



Proposition de sujet de thèse

Coopération multi-niveau entre conducteur et véhicule automatisé pour la gestion des situations complexes : application au cas du rond-point

Localisation : LAMIH UMR CNRS 8201, Département d'automatique – UPHF, Valenciennes.

Direction : Jean-Christophe Popieul (Jean-Christophe.Popieul@uphf.fr)
Chouki Sentouh (Chouki.Sentouh@uphf.fr)

Positionnement régional :

- Axe « Véhicules automatisés » et plateforme AV-Lab du CPER RITMEA 2021-2027
- Objectif Stratégique « Véhicules autonomes » de la FR CNRS 3733 TTM

Financement : 50% UPHF, 50% Région Hdf

Contexte scientifique

Les véhicules automatisés circulant actuellement sur les réseaux routiers ne fonctionnent que dans des environnements simples (voies à un sens de circulation) et à des vitesses généralement faibles lorsque le système prend des décisions de façon autonome (changements de voie). Le déploiement à plus grande échelle du véhicule automatisé nécessite l'augmentation des capacités des systèmes à gérer des situations plus complexes (intersections avec différentes règles de priorité et ronds-points notamment) nécessitant par la même de prendre des décisions en temps contraint sur la base des trajectoires prédites des autres véhicules présents dans l'environnement.

Le rond-point non signalisé est réputé pour être parmi les nœuds les plus complexes parce que son franchissement impose premièrement la maîtrise dans une trajectoire de la plupart des manœuvres qu'un véhicule automatisé doit effectuer lors d'une navigation en milieu urbain (e.g., insertion, maintien sur la voie, changement de voie), tout en ayant un déplacement en courbe (non rectiligne) durant la succession des manœuvres. Le second défi du rond-point concerne son volet dynamique : il peut être dense et hétérogènes (e.g., présence de véhicules et/ou de cyclistes), exigeant que le véhicule automatisé anticipe les intentions de ses usagers et réagisse aux situations imprévues en adaptant sa trajectoire.

Pour avancer dans la résolution de ces problèmes complexes, le département Automatique du LAMIH a développé une approche basée sur le contrôle partagé haptique et la coopération conducteur-véhicule multi-niveau qui a démontré sa capacité à gérer des situations fortement contraintes dans un contexte plus simple : l'autoroute (insertion, changement de voie, dépassement, sortie) [1]. Cette même approche a été utilisée dans le cadre du développement d'un système se basant sur des méthodes d'apprentissage progressif pour faire évoluer le comportement de l'automate dans cette même situation [2].

Objectifs de la thèse

L'objectif de cette recherche est d'étendre cette approche à l'environnement complexe qui est le rond-point et ainsi de :

1. Définir une trajectoire à suivre permettant au véhicule automatisé de franchir une intersection tout en respectant le code et la structure de l'infrastructure à franchir. Cette trajectoire sera construite sur

la base de primitives utilisables dans différents contextes (insertion, suivi de voie, changement de voie, sortie ...). Cette trajectoire doit également être réalisable et répondre aux contraintes du véhicule (e.g., accélération/décélération maximales, angle de braquage maximum, ...).

2. Évaluer le risque des éléments dynamiques environnant en utilisant des métriques d'évaluation du risque appropriées afin que le véhicule automatisé puisse naviguer en toute sécurité. Un aspect important de ces métriques est qu'elles doivent prendre en compte une anticipation des trajectoires des véhicules environnants.
3. Prendre des décisions en accord avec les risques ET les intentions du conducteur (intervention en contrôle partagé haptique éventuelle) pour déclencher la transition entre les primitives successives qui constituent la trajectoire globale de franchissement.
4. Garantir la sécurité du système global pendant toute la durée du franchissement

Du point de vue méthodologique, la thèse visera à étendre l'architecture de coopération conducteur-véhicule multi-niveaux développée précédemment au laboratoire [3], [4] pour prendre en considération le cas spécifique du rond-point. Les contributions concerneront la planification de trajectoires (méthodes polynomiales ou champs de potentiel), la prédiction de trajectoires de véhicules de l'environnement (modèles dynamiques de véhicules et éventuellement de conducteurs, reconstruction de variables non mesurables : observateurs, ...), l'estimation du risques (métriques classiques type TIV, TTC, MRAM-CS, ou à définir), la prise de décision (méthodes multicritères ou à base de tests statistiques) et enfin la commande robuste.

Du point de vue applicatif, l'objectif du travail consiste à prototyper, tester et valider les approches développées sur démonstrateur en simulateur de conduite (simulateur SHERPA du LAMIH) et sur véhicule réel (véhicule laboratoire PRIVAC/DS7 et piste d'essais Gyrovia).



