

# Essaim Intelligent de Robots : le problème de la patrouille multi-agents (LABEX SMART : Mobilité dans les réseaux et interopérabilité)

Equipes : NPA & SMA LIP6

Encadrants :

Vincent Corruble (SMA, [vincent.corruble@lip6.fr](mailto:vincent.corruble@lip6.fr))

Amal El-Fallah Seghrouchni (SMA, [Amal.Elfallah@lip6.fr](mailto:Amal.Elfallah@lip6.fr))

Maria Potop-Butucaru (NPA, [maria.potop-butucaru@lip6.fr](mailto:maria.potop-butucaru@lip6.fr))

Sébastien Tixeuil (NPA, [sebastien.tixeuil@lip6.fr](mailto:sebastien.tixeuil@lip6.fr))

*L'objectif du stage est de tirer bénéfice des avancées des systèmes répartis et des Systèmes Multi-Agents afin de proposer des solutions efficaces au problème de la patrouille multi-agents, par nature distribuée.*

**Contexte.** Les tâches susceptibles d'être exécutées par des robots autonomes sont de plus en plus nombreuses et de 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.

**Problème de la patrouille.** Etant donné un graphe, un ensemble de robots et une classe de métriques, le problème de la patrouille exige la coordination des visites des robots sur les noeuds du graphe dans le but d'optimiser les métriques. Les noeuds du graphe représentent un ensemble de sites à visiter. Les liens du graphe modélisent les chemins reliant chaque site avec ses voisins.

**Etat de l'art systèmes répartis.** Les bases de l'étude des protocoles répartis pour les réseaux de robots ont été posées par les travaux de Suzuki et Yamashita, [SY99]. 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.

Des variantes du problème de la patrouille ont été étudiés dans les systèmes répartis et en particulier dans les modèles Suzuki-Yamashita and Prencipe (la variante asynchrone du modèle Suzuki-Yamashita). Le problème est connu sous l'appellation de l'exploration perpétuelle ou avec arrêt. La spécification du problème de l'exploration perpétuelle ([BBMR 2008], [BMPT10], [BMPT 2011]) précise que chaque noeud du système doit être visité infiniment souvent par chaque robot. Une version allégée du problème (exploration avec arrêt) a été étudiée dans ([FIPS 2007,2013], [CPMS 2010], [LPT 2010]). La spécification de ce

problème impose que chaque noeud du système doit être visité exactement une fois par un robot.

Suite aux résultats d'impossibilités dus aux hypothèses très fortes du modèle, le travail [BDPPT12] s'intéresse à une version du problème plus proche de la définition de la patrouille. Malheureusement, ce travail ne s'intéresse qu'à une instance particulière du problème : patrouille d'un anneau de taille 10 avec 5 robots. Le défi dans ce contexte serait de généraliser l'étude pour des topologies variées et un nombre de robots variable.

**Etat de l'art Systèmes Multi-Agents.** La tâche de la patrouille en multi-agent consiste, pour un groupe d'agents humains ou artificiels, à visiter les points d'intérêt d'une zone (géographique ou non), dans le but de la surveiller ou de la superviser. Ce problème a été proposé il y a dix ans environ, et deux variantes de ce problème sont rapidement apparues, correspondant à deux buts distincts :

- 1) défendre la zone contre l'intrusion d'adversaires, ou
- 2) superviser ou contrôler l'ensemble des points d'intérêts en minimisant le temps écoulés entre deux visites.

Dans le premier cas, il s'agit de ce qu'on appelle la patrouille adversariale pour laquelle nous pouvons citer les travaux de [Basilico 2009], [Elmaliach 2008] ou encore [Sak 2008]. L'objectif de cette patrouille est de détecter des intrus dans un espace découpé en régions, généralement en essayant de tenir compte des stratégies possibles pour ces adversaires.

