes intéressés à la «dangerosité d'une zone» traversée par le piéton. Cette dernière sera calculée à la demande des acteurs et prise en compte lors du choix des déplacements. Toutefois, il faut garder à l'esprit que ce sont les acteurs qui planifient eux-mêmes leurs déplacements, et non un module externe.

La concrétisation des idées de notre approche s'est traduite par la définition de deux modules — sémantique et navigationnel — qui interagissent entre eux par un moyen de communication. Ce qui leur permet d'échanger les informations nécessaires — facteur de danger, notifications de déplacement, etc. — pour le bon fonctionnement de la simulation (voir figure 1)

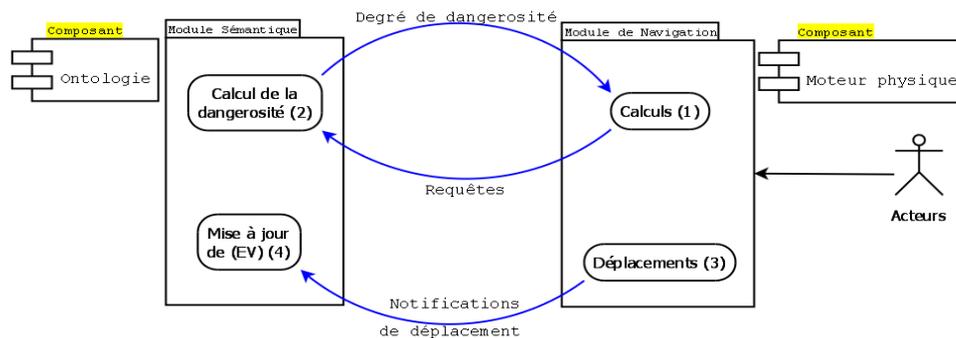
4. Architecture : module navigationnel et module sémantique

Pour la suite du document, nous introduisons la notion de *zone*, dont nous nous sommes servis pour l'élaboration des modules. **Les zones** peuvent être considérées comme des unités de surface embarquant une sémantique. Elles peuvent être de différents types selon la nature des acteurs qui les empruntent : zone piéton (les trottoirs), zone mixte (les passages piéton (P)), zone véhicule (les chaussées (C)), etc.

Chaque module prévoit un moyen de communication. Nous nous intéressons plus à la nature des échanges qu'aux infrastructures de communication proprement dites. Nous définissons deux types d'échanges : les *requêtes* et les *notifications*. Ces échanges entre le module navigationnel et le module sémantique sont illustrés sur la figure 1.

Les requêtes sont utilisées par les acteurs pour se renseigner sur l'état du trafic (notamment pour connaître la dangerosité d'une zone). Elles sont de différents formats, suivant l'information que nous souhaitons avoir. Le résultat d'une requête est apprécié différemment par chaque acteur suivant des paramètres tels que la *position* et la *vitesse maximale*.

Les notifications ont pour but d'alimenter le module sémantique et son moteur de raisonnement. Elles proviennent du module de navigation et permettent de capturer la dynamique du trafic.



(EV) : Environnement Virtuel

- (1) : Calculer un chemin à partir d'informations sémantiques envoyées par le module sémantique
- (2) : Calculer le degré de dangerosité de la zone où veut traverser le piéton (Requête de l'agent)
- (3) : Informer le module sémantique des déplacements des agents
- (4) : Mettre à jour l'état de l'environnement vis-à-vis des changements opérés

FIGURE 1: Architecture générale du modèle

4.1. Module sémantique

Le module sémantique comprend deux parties. La première consiste à représenter toutes les informations sémantiques de l'environnement nécessaires au module de navigation. La deuxième (moteur de raisonnement) définit les procédures de raisonnement qui nous permettent de calculer l'information inférée des connaissances sur l'état du trafic (la dangerosité d'une zone).

4.1.1. Représentation des informations sémantiques de l'environnement

Nous avons recensé dans une ontologie toutes les informations sémantiques qui sont utilisées, non seulement pour la création de la carte de navigation, mais aussi pour appliquer les procédures de raisonnement sur les données de l'environnement. Nous avons utilisé le langage OWL² pour faire notre modèle ontologique. Ce dernier offre trois sous-langages avec des niveaux d'expression différents (OWL Lite, OWL DL, OWL Full). Parmi les sous-langages de OWL, nous avons utilisé OWL DL qui est le plus approprié pour notre type d'application. Il permet d'avoir une expressivité maximale (toutes les inférences sont garanties d'être calculées) et la décidabilité (tous les calculs se terminent en un temps fini) des systèmes de raisonnement. OWL DL (Description Logic), est construit à partir de la logique du premier ordre.

