



HAL
open science

Auto-calibration adaptative de modèles de simulation de trafic par système multi-agent

Damien Vergnet, Frédéric Amblard, Elsy Kaddoum, Nicolas Verstaevel

► To cite this version:

Damien Vergnet, Frédéric Amblard, Elsy Kaddoum, Nicolas Verstaevel. Auto-calibration adaptative de modèles de simulation de trafic par système multi-agent. 3èmes Rencontres Francophones Transport Mobilité (RFTM 2021), Jun 2021, Marne-la-Vallée, France. hal-03619052

HAL Id: hal-03619052

<https://hal.science/hal-03619052>

Submitted on 24 Mar 2022

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.



Auto-calibration adaptative de modèles de simulation de trafic par multi-agent

Damien Vergnet^{a*}, Frédéric Amblard^a, Elsy Kaddoum^a, Nicolas Verstaevel^a

Institut de Recherche en Informatique (IRIT), Toulouse, France

Introduction

La simulation multi-agent est un outil d'analyse et de prévision pertinent, souvent utilisée pour étudier et comprendre des phénomènes complexes. Elle se base pour cela sur des modèles de simulations permettant de reproduire le fonctionnement d'un système/ d'une entité à différents niveaux et échelles. Ces modèles se basent en entrée sur un ensemble de paramètres modifiant le fonctionnement du système étudié. Afin que ce fonctionnement soit le plus réaliste possible, une phase de calibration à partir de données réelles est requise. La calibration de modèles de simulations multi-agents est un problème NP-difficile [6] du fait de l'hétérogénéité et de l'interdépendance des paramètres ainsi que de la dynamique des éléments en interaction au sein du modèle utilisé. Dans cet article, nous abordons le problème de la calibration temps réel (ou en ligne) de modèles de simulations sous trois objectifs :

- Le **réalisme** : le comportement du modèle calibré doit être le plus proche possible du système de référence ;
- L'**adaptation** au changement : le modèle doit s'adapter aux changements qui surviennent dans le système de référence ;
- L'**interactivité** : le système doit pouvoir prendre en compte des contraintes introduites par l'utilisateur durant l'exécution de la simulation.

L'objectif de ce travail concerne la mise en place d'un outil interactif permettant l'auto-calibration des modèles de simulations par l'exploration dynamique de l'espace des paramètres afin que le fonctionnement soit le plus pertinent par rapport au système observé. L'outil envisagé ici est utilisé et validé sur des modèles de simulations du trafic routier. Le domaine du trafic routier est adéquat pour évaluer les méthodes de calibration pour les raisons suivantes :

- Une grande dynamique : le comportement des entités (véhicules, usagers, etc.) évolue en continu ;
- La taille de l'espace des paramètres en entrée est très grande et dépend de la granularité du modèle utilisé (niveau macroscopique et/ou microscopique) ;
- Le passage à l'échelle : la simulation du trafic à l'échelle d'une ville peut amener à simuler des milliers voire des millions d'entités.

La littérature propose deux grandes approches pour la calibration de modèles. La première catégorie regroupe des méthodes itératives, qui dissocient la phase de calibration de la phase de simulation et sont appelées : *offline*. La seconde regroupe des approches basées sur des techniques d'assimilation de données, qui intègrent la calibration à la simulation et sont appelées : *online*.

Les approches **offlines** reposent principalement sur des méthodes itératives à base d'algorithmes génétiques [1, 3] ou d'autres méthodes d'optimisation [8, 11]. Du

* Auteur correspondant
Adresse mail : damien.vergnet@irit.fr



fait qu'elles ne sont exécutées qu'une seule fois, avant toute simulation, ces méthodes ne permettent pas au modèle de s'adapter aux éventuels changements de comportements du système de référence. Elles ne permettent pas non plus une interactivité avec l'utilisateur. Dans ce cadre, l'adaptation du modèle à de nouvelles observations ou de nouveaux comportements, nécessitent l'arrêt de la simulation et la relance d'une phase de calibration (parfois coûteuse en temps de calcul) avant d'envisager toute réutilisation de la simulation.

