

# Accélération matérielle du calcul par intervalles et son application à la robotique mobile

Sujet de thèse de Pierre Filiol

9 janvier 2022

Les progrès incessants en matière de Robotique résultent de synergies entre différents domaines scientifiques : mathématiques, automatique, algorithmique (distribuée ou non), intelligence artificielle, électronique, informatique etc. L'avènement de plateformes matérielles bas coût à vocation généraliste a par ailleurs dopé l'ensemble de la discipline : la démocratisation de l'usage des microcontrôleurs (Arduino, Raspberry Pi, Pic, Avm, Stm32 etc) a notamment contribué de manière significative à l'émergence d'un nombre croissant de démonstrateurs permettant de valider ces progrès. Toutefois, cet effet d'aubaine a ses limites : la robotique moderne requiert la mise en oeuvre de puissances de calcul conséquentes, sur de grandes quantités de données, ainsi que la coordination d'activités complexes. La nécessité de penser en terme de co-conception logicielle-matérielle s'impose désormais à l'ensemble de la discipline [dVCd21].

Le sujet présenté ici vise à faire émerger de nouvelles solutions de conception en matière d'accélération matérielle pour le calcul par intervalles [JKDW01], appliqué au domaine spécifique de la robotique. Pour rappel, le calcul par intervalles permet de contenir la dérive de la précision intrinsèque à tout calcul numérique sur les flottants. C'est là un outil clé en matière de Robotique, car il permet de préserver la possibilité de raisonner de manière fiable sur des données (positions, vitesses, angles, etc) naturellement imprécises ou entachées de telles erreurs de calculs. Différentes bibliothèques logicielles de calcul par intervalles sont à la disposition des chercheurs depuis longtemps [Nim15]. Malgré leur efficacité, elles se révèlent peu portables d'une cible à une autre, et se prêtent mal à la parallélisation et l'accélération matérielle. Le travail envisagé dans cette thèse doit permettre à terme de gagner en flexibilité et en performance. Inspirée par d'autres disciplines (multimedia [CZK<sup>+</sup>09], telecommunication, [CMH<sup>+</sup>14]), notre approche consiste à définir un flot de conception spécifique au domaine : élaboration d'un DSL (domain-specific language, [NHW14]) et compilation vers une cible de type ASIP (application-specific integrated processor [KL11], [GLGVP06]). Le recours à un DSL permet à la fois de simplifier l'expression d'un problème en élicitant les concepts fondamentaux du domaine en question (ici la satisfaction de contraintes), et à élaborer des schémas de compilation appropriés. Selon nous, cette voie n'a pas reçu une attention suffisante de la part de la communauté robotique [FBC13]. La cible ASIP offre quant à elle un compromis raisonnable entre programmabilité et performance : il s'agit d'un processeur à jeu d'instructions réduits, à usage généraliste, augmenté d'instructions dédiées. L'avènement de jeu d'instructions libres de droits comme le mouvement RISC-V est un garant supplémentaire de pérennité de notre solution.

Notre approche peut être validée sur le cas de la localisation et cartographie simultanées (SLAM, [LBBSJ10]) : en équipant une meute de robots de tels processeurs ASIP, on devra démontrer leur capacité à fusionner les informations émanant de différents capteurs et à se colocaliser.

## Références

- [CMH<sup>+</sup>14] Xiaolin Chen, Andreas Minwegen, Syed Bilal Hussain, Anupam Chattopadhyay, Gerd Ascheid, and Rainer Leupers. Flexible, efficient multimode mimo detection by using reconfigurable asip. *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, 23(10) :2173–2186, 2014.
- [CZK<sup>+</sup>09] Jeronimo Castrillon, Diandian Zhang, Torsten Kempf, Bart Vanthournout, Rainer Leupers, and Gerd Ascheid. Task management in mpsocs : An asip approach. In *Proceedings of the 2009 International Conference on Computer-Aided Design*, pages 587–594, 2009.

- [dVCd21] Edson de Araújo Silva, Eduardo Valentin, Jose Reginaldo Hughes Carvalho, and Raimundo da Silva Barreto. A survey of model driven engineering in robotics. *Journal of Computer Languages*, 62 :101021, 2021.
- [FBC13] Marco Frigerio, Jonas Buchli, and Darwin G Caldwell. A domain specific language for kinematic models and fast implementations of robot dynamics algorithms. *arXiv preprint arXiv :1301.7190*, 2013.
- [GLGVP06] Gert Goossens, Dirk Lanneer, Werner Geurts, and Johan Van Praet. Design of asips in multi-processor socs using the chess/checkers retargetable tool suite. In *2006 International Symposium on System-on-Chip*, pages 1–4. IEEE, 2006.
- [JKDW01] Luc Jaulin, Michel Kieffer, Olivier Didrit, and Eric Walter. Interval analysis. In *Applied interval analysis*, pages 11–43. Springer, 2001.
- [KL11] Kingshuk Karuri and Rainer Leupers. *Application analysis tools for ASIP design : application profiling and instruction-set customization*. Springer Science & Business Media, 2011.
- [LBBSJ10] Fabrice Le Bars, Alain Bertholom, Jan Sliwka, and Luc Jaulin. Interval slam for underwater robots ; a new experiment. *IFAC Proceedings Volumes*, 43(14) :42–47, 2010.
- [NHW14] Arne Nordmann, Nico Hochgeschwender, and Sebastian Wrede. A survey on domain-specific languages in robotics. In *International conference on simulation, modeling, and programming for autonomous robots*, pages 195–206. Springer, 2014.
- [Nin15] Jordan Ninin. Global optimization based on contractor programming : An overview of the ibex library. In *International Conference on Mathematical Aspects of Computer and Information Sciences*, pages 555–559. Springer, 2015.