

Modèle d'action et simulation multi-agents distribuées

Fabien MICHEL

Allocataire de recherche depuis le 01/11/1999

Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Microélectronique de Montpellier
LIRMM 161 rue Ada, 34392 Montpellier Cedex 5 France

Directeur de thèse : Jacques FERBER

Résumé: La simulation multi-agents est un domaine de recherche récent qui connaît une croissance fulgurante. Cependant, réaliser une simulation multi-agents pose des problèmes fondamentaux liés en grande partie à la difficulté de représenter les actions et interactions des agents. Notre travail consiste à élaborer des modèles d'action mieux adaptés aux agents, ainsi que les outils associés, de manière à rendre l'élaboration, l'analyse et la validation des simulations plus profitable.

Abstract: Multi-agents simulation is a recent field of research with a fast growth. However, carry out this kind of simulation raises fundamental problems that are mainly related to the difficulty that we have in representing agents' actions and interactions. Our thesis work consists in working out new action models more suited to agents, as well as their related computer tools, in order to easy development, analysis and validation of this kind of simulation.

Introduction à la simulation multi-agents

De très nombreux domaines utilisent des simulations pour essayer d'expliquer et de prévoir le comportement de systèmes complexes. L'ordinateur, grâce à sa puissance de calcul, est un moyen efficace pour reproduire un processus du monde réel formalisé par des équations complexes. On parle alors de simulation numérique. L'informatique permet par exemple d'appliquer les lois de la physique moderne pour simuler un réacteur nucléaire avec une grande précision. La simulation est donc un outil d'étude puissant lorsque l'expérimentation est coûteuse, voire impossible comme cela peut-être le cas en astrophysique par exemple.

Par ailleurs, depuis plusieurs années, la science s'intéresse à une autre approche pour essayer d'expliquer certains phénomènes naturels: la modélisation multi-agents. Cette approche vise à représenter un système complexe comme composé d'entités autonomes, les agents, qui interagissent entre elles. On considère alors que l'évolution globale du système résulte de la composition des comportements individuels. Une colonie de fourmis est un bon exemple de ce type de système: chaque fourmi possède des caractéristiques individuelles, un comportement particulier motivé par des buts personnels et une perception limitée de son environnement. La fourmilière représente alors le résultat de l'ensemble des interactions entre les fourmis.

Les techniques de simulation à base d'équations numériques ne sont pas de nature à permettre l'étude de tels systèmes. Au contraire, les systèmes multi-agents (SMA) proposent de représenter directement les entités, leurs comportements et leurs interactions. Ils ont donc un grand rôle à jouer dès lors qu'on souhaite étudier au niveau macro un système dont l'évolution est le résultat d'interactions situées au niveau micro. La simulation multi-agents est fondée sur l'idée qu'il est possible de représenter de manière informatique de tels systèmes. Il est par ailleurs très intéressant de remarquer la diversité des disciplines concernées (économie, éthologie, biologie, robotique ...).

Un des premiers objectifs de la simulation multi-agents n'est pas de coller expressément à la réalité mais d'étudier comment à partir d'interactions simples on peut observer l'émergence d'un comportement global du système. D'autre part, si l'objectif lorsqu'on simule un réacteur nucléaire est de prévoir son comportement, ici la démarche peut être inverse : on souhaite parfois trouver les

interactions individuelles qui produisent un phénomène connu (le mouvement d'un banc de poissons par exemple). En quelque sorte il s'agit de trouver l'équivalent des lois de la physique pour un SMA. La simulation est alors un outil d'étude permettant d'expérimenter un modèle interactionnel.

Problématique de la thèse

1. La simulation multi-agents: un processus complexe

Bien que le nombre d'applications existantes soit en constante augmentation, concevoir une simulation soulève toujours des questions fondamentales. En effet, le domaine souffre d'un grand manque de formalisme aussi bien au niveau de la représentation des interactions qu'au niveau des techniques de simulation utilisées (les deux étant fortement liés). Et aujourd'hui, il n'existe pas de méthodologie générique associée à cette démarche.

