

時系列情報処理のための時間遅延入力を用いた量子リザーバー Quantum Reservoir with Time-Delayed Inputs for Time-Series Data Processing

東京農工大学¹、東京大学²

○川名部美桜¹、津嘉山大輔¹、金刺拓海¹、白樫淳一¹、渋谷哲朗²、今井浩²

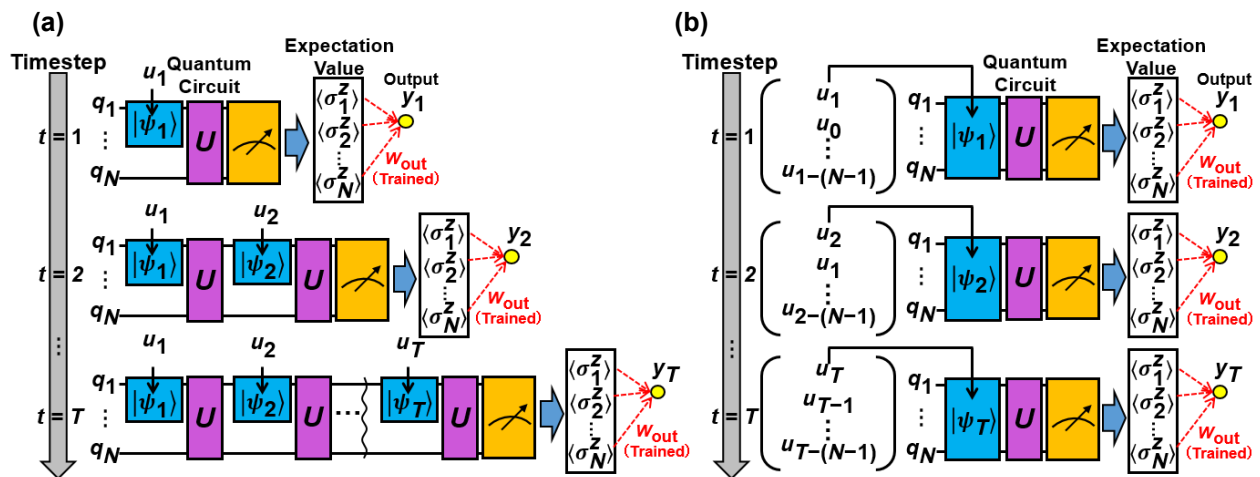
Tokyo University of Agriculture & Technology¹, The University of Tokyo²

○M. Kawanabe¹, D. Tsukayama¹, T. Kanezashi¹, J. Shirakashi¹, T. Shibuya², and H. Imai²

E-mail: s21266034w@st.go.tuat.ac.jp

近年、量子計算機の進歩により、機械学習分野への応用が期待されている。その1つが、量子計算機を用いて時系列情報処理を行う、量子リザーバーコンピューティング (Quantum Reservoir Computing: QRC) [1]である。QRCは量子系特有の重ね合わせや量子もつれといった複雑性を活用することで、従来の古典計算機と比較して高速かつ高精度な機械学習の実行が期待されている[2]。図1(a)にQRCの概念図を示す。QRCではTimestep t におけるデータ u_t を1つずつ入力するため、時系列データ長に比例して量子回路の層数が増大する。また、現在利用可能な量子計算機である Noisy Intermediate-Scale Quantum (NISQ) [3] デバイスは誤り訂正機能を持たない。そのため、ノイズの蓄積やコヒーレンス時間の制約によって、大規模な量子回路の実行が困難になる[4]。今回は時系列データ長によらず一定の層数で実行可能な量子機械学習手法として、時間遅延入力を採用した Time-Delayed Quantum Extreme Learning Machine (TD-QELM) を提案する。

図1(b)にTD-QELMの概念図を示す。TD-QELMでは u_t とそれ以前の Timestep におけるデータを同時に入力する。そのため、TD-QELMは時系列データ長によらず量子回路の層数が一定であり、NISQ デバイス上での実装が容易となる。本実験では Qiskit [5] で利用可能なシミュレータである AerSimulator 上に6量子ビットのQRCとTD-QELMを実装し、10th-Nonlinear Auto-Regressive Moving Average (NARMA10)の波形予測を行った。その際、正規化平均二乗誤差 (Normalized Mean Squared Error: NMSE) を算出し、両手法の予測性能を比較した。予測した結果、NMSEの値はQRCが 6.17×10^{-3} 、TD-QELMが 3.93×10^{-4} となり、TD-QELMが従来手法のQRCを上回った。以上より、TD-QELMは少ない層数で実装可能かつ高精度な時系列予測が可能であることが示唆された。



Figs. 1 Schematic diagram of QRC (a) and TD-QELM (b).

References

- [1] K. Fujii and K. Nakajima, Phys. Rev. Appl. 8 (2017) 024030.
- [2] J. Biamonte, P. Wittek, N. Pancotti, P. Rebentrost, N. Wiebe, and S. Lloyd, Nature 549 (2017) 195.
- [3] J. Preskill, Quantum 2 (2018) 79.
- [4] Y. Suzuki, Q. Gao, K. C. Pradel, K. Yasuoka, and N. Yamamoto, Sci. Rep. 12 (2022) 1.
- [5] G. Aleksandrowicz, et al., Qiskit: Open-source Framework for Quantum Computing. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2562111> (2019).