L'environnement urbain contient plusieurs types de zones que nous avons considérés comme des concepts dans notre ontologie. Les objets statiques de l'environnement sont considérés comme des obstacles qui correspondent à des concepts de l'ontologie. Ils peuvent véhiculer une information sémantique nécessaire à la régulation du trafic (les feux de signalisation, les panneaux d'indication, etc).

Nous avons par la suite défini les relations entre les concepts de notre environnement : l'inclusion, la fonction, l'association (un feu de signalisation *est associé* à un passage piéton), la synchronisation (un feu de signalisation *est synchronisé* avec un autre feu), voisinage, etc. Ces relations possèdent des propriétés qui peuvent être symétriques, transitives, réflexives, inverses, etc. Ainsi, la relation *de voisinage* qui relie deux zones est une relation *symétrique* (voir figure 2).

2. <http://www.w3.org/TR/owl-guide/>

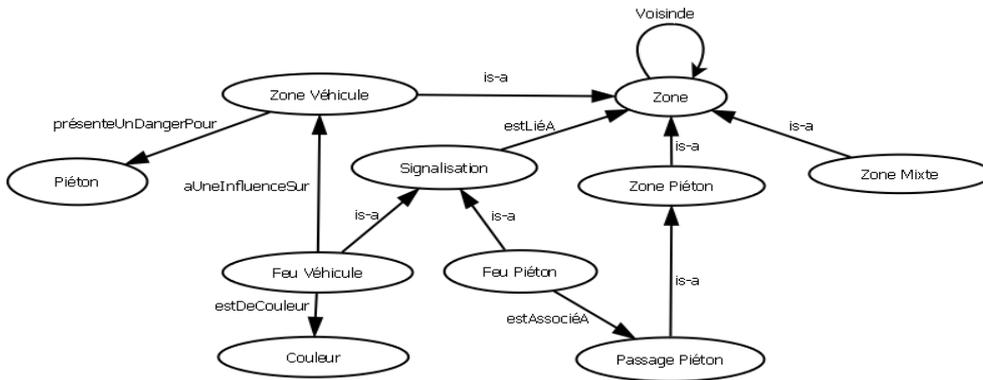


FIGURE 2: Quelques concepts de l'ontologie et leurs relations

4.1.2. Moteur d'inférence et raisonnement

La définition des propriétés des relations entre les concepts de notre ontologie nous a permis d'utiliser des règles d'inférence pour calculer *la dangerosité d'une zone* pour les piétons. Nous avons considéré qu'elle représente le degré du danger encouru par le piéton lorsqu'il veut traverser. Pour ce faire, nous avons pris en compte les informations suivantes :

- le type de la zone à traverser
- la couleur des feux
- les véhicules en approche de la zone où le piéton veut traverser

Nous nous sommes limités à ces trois facteurs pour des raisons de simplicité liées à la nature de l'environnement dans lequel nous nous plaçons.

Nous avons défini trois niveaux de dangerosité :

- *Sans-risque* lorsque le piéton marche sur des zones qui lui sont propres (trottoir), et quand il respecte le code de la route.
- *Danger-Contrôlé* lorsqu'il ne respecte pas le code de la route mais dispose d'assez d'informations pour limiter les risques.
- *Danger-Elevé* lorsque le piéton ne respecte pas le code de la route malgré des risques réels.

Le calcul de la dangerosité tiendra compte des notifications sur les déplacements des agents, envoyées par le module navigationnel, pour rendre un résultat cohérent avec l'état du trafic. Ces informations nous renseignent sur la position des véhicules par rapport au piéton. Nous regarderons tout d'abord le type de zone où le piéton envisage de se déplacer. Si c'est une zone piéton, cela nous permet de dire que le déplacement n'est pas dangereux. En

revanche, si c'est une zone mixte ou réservée aux véhicules, nous prendrons en compte d'autres informations comme la couleur des feux et la position des véhicules.

Nous ne pouvons pas présenter ici en détail l'algorithme de calcul du degré de dangerosité. Il repose sur l'application d'un ensemble de règles d'inférences et l'envoi de requêtes pour interroger notre modèle ontologique.

Voyons maintenant comment le module de navigation utilise et interagit avec le module sémantique.

4.2. Le module navigationnel

Le module de navigation contient principalement : un *graphe topologique* et un *graphe orienté*.

Le graphe topologique se déduit d'une partition de l'environnement en zones, donnée en entrée du module. Les sommets représentent les zones et leurs attributs (dimensions, type, catégorie). Les arêtes décrivent les relations d'adjacence entre les différentes zones.

