

Sujet de recherche pour une thèse CIFRE

Architecture de contrôle partagée robuste pour les véhicules intelligents

Robust shared control architecture for intelligent vehicles

Encadrants

Renault : Vicente Milanés. DEA-IR Direction de la Recherche MILANES Vicente
(vicente.milanes@renault.com)

GIPSA-lab : Olivier Sename et John-Jairo Martinez-Molina, Dpt Automatique (olivier.sename@grenoble-
inp.fr, john-jairo.martinez-molina@grenoble-inp.fr)

1. Domaine de recherche

Le travail de thèse proposé tombe dans le domaine de recherche des systèmes de transport intelligents (ITS en anglais). Plus précisément, il se concentrera sur le développement des techniques de contrôle avancées pour améliorer la stabilité et la robustesse des véhicules automatisés.

Mots-clés : véhicules automatiques, contrôle robuste, contrôle partagée.

1. Research field

The proposed thesis work falls within the field of research of Intelligent Transport Systems (ITS). Specifically, it will focus on the development of advanced control techniques to improve the stability and robustness of automated vehicles.

Keywords: autonomous vehicles, robust control, shared control.

2. Contexte

Dans le cadre de la thèse CIFRE, RENAULT est intéressé à explorer le potentiel des véhicules automatisés pour le contrôle sur l'environnement très complexe. Cette action sera en ligne avec la ligne de recherche en cours. Gipsa-lab est une unité de recherche mixte du CNRS, de Grenoble-INP et de l'Université de Grenoble Alpes avec un certain nombre d'années d'expérience sur les véhicules automatisés. Ils ont commencé des travaux prometteurs déjà dans le domaine et l'objectif sera d'explorer davantage ces premiers résultats. En outre, il y a déjà des collaborations entre Gipsa-lab et le département du contrôle moteur à Renault. Ce nouveau sujet de recherche va contribuer à améliorer et accroître la synergie et la coopération entre les deux entités.

2. Background

As part of the CIFRE thesis, RENAULT is interested in exploring the potential of (partially) autonomous vehicles for control over the highly complex environment. This action will be in line with the current research direction.

Gipsa-lab is a joint research unit of the CNRS, Grenoble-INP and the University of Grenoble Alpes with a number of years of experience in vehicle dynamics. They have begun promising work already in the field and the goal will be to further explore these early results

In addition, there are already collaborations between Gipsa-lab and the engine control department at Renault. This new research topic will help to improve and increase synergy and cooperation between the two entities.

3. Introduction

La recherche sur la conduite autonome dans les dernières années a été ciblée sur le développement des systèmes multi-capteurs capables de percevoir l'environnement dans lequel le véhicule roule, ce qui permet

de créer une carte complète de la situation du trafic. Ces systèmes de perception multi-capteurs ont accru la complexité en matière de contrôle du véhicule autonome.

Ces informations sont combinées habituellement dans les algorithmes de fusion multi-capteurs avancés vers des systèmes de prise de décision multi-cibles selon la situation du trafic. Le principe est que nous devons nous assurer que le véhicule ait une réponse adaptée aux besoins de la méthode de prise de décision compte tenu de la situation. À l'heure actuelle, le nombre de ces situations a conduit au développement de différents algorithmes capables de gérer les contrôler de manière sûre, fiable et robuste. Le problème principal se pose lors de la transition entre ces algorithmes de contrôle et le conducteur (qui pour le moment restera toujours au volant du véhicule), ceci pouvant conduire à des réponses indésirables voire une instabilité.

Les véhicules automatisés pour le transport des personnes sont intimement liés au conducteur en ce sens que, même si nous sommes en mesure d'atteindre une autonomie totale, un humain (conducteur ou passager) restera toujours au sein du véhicule. Cela soulève une question importante concernant l'acceptabilité des algorithmes de contrôle pour les passagers du véhicule, en ce qui concerne la façon dont les passagers à bord ressentent «la réaction du véhicule ».

