

Laurent GEORGE
Professeur à ESIEE Paris
Université Paris-Est Marne la Vallée (UPEM)
LIGM, UMR 8049 CNRS
Cité Descartes, Bâtiment Copernic
5, bd Descartes, Champs sur Marne
77454 Marne-la-Vallée Cedex 2
Email : laurent.George@esiee.fr

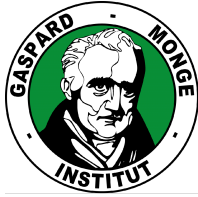
Champs sur Marne, le 18 décembre 2018

Rapport sur le mémoire de thèse de Monsieur Roberto Medina intitulé:
Deployment of Mixed-Criticality and Data-Driven Systems on Multi-core Architectures

Pour l'obtention du grade de Docteur de l'Université Paris-Saclay, école doctorale STIC

Le sujet de thèse de Monsieur Roberto Medina porte sur le problème d'ordonnancement temps réel d'applications de criticités différentes, modélisées par des graphes de flux de données synchrones (SDF) sur une architecture multi-cœur. Les applications sont exécutées par un même exécutif temps réel et partagent les mêmes ressources. Une approche issue de l'état de l'art basée sur un ordonnancement à criticité mixte (Mixed Criticality: MC) est proposée. L'objectif est de mieux utiliser les plateformes multi-cœur que dans les approches classiques multi-critiques proposées dans l'industrie basées sur une exécution à base d'hyperviseur garantissant une isolation spatiale et temporelle des exécutions. Dans l'approche à criticité mixte, il faut maîtriser l'impact des tâches de faible criticité sur les tâches de haute criticité lorsque le système bascule dans un mode d'exécution à haute criticité. Il faut garantir le respect des contraintes temporelles des tâches de plus haute criticité tout en offrant un niveau de qualité de service acceptable pour les tâches moins critiques. Cette approche prend tout son sens dans le contexte des architectures multi-cœur où le rapport entre la durée d'exécution des tâches en pire cas et en moyenne peut être très significatif, conduisant à une sous utilisation en moyenne de la plateforme. Le sujet de thèse s'inscrit dans ce contexte et de ce point de vue, est tout à fait actuel et en phase avec les besoins de l'industrie.

Le mémoire de thèse rédigé en anglais de 174 pages est composé de 9 chapitres, comprenant une introduction et une conclusion, auxquels s'ajoutent la liste des publications réalisées par Monsieur Medina ainsi qu'une bibliographie assez complète.

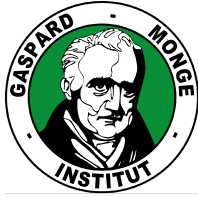


Le chapitre un, intitulé « Introduction » présente clairement le contexte général de la thèse, les principales contributions et propose un résumé des différents chapitres de la thèse.

Le chapitre deux, intitulé « Industrial needs and related works », présente le contexte industriel motivant l'utilisation des architectures multi-cœur pour des systèmes critiques. Le modèle de tâche considéré pour la thèse est le modèle périodique. Une comparaison des approches pour l'ordonnancement monoprocesseur hors-ligne en ligne est proposée. Les approches en-ligne sont rapidement décrites, les résultats énoncés sont valables pour des tâches à échéance contraintes (ce qui mériterait d'être précisé dans la thèse). Le contexte multi-cœur est ensuite envisagé et un rappel des différents facteurs d'expansion (speedup factors) permettant de classer la performance des ordonnanceurs multi-cœur est présenté pour les approches partitionnées et globales. L'approche semi-partitionnée n'est pas présentée, il pourrait être intéressant de la mentionner pour plus de complétude dans l'état de l'art. Un rappel des approches pour le calcul des pires temps d'exécution (WCET) est ensuite proposé avec une justification de la difficulté du calcul d'un WCET en contexte multi-cœur. Le chapitre se poursuit par une présentation du modèle à criticité mixte et des principaux algorithmes d'ordonnancement associés. La dégradation de la performance des tâches moins critiques est un problème inhérent au modèle. Le modèle de gestion des tâches de faible criticité en cas de passage en criticité haute du système est celui consistant à arrêter les tâches de faible criticité (modèle MC-Discard). Ce qui peut poser un problème de disponibilité et ne pas être acceptable pour un système critique. L'objet de cette thèse est à la fois d'apporter des solutions à ce problème et quantifier la disponibilité des tâches de faible criticité.

Le chapitre trois intitulé « Problem statement » détaille le problème considéré dans cette thèse. Le modèle à criticité mixte classique suppose des tâches indépendantes. L'objectif de cette thèse est de considérer des modèles plus riches où il existe des contraintes de dépendance entre les données produites par les tâches en contexte multi-cœur. Un des premiers apports de ce chapitre est de montrer que le problème d'ordonnancement MC avec contrainte de précédence entre les tâches reste NP-difficile (le problème MC avait été prouvé NP-Difficile dans l'état de l'art). Le second est de bien caractériser les limites de l'approche MC: pas de quantification de la disponibilité des tâches de basse criticité ni pas de prise en compte de contraintes de dépendance. Le chapitre suivant a pour objectif d'apporter des solutions à ces problèmes.

Le chapitre quatre intitulé « Contribution overview » présente un aperçu des contributions majeures de la thèse à savoir la proposition d'une méta-heuristique dénommée MH-McDAG pour l'ordonnancement préemptif MC de graphes de tâches avec des données dépendantes dans le cas de deux niveaux de criticité. Cette méta heuristique construit une table d'ordonnancement statique basée sur la laxité des tâches (à un instant t , la laxité est la différence entre l'échéance absolue d'une tâche et le temps de fin d'exécution de la tâche si l'on décidait de l'exécuter sans interruption à l'instant t). Pour améliorer la disponibilité des tâches de basse criticité, il leur est permis de s'exécuter lorsque les tâches de haute criticité ne consomment pas tout leur WCET de haute criticité.

