

Mixed Model Simulation Architecture

Pierre-Antoine Béal, Christophe Le Gal et Jacques Tisseau

Centre Européen de Réalité Virtuelle, LISyC - ENIB
25, rue Claude Chappe -29280 Plouzané, France

Introduction : de l'intérêt de la simulation multi-modèles pour l'expérimentation in-virtuo

Dans le cadre des prestations de simulation que nous réalisons, nous sommes souvent confrontés à des systèmes décrits par une juxtaposition de nombreux modèles, redondants ou non. Le but de notre démarche est alors de regrouper au sein du même outil tous les modèles permettant en théorie de décrire l'évolution d'un système complexe et de l'expérimenter "in-virtuo". L'expérimentation "in-virtuo" a pour objectif de faire manipuler par un expert une maquette numérique d'un système reproduit par la réalité virtuelle afin de faire progresser son savoir sur les modèles eux-mêmes et la manière dont ils interagissent ensemble. Dans ce type de simulateur, il est nécessaire d'assurer l'interactivité tout en conservant la bonne exécution des modèles en terme de stabilité et de convergence.

Pour cela nous utilisons des techniques issues de la simulation multi-agents [TH06]. Ces techniques sont bien adaptées pour décrire les phénomènes d'un point de vue macroscopique (tel que nous les percevons) et de les faire interagir pour analyser/prédire le comportement du système complet. Ce type de modélisation dit "phénoménologique" permet d'être très efficace en terme de performances car les phénomènes sont plus "décrits" que "simulés". En contrepartie, ce type de modèle est assujéti à un paramétrage fort.

L'efficacité de cette méthode a été de nombreuses fois démontrée et il existe désormais plusieurs modèles et méthodologies permettant de décrire un système complexe grâce à la simulation multi-agents ([DBR⁺09],[Par04],[Bon08]). Cependant elle atteint ses limites lorsqu'il s'agit de simuler des systèmes qui se décomposent mal ou qui nécessitent la mise en place de méthodes numériques complexes (par exemple dans le cas de systèmes "raides").

Nous nous proposons alors, et c'est l'objet de cet article, de construire des systèmes tirant partie de modèles redondants pour obtenir une interactivité permettant l'expérimentation "in-virtuo", sans trop négliger pour autant l'aspect prédictif souhaitable. Nous sommes alors amenés, pour réaliser de tels simulateurs, à faire cohabiter dans le même espace de simulation des modèles qui peuvent être de natures très différentes les unes des autres, car venant de domaines ou de courants de pensée différents. Il devient alors difficile de coupler ces modèles et de les faire communiquer. D'autant plus que cette hétérogénéité se retrouve également dans les échelles d'observation et de modélisation des phénomènes.

D'autres raisons peuvent par ailleurs motiver la construction de simulateurs multi-modèles ([ELRVE07], [LHL10]) par exemple :

- Le système à étudier est bien décrit par des modèles dits “macroscopique” et comporte des phénomènes très locaux qui ne pourront être simulés qu'en utilisant des modèles de plus bas niveau.
- Une analyse d'erreur ou de biais est réalisée par comparaison des deux modèles
- On souhaite gagner en précision ou en performance par l'adjonction de plusieurs modèles.

Exemple d'application : simulation d'une bouée à ancrage rigide

L'exemple choisi pour illustrer notre propos est un problème de mécanique des fluides : la simulation des vibrations d'une bouée à ancrage rigide. Dans cet exemple on dispose d'un modèle multi-agents décrivant les interactions hydrodynamiques grâce au modèle de Morison qui décrit trois phénomènes :

- La traînée qui exerce une force proportionnelle au carré de la vitesse en s'opposant au mouvement (coefficient C_d).
- Le lift qui entraîne l'objet vers les lignes de pression les plus basses (coefficient C_l).
- La masse d'eau ajoutée qui traduit le fait que l'on déplace en même temps que l'objet une certaine quantité d'eau possédant sa propre inertie (coefficient C_m).