Dans le second cas, qui nous intéresse dans ce stage, on cherche à surveiller l'ensemble des points de la zone. On cherche alors à visiter tous les points de la zone le plus souvent et le plus régulièrement possible. Cette variante est nommée patrouille temporelle. Des exemples de cette variante sont la surveillance de pannes sur un intranet, la détection de nouvelles pages internet par un indexeur web, la recherche de modifications de l'environnement dans les jeux vidéo ou encore le sauvetage en cas de catastrophes naturelles. La patrouille temporelle peut être vue dans certains cas comme une patrouille adversariale sans modèle d'adversaire. Plusieurs stratégies d'exploration ont été étudiées. La stratégie la plus simple consiste à visiter tous les points le plus souvent possible pour détecter celui-ci. On peut citer par exemple [Machado 2003], [Santana 2004], [Chevaleyre 2004] ou encore [Almeida 2003].

Dans la thèse de Cyril Poulet (2013) nous nous sommes intéressés à la patrouille temporelle et nous avons étudié les performances de plusieurs stratégies de coordination, ce qui a permis une comparaison objective de diverses méthodes de coordination multi-agents. La thèse a permis 1) une formalisation de la tâche de la patrouille multiagent en *système ouvert* (les agents patrouilleurs peuvent entrer et sortir de la tâche de patrouille en continu, par exemple pour réaliser d'autres tâches ; le modèle est ainsi plus réaliste, et les applications plus riches) [Poulet 2011a] et [Poulet 2011b], *l'étude de l'adaptation de stratégies existantes et la proposition de nouvelles stratégies dans ce contexte ouvert*; l'étude de l'impact des *communications asynchrones* sur une stratégie décentralisée de référence. Par ailleurs, nous avons étudié plusieurs métriques comme l'oisiveté instantannée d'un noeud (le temps écoulé depuis la dernière visite du noeud par n'importe quel agent), la pire oisiveté (la plus haute oisiveté instantannée du graphe à l'instant t); ou encore l'oisiveté du graphe (l'oisiveté instantannée du graphe moyennée temporellement sur une simulation de durée T, ou NT cycles).

**Le travail attendu du stagiaire.** Le stage se déroulera en deux phases :

Phase 1. Une études des modèles et stratégies répartis et multi-agents sera faite. L'objectif de cette première étape sera d'identifier les hypothèses de travail de chaque domaine (distribué et multiagents). L'objectif étant de proposer un modèle réaliste de système qui pose un minimum d'hypothèses sur l'environnement et l'exécution des robots.

Phase 2. Developper dans le modèle proposé des stratégies de patrouille pour différentes **topologies d'environnement** (grille, arbre, graphe à degré borné, **orienté ou non**, etc). La correction des stratégies proposées ainsi que leur efficacité seront validés analythiquement. Les stratégies proposées seront également validées via la simulation et l'expérimentation (robots LEGO ou wifibot).

