第24部

分散型量子計算のネットワーク応用技術

Rodeny Van Meter, 永山 翔太

AQUAワーキンググループでは、量子コンピューティングと量子通信のシステムに関する研究を行っている。量子情報処理システムには既存のコンピューティングや通信システムの応用が可能であり、AQUAワーキンググループは、既存のコンピュータアーキテクチャ、ネットワーキング、分散処理技術を応用することで、量子情報処理システムが抱えるスケーラビリティ上の問題を解決することを主な目的としている。AQUAの活動は、ムーアの法則が限界に達した後の情報処理技術の長期的発展に貢献する。

2011年度の主な研究開発活動を以下に列挙する。

■ 量子リピータネットワークの基盤論理
ネットワークの基板論理技術として、エンタングルメントスワッピングとエンタングルメント精製を扱う量子リピータにおけるスケーラビリティのあるプロトコル状態遷移機械の開発とオペレーション定義を行った。また、不均質な量子ネットワークにおける経路選択の研究を行い、量子ネットワークではDijkstraアルゴリズムを既存のネットワークで利用されているように使うことはできないが、広帯域なネットワークでは利用可能であることを確かめた[86, 87]。

■ 再帰的量子リピータネットワークアーキテクチャ
量子ネットワークにおける、不均質な大規模ネットワークを構成する小規模ネットワークを、自律的に制御するアーキテクチャを開発した。これにより、小規模ネットワーク内で完結する通信には大規模ネットワーク全体の情報は必要なく、効率的な経路選択やエンタングルメントスワッピングが可能となる[88]。

■ 量子ネットワークコーディング
量子ネットワークコーディングを、現実的に可能なパラメータを利用して検証した。量子ネットワークコーディングはNIIの小林らによって研究されているが理想的な環境を想定しており、本研究では実際の大規模ネットワークで想定される環境を利用した。

■ Surface Code量子符号
Surface Code量子符号を利用してある符号距離の論理量子ビットを符合するにあたり、従来より少ない数の物理量子ビットで同じ符号距離の論理量子ビットを符号するできる"lattice surgery"と呼ばれる手法を開発した[89]。また、量子計算チップを生産する際には不良量子ビットが必ず発生すると考えられており、不良量子ビットが存在する場合にも稼働するSurface Codeについての研究を行なっている。

■ コンパイラとリソース管理
量子回路の等価性の検証や最適化を支援する手法であるQuantum Picturalismの、トポロジカル量子符号への応用手法を開発した[90]。また、計算リソースへ量子情報変数を効率的に割り当てる手法として、Graph embeddingを利用する手法を開発した[91]。一つのアーキテクチャのモデルに最適した足し算アルゴリズムを開発した[92]。また、量子ゲートをマイクロ量子ゲート（cf.マイクロオペレーション）に分解する際に、効率的に分解する手法を開発した。

■ 教育活動
2月に大阪大学において、Surface Code量子符号を利用した量子計算のチュートリアルとワークショップを行った[*1]。計算素子を研究する物理学者を対象としており、小規模

＊1　http://www.soi.wide.ad.jp/class/20110030/

量子コンピュータへの実験へ繋がるものである。また、量子情報を紹介／説明するアニメーションを作成し、慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスOpen Research Forumにおいて公開した[*2]。

量子ネットワーキングプロトコルに関する論文は、AINTECのBest Student Paperに選ばれた[86]。より詳しい内容は、2011年度報告書DVDに収められた2011年度活動報告書を参照して欲しい。2012年度にも、コンピュータアーキテクチャ／ネットワークアーキテクチャの面から量子情報システムの研究開発を継続していく予定である。

＊2　http://aqua.sfc.wide.ad.jp/ORF2011/ORF2011-teaching-videos.html.