



**CIAD**  
Connaissance et Intelligence Artificielle Distribuées



**utbm**  
université de technologie  
Belfort-Montbéliard



**UBFC**  
UNIVERSITÉ  
BOURGOGNE FRANCHE-COMTE

**SPIM**

école doctorale **sciences pour l'ingénieur et microtechniques**

**Titre de la thèse :** Contribution à la perception et à la planification et commande coopératives de robots dans un environnement incertain

**Laboratoire d'accueil :** Connaissance et Intelligence Artificielle Distribuées (CIAD) – <http://www.ciad-lab.fr>

**Spécialité du doctorat préparé :** Informatique

**Mots-clefs :** commande et planification coopérative, perception coopérative de l'environnement, apprentissage machine, systèmes multi-agents, analyse de comportements de robots

**Descriptif détaillé de la thèse :**

**1) Introduction / contexte :**

Plusieurs applications dans le domaine de la robotique nécessitent des interactions entre les robots pour accomplir leur tâche. Ces interactions peuvent être conflictuelles comme dans le cas du partage de l'espace ou collaboratives comme lors des opérations de manutention. Les mouvements des robots dans les deux cas doivent être synchronisés pour accomplir leurs tâches en toute sécurité. A cause de l'environnement incertain, notamment en présence de l'humain, ces mouvements peuvent connaître des retards d'où la nécessité du partage de la perception de l'environnement. Deux solutions possibles s'offrent à nous dans ce cas. La première consiste en la construction d'une carte de représentation dynamique globale partagée et mise à jour par tous les robots. Cela suppose qu'elle doit être gérée de manière centralisée. Dans la deuxième approche, qui est décentralisée, les robots communiquent entre eux les éléments perturbateurs. Pour ce faire, ils doivent pouvoir classifier les états de l'environnement et définir en commun les différentes sources de délai pour se synchroniser en fonction. Deux briques scientifiques sont identifiées dans le cadre de ce sujet de thèse.

**Planification et commande coopératives :** Il s'agit d'étudier les modèles d'interactions et analyser les propriétés de la commande ou la planification des trajectoires. Outre les propriétés des solutions, le modèle sera exploité pour déduire les informations pertinentes à échanger entre les robots. D'autres techniques de commande ou de planification peuvent être exploitées. Grâce à ces analyses, l'étudiant pourra aborder la question épineuse de l'apprentissage par renforcement multi-agents dans le cadre des prises de décisions continue [1]. Il s'agit ici de tester les potentiels du Deep Reinforcement Learning (DRL) dans le cadre d'apprentissage de plusieurs agents [2]. Aussi d'autres stratégies de commande distribuée peuvent être déduites, explorées et comparées.

**Perception coopérative dynamique :** Il s'agit de partager la perception de l'environnement d'un robot avec les autres robots et vice-versa dans un contexte collaboratif [3]. L'objectif étant d'augmenter la perception de chacun des robots afin de leurs offrir des perspectives plus étendues pour mener à bien et au mieux leurs tâches individuelles et collectives [4]. D'une manière générale, chaque robot, doté d'un ou de plusieurs capteurs (caméras, Lidars, etc.), doit être en mesure de percevoir localement son espace environnant, puis d'intégrer toutes les informations utiles à la mission de chaque robot dans sa carte de perception ou de connaissance [5]. L'étudiant

s'intéressera en particulier à la création d'une représentation dynamique de la perception de chaque robot en exploitant sa propre perception et celles partagées par les autres robots. Il s'agit d'interpréter le contenu dynamique de l'environnement en reconnaissant des situations ou des événements pouvant poser des difficultés au robot lui-même, mais aussi aux autres robots participant à la mission collective. Cette représentation nécessite un recalage spatial et temporel pouvant être plus ou moins complexe selon le type d'information partagée.

## 2) Travaux envisagés :

Les deux briques scientifiques exposées ci-dessus devront être traitées et exploitées conjointement. La commande et planification coopérative pourra s'appuyer sur la perception coopérative dynamique et inversement. En effet, les résultats de perception seront exploités pour optimiser la commande des robots, et en retour, le processus de perception exploitera la commande ou planification des robots pour améliorer leur perception en termes de prédiction, par exemple. D'un point de vue pratique, le partage et la mise à jour de la carte de perception de chaque robot pourront se faire à la demande du robot concerné (aux autres robots) ou être détectés de manière automatique dans le cadre d'une stratégie définie par la mission elle-même et portée à la connaissance de tous les robots participant à la mission.