## Bibliographie

- [Almeida 2003] AL Almeida, Castro, TR Menezes, GL Ramalho. Combining idleness and distance to design heuristic agents for the patrolling task. In II Brazilian Workshop in Games and Digital Entertainment, pages 33–40, 2003.
- [Basilico 2009] N. Basilico, N. Gatti, T. Rossi, S. Ceppi et F. Amigoni. Extending algorithms for mobile robot patrolling in the presence of adversaries to more realistic settings. In Proceedings of the 2009 IEEE/WIC/ACM International Conference - Volume 02, pages 557–564. IEEE Computer Society, 2009.
- [Chevaleyre 2004] Y. Chevaleyre, F. Sempe et G. Ramalho. A theoretical analysis of multi-agent patrolling strategies. In Proceedings of the Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems-Volume 3, pages 1524–1525. IEEE Computer Society Washington, DC, USA, 2004.
- [Elmaliach 2008] Y. Elmaliach, A. Shiloni et G.A. Kaminka. Frequency-based multirobot fence patrolling. Rapport technique, Bar Ilan University, Computer Science Department, MAVERICK Group, 2008.
- [Machado 2003] A. Machado, G. Ramalho, J.D. Zucker et A. Drogoul. Multi-agent patrolling : An empirical analysis of alternative architectures. Lecture notes in computer science, pages 155–170, 2003.
- [Poulet 2011a] C. Poulet, V. Corruble, A.E.F. Seghrouchni et G. Ramalho. Etude du Problème de la Patrouille Multi-Agents en Système Ouvert. In Rencontres des Jeunes Chercheurs en Intelligence Artificielle 2011, 2011.
- [Poulet 2011b] C. Poulet, V. Corruble, A.E.F. Seghrouchni et G. Ramalho. The open System Setting in Timed Multiagent Patrolling. In IEEE/WIC/ACM International Conference , volume 2, pages 373–376. IEEE, 2011
- [Poulet 2012a] C. Poulet, V. Corruble et A. El Fallah Seghrouchni. Auction-based strategies for the open-system patrolling task. In I. Rahwan, W. Wobcke, S. Sen et Toshiharu Sugawara, éditeurs, PRIMA - 15th International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems, Proceedings, LNCS pages 92–106. Springer, 2012.
- [Poulet 2012b] C. Poulet, V. Corruble et A. El Fallah Seghrouchni. Travailler en équipe : le choix social appliqué au problème de la patrouille multi-agents. In Actes des journées francophones sur les systèmes multi-agents ,2012.
- [Poulet 2012c] C. Poulet, V. Corruble et A. El Fallah Seghrouchni. Working as a team : using social criteria in the timed patrolling problem. In IEEE, éditeur, 24th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence , 2012.
- [Sak 2008] T. Sak, J. Wainer et S. Goldenstein. Probabilistic multiagent patrolling. Advances in Artificial Intelligence-SBIA 2008, pages 124–133, 2008.
- [Santana 2004] Santana, H., Ramalho, G., Corruble, V., & Ratitch, B. (2004). Multi-Agent Patrolling with Reinforcement Learning. *International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems* (pp. 1122-1129).
- [FIPS 2013] Paola Flocchini, [David Ilcinkas](#), [Andrzej Pelc](#), [Nicola Santoro](#): Computing Without Communicating: Ring Exploration by Asynchronous Oblivious Robots. *Algorithmica* 65(3): 562-583 (2013) (journal version OPODIS 2007)
- [CPMS 2010] Jérémie Chalopin, [Paola Flocchini](#), [Bernard Mans](#), [Nicola Santoro](#): Network Exploration by Silent and Oblivious Robots. *WG 2010*: 208-219
- [BBMR 2008] [Roberto Baldoni](#), François Bonnet, [Alessia Milani](#), [Michel Raynal](#): Anonymous graph exploration without collision by mobile robots. *Inf. Process. Lett.* 109(2): 98-103 (2008)
- [BDPPT 2012] François Bonnet, [Xavier Défago](#), [Franck Petit](#), [Maria Potop-Butucaru](#), [Sébastien Tixeuil](#): Brief Announcement: Discovering and Assessing Fine-Grained Metrics in Robot Networks Protocols. *SSS 2012*: 282-284
- [BMPT 2011] François Bonnet, [Alessia Milani](#), [Maria Potop-Butucaru](#), [Sébastien Tixeuil](#): Asynchronous Exclusive Perpetual Grid Exploration without Sense of Direction. *OPODIS 2011*: 251-265
- [LPT 2010] [Anissa Lamani](#), Maria Potop-Butucaru, [Sébastien Tixeuil](#): Optimal Deterministic Ring Exploration with Oblivious Asynchronous Robots. *SIROCCO 2010*: 183-196
- [BMPT 2010] [Lélia Blin](#), [Alessia Milani](#), Maria Potop-Butucaru, [Sébastien Tixeuil](#): Exclusive Perpetual Ring Exploration without Chirality. *DISC 2010*: 312-327

