

SIMULATION MULTI-ECHELLE DU TRAFIC ROUTIER

Fabien BONNEFOI¹, Julien SOULA¹, Ludovic Leclercq², Cécile Bécarie²

¹ CSTB, Sophia-Antipolis, France.

² Université de Lyon, INRETS/ENTPE, LICIT, France.

Le CSTB, en collaboration avec l'IFSTTAR intègre depuis plusieurs années différents modèles de simulations du trafic aux échelles macroscopique et microscopique. Afin d'améliorer sa plateforme logicielle d'aide à la décision pour l'aménagement urbain *eveCity* [Soula 2011] c'est maintenant l'échelle nanoscopique qui est introduite au sein d'un modèle unique de maquette numérique urbaine.

La qualité de la simulation est déjà optimisée par la combinaison des échelles macro & micro au sein de la librairie Symuvia de l'IFSTTAR. Mais les recouvrements nécessaires avec l'échelle nanoscopique posent différents problèmes, notamment par l'introduction d'artefacts visuels lors d'un changement d'échelle (véhicules qui se superposent, inter-distances non réalistes,...).

Les travaux présentés dans ce poster visent donc à proposer une méthode innovante assurant la compatibilité entre les échelles nanoscopique (mécanique du véhicule et décision du conducteur) et microscopique (déplacement des véhicules dans un flux global). La démarche suivie vise à comprendre quand et comment les résultats produits pas les différentes échelles de simulations doivent être pris en compte, afin de produire une simulation crédible au regard de l'observateur et juste d'un point de vue théorique.

Les travaux présentés ici sont menés notamment dans le cadre du projet Ville Numérique (Pôle Scientifique et Technique Paris-Est).

Short brief in English

CSTB and IFSTTAR have been working together for four years on integrating dynamic traffic simulations (simulation package Symuvia developed by IFSTTAR) into a virtual but realistic urban environment (*eveCity* software developed by CSTB). The resulting platform aims to provide to practitioners and urban decision makers an integrated tool for assessing urban projects or traffic management strategies through multiple criteria and a special attention to environmental issues.

The Symuvia simulator uses macroscopic behavioural rule but a microscopic numerical resolution that individualizes vehicles. This model is consistent with most of urban traffic patterns but is not designed to accurately vehicle motion at a very local scale. Then, visual artefacts may happen when showing such a simulation into a 3D virtual environment, notably during lane-changings or merging. Simulations should then be refined before being playing into the 3D environment without breaking the consistence with the macroscopic scale.

This work is a first step towards such a direction. A new nanoscopic scale is investigated to reduce the visual artefacts. The main challenge is to improve the local motion of vehicles while keeping the consistency of the global traffic behaviour.

Introduction

L'utilisation d'un modèle microscopique pour alimenter un simulateur de trafic à l'échelle nanoscopique a déjà été étudiée par [Nguen That 2011] mais les répercussions du modèle nanoscopique sur le modèle microscopique ne sont pas abordées et restent une problématique ouverte.

Nous utilisons le moteur de trafic Symuvia de l'IFSTTAR qui implémente un modèle de trafic à représentation microscopique, basé sur une loi macroscopique [Leclercq et al, 2007]. Ce modèle de trafic a été enrichi de diverses extensions de manière à décrire plus finement les diverses situations de trafic en milieu urbain (intersections, carrefours à feux, giratoires, gestion des voies, transports en commun, etc.) [Leclercq et Laval, 2007] [Laval et Leclercq, 2008] [Chevallier et Leclercq, 2008] [Chevallier et Leclercq, 2008b]. L'intégration d'une troisième échelle de simulation nanoscopique doit être compatible (i) avec le modèle Symuvia et (ii) avec la plateforme logicielle intégratrice eveCity du CSTB [Soula 2011]. Celle-ci permet en effet, dans un contexte de réalité virtuelle, de coupler la maquette numérique urbaine, la simulation de trafic, et la simulation environnementale (bruit, pollution par exemple) pour une évaluation intégrée des nuisances urbaines.