Ce manque de formalisme a plusieurs origines. Tout d'abord, il n'existe pas l'équivalent des lois de la physique pour modéliser le comportement d'une entité individuelle. Percevoir, agir, communiquer sont des concepts qui n'ont pas d'échos d'un point de vue mathématique. Ainsi, le programmeur possède une grande liberté d'action quant à leur représentation informatique. Par ailleurs, simuler un SMA suppose qu'on a implémenté un mécanisme permettant de synchroniser les actions des agents. Σ définissant l'ensemble des états possibles du système, toute simulation est basée sur l'hypothèse que l'évolution du monde $\sigma \in \Sigma$ de l'instant t à $t+dt$ résulte de la composition des actions $A1(t)$, $A2(t)$, ..., $An(t)$ produites par les agents à l'instant t . Autrement dit, il s'agit de construire une fonction du temps, *Dynamique D*, telle que :

$$D : \Sigma \rightarrow \Sigma$$

$$\sigma(t+dt) = D (\Pi A_i(t), \sigma(t))$$

Le symbole Π est ici utilisé pour désigner l'opérateur de composition des actions. Il définit de quelle manière les actions produites à un instant t doivent être sommées afin de calculer leurs conséquences sur l'état du monde. Sans entrer dans le détail, il est facile de mesurer la difficulté de conceptualiser une telle opération étant donné la multitude et la nature des concepts qui peuvent se cacher derrière le mot action (mouvement, prise de décision, modification de l'environnement). C'est pourquoi il n'existe pas de consensus sur la manière dont le déroulement des interactions doit être simulé et tous les concepteurs de simulation multi-agents sont amenés à faire un choix personnel en la matière. Et ce choix est difficile : un modèle multi-agents ne définit pas la façon dont il doit être implémenté, précisément parce qu'il s'agit d'un problème lié à l'outil informatique et non au modèle.

2. Le problème des biais de simulation

Conséquence de ce qui précède, les simulateurs multi-agents sont tous plus ou moins producteurs de biais et d'incohérence dans le processus de simulation. Une des questions que l'on doit alors se poser est la suivante : est-ce que mon modèle d'interactions est effectivement celui qui est reproduit par le simulateur ? Il ne s'agit pas ici de savoir si la simulation est représentative de la réalité mais de savoir si elle correspond à la réalité telle que le concepteur a voulu l'implémenter. La complexité des programmes obtenus rend l'analyse de ces problèmes difficile et ils sont souvent laissés de côté au profit de l'analyse des résultats. De notre point de vue c'est un problème fondamental. Pour faire encore un parallèle avec les simulations numériques, si le générateur de nombre aléatoire utilisé est faussé, les résultats de la simulation peuvent rester interprétables, ils n'en seront pas moins fortement biaisés.

Ainsi un unique modèle théorique sur papier peut donner des résultats très différents suivant le programme utilisé pour le simuler. C'est pourquoi au contraire des mathématiques (dont la validité et la constance ne dépendent pas d'un modèle) dans les simulations numériques, la technique et la méthodologie employées pour simuler un SMA sont indissociables des résultats obtenus. De façon classique l'expérimentation sert à évaluer la qualité d'un modèle. Elle doit permettre de le valider ou de le remettre en cause en vue d'une modification. Nous pensons que dans le cadre de la simulation multi-agents, il est impératif d'inclure dans ce processus l'outil de simulation lui-même: le simulateur utilisé.

Nous pensons qu'une grande partie des problèmes liés aux simulations multi-agents vient en fait d'une représentation de l'action impropre à modéliser la **simultanéité** des interactions. En effet, l'action d'un agent sur son environnement est en général directement représentée par la modification des variables modélisant le monde. Par exemple si un agent souhaite consommer une ressource x, il diminuera la valeur de la variable correspondante pour matérialiser son action. Cependant il est clair que le résultat d'une action n'est pas uniquement lié à l'entité agissante et que, au contraire, les autres actions ayant lieu au même instant conditionnent le résultat. Un autre agent peut lui aussi vouloir consommer cette ressource par exemple. C'est ainsi que la plupart des biais constatés dans les simulations multi-agents sont liés au problème de l'ordonnancement des actions des agents: une variable ne pouvant être modifiée que par un seul agent à la fois.

Objectifs de la thèse

1. Le modèle influence / réaction : un modèle d'action adaptés aux agents

Ainsi l'objectif premier de la thèse est d'élaborer un nouveau modèle d'action qui prenne en compte la spécificité des SMA afin d'apporter une solution plus séduisante aux problèmes posés par la simulation multi-agents. Ce nouveau modèle devra par ailleurs être accompagné d'une véritable méthodologie liée à l'élaboration et à l'évaluation des simulations. Il est en effet impératif de se donner les moyens méthodologiques qui permettront une analyse simple et explicite des problèmes posés. Il ne s'agit pas de vérifier une hypothétique correspondance avec la réalité mais bien de mieux connaître l'outil d'expérimentation et ses implications dans le résultat final, notamment afin de pouvoir évaluer les approximations et les erreurs liées directement à celui-ci.

