

**Coopération Homme-machine dans le cadre de scénarios d'insertion pour des niveaux d'automatisation 3 et 4**

Human-Machine Cooperation Framework Applied for Vehicle Automation Levels 3 and 4 in Merging Scenarios

**Encadrement**

LAMIH, CNRS UMR 8201, UVHC, Département d'Automatique

JC. Popieul ([Jean-Christophe.Popieul@uphf.fr](mailto:Jean-Christophe.Popieul@uphf.fr))

C. Sentouh ([Chouki.sentouh@uphf.fr](mailto:Chouki.sentouh@uphf.fr))

Continental Automotive, Continental Engineering Services France

S. Boverie ([Serge.Boverie@conti-engineering.com](mailto:Serge.Boverie@conti-engineering.com))

L'objectif de la thèse est de concevoir, développer et évaluer des principes de coopération entre le conducteur et un système de conduite autonome pour des niveaux d'automatisation 3 et 4 selon la définition de la SAE dans le cadre de scénarios d'insertion (autoroute, rond-point). Le travail se focalisera sur les problématiques spécifiques aux systèmes homme-machine qui doivent être considérées et plus précisément, le partage du contrôle entre le conducteur et le système de conduite autonome pour atteindre un objectif commun en prenant en compte l'état du conducteur.

Mots clés : Coopération homme/machine, contrôle partagé, véhicule automatisé, gestion de l'autorité, estimation de l'état du conducteur.

**Contexte**

La sécurité des passagers et des véhicules est un problème critique et récurrent tant pour les autorités publiques que les constructeurs et les équipementiers automobile. Tant au niveau Français qu'Européen des plans successifs menés depuis de nombreuses années ont pour objectif de réduire considérablement les accidents routier. Parmi les moyens et technologies mises en œuvre de nombreuses études montrent que le déploiement à grande échelle des systèmes d'aide à la conduite puis des véhicules autonomes devrait largement contribuer à l'amélioration de la sécurité routière.

Depuis maintenant une dizaine d'année, de nombreuses fonctions d'aide à la conduite ont été commercialisées et embarquées dans les véhicules. Des véhicules autonomes de niveau 2 et 3, selon la classification SAE, sont aussi déjà commercialisés. Toutefois ceux-ci ne sont pour l'instant capables de gérer que des situations relativement simples de contrôle latéral et longitudinal, principalement dans des situations autoroutières ou sur route ouvertes (nationales par exemple).

Il est par ailleurs évident que malgré le très fort développement des systèmes avancés d'assistance (ADAS) à la conduite et des véhicules autonomes le conducteur conservera encore pour longtemps un rôle central dans les tâches de conduite et de supervision et sera amené à interagir très souvent avec ces fonctions d'assistance soulevant ainsi de nouveaux problèmes en termes de partage de tâche, de degré de liberté, d'autorité de niveau d'automatisation, de priorisation d'informations et de gestion de différents systèmes...

Enfin, le déploiement des ADAS et des véhicules (partiellement) automatisés ne sera vraiment efficace et accepté que dès le moment où il correspondra aux besoins des conducteurs, de leurs aptitudes et capacités mais aussi lorsqu'ils apporteront des assistances adaptées grâce à un design centré sur l'humain.

### **Problématique**

Les niveaux d'automatisation 3 et 4, selon la classification SAE, devraient pouvoir adresser des scénarios de conduite de plus en plus complexes que le simple contrôle latéral et longitudinal sur autoroute. De nombreux travaux de recherche sont déjà en cours pour prendre en compte certaines de ces situations. Le changement de file sur autoroute est une des problématiques du véhicule autonome les plus étudiées. L'opération de changement de file peut être considérée comme une primitive permettant de réaliser des opérations plus difficiles telles que l'entrée (insertion) et la sortie d'autoroute, doubler un autre véhicule, la jonction de deux voies...

Dans cette étude nous proposons d'aborder le problème, pour l'instant relativement peu étudié, de l'insertion/désinsertion d'une file (voie d'accélération/décélération sur une entrée/sortie d'autoroute par exemple). Ce type de scénario, très complexe, même pour un conducteur, nécessite une reconstruction précise, dynamique de l'environnement du véhicule, une prédiction précise de la trajectoire du véhicule, le déploiement de moyens de prise de décision originaux et pose aussi de manière évidente le problème de la coopération homme machine.

