Commande tolérante aux fautes lors de pannes de moteur d'un drone

Sujet de thèse

Encadrants : Benjamin LUSSIER, Isabelle FANTONI

1. Contexte

Les drones aériens sont aujourd'hui la cible de nombreuses activités de recherche, promettant des applications militaires et civiles, comme des activités de surveillance pour prévenir des feux de forêt ou la recherche de personnes dans des zones dangereuses. Cependant, le fonctionnement de tels systèmes, capables d'évoluer et d'agir avec une assistance humaine minimale, pourrait avoir en cas de défaillance des conséquences sérieuses sur leur environnement et les éventuels humains alentours. Avant leur utilisation, doit donc encore être garantie leur sûreté de fonctionnement, c'est-à-dire une confiance justifiée dans un fonctionnement correct.

Cependant, les systèmes autonomes évoluent dans des environnements ouverts, et utilisent des mécanismes de perception et d'estimation (fusion de données) pour traiter et prendre des décisions sur les données complexes et bruitées qu'ils peuvent percevoir. Or, ces deux caractéristiques posent de sérieux problèmes de validation, d'une part parce que l'environnement d'exécution est quasiment infini, et d'autre part parce que le comportement des mécanismes de perception est difficile, voire impossible, à valider formellement.

Nous nous intéressons ici à une alternative à la validation : la tolérance aux fautes. En effet, si on ne peut pas s'assurer que le système est exempt de fautes, nous allons chercher à lui permettre d'assurer un service correct malgré leur présence. En pratique, la tolérance aux fautes consiste en deux opérations distinctes : la *détection d'erreur*, qui permet de détecter une déviation de l'état correct du système avant sa propagation en défaillance, et le *rétablissement du système*, qui consiste à assurer le fonctionnement correct du système malgré les erreurs détectées.

Des travaux de tolérance aux fautes sur des drones sont déjà nombreux dans la littérature. Par exemple, [Ducard 2009] propose une architecture basée sur le diagnostic pour la détection d'erreurs, et la redondance de certains actuateurs du drone, comme les ailerons, pour tolérer des fautes physiques reconfigurant automatiquement la boucle de commande du drone. De manière similaire, [Drozeski 2005] propose une architecture multi-niveaux, utilisant également le diagnostic et une reconfiguration automatique de la boucle de commande, pour adapter, suivant les capacités restantes du drone, la mission qu'il peut remplir. [Bateman 2008] propose une stratégie de commande tolérante aux fautes basée sur un algorithme tenant compte des non-linéarités du système et de ses couples gyroscopiques et aérodynamiques et utilisant des actuateurs redondants dans le système pour tolérer leurs fautes physiques.

2. But de la thèse

Le but de cette thèse est de s'intéresser en particulier à la défaillance d'un moteur d'un drone. Les drones étudiés sont des hélicoptères multi-rotors de type octa-rotors: le principe du rétablissement consistera à commander le moteur dual du moteur défaillant (éventuellement en l'arrêtant), pour

compenser la perte de fonctionnement du moteur défaillant, et garder un vol stable permettant au drone de continuer une partie de sa mission, ou au moins, à atterrir sans dommage sur le drone et l'environnement.

La détection d'erreur pourra par exemple se faire par un bloc de diagnostic, étudiant à la fois la dynamique du véhicule et les informations de capteur interne (comme la tension des moteurs). Les défaillances les plus communes du moteur seront privilégiées. Le rétablissement du système se fera en reconfigurant la boucle de commande du drone en jouant sur le moteur dual du moteur défaillant pour compenser la perte partielle de contrôle.

3. Travail à réaliser

Le travail à réaliser dans le cadre de cette thèse est le suivant :

- Etudier, à partir de la littérature, quelles architectures sont les plus à même de permettre la détection d'erreurs et le rétablissement du système,
- Etudier les défaillances possibles d'un moteur, et proposer des mécanismes de détection. Ces mécanismes peuvent, par exemple, utiliser des fonctionnalités de diagnostic.
- Proposer les lois de commande permettant au système de garder un vol stable, ou au moins d'atterrir sans dommage, malgré la défaillance d'un moteur.

Les méthodes proposées seront implémentées sur un drone aérien octa-rotor.

[Ducard 2009] G. J. J. Ducard, *Fault-Tolerant Flight control and Guidance System*, Springer Editions, ISBN 978-1-84882-560-4.

[Drozeski 2005] G. R. Drozeski, *A Fault-Tolerant Control Architecture for Unmanned Aerial Vehicles,* Thesis report, Georgia Institute of Technology, November 2005.

[Bateman 2008] F. Bateman, H. Noura, M. Ouladsine, *A Fault Tolerant Control strategy for an unmanned aerial vehicle based on a Sequential Quadratic Programming algorithm*, 47th IEEE Conference on Decision and Control, December 2008.