

4.2. PETA-MC_

Titre du projet : Probabilistic Energy and Timing Analysis of Data Flow Applications on Multi-Core Processors

Porteur du projet : Sébastien LE NOURS

Etablissement : Université de Nantes, Polytech Nantes

Laboratoire : IETR (UMR 6064), équipe SysCom

Laboratoire étranger associé : OFFIS e.V. (STEMMER Ralf, GRUTTNER Kim, FAKIH Maher)

Mots clés : Systèmes embarqués ; Vérification et optimisation des propriétés quantitatives ; Systèmes multicœurs ; Outils de simulation et de modélisation.

Verrous scientifiques ou technologiques : A l'issue de ce projet, nous avons validé la pertinence des modèles développés pour l'étude des propriétés temporelles des systèmes multicœurs. Cette pertinence a été démontré au travers des différents éléments développés (modèles, plate-forme d'expérimentation, cas d'étude).

Etat : Le projet a débuté le **02/05/2019** et la date de fin intervient le **01/05/2020**.

Nature des mobilités : Un séjour a été financé pour M. Hai-Dang VU, doctorant, du 3 au 23 novembre 2019, à Oldenburg, Allemagne

Impact de la collaboration internationale : Au cours du projet, les différents séjours ont favorisé les échanges entre partenaires et la mise en place d'une plate-forme d'expérimentation et de cas d'étude. Chaque partenaire dispose ainsi d'une plate-forme d'expérimentation similaire ce qui favorise le travail collaboratif. Nous avons pu également partager nos connaissances dans le domaine de la modélisation et de la simulation des systèmes multicœurs basées sur SystemC. A l'issue de ce projet, nos résultats ont été publiés dans deux conférences internationales et un rapport de recherche a été rédigé. Ce projet a été poursuivi dans le cadre du projet PETA-MC2

4.2.1. Résumé du projet :

Le contexte de l'Internet de objets conduit à la définition de systèmes électroniques fortement intégrés et embarquant des ressources logicielles toujours plus complexes. Dès lors, la validation du logiciel embarqué est fondamentale afin de garantir le respect des exigences fonctionnelles et extra-fonctionnelles telles que le respect des contraintes de temps et de consommation. L'analyse des architectures matérielles et logicielles au plus tôt du processus de conception est donc essentielle afin de garantir des cycles de conception maîtrisés.

Cependant, la vérification des propriétés quantitatives (temps, consommation) des logiciels exécutés sur des plates-formes multicœurs est une tâche complexe. Les approches basées sur la simulation et les méthodes formelles présentent des limitations pour des systèmes de grande échelle. Notre travail vise à étendre les possibilités actuelles de vérification en considérant l'adoption de modèles et de techniques de simulation probabilistes. Le résultat attendu porte sur un environnement d'expérimentation afin de proposer, valider et améliorer des techniques d'analyse statistique pour les systèmes multicœurs. Les principales contributions au cœur de cet environnement sont (1) une démarche de mesure et d'inférence statistique pour la caractérisation en temps et en consommation des composants des architectures matérielles-logicielles et (2) un simulateur intégrant des méthodes statistiques pour l'analyse des propriétés temporelles du logiciel applicatif. Nous évaluerons nos résultats vis-à-vis de mesures sur des prototypes réels avec des expériences pour différentes configurations de plates-formes. L'efficacité de l'approche sera évaluée vis-à-vis de la complexité des architectures analysées, de la précision des estimations et du temps d'analyse. A terme, le projet PETA-MC délivrera des résultats utiles pour permettre l'adoption des méthodes probabilistes d'analyse dans les flots de conception au niveau système.

4.2.2. Résultats scientifiques du projet :

4.2.2.1. Résumé

Les partenaires du projet ont collaboré afin d'établir et de valider un environnement de modélisation et de simulation de systèmes multicœurs. Les différents résultats obtenus sont :

1. Une plate-forme d'expérimentation a été réalisée sur une carte à base de FPGA. Cette plate-forme comporte sept cœurs de processeurs communicants au travers d'un bus et d'une mémoire partagés. Une infrastructure de mesure a été développée afin de permettre le relevé des temps de calcul et de communication des programmes exécutés. Cette plate-forme a été utilisée afin d'étudier deux cas d'étude du domaine du traitement d'images.

