

Systèmes de navigation biologiques et artificiels : apprentissage de routes par des fourmis et par un robot mobile autonome

Responsable scientifique : Guy BEUGNON

Guy BEUGNON

Laboratoire d'Éthologie et Cognition Animale
(LECA)
Université Paul-Sabatier, CNRS (FRE 2382)
118, route de Narbonne
31062 Toulouse cedex 04

Sous-thème dont relève ce projet :

Déplacements, itinéraires, parcours, navigation
Espace, vision, images
Représentation de l'espace

Équipes partenaires :

- École d'Ingénieurs en Informatique pour l'Industrie de Tours
- Laboratoire d'Éthologie Expérimentale et Appliquée, Paris XIII
- Neurosciences Center, Sussex University

Résumé signalétique

Donner la capacité à des machines de se déplacer de manière autonome est l'un des objectifs poursuivis par la robotique mobile. Cette forme d'autonomie par rapport à l'environnement, fondée principalement sur la motilité associée à des capacités d'orientation spatiale, est particulièrement développée au sein du monde vivant chez certaines espèces d'hyménoptères (fourmis, abeilles, guêpes) capables de résoudre des problèmes de navigation complexes en dépit d'un système nerveux relativement simple. Les caractères de fiabilité, de robustesse et de performance de ces mécanismes de navigation chez l'insecte, sélectionnés au cours de l'évolution biologique, peuvent alors servir de modèle pour l'élaboration de systèmes artificiels de navigation autonomes d'inspiration biomimétique.

Notre projet, mené en synergie entre informaticiens/roboticiens et éthologistes, avait pour ambition l'élaboration d'algorithmes de déplacements, directement inspirés des mécanismes de navigation de deux espèces de fourmis (*Cataglyphis cursor* et *Gigantiops destructor*) que nous étudions au laboratoire et dans leur milieu naturel, et leur implémentation sur un robot mobile autonome.

Ce travail a été concrétisé avec succès sur un prototype de robot-fourmi pourvu des règles de navigation directement inférées du comportement individuel de ces deux espèces de fourmis qui vivent dans des milieux assez hostiles (respectivement, milieux semi-désertique et tropical). L'extension de ces travaux sur des robots de série programmables et leur valorisation éventuelle sur des robots de type industriel nécessiteraient une logistique et des financements plus conséquents.

Mots-clés : Navigation spatiale • robotique mobile • fourmis • labyrinthes • routes familières

Nombre de participants : Éthologie : 5 ; Neurosciences Computationnelles : 1 ; Informaticiens/roboticiens : 6.

Rappel des enjeux et objectifs fixés à l'origine

Dans le prolongement de notre étude sur les modes de navigation chez la fourmi *Cataglyphis cursor* (1998 ; 1999), nous avons déposé un projet en collaboration avec une équipe d'informaticiens/roboticiens. En effet, l'un des objectifs poursuivi par la robotique consiste notamment à donner la capacité à des machines de se déplacer de manière autonome. Ce but représente un enjeu capital si l'on veut que les machines puissent assister de plus en plus l'homme dans un large éventail d'activités comme l'industrie, les loisirs ou l'exploration et l'exploitation de milieux inhospitaliers. L'objectif principal de notre projet commun était donc d'arriver à implémenter un système artificiel de navigation autonome (robot-fourmi) avec des règles de navigation directement inspirées de celles utilisées par des fourmis.

Pour la partie éthologique, nous avons d'abord proposé de préciser les interactions entre modalités d'orientation lors de l'apprentissage de routes chez la fourmi *Cataglyphis cursor* et d'étendre ensuite notre problématique à une nouvelle espèce de fourmi, *Gigantiops destructor*, dont le système visuel est le plus développé parmi les 10 000 espèces de fourmis répertoriées à ce jour dans le monde. Il s'agissait de recueillir un ensemble de données biologiques et comportementales sur ces deux espèces de fourmis très visuelles et qui présentent des comportements de navigation spatiale très efficaces, alors qu'elles se déplacent dans des milieux naturels difficiles (respectivement milieux semi-désertique et tropical) sans aucun recours à un marquage chimique.

En complément à ces travaux d'Éthologie, les chercheurs de l'École d'Ingénieurs en Informatique pour l'Industrie de Tours ont développé un prototype de robot-fourmi mobile. Il s'agissait d'abord de modéliser et de développer sur un simulateur la manière dont ces fourmis se déplacent en utilisant des combinaisons complexes d'informations spatiales comme un vecteur d'intégration et des signes visuels. Afin de comparer les différents algorithmes, un ensemble d'environnements de difficulté croissante a été défini. Les résultats obtenus en simulation ont été très satisfaisants puisqu'il a été possible de proposer une architecture simple imitant toutes les capacités des fourmis auxquelles nous nous sommes intéressés. L'implémentation de ces algorithmes a ensuite été effectuée sur deux types de robots conçus et réalisés au laboratoire de Tours mais qui, du fait de leur coût peu élevé, restent insuffisamment performants (autonomie limitée, calculateur pas assez puissant, système de vision très lent, etc.)