Les techniques classiques de contrôle robustes permettent de maintenir la stabilité sur la réponse avec un suivi d'erreur très précis. Cependant, elles manquent de souplesse pour ajouter les attentes des conducteurs / passagers sur la performance du véhicule. Dans les années récentes, le concept d'arbitrage a montré son importance étant donné que la capacité des systèmes intelligents à partager la décision des tâches liées à la conduite avec le conducteur est aujourd'hui considéré comme sujet clé lors du passage du niveau 3-4 de l'autonomie du véhicule au niveau 5 (normes de niveau d'automatisation SAE). Le but final de ces systèmes d'arbitrage est d'inclure le conducteur dans la boucle de contrôle, ce qui permet de partager des architectures de contrôle où la décision finale implique à la fois le conducteur et le système intelligent, la responsabilité de ce dernier étant d'ajouter cette flexibilité dans la performance du véhicule tout en laissant une certaine liberté au conducteur lors de la prise de décisions.

Cette proposition de doctorat est axée sur l'étude d'autres systèmes adaptatifs flexibles capables de combiner l'information du conducteur et les informations sur les véhicules en mesure de fournir une architecture de contrôle partagé où les décisions intelligentes des véhicules sont prises en tenant compte du statut du conducteur. Nous voulons exploiter les informations disponibles auprès de nos véhicules.

La capacité à fournir des transitions en douceur entre les algorithmes de contrôle en prenant en compte le conducteur peut être non seulement appliquée à la stratégie de conduite autonome, mais aussi pour les systèmes de sécurité ou même dans les voitures connectées, où la transition entre différents algorithmes joue un rôle clé en particulier pour avoir les véhicules dans un mode le plus contrôlable.

3. Introduction

Autonomous driving research in recent years has been focused on the development of multi-sensor systems capable of perceiving the environment in which the vehicle is traveling, thus creating a complete map of the traffic situation. These multi-sensor perception systems have increased the complexity of autonomous vehicle control.

This information is usually combined in advanced multi-sensor fusion algorithms to multi-target decision systems depending on the traffic situation. The principle is that we need to make sure that the vehicle is responsive to the needs of the decision-making process given the situation. At present, the number of these situations has led to the development of various algorithms capable of managing them in a safe, reliable and robust manner. The main problem arises during the transition between these control algorithms and the driver (who for the moment will always remain behind the wheel of the vehicle), this may lead to undesired responses or even instability.

Automated vehicles for the transport of people are intimately linked to the driver in the sense that, even if we are able

to achieve full autonomy, a human (driver or passenger) will always remain within the vehicle. This raises an important question about the acceptability of the control algorithms for vehicle passengers, with regard to how passengers on board feel "the reaction of the vehicle".

The classic robust control techniques allow to maintain stability on the response with a very precise error tracking. However, they lack the flexibility to add driver / passenger expectations to vehicle performance. In recent years, the concept of arbitration has shown its importance as the ability of intelligent systems to share the decision of driver-related tasks is now considered a key topic in the transition from level 3- 4 vehicle autonomy at level 5 (SAE automation level standards). The ultimate goal of these arbitration systems is to include the driver in the control loop, which allows to share control architectures where the final decision involves both the driver and the intelligent system, the responsibility of the latter being to add this flexibility in the performance of the vehicle while leaving some freedom to the driver when making decisions.

This PhD proposal focuses on the study of other flexible adaptive systems that can combine driver information and vehicle information to provide a shared control architecture where intelligent decisions of vehicles are taken into account driver status. We want to exploit the information available from our vehicles.

The ability to provide smooth transitions between control algorithms taking into account the driver can be applied not only to the autonomous driving strategy, but also for safety systems or even in connected cars, where the transition between different algorithms plays a key role especially to have the vehicles in a most controllable mode.