Les approches **onlines** diffèrent des approches **offlines** dans le sens où elles s'appliquent tout le long de l'exécution d'une simulation. Les approches les plus répandues sont basées sur différentes techniques d'assimilation de données : *Particle filter* [10] aussi appelé *Sequential Monte-Carlo* [7], filtre de *Kalman* (et ses extensions *Ensemble Kalman filter* [12], *Unscented Kalman filter*). Le filtre de *Kalman* fonctionne de la manière suivante : tout d'abord, le modèle est exécuté jusqu'à ce qu'une observation du système de référence soit disponible. Cette étape permet d'effectuer une prédiction a priori de l'état réel du système. Ensuite, cette observation est utilisée pour mettre à jour l'état estimé. À ce stade, l'état estimé devrait être plus proche de l'état réel du système [12]. La méthode du *Particle filter* quant à elle permet de faire de l'assimilation de données dans un modèle non linéaire. C'est une approche bayésienne impliquant la construction de la Fonction de Densité de Probabilité (FDP) de l'état courant du modèle. Cette construction se fait en fournissant à la FDP un ensemble d'échantillons obtenus par la méthode de Monte Carlo [3,11]. L'application de ces modèles de calibration reposent sur des hypothèses sur la nature des données et ne prend pas en compte leurs possibles interdépendances.

Méthodologie

Pour répondre aux limitations précédentes, nous proposons une approche originale de la calibration de systèmes basée sur la théorie des systèmes multi-agents auto-adaptatifs [4] baptisée **CALICOPA** (**CAL**ibration **CO**opérative à **B**ase d'**A**gents). Les systèmes multi-agents permettent de modéliser un système en se focalisant sur les entités qui le composent plutôt que sur sa fonction globale. Dans ce contexte, nous distinguons :

- Le niveau microscopique constitué des entités autonomes situées dans le monde virtuel (modélisant un environnement physique). Ces entités ont des propriétés et contraintes intrinsèques (règles de fonctionnement, position dans l'environnement, etc.), des objectifs à atteindre (buts locaux, destination, etc.) et interagissent dans leur environnement selon des règles prédéfinies (coopération, compétition, etc.).
- Le niveau macroscopique qui se construit à partir des interactions des entités du niveau microscopique qui ont chacune leur modèle comportemental spécifique.

Le contrôle totalement décentralisé de systèmes autonomes est de plus en plus reconnu comme réponse possible à une exploration rapide et efficace de l'espace de recherche. Les algorithmes de recherche de solution dans des espaces gigantesques par auto-organisation coopérative ont déjà prouvé leur efficacité, notamment avec les travaux en biologie synthétique [9] ou dans le contrôle de moteurs à combustion [2]. Nous proposons un modèle d'agents coopératifs basé sur la théorie des systèmes multi-agents auto-adaptatifs [4] permettant une exploration efficace et rapide de l'espace des paramètres d'une manière automatique. Cette exploration permet un réajustement permanent des paramètres des modèles de



simulations jusqu'à convergence, améliorant ainsi le contrôle du niveau microscopique par le niveau macroscopique.

Un des intérêts majeurs de l'approche multi-agent est de comprendre le passage micro-macro et comment une structure macroscopique est générée à partir de spécifications données au niveau microscopique (valeurs des paramètres d'entrée des modèles et modèles des comportements locaux). Néanmoins, il est aussi intéressant et pertinent de comprendre le passage macro-micro et comment à partir d'une spécification au niveau macroscopique (l'observation d'un bouchon, les variabilités de densités journalières...), un niveau microscopique correspondant peut être généré. C'est l'objet de recherche que nous explorons avec **CALICOPA**. Un des buts poursuivis est de proposer des comportements adaptatifs des entités du niveau microscopique les amenant à adapter leurs paramètres internes afin de répondre collectivement aux contraintes du niveau macroscopique ou d'atteindre les régularités collectives spécifiées.