Le graphe orienté se déduit du graphe topologique. Il sert à définir le sens des déplacements à l'intérieur des zones. *L'heuristique de construction* de ce graphe est la suivante :

Initialisation À partir des extrémités de chaque zone, et suivant le sens du déplacement, nous créons un nœud à chaque fois qu'une nouvelle direction est possible. Si plusieurs directions sont possibles simultanément, nous renouvelons l'opération pour chacune des nouvelles directions. Lorsque nous créons un nouveau nœud, nous le connectons avec le nœud précédent dans la direction courante. nous enregistrons pour chacun d'eux, la position du voisin, la distance qui les sépare, et le vecteur directeur orienté vers le voisin.

Connexion des zones L'étape suivante consiste à mettre à jour le voisinage des nœuds situés aux extrémités des zones en les connectant avec les nœuds les plus proches dans les zones voisines.

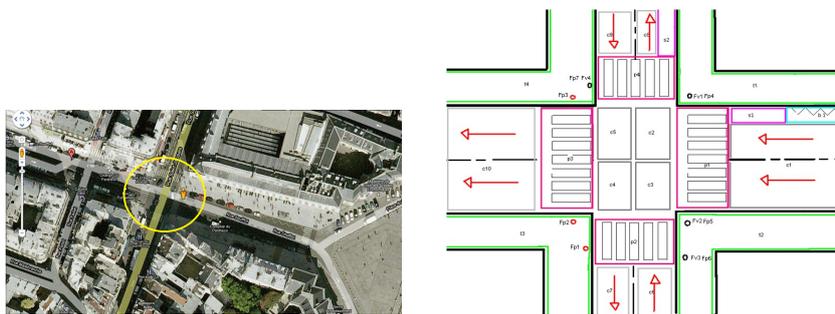
Notons qu'en plus du sens des déplacements, ce graphe nous donne un aspect général des trajectoires des chemins et des points de repères pour, éventuellement, planifier des déplacements complexes. En plus, en considérant le graphe topologique «sémantique» sous-jacent, nous avons réussi à regrouper au sein d'une même représentation toutes les informations qui nous intéressaient au départ : sens de déplacement, trajectoire globale, surfaces dédiées au déplacement, données sémantiques.

Notons quelques éléments essentiels qui permettent de tirer profit du module sémantique.

- la zone courante : le piéton doit connaître la zone dans laquelle il se trouve à chaque instant et lancer régulièrement des requêtes pour connaître son état. Suivant le résultat de cette requête, le piéton peut-être amené à adopter un comportement particulier (accélérer, ralentir, etc.) ou revoir complètement ses plans.
- la direction courante : elle est représentée par un nœud du graphe orienté.
- la zone suivante dans le sens du déplacement : cette information est nécessaire, entre autre, pour anticiper certains évènements. Toujours par le biais de requêtes, les piétons seraient plus à même de prendre en compte la dynamique du trafic pour choisir leur déplacements.
- l'aversion au risque : cette valeur permettrait à chaque piéton d'apprécier individuellement la dangerosité du trafic.

5. Implémentation et résultats

L'expérimentation de notre approche nécessite un espace navigable partitionné en zones. La génération d'environnements virtuels ne faisant pas partie de nos travaux, nous l'avons fait manuellement. Notre environnement s'inspire d'un carrefour de la rue Soufflot dans le 5^e arrondissement de Paris (voir figure 3). Le carrefour nous permet de mettre en évidence les interactions entre les piétons et les véhicules.



(a) Image de départ : Rue Soufflot, Paris V (google Map)

(b) Partition en zones

FIGURE 3: Génération des infrastructures pour le module de navigation

Le scénario de simulation est le suivant : nous générons aléatoirement des

piétons dans l'environnement et nous leur attribuons une destination arbitraire. Les piétons doivent se déplacer jusqu'à cette destination en prenant en compte l'état du trafic.

Pour gérer les entités mobiles et les collisions, nous utilisons un moteur physique (*Bullet*). L'implémentation des modules s'est faite en *Java*, *Protégé* et *C++*. Les modules communiquent par le biais d'un *Socket*.

Nous avons utilisé une matrice du plus court chemin qui est calculée à partir du graphe de navigation que nous avons généré. Elle nous permet de définir pour chaque paire de nœuds A et B, le prochain nœud C dans le plus court chemin entre A et B.