4. Objectifs de recherche

4.1 Description

L'objectif de ce travail de doctorat est directement lié à la stratégie de conduite autonome selon le projet ADCC (Autonomous Driving Commuter Car) chez Renault. L'objectif principal de ce projet est de laisser le véhicule conduire de manière autonome dans certaines sections spécifiques sur la route. Cependant, une telle décision ne repose que sur la capacité des capteurs à bord de détecter la disposition des routes déjà parcourues. Il est clair que l'aptitude d'un tel système 100% basé sur l'intelligence de l'algorithme excluant le conducteur / passager sur la boucle aura une acceptabilité limitée. Une telle décision doit également être basée sur le statut du conducteur : peut-être qu'il veut annuler certaines décisions de véhicule, mais garder l'intelligence vivante pour des raisons de sécurité. Il doit inclure la manière dont chaque utilisateur a un style de conduite particulier, l'utilisateur s'attend à ce qu'un style similaire soit piloté. Comment ces décisions prises par les humains sont-elles prises en compte dans les algorithmes du véhicule ? De la même manière, certaines décisions *antidumping* peuvent conduire à des situations de conduite dangereuses : où est la limite entre permettre au conducteur de prendre sa propre décision mais toujours garder le véhicule sur un état de sécurité ?

Cette proposition de doctorat est entièrement en ligne avec l'état actuel du projet ADCC, ce qui conduit le développement actuel à une étape suivante en termes d'intelligence du système et d'autonomie.

Un exemple concerne l'action du conducteur en cas de situations critiques : en effet le conducteur a un temps de réaction (due à sa propre compréhension de la situation) et peut, dans un laps de temps non négligeable, continuer à générer des actions sur les véhicules incohérents par rapport à la situation rencontrée. Pour prendre en compte cet aspect, des méthodes d'observation et de commande seront abordées à l'aide d'approches de type commande robuste et/ou commande prédictive pour les systèmes Linéaires à Paramètres Variants, prenant en compte les contraintes sur les états du système, afin de prédire des trajectoires futures saines. Le cadre LPV permet ici de considérer les variations des conditions de l'environnement (état de la route, du conducteur, pannes capteurs/actionneurs...), les non linéarités du véhicule, mais également des performances adaptables en temps-réel.

Nous désirons également développer des lois de commande intégrées, multivariées, nécessitant la coopération de plusieurs sous-systèmes et actionneurs (freinage, suspension, direction, différentiel...) garantissant la sécurité face à des situations critiques dues à l'intensification du trafic, à la variabilité des types d'usagers de la route, aux conditions météorologiques, à certaines pannes de capteurs /actionneurs, ou à une erreur du conducteur.

Nous chercherons ainsi à proposer une approche intégrée de diagnostic de situations critiques et de reconfiguration de la commande. Les objectifs fixés seront en particulier ajustés en ligne en fonction de l'état du conducteur identifié précédemment.

4.2 Défis scientifiques et techniques

L'architecture de contrôle proposée sera fusionnée dans la plate-forme de véhicule autonome. Cela signifie qu'il pourra recevoir des données à partir du 'world model' (c'est-à-dire des informations de perception traitées à haut niveau) et du générateur de trajectoire (c'est-à-dire planificateur de chemins locaux). Les principaux défis scientifiques sont décrits ci-dessous:

- Interaction du système : Un défi clé dans le développement de l'interaction homme-machine est de permettre la coopération des deux décideurs (c.-à-d. les humains et les systèmes automatisés travaillant ensemble dans le même tâche). Ceci est particulièrement vrai lorsque l'on considère les erreurs humaines et limitations des systèmes autonomes.
- Prédiction de la limite de stabilité : le système proposé doit pouvoir anticiper les situations où l'utilisateur conduit le véhicule hors des limites de stabilité. Cela jouera un rôle clé pour assurer une réponse appropriée lors du partage du contrôle entre le conducteur et le système automatisé.

4. Research objectives

4.1 Description

The aim of this PhD work is directly linked to the autonomous driving strategy according to the ADCC (Autonomous Driving Commuter Car) project at Renault. The main objective of this project is to let the vehicle drive autonomously in specific sections on the road. However, such a decision relies only on the ability of on-board sensors to detect the layout of the routes already traveled. It is clear that the ability of such a system 100% based on the intelligence of the algorithm excluding the driver / passenger on the loop will have a limited acceptability. Such a decision should also be based on the driver's status: perhaps he wants to cancel some vehicle decisions, but keep the intelligence alive for security reasons. It must include how each user has a particular driving style, the user expects a similar style to be piloted. How are these human decisions taken into account in the vehicle algorithms? In the same way, some anti-dumping decisions can lead to dangerous driving situations: where is the limit between allowing the driver to make his own decision but still keeping the vehicle in a safe state?

