

RISC-V 量子拡張の参照実装と マイクロ波制御量子ファームウェアの開発

～ OSS による量子コンパイラ基盤と量子コンピューターのための 制御機構への取り組み～

1. 背景

現在、量子ネイティブな開発環境として、量子オペレーションと古典オペレーションの記述がシームレスに表現できる言語はほとんど存在していない。量子アプリケーション・プログラムを開発しようとする、プログラマは、アセンブラ言語を使っているかのようなプログラミングを強いられている。このような状況を改善するべく、様々な量子プログラミング言語が今後開発されると想定されるが、現時点では量子プログラミング言語を開発するためのプラットフォームもない。

また、量子コンピューターの実用化には、様々な技術領域のエンジニアが関わる必要があるが、現在では、ハードウェアに関連する分野での商業的なアクティビティは非常に少ない。特に量子ミドルウェア層の開発では、日本は世界から大幅に出遅れている。ミドルウェア開発ができる経験豊富なエンジニアがいたとしても「量子」という特性に馴染みがなく、自身の専門知識が量子コンピューターに役立つと気づいていないケースが多い。

2. 目的

背景にあるような「量子プログラミング言語」の課題、「量子ファームウェア」の人材適用の課題を解決するために、本プロジェクトでは、RISC-V 量子拡張を定義して、「量子コンパイラ」「量子プロセッサシミュレーター」「量子ファームウェア」を開発する。更に、それらの検証プログラムも開発し、動作検証を行う。量子プログラミング言語を開発しやすくするプラットフォームと、プログラマブルで扱いやすい量子ファームウェアを開発することで、より高度な量子コンピューター・アーキテクチャの実現に貢献する。また、非量子分野のエンジニアが量子ミドルウェアの開発ができることも示し、より多くのエンジニアが量子情報の分野に関わる契機を与えることも期待している。

3. ソフトウェア開発内容

1) RISC-V 量子拡張の参照実装「量子プロセッサシミュレーター」

オープンソースライセンスである RISC-V の標準拡張機能を利用して、量子ゲートの命令セットを定義し、量子拡張として参照実装として実装した。量子プロセッサシミュレーターは、量子コンパイラでコンパイルしたプログラムが動作するための実行環境である。量子レジスタを備え、誤り耐性のある量子計算が行える量子ゲート命令セットを解釈して、量子計算をシミュレートする機構を開発した。

2) RISC-V 量子拡張に対応した「量子コンパイラ」

量子計算機のための全く新しい仕組みを 1 から構築するのではなく、今まで莫大な蓄積がある古典計算機のプログラミング開発基盤を量子へ拡張することによって量子計算機の実行環境を開発した。本開発により「量子コンパイラ」がこれまで“存在しない状況”から“存在する状況”となった。また、コンパイラ最適化などの、古典における既存の効率化の技術をそのまま量子へ活用できる可能性も効果として期待できる。

3) マイクロ波制御のための「量子ファームウェア」

量子コンパイラで生成した実行形式ファイルを実行する量子プロセッサシミュレーターと連携して、量子ビット操作や読み出しのマイクロ波パルスを生成・発振する処理系を GNU Radio で開発し、古典コンピュータ上で動作する機構を開発した。

4. 新規性・優位性

- ・既存の計算機のコンパイラ、マイクロ波制御の技術者にとって理解しやすく、量子分野への参入や開発がしやすくなることが期待できる。

- ・コンパイラ最適化などの、古典における既存の効率化の技術をそのまま量子へ活用できる可能性がある。

- ・計算機をスケールした際に高い性能を発揮することは歴史的に見て非常に困難な課題だが、現代のアーキテクチャはそのような競争を生き抜いたものである。そのアーキテクチャを踏襲しつつ、量子に拡張することは、量子計算機のアーキテクチャとして提案する上でも有力な方法の 1 つである。

5. 期待されるユーザー価値と社会へのインパクト

「量子コンパイラ」「量子プロセッサシミュレーター」「量子ファームウェア」の開発は世界的

には類似コンセプトの研究開発もあるが、本開発が、それらと異なる独自性を主張できる点は、全く新しい仕組みを構築するのではなく、今まで莫大な蓄積がある古典計算機のコンパイラやマイクロ波制御の枠組みを、量子へ拡張することによって量子計算機の開発環境を作ることにある。

6. 氏名（所属）

山崎 清仁(有限会社ジェイズコア)

新里 祐教(GMO インターネット株式会社)

今村 謙之(インターステラテクノロジズ株式会社)

開発ブログなど： <https://quantum.siprop.org/>

コミュニティ：

（情報共有） <https://openql.slack.com/> （※招待制）

（勉強会） <https://openql.connpass.com/>

ソース公開： <https://github.com/openql-org/>