

ゲート方式量子計算機(IBM-Q)を用いた Variational Quantum Eigensolver による組合せ最適化 Variational Quantum Eigensolver with IBM's Quantum Computers

東京農工大 [○]三木司、島田萌絵、沖田涼、白樫淳一

Tokyo University of Agriculture & Technology

[○]T. Miki, M. Shimada, R. Okita, and J. Shirakashi

E-mail: s197706y@st.go.tuat.ac.jp

Noisy Intermediate-Scale Quantum Devices (NISQ)とは、誤り訂正を行わないゲート方式量子計算機である。NISQ を有効に活用する手段として古典計算機とハイブリッドさせた量子/古典アルゴリズムが研究されており、Quantum Approximate Optimization Algorithm (QAOA)[1]や Variational Quantum Eigensolver (VQE)[2]が提案されている。QAOA は組合せ最適化問題[1]、VQE は量子化学計算[2]で主に使用され、特に VQE は近い将来、量子化学計算で古典計算機を上回るとされる[2]。そこで、量子計算機のシミュレータを用いた VQE を組合せ最適化問題にも応用する動きが近年見られる[2,3]。これまで我々は、論理ゲートを用いたイジング方式の計算機による組合せ最適化を行ってきた[4]。本研究では、IBM Quantum Experience [5]に公開されている量子計算機(IBM-Q)を用いた VQE により Max-Cut 問題を解くことで、実際の量子計算機での VQE の演算特性を検討した。

本研究では量子計算機用の SDK である Qiskit を用いて、5 量子ビットからなる量子計算機 IBMQ_Santiago [5]にアクセスした。図 1 に本システムの概要を示す。本実験では、古典計算機(CPU)上に用意された量子回路シミュレータで最適化された変分回路を、IBM-Q に実装されている Quantum Processor Unit (QPU)で実行する。まず、QPU シミュレータにて $|\psi_0\rangle = |00\cdots 0\rangle$ に初期化した量子ビットに変分回路(Ansatz) $U(\theta)$ [3]を実行し、 θ でパラメータ化された量子状態 $|\psi(\theta)\rangle$ を生成する。次に、量子状態 $|\psi(\theta)\rangle$ に対するハミルトニアン H の期待値 $\langle\psi(\theta)|H|\psi(\theta)\rangle$ が計算され、CPU は変分原理に従って期待値が減少するような θ を探索し、新たなパラメータを QPU シミュレータの各回転ゲートにセットする。これを N 回繰り返すことでパラメータ θ が変化し、変分回路 $U(\theta)$ はハミルトニアン H の固有空間におけるエネルギーの低い状態を出力するよう最適化される。最後に、WebAPI を用いて IBM-Q にアクセスし、最適化された変分回路 $U(\theta)$ を実行することで問題の解を得る。本システムを用いて 5 ノードの完全グラフを有する Max-Cut 問題を解いた結果、IBM-Q は 95.8%の確率で最適解を出力した。以上より、誤り訂正機能を持たない量子計算機を組合せ最適化問題のソルバーに応用できる可能性が示唆された。

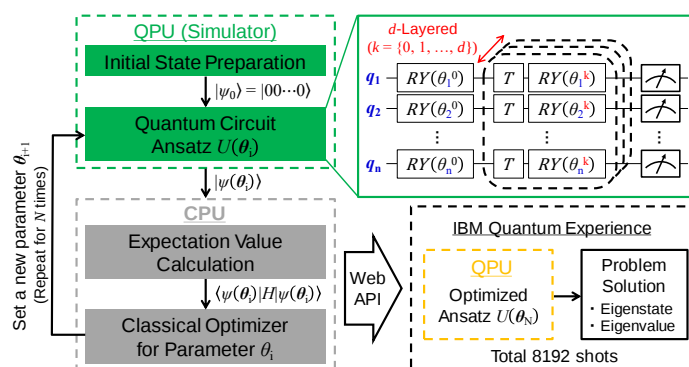


Fig. 1 Outline of the variational quantum eigensolver with IBM's quantum computer.

References

- [1] E. Farhi, J. Goldstone, and S. Gutmann, arXiv:1411.4028v1 [quant-ph] (2014).
- [2] N. Moll et. al., Quantum Sci. Technol. 3 (2018) 030503.
- [3] G. Nannicini, Phys. Rev. E 99 (2019) 013304.
- [4] T. Miki, M. Shimada, and J. Shirakashi, Conf. Proc., IEEE Int. Conf. on Design & Test of Integrated Micro & Nano-Systems (IEEE-DTS) (2020) 1.
- [5] IBM Quantum Experience, "https://quantum-computing.ibm.com/" (2016).