Méthode de transition entre les échelles de modélisations

1 - Méthode pour la traversée d'échelle

La combinaison des modèles nanoscopique et microscopique nécessite de définir une frontière qui sépare les deux modèles. De chaque côté de la frontière les modèles sont valides à leurs échelles respectives. La frontière séparant les deux modèles définit une « zone intermédiaire » qui permet aux deux modèles de se synchroniser en préservant leur validité.

Pour définir cette frontière nous utilisons les concepts de « zone nanoscopique » présentée dans [Espié 1995] et [Olstam 2005]. A l'intérieur de cette « zone » les véhicules sont contrôlés par le modèle nanoscopique, à l'extérieur, ils passent d'abord par une « zone intermédiaire » avant d'être contrôlés par le modèle microscopique. Nous nous sommes inspirés du concept de « zone intermédiaire » présenté dans [Nguen That 2011] servant à synchroniser les deux modèles. Initialement son fonctionnement est uniquement basé sur un observateur embarqué dans un véhicule. Nous avons étendu le concept de zone intermédiaire afin de prendre en compte les contraintes liées à la plateforme eveCity. Celle-ci permet en effet une immersion interactive de l'utilisateur dans une maquette numérique urbaine en trois dimensions (il peut se déplacer où il le désire). Il peut ainsi observer la scène, ainsi que les résultats de simulation, au niveau de la chaussée (mode piéton) ou en survolant la zone urbaine, ainsi que toute autres positions intermédiaires (exemple en section 1.3).

2 – En fonction des usages

Les paramètres des « zones nanoscopique » et « zones intermédiaire » dépendent entre autre de l'usage qui est fait du simulateur nanoscopique. On sait par exemple qu'en améliorant le réalisme et la crédibilité des rendus, les modèles nanoscopiques de trafic renforcent l'immersion [Wright 2002] de l'utilisateur. Ceci est particulièrement intéressant quand la simulation sert à des études d'aménagement. Dans ce cas, la « zone nanoscopique » doit couvrir la zone observée, le reste du réseau pouvant être dirigé pas les moteurs micro et macro. Mais le modèle nanoscopique peut aussi servir aux études de consommation de carburant, à l'évaluation d'écoulements en situations extrêmes comme les catastrophes naturelles [Daiheng 2000], ou encore à l'étude de l'impact théorique des systèmes de transports intelligents déployés dans le véhicule et l'infrastructure [CIVIC]. Dans ces cas la portée de la « zone nanoscopique » et de la « zone de synchronisation » dépendront de la zone d'étude et non de la zone observée ; et les résultats de simulation peuvent être pré-calculés. Un simulateur nanoscopique peut également servir à la réalisation d'un simulateur de conduite [Nguen That 2011], dans ce cas la « zone nanoscopique » doit permettre la prise en compte du comportement de l'utilisateur et ne peut être pré-calculé.

Nous avons classé ces différents types d'usage d'un moteur nanoscopique afin de pouvoir adapter en fonction leur comportement. Voici les trois types d'utilisation que nous avons retenus et leur description :

- *Immersion / observation* : la « zone nanoscopique » est définie par la position de l'observateur et il n'y a pas d'interaction. Cet usage permet le pré-calcul mais fonctionne aussi en calcul dynamique temps réel.
- *Mesure / analyse numérique* : la « zone nanoscopique » est définie par la portée de l'étude et non par la position de l'observateur. Si la portée est trop importante, la simulation nanoscopique ne peut être calculée en temps réel et un pré-calcul peut être nécessaire.
- *Interaction* : La « zone nanoscopique » doit être réactive aux entrée de l'utilisateur, le pré-calcul est donc à proscrire et la stratégie adoptée ici est un calcul local dynamique et temps réel.

De ces différents usages nous déduisons trois modes de collaboration entre un moteur nanoscopique et un moteur microscopique :

“*Dirigé par le microscopique*” : La simulation nanoscopique, quand elle est active, ne modifie pas les entrées du moteur microscopique. Ce mode de fonctionnement permet un rendu temps-réel des simulations nano tout en autorisant le pré-calcul du moteur de simulation micro. Les simulations nano et micro sont valides à leurs échelles, on parle alors de « validité hybride ».

