

RobotSwarms

"Essaims de drones collaboratifs à communications parcimonieuses"

Partenaires :

- Laboratoires Université de Toulon :
 - Porteur : COSMER(EA 7398)- Encadrement : Thierry SORIANO
 - IM2NP (UMR 7334) (COSMER) – Encadrement : Valentin GIES (IM2NP)
- Partenaire socio-économique :
 - System Factory – TVT (association) – Encadrement : Lidiya YUSHCHENKO

Contexte de la thèse

L'université de Toulon participe depuis plusieurs années à des compétitions internationales dans le domaine de la robotique. En particulier, elle s'est illustrée par une qualification pour la RoboCup, Coupe du Monde de robotique, en catégorie Middle Size League où des équipes de robots autonomes jouant au football s'affrontent à 5 contre 5 sur un terrain de 22m par 14m. Cette qualification était une première pour une équipe française depuis plus de 15 ans.

Plus récemment, l'université de Toulon a remporté le concours SWARMZ organisé par Naval Group, portant sur la conception d'une flotte de drones maritimes de surface navigant en essaims de grande taille.

La réussite de l'Université dans ces concours atteste de la qualité des recherches et du savoir-faire en matière de robotique aux laboratoires COSMER et IM2NP, et en particulier sur les essaims de drones collaboratifs terrestres et maritimes. Parmi les problématiques abordées dans les travaux déjà menés, deux d'entre elles nous semblent principales, avec des enjeux communs :

- Quelles sont les clés permettant de coordonner de manière répartie et efficace un essaim de drones de très grande taille ?
- Quelles sont les clés permettant de faire interagir un essaim de drones avec des humains ?

Les réponses à ces questions ne peuvent être restreintes à un domaine particulier et reposent sur une optimisation conjointe des stratégies de déplacements, de la mécanique, des modes de communication, des méthodes de perception. Parmi les résultats déjà obtenus, nous avons pu expérimenter le fait qu'il était compliqué et peu fiable de faire communiquer de manière intensive un très grand nombre de robots entre eux en permanence et de centraliser l'information propre au groupe pour la redistribuer ensuite. Au contraire il est apparu intéressant de se focaliser sur la recherche des mécanismes fondamentaux d'action, de perception et de communication, le plus souvent de proximité, décrits dans les modélisations comportementales de groupes d'animaux denses tels que les

bancs de poissons ou les nuées d'étourneaux. Dans ces essais d'animaux, la perception et les communications se font principalement à courte portée, tout en permettant une évolution fluide, coordonnée et cohérente du groupe avec une mécanique adaptée.

Cette approche biomimétique dans le domaine des essaims peut se prolonger dans les interactions entre humains telles que celles ayant lieu dans la pratique du football où chaque acteur connaît les mécanismes de jeu généraux de l'équipe et le modèle fonctionnel des autres joueurs. Cela lui permet de n'interagir que de manière limitée avec ses partenaires et seulement à bon escient. Dans ces deux cas, le maître mot de la réussite des objectifs et de la coordination du groupe est la "parcimonie", les échanges réellement utiles étant réduits à ce qui est strictement nécessaire dans une logique de minimisation de l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'essaim.

C'est dans ce contexte d'essais de robots /drones à contrôle et actions parcimonieuses que nous souhaitons positionner cette thèse, qui aura une vocation théorique et expérimentale. Elle s'appuiera sur l'expérience et les nombreuses innovations en matière de conception mécanique et logicielle de robots prototypes, accumulées ces dernières années à l'Université de Toulon. Depuis plusieurs années les générations de robots développés ont évolué avec un fil conducteur : rechercher les fonctionnalités les plus pertinentes d'un point de vue efficacité, communication, complexité et coût énergétique, ce qui revient à une recherche de la parcimonie dans tous les sens du terme dans la conception et la mise en œuvre des robots.

Cette thèse continuera dans cette voie, en se focalisant sur les mécanismes permettant le pilotage d'essaims de drones dans différents contextes d'interaction extérieure. Dans une première partie ayant une application opérationnelle environnementale, les déplacements d'un essaim de grande taille seront étudiés en prenant en compte des interactions extérieures limitées. Dans une seconde partie plus prospective, les déplacements d'un essaim de taille plus réduite mais en interaction forte avec l'extérieur seront étudiés, avec un cas d'étude ayant des applications médicales. Dans les deux cas, les thématiques scientifiques abordées seront la perception, la communication, l'IA, la conception mécanique et la modélisation comportementale. L'accent sera mis sur les modèles parcimonieux en termes algorithmiques, matériels et énergétiques de manière à extraire les mécanismes génériques permettant à un essaim de drones d'évoluer de manière robuste dans des circonstances les plus variées possibles.

Le détail des deux parties est décrit ci-dessous avec les livrables attendus.

- **Partie 1: étude des déplacements d'un essaim de drones de grande taille avec interactions extérieures limitées.** Cette partie correspond à de nombreuses applications environnementales, militaires ou de sécurité civile où les interactions avec l'extérieur de l'essaim restent limitées (terrain d'opération globalement isolé).

