

Détection de phénomènes émergents dans les systèmes multi-agents

Thomas Moncion¹ & Guillaume Hutzler¹ & Patrick Amar²

¹ Laboratoire IBISC FRE CNRS 2873, Université d'Evry Val d'Essonne, Génopole France

² Laboratoire de Recherche en Informatique UMR 8623, CNRS, Université Paris-Sud France

Résumé

Les systèmes biologiques sont composés d'un grand nombre de molécules (ADN, ARN, protéines ...). Ces systèmes sont considérés comme complexes car ils présentent des interactions nombreuses et diversifiées entre les molécules rendant ainsi difficile leur compréhension.

Du fait de ces interactions, les systèmes complexes peuvent présenter des phénomènes considérés comme émergents car non prédictibles à partir du simple comportement des molécules. Nous nous intéressons plus particulièrement aux phénomènes d'auto-organisation correspondant à une structuration des molécules sans contrôle central.

Pour modéliser ces systèmes complexes biologiques, un ensemble d'outils existe. Nous utilisons les systèmes multi-agents qui modélisent chaque élément du système sous la forme d'un agent. Nous observons par la suite leur comportement collectif au sein d'un environnement. Nous retrouvons dans les simulations de ces systèmes multi-agents certains phénomènes constatés dans les systèmes réels. La caractérisation de ces phénomènes est due à l'observation des utilisateurs et/ou modélisateurs de tels systèmes.

L'objectif de notre travail est donc de détecter certains de ces phénomènes de manière automatique. Pour cela, nous modélisons les simulations multi-agents sous la forme d'un graphe où les sommets représentent les agents et les arêtes leurs interactions. Ce graphe est modifié à chaque pas de temps et nous en étudions ses propriétés.

Introduction

Grâce aux moyens informatiques dont nous disposons actuellement, il est possible de modéliser de larges systèmes complexes biologiques. Les systèmes multi-agents, par leur approche, sont de bons outils pour la modélisation de ces systèmes.

Que ce soit dans les systèmes réels ou dans les systèmes informatiques, nous observons des phénomènes non prédictibles et difficilement explicables appelés phénomènes émergents.

Nôtre objectif est de détecter dans les simulations multi-agents un certain type de phénomène émergent à savoir l'auto-organisation qui se caractérise par l'organisation de structures sans contrôle central. Nous avons donc modélisé les agents ainsi que leurs interactions sous la forme d'un graphe pour en déterminer certaines propriétés.

1 Auto-organisation dans les systèmes complexes biologiques

1.1 Systèmes complexes en biologie

Un système complexe peut se définir comme un système composé d'éléments qui entretiennent des rapports nombreux, diversifiés, difficiles à saisir par l'esprit, et présentant souvent des aspects différents.

Les systèmes biologiques sont des systèmes complexes composés d'un grand nombre de molécules (ADN, ARN, protéines . . .). Un métabolisme est caractérisé par des interactions entre protéines tandis que les processus de régulations font intervenir des interactions protéines/ADN. Les éléments de ces systèmes et leurs interactions génèrent des structures organisées (les organites, les cellules et les organismes). Ces différentes structures possèdent des fonctionnalités particulières du fait des différents réseaux d'interactions mis en œuvre.

Afin de comprendre ces systèmes biologiques, nous avons souvent cherché à en isoler les différents éléments afin de les étudier en détail. C'est à partir de ce concept réductionniste que c'est généralisé la biologie moléculaire par exemple. Ces travaux ont apporté de nombreuses réponses dans la compréhension de ces systèmes. Cependant, il reste certaines fonctionnalités de ces systèmes qu'il est difficile d'appréhender car elles sont dû à la fois aux éléments du système mais également aux relations qui existent entre ces éléments.

Cette complexité des systèmes provient en grande partie de la variabilité des interactions d'une part entre les éléments du système (les éléments n'interagissent pas avec l'ensemble des autres éléments) et d'autre part dans le temps (la durée des interactions n'est pas identique entre tous les éléments)

1.2 Auto-organisation

La complexité de ces systèmes peut engendrer des phénomènes de structuration sans contrôle central que l'on appelle auto-organisation. La plupart des systèmes biologiques (fourmis, cellules . . .), présentent ce type de phénomènes.