“*Dirigé par le nanoscopique*” : La simulation nano modifie les entrées de la simulation micro et ses résultats. La portée de la « zone nanoscopique » n'est pas dépendante de l'observateur mais des paramètres de l'étude. Il n'est plus possible d'effectuer des calculs temps réels en raison des multiple itérations nécessaires aux calculs des simulations microscopique et nanoscopique qui s'influencent l'une et l'autre et de la quantité de véhicules présents dans la zone étudiée.

“*Simulation hybride*” : dans ce mode de fonctionnement, seuls certains aspects du moteur nanoscopique sont sélectionnés pour influencer le moteur microscopique, en fonction des paramètres d'une étude donnée. Cette approche nécessite de connaître la

liste des éléments nanoscopiques qui doivent influencer sur le micro pour définir précisément le comportement de la « zone intermédiaire ».

3 - Transition locale dynamique

Le cas de coopération le plus complexe à prendre en charge est celui où l'usage du moteur nanoscopique induit des interactions. On utilise alors le mode de fonctionnement 1) « dirigé par le microscopique » qui permet un calcul temps réel. Dans cette section nous décrivons les « zones nanoscopiques » et « zones intermédiaires » pour ce cas d'utilisation où la position de l'observateur est l'élément déterminant pour le mode de transition entre les deux simulations.

Si la scène est observée à plusieurs dizaines de mètres d'altitude, les véhicules apparaissent trop petits pour que leur modélisation à l'échelle nanoscopique soit pertinente. Dans ce cas la « zone nanoscopique » a une taille nulle et c'est le modèle microscopique qui est le plus approprié pour restituer la simulation du trafic. A l'opposé, si l'observateur est au niveau de la chaussée la zone nanoscopique est plus grande et suit l'orientation du point de vue de l'observateur. Ce mécanisme nous permet d'adapter le niveau de détail de la simulation du trafic en fonction des besoins de l'observateur (la relation avec les niveaux de détail des modèles objet urbains comme le CityGML n'est pas traitée ici).

Les figures 1, 2 et 3 présentent des trajectoires de véhicules dans l'espace (en ordonnée) et le temps (en abscisse). Les trajectoires sur fond grisé sont calculées par le modèle micro et celles sur fond blanc sont calculées par le modèle nano. La bande en gris foncé représente la « zone intermédiaire ». Les points noirs et bleus représentent respectivement les entrées et sorties de la « zone intermédiaire ». Enfin, le trait bleu symbolise la partie observée par l'utilisateur.

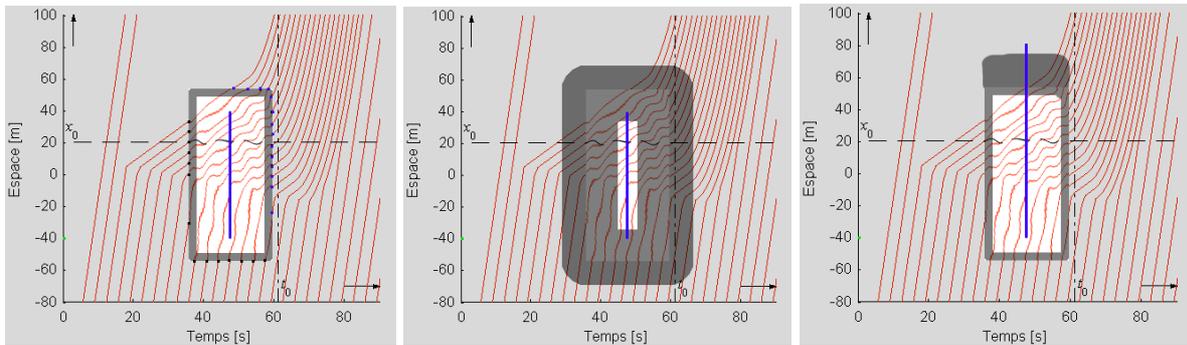


Figure 1 : Observation 'aérienne' de la scène

Figure 2 : Augmentation de la « zone de transition » lors d'un 'zoom ' sur la scène

