

# Proposition de stage

## Utilisation de SMT-solver pour la génération automatique d'algorithmes répartis pour des réseaux de robots collaboratifs

Encadrants : Nathalie Sznajder, Souheib Baarir (MoVe), Maria Potop-Butucaru, Sébastien Tixeuil (NPA)

e-mails : nathalie.sznajder@lip6.fr, souheib.baarir@lip6.fr, maria.potop-butucaru@lip6.fr, sebastien.tixeuil@lip6.fr

L'objectif du stage est d'utiliser des SMT-solvers pour la résolution de jeux à 2 joueurs, afin de l'appliquer à la synthèse automatique de protocoles pour des réseaux de robots évoluant de manière asynchrone.

### Contexte et état de l'art

Les tâches susceptibles d'être exécutées par des robots autonomes sont de plus en plus nombreuses et en complexité croissante, que ce soit dans notre environnement quotidien, pour la production industrielle ou même dans l'espace. En particulier, l'époque des robots spécialisés et isolés laisse maintenant la place aux réseaux de robots, par exemple pour l'exploration de zones inaccessibles ou à risque, qui en représente une des applications les plus populaires. Pour remplir leur tâche, ces robots doivent être capables de réaliser des calculs de façon indépendante, de se synchroniser entre eux via la vision ou l'envoi de messages et de se déplacer tout en maintenant la connectivité du réseau qui les relie.

Jusqu'à récemment, les réseaux de robots ont été étudiés d'une manière empirique et la plupart des résultats ont été validés principalement par des simulations ou des preuves partielles. Les fonctionnements défectueux de réseaux qui évoluent de manière autonome, à des distances rendant les interventions impossibles, peuvent avoir des conséquences catastrophiques. Ainsi, l'utilisation de méthodes automatiques de vérification et de contrôle est une étape essentielle pour garantir la fiabilité et la robustesse de ces systèmes.

Les bases de l'étude des protocoles répartis pour les réseaux de robots ont été posées par les travaux de Suzuki et Yamashita [11]. Ces travaux définissent le modèle du système ainsi que le modèle de communication : les robots sont des points dans un plan et chaque robot possède une vision globale du système. Ils exécutent un algorithme à trois phases composé d'une prise de vue, un calcul et un déplacement. Lors de la prise de vue les robots identifient les positions des autres robots. Le calcul leur permet de décider leur nouvelle position qui sera changée lors de la phase de mouvement.

Nous nous proposons d'utiliser les méthodes formelles pour générer automatiquement des protocoles corrects pour les robots. Ce problème est plus difficile que celui de vérifier la validité d'une stratégie et peut être exprimé par un jeu entre le système et l'environnement : on cherche alors une stratégie gagnante pour le système, lui permettant d'atteindre ses objectifs quels que soient les comportements de l'environnement

Un des verrous est l'explosion combinatoire liée à la taille des modèles considérés, qui se produit en particulier lorsque plusieurs composants interagissent.

Nous avons développé récemment dans [8] une méthodologie permettant de générer des stratégies efficaces de rassemblement. Plus précisément, nous posons le problème dans le cadre de la théorie des jeux à deux joueurs : les robots doivent se coaliser contre l'environnement, afin de pouvoir réaliser le rassemblement à une position inconnue a priori. Cette approche

nous a permis de générer des stratégies efficaces pour le rassemblement dans le cas des réseaux synchrones. Nous avons ensuite étendu ces résultats au cas asynchrone, et à d'autres problèmes pour les robots, comme l'exploration perpétuelle, l'exploration avec arrêt, ou la dispersion uniforme. Nous avons montré que si nous avons un algorithme polynomial pour le problème du rassemblement dans le cas synchrone, dans toutes nos extensions, le problème devenait NP-complet, avec une taille du modèle beaucoup plus grande. De plus, les modèles de jeux dont nous avons besoin (mettant en jeu de l'information partielle) ne bénéficient pas, pour l'heure, d'outils efficaces existants.

## Objectifs du stage

La complexité du problème laisse penser que la recherche autour de la résolution des problèmes de satisfiabilité de formules de logique d'ordre 0 ou supérieur (en particulier à l'aide de SAT/SMT-solvers) peut nous apporter une réponse efficace.

Le travail consistera, dans un premier temps, à se familiariser à la fois avec les outils dédiés aux problèmes SAT/SMT (<http://smtlib.cs.uiowa.edu>) et avec le modèle de robots étudié, et sa modélisation sous forme de jeu. Une fois ce travail effectué, il s'agira d'encoder le jeu dans une formule à traiter par le SMT-solver et d'implémenter cette solution. La réponse espérée permettra ainsi de répondre aux problèmes ouverts sur les réseaux de robots. Enfin, on pourra étendre ces résultats à d'autres types de jeux, plus complexes, ce qui permettra de poser les bases pour une résolution générale des jeux par des SMT-solvers.

## Références

- [1] L. Blin, A. Milani, M. Potop-Butucaru, S. Tixeuil. Exclusive Perpetual Ring Exploration without Chirality. DISC 2010 : 312-327
- [2] E. M. Clarke, E. A. Emerson. Design and Synthesis of Synchronization Skeletons Using Branching Time Temporal Logic. Logics of Programs Workshop 1981 : 52-71
- [3] L. Doyen and J.-F. Raskin. Games with Imperfect Information : Theory and Algorithms. Lecture in Games Theory for Computer Scientists, Cambridge University Press, 2011 : 185-212
- [4] C. Dutheillet, I. Mounier and N. Sznajder. Distributed Control. Models and Analysis for Distributed Systems, Wiley, 2011 : 307-351
- [5] P. Gastin, N. Sznajder and M. Zeitoun. Distributed synthesis for well-connected architectures. Formal Methods in System Design, 34 (3), 2009 : 215-237
- [6] Paul Gastin and Nathalie Sznajder, Fair Synthesis for Asynchronous Distributed Systems. ACM Trans. Comput. Log., 14 (2), 2013
- [7] A. Lamani, M. Gradinariu Potop-Butucaru, S. Tixeuil. Optimal Deterministic Ring Exploration with Oblivious Asynchronous Robots. SIROCCO 2010 : 183-196
- [8] L. Millet, M. Potop-Butucaru, N. Sznajder and Sébastien Tixeuil, On the Synthesis of Mobile Robots Algorithms : The Case of Ring Gathering SSS 2014 : 237–251
- [9] L. Millet Vérification et Synthèse d'algorithmes de robots. soutenance 1er décembre 2015
- [10] J.-P. Queille and J. Sifakis. Specification and Verification of Concurrent Systems in CESAR. Symposium on Programming 1982 : 337-351

- [11] Ichiro Suzuki and Masafumi Yamashita. Distributed Anonymous Mobile Robots : Formation of Geometric Patterns. *SIAM J. Comput.* : 1347-1363
- [12] Y. Thierry-Mieg, D. Poitrenaud, A. Hamez, F. Kordon Hierarchical Set Decision Diagrams and Regular Models. *TACAS 2009* : 1-15
- [13] Y. Zhang, B. Bérard, F. Kordon, Y. Thierry-Mieg. Automated controllability and synthesis with hierarchical set decision diagrams. *WODES 2010* : 291-296