

Architectures d'Estimation Hybride basées sur l'apprentissage en ligne pour le suivi de véhicule intelligent

Ali Zemouche, Cédric Delattre

Autre encadrant : Redouane Khemmar

Le développement de contrôleurs performants et fiables pour les véhicules connectés et autonomes (CAVs) nécessite la connaissance en temps réel de nombreuses variables. Des exemples de variables nécessaires pour le contrôle sont : distances longitudinales, vitesses et accélérations des véhicules à proximité ; position latérale du véhicule sur sa propre voie ; angle de lacet du véhicule ; angle de glissement ; angle de braquage ; accélération latérale ; et angle de roulis. Il y a aussi des variables environnementales qui doivent être mesurées, comme le coefficient de friction pneu-route, les plaques de neige et la présence d'obstacles inattendus. Mesurer toutes les variables ci-dessous nécessite des coûts très élevés. En effet, certaines de ces variables, telles que les angles de glissement et de roulis, peuvent être très coûteuses, nécessitant des capteurs de plusieurs milliers d'euros. Par exemple, le capteur optique « Datron » qui mesure l'angle de glissement coûte plus de 10k€. De plus, plusieurs variables ne peuvent pas être mesurées en raison de l'absence de capteurs à tout prix.

Un CAV nécessite des capteurs et des actionneurs très fiables. La défaillance d'un capteur, la présence de cyber-attaques ou de manque d'information, peuvent mener à des accidents désastreux. Par conséquent, des modules fiables de diagnostic et de gestion des défauts sont nécessaires. De tels systèmes ne peuvent pas utiliser la redondance des capteurs, qui nécessite un coût élevé. Ces systèmes doivent donc s'appuyer sur des algorithmes d'estimation et une redondance analytique. Pour cela, le développement d'algorithmes d'estimation intelligents est très important.

Dans cette thèse, nous proposerons des idées originales et nous développerons des algorithmes d'estimations efficaces reconstruisant les variables d'état nécessaires pour le contrôle et le diagnostic. Les problèmes considérés sont le suivi de véhicules, l'estimation des défauts de capteurs et d'actionneurs, ainsi que la détection de cyber-attaques. Notre objectif est de proposer une nouvelle approche pour le suivi de véhicules dans les autoroutes ainsi que dans les routes urbaines.

De plus en plus, les algorithmes d'estimation basés sur l'apprentissage en ligne attirent l'attention de la communauté automatique à cause de leur bénéfice et leur force face aux systèmes complexes utilisant de nouvelles technologies de communication, notamment les véhicules autonomes et connectés. Quelques études sur les neuro-observateurs ont été effectuées, par exemple dans [1] où les auteurs disposent d'un modèle précis. Cependant, les schémas de contrôle actuels pilotés par les données, ont démontré l'efficacité des approximateurs dans le contrôle de systèmes sans modèles. Les observateurs neuro-adaptatifs dans un contexte sans-modèle ont été explorés il y a environ deux décennies [2], où les auteurs ont proposé une règle d'adaptation pour l'apprentissage des poids d'un réseau de neurones linéaire en les paramètres (LPNN), qui garantit que l'erreur d'estimation est uniformément bornée. Bien que ce travail ait été adopté dans de multiples applications telles que la robotique, les rotors, ou plus récemment les éoliennes [3], les hypothèses et la théorie inhérentes n'ont guère évolué. Dans la plupart de ces méthodologies, les fonctions d'activation sont considérées comme des fonctions de base radiale, il n'y a pas de bruit de mesure et les garanties théoriques de performance d'apprentissage restent les mêmes. Un travail récent a été proposé dans [4]. Un tel résultat a amélioré de manière significative les travaux

antérieurs de la littérature sur les observateurs neuro-adaptatifs utilisant les données en ligne en utilisant des fonctions d'activation non linéaires. Cependant, le sujet reste encore ouvert jusqu'à présent. Dans un problème de suivi d'un CAV, plusieurs composants du véhicule (par exemple des pneus) ont des modèles très complexes dont les paramètres sont difficiles à obtenir et varient également considérablement avec le temps. Par conséquent, les algorithmes d'estimation standard basés sur des observateurs non linéaires sont vulnérables car ils nécessitent des modèles très précis. Tout au long de cette thèse, nous proposerons des idées originales sur l'estimation, qui est une étape nécessaire et cruciale pour la fiabilité, la résilience et la sécurité des CAVs. Les objectifs généraux de cette thèse consistent à développer des algorithmes d'estimation efficaces pour reconstruire les variables d'état non mesurables, qui sont nécessaires pour concevoir des schémas de contrôle tolérants aux fautes, résilients et fiables pour les CAVs. À cette fin, nous visons à explorer quelques idées sur le développement et l'utilisation des observateurs non linéaires basés sur l'apprentissage. Au cours de cette thèse, nous utiliserons donc une approche de modélisation consistant en une combinaison d'équations différentielles physiquement significatives et de réseaux de neurones adaptatifs basés sur l'apprentissage en ligne pour représenter la dynamique du véhicule. En particulier, des phénomènes bien connus tels que les équilibres des forces, le mouvement mécanique selon les lois de Newton, la traînée aérodynamique, la résistance au roulement, le niveau de la route, les termes d'accélération combinés pour les accélérations latérales et de roulis et l'influence de l'angle d'inclinaison de la route seront modélisés à l'aide d'équations différentielles analytiques. Les modèles de pneus pour les forces latérales et longitudinales, le cercle de frottement, les cartes du moteur et les caractéristiques de rigidité et d'amortissement de la suspension seront modélisés à l'aide de réseaux de neurones dont les poids peuvent être initialement obtenus par entraînement par rétro-propagation. En plus de la formation initiale, les paramètres du modèle pour les réseaux neuronaux et un sous-ensemble de paramètres pour les équations différentielles physiquement significatives seront également mis à jour automatiquement en ligne lors de l'utilisation régulière du véhicule.

References

- [1] J. Theocharis and V. Petridis. *Neural network observer for induction motor control*. [IEEE Control Systems Magazine](#), 14(2) :26–37, 1994.
- [2] H. Young Kim, Frank L. Lewis, and Chaouki T. Abdallah. *A dynamic recurrent neural-network-based adaptive observer for a class of nonlinear systems*. [Automatica](#), 33(8) :1539–1543, 1997.
- [3] Reihane Rahimilarki, Zhiwei Gao, Aihua Zhang, and Richard James Binns. *Robust neural network fault estimation approach for nonlinear dynamic systems with applications to wind turbine systems*. [IEEE Transactions on Industrial Informatics](#), 3203(c) :1–1, 2019.
- [4] A. Chakrabarty, A. Zemouche, R. Rajamani, and M. Benosman. *Robust Data-Driven Neuro-Adaptive Observers with Lipschitz Activation Functions*. In [58th IEEE Conference on Decision and Control, Nice, France](#), 2019.
- [5] R. Rajamani. *Vehicle Dynamics and Control*. New York: [2nd edition, Springer Verlag](#), 2012.