Différentes approches et niveaux d'assistance pourront être envisagés de la simple information délivrée au conducteur à une opération totalement autonome laissée à la charge du véhicule en passant par des modes intermédiaires impliquant une coopération étroite entre le conducteur et le système.

### **Description des travaux envisagés**

Les travaux envisagés dans le cadre de cette étude seront réalisés avec le support des équipes du LAMIH-CNRS et de Continental, Ils tireront profit des nombreux travaux antérieurs menés par les deux partenaires dans les domaines de l'automatisation du véhicule :

- Reconstruction de l'environnement dynamique du véhicule à partir des informations délivrées par les différents systèmes de perception embarqués
- Estimation en temps réel de l'état du conducteur
- Etude de stratégies de prise de décision
- Prédiction de la trajectoire et élaboration des stratégies adaptatives de la conduite (contrôle longitudinal et latéral du véhicule)
- Coopération aux niveaux tactique et opérationnel (contrôle partagé)
- Etude en simulation
- Implémentation sur véhicule
- Test et validation

Une première phase du travail visera à prendre connaissance du domaine et notamment :

- du contexte particulier que constitue la conception de système d'assistance à la conduite et en particulier pour l'automatisation des véhicules,
- des développements existant chez les partenaires, notamment des différents démonstrateurs

du contexte scientifique lié à la reconstitution de l'environnement véhicule à partir des informations capteurs (perception et localisation) ; à la planification de trajectoire ; à la prise de décision et au

contrôle ; à la coopération (contrôle partagé). Une seconde phase consistera en la définition d'une architecture logicielle pour l'automatisation d'un véhicule intégrant à la fois des aspects contrôle mais également tactiques. Elle visera également à la spécification des principes de coopération. A partir des données du problème (scénarios envisagés, degrés de liberté contrôlés, domaine de fonctionnement de l'automatisme, ...), elle vise à spécifier les mécanismes de changements de mode de contrôle (automatique, manuel, partagé, assisté) en fonction de la situation de conduite et en prenant en compte le diagnostic de l'état du conducteur.

Une troisième phase consistera au prototypage et au test progressif des fonctions identifiées dans cette architecture (contrôle longitudinal puis latéral partagé et enfin intégration de fonctions tactiques (planification, décision)) dans le véhicule laboratoire de Continental Automotive.

### **Environnement :**

Ces travaux de thèse se situent dans un contexte de coopération entre le laboratoire LAMIH (unité mixte CNRS) de l'Université Polytechnique Hauts-de-France et Continental Automotive France (Toulouse).

Le LAMIH (Laboratoire d'Automatique de Mécanique et d'Informatique Industrielles et Humaines) UMR CNRS 8201 est un laboratoire menant des recherches qui concernent l'Humain dans l'ingénierie et les systèmes avec une identité reconnue sur les thématiques : Transport et Sécurité, Mobilité et Handicap. Il couvre toute la chaîne Transport et Sécurité, Mobilité et Handicap, des aspects de recherche théorique et méthodologique (TRL bas) jusqu'à l'innovation incluant la création de start-up et en passant par des recherches s'appuyant des groupes industriels majeurs mais aussi sur des PME (TRL moyen/élevé).

Le département automatique du LAMIH travaille sur les ADAS depuis plus de 20 ans et notamment sur le véhicule autonome depuis 2004. Plusieurs projets collaboratifs (Prédit ARCOS, ANR ABV, CoCoVeA, AutoConduct) lui ont permis de développer une expertise reconnue internationalement sur ce thème.

Continental se classe parmi les 5 premiers fournisseurs automobiles au monde. En tant que fournisseur de systèmes de freinage, de technologies et composants pour les châssis et les moteurs, d'électronique automobile, de pneus et d'élastomères,

Continental est un des leaders mondiaux pour les technologies d'aide à la conduite (ADAS° et est très fortement impliqué dans le développement des véhicules autonomes.

Le candidat serait principalement localisé à Toulouse.

### **Moyens à disposition :**

Pour mener à bien ces travaux Continental met à disposition des véhicules complètement équipés de technologies de perception embarquées, Radar, caméra, Lidar devant permettre une reconstruction précise et robuste de l'environnement dynamique du véhicule. Ces véhicules sont également équipés d'architectures de commande ouvertes : actionneurs de direction, contrôle moteur et freinage ouverts avec calculateurs embarqués pour permettre l'exécution des lois de commande.

