

Sujet de thèse - Système d'apprentissage pour le problème d'auto-reconfiguration des réseaux de micro-robots

1 Contexte de la thèse

Le problème d'auto-reconfiguration des réseaux de micro-robots est l'un des défis majeurs de la robotique modulaire. Un ensemble de micro-robots reliés par des liens électromagnétiques ou mécaniques se réorganisent afin d'atteindre des formes cibles données.

Le problème d'auto-reconfiguration est un problème complexe pour trois raisons. Premièrement, le nombre de configurations distinctes un réseau de robots modulaires est très élevé : $(c.w)^n$ où n est le nombre de modules, c le nombre de connexions possibles par module et w le nombre de façons de connecter les modules entre eux.

Deuxièmement, comme les modules sont libres de se mouvoir indépendamment les uns des autres, à partir de chaque configuration il est possible d'atteindre $O(m^k)$ autres configurations avec m le nombre de mouvements possibles par module et k le nombre de modules libre de mouvement. Troisièmement et comme conséquence du précédent point, l'espace de recherche reliant deux configuration est exponentiel ce qui empêche la détermination du planning optimal de l'auto-reconfiguration.

L'équipe OMNI de FEMTO-ST/DISC est engagée dans la recherche de solutions matérielles et logicielles dans ce domaine. Sur le plan matériel, l'équipe est associée à la conception de plateformes de micro-robots tels que "Claytronics" et "Blinky Blocks". L'équipe omni a aussi pris la tête pour la conception de nouveaux micro-robots 3D appelé 3D Catom. D'un autre côté, les protocoles distribués de reconfiguration permettant à un ensemble élevé et dense de micro-robots de collaborer pour atteindre la forme cible ont été étudiés. Les méthodes proposées (thèses de H. Lakhlef et A. Naz) sont basées sur une approche totalement distribuée où les micro-robots utilisent des connaissances locales pour converger vers la forme cible. En l'absence de coordinateur central, les méthodes proposées impliquent soit une multitude de mouvements inutiles (surconsommation d'énergie et perte de temps) soit un grand volume d'échange de messages (lenteur de la convergence).

Nous proposons dans ce sujet, une approche hybride originale, où un coordinateur central sélectionne sur la base de la forme initiale et de la forme finale des micro-robots, le meilleur algorithme distribué et les meilleurs paramètres avant le lancement de la procédure de reconfiguration. Une gamme d'algorithmes distribués sont préalablement installés sur chaque robot modulaire. Au début de la procédure d'auto-reconfiguration, le coordinateur central diffuse à l'ensembles des micro-robots, les données relatives à la forme finale à atteindre et l'algorithme distribué à exécuter ainsi que ses paramètres. Le coordinateur aura aussi pour rôle de collecter le retour d'expérience après chaque reconfiguration afin de perfectionner le choix des procédures distribuées.

2 Objectifs de la thèse

Lors de ces dernières années, nous avons assisté à plusieurs travaux proposant des algorithmes distribués pour le problème d'auto-reconfiguration tels que les travaux de Mabed et al. [Mabed2014], Lengiewicz et al. [Lengiewicz2017], Thalami et al. [Thalami2019] et Lakhlef et al. [Lakhlef2015]. La diversité de ces méthodes et leur sensibilité au choix des paramètres posent un réel problème de décision.

Notre objectif est de déterminer pour chaque approche les cas de figure où une approche algorithmique est la plus appropriée. Il s'agit pour cela d'extraire les caractéristiques pertinentes des problèmes d'auto-reconfiguration permettant de reconnaître l'approche algorithmique la plus adaptée.

L'approche proposée commencera par étudier l'impact de chaque méthode de reconfiguration et de chaque paramètre sur les performances de la reconfiguration. Pour cela, nous procéderons par la création d'une base de connaissance (phase de calibrage) qui pour un ensemble de problèmes d'auto-reconfiguration large et diverse, enregistrera les performances des différents algorithmes avec différents paramètres. A l'aide d'un système de classification, à déterminer, il s'agira d'établir pour chaque méthode d'auto-reconfiguration les caractéristiques des problèmes d'auto-reconfiguration pour lesquels elle s'est montrée efficace.

Il s'agit aussi de concevoir les mécanismes d'apprentissage permettant au système d'améliorer son fonctionnement en fonction des performances enregistrées après chaque reconfiguration au-delà de l'étape de calibrage. Des approches d'apprentissage par "deep learning" ou par "réseaux de neurones" sont, dans ce cas, à prévoir.

3 Equipe de recherche Impliqué

| | |
|--------------------|--|
| Budget souhaité | Financement d'une thèse de doctorat |
| Durée | 36 mois |
| Directeur de thèse | Dr. Hakim MABED (MdC/HDR) - UFC/UBFC/FEMTO-ST |
| Co-Encadrants | Dr. Frédéric Lassabe (Enseignant-Chercheur) - UTBM/UBFC/FEMTO-ST Dr. Wahabou Abdou, (MdC) - UB/UBFC/LIB |