Figure 3 : Observation en mode piéton

Définition de la « zone nanoscopique » : Quand les véhicules observés sont à moins de 100 mètres de l'observateur, ils apparaissent avec suffisamment de détails pour que le comportement nanoscopique du véhicule (rotation et orientation des roues, tangage, roulis etc.) soit visible. Au-delà de 100 mètres, ces phénomènes ne sont plus observables et n'ont donc plus d'impact sur l'impression de réalisme de la scène. C'est donc le seuil que nous choisissons pour définir les limites de notre « zone nanoscopique ».

Définition de la « zone intermédiaire » : La définition de la zone intermédiaire est plus complexe. Elle prend en compte l'état des véhicules (V), la position et l'orientation de l'observateur (O) et l'échelle de validité des modèles, i.e. les niveaux de détails calculés en fonction des distances entre O et V. Un véhicule sort de la zone intermédiaire si :

- son état est compatible aux deux échelles de modélisation, (i.e. ses position, vitesse, et accélération sont les mêmes) ;
- il est en dehors du champ de la caméra ou suffisamment éloigné de l'observateur.

Pour synchroniser les états nanoscopique et microscopique, nous calculons d'abord l'écart entre les deux états. Puis nous déterminons s'il existe un modèle de comportement nano permettant d'atteindre l'état microscopique de manière réaliste. Si aucun modèle nanoscopique réaliste n'est trouvé, il faut décider d'un seuil à partir duquel le modèle microscopique doit être imposé quitte à réintroduire des artefacts visuels (un véhicule avec une vitesse irréaliste par exemple). Ce seuil est choisi de telle sorte que ces artefacts soient masqués par une distance suffisante à l'observateur afin de réduire leur impact sur le réalisme de la scène.

Le Moteur nano

Pour implémenter notre moteur nanoscopique nous avons utilisé la définition des attributs d'un trafic réaliste liés à la nature humaine des conducteurs : intelligence, variabilité et individualité [Wright 2002]. Nous utilisons aussi la structure de contrôle hiérarchique à trois niveaux de [Michon 1985]. Le « niveau stratégique » (planification du trajet, choix du mode de transport, choix des routes) est dirigé par le moteur microscopique. Le « niveau tactique » (interaction avec le trafic et suivi d'un chemin) peut être implémenté par le moteur nanoscopique ou microscopique en fonction de l'usage et du mode de fonctionnement du simulateur (voir section 2.2). Enfin, le niveau opérationnel (le contrôle du véhicule nécessaire à l'application de la stratégie) est contrôlé par le moteur nanoscopique.

Qualité et mesure de la synchronisation dans la « zone intermédiaire »

Nous avons retenu quatre indicateurs permettant de qualifier la qualité de nos synchronisations entre les modèles nanoscopiques et microscopiques dans la « zone intermédiaire ». Premièrement le pourcentage de trajectoires effectivement synchronisées avant la sortie de la « zone intermédiaire ». Ensuite, les distances et délais moyens nécessaires à la synchronisation des modèles. Enfin, les distances et délais maximum de synchronisation.

Nos premiers résultats, bien que partiels, montrent que plus le trafic est dense, plus le taux de trajectoires ne pouvant être synchronisées avant de sortir de la « zone intermédiaire » est élevé. C'est aussi dans cette situation que nous obtenons les distances et délais de synchronisation les plus élevés.

Conclusion

Nos travaux présentent les bases d'un modèle de trafic compatible à trois échelles de simulation macro-micro-nano. L'apport de l'échelle nanoscopique pour la prise de décision est multiple : analyse des systèmes de transports intelligents et des logiciels embarqués, étude des situations extrêmes (catastrophes naturelles, évacuations d'urgence, etc.), simulateur de conduite etc.