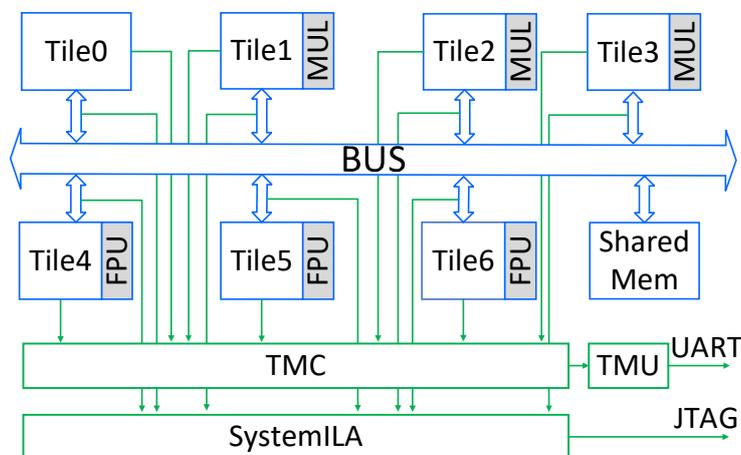


Figure 8. PETA-MC : Illustration de la plate-forme d'expérimentation construite, formée de sept cœurs de processeurs (Tile) et d'une infrastructure de mesure pour le relevé des temps de communication et calcul.

2. Différents modèles probabilistes ont été développés dans le langage SystemC afin de permettre l'analyse des propriétés temporelles pour différents cas d'étude et différentes allocations des programmes sur la plate-forme multicœur. Par suite, ces modèles ont pu être comparés avec les résultats de mesure obtenus sur cible réelle.
3. Nous avons évalué la pertinence des modèles développés avec d'autres modèles couramment utilisés dans notre domaine. Nous avons ainsi quantifié les niveaux de précision atteints et les temps d'analyse nécessaires. De plus, la scalabilité de notre approche a été évaluée en considérant différents niveaux de complexité des configurations étudiées.

Les résultats obtenus valident pleinement la pertinence de l'approche avec des niveaux de précision de l'ordre de 7% obtenus en simulation (pour les pires cas d'exécution et les cas moyens) et comparés à des exécutions sur cible réelle. Les temps de simulation obtenus sont inférieurs à 1 heure pour 1 million d'itérations, ce qui représente une amélioration significative par rapport à une exécution sur cible réelle. Également, nous avons observé que l'approche développée passe correctement à l'échelle, et ce en considérant un système construit autour de sept cœurs de processeurs.

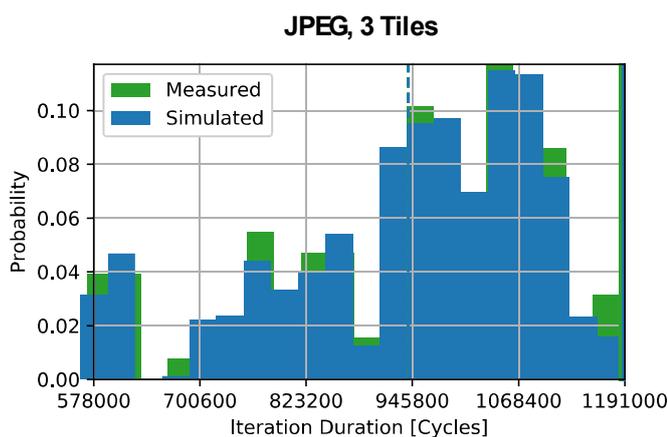


Figure 9. PETA-MC : Illustration des résultats obtenus par les modèles développés dans le cadre du projet PETA-MC en comparaison avec les mesures sur cibles réelles.

4.2.2.2. Les publications réalisées :

Ralf Stemmer, Hai-Dang Vu, Kim Grüttner, Sébastien Le Nours, Wolfgang Nebel, et al.. Experimental Evaluation of Probabilistic Execution-Time Modeling and Analysis Methods for SDF Applications on

MPSoCs. *International Conference on Embedded Computer Systems: Architectures, Modeling, and Simulation (SAMOS XIX)*, Jul 2019, Samos, Greece. paper #28. [\(hal-02115121\)](#)

Ralf Stemmer, Hai-Dang Vu, Kim Grüttner, Sébastien Le Nours, Wolfgang Nebel, et al.. Towards Probabilistic Timing Analysis for SDFGs on Tile Based Heterogeneous MPSoCs. *10th European Congress on Embedded Real Time Software and Systems (ERTS 2020)*, Jan 2020, Toulouse, France. #paper 59. [\(hal-02305048\)](#)

Ralf Stemmer, Hai-Dang Vu, Maher Fakh, Kim Grüttner, Sébastien Le Nours, et al.. Feasibility Study of Probabilistic Timing Analysis Methods for SDF Applications on Multi-Core Processors. [Research Report] IETR; OFFIS. 2019. [\(hal-02071362\)](#)

4.2.2.3. Dissémination :

Les travaux menés dans le cadre de cette collaboration ont été présentés en France et en Allemagne, dans le cadre de différentes actions menées par chaque partenaire : la journée de la science organisée par OFFIS à Oldenburg, journée de présentation des activités de recherche à l'entreprise MicroChip à Nantes.

4.2.2.4. Equipement et ressourcement

Ce projet ne dispose pas de subvention d'équipement ou de ressourcement.