This PhD proposal is fully in line with the current state of the ADCC project, which leads the current development to a next step in terms of system intelligence and autonomy.

An example concerns the driver's action in the event of critical situations: the driver has a reaction time (due to his own understanding of the situation) and can, in a non-negligible time, continue to generate actions on vehicles inconsistent with the situation encountered. To take this aspect into account, observation and control methods will be approached using robust control and / or model predictive control approaches, for Linear Parameter Varying Systems, taking into account the constraints on the states of the system to predict healthy future trajectories. The LPV framework allows here to consider the variations of environmental conditions (road condition, driver, sensor / actuator failures ...), nonlinearities of the vehicle, but also adaptive real-time performance.

We also want to develop integrated control laws, multivariable, requiring the cooperation of several subsystems and actuators (braking, suspension, steering, differential ...) guaranteeing safety in the face of critical situations due to the intensification of traffic, the variability of road user types, weather conditions, some sensor / actuator failures, or driver

error.

We will thus seek to propose an integrated approach to diagnosis of critical situations and reconfiguration of the order. The objectives set will in particular be adjusted online according to the state of the driver identified previously.

4.2 Scientific and technical challenges

The proposed control architecture will be merged into the autonomous vehicle platform. This means that it will be able to receive data from the 'world model' (i.e. perception information processed at a high level) and from the trajectory generator (i.e. local route planner).). The main scientific challenges are described below:

- *System Interaction: A key challenge in the development of human-machine interaction is to enable the cooperation of both decision makers (i.e. humans and automated systems working together in the same task). This is especially true when considering the human errors and limitations of autonomous systems.*
- *Stability limit prediction: the proposed system must be able to anticipate situations where the user drives the vehicle out of stability limits. This will play a key role in ensuring an appropriate response when sharing control between the driver and the automated system.*

5 Organisation du travail de recherche

Les travaux de doctorat commenceront à Renault. Le candidat bénéficiera aux travaux de doctorat en cours dans le cadre du véhicule autonome. Le candidat effectuera l'examen de l'état de l'art dans un contrôle robuste. Plus tard, il/elle partira à Grenoble où d'autres étudiants de doctorat travaillent actuellement sur des systèmes de contrôle où la discussion avec le développement actuel peut fortement bénéficier du point de départ du travail. Une partie finale du travail de doctorat sera effectuée à Renault où la plate-forme expérimentale sera entièrement disponible pour le candidat afin de pouvoir valider le système non seulement dans les environnements de simulation déjà disponibles, mais aussi sur un véhicule réel.

5.1 Tâches principales

1. Examen de l'état de l'art sur : 1) les architectures de commande pour véhicules automatisés; et 2) des architectures d'informations sur les conducteurs pour comprendre le lien entre les deux systèmes.
2. Processus d'apprentissage sur les systèmes HW / SW déjà installés sur la plate-forme. Familiariser avec Matlab / Simulink et dSpace pour la mise en œuvre du véhicule. Cette tâche devrait se faire en parallèle avec l'examen de l'état de l'art.
3. Concevez une prédiction du modèle de véhicule en fonction du comportement du conducteur et de la réponse du véhicule.
4. Définir une nouvelle architecture de contrôle capable de partager les décisions en ajoutant le pilote dans la boucle de contrôle.
5. Évaluation et évaluation de l'architecture de contrôle proposée dans l'environnement de simulation
6. Validation sur une plate-forme expérimentale. La performance du système sera comparée aux algorithmes actuels sur le véhicule pour démontrer le bon comportement.

5. Organization of research work

The PhD work will begin at Renault. The candidate will benefit from ongoing doctoral work as part of the autonomous vehicle. The candidate will perform state-of-the-art examination in a robust control. Later, he / she will go to Grenoble where other doctoral students are currently working on control systems where discussion with current development can strongly benefit from the starting point of the work. A final part of the doctoral work will be done at Renault where the experimental platform will be fully available for the candidate to validate the system not only in simulation environments already available, but also on a real vehicle.