Un ensemble de mécanismes [8] permet la survenance de telles phénomènes :

- interactions directes basées sur la diffusion d'informations et la localisation
- interactions indirectes basées sur la stigmergie
- renforcement du comportement des agents basé sur un système de récompenses et de punitions des agents
- comportement de coopération des agents individuels basé sur la composition et la décomposition d'agents

Il existe dans ces processus d'auto-organisation plusieurs niveaux d'échelles d'organisation. Ces différentes échelles apportent aux systèmes un comportement différent et une fonctionnalité supérieure que les éléments, pris séparément, ne peuvent apporter.

2 Modélisation multi-agent pour les systèmes complexes biologiques

Depuis l'antiquité, l'homme a toujours cherché à modéliser ce qui l'entoure. Ces modélisations ont permis d'apporter des explications sur ces systèmes, mais également de fournir de nouvelles voies de recherches. Ces nouvelles voies de recherches peuvent être une vérification des résultats dans les systèmes réels mais également de nouvelles méthodes informatiques (par exemple, la recherche des chemins optimaux par des algorithmes fourmis [5]).

De nombreux outils mathématiques et informatiques permettent la modélisation et l'étude des systèmes complexes. Cela va des équations différentielles, aux automates cellulaires et aux systèmes multi-agents[4]. Ces outils peuvent apporter des réponses différentes à un même modèle.

Les systèmes multi-agents sont considérés comme de bons modélisateurs des systèmes complexes[3] car ils reposent sur la modélisation de chacun des éléments du système sous la forme d'agent. Nous

études leur comportement collectif au sein d'un environnement par l'intermédiaire de simulations. Cette modélisation étant basée également sur les interactions entre agents nous retrouvons, dans les simulations, des phénomènes émergents constatés dans la réalité.

3 Détection des phénomènes d'auto-organisation

3.1 Objectif

Dans ce contexte, notre objectif est de détecter les phénomènes d'auto-organisation pouvant survenir lors de ces simulations comme prélude à leur explication et à leur prédiction.

La détection de ces phénomènes consiste à déterminer les différents niveaux d'organisation pouvant se former au sein de ces systèmes mais également d'étudier la fonctionnalité du système dans son ensemble. Cette organisation en structures peut se différencier sur plusieurs points :

- maintien à plus ou moins long terme
- fonctionnalité différente du système global

Nous avons donc conçu des méthodes permettant d'étudier les propriétés générales du système et de détecter les différents groupes se formant au sein des simulations afin d'en étudier leur évolution.

3.2 Simulation multi-agent sous la forme d'un graphe

Une simulation multi-agent peut être vue comme un réseau dont les sommets représentent les agents et les arêtes leurs interactions (figure 1). Une interaction entre deux agents peut être de nature différente. En effet, nous pouvons considérer qu'il existe une interaction entre deux agents s'ils sont proches l'un de l'autre mais également s'ils partagent des attributs et/ou des fonctions en commun. Nous construisons donc des arêtes multi-étiquetées représentant ces différents critères d'interactions.

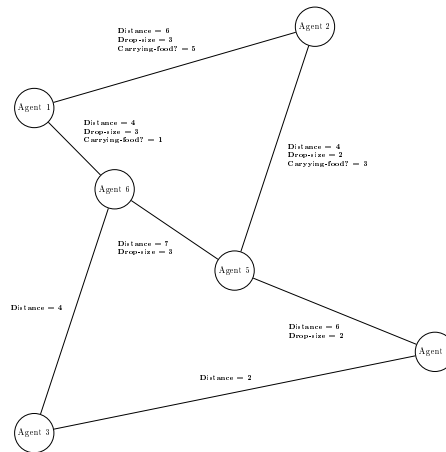


FIG. 1 – Modélisation d'une simulation multi-agent de fourmis. Il existe ici trois critères d'interactions : la distance, la quantité de phéromones déposée dans l'environnement (*drop-size*) et l'état "retourne à la fourmilière" (*carrying-food?*). La pondération des étiquettes représente la force des interactions

3.3 Construction et analyse du graphe

Nous considérons les cas où les simulations multi-agents possèdent une échelle de temps discrétisée sous la forme de pas de temps. Nous faisons évoluer ce graphe à chaque pas de temps en fonction des nouvelles caractéristiques des agents. Pour chacune des étiquettes, nous avons un poids représentant sa force d'interaction. Le poids est augmenté ou diminué en fonction de l'existence ou non d'une connection entre deux agents vis à vis de chacun des critères. Le choix d'une connection dépend des attributs étudiés et peut être basé :

- sur la comparaison des valeurs des attributs avec une valeur moyenne
- sur la comparaison des valeurs avec un interval de valeurs
- sur la comparaison des valeurs entre elles
- ...

