



Ecole doctorale régionale Sciences Pour l'Ingénieur Lille Nord-de-France - 072

Sujets de thèse 2021

Titre : Systèmes Cyber-Physiques avec multi échelles de temps

Financement prévu / recherché : *Cocher au moins une des cases*

Contrat Doctoral (Ecole Centrale Université de Lille Président Univ Lille

Contrat Région avec co-financement: (à préciser)

Contrat Région/FEDER avec co-financement: (Entreprise à préciser)

ANR

CIFRE

DGA

ADEME

I-SITE avec co-financement: (à préciser)

Co-tutelle :(à préciser)

Autre : (à préciser)

Directeur de thèse : Lotfi BELKOURA (PR-HDR, ULille)

E-mail : lotfi.belkoura@univ-lille.fr

Co-directeur de thèse : Laurentiu HETEL (CR-HDR, CNRS)

E-mail : laurentiu.hetel@centralelille.fr

co-encadrant de thèse : Ying TANG (MCF, ULille)

E-mail : ying.tang@univ-lille.fr

Laboratoire : CRIStAL – UMR 9189

Groupe Thématique : CO2 (Control and scientific COmputing)

Equipe : SHOC (Systèmes Hybrides, Observation et Commande)

Domaine de l'EDSPI : Automatique (AGITSI) Informatique



Descriptif :

Les systèmes cyber-physiques autonomes (ACPS) combinent la physique du mouvement avec des cyber-algorithmes avancés pour agir de manière autonome sans surveillance humaine étroite. Récemment, la compréhension et la conception de tels systèmes complexes attirent beaucoup l'attention de la communauté Automatique. Du point de vue de la théorie du contrôle, l'analyse et la conception de systèmes cyber-physiques (CPS) impliquent l'étude de systèmes hybrides complexes. Les systèmes cyber-physiques intègrent simultanément des éléments informatiques et des éléments physiques. De tels systèmes sont généralement conçus comme un réseau d'ordinateurs embarqués avec des capteurs pour entrées physiques, et des actionneurs pour sorties, utilisés dans la boucle de rétroaction. De plus, de par leur nature inhérente, de tels systèmes impliquent un grand nombre de systèmes interconnectés évoluant selon des échelles de temps différentes. Les techniques de contrôle standard ne permettent pas de traiter l'échelle de temps petite et conduisent à des problèmes mal posés. Il y a un manque d'outils traitables pour l'analyse et la conception de CPS en tenant compte des différentes échelles de temps. C'est aujourd'hui un défi de concevoir des algorithmes de contrôle en utilisant des modes réduits (ne prenant en compte qu'une seule échelle de temps à la fois) tout en assurant le comportement global du système.

Les systèmes hybrides avec multi échelles de temps sont pertinents pour l'étude des systèmes à données échantillonnées, en particulier les systèmes avec échantillonnage apériodique [1] que nous pouvons fréquemment rencontrer dans le domaine Robotique. De telles classes de systèmes dynamiques hybrides sont très intéressantes d'un point de vue théorique puisque l'étude de leurs propriétés de base est un domaine largement ouvert. Le développement d'outils traitables pour l'analyse et la conception de lois de commutation pour de tels systèmes est théoriquement difficile.

Les techniques de perturbation singulière ont été utilisées pour éviter de tels problèmes numériques pour les systèmes à grande échelle [2]. La majorité de ces travaux se concentre sur les systèmes linéaires à temps invariant (LTI). Cependant, les résultats ne sont pas valables pour les systèmes de dimension infinie qui sont une classe de systèmes à grande échelle [3]. La situation devient plus complexe dans les systèmes hybrides [4, 5, 6,7].

Dans cette thèse, nous proposons au candidat de développer de nouveaux outils théoriques d'analyse et de commande pour des systèmes hybrides impliquant de différentes échelles de temps. En particulier, nous nous concentrons sur une approche basée sur des systèmes de commutation confrontés aux perturbations singulières. Deux problèmes principaux seront étudiés: (1) le développement des nouveaux outils d'analyse de la stabilité de tels systèmes afin d'assurer certains critères de performance. (2) la conception de lois de commande de commutation pour les sous-systèmes réduits afin d'assurer la stabilité du système complet. Des applications numériques sur la plateforme du groupe CO2 pourront par la suite être menées par le candidat.