Dans ce modèle, un agent est une entité autonome qui perçoit et produit des influences sur son environnement et non des actions au sens d'une modification d'état. La différence entre ces deux notions est fondamentale. Les influences n'existent que pour être combinées avec d'autres influences, elles ne modifient rien directement. Elles sont pour l'agent le moyen d'essayer de changer le cours des choses. Il s'agit ici de bien distinguer les gestes produits (la volonté de vouloir consommer une ressource) par les agents, les influences, de ce qui se passe effectivement compte tenu des autres gestes (la ressource a effectivement été consommée, rien ne l'a empêché), c'est-à-dire la réaction de l'environnement à l'ensemble de ces influences. L'intérêt de ce modèle est de permettre la prise en compte des différents comportements pour pouvoir, dans un deuxième temps, décider du résultat de leur composition.

2. Des outils de simulation génériques (génie logiciel)

Le principal intérêt de cette méthode de simulation est de permettre de ne plus avoir de biais liés à l'ordonnancement des agents, l'ordre de production des influences à un instant t n'ayant pas de répercussion sur le futur calcul de l'état du monde. Le modélisateur n'est alors plus trahit par le simulateur, celui-ci exécutant exactement ce que le concepteur souhaite simuler. Cependant la mise en œuvre de ces principes posent d'autres problèmes. Calculer la réaction peut s'avérer problématique lorsque les agents sont sophistiqués (c'est-à-dire pouvant produire de nombreux

types d'influence) et que leur nombre est élevé. La combinatoire devient rapidement explosive. Nous sommes actuellement en train de travailler sur cette question et nous nous orientons vers une solution qui devrait permettre de décomposer systématiquement le problème global en sous problèmes.

Par ailleurs, pour pouvoir appliquer notre modèle de simulation il nous a fallu élaborer de nouveaux outils de simulation. Ces outils ont été conçus de façon à être les plus génériques possibles. En effet, les simulations élaborées grâce à notre modèle ne sauraient être validées sans une comparaison poussée avec les modèles classiques. En effet, tirer les conséquences du résultat d'une simulation sans comparer les techniques de programmation possibles n'est scientifiquement pas acceptable. Il est en effet impératif de confronter les différentes approches pour espérer mieux comprendre les mécanismes mis en jeu lors d'un processus de simulation multi-agents. Ces outils de simulation génériques, ainsi que des modèles de simulation sont disponibles dans la plate-forme de développement multi-agents MadKit (www.madkit.fr).

Conclusions

Les SMA sont un domaine de recherche jeune et beaucoup de choses restent à faire. Notamment du point de vue génie logiciel. Il n'existe aujourd'hui pas de consensus sur la nature des programmes qui implémentent ces systèmes complexes. Dans le contexte de la simulation ce manque de formalisme se fait encore plus criant et la validation des expérimentations basées sur le paradigme agent est difficile. La complexité des programmes utilisés pour ces expérimentations est en effet un obstacle à une analyse poussée des mécanismes mis en jeu.

Dans ce contexte, notre objectif est de proposer une véritable méthodologie pour la conception, l'analyse et la validation des simulateurs multi-agents. Pour cela nous avons proposé un modèle de simulation qui permet de réaliser des simulations non biaisé par les contraintes liées à l'utilisation de l'outil informatique. Pour mettre en œuvre ce modèle, nous avons par ailleurs élaboré des outils de simulation génériques qui permettent d'implémenter non seulement ce modèle mais aussi des modèles de simulation plus classique. Le but étant de proposer des outils qui puissent, grâce à leur caractère générique, fournir à la communauté une base de développement commune afin de faciliter l'élaboration et l'analyse des processus de simulation.

Principales publications

Une approche méthodologique pour l'analyse et la conception de simulateur multi-agents, F. Michel. RJCIA 2000, Cinquièmes Rencontres des Jeunes Chercheurs en Intelligence Artificielle, Lyon, Septembre 2000.

MadKit : Une expérience d'architecture de plate-forme multi-agent générique, O. Gutknecht, J.Ferber, F. Michel JFIADSMA'2000 Huitièmes Journées Francophones pour l'intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes Multi-Agents. Hermès. St Jean le Vêtre, Octobre 2000.

Generic simulation Tools based on MAS organization, F. Michel, J. Ferber, O. Gutknecht MAAMAW'2001 Modeling Autonomous Agents in a Multi-Agent World, 10th European Workshop on Multi-Agent System. Annecy, Mai 2001 (Accepté)

Integrating tools and infrastructure for generic multi-agent systems, O. Gutknecht, F. Michel, J. Ferber. In the 5th International Conference on Autonomous Agents 2001. Montréal Juin 2001. (Accepté)

Le modèle Influence/Réaction pour la Simulation Multi-Agents, F. Michel. MFI'01, Premières journées francophones Modèles Formels de l'Interaction. Toulouse, Mai 2001.