

量子プロセッサを用いた量子リザーバーコンピューティングにおける 測定オブザーバブルの検討

Influence of Observables on Quantum Reservoir Computing Using Quantum Processor

東京農工大 ○萩原大貴、大岡忠昌、田中雄大、三木司、白樫淳一

Tokyo University of Agriculture & Technology

○D. Hagiwara, T. Ooka, Y. Tanaka, T. Miki, and J. Shirakashi

E-mail: s189315t@st.go.tuat.ac.jp

現在のゲート型量子計算機は誤り訂正機能を持たない Noisy Intermediate-Scale Quantum (NISQ) device と呼ばれている。近年、NISQ の応用先の 1 つとして量子リザーバーコンピューティング (Quantum Reservoir Computing: QRC)[1]が注目を集めており、先行研究[2]では、NISQ に実装した浅い量子回路と古典的に付加した再帰結合を組み合わせることで QRC を実装した。このような浅層回路が生成した量子状態は、複数のオブザーバブルにより測定することで QRC の性能向上が可能と報告されている[3]。これまで我々は、NISQ 上の小規模な量子回路及び古典計算機による期待値のフィードバックを利用した QRC を実装してきた[4,5]。今回は、各 Qubit に対する複数のオブザーバブルの期待値を測定することでその性能向上を図った。

本研究では、IBM Quantum[6]からアクセス可能な量子プロセッサを利用した。図 1 に我々の提案する QRC の概要を示す。まず、Timestep t における入力時系列データから量子ゲートの回転角 θ を決定し、量子回路を生成する。次に、各 Qubit に対して複数のオブザーバブルの期待値を測定し、得られた期待値の重み付き線形和としてシステムの出力を得る。重みの学習には線形回帰を用いた。また、ここで得られた期待値は古典的な再帰結合として次の Timestep での回転角 θ へフィードバックされる。これに対し、Timestep $t+1$ での入力時系列データを加えた情報から回転角 θ が決定される。以上を繰り返すことで時系列データのパターン認識を行う。シミュレータ上で実装した 5-Qubit の QRC に対し、Short Term Memory (STM)タスク及び Parity Check (PC)タスクを実行し、STM Capacity (STMC)及び PC Capacity (PCC)を算出することにより、その短期記憶及び非線形性の評価を行った。この結果、各 Qubit に対する Z 基底測定のみを行った場合、STMC と PCC はそれぞれ 2.20、0.404 であった。一方で、各 Qubit に対する Z 基底に加え X 基底測定も用いた場合、STMC と PCC はそれぞれ 2.57、1.15 であった。以上より、1 つの量子回路から各 Qubit に対する複数のオブザーバブルの期待値を測定するという簡便な方法により、NISQ を用いて実装した QRC の性能向上が可能であることが示唆された。

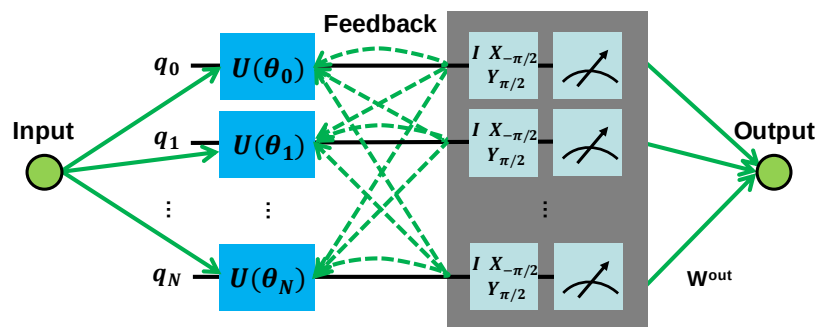


Fig. 1 Schematic of quantum reservoir computing using real quantum processor.

References

- [1] K. Fujii and K. Nakajima, Phys. Rev. Appl. 8 (2017) 02430.
- [2] S. Dasgupta, K. E. Hamilton, P. Lougovski, and A. Banerjee, arXiv:2004.08240v5 [q-fin.RM] (2021).
- [3] R. Martínez-Peña, J. Nokkala, G. L. Giorgi, R. Zambrini, and M. C. Soriano, Cogn. Comput. (2020) 1.
- [4] 渡部、沖田、三木、小山、白樫、第 68 回応用物理学会春季学術講演会 19p-Z34-17 (2021).
- [5] 大岡、清川、沖田、坂井、三木、白樫、第 82 回応用物理学会秋季学術講演会 12p-S101-14 (2021).
- [6] IBM Quantum, “<https://quantum-computing.ibm.com/>” (2021).