Pour le volet expérimentation et test, l'étudiant bénéficiera d'une application dans un cas concret de collaboration entre plusieurs robots réels et d'une plateforme de calcul. Les données seront générées à travers des tests réels et augmentées.

## Références bibliographiques :

[1] Ryan Lowe, Yi Wu, Aviv Tamar, Jean Harb, Pieter Abbeel, and Igor Mordatch. 2017. Multi-agent actor-critic for mixed cooperative-competitive environments. In *Proceedings of the 31st International Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS'17)*. Curran Associates Inc., Red Hook, NY, USA, 6382–6393.

[2] OROOJLOOYJADID, Afshin et HAJINEZHAD, Davood. A review of cooperative multi-agent deep reinforcement learning. *arXiv preprint arXiv:1908.03963*, 2019.

[3] SCHMUCK, Patrik et CHLI, Margarita. CCM-SLAM: Robust and efficient centralized collaborative monocular simultaneous localization and mapping for robotic teams. *Journal of Field Robotics*, 2019, vol. 36, no 4, p. 763-781.

[4] QUERALTA, Jorge Pena, TAIPALMAA, Jussi, PULLINEN, Bilge Can, *et al.* Collaborative Multi-Robot Search and Rescue: Planning, Coordination, Perception, and Active Vision. *IEEE Access*, 2020, vol. 8, p. 191617-191643.

[5] YANG, Chule, ANG, Danwei, ZENG, Yijie, *et al.* Knowledge-based multimodal information fusion for role recognition and situation assessment by using mobile robot. *Information Fusion*, 2019, vol. 50, p. 126-138.

## Profil demandé :

- Un diplôme de master ou équivalent en informatique, robotique ou autre spécialité connexe
- Un très bon niveau de maîtrise en programmation orientée-objet est nécessaires (Java, C#, Python)
- Des connaissances en vision, commande, apprentissage machine, systèmes multi-agents,

environnement ROS seront appréciées

- Une bonne maîtrise de l'anglais (oral et écrit) est exigée

**Financement** : MESRI établissement UTBM (3 ans)

Dossier à envoyer pour le 15 Juin 2021

Début estimée du contrat : octobre 2021

Les candidatures doivent être envoyées à Prof. Galland <[stephane.galland@utbm.fr](mailto:stephane.galland@utbm.fr)> par email.

Le dossier de candidature doit contenir : un CV détaillé, une copie du diplôme de Master ou tout document attestant du niveau de Master, une copie des bulletins de notes de Master, une copie de la carte d'identité ou d'un passeport, références et/ou une à deux lettres de recommandation

**Direction / codirection de la thèse :**

Directeurs de thèse : Stéphane Galland

Co-encadrement de thèse : Nathan Crombez, Alexandre Lombard



**CIAD**  
Connaissance et Intelligence Artificielle Distribuées



**utbm**  
université de technologie  
Belfort-Montbéliard

**UBFC**  
UNIVERSITÉ  
BOURGOGNE FRANCHE-COMTE



**SPIM**

école doctorale **sciences pour l'ingénieur et microtechniques**

**PhD title:** Contribution to cooperative perception and cooperative planning and control of robots in uncertain environment

**Host laboratory:** Connaissance et Intelligence Artificielle Distribuées (CIAD) –  
<http://www.ciad-lab.fr>

**Specialty of PhD:** Computer Science

**Keywords:** cooperative control and planning, cooperative environmental perception, machine learning, multi-agent systems, robot behavior analysis

**Job description:**

**1) Introduction / background:**

Several applications in the field of robotics require interactions between robots to accomplish their task. These interactions can be conflictual as in the case of space sharing, or collaborative as during handling operations. The movements of the robots in both cases must be synchronized to perform their tasks safely. Due to the uncertain environment, especially in the presence of humans, these movements can experience delays, hence the need to share the perception of the environment. There are two possible solutions to meet this need. The first one consists of building a global dynamic representation map shared and updated by all robots. This assumes that it must be managed centrally. In the second approach, which is decentralized, the robots communicate interfering elements with each other. To do this, they must be able to classify the states of the environment and jointly define the different sources of delay to synchronize accordingly. Two scientific building blocks are identified in the proposed thesis subject.

