

氏名	IMAN FIRMANSYAH		
学位の種類	博士（工学）		
学位記番号	博甲第9400号		
学位授与年月日	令和2年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	OpenCL-based design methodologies for FPGA implementation (FPGA 実装を対象とした OpenCL 記述による設計方法)		
主査	筑波大学 教授	工学博士	朴 泰祐
副査	筑波大学 教授	博士（工学）	安永 守利
副査	筑波大学 教授	工学博士	丸山 勉
副査	筑波大学 准教授	博士（工学）	山口 佳樹
副査	東京大学 准教授	博士（工学）	埴 敏博

論文の要旨

審査対象論文「FPGA design based on a new OpenCL modeling (OpenCL モデルに基づく FPGA 設計に関する研究)」は、計6章で構成されており、各章の内容は以下の通りである。

第1章では、FPGA 開発における問題点を議論するにあたり、高位合成言語と低合成言語の違いについて述べている。審査対象論文は題目の通り、OpenCL 言語という高位合成言語による FPGA 開発方法について論述したものである。そこで、研究背景を含めこの目的の重要性を紹介し、次章以降の論文の課題と構成を紹介している。

第2章では、本論文中で用いる OpenCL 言語について述べている。そして、高位合成言語と FPGA で採用している細粒度アーキテクチャとの隔たりについて述べ、設計容易性だけでなく演算性能を高めるという観点での高位合成言語の利用について、現在の技術課題について整理している。

第3章では、FPGA システム構築時に問題となることの多いメモリアクセスに着目し、OpenCL 記述による性能向上手法について議論を行っている。姫野ベンチマークをテストベンチとして、最適化を適用しない直接記述、ループアンローリング、ブロッキングを伴うモジュール化による実装など提案し、その影響について調査をしている。

第4章では、複数 FPGA への拡張利用について述べている。OpenCL の持つメモリ階層構造に着目し、PCIe バスで接続されている1~4枚の FPGA ボードを用いた行列積について高位記述言語でどのように記述するかについて議論し、実証実験により、その演算性能の変化について明らかにしている。

第5章では、入出力に対する要求がより強い組み込みシステムについて述べており、信号処理分野における FPGA 利用を考慮し、開発方式だけでなく、生成信号の精度や速度など応用可能性についても検討を行っている。

第6章では、各章で得られた結論を総括している。

審 査 の 要 旨

【批評】

審査対象論文は、FPGA 上の演算回路およびそれを組み込んだ演算システム開発が年々困難になっているという問題に対し、高位記述言語を利用するという観点から、その開発容易性と演算性能のバランスについて検証を行ったものである。

まず、標準的な FPGA 開発手法である HDL（ハードウェア記述言語）による実装と審査対象論文で対象とする OpenCL などの高位記述言語の特徴を明らかにし、これらを組み合わせたシステム開発において、入出力部の制御および調整が問題となることも指摘した。続いて、FPGA における高速化について、演算器を複数配置することによる並列計算と、動作周波数の向上によるパイプライン計算を紹介し、OpenCL 記述により設計が難しい内容について実証実験を通じて議論し、必要とされる記述について調査した。特に、同じ並列度であっても、データ受け渡しにおけるモジュール間の接続や中間データの格納方法により、演算性能に大きな違いがでることを考察し、I/O channel を応用した直接接続方式により全般的に性能を向上させることを提案し、提案を用いた実証実験によってその考察を裏付け、その内容について明らかにした。また、大規模 FPGA だけでなく、組み込みシステムで用いられる小規模 FPGA への利用についても述べ、実証実験における信号処理における演算速度や信号精度などの検証を基に、OpenCL による入出力制御とそれによる組み込みシステムへの応用可能性について述べている。そして、これらの検証を通して、FPGA 設計における OpenCL 言語による設計の効果についてまとめている。

【最終試験の結果】

令和2年2月4日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。