Piste d'essais Gyrovia de la technopole Transalley Valenciennes, véhicule laboratoire PRIVAC/DS7 et le simulateur SHERPA du LAMIH

Missions principales

Le travail s'organiserà autour de quatre tâches principales :

- Il convient tout d'abord de définir les situations complexes qui seront abordées dans la thèse (insertion, rond-point, carrefour, ...), les principaux comportements qui feront l'objet d'une adaptation du système (pour la définition des scénarios expérimentaux) ainsi que les monitorings qui conditionneront ces adaptations. L'ensemble permettra d'orienter les choix méthodologiques.
- La 2^{ème} étape vise à développer et à mettre au point un algorithme d'apprentissage progressif basé sur l'exécution de manœuvres en conduite partagée ou manuelle afin d'aboutir à un modèle fin du conducteur dans les situations retenues. Le modèle comportemental de conduite humaine et les résultats de détection des intentions du conducteur sur un horizon temporel déterminé, seront utilisés pour spécifier les différentes stratégies de conduite et manœuvres réalisables par le véhicule automatisé.
- L'objet de la 3^{ème} phase est de développer de nouveaux algorithmes robustes de planification de trajectoire et de contrôle pour la résolution de conflits et l'élaboration de stratégies adaptatives de la conduite du véhicule automatisé. Le passage d'une stratégie à une autre sera fonction d'éléments en

provenance de l'environnement mais également d'indicateurs comportementaux issus de la phase précédente. Les stratégies de conduite et les manœuvres seront implémentées sous forme d'algorithmes robustes de planification locale de trajectoires et de contrôle.

- La 4ème phase vise à intégrer, dans le simulateur dynamique SHERPA-LAMIH, un prototype logiciel du système de contrôle partagé développé. Elle vise également à mettre en place une expérimentation de validation fonctionnelle en condition réelle à l'aide de moyen d'essais (véhicule prototype du laboratoire DS7).

Profil du candidat

Les candidats doivent détenir, ou être sur le point de terminer un diplôme de Master en Automatique, mathématiques appliquées ou équivalent, avec une solide formation théorique et un intérêt pour l'ingénierie des systèmes contrôle-commande. Plus généralement, le candidat retenu devra avoir des compétences en modélisation et contrôle de systèmes complexes, et un fort intérêt pour les systèmes homme-machine et les aspects validations expérimentales. Le candidat doit montrer un fort intérêt à s'engager dans des recherches innovantes de haut niveau. Une bonne maîtrise de l'anglais est nécessaire pour publier et présenter les résultats lors de conférences internationales et dans des revues internationales.

Mots clés

Prédiction/ planification de trajectoires, commande robuste, contrôle partagé, optimisation multi-objectif, apprentissage progressif, coopération homme-machine.

Pour candidater : Merci d'envoyer à Chouki.Sentouh@uphf.fr et Jean-Christophe.Popieul@uphf.fr :

1. CV comprenant votre expérience et vos connaissances professionnelles pertinentes,
2. Lettre de motivation et d'intérêts pour la recherche (avec les coordonnées d'au moins deux personnes de référence), en expliquant pourquoi vous souhaitez poursuivre en doctorat, quels sont vos intérêts académiques, comment ils se rapportent à vos études précédentes et à vos objectifs futurs.
3. Copie du ou des certificats et relevés de notes universitaires de vos établissements universitaires antérieurs.

Après une première phase de sélection, vous serez invité à soumettre votre dossier de candidature sur ADUM. N'hésitez pas à nous contacter pour de plus amples informations.

Références bibliographiques :

- [1] Mohamed Amir Benloucif. Coopération Homme-Machine Multi-Niveau entre le Conducteur et un système d'automatisation de la conduite. PhD thesis, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, avril 2018.
- [2] Mohamed Oudainia. Contrôle partagé adaptatif et élaboration de stratégies de conduite personnalisées pour le véhicule automatisé: une approche par apprentissage progressif. PhD thesis, Université Polytechnique Hauts de France, décembre 2023.
- [3] Sentouh C., Nguyen A.-T., Benloucif M., Popieul J.-C. (2019). Driver-Automation Cooperation Oriented Approach for Shared Control of Lane Keeping Assist Systems. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 27 (5), pp. 1962-1978.
- [4] Benloucif M., Nguyen A.-T., Sentouh C., Popieul J.-C. (2019). Cooperative Trajectory Planning for Haptic Shared Control between Driver and Automation in Highway Driving. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 66 (2), pp. 9846-9857, ISSN 0278-0046.
- [5] M. R. Oudainia, C. Sentouh, A. -T. Nguyen and J. -C. Popieul, "Adaptive Cost Function-Based Shared Driving Control for Cooperative Lane-Keeping Systems With User-Test Experiments," in *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, vol. 9, no. 1, pp. 304-314, Jan. 2024, doi: 10.1109/TIV.2023.3317979.