

ゲート型量子計算機を用いた Quantum Approximate Optimization Algorithm の実装

Quantum Approximate Optimization Algorithm using Quantum Processor Unit

東京農工大 [○]沖田涼、三木司、島田萌絵、白樫淳一

Tokyo University of Agriculture & Technology

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

E-mail: s183219w@st.go.tuat.ac.jp

現在のゲート型量子計算機は、誤り訂正を行わない Noisy Intermediate-Scale Quantum device (NISQ)と呼ばれている。NISQ では緩和時間やゲートエラー等の制約から、大規模な回路を実行することが困難であるため、小規模な Quantum Processor Unit (QPU)での計算と古典計算機(CPU)での計算を組み合わせた量子・古典ハイブリッドアルゴリズムが注目されており、量子化学計算[1]や、組合せ最適化問題[2]等への応用が報告されている。これらのアルゴリズムの1つとして、変分原理と量子断熱計算に基づいて組合せ最適化問題の求解を行う、Quantum Approximate Optimization Algorithm (QAOA)[2]が提案されている。主に数値計算を用いた研究[3]によって、問題設定や回路のパラメータ等に対する演算特性が明らかになりつつあるが、NISQ を活用するためには実際のQPUを用いた場合の演算特性についても知る必要がある。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]。今回は、QPUを用いて実装したQAOAによる組合せ最適化問題の解探索について検討を行った。

本研究では、量子計算用のOSSフレームワークであるQiskit上で利用できるシミュレータを用いて変分パラメータの最適化を行い、IBM Quantum Experience[5]からアクセスできるIBM QをQPUとして用いた。図1はQPUを用いたQAOAアルゴリズムの概要である。まず、シミュレータ上で初期状態 $|+\rangle^{\otimes n}$ に対してユニタリ変換 $U_C(\gamma)$ および $U_X(\beta)$ を交互に p 回ずつ作用させる。シミュレータは、生成されたパラメータ付き量子状態 $|\psi(\gamma, \beta)\rangle$ に対する射影測定の結果から各計算基底についての確率分布を出力する。得られた確率分布に対して、CPU上で解きたい最適化問題をマッピングしたハミルトニアン H についての期待値を計算し、変分原理に従い期待値が減少する方向に変分パラメータ (γ, β) を更新する。このプロセスを期待値が極小値に到達するまで繰り返し、その時点での変分パラメータを用いてIBM Q上で回路を実行し解を得た。今回は、5ノードのランダムグラフに対するMax-Cut問題をハミルトニアン H としてマッピングしQAOAを実行した。エッジ確率50%のランダムグラフセットについて $p=1$ の回路による実験を行った結果、最適解に対する近似比は0.95となった。また、異なるトポロジーやエッジ確率を持つ問題についてもパラメータを適切に与えることで、さらなる近似比の向上が期待される。以上より、誤り訂正を行わないQPUに実装されたQAOAを組合せ最適化問題の解探索へと応用できる可能性が示唆された。

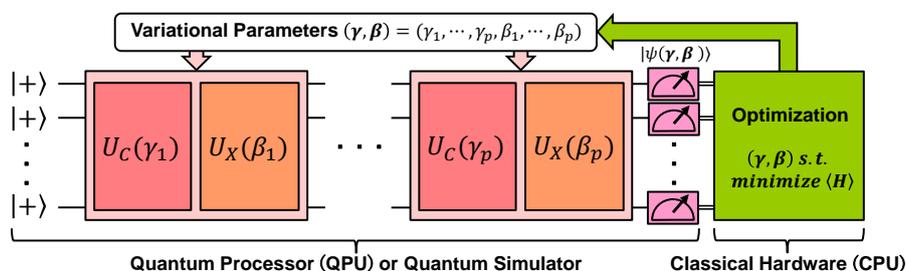


Fig. 1 Implementation of quantum approximate optimization algorithm with quantum processor unit.

References

- [1] A. Peruzzo et al., Nat. Commun. 5 (2014) 4213.
- [2] E. Farhi, J. Goldstone, and S. Gutmann, arXiv:1411.4028v1 [quant-ph] (2014).
- [3] L. Zhou, S.T. Wang, S. Choi, H. Pichler, and M.D. Lukin, Phys. Rev. X 10 (2020) 021067.
- [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).