Références bibliographiques :

- [1] L. Hetel, C. Fiter, H. Omran, A. Seurer, E. Fridman, J.P. Richard, and S.I. Niculescu. Recent developments on the stability of systems with aperiodic sampling : an overview (survey paper). *Automatica*, 76 :309-335, 2017.
- [2] P. Kokotovic, H.K. Khalil, and J. O'Reilly. *Singular perturbation methods in control: analysis and design*. Academic Press, 1986.
- [3] Y. Tang and G. Mazanti, Stability analysis of coupled linear ODE-hyperbolic PDE systems with two time scales, *Automatica*, 85 :386-396, 2017.



- [4] R. Goebel, R. G. Sanfelice, and A. R. Teel. *Hybrid Dynamical Systems: modeling, stability, and robustness*. Princeton University Press, 2012.
- [5] L. Hetel, and E. Fridman. Robust sampled-data control of switched affine systems. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 58(11):2922-2928, 2013.
- [6] Z. Kader, C. Fiter, L. Hetel and L. Belkoura. Stabilization by a relay control using non-quadratic Lyapunov functions. *Automatica*, 97:353-366, 2018.
- [7] Z. Kader, C. Fiter, L. Hetel and L. Belkoura. Stabilization of switched affine systems with disturbed state-dependent switching laws. *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, 28:582-595, 2018.

Programme et échéancier de travail :

Le premier temps de la thèse sera consacré à une revue bibliographique sur les différents travaux existants relatifs aux systèmes hybrides, aux systèmes avec des échelles de temps différentes, en particulier tout ce qui concerne l'analyse de stabilité, l'analyse de robustesse et la mise en place de lois de commande basées sur les techniques singulièrement perturbées. Cette revue permettra de mener dans un second temps une réflexion sur la stratégie la plus adaptée pour développer de nouveaux outils de stabilité et de synthèse de lois de commutation, avec pour objectif l'extension de ces lois aux systèmes hybrides avec des échelles de temps différentes. Des applications numériques pourront être menées dans un troisième temps.

Il sera demandé au doctorant de rédiger un rapport annuel présentant un bilan des avancées ainsi que les perspectives pour la période suivante. Ce travail sera enfin ponctué par la présentation à des colloques nationaux et internationaux, ainsi qu'à la rédaction d'articles de journaux ciblés pour la valorisation des recherches du candidat.

Lieu de travail :

Le doctorant sera inscrit et aura son bureau principal dans les locaux de l'Université de Lille.

Compétences requises :

Le candidat devra avoir une formation solide en automatique et/ou en mathématiques appliquées, et devra avoir un bon niveau en anglais. Des compétences en Matlab, Latex, et en programmation seraient appréciées.



Ecole doctorale régionale Sciences Pour l'Ingénieur Lille Nord-de-France - 072



Sujets de thèse 2021

Titre : Cyber-Physical Systems with multi-time scales

Financement prévu / recherché : *Cocher au moins une des cases*

Contrat Doctoral (Ecole Centrale Université de Lille Président Univ Lille
Contrat Région avec co-financement: (à préciser)
Contrat Région/FEDER avec co-financement: (Entreprise à préciser)
ANR
CIFRE
DGA
ADEME
I-SITE avec co-financement: (à préciser)
Co-tutelle :(à préciser)
Autre : (à préciser)

Directeur de thèse : Lotfi BELKOURA (PR-HDR, ULille)
E-mail : lotfi.belkoura@univ-lille.fr

Co-directeur de thèse : Laurentiu HETEL (CR-HDR, CNRS)
E-mail : laurentiu.hetel@centralelille.fr

co-encadrant de thèse : Ying TANG (MCF, Université de Lille)
E-mail : ying.tang@univ-lille.fr

Laboratoire : CRISTAL – UMR 9189

Groupe Thématique : CO2 (COntrol and scientific COmputing)
Equipe : SHOC (Systèmes Hybrides, Observation et Commande)

Domaine de l'EDSPI : Automatique (AGITSI) Informatique



Description :

