



Evaluation de performance pire-cas de niveau système en Network Calculus

Soutenance de thèse – GUIDOLIN Damien

13 novembre 2024 à 14h00

Salle des thèses ISAE-SUPAERO, 10 Avenue Edouard Belin, Toulouse

Devant le jury composé de :

- Emmanuel Groleau, Professeur, ISAE-ENSMA, Poitiers, Rapporteur
- Giovanni Stea, Professeur, Université de Pise, Pise, Rapporteur
- Ahlem Mifdaoui, Professeur, ISAE-SupAéro, Toulouse, Examinatrice
- Ludovic Thomas, Chargé de recherche, CNRS, Nancy, Examineur
- Jean-Luc Scharbarg, Professeur, INPT/ENSEEIH, Toulouse, Examineur
- Jean-Yves Le Boudec, Professeur émérite, EPFL, Lausanne, Invité
- Jorn Migge, Technical Chief Officer, RealTime-at-work, Nancy, Invité
- Marc Boyer, Directeur de recherche, ONERA, Toulouse, Directeur de thèse

Résumé

Cette thèse, financée par RealTime-at-Work et l'Association Nationale pour la Recherche Technologique, porte sur l'évaluation de performance pire-cas de niveau système en Network Calculus (NC). L'objectif était de développer la configuration et l'analyse temporelle des systèmes cyber-physiques temps réel. Les travaux ont donc porté sur ces deux axes, qui forment chacun une partie du manuscrit.

Dans la partie configuration, nous nous sommes intéressés à Cyclic Queuing and Forwarding (CQF), un mécanisme issu des normes Time Sensitive Networking (TSN). Brièvement, ce mécanisme divise le temps en intervalles (ou cycles) de durée T (appelé temps de cycle). Tous les messages qui arrivent pendant un cycle sont transmis au cycle suivant. Ainsi, un message traversant h éléments implémentant CQF subit un délai de bout-en-bout compris entre $(h-1)T$ et $(h+1)T$. Afin de compenser les imperfections de synchronisation, un temps de garde S empêche l'émission de tous messages à la fin et au début de chaque cycle. Pour un fonctionnement correct et conforme au standard, il faut donc bien configurer ces deux paramètres. Après avoir proposé un modèle mathématique pour capturer le comportement de CQF, nous avons donné les conditions nécessaires et suffisantes pour calculer les valeurs possibles du temps de garde et de cycle. Aussi, nous avons réalisé un ensemble d'expérimentations afin de montrer l'importance de la configuration de ces paramètres. Enfin, nous avons proposé une méthode pour calculer chacun des paramètres en respectant des propriétés qu'un designer pourrait souhaiter, comme avoir un temps de traversée minimisé. Ces travaux permettent donc une configuration de CQF automatique et efficace, nécessaire pour son adoption. Il serait intéressant par la suite de comparer ses performances avec celles d'autres mécanismes pour en déduire son domaine d'application.

La partie analyse s'intéresse à un exemple industriel de système cyber-physique temps réel. Afin de garantir des contraintes temporelles, il est primordial de pouvoir calculer des délais de bout-en-bout des actions du système. Cependant, la complexité du système et notamment la pluralité des éléments rend la tâche difficile. Notre système comportant un réseau TSN, nous avons privilégié l'utilisation du NC car cette théorie est aujourd'hui une des meilleures pour l'analyse de ces réseaux. Dans un premier temps, nous avons envisagé de combiner plusieurs théories afin de considérer le meilleur de chacune d'elles. Nous avons donc amélioré la compatibilité du NC pour pouvoir utiliser ses résultats sur les réseaux et les combiner avec d'autres théories pour analyser les autres parties du système. Cette amélioration consiste à travailler sur la continuité des courbes de base du NC. Dans un second temps, nous avons aussi proposé des améliorations au NC afin de pouvoir analyser des parties du système avec une seule théorie, réduisant ainsi les problèmes d'interfaçage pour passer d'une théorie à une autre. Ces améliorations incluent une formalisation du modèle de tâches et de chaînes de tâches déclenchées (i.e., les séquences de tâches où la tâche suivante est réveillée par la précédente) en NC, et un moyen d'analyser ce modèle i.e. de calculer des bornes sur les délais. Enfin, nous nous sommes concentrés sur l'analyse temporelle des tâches hébergées sur des hyperviseurs statiques. Ce sont des mécanismes qui créent et exécutent des partitions (ou machines virtuelles). Pour ce faire, nous avons proposé un modèle générique et un moyen de l'analyser. Ces travaux permettent l'analyse non seulement des hyperviseurs mais aussi d'éléments du système qui y ressemblent, comme le mécanisme Time Aware Shaper de TSN. Une série d'expérimentations a été menée pour montrer la précision des bornes.

Tous ces travaux devraient permettre l'analyse de systèmes cyber-physiques temps réel, mais des évaluations numériques restent à mener sur un système tel que celui qui a guidé cette thèse.

Mots clés

Systèmes temps réel, Réseau de données, Calcul réseau, Time-Sensitive Networking, TSN, Ethernet, Ordonnancement de tâches temps réel

Vous êtes invité à rejoindre la web-conférence JITSY via le lien ci-dessous :

Lien sur page web (<https://www.onera.fr/fr/staff/marc-boyer>)