

Validation temporelle du réseau embarqué TSN

Laboratoire 1 :	LIAS (https://www.lias-lab.fr)
Établissement 1 :	ISAE-ENSMA
Laboratoire 2 :	LyRIDS (https://www.ece.fr/lecole-2/le-centre-de-recherche/)
Établissement 2 :	ECE (https://www.ensma.fr)
Directeur de thèse :	Frédéric Ridouard
Co-encadrants académiques :	Henri Bauer, Aakash Soni

1 Candidature recherchée

Le ou la candidat(e) doit être titulaire d'un diplôme d'ingénieur ou Master, et avoir de solides compétences en informatique, programmation et architecture. La thèse se déroulera principalement dans les locaux de l'ECE à Paris, avec des séjours au LIAS, ISAE-ENSMA à Chasseneuil du Poitou, site du Futuroscope.

Le dossier de candidature doit être envoyé par courrier électronique **au plus tard le 16/05/2024, minuit**, à frederic.ridouard@ensma.fr et est constitué de :

- Lettre de motivation;
- CV mentionnant explicitement le parcours académique;
- Feuilles de notes des années universitaires mentionnant, si possible, le classement;
- Tout élément jugé utile pour mettre la candidature en valeur.

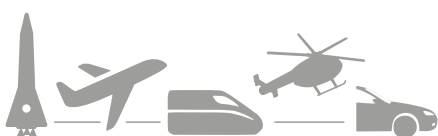
Nous recherchons en particulier :

- Connaissances approfondies en ordonnancement ou réseau embarqués,
- Maîtrise des outils et langages de programmation tels que C/C++, Python...
- Maîtrise du français et de l'anglais, tant à l'écrit qu'à l'oral,
- L'envie d'enseigner et de partager des connaissances.

2 Contexte et problématique

Les architectures des réseaux embarqués ont connu des évolutions importantes dues à l'intégration de technologies Ethernet commuté full duplex. Cette intégration se fait dans différents domaines avec des protocoles spécifiques tels que l'AFDX (Avionics Full Duplex) dans l'avionique ou l'AVB (Audio Video Bridging) dans le domaine de l'automobile. Ces protocoles profitent des performances de l'Ethernet et sont contraints afin de garantir leur déterminisme. Le déterminisme d'un réseau embarqué est pluridisciplinaire. Mais dans le cadre de ces travaux, le déterminisme se traduit par borner le délai de bout en bout de chaque trame du réseau ainsi que la taille maximale des files d'attente.

Le protocole TSN (Time Sensitive Networking) [IEE] est au cœur des développements pour la partie réseau de l'industrie 4.0/5.0. TSN est un ensemble de standards visant à ajouter des caractéristiques temps-réel à Ethernet en fournissant du déterminisme, de la bande passante garantie et de la synchronisation du temps. L'objectif est de permettre aux équipements de production d'être capables de se contrôler, de se configurer et d'échanger des informations entre eux.



Plusieurs méthodes ont été développées pour la validation temporelle des réseaux embarqués :

- Le *Model Checking* permet de déterminer le délai pire cas exact de chaque trame mais cette approche ne peut être appliquée que sur des petites configurations;
- Le *Network Calculus* [LT01] détermine une borne supérieure du délai de bout en bout de traversée du réseau par les trames. Cette borne est garantie mais elle peut être pessimiste. Le *Network Calculus* a été appliquée sur l'AFDX, AVB et TSN;
- Une approche hybride [SSE24] en utilisant les avantages respectifs du *Model Checking* et du *Network Calculus* offre de bonnes perspectives dans l'AFDX;
- *Forward End-To-End Analysis* [Ben+18] a été développée au LIAS. Comme le *Network Calculus*, cette approche calcule une borne supérieure garantie du délai de bout en bout. Elle a été appliquée sur l'AFDX et l'AVB.

3 Problématiques scientifiques

Le réseau TSN est un protocole qui est en cours de finalisation. Les travaux sur la validation temporelle sont peu nombreux. En effet, ce protocole regroupe plusieurs standards et sa modélisation est difficile.

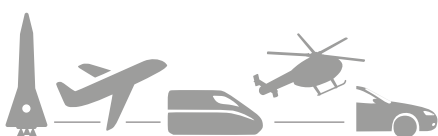
Le *Network Calculus* est l'unique approche de validation temporelle dans le réseau TSN. Par définition, le *Network Calculus* induit du pessimisme dans les bornes sur les délais pire cas qu'il calcule. Ce pessimisme est source de surdimensionnement pour les industriels et doit être limité.

L'objectif de cette thèse est de définir une nouvelle approche de validation temporelle du TSN. Cette nouvelle approche devra minimiser le pessimisme induit par les calculs. Une possibilité est d'étendre l'approche *Forward End-To-End Analysis* au TSN. En effet, il a été démontré que sur l'AFDX, les bornes calculées par cette approche sont moins pessimistes que celles calculées avec le *Network Calculus*. Une autre possibilité est de travailler sur une approche similaire à l'approche hybride sur le TSN.

4 Travaux de la thèse

Le ou la doctorant(e) suivra les différentes étapes de la thèse :

- État de l'art sur le sujet :TSN et les réseaux embarqués et les méthodes de validation temporelle.
 - le protocole TSN;
 - les réseaux embarqués;
 - les différentes méthodes de validation temporelle.
- Définition d'une nouvelle approche
- Déploiement d'une application test, permettant de calculer les délais de bout-en-bout dans un réseau TSN.



Références

- [Ben+18] Nassima BENAMMAR, Frédéric RIDOUARD, Henri BAUER et Pascal RICHARD. « Forward End-to-End Delay for AFDX Networks ». In : *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 14.3 (2018), p. 858-865. doi : [10.1109/TII.2017.2720799](https://doi.org/10.1109/TII.2017.2720799).
- [IEE] IEEE. *IEC/IEEE 60802 TSN Profile for Industrial Automation*. URL : <https://1.ieee802.org/tsn/iec-ieee-60802/>.
- [LT01] Jean-Yves LE BOUDEC et Patrick THIRAN. *Network calculus : a theory of deterministic queuing systems for the internet*. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, 2001. ISBN : 354042184X.
- [SSE24] Aakash SONI, Jean-Luc SCHARBARG et Jérôme ERMONT. « A Hybrid Approach to WCTT Analysis in a Real-Time Switched Ethernet Network ». In : *2024 IEEE 30th Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium (RTAS)*. 2024, p. 161-172. doi : [10.1109/RTAS61025.2024.00021](https://doi.org/10.1109/RTAS61025.2024.00021).

