

革新的な量子情報処理技術基盤の創出
2019 年度採択研究者

2021 年度
年次報告書

鈴木 泰成

日本電信電話(株) コンピュータ&データサイエンス研究所
研究員

ヘテロジニアスな設計と制御に基づく誤り耐性量子計算

§ 1. 研究成果の概要

本課題では実用的な規模の誤り耐性量子計算を実現するべく、設計や周辺ソフトウェアの構築と最適化を行う。本研究の計画は、誤り耐性量子計算の各技術レイヤにおける性能ベンチマークや実装の緻密化を行う1つ目のステップと、得られた実装やベンチマークをもとに機能に応じてレイヤを超えて最適化した設計を提示する2つ目のステップに分けられる。

2021年度は引き続き誤り耐性量子計算の特に上位レイヤを評価するソフトウェアを実装し、2020年度までの成果と合わせ誤り耐性量子計算のフルスタックな性能評価やリソース推定を可能にした。評価においては状態ベクトルを用いた標準的な手法に加えて、符号の評価、符号におけるエラー伝播の評価、論理命令のスループットの評価など、目的に応じ適したソフトウェアを開発した。特に状態ベクトルを用いたシミュレータについては単一のノードにおける倍精度計算において世界最高速を実現し[1]、多くの研究で活用されている。また、所与のハミルトニアン基底エネルギーを計算する量子回路を設計、合成するツールを構築し、定めた誤り耐性量子計算機の命令セットにコンパイルするアプリケーション評価のたたき台も構築した。

上記を用いた評価を活用し、2021年度には現実的な制約や量子計算を活用するアプリケーションやアルゴリズムの傾向に基づいた量子計算の復号設計の緻密化と最適化に取り組んだ。今年度採択された成果としては、単一磁束量子回路を用いることで、超伝導量子ビットが要求する現実的なスループットと電力で誤り訂正符号のエラー推定を行う装置[2]を提案した。また、量子ビットの不足から符号距離が十分でない誤り訂正において、符号空間で誤り抑制を組み合わせて低コストに誤りを抑制する手法を提案し、数十%の量子ビットの削減を実現する手法[3]を提案した。その他の成果についても、2022年度の論文化に向けた作業を実施している。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Yasunari Suzuki*, Suguru Endo*, Keisuke Fujii, Yuuki Tokunaga, “Quantum Error Mitigation as a Universal Error Reduction Technique: Applications from the NISQ to the Fault-Tolerant Quantum Computing Eras”, PRX Quantum 3, 010345 (2022) (*: equal contribution)
- 2) Yasunari Suzuki, Yoshiaki Kawase, Yuya Masumura, Yuria Hiraga, Masahiro Nakadaï, Jiabao Chen, Ken M. Nakanishi, Kosuke Mitarai, Ryosuke Imai, Shiro Tamiya, Takahiro Yamamoto, Tennin Yan, Toru Kawakubo, Yuya O. Nakagawa, Yohei Ibe, Youyuan Zhang, Hirotsugu Yamashita, Hikaru Yoshimura, Akihiro Hayashi, Keisuke Fujii, “Qulacs: a fast and versatile quantum circuit simulator for research purpose”, Quantum 5, 559 (2021)
- 3) Yosuke Ueno, Masaaki Kondo, Masamitsu Tanaka, Yasunari Suzuki, Yutaka Tabuchi, “QECool: On-Line Quantum Error Correction with a Superconducting Decoder for Surface Code,” 2021 58th ACM/IEEE Design Automation Conference (DAC), pp. 451-456 (2021)