Principaux résultats obtenus ou attendus

Pour évaluer notre contribution, nous réalisons une simulation de trafic sur un campus universitaire. Cette simulation intègre les déplacements des véhicules au sein de l'université. Pour calibrer cette simulation, nous utilisons les emplois du temps pour estimer le nombre d'utilisateurs au sein des bâtiments en fonction de l'heure de la journée. L'objectif est alors de calibrer en temps réel le trafic pour atteindre les objectifs de fréquentation des bâtiments. Ce trafic doit en outre permettre à des utilisateurs d'interagir en modifiant les objectifs de fréquentation, et de s'adapter à des événements pouvant se produire dans l'environnement virtuel. Dans ce contexte, le point d'intérêt concerne le couplage des deux niveaux micro-macro :

- Au niveau microscopique : les entités autonomes situées dans le monde virtuel (représentant des véhicules) se déplacent en fonction de leurs propriétés et contraintes intrinsèques (vitesse maximale, dimensions, etc.) afin d'atteindre des objectifs propres (destination, minimisation du temps de trajet, etc.).
- Au niveau macroscopique : des points d'observation (caméras de 30 m de portée) donnent des informations sur ce trafic (débit, direction du déplacement, etc.). Ces points d'observation sont en nombre limité et ne couvrent pas tout le territoire.

À partir des informations obtenues à partir de ces points d'observation, nous souhaitons adapter le comportement des entités du niveau microscopique afin de simuler un trafic le plus proche possible de la réalité. La dynamique du niveau macroscopique impose une calibration continue (un forçage dynamique) du niveau microscopique. Ce modèle a été implémenté sous la plateforme de simulation GAMA [5].

Principales références bibliographiques

[1] Glareh Amirjamshidi and Matthew J. Roorda. Multi-objective calibration of traffic microsimulation models. *Transportation Letters*, 11(6) :311–319, July 2019.

[2] Jérémy Boes and Frédéric Migeon. Self-organizing multi-agent systems for the control of complex systems. *Journal of Systems and Software*, 134 :12–28, 2017.

[3] James Carpenter, Peter Clifford, and Paul Fearnhead. Improved particle filter for non-linear problems. *IEE Proceedings-Radar, Sonar and Navigation*, 146(1): 2–7, 1999.



- [4] Sandro Chiappone, Orazio Giuffrè, Anna Granà, Raffaele Mauro, and Antonino Sferlazza. Traffic simulation models calibration using speed–density relationship: An automated procedure based on genetic algorithm. *Expert Systems with Applications*, 44 :147–155, February 2016.
- [5] Jean-Pierre Georgé, Marie Pierre Gleizes, and Pierre Glize. Conception de systèmes adaptatifs à fonctionnalité émergente : la théorie amas. *Revue d'intelligence artificielle*, 17(4) :591–626, 2003.
- [6] Arnaud Grignard, Patrick Taillandier, Benoit Gaudou, Duc An Vo, Nghi Quang Huynh, and Alexis Drogoul. Gama 1.6: Advancing the art of complex agent-based modeling and simulation. *International conference on principles and practice of multi-agent systems*, pages 117–131. Springer, 2013.
- [7] Marko Hofmann. On the Complexity of Parameter Calibration in Simulation Models. *The Journal of Defense Modeling and Simulation*, 2(4) :217–226, October 2005.
- [8] Xiaolin Hu. Dynamic data driven simulation. *SCS M&S Magazine*, 5: 16–22, 2011.
- [9] Francesco Lamperti, Andrea Roventini, and Amir Sani. Agent-Based Model Calibration Using Machine Learning Surrogates. SSRN Scholarly Paper ID2943297, Social Science Research Network, Rochester, NY, October 2017.
- [10] Sébastien Maignan. Study of conditions for the emergence of cellular communication using self-adaptive multi-agent systems. PhD thesis, Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier, 2018.
- [11] Nick Malleon, Kevin Minors, Le-Minh Kieu, Jonathan A. Ward, Andrew A. West, and Alison Heppenstall. Simulating Crowds in Real Time with Agent-Based Modelling and a Particle Filter. arXiv :1909.09397 [cs], September 2019.
- [12] Anastasia Spiliopoulou, Ioannis Papamichail, Markos Papageorgiou, Yannis Tyrinopoulos, and John Chrysoulakis. Macroscopic traffic flow model calibration using different optimization algorithms. *Operational Research*, 17(1): 145–164, April 2017.
- [13] Jonathan A. Ward, Andrew J. Evans, and Nicolas S. Malleon. Dynamic calibration of agent-based models using data assimilation. *Royal Society Open Science*, 3(4), April 2016.

Mots clés

Système multi-agent, calibration de modèles, simulation de trafic

Sessions visées (3 max)

1. Session n° 23