

## CONTR ˆOLE TOL ˆERANT AUX D ˆEFAUTS BAS ˆE OBSERVATEURS PAR INTERVALLE POUR SYST ˆEMES LPV COMMUT ˆES

### INTERVAL OBSERVERS BASED FAULT TOLERANT CONTROL OF LPV SWITCHED SYSTEMS

*Etablissement* **Université Paris-Saclay GS Sciences de l'ingénierie et des syst ˆemes**

*ˆcole doctorale* **Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication**

*Sp ˆcialit * **Automatique**

*Unité de recherche* **IBISC - Informatique, BioInformatique, Syst ˆemes Complexes**

*Encadrement de la th ˆese* **Sa ˆid MAMMAR ([detailResp.pl?resp=36513](#))**

**Financement** du 01-10-2021 au 30-09-2024 *origine* **SCSP Etablissement Employeur Université d'Evry Paris-Saclay**

*D ˆbut de la th ˆese le* **1 octobre 2021**

*Date limite de candidature* **18 mai 2021**

### Mots cl ˆs - Keywords

---

Syst ˆemes   param ˆetres variants, Syst ˆemes commut ˆe, Observateur par intervalles, Commande tol ˆerante, Robustesse, Entr ˆee inconnue  
Linear Parameter Varying Systems, Switched systems, Interval observers, Fault tolerant control, Robustness, Unknown input

### Profil et comp ˆetences recherch ˆees - Profile and skills required

---

M2 ou étudiant en derni ˆere ann ˆee d' ˆcole d'ing ˆenieurs avec comp ˆetences en Automatique, Math ˆematiques Appliqu ˆees, Mod ˆelisation des Syst ˆemes M ˆecaniques. Ma ˆıtrise de l'Anglais. La connaissance de la dynamique des syst ˆemes a ˆeronautiques pourra ˆtre un plus.  
Master student with good skills in control theory, applied mathematics, systems modeling. English language required. Car industry knowledge should be appreciated.

### Description de la probl ˆematique de recherche - Project description

---

Tout syst ˆeme est par nature sujet à un certain nombre de ph ˆenom ˆenes affectant son fonctionnement. Ces ph ˆenom ˆenes peuvent prendre la forme de non-lin ˆearit ˆes, de variations de param ˆetres, d'entr ˆees de perturbations et de d ˆefauts.

Leur prise en compte pr ˆealable durant les étapes de synth ˆese est un  l ˆement d ˆeterminant pour aboutir à de bonnes garanties de performances et de robustesse. Ces caract ˆeristiques sont aussi bien attendues pour la synth ˆese d'estimateurs ou d'observateurs incontournables pour l'acc ˆes à des variables d' ˆetat non directement mesurables et les lois de commandes qui assurent que le syst ˆeme accomplis les missions assign ˆees.

Dans cette perspective, plusieurs approches de mod ˆelisation ont  t ˆe d ˆevelopp ˆees, rempla ˆcant les mod ˆeles LTI classiques par des mod ˆeles englobant un plus large domaine de fonctionnement mais rendant la synth ˆese d'estimateurs ou de loi de commande plus ardue. Dans ce contexte, les mod ˆeles Lin ˆeaires   param ˆetres variants (LPV) constituent une classe de complexit ˆe interm ˆediaire qui permet de g ˆen ˆeraliser nombre de r ˆesultats obtenus dans le domaine LTI. N ˆeanmoins les syst ˆemes sont souvent sujets à des changement abrupt leur conf ˆerant un comportement hybride qui ne s'inscrit pas dans la seule approche LPV et qui n ˆecessite d'introduire des aspects de commutation. Les syst ˆemes LPV commut ˆes ont  t ˆe peu abord ˆes dans la litt ˆerature.

