



Avis de Soutenance

Madame Cécile PERNIN

Automatique

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés

Commande robuste pour un capteur inertiel résonant MEMS auto-oscillant et paramètres variants

dirigés par Monsieur Gerard SCORLETTI et Monsieur Anton KORNIENKO

Soutenance prévue le **jeudi 03 avril 2025** à 9h00

Lieu : Bâtiment W1 École Centrale de Lyon 36 avenue Guy de Collongue 69130 Ecully

Salle : Amphi 2

Composition du jury proposé

M. Gérard SCORLETTI	Ecole Centrale de Lyon	Directeur de thèse
M. Thierry-Marie GUERRA	Université de Valenciennes	Rapporteur
M. Driss MEHDI	Université de Poitiers	Rapporteur
Mme Isabelle DUFOUR	Université de Bordeaux	Examinatrice
M. Anton KORNIENKO	Ecole Centrale de Lyon	Co-directeur de thèse
M. Guillaume PAPIN	Tronics Microsystems	Co-encadrant de thèse

Mots-clés : Commande robuste, Capteur à rétroaction, Conception de systèmes, Capteur MEMS résonant, Commande LPV,

Résumé :

Les gyromètres CVG (en anglais Coriolis Vibratory Gyroscope) MEMS (en anglais Micro Electro Mechanical Systems) sont des capteurs micro-électroniques conçus pour mesurer une vitesse de rotation en utilisant l'effet Coriolis. Par rapport à d'autres types de gyromètres ils sont plus petits et moins chers, mais aussi moins performants. Un enjeu industriel important est de parvenir à améliorer leurs performances. Cela nécessite l'utilisation de deux lois de commande par rétroaction. La première doit permettre de faire osciller un système LTI (Linéaire Temps Invariant) du second ordre à sa pulsation de résonance, non connue a priori et pouvant évoluer dans le temps. La seconde doit permettre de rejeter une perturbation non linéaire, possiblement instable, générée par le système oscillant précédent. L'objectif de cette thèse est de proposer et de valider expérimentalement de telles lois de commande et leur méthode de conception. Du fait du contexte applicatif, la complexité doit être limitée et les outils de réglage doivent pouvoir être intégrés dans des processus industriels. Pour commencer, une revue de la littérature nous permet de démontrer l'intérêt d'utiliser une loi de commande non linéaire pour assurer l'oscillation d'un système à sa pulsation de résonance, sans connaître cette dernière. Parmi ces lois de commande, la loi AGCNL (en anglais Automatic Gain Control Non Linear) est la plus prometteuse pour obtenir l'oscillation désirée, tout en limitant la complexité. Dans la littérature elle est déjà utilisée pour des gyromètres mais sans garanties de fonctionnement. Aussi, nous démontrons sa pertinence grâce à la mise en évidence d'une version idéalisée de l'AGCNL, correspondant à l'expression directe du principe de commande. Pour traiter des versions implémentables

de cette loi de commande, nous adaptons ensuite des outils sur la stabilité orbitale s'appuyant sur la résolution de problèmes SOS (en anglais Sum Of Squares). Nous proposons ainsi des outils de conception standardisables. Puis, nous proposons une loi de commande innovante pour le rejet de la perturbation générée par le système oscillant précédent, en tenant compte du fait que la dynamique de celle-ci est contrôlée par la structure AGCNL précédente : la perturbation est non linéaire, mais comme les signaux à l'origine de sa dynamique sont ainsi mesurables, nous proposons une modélisation LPV (Linéaire à Paramètres Variants dans le temps) de la perturbation, exprimant le couplage physique du correcteur AGCNL avec la perturbation. Cela diffère des méthodes de synthèse pour les lois de commande dans les capteurs commercialisés, dans lesquelles la perturbation à rejeter est modélisée, par simplification, comme un signal exogène linéaire. Cependant, cette modélisation LPV de la perturbation est possiblement instable. Aussi, nous proposons une méthode pour déterminer un correcteur rejetant une perturbation instable, d'abord validée dans le cas LTI puis généralisée au cas LPV. Nous obtenons alors un correcteur LPV par des méthodes de synthèse LPV standards. En exploitant la structure particulière du problème et des méthodes de synthèse LPV moins standards mais pour lesquelles il existe des algorithmes de résolution efficaces, nous obtenons également un correcteur LPV de complexité réduite. Comparé à un correcteur LTI obtenu avec les hypothèses simplificatrices de modélisation de la perturbation de la littérature, nous montrons en simulation l'efficacité supérieure du correcteur LPV standard et du correcteur LPV de complexité réduite pour le rejet de la perturbation, sous réserve pour le correcteur LPV de complexité réduite d'avoir une bonne estimation préalable de la vitesse de rotation. Enfin, la loi de commande AGCNL est validée expérimentalement. Pour cela, une méthode de réglage tenant compte de certains aspects pratiques d'implémentation, ignorés par simplification dans les modèles d'analyse et de synthèse, est proposée.