Maximiser le temps de vol d'un drone quadrirotor

Ancrage au thème de l'année

L'étude s'inscrit dans une démarche d'efficacité énergétique : on cherchera à comprendre comment les caractéristiques de la propulsion et le choix des composants influencent l'énergie consommée par un drone. La comparaison de différentes configurations permettra d'identifier les compromis entre masse, poussée, puissance électrique et durée de vol.

Motivation du choix de sujet

Ce sujet permet d'associer la mécanique, l'électrotechnique (et l'automatique) à la conception d'un système concret. La réalisation d'un prototype permet de confronter des modèles théoriques à des mesures expérimentales, puis d'étudier l'influence des composants sur les performances énergétiques du drone.

Positionnements thématiques :

- Physique — Mécanique
- Sciences industrielles — Électronique

Mots-clés en français et en anglais :

1. Propulsion électrique	Electric propulsion
2. Rendement énergétique	Energy efficiency
3. Aérodynamique	Aerodynamics
4. Drone quadrirotor	Quadrotor drone
5. Asservissement	Feedback control

Bibliographie commentée

L'étude de l'efficacité énergétique d'un drone quadrirotor nécessite d'abord de comprendre les relations entre les caractéristiques des hélices, la poussée produite et la puissance consommée. Ces relations permettent de construire un modèle théorique, puis de le confronter à des mesures expérimentales afin d'identifier les paramètres qui influencent la durée de vol.

La thèse *Design Optimization of Unmanned Aerial Vehicles: A Multidisciplinary Approach with Uncertainty, Fault-Tolerance, and Environmental Impact Assessments*

[1] constitue la base théorique principale de ce travail. Elle présente des modèles de propulsion permettant d'estimer la poussée et la puissance d'une hélice en fonction de sa vitesse de rotation, de son diamètre et de coefficients caractéristiques. Ces relations permettront d'établir un modèle adapté au prototype et de calculer les performances théoriques de différentes configurations. Elles serviront également de point de départ pour comparer les résultats calculés aux valeurs mesurées.

L'article *Experimental Study on Efficient Propulsion System for Multicopter UAV Design Applications* [2] complète cette approche par une étude expérimentale de différentes associations de moteurs, d'hélices et de batteries. Les auteurs mesurent notamment la poussée, le couple, la vitesse de rotation et la consommation électrique. Cette étude fournit une démarche utile pour définir le protocole expérimental du TIPE et comparer les performances de plusieurs configurations. Elle permettra notamment d'évaluer la pertinence du modèle théorique et de rechercher les associations de composants les plus intéressantes.

L'article *Fast Sizing Methodology and Assessment of Energy Storage Configuration on the Flight Time of a Multirotor Aerial Vehicle* [3] propose une méthode de dimensionnement de la chaîne de propulsion et étudie l'influence de différentes solutions de stockage énergétique sur la durée de vol. Il met en évidence le lien entre la puissance nécessaire, la masse de la batterie et l'énergie embarquée. Il sera utile pour exploiter les résultats du modèle de propulsion et estimer l'autonomie du prototype, tout en tenant compte du fait qu'une batterie plus lourde augmente également la masse à soulever.

L'article *Research on the Endurance Optimisation of Multirotor UAVs for High-Altitude Environments* [4] étudie le dimensionnement du système énergétique d'un multirotor afin d'augmenter son autonomie. Il présente des modèles des principaux composants de la propulsion et analyse notamment l'influence de la proportion de masse consacrée à la batterie. Cette étude complète les travaux précédents sur le lien entre masse, puissance et durée de vol. Ses résultats étant établis pour des conditions de haute altitude, leur application au prototype fonctionnant à basse hauteur devra toutefois être adaptée.

Enfin, l'article *Aerodynamic Optimization Design of Propellers for Multi-rotor Unmanned Aerial Vehicles Based on NSGA-II* [5] étudie l'influence de la géométrie des pales sur les performances d'une hélice. Il s'intéresse notamment à la distribution de la corde et de l'angle de calage des pales, ainsi qu'à leurs effets sur la poussée et l'efficacité en vol stationnaire. Il permettra d'identifier les paramètres géométriques susceptibles d'améliorer les performances de la propulsion. Les dimensions de l'hélice étudiée étant différentes de celles du prototype, les résultats seront utilisés comme pistes d'analyse plutôt que comme valeurs directement transposables.

Ces travaux définissent une démarche progressive : établir un modèle théorique de la propulsion, vérifier sa pertinence expérimentalement, puis étudier l'influence de la batterie et des caractéristiques des hélices sur l'autonomie. Le travail personnel consistera à modéliser la poussée et la puissance, à mesurer ces grandeurs pour

différentes configurations et à confronter les résultats obtenus afin d'identifier les choix les plus favorables à la durée de vol.

Problématique retenue

Comment le choix et le dimensionnement des composants de la chaîne de propulsion influencent-ils la durée de vol d'un drone quadrirotor ?

Objectifs du TIPE

L'objectif est de modéliser les performances énergétiques de la chaîne de propulsion d'un drone quadrirotor, puis de confronter ce modèle à des mesures expérimentales. Après avoir dimensionné le système à partir de la masse du drone et de la poussée nécessaire, je comparerai différentes configurations de propulsion en mesurant la poussée et la puissance électrique consommée. J'étudierai également l'influence de la masse et des caractéristiques de la batterie sur l'autonomie estimée. Les résultats permettront d'identifier les paramètres les plus influents et de retenir une configuration adaptée au prototype.

Bibliographie

[1] *Design Optimization of Unmanned Aerial Vehicles: A Multidisciplinary Approach with Uncertainty, Fault-Tolerance, and Environmental Impact Assessments*, thèse de doctorat, ISAE-SUPAERO, 2024.
https://depozit.isae.fr/theses/2024/2024_Pollet_Felix.pdf

[2] *Experimental Study on Efficient Propulsion System for Multicopter UAV Design Applications*, *Results in Engineering*, vol. 20, article 101555, 2023.
https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101555

[3] *Fast Sizing Methodology and Assessment of Energy Storage Configuration on the Flight Time of a Multirotor Aerial Vehicle*, *Aerospace*, vol. 10, no 5, article 425, 2023.
https://doi.org/10.3390/aerospace10050425

[4] *Research on the Endurance Optimisation of Multirotor UAVs for High-Altitude Environments*, *Drones*, vol. 7, no 7, article 469, 2023.
https://doi.org/10.3390/drones7070469

[5] *Aerodynamic Optimization Design of Propellers for Multi-rotor Unmanned Aerial Vehicles Based on NSGA-II*, *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, p. 815–825, publication en ligne en 2025.
https://doi.org/10.1007/978-981-96-5527-4_65