5.1 Main tasks

1. Review of the state of the art on: 1) control architectures for automated vehicles; and 2) driver information architectures to understand the link between the two systems.
2. Learning process on HW / SW systems already installed on the platform. Familiarize yourself with Matlab / Simulink and DSPICE for the implementation of the vehicle. This task should be done in parallel with the examination of the state of the art.
3. Design a prediction of the vehicle model based on driver behavior and vehicle response.
4. Define a new control architecture that can share decisions by adding the driver to the control loop.
5. Assessment and evaluation of the proposed control architecture in the simulation environment
6. Validation on an experimental platform. The performance of the system will be compared to the current algorithms on the vehicle to demonstrate good behavior.

6 Calendrier

Thème abordé/Mois en cours	0	6	12	18	24	30	36
Etat de l'art							
Modélisation							
Observation							
Commande							
Diagnostic/surveillance							
Validation							
Rédaction document							

Références

- D. A. Abbink, M. Mulder, and E. R. Boer, "Haptic shared control: smoothly shifting control authority?" *Cognition, Technology & Work*, vol. 14, no. 1, pp. 19–28, 2012.
- P. Bosetti, M. Da Lio, and A. Saroldi, "On the human control of vehicles: an experimental study of acceleration," *European Transport Research Review*, vol. 6, no. 2, pp. 157–170, 2014.
- M. Baltzer, F. Flemisch, E. Altendorf, and S. Meier, "Mediating the interaction between human and automation during the arbitration processes in cooperative guidance and control of highly automated vehicles," in *Proceedings of the 5th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics AHFE*, 2014.
- Matthew Brown, Joseph Funke, Stephen Erlien, J. Christian Gerdes, Safe driving envelopes for path tracking in autonomous vehicles, *Control Engineering Practice*, Volume 61, April 2017, Pages 307-316.
- S. M. Erlien, S. Fujita, and J. C. Gerdes, "Shared steering control using safe envelopes for obstacle avoidance and vehicle stability," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 17, no. 2, pp. 441–451, 2016.
- F. O. Flemisch, K. Bengler, H. Bubb, H. Winner, and R. Bruder, "Towards cooperative guidance and control of highly automated vehicles: H-mode and conduct-by-wire," *Ergonomics*, vol. 57, no. 3, pp. 343–360, 2014.
- G. Franzè and W. Lucia, "A Receding Horizon Control Strategy for Autonomous Vehicles in Dynamic Environments," in *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 24, no. 2, pp. 695-702, March 2016.

- M. Da Lio, F. Biral, E. Bertolazzi, M. Galvani, P. Bosetti, D. Windridge, A. Saroldi, and F. Tango, "Artificial co-drivers as a universal enabling technology for future intelligent vehicles and transportation systems," *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, vol. 16, no. 1, pp. 244–263, 2015.
- Gaspar, P., Szabo, Z., Bokor, J., Nemeth, B., "Robust Control Design for Active Driver Assistance Systems: A Linear-Parameter-Varying Approach", Springer, 2017.
- J. Guo, P. Hu and R. Wang, "Nonlinear Coordinated Steering and Braking Control of Vision-Based Autonomous Vehicles in Emergency Obstacle Avoidance," in *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*, vol. 17, no. 11, pp. 3230-3240, Nov. 2016.
- S. S. Joshi, N. Maas and D. Schramm, "A vehicle dynamics based algorithm for driver evaluation," 2017 11th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO), Coimbatore, 2017, pp. 40-44.
- S. M. Petermeijer, D. A. Abbink, and J. C. de Winter, "Should drivers be operating within an automation-free bandwidth? evaluating haptic steering support systems with different levels of authority," *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, vol. 57, no. 1, pp. 5–20, 2015.
- L. Saleh, P. Chevrel, F. Claveau, J.-F. Lafay, and F. Mars, "Shared steering control between a driver and an automation: Stability in the presence of driver behavior uncertainty," *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, vol. 14, no. 2, pp. 974–983, 2013.
- O. Sename, P. Gaspar and J. Bokor (Eds.), "Robust Control and Linear Parameter Varying Approaches: Application to Vehicle Dynamics", Springer, LNCIS, Vol. 437, 2013.
- .