

A fournir au format WORD exclusivement

Titre : Approches événementielles pour la commande parcimonieuse d'un système de drones modulaire et reconfigurable

Directeur(s) de Thèse : Edouard Laroche, PU

Sylvain Durand, MCF (inscription HDR en cours)

Unité(s) d'Accueil(s) : ICube, équipe RDH

Établissement de rattachement : Université de Strasbourg

Collaboration(s) (s'il y a lieu) : BUAP (Puebla, Mexique), GIPSA-lab (Grenoble)

Rattachement à un programme (s'il y a lieu) : Projet franco-mexicain ECOS Nord TOBACCO et projet ANR dark-NAV

Résumé (1500 caractères au maximum) :

Un système de drones est constitué de robots aériens autonomes qui peuvent s'assembler en vol dans le but de réaliser des tâches qu'un agent seul n'aurait pu accomplir. C'est une solution pour le transport aérien et/ou la manipulation aérienne. L'assemblage de plusieurs robots permet d'augmenter la charge utile, tout en permettant de changer dynamiquement de configuration pour s'adapter à l'environnement ou aux tâches à réaliser.

L'objectif de la thèse est de développer des approches parcimonieuses pour la commande collaborative d'un système de drones modulaire et reconfigurable. L'application visée est le transport d'une charge plus lourde que la charge utile d'un seul drone avec un passage à franchir de largeur juste supérieure à la taille du drone. Le travail comprendra une phase de modélisation dynamique du dispositif modulaire complet. Cette modélisation alimentera un travail de synthèse de commande avancée pour la navigation du robot, à savoir une commande distribuée collaborative événementielle dans le but de stabiliser le système tout en réduisant le coût de calcul et les communications associées à la commande, voire la consommation d'énergie. Aussi, il sera considéré qu'un module n'a pas connaissance de tout le système ni de la configuration globale du robot, mais seulement des modules voisins.

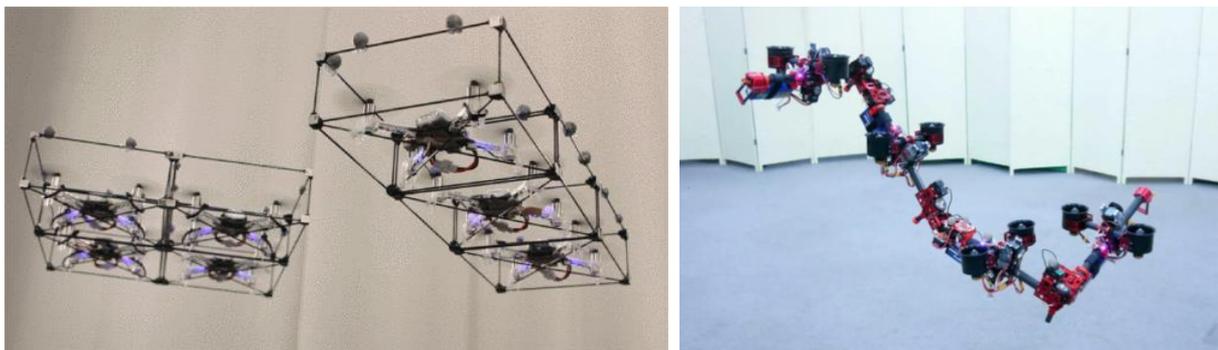
Les approches proposées seront testées et validées en simulation. Une implémentation sur un système réel sera également réalisée.

Descriptif du sujet (en complément, au format Word ou pdf)

L'objectif de ce projet de thèse est de développer des approches parcimonieuses pour la commande collaborative d'un système robotique modulaire et reconfigurable.