On dispose également d'un solveur numérique des équations de Navier-Stokes simplifiées et discrétisées. Le principe ici est de mailler le fluide et de lier les variables de pression, vitesse et densité par des équations différentielles. On considère ensuite l'objet comme une condition limite de la résolution du fluide et on intègre la pression sur la surface d'interface pour déduire les efforts.

Dans cet exemple, le modèle de Navier-Stokes est lent mais couvre un périmètre de simulation qui est très large alors que le modèle de Morison est très rapide mais ne couvre que des domaines particuliers en fonction des trois paramètres choisis qui dépendent de la forme de l'objet et/ou du régime d'écoulement.

Une architecture de modèles redondants sans données partagées

Pour palier les limitations numériques et les problèmes de paramétrage que nous rencontrons dans l'utilisation de systèmes multi-agents “phénoménologiques”, nous proposons une architecture de simulation mixte dans laquelle cohabitent à la fois une description du système par multi-agents phénomènes et une simulation numérique par équations différentielles. Comme on suppose que la mise en place de la simulation numérique pour le calcul de l'évolution du système total est trop coûteuse en temps de calcul pour nos objectifs, nous limitons son application à quelques instants clés, moments clés et cas d'application simplifiés. A partir des résultats de ces simulations sont déduit de nouveaux jeux de paramètres du système multi-agents. La communication entre les modèles s'effectuent donc par échanges de paramètres qui d'un côté définissent les conditions limites du système différentiel et de l'autre côté corrigent le système multi-agents.

A la différence d'autres approches de la simulation multi-modèle, la notre s'appuie donc sur la redondance des modèles. Il n'y a notamment pas de partage des données sur lesquelles les différents modèles agissent.

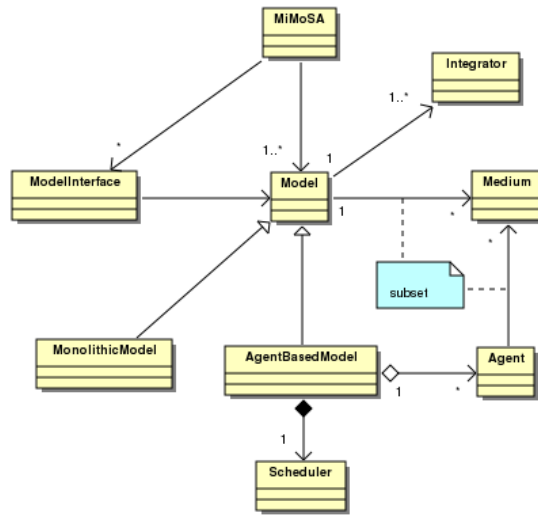


FIG. 1 – Architecture de classe de MiMoSA

Cette architecture repose essentiellement sur la classe “ModelInterface” qui fonctionne à la manière d’un observateur, c’est à dire qui vérifie lors de son cycle de fonctionnement la cohérence des données provenant des différents modèles qui lui ont été connectés.

Ces données sont portées par les “Media” qui représentent la structuration des observables de la simulation. Ces observables sont généralement destinés à l’utilisateur lorsqu’ils font partie des modèles phénoménologiques et aux “ModelInterfaces” lorsqu’ils appartiennent aux modèles différentiels.

L’agent intégrateur permet de garantir à un système multi-agents phénoménologique individu-centré une cohérence dans la manière de combiner les actions respectives des agents phénomènes (qui peuvent s’exécuter de manière asynchrone les uns par rapport) tout en conservant une autonomie de conception et/ou d’exécution. Dans le cas d’un système monolithique différentiel, l’intégrateur est ce qui permet d’itérer dans le temps la résolution du système.

On présente sur la figure 2 le détail de la communication entre les différents éléments de l’architecture sur notre exemple d’application.