Le principe de l'algorithme de navigation que nous avons implémenté est le suivant :

Entrée : une destination

1. Évaluation de l'accessibilité des zones balayées par le segment allant de la position du piéton jusqu'au but (requête de dangerosité des zones).
2. Si la dangerosité des zones est négligeable, alors le piéton se dirige vers le but.
3. Sinon, faire un détour par un nœud (C).
 - Calcul du nœud (B) le plus proche du but dans le graphe de navigation.
 - Utilisation de la direction de départ (nœud(A)) pour déterminer le nœud de détour (C) (voir section 4.2.).
 - Récupérer, dans la matrice du plus court chemin, le nœud correspondant à l'entrée (A, B).
 - Le piéton se dirige vers le point de détour (C).
 - Revenir à la première étape de l'algorithme.

Les règles d'inférence sont définies par un langage formel. Toutes les règles sont exprimées en termes de concepts OWL (classes, propriétés, des individus, les littéraux ...).

Exemple : Nous avons un piéton qui veut traverser par un passage piéton signalé par un feu, sans vouloir attendre que le feu devienne rouge pour le faire. Nous avons défini une règle qui permet de dire si une zone peut présenter un danger pour les piétons dans le cas où le feu autorise les véhicules de traverser (le feu est vert) par cette zone là. La règle est définie comme suit :

Si le passage piéton est signalé par un feu et que le feu véhicule est «vert» alors le passage piéton peut présenter un danger pour le piéton.

Formellement nous l'écrivons comme suit :

aUneInfluenceSur(?F,?Z) ∧ estDeCouleur(?F,Vert) → presenteUnDangerPour(?P,?Z)

Si nous déduisons que la zone que veut traverser le piéton présente un risque, nous chercherons alors à calculer le degré du danger qu'il peut encourir. L'information sur le trafic nous permet de connaître quelles sont les zones occupées par les véhicules qui peuvent passer par le passage piéton. Cela se fait en interrogeant notre ontologie via des requêtes exprimées en RDQL³. Par la suite, cette information est traitée dans notre algorithme de calcul du degré de dangerosité.

Avant de commenter les résultats, notons que le temps d'exécution de l'application dépend fortement du temps de transfert de messages entre les deux modules, et de la rapidité du moteur de raisonnement. Le nombre de requêtes et de notifications envoyées par le module de navigation augmentant proportionnellement avec le nombre d'acteurs, il est possible que la communication soit saturée, et donc interrompue, au delà d'un certain nombre d'acteurs. Mais cette difficulté peut être contournée via une conception moins naïve du réseau.

Les résultats observés sur le carrefour sont suffisants pour faire une première évaluation de notre approche. Grâce à la carte construite en prenant en compte des données sémantiques, les déplacements observés sont cohérents avec l'environnement. De plus, la communication avec le module sémantique rend les piétons plus réactifs et renforce la crédibilité de la simulation. Par exemple, ces derniers respectent le code de la route (feux, passages piétons), mais peuvent l'enfreindre si le trafic le permet. Ce genre de comportement est rendu possible grâce à des informations dynamiques mises à la disposition des piétons par le module sémantique.

6. Conclusion et perspectives

L'objectif de ce travail était de modéliser l'information sémantique de l'environnement pour le calcul des déplacements d'un piéton dans un milieu urbain, et de développer des algorithmes de navigation qui les utilisent. L'information sémantique offre au module navigationnel une aide pour la prise de décision de l'agent (s'arrêter, avancer, changer de direction, etc). Dans notre cas, nous avons calculé «le facteur danger» que nous avons jugé être

3. <http://www.w3.org/Submission/RDQL/>

une information pertinente pour les déplacements du piéton. Nous avons implémenté notre approche pour la simulation des comportements des piétons traversant un carrefour. Le résultat de la collaboration des deux modules de notre approche nous a permis d'obtenir un comportement crédible dans les déplacements des piétons.

Nous envisageons d'améliorer quelques aspects liés à la performance de notre moteur de simulation. Nous travaillons également sur la génération automatique du graphe de navigation à partir des informations sémantiques de l'environnement. Jusqu'à présent, nous n'avons considéré que les comportements des piétons, mais nous prévoyons d'étendre notre modèle aux comportements des véhicules. À plus long terme, nous prévoyons d'enrichir le raisonnement dans le module sémantique, en prenant en compte une évaluation de l'environnement orientée par les critères des agents. Cela lui permettra de leur proposer différentes alternatives qu'ils apprécieront en fonction de leurs objectifs respectifs. Pour conclure nos perspectives, l'architecture de notre moteur de simulation devra être robuste au passage à l'échelle.