Pour assurer des missions diverses, notamment le transport de charges de masses hétérogènes, il serait utile de combiner des véhicules élémentaires plutôt que de disposer d'une large flotte composée de véhicules de différentes tailles mais dont un seul véhicule est adapté pour la mission demandée. Plus précisément, on s'intéresse à un système de robots aériens, constitué de drones quadricoptères autonomes qui peuvent s'assembler en vol dans le but de réaliser des tâches qu'un agent seul ne peut accomplir. C'est une solution pour le transport aérien et/ou la manipulation aérienne. En effet, l'assemblage de plusieurs drones permet d'augmenter la charge utile, tout en permettant de changer dynamiquement de configuration pour s'adapter à l'environnement (passage d'étroitesses par exemple) ou aux tâches à réaliser, contrairement à un seul drone plus puissant. Un dispositif modulaire peut également permettre d'augmenter les degrés de liberté du robot. En outre, c'est une approche frugale qui ne nécessite pas de concevoir un robot spécifique pour une tâche précise, puisqu'il peut s'adapter à plusieurs tâches, et seul l'agent qui tombe en panne est à réparer/remplacer.

Par exemple, le robot *ModQuad* est constitué de plusieurs modules, i.e. un mini-drone quadcoptère dans un cadre cuboïde qui l'entoure pour permettre l'assemblage avec ses voisins via ses faces verticales. L'assemblage de modules permet différentes configurations (par exemple un carré ou une ligne, voir Fig. 1.a et la vidéo de la stabilisation du robot <https://youtu.be/lXkE9Y5-iyC>) [1, 2]. Le robot *Dragon Drone* est constitué de mini-drones bi-rotors assemblés entre eux en chaîne via un cardan, qui peut changer sa configuration dynamiquement en vol (voir Fig. 1.b et la vidéo <https://youtu.be/SjsTzWXPBLM> où le robot évolue pour passer un passage étroit) [3].



a) Robots ModQuad [1, 2].

b) Robot Dragon Drone [3].

Fig. 1 : Exemples de robots modulaires et reconfigurables.

L'application visée ici est le transport d'une charge plus lourde que la charge utile d'un seul drone avec un passage à franchir de largeur juste supérieure à la taille du drone.

Le travail de thèse comprendra une phase de modélisation dynamique d'un drone portant une charge [4] puis l'extension au système de drones. Nous chercherons à développer une approche modulaire permettant d'une part d'obtenir un modèle du dispositif complet à partir des différents modèles de drones et, d'autre part, de coordonner les lois de commande des différents drones de manière à piloter l'assemblage. Le modèle, regroupant les équations différentielles des drones et les contraintes cinématiques de liaison, s'écrira sous la forme de modèles algèbro-différentiels. Nous nous appuierons sur les méthodes disponibles pour ces systèmes qui ont déjà été explorées dans l'équipe [5].

Dans un souci de frugalité, les méthodes de commande mises en œuvre seront basées sur le paradigme événementiel [6, 7]. Ce concept novateur redéfinit la manière de mesurer, de communiquer, de calculer ou de mettre à jour le signal de commande seulement lorsqu'un changement significatif survient dans la dynamique

du robot ou de son environnement (au lieu d'appliquer un taux de rafraîchissement constant, périodique). Une commande événementielle [8, 9] permet ainsi de réduire la fréquence de mise à jour de la commande et donc le coût de calcul associé, et les communications en cas de système commandé en réseau.

Il s'agira de développer une commande distribuée collaborative événementielle dont le but est de stabiliser chaque drone mais aussi l'ensemble multi-drones modulaire, ainsi que de faire suivre une trajectoire désirée au dispositif. De plus, il sera considéré qu'un module n'a pas connaissance de tout le système ni de la configuration globale du robot, mais seulement des modules voisins. Les interactions physiques seront alors à privilégier afin de réduire davantage les communications entre les modules. Les approches événementielles permettront ainsi un gain en coût de calcul, en communication, voire en consommation d'énergie.

Les approches proposées seront testées et validées en simulation. Une implémentation sur un système réel sera également réalisée à partir de drones Bitcraze Crazyflies (<https://www.bitcraze.io/products/crazyflie-2-1/>, ceux utilisés pour le robot ModQuad) et d'un système de capture du mouvement OptiTrack équipé de 4 caméras Prime^x 13 (<https://optitrack.com/>). Ces équipements sont disponibles au laboratoire. La conception est assez simple puisqu'elle utilise des drones existants avec comme seul complément une structure permettant l'assemblage avec ses voisins. La conception et la mise en œuvre du dispositif expérimental pourront également être réalisées en parallèle de la thèse au travers de stages Master et de projets étudiants à l'INSA Strasbourg.