L'analyse de ces systèmes repose sur une étude des propriétés du graphe. Nous effectuons une étude des propriétés globales du graphe comme la recherche de particularités topologiques que nous retrouvons dans les réseaux complexes[6][1]. Nous observons également l'évolution globale de certaines mesures comme la somme des poids des étiquettes (figure 2) ou le degré des arêtes. Nous cherchons également à déterminer les différents groupes se formant en fonction de chacun des critères (figure 3) en utilisant des techniques de clustering.

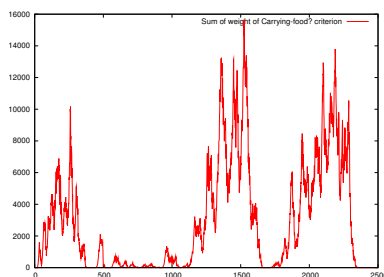


FIG. 2 – Somme des poids du critère *Carrying-food?*.

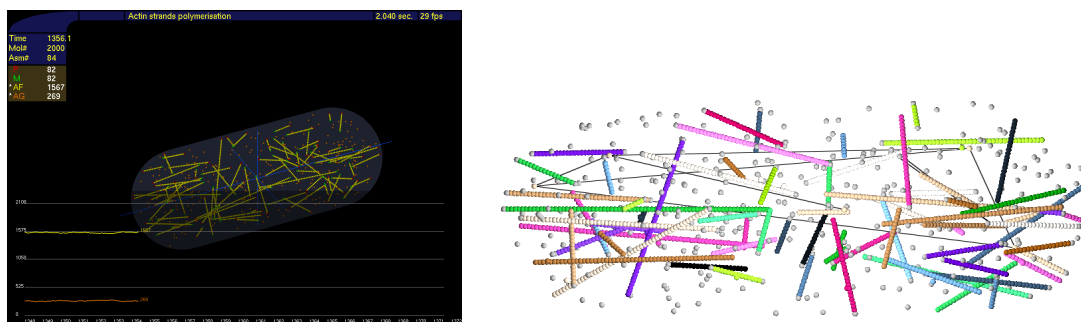


FIG. 3 – Détection des clusters dans une simulation de polymérisation des filaments d'actine générée par Hsim[2]. Cette détection est basée sur le critère de distance entre les agents.

Conclusion

La compréhension des phénomènes émergents et notamment les processus menant à l'auto-organisation est importante pour appréhender les systèmes complexes. L'auto-organisation est également étudiée en vue de nouvelles conceptions informatiques basées sur ces processus[7].

Nous avons développé un outils permettant, dans une certaine mesure, de saisir les différentes interactions pouvant exister entre les agents d'un système. Nous pensons que c'est la clé pour la compréhension des processus entraînant la formation de structures à différents niveaux d'échelle et une fonctionnalité supérieure au système.

Bibliography

Références

- [1] Réka Albert and Albert-László Barabási. Statistical mechanics of complex networks. *Reviews Of Modern Physics*, 74 :47–97, 2002.
- [2] Patrick Amar, Gilles Bernot, and Victor Norris. Hsim : a simulation programme to study large assemblies of proteins. *Journal of Biological Physics and Chemistry*, 4 :79–84, 2004.
- [3] Jochen Fromm. *The emergence of complexity*. 2004.
- [4] Guillaume Hutzler. *Cellular Automata and Agent-Based approaches for the modelling and simulation of biological systems : application to the lambda phage*, pages 137–162. Platypus Press, 2006.
- [5] Vittorio Maniezzo, Luca Maria Gambardella, and Fabio de Luigi. *Ant Colony Optimization in New Optimization Techniques in Engineering*, chapter 5, pages 101 – 117. Springer-Verlag Berlin and Heidelberg, 2004.
- [6] M. E. J. Newman. The structure and function of complex networks. *SIAM review*, 45 :167 – 256, 2003.
- [7] Manish Parashar and Salim Hariri. Autonomic computing : An overview. *Lecture notes in computer sciences*, pages 244 – 259, 2005.
- [8] Giovanna Di Marzo Serugendo, Marie-Pierre Gleizes, and Anthony Karageorgos. Self-organisation and emergence in mas : An overview. *Informatica*, 30 :45–54, 2006.