

Rapport sur le mémoire de Monsieur Roberto Medina
intitulé

« Déploiement de Systèmes à Flots de Données en Criticité Mixte pour Architecture Multi-cœurs »

Ce rapport concerne le travail de thèse de M. Roberto Medina, travail effectué sous la direction de M. Laurent Pautet et M. Etienne Borde. Le document de la thèse comprend 175 pages et il est organisé en 9 chapitres. Le sujet traité appartient au domaine des systèmes temps réels et plus précisément les contributions présentées constituent une solution pour l'ordonnancement sur plusieurs processeurs des systèmes temps réel à criticités multiples avec prise en compte des échanges de données entre les tâches.

Le premier chapitre décrit le contexte des travaux en soulignant l'importance actuelle des architectures multicœur et de la criticité multiple. L'auteur résume également les contributions présentées dans la thèse. L'écriture de ce chapitre assure un premier niveau de lecture en s'adressant aux lecteurs sans connaissances poussées en informatique temps réel. Le deuxième chapitre reprend la description du contexte via une présentation plus formelle des systèmes temps réel, en s'adressant à un lecteur avisé qui souhaite acquérir ou consolider ses connaissances dans le domaine des systèmes avec contraintes temporelles. La présentation graduelle des notions en partant des modèles de tâches périodiques, en passant par les propriétés des ordonnanceurs ou par les limites des analyses de systèmes à criticités multiples, montre une compréhension mature et historique des résultats de l'ordonnancement temps réel. Nous apprécions l'écriture précise qui permet à l'auteur de résumer dans ce chapitre vingt ans de littérature temps réel, couvrant les quatre domaines d'intérêt de la thèse : ordonnancement multiprocesseur, prise en compte des contraintes de précédences, satisfaction des contraintes à criticités multiples et modélisation des tâches par des modèles de flots de données.

Nous pouvons également noter que l'auteur montre une excellente compréhension du contexte industriel actuel en détaillant les spécificités liées à chaque domaine comme l'avionique ou l'automobile et en soulignant la place des contraintes temporelles dans la conception des systèmes embarqués.

Le troisième chapitre et le quatrième chapitre sont dédiés à la description du problème à résoudre et, respectivement, à la présentation d'une vue générale de la solution proposée. L'auteur propose une solution complète au problème d'ordonnancement multiprocesseur des systèmes à criticités multiples, tout en assurant la modélisation des échanges de données entre les tâches. Par ses hypothèses multiples, le problème général est évidemment difficile et une bonne identification des principaux problèmes associés y est nécessaire pour comprendre quelles sont les solutions possibles et quels sous-problèmes restent durs. En ajoutant ces deux chapitres, l'auteur prend le risque de perdre son lecteur, mais le cinquième chapitre nous montre clairement que l'exercice était nécessaire. Effectivement, M. Medina nous prépare à la présentation de ses solutions complètes dans les deux chapitres suivant le quatrième chapitre. Le premier problème considéré concerne la proposition d'un algorithme correct et efficace d'ordonnancement pour des systèmes à criticités multiples avec des tâches dont les dépendances de données sont prises en compte. Le deuxième problème est obtenu en ajoutant au premier problème des contraintes supplémentaires comme par exemple les tâches avec périodes multiples ou à criticités

multiples (nombre de criticité supérieur à 2). Le troisième problème adresse l'amélioration de la disponibilité des tâches à criticité basse afin de diminuer leur taux de non-ordonnabilité.

En revenant aux appréciations du troisième chapitre, nous soulignons l'utilisation par M. Medina des travaux existants pour introduire d'une manière intuitive à ses lecteurs les bases de sa solution, tout en montrant une belle connaissance des techniques d'ordonnement des systèmes à criticités multiples (placées à la frontière entre la recherche opérationnelle et l'ordonnement temps réel), et incluant des preuves de complexité pour le premier problème considéré. Communément acceptés comme étant difficiles, souvent les problèmes d'ordonnement temps réel ne "possèdent" pas des preuves de leur complexité et cela souligne la complétude du travail présenté dans cette thèse qui va construire un pont entre les résultats théoriques par la proposition de principes soutenus par des implémentations efficaces.

