

## Soutenance de thèse

**Ahmed AMARI** soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA MOIS et intitulée « *Conception et validation d'AeroRing - un réseau de communication Ethernet en double anneau pour les systèmes avioniques de nouvelle génération* » « *Specification and Analysis of AeroRing - A Full Duplex Ethernet Ring Network for New Generation Avionics Systems* »

**Le 21 septembre 2017 à 10h00, salle des thèses ISAE-SUPAERO**

devant le jury composé de

M. Fabrice FRANCES	Professeur Associé ISAE-SUPAERO	
M. Marc GATTI	Directeur de recherche Thales Avionics SAS	
M. Emmanuel GROLLEAU	Professeur ISAE-ENSMA	Rapporteur
M. Jérôme LACAN	Professeur ISAE-SUPAERO	Directeur de thèse
Mme Ahlem MIFDAOUI	Professeur ISAE-SUPAERO	Codirectrice de thèse
Mme Pascale MINET	Chargé de recherche INRIA Paris	Rapporteur

### Résumé

La complexité et le besoin en bande passante des architectures de communication avionique ne cessent de croître avec le nombre des calculateurs et l'expansion des données échangées. La technologie AFDX a été introduite pour offrir des communications haut débit (100Mbps) pour les avions de nouvelle génération. Cependant, ce réseau commuté est déployé de manière entièrement redondante, ce qui conduit à des quantités importantes de câbles, augmentant le poids et les coûts d'intégration. Pour faire face à ces problèmes, on propose dans cette thèse l'intégration d'un réseau Ethernet en anneau comme une solution principale pour diminuer le poids et la complexité liés au câblage. Dans ce contexte, notre objectif est de concevoir et valider un nouveau réseau de communication avionique, AeroRing, basé sur de l'Ethernet Gigabit avec une topologie anneau. Pour atteindre cet objectif, un benchmarking des solutions Ethernet (RTE) les plus pertinentes supportant les topologies anneau vis-à-vis des besoins en avionique a été réalisé, en évaluant en particulier les principaux indicateurs de performance (IP) spécifiés dans CEI 61784-2. Ce benchmarking a révélé que chacune des solutions RTE existantes ne satisfait que certaines exigences, mais qu'il n'y a pas de meilleure solution en termes de toutes les exigences. Par conséquent, nous avons spécifié une nouvelle solution RTE, AeroRing, pour garantir les niveaux requis de performances et de disponibilité, tout en conservant la compatibilité IEEE802.3 et en réduisant les efforts de configuration. Les principales caractéristiques innovantes d'AeroRing sont les suivantes: (i) mécanisme d'accès distribué permettant l'échange simultané de données, pour augmenter la bande passante offerte et l'utilisation des ressources; (ii) un mécanisme distribué de gestion des pannes évitant tout point de défaillance central, ce qui permet de fournir des niveaux de fiabilité et de disponibilité élevés; (iii) communication à base d'événement améliorant la flexibilité du système et diminuant la complexité de l'implémentation, en évitant tout besoin de synchronisation; (iv) Gestion de la Quality of Service prenant en compte des contraintes hétérogènes sur les données, grâce à un algorithme de routage orienté QoS. Pour analyser les effets d'une telle proposition sur les performances temporelles de

