

# Couplage Apprentissage Profond et Commande Avancée pour la Navigation de Robots Aériens

Directeur de thèse : Philippe Martinet, Co-encadrants : Guillaume Allibert, Patrick Rives

Equipe Inria CHORALE\* à Sophia Antipolis

## Equipe d'accueil:

L'équipe Inria CHORALE étudie les systèmes robotiques autonomes (véhicules autonomes, robots mobiles, drones, et association de robots hétérogènes), des points de vue perception et contrôle, interagissant et évoluant dans des environnements dynamiques et complexes souvent inconnus a priori. L'objectif de recherche est de proposer et d'étudier de nouveaux paradigmes et concepts permettant aux systèmes robotiques autonomes i) d'acquérir et de partager une représentation compacte de l'environnement prenant explicitement en compte les contraintes de la tâche à réaliser, ii) d'agir et d'interagir de manière collaborative pour réaliser cette tâche de manière sûre et efficace dans des environnements partagés avec des personnes tout en satisfaisant des règles de comportement social. L'équipe CHORALE fait suite à l'EPI LAGADIC Sophia qui a pris fin en décembre 2017. Les compétences des membres de l'équipe concernent essentiellement les aspects perception, commande, navigation autonome et architecture pour la maîtrise des interactions avec l'environnement. En s'appuyant sur sa longue expertise sur les approches basées modèles, elle s'intéresse depuis deux ans, aux apports amenés par le Deep Learning dans les aspects perception et navigation de robots mobiles [1].

## Contexte :

L'apprentissage profond est au cœur des avancées récentes pour la perception et le contrôle de robots mobiles. L'intégration de ces techniques au sein d'un système robotique autonome pourvu d'un système de perception telle qu'une caméra 2D ou 3D est une question importante. Dans les approches dites *end2end*, l'apprentissage profond est utilisé pour estimer la commande du système directement à partir du signal de perception (image(s), Lidar, ...) [2]. Les stratégies de commande classiques ne sont plus utilisées et le contrôleur basé apprentissage détermine implicitement quelle(s) information(s) utilisée(s) pour déterminer la commande à exécuter. Si les résultats obtenus avec ce genre d'approche semblent être pertinents et performants, il est difficile d'analyser finement le comportement du couplage perception/commande réalisant la tâche (espace des paramètres de dimension très élevée, difficulté de définir des métriques). A contrario, les approches basées modèles sont, quant à elles, étudiées depuis longtemps et offrent des outils d'analyse de performance fiables et bien maîtrisés. Cependant, elles s'appuient sur une simplification des modèles (linéarisation, capteurs géométriques, modèle photométrique lambertien...) qui limite drastiquement leur domaine d'application. D'un point de vue méthodologique un des objectifs de cette thèse sera de concevoir de nouvelles approches intégrant à la fois les bénéfices de l'apprentissage profond et des méthodes basées modèles afin, d'une part, d'élargir leur domaine d'application et de définir de nouveaux outils d'analyse de performances capable d'intégrer les aspects liés à l'apprentissage profond.

## Sujet de thèse :

Le travail de thèse s'appuiera sur un cadre applicatif particulier, à savoir, la navigation d'un drone aérien autonome dans un milieu forestier non cartographié a priori. Très peu de travaux peuvent être actuellement recensés pour ce type d'application [5][6].

Dans un premier temps, un travail sur la perception devra être mené pour extraire des informations pertinentes issues d'un capteur de vision utiles pour la navigation du drone. Diverses informations seront évaluées (flow optique, disparité, sémantique, pose, etc.) et permettront de définir l'espace de perception utilisé pour le contrôle du drone. Les méthodes de traitement d'images basées modèles seront comparées aux méthodes récentes basées sur l'apprentissage profond.