Détaillée dans le cinquième chapitre, sa solution au problème d'ordonnement considéré en priorité est la toute première de la littérature qui prend en compte des systèmes de tâches avec dépendances. L'élégance de la solution basée sur une propriété de transition sûre démontre une compréhension fine des passages d'un niveau de criticité à un autre niveau de criticité. L'auteur s'appuie sur cette connaissance pour généraliser la notion de l'ordonnabilité à criticités multiples, en lui permettant de poser sa première grande contribution : une méta-heuristique correcte pour un nombre arbitraire (et supérieur à 2) de criticités. La généralisation s'appuie sur une évolution appropriée de la propriété de transition sûre et la preuve de la méta-heuristique sur la notion d'intervalle d'étude propre aux tables statiques des tâches périodiques.

En associant au premier problème considéré une modélisation des fautes, M. Medina propose les tous premiers résultats de notre domaine avec le défi de taille de prendre en compte les possibilités de récupération. A notre connaissance, le modèle présenté dans cette thèse est le premier à prendre en compte également la récupération des tâches à moindre criticité, tout en assurant l'ordonnabilité des tâches les plus critiques. Les garanties assurées pour les tâches moins critiques s'appuient sur le fait que l'heuristique proposée contraint moins les tâches moins critiques que les solutions existantes dans la littérature. Le modèle de fautes est décrit d'abord à l'aide d'un modèle probabiliste, et permet une amélioration de la disponibilité des tâches moins critiques. Ensuite en considérant une solution s'appuyant sur une redondance des tâches, l'auteur montre une amélioration claire des performances des tâches moins prioritaires. M. Medina souligne également que ce type de solution ne lui semble pas toujours réaliste et il propose l'utilisation d'un modèle (m,k) -firm, qui permet la transcription des instances du problème en PRISM et donc conclure sur la disponibilité des tâches moins prioritaires via des simulations.

La thèse comporte également un chapitre dédié au développement des méthodes théoriques présentées précédemment dans la thèse. Ce travail de développement a permis à l'auteur de proposer à la communauté un atelier open source – MC-DAG. Les heuristiques composant la méta-heuristique y se trouvent implémentées et également un générateur d'ensemble de tâches avec des contraintes de précédences. L'atelier contient le tout premier ensemble de benchmarks pour les systèmes de tâches à criticités multiples. Ensemble avec un traducteur vers PRISM, tous les modules forment un atelier complet pour tout chercheur ou chercheuse qui souhaitent tester leurs algorithmes. Nous prédisons que l'atelier va devenir un outil utilisé intensivement par la communauté temps réel.

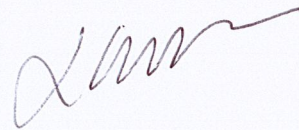
L'auteur complète la présentation de ses travaux par une évaluation numérique de ces heuristiques d'ordonnement. Les conditions de l'évaluation sont bien décrites, permettant une reproductibilité des résultats. L'auteur analyse la sensibilité de ces algorithmes au nombre de tâches, en fonction de la densité des graphes (nombre d'arcs) et de l'architecture, ainsi que les préemptions. L'analyse souligne le recul acquis par l'auteur et également l'important travail dédié à la compréhension des résultats. Ce recul est d'ailleurs la source des perspectives dont M. Medina propose une description dans le dernier

chapitre de sa thèse. Le problème traité ouvre, par sa complexité, des multiples perspectives et si nous devions choisir une, alors le problème de dimensionnement des architectures dédiées aux systèmes à criticités multiples l'emporterait.

M. Roberto Medina démontre dans sa thèse une excellente capacité à proposer des résultats qui nécessitent des solides connaissances appartenant d'une part au domaine de l'ordonnancement temps réel multiprocesseur, d'autre part, à des systèmes à criticités multiples ainsi que la modélisation des données que peuvent échanger les tâches. Son travail complet, qui part des analyses théoriques des résultats existants d'ordonnancement, complétés par des preuves de complexité et d'ordonnabilité, aboutit à des conclusions solides, ouvrant des multiples perspectives de recherche. Ses publications, dont un article à IEEE Real-Time Systems Symposium (RTSS) – conférence phare de notre domaine, assurent une excellente visibilité à ses résultats ainsi qu'à son atelier qui devrait s'imposer rapidement dans la communauté temps réel.

Pour toutes ces raisons j'exprime un **avis très favorable** à la soutenance publique de son travail par M. Roberto Medina.

Fait à Paris, le 18 décembre 2018

A handwritten signature in dark ink, appearing to read "Liliana".

Liliana Cucu-Grosjean, CRCN INRIA, HDR
Responsable de l'équipe Kopernic
INRIA de Paris