空間並列リザバーコンピューティングの光学実装と評価

Optical implementation of spatio-parallel reservoir computing

九大院シス情 [1]，阪大院情 [2]，阪大院工 [3]
中村 明寛 [1]，°竪 直也 [1]，下村 優 [2]，西村 隆宏 [3]，小塚 淳 [2]，小倉 裕介 [2]，谷田 純 [2]，
Kyushu Univ., ISEE [1], Osaka Univ., IST [2], Osaka Univ., Eng.[3],
Akihiro Nakamura[1], °Naoya Tate[1], Suguru Shimomura[2], Takahiro Nishimura[3],
Jun Kozuka[2], Yusuke Ogura[2], Jun Tanida[2]
E-mail: tate@ed.kyushu-u.ac.jp

我々は，蛍光性の半導体微粒子・量子ドット（QD）をランダムに分散・固定した試料をリザバーとした，光入出力型リザバーコンピューティングの実現を目指している[1]．QD リザバーに対する信号は時系列データを空間方向に展開し光並列に入力することが前提であり，光の並列性を活かしたコンパクトな情報処理系の構築が可能である．本発表では，提案する空間並列光リザバーコンピューティングの実証実験として空間光変調器を用いた光符号化原理の実装を行い，実際に実行した機械学習の精度に関して評価・解析を行った結果について報告する．

本提案では，連続する 2 つの光パルスにより QD リザバーに対して時系列パターンを入力し，その蛍光出力が示す時間的･空間的特徴を応答信号として取得する．独自の符号化原理（Fig. 1(a)）に基づき，数値計算にて XOR タスクを実行した結果， 1,200 ビット以上の訓練用データを用いた未知データ 100 セットに対する実行において 99.8%以上の精度が得られている[2]．光学実装に際しては，まず，電気泳動堆積法を用いてトルエン溶液中に分散した量子ドット（Ocean Nanotech, QSR580）を導電性ガラス基板表面に集積させることで QD リザバー試料を作成した．そして，その QD リザバー試料に対する入力層をフェムト秒パルスレーザー（Spectra-Physics, MaiTai）と空間光変調器（浜松ホトニクス; X10468-01）を用いて実装し，蛍光出力はストリークカメラ（浜松ホトニクス; C10910-21）を用いて取得した．取得した時間―空間蛍光画像を元に XOR タスクを実行した例を Fig. 1(b)に示す．

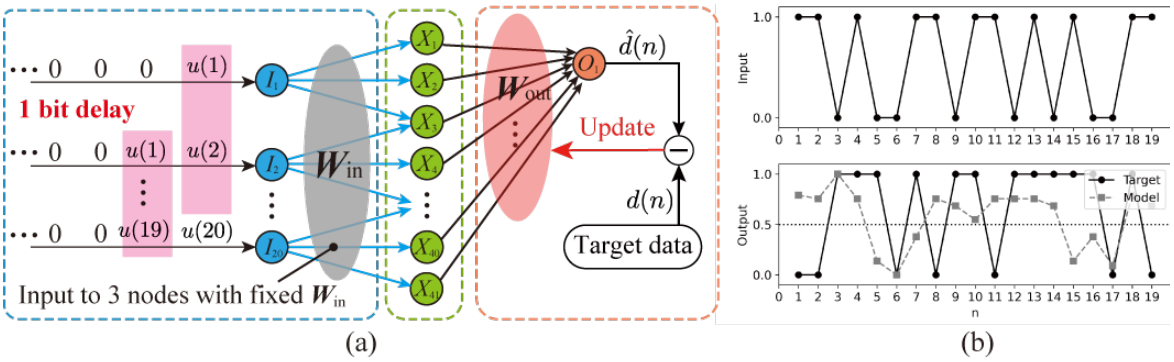

Fig. 1(a) Schematic diagram of spatio-parallel optical reservoir computing, (b) Example of processed result of XOR task based on experimental spaio-parallel optical reservoir computing.

本研究の基盤となる時系列信号の空間符号化原理については，XOR タスクの実行形態として一般的な逐次入力に基づく方式を上回る性能を示すことを数値計算にて実証済みである．今後，実験精度および空間光変調器上で符号化する訓練用データの総数を増やすことで，光学実装においてその実行精度を実証することを目指す．

本研究は，JST CREST, JPMJCR18K2 の支援を受けたものです．

[1] JST CREST「光ニューラルネットワークの時空間ダイナミクスに基づく計算基盤技術」.
[2] A. Nakamura, et al. The 12th Japan-Korea Workshop on Digital Holography and Information Photonics (DHIP2022).