De son côté, le LAMIH met à disposition le simulateur dynamique SHERPA pour le prototypage de systèmes avancés d'aide à la conduite (ADAS). Un démonstrateur de conduite autonome niveau 2 SEA développé sur ce simulateur servira notamment de base à la réflexion sur ce travail. Une piste d'essais spécialement conçue pour le développement de fonctionnalités « véhicule autonome » sur le technopole Transalley pourra également être utilisée pour les tests.

### **Profil du candidat :**

Le candidat doit avoir des compétences solides dans le domaine de la modélisation et de l'automatique relatives au contrôle-commande des systèmes complexes avec un fort intérêt pour les systèmes hommes-machines et les aspects validations expérimentales. Le candidat doit avoir également des compétences en informatique industrielle (Matlab/Simulink, Programmation Temps réel, langage C, réseau) et une première expérience en instrumentation (capteurs, actionneurs, acquisition de mesures, etc.) et en expérimentation de systèmes mécatroniques.

### **Références :**

Mohamed Amir Benloucif, (2018). Coopération homme-machine multi-niveau entre le conducteur et un système d'automatisation de la conduite, Thèse de doctorat, Université de Valenciennes.

Chunshi Guo, (2017). Designing driver-vehicle cooperation principles for automated driving systems, PhD thesis, University of Valenciennes.

David A Abbink, Mark Mulder, and Erwin R Boer, (2012). Haptic shared control: smoothly shifting control authority ? *Cognition, Technology & Work*, 14(1) :19–28.

Nguyen T., Sentouh C., Popieul J.-C. (2018). Sensor Reduction for Driver-Automation Shared Steering Control via an Adaptive Authority Allocation Strategy. *IEEE-ASME Transactions on Mechatronics*, 23 (1), pp. 5-16.

Sentouh C., Nguyen T., Benloucif M., Popieul J.-C. (2018). Driver-Automation Cooperation Oriented Approach for Shared Control of Lane Keeping Assist Systems. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, DOI=10.1109/TCST.2018.2842211.

Flemisch F., Heesen M., Kelsch J., Schindler J., Preusche C., and Dittrich J. (2010). Shared and cooperative movement control of intelligent technical systems: Sketch of the design space of haptic-multimodal coupling between operator, co-automation, base system and environment. In *Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems*, volume 11, pages 304-309.

Guo C., Sentouh C., Popieul J.-C., Haué J.-B. (2018). Predictive shared steering control for driver override in automated driving: A simulator study. *Journal of Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour*, DOI=10.1016/j.trf.2017.12.005.

Nguyen T., Sentouh C., Popieul J.-C. (2017). Driver-Automation Cooperative Approach for Shared Steering Control under Multiple System Constraints: Design and Experiments. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 64 (5), pp. 3819-3830, ISSN 0278-0046.

Guo C., Sentouh C., Popieul J.-C., Haué J.-B., Langlois S., Loeillet J.-J., Soualmi B., Nguyen T. (2017). Cooperation between Driver and Automated Driving System: Implementation and Evaluation. *Journal of Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour*, DOI=10.1016/j.trf.2017.04.006.

Benloucif M., Sentouh C., Floris J., Simon P., Popieul J.-C. (2017). Online adaptation of the Level Of Haptic Authority in a lane keeping system considering the driver's state. *Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour*.

Guo C., Sentouh C., Popieul J.-C., Haué J.-B. (2017). MPC-based Shared Steering Control for Automated Driving Systems. *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, October.

Benloucif M., Nguyen T., Sentouh C., Popieul J.-C. (2017). A New Scheme for Haptic Shared Lateral Control in Highway Driving Using Trajectory Planning. *20th IFAC World Congress*, Toulouse, France

Guo C., Sentouh C., Soualmi B., Haué J.-B., Popieul J.-C. (2016). Adaptive Vehicle Longitudinal Trajectory Prediction for Automated Highway Driving. *2016 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, Gothenburg, Sweden, pp. 1279- 1284, June.

Boussaad Soualmi, (2014), Coopération Homme-Machine pour la conduite automatisée : une approche par partage haptique du contrôle, Thèse de doctorat, Université de Valenciennes.