Mesurer l'impression de réalisme perçue par un observateur et sa juste interprétation de la simulation comme le fait [Wright 2002] nous semble une approche pertinente pour une meilleure validation de notre démarche. Nous souhaitons aussi continuer notre étude en incluant d'autres aspects des moteurs nanoscopiques comme la distribution des profils de conducteur, et l'étude des zones sensibles et stratégiques d'un réseau routier.

Références

- [Espié 1995] Espié, S. (1995). ARCHISIM: Multiactor parallel architecture for traffic simulation. At the proceedings of: The 2nd World Congress on Intelligent Transport Systems'95, Yokohama.
- [Olstam 2005] Janson Olstam, J. (2005). A model for simulation and generation of surrounding vehicles in driving simulators. Licentiate thesis at Institute of Technology, Linköpings Universitet, Norrköping. LiU-TEK-LIC 2005:58.
- [Nguen That 2011] Thomas Nguen That, Jordi Casas, An integrated framework combining a traffic simulator and a driving simulator, The State of the Art in the European Quantitative Oriented Transportation and Logistics Research – 14th Euro Working Group on Transportation & 26th Mini Euro Conference & 1st European Scientific Conference on Air Transport, 2011.
- [Soula 2010] Leclercq L, Becarie C, Soula J. Rapport final de recherche « Maquette Numérique Urbaine : modèles, réseaux et simulation de trafic » CSTB/TIDS, 2010.
- [Soula 2011] Soula J, Leclercq L, Maillard J, et al., Couplage de simulations environnementales au sein d'une maquette numérique urbaine, colloque GIS-MU «La modélisation de la ville», Ecole des Ponts 2011
- [Wright 2002] Steve Wright, Nicholas J. Ward, Enhanced presence in driving simulators using autonomous traffic with virtual personalities. Presence, Teleoperators and virtual environments Vol. 11, No. 6, Pages 578-590 December 2002.
- [Chevallier et Leclercq, 2008] Chevallier, E., Leclercq, L., 2008. Macroscopic investigation of microscopic merging models at unsignalized intersections. In Transportation Research Board, Washington DC.
- [Chevallier et Leclercq, 2008b] Chevallier, E., Leclercq, L., 2008b. A microscopic dual-regime model for single-lane roundabouts. Submitted in Journal of Transportation Engineering.
- [Laval et Leclercq, 2008] Laval, J., Leclercq, L., 2008. Microscopic modeling of the relaxation phenomenon using a macroscopic lane-changing model. Transportation Research Part B, 42 (6), 511-522.

[Leclercq et Laval, 2007] Leclercq, L., Laval, J., 2007. A multiclass car-following rule based on the LWR model. In Traffic and Granular Flow, Paris.

[Leclercq et al, 2007] Leclercq, L., Laval, J., Chevallier, E., 2007. The Lagrangian coordinates and what it means for first order traffic flow models. In Allsop, RE., Bell, MGH., Heydecker, BG. (Ed.), ISTTT, 735-753.

[Daiheng 2000] Daiheng Ni, Challenges and strategies of transportation modeling and simulation under extreme conditions, Int. J. Emergency Management, Department of Civil and Environmental Engineering University of Massachusetts, Copyright © 200x Inderscience Enterprises Ltd.

[Michon 1985] J. A. Michon. A critical review of driver behavior models: what do we know, what should we do. In L.A. Evans & R. Schwing (eds). Proceedings of the International Symposium on Driver Behavior and Traffic Safety, General Motors Research Laboratories, New York, Plenum press, 1985.

[Corley and Lejerskar, 2003] ‘Homeland defense center network – capitalizing on simulation, modelling and visualization for emergency preparedness, response and mitigation’, Proceedings of 2003 Winter Simulation Conference.

[Pollak et al., 2004] Pollak, E., Falash, M., Ingraham, L. and Gottesman, V. (2004) ‘Operational analysis framework for emergency operations center preparedness training’, Proceedings of 2004 Winter Simulation Conference.

Contacts: julien.soula@cstb.fr ; ludovic.leclercq@ifsttar.fr; cecile.becarie@ifsttar.fr; bonnefoi.fabien@free.fr