

APPROCHE SYSTÈME CYBER-PHYSIQUE POUR L'OBSERVATION ET LA COMMANDE DU VÉHICULE AUTONOME ET CONNECTÉ

A CYBER PHYSICAL APPROACH FOR OBSERVATION AND CONTROL OF AUTONOMOUS CONNECTED VEHICLES

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

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

Spécialité **Automatique**

Unité de recherche **IBISC - Informatique, Bioinformatique, Systèmes Complexes**

Encadrement de la thèse **Dalil ICHALAL ([detailResp.pl?resp=41928](#))**

Co-Encadrant **Naima AIT OUFROUKH ([detailResp.pl?resp=41929](#))**

Financement du 01-10-2021 au 30-09-2024

Début de la thèse le **1 octobre 2021**

Date limite de candidature **15 mai 2021**

Mots clés - Keywords

Systèmes cyber-physiques, Commande et Observation / IA, Systèmes embarqués, Véhicule autonome, Systèmes contrôlés en réseaux, Commande événementielle

Cyberphysical systems, Control and observation / IA, Embedded systems , Autonomous vehicle, Networked control systems, Time and event Triggered control

Profil et compétences recherchées - Profile and skills required

Le candidat doit avoir un niveau Bac+5 (Master ou ingénieur), une solide formation en automatique (linéaire et non linéaire) et en mathématiques appliquées ainsi que des compétences en systèmes embarqués. Notions d'IA : réseaux de neurones, Machine learning seront appréciées.

The candidate must have a Bac+5 (Master or Engineer), a solid training in robust linear and nonlinear control and observation, applied mathematics and embedded systems. Notions on AI: Neural Networks, Machine Learning will be appreciated.

Description de la problématique de recherche - Project description

Le sujet de thèse proposé vise explorer les techniques de perception, de communication, d'observation et de commande dans la perspective du véhicule autonome et de proposer un nouveau paradigme pour la conception et l'intégration d'algorithmes en tenant compte des ressources limitées, des réseaux de communication via lesquels transitent les informations de contrôle et d'observation, ainsi que les problématiques liées aux incertitudes de modélisation.

Les travaux pourront débuter par l'appropriation des techniques et résultats des équipes du laboratoire dans les différentes briques fonctionnelles développées. La ou le candidat explorera notamment les aspects d'observation et de commande de grands systèmes et de systèmes contrôlés en réseaux. En effet, un véhicule autonome embarque plusieurs systèmes de contrôle, d'observation et de perception qui utilisent des ressources limitées (calculateurs et microprocesseurs) et qui communiquent via des réseaux (retards, pertes d'informations et congestion). Les algorithmes doivent être conçus afin de tenir compte de ces contraintes de ressources et de communication. Dans ce cadre, les notions de « Event-Triggered » et « Self-Triggered » seront privilégiées. En effet, l'objectif est de calculer une commande ou une estimation d'un état le plus rarement possible (ou quand cela est nécessaire), contrairement à l'approche périodique, et de libérer le microprocesseur ou le calculateur (économie d'énergie) ou pour exécuter des tâches secondaires. Par exemple, le bloc de commande de la trajectoire du véhicule fournira à la fois la loi de commande à appliquer à l'instant t ainsi que l'instant futur pour le calcul et l'application de la prochaine commande à l'instant $t+k$. Les développements seront à implémenter sur un démonstrateur dont la réalisation est en cours de construction (véhicule de type Renault Zoé). Le doctorant prendra part à la spécification et à la réalisation de ce démonstrateur.

Dans le souci de prendre en compte les incertitudes de modélisation et des dynamiques non modélisées, le troisième objectif de la thèse est de poursuivre l'exploration des approches hybrides : approches combinant des techniques classiques de commandes robustes et des techniques basées sur des données avec de l'intelligence artificielle. En effet, l'objectif est de concevoir des techniques de contrôle robustes en se basant sur un modèle de synthèse le plus simple possible et d'utiliser les techniques de l'IA (Machine learning, Deep Learning,...), afin d'apprendre toutes les dynamiques négligées et les inclure dans la conception de la loi de commande à des fins de robustesse. Cette façon d'aborder le problème de contrôle permet de simplifier la partie modélisation (utilisation d'un modèle restreint) et d'adapter les lois de commande classiques dans un souci de robustesse et de fiabilité.

En résumé le sujet de thèse proposé vise à étudier les trois problématiques suivantes :

1. Commande et observation dans un contexte incertain avec l'utilisation de l'IA
2. Commande et observation sous contraintes de ressources limitées
3. Commande et observation en tenant compte des contraintes de communication (Systèmes contrôlés en réseaux)

Avec des validations en simulation et expérimentalement sur le véhicule du laboratoire.

The proposed thesis subject aims to explore the techniques of perception, communication, observation and control in the perspective of the autonomous vehicle and to propose a new paradigm for the design and integration of algorithms taking into account limited resources, communication networks via which transit control and observation information, as well as issues related to modeling uncertainties.

The work starts with the appropriation of the techniques and results of the laboratory team (SIAM) in the various developed functional parts. The candidate will explore in particular the aspects of observation and control of large systems and controlled systems in networks. Indeed, an autonomous vehicle embeds several control, observation and perception systems which use limited resources (computers and microprocessors) and which communicate via networks (delays, loss of information and congestion). Algorithms must be designed to take into account these resource and communication constraints. In this context, the notions of "Event-Triggered" and "Self-Triggered" will be privileged. Indeed, the objective is to calculate a control action or an estimate of a state as rarely as possible (or when this is necessary), unlike the periodic approach, and to reduce the use of the microprocessor or the computer (energy saving) or to perform secondary tasks. For example, the vehicle trajectory control unit will provide both the control law to be applied at time t as well as the future time for the calculation and application of the next control at time $t+k$. The developments will be implemented on a demonstrator whose production is in construction (Renault Zoé type vehicle). The doctoral student will take part in the specification and construction of this demonstrator.

