

Soutenance de thèse

Sofiane KRAIEM soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA ACDC et intitulée «*Développement de lois de pilotage pour le service en orbite*»

Le 16 mai 2022 à 14h00, salle des thèses ISAE-SUPAERO

devant le jury composé de

M. David HENRY	Professeur Université Bordeaux	Rapporteur
M. Benoit CLÉMENT	Professeur ENSTA Bretagne	Rapporteur
M. Paolo GASBARRI	Professore University of Rome La Sapienza	
M. Jurek SASIADEK	Professor Carleton University	
M. Mathieu ROGNANT	Ingénieure de recherche ONERA	Directeur de thèse
M. Yves BRIERE	Enseignant-Chercheur ISAE-SUPAERO	Co-directeur de thèse
Mme Helene EVAIN	Docteure CNES	
M. Vincent DUBANCHET	Ingénieur Thalès Alenia Space	

Résumé : Les manipulateurs spatiaux permettent de répondre à une variété de problèmes dans l'exploitation et l'exploration futures de l'espace, tels que le déploiement en orbite, l'élimination des débris actifs ou les opérations de maintenance. Toutefois, il est difficile de contrôler de manière autonome les systèmes de manipulateurs spatiaux dans le cas de structures légères et de grande taille présentant un comportement flexible. La dynamique flexible reste un sujet difficile car sa modélisation peut présenter une première difficulté tandis que les différents couplages avec le manipulateur peuvent détériorer la qualité du contrôle. Cette thèse aborde les problèmes de conception et de contrôle d'un manipulateur spatial autonome équipé de dispositifs d'échange de moment cinétique pour le contrôle de la rotation d'un vaisseau spatial lorsqu'il est confronté à des perturbations internes au système, des incertitudes de modèle et des erreurs de mesure. La modélisation de la dynamique rigide-flexible d'un système multi-corps reste une tâche difficile, et une première contribution de ce travail est un outil de modélisation générique pour dériver la cinématique et la dynamique d'un manipulateur spatial flottant sans rotation (SMS) avec des appendices flexibles. Cette analyse a conduit à la contribution principale de cette thèse, à savoir l'implémentation et la conception d'un tel schéma de contrôle pour les opérations de maintenance en orbite. Grâce au modèle, le contrôle proposé inclut les états non mesurables (i.e. la flexibilité) dans le découplage et la linéarisation du système, et les lois de pilotage établies sont basées sur le cadre de l'inversion dynamique non linéaire (NDI) où des observateurs sont introduits pour améliorer la qualité de la linéarisation. Dans une première mise en œuvre, un observateur d'état étendu (ESO) a été utilisé pour estimer la dynamique flexible. Puis, dans un deuxième temps, les incertitudes de modélisation et les erreurs de mesure ont été traitées par l'ajout d'un observateur de perturbations non linéaires (NDO). Les interdépendances entre les observateurs et la dynamique de contrôle ont motivé un calcul simultané de leurs gains afin d'améliorer la stabilité du système et les performances de contrôle. Ce point a été atteint par la résolution d'inégalités matricielles linéaires (IML) pour garantir la stabilité avec une fonction de Lyapunov appropriée. Afin de mettre en évidence l'intérêt du schéma proposé et de valider notre approche dans un environnement réaliste, des tests approfondis d'un cas d'utilisation de l'assemblage d'un télescope spatial en orbite ont été réalisés sur un simulateur haute-fidélité.

Mots-clés : Automatique, robotique, contrôle

Summary: The orbit removal and servicing topics are expected to play a key part in future space missions, and the studied concepts often include robotic manipulators to carry out these missions. Robotic manipulators in space are already in use (in particular the SRMS Shuttle Remote Manipulator System) but are teleoperated given the complexity to steer them on a free-floating platform. The goal of the PHD thesis is to perform a rendez-vous with a cooperative or noncooperative object, using an automatic manipulator arm to grasp the object. Rendez-vous with noncooperative space objects can be divided into different phases : 1. Close approach and coordination : Detection of the features of the object and control of the spacecraft to join the object at a common position and velocity. 2. Grasping phase : Control of the end-effector, manipulator and platform to grasp the object. 3. Post-grasping phase : The detumbling is carried out with the thrusters of the carrier satellite, and stabilization has to be achieved. This thesis will first focus on the second phase of the rendez-vous. The goal is to use the previously studied allocator [1] in a closed-loop control law to grasp the object at the required position and velocity. The goal is not to design a manipulator but to steer the redundant degree of freedom platform and manipulator actuators. The control has to be robust to uncertainties and noise derived from the sensor data fusion, and some experiment will be realised on ground test bench. [1] H. Evain, M. Rognant, D. Alazard et J. Mignot, "Nonlinear Dynamic Inversion for Redundant Systems Using the EKF Formalism", Proceedings of the 2016 American Control Conference, pp. 348–353 (2016).

Keywords: robotic, control, automatic