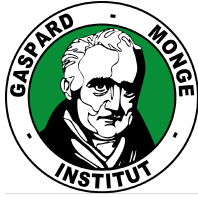


Une généralisation au cas d'un nombre arbitraire de niveaux de criticité est ensuite proposée. Le chapitre se poursuit par une caractérisation du taux de succès des tâches de basse criticité basée sur la probabilité de défaillance des tâches. La présentation des résultats est un peu rapide. Les modèles de faute, de défaillance pourraient être mieux précisés. Le modèle weakly-hard est notamment abordé sans réelle explication. De même, les hypothèses retenues concernant les plateformes (homogènes avec des coûts de communication entre les coeurs supposés inclus dans le WCET des tâches) apparaissent un peu au fil de l'eau et mériteraient une section dans ce chapitre, plus formelle, reprenant l'ensemble des hypothèses et modèles retenus pour la thèse.

Le chapitre cinq intitulé « Scheduling MC-DAGs on Multi-core Architectures » constitue une des contributions principales de la thèse. L'objectif de ce chapitre est de proposer différentes solutions au problème d'ordonnancement MC de graphe de tâches avec des contraintes de dépendance dans le cas de deux niveaux de criticité LO et HI. L'ordonnancement générique G-ALAP proposé construit une table d'ordonnancement en mode LO et en mode HI, à partir d'un ordonnancement au plus tard des tâches de haute criticité pour donner plus de chance aux tâches LO de s'exécuter. Une application aux ordonnanceurs G-LLF et G-EDF est ensuite proposée. L'originalité de la solution est de caractériser une propriété que doit respecter tout ordonnanceur G-ALAP pour garantir que tout changement de niveau de criticité du système de la criticité LO à la criticité HI peut toujours se faire sans compromettre l'ensemble des échéances des tâches. La solution suppose que les tâches HI s'exécutent toujours avec leur durée pire cas. L'ordonnancement G-ALAP est ensuite généralisé au cas d'un nombre arbitraire de niveaux de criticité. Le travail présenté est significatif, les solutions détaillées sont originales.

Le chapitre six intitulé « Availability on data-dependent Mixed-Criticality systems » s'intéresse à la mesure du taux de disponibilité des tâches LO dans le cas où les tâches LO sont arrêtées (modèle MC-Discard) lors d'un changement de criticité du système du mode LO au mode HI. L'originalité de ce chapitre est de caractériser une modèle de faute probabiliste pour estimer la fréquence d'arrêt des tâches LO ainsi qu'une condition permettant de réintégrer les tâches LO lorsque la criticité du système peut revenir au mode LO. Ce chapitre caractérise le pessimisme de l'approche MC-Discard de part le fait que les tâches exécutées en dernier dans la table d'ordonnancement LO ont un plus faible taux de disponibilité en cas de passage d'une criticité LO vers une criticité HI. L'originalité de la solution proposée est de laisser les tâches non impactées par un changement de criticité se terminer. La solution s'appuie sur une approche basée sur un automate parallèle probabiliste pour déterminer si une tâche a pu se terminer normalement ou si un dépassement de la durée d'exécution en mode LO pour une tâche HI s'est produit. L'approche développée est particulièrement intéressante et innovante.

Le chapitre sept intitulé « Evaluation suite: the MC-DAG framework » s'intéresse au problème de conception d'un outil de génération non biaisé de graphes de tâches sous contraintes de dépendance. La génération de scénarios de tests donnant à des résultats significatifs est un vrai sujet. Il est à noter que l'outil développé est proposé à la communauté sous la forme d'un logiciel libre de droit. Cet



outil combine différentes approches issues de l'état de l'art et permet de mesurer le taux d'acceptation des tâches LO ainsi que le nombre de préemptions des solutions développées dans la thèse et des solutions issues de l'état de l'art.

Le chapitre huit intitulé « Experimental evaluation » conduit une évaluation expérimentale très détaillée de la performance des algorithmes proposés dans la thèse ainsi qu'une comparaison avec les algorithmes issus de l'état de l'art. Un nombre intéressant de paramètres est étudié en particulier: le taux d'acceptation des flux sur une plateforme multi-cœur, pour différents profils de DAG et différents niveaux de criticité. La performance des algorithmes est tout d'abord proposée dans le cas d'un seul DAG puis dans le cas de plusieurs DAG. Le travail réalisé est intéressant et bien mené.

Le chapitre neuf intitulé « Conclusion and Research Perspectives » présente une conclusion très détaillée de l'ensemble des travaux réalisés dans la thèse et propose quelques perspectives intéressantes aux travail réalisé.

Les travaux présentés dans cette thèse sont particulièrement riches, intéressants et les résultats présentés traitent du problème d'ordonnancement multi-cœur de manière très fouillée. Ces travaux correspondent à une vraie problématique scientifique et industrielle liées à l'utilisation efficace des architectures multicœur. La pertinence des résultats ainsi que le soin apporté à la rédaction des solutions proposées font de cette thèse un travail remarquable.

Les travaux réalisés ont déjà été positivement évalués dans le cadre de quatre conférences internationales dont une conférence de rang A+ et une conférence de rang A. Je suis donc **très favorable** à la soutenance de Monsieur Roberto Medina pour l'obtention du grade de Docteur de l'Université Paris-Saclay.


Laurent GEORGE