

Divide-and-Conquer アプローチを用いた変分量子計算における 量子状態の再構成精度と求解特性

Reconstruction Fidelity for Ansatz State in Divide-and-Conquer Approaches with Variational Quantum Algorithms

東京農工大¹、東京大²

○三木司¹、沖田涼¹、津嘉山大輔¹、白樫淳一¹、今井浩²

¹Tokyo University of Agriculture & Technology, ²The University of Tokyo

○T. Miki¹, R. Okita¹, D. Tsukayama¹, J. Shirakashi¹, and H. Imai²

E-mail: s212646r@st.go.tuat.ac.jp

変分量子アルゴリズムは、誤り訂正機能をもたないゲート型量子計算機を活用できる最も有望な手法の1つである。中でも、Variational Quantum Eigensolver (VQE)では、適当なパラメータ θ で特徴づけた変分量子状態 $|\psi(\theta)\rangle$ を用いることでハミルトニアン H の固有状態を近似できる[1,2]。現在利用可能な量子計算機が有する量子ビット数は限られており、実社会の問題解決にはより豊富な量子リソースを要する。近年、大規模な問題を量子計算機で実行可能なサイズの問題に分割し、各演算結果から元の解を推定する Divide-and-Conquer 法が注目されている[3]。これまで我々は、量子回路の分割処理から元の量子状態を推定する Multi-Device-Partitioning Quantum State Reconstruction (MDP-QSR)を提案し、分割数の上昇に対し組合せ最適化問題の求解精度が上昇することを確認した[4]。今回は 27 量子ビット計算機”ibm_kawasaki”を使用し[5]、量子状態の再構成精度の観点から VQE の求解特性を検討することで回路の分割数と演算精度の関係を明らかにする。

図 1 に MDP-QSR による Divide-and-Conquer 法を適用した VQE の求解フローを示す。組合せ最適化問題の解候補を固有状態にもつ変分量子回路を異なる量子計算機上に分割実装し基底測定を行う。ここで各プロセッサから得られた量子状態は、複数の解候補が重ね合った状態となっている。これらを元に分割前の量子状態を推定し、問題の解を得る。本実験では、分割前の状態 $|\varphi(\theta)\rangle$ と再構成された量子状態 $|\psi(\theta)\rangle$ の内積 $\langle\varphi(\theta)|\psi(\theta)\rangle$ を Fidelity F と定義し、MDP-QSR での量子状態の再構成精度を Infidelity $I=1-F$ により評価した。ibm_kawasaki を含む 2 台および 4 台の量子計算機に変分量子回路を分割実装した結果、それぞれの Infidelity は0.036、0.022となり、より大きい分割数の場合に精度が向上した。さらに、分割数の上昇に対して、組合せ最適化問題の1つである Max-Cut 問題の正答率も同様に向上することが確認された。以上から、より多くの分割を要する大規模な問題に対し、MDP-QSR は高精度に量子状態を再構成できることが示唆された。

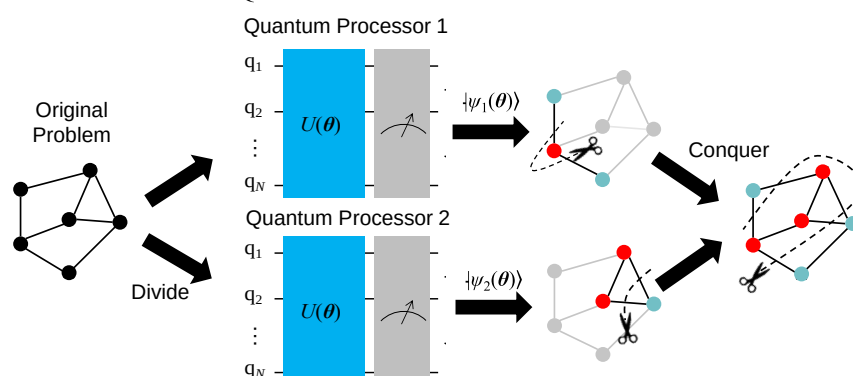


Fig. 1 Divide-and-conquer approach with MDP-QSR for variational quantum algorithms.

References

- [1] A. Peruzzo, J. R. McClean, P. Shadbolt, M. H. Yung, X. Q. Zhou, P. J. Love, A. Aspuru-Guzik, and J. L. O'Brien, Nat. Commun. 5 (2014) 4213.
- [2] T. Miki, R. Okita, M. Shimada, and J. Shirakashi., 2021 IEEE International Conference on Manipulation, Manufacturing and Measurement on the Nanoscale (3M-NANO) (2021) 214.
- [3] J. Li, M. Alam, and S. Ghosh, arXiv:2102.13288 (2021).
- [4] 三木司、沖田涼、米田優里、島田萌絵、白樫淳一、第 82 回応用物理学会秋季学術講演会、12p-S101-10 (2021)
- [5] IBM Quantum, "https://quantum-computing.ibm.com/" (2022).