Cette thématique vient alimenter un thème de recherche émergent de l'équipe RDH (Robotics, Data sciences and Healthcare technologies), à ICube, autour de la conception et la commande frugales de systèmes complexes.

Le travail de thèse se fera en collaboration avec l'équipe Systèmes Dynamiques et Automatique de l'université autonome de Puebla – BUAP (Puebla, Mexique), et l'équipe COPERNIC du GIPSA-lab (Grenoble), dans le cadre du projet franco-mexicain ECOS Nord TOBACCO qui s'intéresse à la commande collaborative de drones pour le transport de charge (depuis 2019) [10, 11]. Il est également en lien avec le projet ANR dark-NAV (2021-2026) sur la navigation événementielle d'un drone en environnement sombre, dont les partenaires sont le GIPSA-lab et l'équipe biorobotique de l'ISM (Marseille). Le responsable scientifique de ces deux projets côté ICube est Sylvain Durand, qui co-encadrera la thèse, sous la direction d'Edouard Laroche.

Des compétences en automatique et robotique sont demandées. Un goût pour l'expérimentation serait apprécié. Autonomie, curiosité scientifique et bon niveau d'anglais technique seront également nécessaires.

Plus d'informations : sdurand@unistra.fr, laroche@unistra.fr

Références :

- [1] D. Saldaña, B. Gabrich, G. Li, M. Yim and V. Kumar, "ModQuad: The Flying Modular Structure that Self-Assembles in Midair". In IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2018.
- [2] J. Xu, D. S. D'Antonio and D. Saldaña, "H-ModQuad: Modular Multi-Rotors with 4, 5, and 6 Controllable DOF". In IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2021.
- [3] M. Zhao, T. Anzai, F. Shi, X. Chen, K. Okada and M. Inaba. "Design, Modeling, and Control of an Aerial Robot DRAGON: A Dual-Rotor-Embedded Multilink Robot With the Ability of Multi-Degree-of-Freedom Aerial Transformation". IEEE Robotics and Automation Letters, vol. 3, no. 2, pp. 1176-1183, 2018.
- [4] N.A. Santos-Ortiz, E. Laroche, R. Kiefer and S. Durand. "Controller Tuning Strategy for Quadrotor MAV Carrying a Cable-suspended Load". In 9th International Micro Air Vehicles Conference and Flight Competition, 2017.
- [5] C. Cvetanovic, E. Laroche. "Towards DAE Methodology for the Control of Cable-Driven Parallel Robots". In IEEE Multi-Conference on Systems and Control, 2014.
- [6] M. Miskowicz. "Event-Based Control and Signal Processing". CRC Press, 2015.
- [7] S.-C. Liu. "Event-Based Neuromorphic Systems". Wiley, 2015.
- [8] S. Durand and N. Marchand. "Further Results on Event-Based PID Controller". In European Control Conference, 2009.
- [9] N. Marchand, S. Durand, and J. F. Guerrero-Castellanos. "A General Formula for Event-Based Stabilization of Nonlinear Systems". IEEE Transactions on Automatic Control, 58(5) :1332–1337, may 2013.
- [10] A. Vega-Alonzo, J.F. Guerrero-Castellanos, N. Marchand, S. Durand, G. Mino-Aguilar and V. R. González-Díaz. "Event-Triggered Leader-Following Consensus of UAVs Carrying a Suspended Load" (Best Paper Award). In 5th IEEE International Conference on Event-Based Control, Communication, and Signal Processing, 2019.
- [11] J.F. Guerrero-Castellanos, A. Vega-Alonzo, S. Durand, N. Marchand, V. R. González-Díaz, J. Castañeda-Camacho and W.F. Guerrero-Sánchez. "Leader-Following Consensus and Formation Control of VTOL-UAVs with Event-Triggered Communications". MDPI Sensors, special issue on Mobile Robot Navigation, Volume 19, Issue 24, Article 5498, 2019.