**Cooperative planning and control:** This involves studying interaction models and analyzing the properties of control or trajectory planning. In addition to the properties of the solutions, the model will be used to deduce the relevant information to be exchanged between the robots. Other control or planning techniques can be exploited. Through these analyzes, the student will be able to address the thorny issue of multi-agent reinforcement learning in the context of continuous decision-making [1]. The aim here is to test the potentials of Deep Reinforcement Learning (DRL) in the context of the learning of several agents [2]. Also, other distributed control strategies can be deduced, explored and compared.

**Dynamic cooperative perception:** This involves sharing the perception of a robot's environment with other robots and vice versa in a collaborative context [3]. The objective is to increase the perception of each of the robots in order to offer them broader perspectives to carry out their individual and collective tasks as well as possible [4]. In general, each robot, equipped with one or more sensors (cameras, Lidars, etc.), must be able to locally perceive its surrounding space, then integrate all the information useful for the mission of each robot in its perception or knowledge map [5]. The student will focus particularly on creating a dynamic representation of the perception of each robot by exploiting its own perception and those shared by other robots. The objective here is to understand the dynamic content of the environment by recognizing situations or events that may cause difficulties to the robot itself, but also to other robots participating in the collective

mission. This representation requires a spatial and temporal registration, which can be complex depending on the type of information shared.

## 2) Planned works:

The two scientific topics presented above will have to be treated and exploited jointly. Cooperative control and planning can benefit from dynamic cooperative perception and vice versa. Indeed, the results of perception will be exploited to optimize the control of the robots, and in return, the perception process will exploit the robots control or planning to improve their perception in terms of prediction for example. From a practical point of view, the sharing and updating of the perception map of each robot can be done at the request of the robot concerned (to other robots) or can be detected automatically as part of a strategy defined by the mission itself and made known to all robots participating in the mission.

For experiment and testing, the student will benefit from an application in a concrete case of collaboration between several real robots and a computing platform. The data will be generated through real and augmented tests.

## References:

[1] Ryan Lowe, Yi Wu, Aviv Tamar, Jean Harb, Pieter Abbeel, and Igor Mordatch. 2017. Multi-agent actor-critic for mixed cooperative-competitive environments. In *Proceedings of the 31st International Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS'17)*. Curran Associates Inc., Red Hook, NY, USA, 6382–6393.

[2] OROOJLOOYJADID, Afshin et HAJINEZHAD, Davood. A review of cooperative multi-agent deep reinforcement learning. *arXiv preprint arXiv:1908.03963*, 2019.

[3] SCHMUCK, Patrik et CHLI, Margarita. CCM-SLAM: Robust and efficient centralized collaborative monocular simultaneous localization and mapping for robotic teams. *Journal of Field Robotics*, 2019, vol. 36, no 4, p. 763-781.

[4] QUERALTA, Jorge Pena, TAIPALMAA, Jussi, PULLINEN, Bilge Can, *et al.* Collaborative Multi-Robot Search and Rescue: Planning, Coordination, Perception, and Active Vision. *IEEE Access*, 2020, vol. 8, p. 191617-191643.

[5] YANG, Chule, WANG, Danwei, ZENG, Yijie, *et al.* Knowledge-based multimodal information fusion for role recognition and situation assessment by using mobile robot. *Information Fusion*, 2019, vol. 50, p. 126-138.

## Candidate Profile:

- Master degree in computer science, robotics or related field
- Advanced knowledge and practice in object-oriented programming is required (Java, C #, Python).
- Knowledge in computer vision, control, multi-agent systems, machine learning, and ROS framework will be appreciated.
- Advanced level in English writing and speaking is required.

**Financing Institution:** French Ministry / UTBM (3 years)

**Application deadline:** June, 15th 2021

**Expected Start of contract:** October 2021

Applications must be sent to Prof. Galland <[stephane.galland@utbm.fr](mailto:stephane.galland@utbm.fr)> by email.

The application must include: a detailed CV, a copy of the Master degree or any document attesting the Master level, a copy of the Master transcripts, a copy of the identity card or passport, references and/or one to two recommendation letters.

**Supervisor(s):**

Main Supervisors: Prof. Stéphane Galland

Co-supervisors: Dr. Nathan Crombez, Dr. Alexandre Lombard