

ED SMAER

Sujet de thèses 2014

Laboratoire : ISIR

Etablissement de rattachement : UPMC

Directeur de thèse et section CNU ou CNRS : **Pascal Morin** (61)

Codirection et section CNU ou CNRS : Minh-Duc Hua (Section N° 7)

Titre de la thèse : **Modélisation et commande de drones convertibles**

Collaborations dans le cadre de la thèse : Contacts en cours avec ENSAM et ONERA

Rattachement à un programme :

Résumé du sujet :

On distingue essentiellement deux catégories de véhicules aériens : les systèmes à voilure tournante (type hélicoptère), dont la sustentation est assurée par la rotation des pales d'hélices, et les systèmes à voilure fixe (type avion), dont la sustentation est assurée par le flux d'air sur les ailes, induit par le mouvement propre du véhicule. Les véhicules de la première catégorie ont pour intérêt de pouvoir décoller verticalement et d'effectuer du vol stationnaire, ce qui est très utile pour de nombreuses applications (inspection, surveillance, décollage à partir d'une zone restreinte, etc). En contrepartie, leur efficacité énergétique est bien moindre que celle des avions en vol d'avancement. Ceci est d'autant plus vrai pour les véhicules de petite taille (micro/mini drones). On assiste depuis quelques années au développement croissant d'une troisième catégorie, qui tente de concilier les avantages des deux premières. Il s'agit des convertibles, constitués généralement d'un ensemble d'hélices et d'ailes, afin de pouvoir effectuer du vol stationnaire mais aussi de bénéficier des effets de portance en vol rapide. Dans le cadre d'une thèse en cours, nous avons développé un nouveau concept de mini-drone convertible. L'objectif de la thèse ici proposée est de traiter deux aspects fondamentaux relatifs aux structures convertibles : la modélisation des interactions aérodynamiques entre les flux d'air induits par les hélices et les flux sur les ailes, ceci dans le but de disposer d'un modèle de commande compact mais cependant réaliste ; et la problématique de commande par retour d'état à partir d'une suite de capteurs minimale (typiquement une centrale inertielle et, en extérieur, des mesures de vitesse de type GPS). La motivation sous-jacente à ce dernier aspect provient de la difficulté de mesurer la vitesse air d'un engin de petite taille pour des gammes de vitesse relativement limitées (typiquement inférieure à 15m/s). Le sujet s'adresse à un étudiant ayant de solides bases en mécanique et automatique, et très motivé par les applications robotiques. Le travail comprendra une partie théorique, des simulations, et des tests sur le prototype existant.

Sujet développé :

Contexte : Le domaine des mini-drones est actuellement en plein développement en raison des solutions que ces systèmes apportent pour des problématiques d'inspection et de surveillance. Pour de telles applications, les mini-drones utilisés doivent être capables d'effectuer du vol stationnaire. Il s'agit typiquement de systèmes multi-hélices, comme le désormais classique quadricoptère. Une limitation de ces engins est leur faible efficacité énergétique en vol d'avancement. Une possibilité pour améliorer ce point consiste à ajouter des ailes à la structure, afin de bénéficier des effets de portance aérodynamique, et donc de limiter la consommation énergétique en vol rapide. On parle alors de « structure convertible », puisque le véhicule ainsi constitué a la capacité à se convertir d'un engin de type hélicoptère, à un engin de type avion. Dans le cadre d'une thèse financée par la chaire RTE-UPMC « mini-drones autonomes », qui va se terminer à la fin de l'année, nous avons conçu une nouvelle structure convertible. Afin de rendre un tel engin pilotable facilement, comme ceci peut se faire aujourd'hui avec un quadricoptère classique, il est nécessaire de mettre en œuvre des lois de commande par retour d'état efficaces, qui à partir de consignes haut-niveau envoyées par exemple par un pilote au sol, prennent en charge toute la commande bas-niveau des moteurs des hélices et des degrés de liberté des ailes.

Objectifs : Dans le cadre d'une thèse qui va se terminer à la fin de l'année, nous avons proposé une nouvelle structure convertible dont la structure mécanique est un prolongement assez simple de la structure quadricoptère classique. Une étude énergétique de cette structure a été faite, en fonction des paramètres géométriques de l'engin. Ceci a conduit à un prototype qui vient juste d'être terminé. Une étude préliminaire de la commande de ce véhicule est en cours. L'objectif de la thèse ici proposée est de prolonger le travail réalisé en traitant deux aspects fondamentaux relatifs aux structures convertibles. Le premier aspect concerne la modélisation des interactions aérodynamiques entre les flux d'air induits par les hélices et les flux sur les ailes. Le but ici n'est pas d'obtenir un modèle très fin, au sens de la mécanique des fluides (c'est un problème trop complexe), mais plutôt d'obtenir un modèle macroscopique, qui établira essentiellement (et approximativement) comment ces interactions modifient les efforts de traînée et portance sur les ailes. Autrement dit, il s'agit d'obtenir un modèle de commande compact mais cependant réaliste. Le deuxième aspect concerne la problématique de commande par retour d'état à partir d'une suite de capteurs minimale (typiquement une centrale inertielle et, en extérieur, des mesures de vitesse de type GPS). En effet, un drone convertible est un système complexe, avec de nombreux degrés de liberté et actionneurs. Afin de pouvoir utiliser facilement de tels systèmes, il est nécessaire de traduire des consignes de pilotage haut-niveau (une consigne de vitesse linéaire pour la plate-forme par exemple), en consignes moteur sur les différents degrés de liberté du système. Outre la complexité de la dynamique de l'engin, un problème important qu'il convient de traiter provient de la difficulté de mesurer la vitesse air d'un engin de petite taille pour des gammes de vitesse relativement limitées (typiquement inférieure à 15m/s). Cette information est pourtant cruciale car une bonne efficacité énergétique repose sur un contrôle précis de l'angle d'attaque de l'aile en fonction de la vitesse de l'engin. La stabilité de l'engin en vol repose elle aussi sur la capacité à modifier rapidement cet angle, par exemple en présence d'une rafale de vent. Il s'agit donc ici d'étudier les possibilités de contrôle à ce niveau à partir de ce que l'on peut facilement intégrer sur des engins volants de cette échelle : typiquement une centrale inertielle et un GPS.

Résultats attendus : D'un point de vue méthodologique, les résultats attendus sont de deux ordres. Premièrement, il s'agit de développer un modèle dynamique du convertible développé qui prend en compte l'interaction des flux entre les hélices et les ailes. On trouve de tels modèles dans la littérature mais pour des configurations très différentes de la notre (classiquement des configurations de type avion avec une aile fixe centrée en aval du flux de l'hélice). Ceci nécessite à la fois une étude théorique et des aspects identification de modèle à partir de mesures. Deuxièmement, il s'agit de développer des stratégies de commande robuste pour ce type de système. Là aussi, une partie théorique et en simulation précèdera une phase d'essais en vol. Du point de vue des applications, l'objectif est de contribuer au développement d'une nouvelle génération de mini-drones, plus performants du point de vue énergétique que les mini-drones actuels dans des phases de vol d'avancement.