

2023 年度年次報告書
社会変革に向けた ICT 基盤強化
2022 年度採択研究代表者

小島 拓也

東京大学 大学院情報理工学系研究科
助教

機密性と完全性を保証する先鋭的な再構成システムの設計手法

研究成果の概要

粗粒度再構成可能ハードウェア CGRA はプログラム可能な演算器が 2 次元配列状に配置された構造を持ち、データフローグラフで表現されたアプリケーションをこれらの上に配置配線することで効率的な計算を実現する。この処理はマッピングと呼ばれる。また、高速に動的再構成可能である CGRA の特性を最大限に活用するために、マッピングでは計算リソースの空間的な割り当てだけでなく、スケジューリングなどの時間的な割り当てでも同時に考慮する必要がある。エッジ端末と比べ、クラウドなどの計算機に求められる演算器アレイの規模は大きく、これに伴いマッピングの最適化はより困難なものになる。そこで、本研究では演算器アレイの規模に対してスケーラブルなマッピング手法を提案した。マッピング時間に一定の制約を設けた際に、提案手法は従来手法と比べ 100 倍以上の演算器を持つ CGRA に対してもマッピングできることを示した。さらに、アプリケーション中の演算が時空間的に CGRA 上で実行されるため、アプリケーションデバッグが困難であった。この問題に対処するために、データフローの可視化技術を開発した。

さらに、CGRA は完全準同型暗号の処理を高速化するハードウェアとして期待される。完全準同型暗号上でのアプリケーションを容易に開発できるように、暗号処理の実装を抽象化したドメイン固有言語(DSL)がこれまでに提案されていたが、ハードウェアレイヤの抽象化は議論が進んでいなかった。そこで、CGRA や FPGA、GPU などのアクセラレータの詳細を隠蔽する新たな抽象化レイヤを提案した。これによって、既存の DSL で記述されたアプリケーションを用いて、対象ハードウェアに特化したチューニングをせずとも対象のハードウェアアクセラレータで高速な処理が可能となる。本年度は有効性の検証に、市販されている GPU を用いたが、今後は CGRA 向けに拡張する。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Makoto Saito, Takuya Kojima, Hideki Takase, Hiroshi Nakamura, "ILP Based Mapping for Elastic CGRAs", 2023 IEEE 29th International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications (RTCSA), Niigata, Japan, 2023, pp. 281-282.
- 2) 齋藤真, 小島拓也, 高瀬英希, 中村 宏, "Elastic CGRA 向けのスケーラブルなマッピング手法", 信学技報, vol. 123, no. 390, VLD2023-106, pp. 42-47, 2024 年 2 月.
- 3) Makoto Saito, Takuya Kojima, Hideki Takase, Hiroshi Nakamura, "A Data-Flow Visualization for CGRA Debugging." IEICE Proceedings Series 80.P-25 (2024).
- 4) 野崎愛, 小島拓也, 中村宏, 高瀬英希, "MLIR を用いた GPU 向け準同型暗号コンパイラ", 研究報告システム・アーキテクチャ (ARC), 2024.31 (2024): 1-7.
- 5) Takuya Kojima, Yosuke Yanai, Hayate Okuhara, Hideharu Amano, Morihiro Kuga, Masahiro Iida, "SLMLET: A RISC-V Processor SoC with Tightly-Coupled Area-Efficient eFPGA Blocks", IEEE Symposium on Low-Power and High-Speed Chips and Systems (COOL Chips 27), Japan, April, 2024.