l'avionique, nous avons modélisé cette solution en utilisant le formalisme du Calcul Réseau (Network Calculus), en se basant tout d'abord sur des approches itératives existantes pour les topologies anneaux. L'évaluation de performance préliminaire a révélé que ces méthodes conduisent à des bornes excessivement pessimistes, et par conséquent à un passage à l'échelle et une utilisation de ressources limitées. Pour permettre le calcul des bornes maximales plus précises sur les délais de bout en bout, nous avons introduit une nouvelle approche d'analyse globale, Pay Multiplexing Only at Convergence points (PMOC), qui prend en compte les phénomènes de sérialisation de flux, en considérant l'impact des flux interférents seulement aux points de convergence. Les premiers résultats ont mis en évidence l'amélioration des bornes calculées avec notre approche, par rapport aux autres méthodes. Ceci a permis d'améliorer les performances, en termes de passage à l'échelle et d'utilisation des ressources. Par la suite, pour analyser le niveau de fiabilité d'AeroRing, nous avons mené une étude de fiabilité où le niveau de fiabilité d'AeroRing a été quantifié analytiquement, en fonction de plusieurs paramètres. Les résultats obtenus ont montré le niveau de fiabilité élevé d'AeroRing, satisfaisant les exigences de l'avionique. Enfin, la validation d'AeroRing via une configuration représentative d'un réseau de communication avionique d'un A380 a été menée. Les résultats obtenus ont mis en évidence la capacité d'AeroRing à garantir les exigences avioniques, en termes de déterminisme, passage à l'échelle, utilisation des ressources et fiabilité.

## Summary

The inherent complexity and bandwidth requirement of avionics communication architectures are increasing due to the growing number of end-systems and the expansion of exchanged data. The Avionics Full Duplex Switched Ethernet (AFDX) has been introduced to provide high-speed communication (100Mbps) for new generation aircraft. However, this network is deployed in a full redundant way, which leads to significant quantities of wires, and thus increases weight and integration costs. To cope with these arising issues, integrating ring-based Ethernet network in avionics context is proposed in this thesis as a main solution to decrease the wiring-related weight and complexity. In this context, our main objective is to design and validate a new avionic communication network, AeroRing, based on a Gigabit Ethernet and supporting a ring topology.

To achieve this aim, first, a benchmarking of the most relevant Real-Time Ethernet (RTE) solutions supporting ring topologies vs avionics requirements has been conducted, and we particularly assess the main Performance Indicators (PIs), specified in IEC 61784-2. This benchmarking reveals that each existing RTE solution satisfies some requirements better than others, but there is no best solution in terms of all the requirements.

Therefore, we have specified a new RTE solution, AeroRing, to guarantee a high timing performance and availability levels, while keeping the IEEE802.3 compatibility and reducing the configuration efforts. The main innovative features of AeroRing are: (i) distributed access mechanism allowing simultaneous data exchange, to increase the offered bandwidth and resource usage efficiency; (ii) distributed fault management mechanism avoiding any central point of failure, to provide high reliability and availability levels; (iii) event-triggered communication enhancing the system flexibility and decreasing the implementation complexity, through avoiding any need of synchronization; (iv) QoS management handling heterogeneous data constraints, through QoS-aware routing algorithm.

To analyze the effects of such a proposal on the avionics timing performance, we have modeled this solution using the Network Calculus formalism, based on the existing iterative NC approaches supporting ring topologies. Preliminary performance evaluation reveals that these methods lead to overly pessimistic upper bounds, decreasing the network's scalability and resource efficiency.

To enable the computation of tighter end-to-end delay bounds, we have introduced a new global analysis approach, Pay Multiplexing Only at Convergence points (PMOC), which takes into account the flow serialization phenomena along its path, by paying the bursts of interfering flows only at the convergence points. The first numerical results have highlighted the accuracy of our proposed approach, in comparison to conventional methods, which yields enhanced performance, in terms of resource efficiency and network scalability.

Afterwards, to analyze the reliability level of AeroRing, we conduct a dependability study where we analytically quantify the reliability level of AeroRing depending on several aspects. For this, we first describe how we modeled the failures with their occurrence and impact, as well as the AeroRing system model. The models are then built up using Stochastic Active Networks (SANs), a stochastic extension of Petri Nets (PNs). Finally, we highlight the high reliability level of AeroRing under different scenarios through a sensitivity analysis. The obtained results show the high reliability level of AeroRing which meets the Avionics required level.

Finally, the validation of AeroRing through a representative avionics setup of an A380 communication network has been conducted. The obtained results highlight the ability of AeroRing to guarantee the avionics requirements in terms of timeliness, scalability, resource efficiency and reliability.