Durant les cinq derni ˆeres ann ˆees, nous avons conduit des travaux pr ˆecurseurs sur la synth ˆese d'observateur par intervalle pour les syst ˆemes LPV commut ˆes. Le but de cette th ˆese est double. Il s'agit d'une part d' ˆetendre les approches d ˆevelopp ˆees en proposant de nouvelles m ˆethodes de d ˆetection de d ˆefauts et d'autre part de proposer des m ˆethodes de commande tol ˆerantes aux d ˆefauts int ˆegr ˆees qui utilisent les estimations. L'approche par intervalle offre l'avantage de fournir un encadrement garanti des grandeurs à estimer et le contr ˆole tol ˆerant aux d ˆefauts int ˆegr ˆe (Active Fault Tolerant Control) r ˆeagit à la pr ˆesence de d ˆefauts et reconfigurant la loi de commande.

Les méthodes développées et les résultats obtenus seront appliqués de façon privilégiée à des engins volants de type VTOL (Vertical Takeoff and Landing) à voilure fixe, qui offrent une alternative intéressante aux avions classiques et aux drones combinant leurs avantages respectifs. Le système en tant que tel est non linéaire et présente des modes fortement couplés et commutés. Ses paramètres propres tout comme l'usage qui peut en être fait (transport, manutention) en fait un système à paramètres variants. Les approches prévues dans les étapes de développement se révèlent donc particulièrement adaptées à ce type d'application. Le laboratoire étant équipé d'une volièrre et de plateformes, le doctorant aura à implanter et tester ses algorithmes sur engin prototype.

Any system is by nature subject to a number of phenomena that affect its operation. These phenomena can take the form of non-linearities, parameter variations, disturbance inputs and faults. Taking them into account beforehand during the synthesis steps is a decisive element for obtaining good guarantees of performance and robustness. These aspects are in fact essential when synthesizing observers for access to non-directly measurable state variables and the control laws which ensure that the system accomplishes the assigned missions.

In this perspective, several modeling approaches have been developed, replacing the classic LTI models by models encompassing a larger operating domain but making the synthesis of estimators or control laws more difficult and less systematic. In this context, Linear Variant Parameter (LPV) models constitute a class of intermediate complexity which allows to generalize a number of results obtained for LTI systems. However, systems are often subject to abrupt changes conferring them a hybrid behavior that does not fit into the LPV approach alone and that requires the introduction of switching aspects. Switched LPV systems have received little attention in the literature.

During the past five years, we have conducted pioneering work on interval observer synthesis for switched LPV systems. The aim of this thesis is twofold. On the one hand, this involves extending the approaches developed by proposing new methods of fault detection and, on the other hand, proposing integrated fault-tolerant control methods that use estimates. The interval approach offers the advantage of providing a guaranteed framework for the quantities to be estimated and the integrated fault tolerant control (Active Fault Tolerant Control) reacts to the presence of faults and reconfigures the control law.

The obtained theoretical results and methods developed will be applied mainly to fixed-wing VTOL (Vertical Takeoff and Landing) type flying machines, which offer an interesting alternative to conventional airplanes and drones combining their respective advantages. These systems are nonlinear and exhibit strongly coupled and switched modes. Their specific parameters as well as their usages (transport, handling...) make them systems with variable parameters.

The approaches considered in the development stages are therefore particularly suited to this type of systems. As the IBISC lab is equipped with a flying arena and platforms, the PhD student will be able to implement and test algorithms on a prototype vehicle.

## Thématique / Domaine / Contexte

---

Observation et commande tolérante aux défauts des systèmes application aux systèmes aéronautiques

Automatique, Détection de défauts, commande tolérante aux défauts. Systèmes aéronautiques.

Tout système est par nature sujet à un certain nombre de phénomènes affectant son fonctionnement. Ces phénomènes peuvent prendre la forme de non-linéarités, de variations de paramètres, d'entrées de perturbations et de défauts.

Leur prise en compte préalable durant les étapes de synthèse est un élément déterminant pour aboutir à de bonnes garanties de performances et de robustesse. Ces caractéristiques sont aussi bien attendues pour la synthèse d'estimateurs ou d'observateurs incontournables pour l'accès à des variables d'état non directement mesurables et les lois de commandes qui assurent que le système accomplis les missions assignées.