Dans un premier temps, qui n’est pas présenté sur le diagramme, les modèles s’enregistrent auprès de l’interface. Le modèle multi-agents applique aux différents phénomènes les paramètres associés. Le “ModelInterface” initialise le solveur Navier-Stokes avec les paramètres d’écoulement initiaux sur une partie du système (dans notre cas, sur une portion de la bouée en oscillations forcées sur une période). Puis, lors du cycle d’exécution de l’agent, si le coefficient de masse d’eau ajoutée calculée par le solveur s’écarte au delà d’un seuil acceptable de celui utilisé par le modèle multi-agents, il envoie une demande de reparamétrage, qui entraînera l’ajustement des coefficients utilisés par chaque agents.

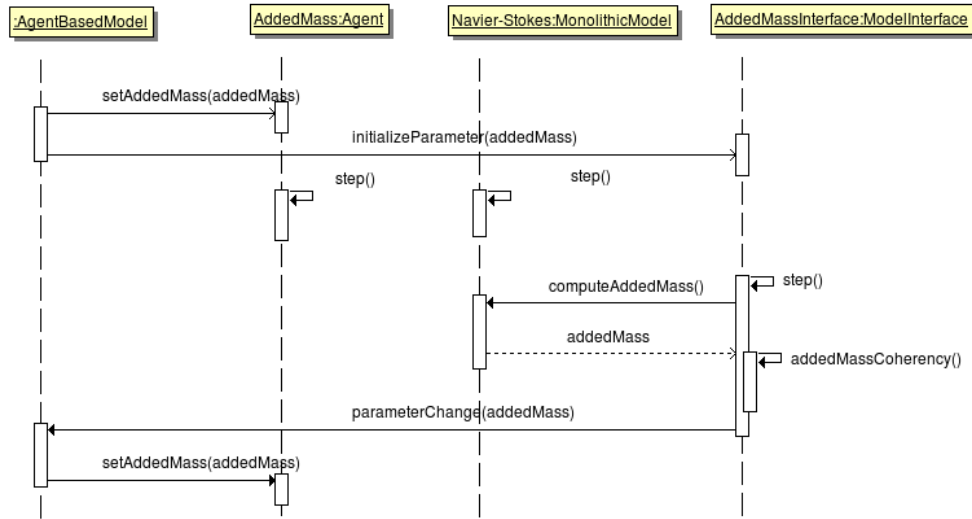


FIG. 2 – Diagramme de séquence de l’application de MiMoSA à une simulation couplée des modèles de Morison et Navier-Stokes

Conclusion

Nous avons proposé une architecture pour le développement de simulateurs multi-modèles. Notre approche est orientée vers la simulation interactive de systèmes complexes par les systèmes multi-agents phénoménologique dans le cadre d’expérimentations “in-virtuo”. Comme ce type de modélisation est soumise à des problèmes de paramétrage ou de convergence nous proposons de la coupler de façon redondante avec des modèles de simulation plus classiques. Pour cela, nous faisons communiquer les différents modèles par échange de paramètres et de conditions initiales et non par partages de données.

Références

- [Bon08] S. Bonneaud. *Des agents-modèles pour la modélisation et la simulation de systèmes complexes*. PhD thesis, LISYC Laboratoire des systèmes complexes EA 3883 UBO-ENIB, Brest, 2008.
- [DBR⁺09] G. Desmeulles, S. Bonneaud, P. Redou, V. Rodin, and J. Tisseau. In virtuo experiments based on the multi-interaction system framework : the réiscop meta-model. *CMES, Computer Modeling in Engineering and Sciences*, 3(47), 2009.
- [ELRVE07] W. E.B. Engquist, X. Li, W. Ren, and E. Vanden-Eijnden. Heterogeneous multiscale methods : A review. *Commun. Comput. Phys.*, 2(367), 2007.
- [LHL10] Lauri Lättilä, Per Hilletoft, and Bishan Lin. Hybrid simulation models - when, why, how? *Expert Systems with Applications*, In Press, Uncorrected Proof :-, 2010.
- [Par04] M. Parenthoën. *Animation phénoménologique de la mer*. PhD thesis, Université de Bretagne Occidentale, Brest, 2004.
- [TH06] J. Tisseau and F. Harrouët. *Autonomie des entités virtuelles*, volume 2. Presse de L’Ecole des mines, Paris, 2006.