La première perspective qui découle de ce travail est donc de poursuivre l'étude des modes de navigations chez ces insectes, dans leur milieu naturel et au laboratoire, et de réaliser en grandeur réelle ce qui a été simulé en implémentant sur un robot de série programmable tous les algorithmes mis au point dans le cadre de ce projet et qui fonctionnent parfaitement en simulation sur des problèmes pourtant difficiles en robotique. Cela permettrait d'envisager des applications en robotique réelle où le repérage visuel pourrait permettre de mieux contrôler des robots industriels.

Résumé des résultats effectivement atteints

Partie éthologie cognitive

Les travaux sur l'étude des capacités de navigation chez les fourmis ont été développés au laboratoire à Toulouse et Brighton et sur le terrain en Guyane au cours de séjours effectués en 2000 et 2001.

Chez la fourmi *Cataglyphis cursor* (milieu semi-désertique pauvre en repères visuels terrestres). Le rôle de la direction de la lumière dans l'acquisition et la mémorisation d'une séquence de formes visuelles disposées le long d'une route familière au laboratoire a été clairement précisé. Nous avons pu aussi démontrer que ces insectes sont capables de discriminer et de mémoriser au moins 8 formes visuelles différentes.

Chez la fourmi néotropicale *Gigantiops destructor* (milieu tropical complexe). Les travaux conduits sur le terrain nous ont aussi permis de révéler l'existence d'une nouvelle stratégie d'orientation, jamais décrite chez d'autres espèces de fourmis, et impliquant une forme inédite de mémoire spatiale à long terme (independent local vector). La dynamique d'apprentissage de routines motrices simples (persévération latéralisée), réalisé dans un environnement contraint au laboratoire, suggère une grande rapidité dans l'acquisition et la mise en place de ces routines chez cette espèce de fourmi. Elles pourraient donc servir de bases comportementales à l'élaboration de chemins familiers plus complexes impliquant la prise en compte de repères visuels plus ou moins structurés.

Partie informatique/robotique

Les travaux réalisés dans un premier temps ont consisté à définir une stratégie de navigation purement vectorielle, à implémenter et la tester sur un simulateur avant de la faire tourner sur un robot existant au laboratoire.

Une stratégie de navigation fondée sur l'apprentissage et la reconnaissance d'images a pu ensuite être définie avant d'être implémentée et testée avec succès sur un simulateur. Les résultats obtenus en simulation ont été très satisfaisants puisque nous avons réussi à proposer une architecture simple et imitant toutes les capacités des fourmis auxquelles nous nous sommes intéressés, comme le montrent les nombreux exemples présentés dans le rapport.

La construction d'un nouveau robot mobile plus performant a aussi été entreprise. Ce deuxième robot utilise des moteurs avec un entraînement mécanique plus efficace et possède un nouveau processeur. Malgré cela, il reste de nombreuses difficultés à résoudre et seule l'implémentation de nos algorithmes sur des robots de série programmables pourrait permettre d'assurer un développement conséquent à nos recherches.

Publications issues du projet

- Beugnon, G., Chagné, P. & Dejean, A. 2001. Colony structure and foraging behavior in the tropical formicine ant, *Gigantiops destructor*. *Insectes Sociaux*, 48, 01-07.
- Chagné, P., Lacassagne, C. & Beugnon, G. 2001. Modes de navigation chez une fourmi néotropicale : *Gigantiops destructor*. *Actes des Colloques Insectes Sociaux*, 14, 13-19.
- Françoise L., Monmarché, N., Venturini, G. 2000. Vers un robot modélisant la perception visuelle des fourmis, *Actes Coll. Insectes Sociaux*, 13 : 169-172.
- Duvaux, D. 2000. Robot-Fourmi, Robotique mobile PC104, Rapport de projet de fin d'études de l'École d'Ingénieurs en Informatique pour l'Industrie, 50 pages.
- Françoise, L., 1999. Robotique mobile PC104, Rapport de projet de fin d'études de l'École d'Ingénieurs en Informatique pour l'Industrie, 80 pages.
- Lacassagne, C. 2000. Étude de divers modes de navigation chez *Gigantiops destructor* (Formicidae, Formicinae). Mémoire de DESU, Université Toulouse III, 53 pages.

Autres publications

- Cournède, A. 2001. Apprentissage de routes chez des fourmis. Études des modes de navigation moteur et visuo-moteur chez la fourmi *Cataglyphis cursor* (Hymenoptera, Formicidae). Mémoire de DESU, Université Toulouse III, 63 pages.
- Oger S. & Raynal S, 2001. Robot-fourmi, Rapport de projet de fin d'études de l'École d'Ingénieurs en Informatique pour l'Industrie, 77 pages.