Nous nous sommes tournés, en coopération avec System Factory, vers une application bio-environnementale concrète : le déploiement en situation d'urgence d'une flotte de drones navals à faible coût, destinée à effectuer des relevés en temps

réel et de manière distribuée. Cette mise en œuvre aura lieu sur un terrain à interactions extérieures limitées (plan d'eau). L'objectif est de cartographier et localiser le plus rapidement possible la source d'une pollution aquatique (par exemple pollution biologique type *Escherichia coli*, plusieurs fois rencontrée dans la rade de Toulon ces dernières années). Elle repose sur le déploiement d'un essaim de drones de prélèvement en un temps très bref et de manière efficace et robuste, dans la mesure où celui-ci devra s'adapter en fonction de la situation d'urgence dans sa forme, ses actions ou son nombre d'individus. La réalisation concrète de cet essaim de drones (une vingtaine à coût unitaire réduit à environ 200-300 euros, pour la preuve de concept) constitue un livrable de la thèse demandé par System Factory, de même que le système de positionnement et navigation de l'essaim.

- **Phase 2 : étude des déplacements d'un essaim de drones de taille limitée avec interactions extérieures fortes.** Cette partie correspond aux applications grand public à venir en robotique telles que le déploiement massif de drones et robots dans des services publics (hôpitaux par exemple) ou dans la vie quotidienne. L'objectif est de permettre la cohabitation, voir la collaboration, dans un espace limité, d'essaims de robots issus de constructeurs différents et d'humains, en forte interaction. La recherche de solutions parcimonieuses est ici un facteur clé de la capacité à interagir avec un grand nombre d'acteurs, potentiellement très différents et n'ayant que peu de moyens d'interaction.

Nous proposons pour cette partie, d'utiliser la RoboCup comme terrain d'expérimentation privilégié. En effet, lorsque des robots jouent au football entre eux ou avec des humains dans un périmètre réduit, les interactions mises en œuvre sont particulièrement nombreuses et complexes. Pour favoriser la recherche de solutions parcimonieuses, nous proposons dans ce contexte de renoncer au recours à des communications sans fil entre robots, autre que les décisions arbitrales. Cette contrainte nous permettra d'étudier en profondeur les optimisations possibles dans les mécanismes couplés de perception, d'action et d'interaction entre robots et humains, qui seront demain au centre des applications robotiques orientées services aux personnes à domicile ou environnement hospitalier.

Sujet de thèse

L'intitulé du sujet de thèse est : *"Essaims de drones collaboratifs à communications parcimonieuses"*.

Le sujet de la thèse consiste à déterminer les clés permettant à des essaims de drones d'interagir entre eux ou avec des humains sans contrainte sur le facteur d'échelle de l'essaim.

Le doctorant devra dans un premier temps formaliser l'expertise méthodologique accumulée en robotique dans différentes thématiques allant de la mécanique à l'intelligence artificielle en passant par la perception ou la communication. Cette formalisation sera mise en parallèle

avec des modèles biomimétiques, de manière à essayer de mieux comprendre les facteurs permettant à un essaim de drones de fonctionner efficacement et parcimonieusement.

Dans un second temps, une méthodologie permettant de proposer des optimisations multifactorielles (mécanique, communication, IA, perception) de la performance de drones en essaims sera proposée et testée de manière opérationnelle sur les deux cas: l'étude des déplacements d'un essaim de drones de grande taille avec interactions extérieures limitées avec une application concrète axée protection de l'environnement et étude des déplacements d'un essaim de drones de taille limitée avec interactions extérieures fortes avec des applications destinées à être utilisées à terme en milieu hospitalier.

Du point de vue du partenairesocio-économique

Les travaux de la thèse sont en parfaite adéquation avec les travaux réalisés par le Cluster des systèmes complexes de la Région Sud, System Factory, dans le cadre de l'animation du groupe SWARMZ, un réseau national visant à développer en France une communauté autour des essaims de drones, avec ses 3 partenaires Naval Group, MBDA et l'IFREMER.

Outre les publications scientifiques classiques, les travaux seront publiés dans le cadre de l'animation de ce réseau, et des tables rondes seront organisées sur les chaines YouTube de System Factory dédiées à l'innovation, et permettront de contribuer à l'animation du ClubSudDrone que System Factory vient de rejoindre.

Prévision du déroulement

La première année sera consacrée d'abord à l'observation de l'existant et l'état de l'art dans le domaine des essaims de drones. Elle aboutira à une publication de synthèse en fin d'année dans un congrès international. Elle portera sur la formalisation de l'expertise méthodologique accumulée en robotique allant de la mécanique à l'intelligence artificielle en passant par la perception ou la communication, et sur les modèles biomimétiques permettant de mieux comprendre comment faire fonctionner efficacement et parcimonieusement un essaim de drones. Un jalon à 12 mois permettra de faire le bilan.

En 2^e année, et après cet état de l'art, le focus sera mis sur la formalisation d'une méthodologie permettant une optimisation multifactorielle (mécanique, communication, IA, perception) de l'efficacité des drones en essaims. Elle sera appliquée sur les deux cas d'application proposés : le déploiement rapide et efficace d'une large flotte de drones à des fins d'étude bio environnementales dans des situations d'urgence, et la cohabitation entre humains et essaims de drones non centralisés dans un cadre comparable au milieu hospitalier.

La troisième année de travail permettra, par itérations sur les cas d'application proposés, d'améliorer la méthodologie formalisée en deuxième année et de proposer des contributions innovantes permettant de mettre en œuvre des essaims de drones de manière efficace et parcimonieuse. La rédaction du mémoire de thèse, la participation à un congrès international et la production d'un ou deux articles dans des journaux reconnus de robotique ou de mécatronique sont également prévues pour cette 3^e année.