In order to take into account the modeling uncertainties and unmodeled dynamics, the third objective of the thesis is to pursue the exploration of hybrid approaches: approaches combining classical techniques of robust controls and techniques based on data with artificial intelligence. Indeed, the objective is to design robust control techniques based on the simplest possible synthesis model and to use AI techniques (Machine learning, Deep Learning, etc.), in order to learn all neglected dynamics and include them in the design of the control law for robustness purposes. This way of approaching the control problem makes it possible to simplify the modeling part (use of a restricted model) and to adapt the classical control laws for the sake of robustness and reliability.

In summary, the proposed thesis subject aims to study the following three issues:

1. Control and observation in an uncertain context with the use of AI
2. Control and observation under constraints of limited resources
3. Control and observation taking into account communication constraints (Controlled systems in networks)

With validations in simulation and experimentally on the laboratory vehicle.

Thématique / Domaine / Contexte

Observation et contrôle des véhicules autonomes et connectés

STIC

Le déploiement des véhicules autonomes est annoncé comme imminent depuis quelques années. À cet effet, la SAE (Society of Automotive Engineers) a défini, dès 2016, 5 niveaux d'automatisation (1 à 5). Le niveau 0 correspondant à la conduite totalement manuelle. Les niveaux 1 et 2 sont aujourd'hui quasiment maîtrisés en conditions nominales. Ainsi, des véhicules sont déjà équipés du contrôle de la vitesse et de la direction mais le conducteur garde la responsabilité de la perception de l'environnement et de la récupération en cas de besoin. Les niveaux 3 à 5 concentrent l'attention des chercheurs et des industriels, tant la complexité du véhicule autonome (qui sera aussi communicant) est difficile à appréhender par le point de vue de fonctions isolées remplissant chacune une mission dédiée. Le véhicule autonome sera a proprement parlé un système Cyber-Physique qu'il faut considérer dans sa globalité.

Le véhicule autonome en tant que système Cyber (calcul, stockage, communications...)-Physique (capteurs, actionneurs...)

Cette vision soulève alors plusieurs problématiques de garantie des performances, de retards voire de vulnérabilité.

Objectifs

Concevoir des lois de commande et d'observateurs pour le véhicule autonome en tenant compte des limitations de ressources, des contraintes liées aux réseaux et aux incertitudes de modélisation. Poursuivre l'exploration des approches hybrides données-modèles en combinant les approches de l'automatique classiques et les approches basées sur l'IA

Méthode

Approches intégrée de l'observation, de la commande et de la coopération. Système événementiels et prise en compte des contraintes de ressources limitées et des réseaux. Utilisation des approches de l'IA pour gérer les incertitudes de modélisation et simplifier la phase de modélisation ainsi que la conception des lois de commande et d'observateurs.

Résultats attendus - Expected results

Développement de méthodes et réalisation d'un démonstrateur

Précisions sur l'encadrement - Details on the thesis supervision

L'encadrement sera assuré par Naïma AitOufroukh-Mammar (50%) et Dalil Ichalal (50%). Le(a) doctorant(e) intégrera une équipe qui travaille déjà sur les nouvelles approches combinant l'automatique et l'IA

Conditions scientifiques matérielles et financières du projet de recherche

Travaux de recherche en lien avec les activités de l'équipe SIAM du laboratoire IBISC sur les véhicules. Conditions matérielles de réalisation disponibles au sein de l'équipe (plateforme, dispositifs de capteurs et d'actionneurs, communication)

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

Publications, brevets, démonstrateur

Collaborations envisagées

Collaboration avec le CRAN-Nancy et l'IRSEEM-Rouen dans le cadre du projet ANR ArtISM0 (2021-2025)

Ouverture Internationale

Collaboration possible avec Universitat Polytechnica di Catalunya (UPC) - Espagne

Références bibliographiques

- S. Ifqir, D. Ichalal, N. Ait Oufroukh, S. Mammar. Robust interval observer for switched systems with unknown inputs: application to vehicle dynamics estimation, *European Journal of Control*, 44 (2018), pp. 3–14.
- D. Ichalal, B. Marx, J. Ragot, S. mammar, D. Maquin. Sensor fault tolerant control of nonlinear Takagi–Sugeno systems. application to vehicle lateral dynamics, *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, 26 (2016), pp. 1376–1394.
- D. Ichalal, S. Mammar, On unknown input observers for LPV systems, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62 (2015), pp. 5870–5880.
- M. Balaghiinaloo, D.A. Antunes, W.P.M.H. Heemels. An l2-Consistent Event-Triggered Control Policy for Linear Systems. *Automatica*, March 2021.
- M. Abdelrahim, V.S. Dolk, and W.P.M.H. Heemels. Event-triggered quantized control for input-to-state stabilization of linear systems with distributed output sensors. *IEEE Transactions on Automatic Control* 64(12), p. 4952–4967
- Vlasios Tsiatsis and Stamatis Karnouskos and Jan Höller and David Boyle and Catherine Mulligan. *Internet of Things (second edition): Chapter 16 - Autonomous Vehicles and Systems of Cyber-Physical Systems*. Academic Press, 2019.

Dernière mise à jour le 30 avril 2021