

Vol stationnaire autonome d'un drone quadrirotor

L'augmentation du nombre de drones quadrirotors impose le développement de systèmes embarqués d'aide au pilotage, voire de navigation entièrement autonome, afin de garantir une totale sûreté. La stabilisation d'un quadrirotor dans un environnement imprévisible en est une étape déterminante. Mon étude s'insère dans le processus de développement d'un vol stationnaire optimal. L'intérêt croissant de nombreux domaines (industriels, militaires, civils) pour cette solution technique m'a amené à m'intéresser de près aux différentes étapes de conception et de réalisation d'un quadrirotor, puis à m'initier au pilotage de drone.

Positionnement thématique (étape 1)

SCIENCES INDUSTRIELLES (Automatique), INFORMATIQUE (Technologies informatiques), SCIENCES INDUSTRIELLES (Génie Mécanique).

Mots-clés (étape 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Quadrirotor</i>	<i>Quadrotor</i>
<i>Vol stationnaire</i>	<i>Stationnary Flight</i>
<i>Asservissement</i>	<i>Feedback Control</i>
<i>Systèmes embarqués</i>	<i>Embedded systems</i>
<i>Conception de produit</i>	<i>System design</i>

Bibliographie commentée

Un drone est un aéronef sans pilote embarqué piloté à distance, éventuellement capable d'opérer de façon autonome. Les progrès récents en matière de miniaturisation des actionneurs et capteurs ont rendu possible la conception de tels micro-robots autonomes volants de type VTOL (vertical take off and landing) : les quadrirotors font partie de ces systèmes particulièrement adaptés aux environnements peu accessibles, pour des opérations de surveillance et d'exploration de bâtiments. En effet, les nouvelles générations de dispositifs sensoriels tels que les centrales inertielles (IMU) composées de MEMS (système micro-électromécanique), ainsi que des batteries de puissance massique en constante augmentation ont permis de réduire la taille de tels drones, en augmentant leur charge utile pour un coût toujours plus faible. Néanmoins, cette miniaturisation a pour conséquence une limitation des performances du système et une sensibilité accrue aux perturbations extérieures : bruitage plus important des capteurs, dérive des mesures inertielles, vol perturbé en cas de vent fort. Les avantages propres au quadrirotor sont la simplicité de la mécanique des pales et la réduction des effets gyroscopiques. Mais l'absence de portance que l'on retrouve sur les drones à voilure fixe augmente la consommation d'énergie et les rend moins adaptés à des missions de surveillance plus longue et lointaine. [1]

Si la navigation GPS permet de prévenir la dérive inertielle propre à un drone, elle n'empêche pas les éventuelles collisions avec un environnement inconnu et hasardeux. Différentes solutions de

capteurs extéroceptifs existent et rendent possible l'évitement d'obstacles ainsi qu'une stabilisation plus robuste d'un drone : les capteurs de flot optique évaluant la vitesse relative de l'entourage du système, les altimètres barométriques mesurant la variation de pression proportionnelle à l'altitude, les télémètres opérant par émission/réception d'un signal ultrasonore par exemple. [2] En outre, pour traiter un plus grand nombre de missions, les ingénieurs à l'heure actuelle développent des solutions convertibles pouvant alterner entre des phases de vol stationnaire et de vol rapide, faisant intervenir soit une modification de la structure du drone en vol, soit une adaptation de sa position. Cela permettrait en effet d'agrandir le rayon d'intervention de tels systèmes. [3] Par manque de temps, la navigation en milieu inconnu et les drones à phases de vol convertibles dépasseront l'objet de notre étude.

L'analyse fonctionnelle d'un quadrirotor met en évidence l'inhérente instabilité d'un tel système. Le rôle des automaticiens est donc de réaliser une commande robuste pouvant assurer le vol du drone. Différentes méthodes avancées de synthèse de commandes ont été développées au cours de ces dernières décennies, telle que la commande linéaire quadratique LQ. Cette dernière méthode, parmi d'autres, propose une commande optimale au sens où l'existence d'une unique solution à un problème de maximisation de l'indice de performance est assurée : elle s'intègre plus généralement à la théorie d'optimisation des processus, associant l'automatique aux mathématiques appliquées. Pourtant, ces méthodes sont encore insuffisamment ou pas utilisées dans l'industrie. Plusieurs raisons expliquent ce constat : d'une part, ces méthodes reposent sur un modèle de connaissance du système particulièrement fidèle, obtenu au prix d'efforts conséquents ; d'autre part, ces méthodes sont difficiles à aborder pour un non spécialiste, car nécessite de traduire les exigences du système sous une forme adaptée aux données d'entrées mathématiques de ces méthodes. [4]

C'est pourquoi d'autres solutions plus simples à mettre en œuvre sont utilisées actuellement pour la quasi-totalité des situations : notamment la méthode heuristique de Ziegler et Nichols, ayant posé les bases de la théorie du contrôle et proposé une démarche simple d'asservissement de système. [5] Néanmoins, bien que la commande proposée soit satisfaisante d'un point de vue des performances du système corrigé, elle est nécessairement moins robuste en théorie. Une problématique générale de la synthèse de commande de systèmes industriels est donc le développement d'outils logiciels d'aide à la synthèse de correcteurs optimaux, permettant de résoudre le compromis entre simplicité de mise en œuvre et optimalité de l'asservissement.

Problématique retenue

Parmi les nombreuses problématiques intrinsèques au vol autonome d'un drone, j'ai choisi de me limiter à la question suivante:

Comment concevoir une stratégie de commande optimale permettant le vol stationnaire autonome d'un quadrirotor et assurant l'insensibilité du système aux perturbations du milieu extérieur ?

Objectifs du TIPE

En m'inspirant du cycle de développement du monde de l'ingénierie, j'ai décidé d'orienter mon travail vers :

- l'analyse des exigences d'une application telle que la surveillance autonome d'installation électrique par un quadrirotor
- la conception d'une architecture fonctionnelle d'un système répondant aux exigences retenues
- la réalisation d'une maquette d'un tel système et la programmation de la loi de commande sur une carte de commande Arduino, afin de mesurer la validité de la solution retenue.

Références bibliographiques

- [1] SAMIR BOUABDALLAH, ANDRÉ NOTH, ROLAND SIEWART : PID vs LQ Control Techniques Applied to an Indoor Micro Quadrotor : <https://infoscience.epfl.ch/record/97531>
- [2] BRUNO HÉRISSE : Asservissement et navigation autonome d'un drone en environnement incertain par flot optique : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00558203>
- [3] DAMIEN POINSOT : Commande d'un drone en vue de la conversion vol rapide – vol stationnaire : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00441083>
- [4] HOANG BAO LE : Contribution aux méthodes de synthèse de correcteurs d'ordres réduits sous contraintes de robustesse et aux méthodes de réduction de modèles pour la synthèse robuste en boucle fermée : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00567209>
- [5] J.G. ZIEGLER, N. B. NICHOLS : Optimum settings for automatic controllers : [http://staff.guilan.ac.ir/staff/users/chaibakhsh/fckeditor_repo/file/documents/Optimum%20Settings%20for%20Automatic%20Controllers%20\(Ziegler%20and%20Nichols,%201942\).pdf](http://staff.guilan.ac.ir/staff/users/chaibakhsh/fckeditor_repo/file/documents/Optimum%20Settings%20for%20Automatic%20Controllers%20(Ziegler%20and%20Nichols,%201942).pdf)