



Conception, apprentissage et validation expérimentale de stratégies de poursuite-évasion sûres pour robots autonomes multi-agents

Porteur : Ahmad HABLY

Partenaires : Fayez Shakil AHMED

Laboratoire : LAGEPP

Composante : (si applicable)

Nature du financement demandé : M2

Dates : 04/2026 – 08/2026

Résumé :

Les jeux de poursuite-évasion offrent un cadre d'étude stimulant pour la prise de décision, la commande et l'interaction entre agents autonomes. Ils impliquent des poursuivants et des évadés évoluant dans des environnements complexes, où rapidité, sûreté et adaptabilité sont essentielles. Ces problématiques trouvent des applications directes en robotique mobile, en navigation autonome, en sécurité et dans la coopération multi-robots.

Ce stage vise à concevoir et tester des stratégies de commande et d'apprentissage pour des agents autonomes impliqués dans des scénarios de poursuite-évasion. Trois axes seront explorés : (1) la modélisation dynamique des agents, (2) la mise en œuvre de stratégies de commande prédictive (MPC) et de fonctions barrière (CBF) assurant la sûreté, et (3) l'intégration d'approches d'apprentissage par renforcement (RL) permettant l'adaptation en environnement incertain. Les méthodes seront d'abord développées et comparées en simulation (Python, MATLAB/Simulink), puis validées dans un environnement ROS2/Gazebo, avec des expérimentations possibles sur robots TurtleBot.

Sujet développé :

Les jeux de poursuite-évasion (Pursuit-Evasion Games, PEG) représentent un cadre de référence pour étudier la prise de décision, la commande optimale et la coordination entre agents autonomes. Ils impliquent des interactions dynamiques entre un ou plusieurs poursuivants et évadés évoluant dans un environnement contraint. Ces situations sont au cœur de nombreuses applications : sécurité et surveillance, robotique mobile, exploration coopérative, et navigation autonome.

Les PEG combinent plusieurs défis majeurs :

- Modélisation dynamique multi-agents et prise en compte d'incertitudes ;
- Convergence et complexité des solutions de commande optimale ;
- Garanties de sûreté grâce aux fonctions barrière de contrôle (CBF) ou à la commande prédictive (MPC) ;

- Apprentissage adaptatif dans un environnement incertain via l'apprentissage par renforcement (RL) ou multi-agent RL.

Malgré des avancées récentes (Wang et al., 2025; Hu et al., 2025; Sani, Robu, Hably, 2020), aucune solution “off-the-shelf” ne permet encore de gérer simultanément sûreté, adaptabilité et complexité temps réel dans un cadre robotique réel.

Le stage vise donc à :

- Modéliser la dynamique et les contraintes des agents (cinématique différentielle, saturation, bruit capteurs, latence ROS2).
- Concevoir des lois heuristiques simples (poursuite proportionnelle, stratégie de fuite géométrique) pour établir des baselines.
- Mettre en œuvre des stratégies avancées :
 - Commande prédictive (MPC) pour la planification à horizon ;
 - Fonctions barrière de contrôle (CBF) pour la sûreté (éviter collisions, respecter zones interdites).
 Ces approches soulèvent des défis de convergence numérique et de complexité computationnelle, qu'il s'agira d'analyser.
- Introduire l'apprentissage par renforcement (RL) pour adapter la stratégie à des perturbations ou à des adversaires non stationnaires.
- Fusionner MPC/CBF et RL en une approche hybride : le MPC assure la sûreté, le RL affine la décision dans l'incertain.
- Valider expérimentalement les stratégies sur TurtleBot sous ROS2/Gazebo, avec des tests réels.

[1] Y. Wang, H. Zhang, J. Xu, S. Wang & M. Guay. *Reinforcement learning in pursuit-evasion differential game: safety, stability and robustness*. arXiv preprint, 2025.

[2] N. Chen, L. Li & W. Mao. *Equilibrium strategy of the pursuit-evasion game in three-dimensional space*. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, vol. 11, no. 2, pp. 446-458, Feb. 2024.

[3] J. Selvakumar & E. Bakolas. *Min–Max Q-learning for multi-player pursuit-evasion games*. Neurocomputing, 2022.

[4] H. Xiong, H. Cao, L. Zhang & W. Lu. *A Dynamics Perspective of Pursuit-Evasion Games of Intelligent Agents with the Ability to Learn*. arXiv, Apr. 2021.

[5] Z. Zhou & H. Xu. *Mean Field Game and Decentralized Intelligent Adaptive Pursuit-Evasion Strategy for Massive Multi-Agent System under Uncertain Environment*. arXiv, 2020.

[6] M. Sani, B. Robu & A. Hably. *Pursuit-evasion Game for Nonholonomic Mobile Robots With Obstacle Avoidance using NMPC*. MED 2020 (28th Mediterranean Conference on Control and Automation), Sep. 2020.

[7] P. Hu, C. Zhao & Q. Pan. *A Novel Method for a Pursuit–Evasion Game Based on Fuzzy Q-Learning and Model-Predictive Control*. Drones, 2024, 8(9):509.

[8] A. J. Badakaya, A. S. Halliru & J. Adamu. *A differential game of pursuit-evasion with constrained players' energy*. Data Analytics and Applied Mathematics, vol. v3, i1, 2022.