Dans un deuxième temps, un modèle de prédiction de navigation sécurisée du drone devra être développé. Ce modèle permettra de déterminer des espaces libres de navigation permettant l'évolution du drone en fonction du vecteur de commande. Plusieurs modèles seront envisagés dans cette thèse en fonction des informations obtenues lors de la phase de perception. Les grilles multi-échelles telles qu'OctoMap seront étudiées en priorité puisqu'elles sont particulièrement intéressantes en terme de temps de calcul et de simplicité de la représentation. A l'instar de certains travaux récents, nous proposerons que la détermination de ce modèle soit réalisée également par un apprentissage profond.

Enfin, la partie contrôle s'intéressera à combiner le modèle précédemment obtenu avec une stratégie de commande

---

\*<https://project.inria.fr/chorale/>

avancée de type commande prédictive. De part son efficacité et des avantages qu'elles comportent, cette stratégie de commande [3] est régulièrement utilisée pour contrôler des systèmes robotiques tels les quadrotors. Elle a également déjà fait l'objet d'une extension au cas de l'asservissement visuel [4] où son intérêt a clairement été mis en avant. Un travail sera alors mené pour définir des fonctions coûts permettant d'exploiter les données du modèle de prédiction, de nature et de dimension différentes.

L'approche de navigation proposée dans cette thèse fera ensuite l'objet d'une comparaison avec l'approche *end2end*. Une métrique (distance parcourue, pourcentage de réussite, nombre de crash, etc.) ainsi qu'un protocole (distance à parcourir, nombre de parcours différents, etc.) devront être définis afin d'évaluer les performances de l'approche proposée.

### Plan de travail :

Le plan de travail de cette thèse se déroulera de la manière chronologique suivante :

- Étude bibliographique sur les parties perception et contrôle basée apprentissage profond ;
- Développement des algorithmes de perception basés Deep Learning et model-based et analyse des performances;
- Détermination des modèles de prédiction pour la navigation sécurisée du drone ;
- Étude de la stratégie de commande prédictive visuelle avec un modèle obtenu par apprentissage ;
- Réalisation d'un démonstrateur et mise en œuvre de l'approche proposée et de l'approche *end2end*;
- Comparaison des résultats et évaluation des performances.

### Prérequis :

Le candidat, titulaire d'un Master en Robotique ou Automatique, devra avoir des compétences solides en développement (MATLAB, C/C++, Python, LINUX, ROS, Git, OpenCV, TensorFlow). Il devra également avoir un goût prononcé pour la recherche, pour les travaux fondamentaux et l'ouverture pluridisciplinaire.

### Contact :

Les candidats intéressés doivent envoyer un CV détaillé, leurs résultats de Master (1 et 2) ainsi qu'une ou plusieurs lettres de recommandation à Philippe.Martinet@inria.fr, Allibert@unice.fr et Patrick.Rives@inria.fr.

### Bibliographie :

- [1] E. Fernandez-Moral, R. Martins, D. Wolf, P. Rives, *A new metric for evaluating semantic segmentation: leveraging global and contour accuracy*, in IEEE- Intelligent Vehicle Symposium, June 2018.
- [2] S. Levine, C. Finn, T. Darrell, P. Abbeel, *End-to-end Training of Deep Visuomotor Policies*, in Journal Machine Learning Research, 1:17, 1334-1373, January 2016.
- [3] D. Q. Mayne. *Model predictive control: Recent developments and future promise*. Automatica, 50(12):2967 – 2986, 2014.
- [4] G. Allibert, E. Courtial, F. Chaumette, *Predictive Control for Constrained Image-Based Visual Servoing*, IEEE Trans. on Robotics, 26(5):933-939, October 2010.
- [5] S. Ross, N. Melik-Barkhudarov, K. S. Shankar, A. Wendel, D. Dey, J. A. Bagnell, and M. Hebert. *Learning monocular reactive uav control in cluttered natural environments*, in IEEE International Conference on Robotics and Automation, pages 1765–1772, May 2013.
- [6] M. Kisantal. *Deep reinforcement learning for goal-directed visual navigation*, 2018.