RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

www.onera.fr

PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DTIS-2026-62**
(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : Palaiseau

Département/Dir./Serv. : DTIS/IGNC

Tél. : +33 1 80 38 60 60

Responsable(s) du stage : Ioannis Sarras
Florian Dietrich

Email. : ioannis.sarras@onera.fr
florian.dietrich@onera.fr

DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : Identification et commandes des systèmes

Type de stage : ☒ Fin d'études bac+5 ☒ Master 2 ☐ Bac+2 à bac+4 ☐ Autres

Intitulé : Commande optimale pour systèmes aux échelles de temps multiples, application aux véhicules aérospatiaux

Ces dernières années, des véhicules aérospatiaux tels que les fusées réutilisables, les capsules de rentrée et les satellites ont été déployés pour un nombre croissant de missions de plus en plus exigeantes. La réussite de leur mission repose en grande partie sur la conception d'algorithmes de contrôle garantissant le niveau de performances temporelles souhaité.

Le contrôle des systèmes aérospatiaux est généralement divisé en deux disciplines : le guidage pour le calcul et le suivi d'une trajectoire de référence, et le pilotage pour le contrôle d'attitude par les actionneurs. Dans les deux cas, les performances du contrôleur sont très dépendantes de la complexité et de la représentativité du modèle mathématique du véhicule utilisé pour la conception.

De manière générale, les systèmes aérospatiaux sont régis par les équations de la dynamique du vol qui décrivent le déplacement du centre de gravité ainsi que les changements d'orientation de l'objet, et cela en fonction des commandes appliquées (gouvernes, moteurs, …). Les expressions des forces aérodynamiques et propulsives rendent ces équations fortement non-linéaires, puisqu'elles varient en fonction du point de fonctionnement, et par conséquent, complexifient la tâche de synthèse du contrôleur.

Classiquement, des modèles approximés sont utilisés pour analyser les performances et pour concevoir des lois de commande. Par exemple, la dynamique est linéarisée autour des points de vols, les variables d'état du système sont séparées en fonction de leurs échelles de temps, la dynamique des actionneurs est négligée, les termes de faibles amplitudes dans la dynamique sont négligés ou bien considérés comme des perturbations, etc…

Ces simplifications a priori empiriques peuvent se justifier mathématiquement en utilisant la théorie des perturbations singulières [1-3]. Cette technique a été très utilisée dans les années 60-70 lorsque les moyens informatiques ne permettaient pas d'utiliser des algorithmes d'optimisation non-linéaires comme c'est le cas actuellement. Cependant, les méthodes de perturbations singulières restent pertinentes pour l'utilisation de

méthodes de contrôle optimal [1,2,4] en vol, où les capacités de calcul sont limitées, et puisqu'elles permettent l'obtention de lois de commandes quasi-optimales en boucle fermée.

L'objectif du stage est d'obtenir des lois de commande boucle fermée pour des problèmes de commande optimale appliqués à des systèmes aérospatiaux multi-échelles. Les travaux existants portent par exemple sur le transfert orbital par aéro-freinage [5] ou encore pour le problème de montée en temps minimal pour un aéronef à propulsion [6].

Le déroulé du stage sera le suivant :

- Synthèse bibliographique de l'état de l'art des méthodes de commande optimale pour systèmes multi-échelles
- Application des méthodes sur des exemples simples et comparaison avec les solutions de référence
- Application des méthodes sur un ou plusieurs véhicules aérospatiaux pour des scénarios à définir

Un dossier de candidature contenant CV, lettre de motivation et relevés de notes récents est à envoyer à tous les responsables du stage aux adresses mails indiquées.

[1] Naidu, D. S., & Calise, A. J. (2001). Singular perturbations and time scales in guidance and control of aerospace systems: A survey. Journal of Guidance, Control, and Dynamics.

[2] Kokotović, P., Khalil, H. K., & O'Reilly, J. (1999). Singular perturbation methods in control: analysis and design. Society for Industrial and Applied Mathematics.

[3] Kokotovic P. (1984). Applications of singular perturbation techniques to control problems. SIAM Review.

[4] Trélat, E. (2005). Contrôle optimal: théorie & applications (Vol. 36). Paris: Vuibert.

[5] Calise, A. J., & Melamed, N. (1995). Optimal guidance of aeroassisted transfer vehicles based on matched asymptotic expansions. Journal of Guidance, Control, and Dynamics.

[6] Ardema, M. D. (1976). Solution of the minimum time-to-climb problem by matched asymptotic expansions. AIAA Journal.

Est-il possible d'envisager un travail en binôme ? Non

Méthodes à mettre en oeuvre :

☐ Recherche théorique ☐ Travail de synthèse

☒ Recherche appliquée ☒ Travail de documentation

☐ Recherche expérimentale ☐ Participation à une réalisation

Possibilité de prolongation en thèse : Non

Durée du stage : Minimum : 5 mois Maximum : 6 mois

Période souhaitée : à partir de Janvier 2026

PROFIL DU STAGIAIRE

Connaissances et niveau requis :	Écoles ou établissements souhaités :
Automatique Commande optimale Mécanique du vol	École d'ingénieurs ou Master 2 avec spécialisation en Automatique