

固有値問題の求解に向けた変分量子回路の構成と 量子コンピュータによる演算特性の検討

Variational Quantum Circuits for Eigenvalue Problem Using 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

量子計算技術の分野ではゲート方式量子計算機が注目されており、今ではクラウド上で誰もが使用可能となるまで発展している[1]。現在使用できる量子計算機は誤り訂正機能を持たないため、限られた規模の量子回路を有効活用するアルゴリズムが必要であった。そこで、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提案され、その1つに Variational Quantum Eigensolver (VQE)がある[2,3]。VQE では、パラメータ付き変分量子回路を古典計算機上で最適化することで、ハミルトニアン H の固有値を最小にする固有状態を生成できる。ここで使用する変分量子回路をどのような量子ゲートの組合せで構成するかにより、VQE のパフォーマンスは大きく変化する[4]。そのため、ハミルトニアン H にマッピングされた問題に対して適切に変分量子回路を構成することは重要である[3-5]。今回は、実際の量子計算機上で実装された VQE を用いて Max-Cut 問題を解いた際に、変分量子回路の構成が演算特性に与える影響について検討した。

本実験では、古典計算機上でシミュレートされた Quantum Processor Unit (QPU)を用いて最適化した変分量子回路を、IBM Quantum Experience [1]に公開されている量子計算機(IBM-Q)で実行した。はじめに、 θ でパラメータ化された変分回路 $U(\theta)$ を QPU シミュレータ上に用意する。次に、変分回路 $U(\theta)$ が生成する状態と解きたい問題の解が対応するよう、古典計算機に実装された最適化アルゴリズムが θ を決定する。最後に、最適化された変分回路 $U(\theta)$ を実際の QPU で実行するため、WebAPI を用いて IBM-Q にアクセスした。図 1 に、本実験で使用した変分量子回路を表す。はじめに、各量子ビットが $|0\rangle$ と $|1\rangle$ の2値をとれるよう Y 軸周りの回転ゲート $Y(\theta)$ を用意する。他にも、 Z 、 X 軸周りの回転ゲート $Z(\theta)$ 、 $X(\theta)$ を組み合わせた回路[3]が使用される場合もある。次段では、量子もつれ状態の生成が VQE の演算特性に与える影響を検討するため、制御 NOT ゲートによる entangling circuit と、回転ゲート T による no entangling circuit の2種類の回路を用意した[4]。これらを指定した層数繰り返し、最後に Z 基底の測定を行う。実際に、IBM-Q に実装された VQE を用いて5ノードの Max-Cut 問題を解いた結果、no entangle circuit がより高い精度で解を出力した。entangle circuit では演算精度は落ちる一方、複数の最適解が縮退した量子状態を生成することが可能であった。以上より、VQE における変分量子回路を適切に選択することで、組合せ最適化問題を効率的に求解できると考えられる。

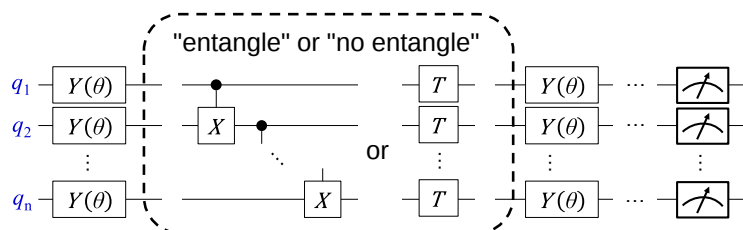


Fig. 1 Variational quantum circuit based on single-qubit rotation gates $Y(\theta)$ interleaved by entangling or no entangling operations.

References

- [1] IBM Quantum Experience, "https://quantum-computing.ibm.com/" (2016).
- [2] A. Peruzzo et al., Nat. Commun. 5 (2014) 4213.
- [3] A. Kandala, A. Mezzacapo, K. Temme, M. Takita, M. Brink, J. M. Chow, and J. M. Gambetta, Nature 549 (2017) 242.
- [4] G. Nannicini, Phys. Rev. E 99 (2019) 013304.
- [5] N. Moll et. al., Quantum Sci. Technol. 3 (2018) 030503.