Références

- ABACI T., CÍGER J. & THALMANN D. (2005). Action semantics in smart objects workshop paper. volume Workshop towards Semantic Virtual Environments (SVE 2005).
- BOTEA A., MÜLLER M. & SCHAEFFER J. (2004). Near optimal hierarchical path-finding. *Journal of Game Development*, **1**, 7–28.
- BRAM PELLENS, OLGA DE TROYER W. B. F. K. (2005). Conceptual modeling of object behavior in a virtual environment. Biarritz, France : Springer-Verlag.
- CHU Y.-L. & LI T.-Y. (2008). Using pluggable procedures and ontology to realize semantic virtual environments 2.0. p. 1–6.
- DAPPER F., E SILVA JR. E. P., IDIART M. A. P. & NEDEL L. P. (2006). Simulating pedestrian behavior with potential fields. In T. NISHITA, Q. PENG & H.-P. SEIDEL, Eds., *Advances in Computer Graphics, 24th Computer Graphics International Conference, CGI 2006, Hangzhou, China, June 26-28, 2006, Proceedings*, volume 4035 of *Lecture Notes in Computer Science*, p. 324–335 : Springer.
- FIORINI P. & SHILLERT Z. (1998). Motion planning in dynamic environments using velocity obstacles. *International Journal of Robotics Research*, **17**, 760–772.

- GRIMALDO F., LOZANO M., BARBER F. & VIGUERAS G. (2008). Simulating socially intelligent agents in semantic virtual environments. *Knowl. Eng. Rev.*, **23**(4), 369–388.
- GRUBER T. R. (1993). Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. In *In formal ontology in conceptual analysis and knowledge representation*, kluwer academic publishers, in press. substantial revision of paper presented at the international workshop on formal ontology : Kluwer Academic Publishers.
- HELBING D., MOLNAR P. & SCHWEITZER F. (1998). Computer simulations of pedestrian dynamics and trail formation. Comment : For related work see <http://www.theo2.physik.uni-stuttgart.de/helbing.html>.
- KALLMANN M. & THALMANN D. (1999). Direct 3d interaction with smart objects. In *Proceedings of ACM VRST'99*, p. 124–130 : ACM Press.
- KAMPHUIS A. & OVERMARS M. H. (2004). Finding paths for coherent groups using clearance. In D. K. PAI & R. BOULIC, Eds., *Eurographics/SIGGRAPH Symposium on Computer Animation*, p. 19–28, Grenoble, France : Eurographics Association.
- KARAMOUZAS I., GERAERTS R. & OVERMARS M. H. (2009). Indicative routes for path planning and crowd simulation. In J. WHITEHEAD & R. M. YOUNG, Eds., *fdg*, p. 113–120 : ACM.
- LAMARCHE F. (2009). Topoplan : a topological path planner for real time human navigation under floor and ceiling constraints. *Comput. Graph. Forum*, **28**(2), 649–658.
- LATOMBE J. (1991). *Robot Motion Planning*. Boston, Dordrecht, London : Kluwer Academic Publishers.
- MARWAN BADAWI S. D. (2004). Autonomous agents interacting with their virtual environment through synoptic objects. volume the 17th Conference on Computer Animation and Social Agents (CASA2004).
- MCGUINNESS D. L. (2001). Description logics emerge from ivory towers. In C. A. GOBLE, D. L. MCGUINNESS, R. MÖLLER & P. F. PATEL-SCHNEIDER, Eds., *Description Logics*, volume 49 of *CEUR Workshop Proceedings* : CEUR-WS.org.
- OTTO K. & BERLIN F. U. (2005). Towards semantic virtual environments. In *In Workshop Towards Semantic Virtual Environments*, p. 47–56.
- PETTRÉ J., GRILLON H. & THALMANN D. (2007). Crowds of moving objects : Navigation planning and simulation. In *ICRA*, p. 3062–3067 : IEEE.
- RABIN S. (2000). A star : Speed optimization. In M. DELOURA, Ed., *Game Programming Gems*, p. 272–287 : Charles River Media.

- REYNOLDS C. (1987). Flocks, herds, and schools : A distributed behavioral model. *Computer Graphics*, **21**(4). cwr@symbolics.com.
- SHAO W. & ET AL (2005). Environmental modeling for autonomous virtual pedestrians.
- TREUILLE A., COOPER S. & POPOVIĆ Z. (2006). Continuum crowds. *ACM Transactions on Graphics*, **25**(3), 1160–1168.
- TROYER O. D., BILLE W., ROMERO R. & STUER P. (2003). On generating virtual worlds from domain ontologies. In *In Proceedings of the 9th International Conference on Multi-Media Modeling*.
- TUTENEL T., BIDARRA R., SMELIK R. M. & KRAKER K. J. D. (2008). The role of semantics in games and simulations. *Comput. Entertain.*, **6**(4), 1–35.