

Thèse Concorde ACAS-XU/NN

Vérification des mécanismes de réseaux de neurones pour les systèmes ACAS-XU.

Septembre 2023

Présentation du sujet

Les systèmes de détection de collision pour le trafic aérien (Traffic Collision Avoidance System, TCAS) sont utilisés dans l'aviation civile depuis plusieurs décennies maintenant et ont permis de réduire considérablement les risques de collisions en vol dans les espaces aériens. Cependant, ces systèmes présentaient plusieurs limitations et sont devenus inadaptés aux technologies émergentes. Les nouveaux systèmes ACAS-X, qui leur succèdent, intègrent donc des fonctionnalités innovantes pour résoudre ces problématiques d'évitement de collision (Collision Avoidance, CA) et de détection et d'évitement (Detect And Avoid, DAA). La définition des systèmes ACAS-X contient deux variantes :

- ACAS-XA dédiée à l'aviation civile et qui remplace les systèmes de détection de collision antérieurs (TCAS/TCAS-II).
- ACAS-XU développée pour les drones qui est plus complexe et présente de nouveaux défis [1] tels que la gestion de l'espace horizontal non pris en compte dans les systèmes ACAS-XA à cause de la dynamique des avions ou encore la gestion d'un trafic non-coopératif.

La logique de décision de ces systèmes est basée sur des modèles de processus de décision markoviens permettant de générer (hors ligne) des tables pour un guidage de manœuvre horizontal et vertical afin d'éviter les collisions. Certaines recherches actuelles sur les systèmes ACAS-XA portent sur la réduction de la complexité des tables générées en les remplaçant par des réseaux de neurones [2, 3]. Ces approches utilisent principalement des réseaux de neurones classiques de type MLP (Multi-Layer Perceptron) pour les besoins de vérification de l'avionique civile. L'utilisation de réseaux de neurones plus complexes tels que les réseaux de neurones récurrents de type LSTM [4] ou GRU [5], plus adaptés aux environnements avec une dynamique, pourraient amener pour les systèmes ACAS-XU de nouvelles perspectives à ces efforts de recherche initiés pour les systèmes ACAS-XA. En particulier, l'intégration de l'apprentissage en-ligne afin de prédire le comportement d'une entité non-coopérative dans le trafic est une piste à explorer. Aussi, les différents algorithmes mentionnés sont

généralement complexes et leur intégration sur des systèmes réels doit être analysée et vérifiée afin de garantir le bon fonctionnement du système [6, 2, 7]. Ainsi, cette thèse devra s’attaquer à la problématique complexe des systèmes ACAS-XU en considérant plusieurs aspects et axes :

- Comprendre et modéliser le fonctionnement des systèmes ACAS-XU afin d’en saisir toutes les spécificités, les différences avec la version ACAS-XA et la génération des tables pour les domaines horizontaux et verticaux ;
- Établir un état de l’art exhaustif sur les méthodes de vérification de systèmes critiques à base de réseaux de neurones ;
- Étendre les approches basées sur les réseaux de neurones classiques proposées pour les systèmes ACAS-XA aux systèmes ACAS-XU et étudier l’intégration de réseaux de neurones récurrents de type LSTM, GRU ou autres.
- Explorer l’intégration de l’apprentissage en ligne pour des réseaux de neurones afin de confronter cette possible solution à la problématique de trafic non-coopératif.
- Fournir les méthodes d’analyse pour envisager la vérification de ces applications ;
- Concrétiser ces travaux par une expérimentation sur un des cas d’étude qui seront élaborés dans le cadre du projet global Concorde.

Encadrement

Les encadrants pressentis sont :

- Claire Pagetti (HDR), ONERA ;
- Xavier Thirioux (HDR), ISAE-SUPAERO ;
- Jean-Baptiste Chaudron, ISAE-SUPAERO ;
- Christophe Garion, ISAE-SUPAERO

Compétences attendues

Le candidat ou la candidate devra posséder un M2 ou un diplôme d’ingénieur dans le domaine de l’informatique ou des mathématiques appliquées. Une expérience en recherche est plus que souhaitable. Des compétences en méthodes formelles pour la vérification et/ou en réseau de neurones seront appréciées.

Démarrage de la thèse

La thèse devra démarrer avant décembre 2023.

Références

- [1] G. Manfredi and Y. Jestin. **An introduction to ACAS Xu and the challenges ahead** 2016 IEEE/AIAA 35th Digital Avionics Systems Conference (DASC), Sacramento, CA, USA, 2016, pp. 1-9.
- [2] M. Damour, F. Grancey, C. Gabreau, A. Gauffriau, J-B Ginestet, A. Hervieu, T. Huraux, C. Pagetti, L. Ponsolle and A. Clavière. **Towards Certification of a Reduced Footprint ACAS-Xu System : A Hybrid ML-Based Solution** Computer Safety, Reliability, and Security - 40th International Conference, SAFECOMP 2021, York, UK, September 8-10, 2021, Proceedings, Lecture Notes in Computer Science, volume 12852, pp. 34-48, 2021.
- [3] A. Clavière, L. A. ambartolomé, E. Asselin, C. Garion, and C. Pagetti. **Verification of machine learning based cyber-physical systems : a comparative study**. In Proceedings of the 25th ACM International Conference on Hybrid Systems : Computation and Control (HSCC '22). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 22, pp. 1–16.
- [4] F. A. Gers, J. Schmidhuber and F. Cummins. **Learning to forget : continual prediction with LSTM**. 1999 Ninth International Conference on Artificial Neural Networks ICANN 99. (Conf. Publ. No. 470), Edinburgh, UK, 1999, pp. 850-855 vol.2.
- [5] K. Cho, B. Merriënboer, C. Gulcehre, D. Bahdanau, F. Bougares, H. Schwenk and Y. Bengio. **Learning Phrase Representations using RNN Encoder–Decoder for Statistical Machine Translation**. In Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP), pages 1724–1734, Doha, Qatar. Association for Computational Linguistics. 2014.
- [6] G. F. Neves, J-B. Chaudron and A. Arnaud **Recurrent Neural Networks Analysis for Embedded Systems**. Proceedings of the 13th International Joint Conference on Computational Intelligence, IJCCI 2021, Online Streaming, October 25-27, 2021.
- [7] Christopher Brix, Mark Niklas Müller, Stanley Bak, Taylor T. Johnson and Changliu Liu **First Three Years of the International Verification of Neural Networks Competition (VNN-COMP)**. CoRR abs/2301.05815 (2023)