Autonomous Cyber-Physical Systems (ACPS) combine the physics of motion with advanced cyber algorithms to act on their own without close human supervision. Recently, attention is being focused on understanding and design of such complex systems by Automatic Control community. From the Control Theory point of view, the analysis and design of Cyber-Physical Systems (CPS) imply the study of complex hybrid systems. Cyber-Physical Systems are typically designed as a network of interacting embedded computers with sensors as physical inputs and actuators as outputs. Moreover, by their inherent nature, such systems involve large number of interconnected systems evolving according to different time scales. In this case, standard control techniques do not allow to handle the small time scale and lead to ill-conditioning problems. There is a lack of tractable tools for analysis and design of CPS when taking different time scales into account. It is a challenge today to design control algorithms using reduced modes (taking into account only one time scale at a time) while ensuring the overall behaviour of the system.

Hybrid systems with multi timescales are relevant to the study of sampled-data control systems. In particular, the systems with aperiodic sampling [1] that we can frequently meet in the domain of Robotics. Such classes of hybrid dynamical systems are very interesting from a theoretic point of view since the study of their basic properties is a largely open field. The development of tractable tools for the analysis and the design of switching rule for such systems is theoretically challenging.

Singular perturbation techniques have been used to avoid such numerical problems for large scale systems [2]. Most of the available results are dedicated to linear time invariant (LTI) systems. However, the results do not hold for infinite dimensional systems that is a class of large scale systems [3]. The situation becomes more complex in switched systems [4,5,6,7].

In this thesis, we propose to the candidate to develop new theoretical tools of analysis and control for hybrid systems involving multi-time scales. In particular, we focus on an approach based on switching systems faced to singular perturbations. Two main problems will be studied: (1) development of the new stability analysis tools of such systems in order to guarantee certain performance criteria. (2) switching control law design for the reduced subsystems to ensure the stability of the full system. Numerical applications on the experimental facilities in the CO2 group will be subsequently carried out by the candidate.

References :

- [1] L. Hetel, C. Fiter, H. Omran, A. Seurer, E. Fridman, J.P. Richard, and S.I. Niculescu. Recent developments on the stability of systems with aperiodic sampling : an overview (survey paper). *Automatica*, 76 :309-335, 2017.
- [2] P. Kokotovic, H.K. Khalil, and J. O'Reilly. *Singular perturbation methods in control: analysis and design*. Academic Press, 1986.
- [3] Y. Tang and G. Mazanti, Stability analysis of coupled linear ODE-hyperbolic PDE systems with two time scales, *Automatica*, 85 :386-396, 2017.
- [4] R. Goebel, R. G. Sanfelice, and A. R. Teel. *Hybrid Dynamical Systems: modeling, stability, and robustness*. Princeton University Press, 2012.
- [5] L. Hetel, and E. Fridman. Robust sampled-data control of switched affine systems. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 58(11):2922-2928, 2013.
- [6] Z. Kader, C. Fiter, L. Hetel and L. Belkoura. Stabilization by a relay control using non-quadratic Lyapunov



Université Lille Nord de France
Pôle de Recherche
et d'Enseignement Supérieur

functions. *Automatica*, 97:353-366, 2018.

[7] Z. Kader, C. Fiter, L. Hetel and L. Belkoura. Stabilization of switched affine systems with disturbed state-dependent switching laws. *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, 28:582-595, 2018.

Program and work schedule :

The first step of the thesis will be devoted to a bibliographical review on the existing works related to hybrid systems, systems with multi-time scales, in particular the works that deal with the stability analysis, robustness and control design based on singular perturbation technique. This review will lead to the second step, the reflection on the most appropriate strategy to develop new tools for stability and control design. The aim is to apply these control laws to the switching systems involving different time scales. Numerical applications will be considered in the third step.

The candidate will be asked to write an annual report including the review of the progress achieved and the perspectives for the next period. The work will be punctuated by the presentation at national and international symposia, as well as the redaction of the journal articles to valorize the candidate's research.

Work place :

The candidate will be registered and will have his/her office at the University of Lille.

Required skills :

The candidate must have a solid background in automatic control and/or applied mathematics, and must have a good level in English. Skills in Matlab, Latex, and programming would be appreciated.