## Objectifs

---

Le but de cette thèse est double. Il s'agit d'une part d'étendre les approches développées en proposant de nouvelles méthodes de détection de défauts et d'autres part de proposer des méthodes de commande tolérantes aux défauts intégrées qui utilisent les estimations. L'approche par intervalle offre l'avantage de fournir un encadrement garanti des grandeurs à estimer et le contrôle tolérant aux défauts intégré (Active Fault Tolerant Control) réagit à la présence de défauts et reconfigurant la loi de commande.

## Méthode

---

Approches pour systèmes LPV switchés et observateurs par intervalles.

## Résultats attendus - Expected results

---

Mémoire de thèse, publications en conférences et revues, Test et validation sur véhicules prototypes

## Précisions sur l'encadrement - Details on the thesis supervision

---

Participation à l'encadrement de M. Mohand SMAILI MAMMAR SAID, Directeur : 70% SMAILI MOHAND (chercheur associé à IBISC),  
Co-Encadrant : 30%

## Conditions scientifiques matérielles et financières du projet de recherche

---

Le doctorant sera intégré dans l'équipe Signal Image AutoMatique (SIAM) du laboratoire IBISC, constituée de 6 PR, 5 HDR, 11 MCF et d'une vingtaine de non-permanents post-doc et doctorants. L'équipe bénéficie aussi d'ingénieurs de soutien à la recherche, facilitant la réalisation des expérimentations.

## Objectifs de valorisation des travaux de recherche du doctorant : diffusion, publication et confidentialité, droit à la propriété intellectuelle,...

---

Publications dans des revues et congrès de rang A aussi bien disciplinaires et applicatifs.

## Collaborations envisagées

---

Collaborations envisagées avec Vicenç Puig Universitat Politècnica de Catalunya. Collaborations et publications communes sur les aspects de synthèse d'observateurs par intervalles

## Ouverture Internationale

---

Le doctorant pourra s'inscrire dans une perspective de label de doctorat européen. Des séjours de recherche dans des laboratoires partenaires sont prévus.

## Références bibliographiques

---

- 1- Ifqir S., Ichalal D., Ait Oufroukh N., Mammam S., Adaptive Threshold Generation for Vehicle Fault Detection using Switched T-S Interval observers. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 67(6):5030-5040, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIE.2019.2924611>.
- 2- Ifqir S., Ichalal D., Ait Oufroukh N., Mammam S., Robust interval observer for switched systems with unknown inputs: Application to vehicle dynamics estimation ». European Journal of Control 44:3-14, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejcon.2018.09.018>.
- 3- Zammali C., Van Gorp J. Raïssi T., On Interval Observer Design for Continuous-Time LPV Switched Systems. Acta Cybern. 24(3): 539-555, 2020.
- 4- Wang Y., Bevly D. M., Rajamani R., Interval observer design for LPV systems with parametric uncertainty, Automatica, 60:79-85, 2015.
- 5- Zhou J., Yue H., Soft-Bound Interval Control System and Its Robust Fault-Tolerant Controller Design, IEEE Trans. On Systems, Man, and Cybernetics, (51)1:378-390, 2021.
- 6- Wang Y., Ma Y., Wang R., Interval Error Observer-based Active Fault Tolerant Control for LPV Systems of the Aero-Engines, Chinese Control Conference, 2019.
- 7-Pham T. H., Ichalal D., Mammam S. (2020). LPV Unknown Input Observer for Attitude of a mass-varying quadcopter, 16th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV 2020), 13-15 december 2020, Shenzhen (Chine). 917-924. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICARCV50220.2020.9305468>.
- 8- Pham T. H., Ichalal D., Mammam S. (2020). « LPV state-feedback controller for Attitude/Altitude stabilization of a mass-varying quadcopter », 20th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2020), 13-16 octobre 2020, Busan (Corée du Sud). 212-218. DOI: <https://doi.org/10.23919/ICCAS50221.2020.9268310>.

Dernière mise à jour le 30 avril 2021