

量子ドット分散型光ニューラルネットワークの開発とその機械学習応用

Development and ML application of QD-distributed optical neural network

九大院シス情¹, 阪大院情², 阪大院工³ ○堅 直也¹, (M2) 坂井 駿一¹, (M1) 中村 明寛¹,
下村 優², 西村 隆宏³, 小塚 淳², 小倉 裕介², 谷田 純²

ISEE Kyushu Univ.¹, IST Osaka Univ.², Eng Osaka Univ.²,

[○]Naoya Tate¹, Shun-ichi Sakai¹, Shun-ichi Sakai¹, Akihiro Nakamura¹, Suguru Shimomura²,
Takahiro Nishimura³, Jun Kozuka², Yusuke Ogura², Jun Tanida²

E-mail: tate@ed.kyushu-u.ac.jp

ニューラルネットワーク (NN) は脳神経回路を模した数理モデルであり, 機械学習 (ML) を有効に機能させる要素基盤として知られている. 近年, 主に消費エネルギーの観点からその物理実装の実現が求められている中, 我々は無数の量子ドット (QD) の結合構造から成る QD 分散型光ニューラルネットワーク (QDNN) に着目し, その時空間蛍光ダイナミクスを活かした機械学習応用について研究を進めている. 本発表では, 同研究に関する直近の動向について紹介する.

隣接する QD 間ではそれらの距離・配向・スペクトル特性に応じてフェルスター共鳴エネルギー移動 (FRET) が生じることが知られており, QDNN は FRET においてエネルギーの受け手となるアクセプタ QD と渡し手となるドナー QD のランダム分散により形成される (Fig. 1(a)). 光パルス入力により QDNN 内部に励起されたエネルギーは多様な FRET 経路を経た後, 蛍光として外部へ放出される. このとき QDNN の蛍光出力は, 時間方向については FRET 経路の多様性に基づく時間情報, 空間方向については蛍光強度分布のランダムネスに基づく空間情報をもつ時間-空間二次元情報として取得される (Fig. 1(c)). 実験では, アクセプタおよびドナーとしての2種の CdSe/CdS-QD を熱硬化性樹脂・PDMS と混合した薄膜として QDNN 試料を試作し, 光子計数実験系を用いて NN としての基本特性である非線形応答特性および短期記憶特性を実証している.

NN を用いた機械学習モデルの一つとしてリザーバーコンピューティング (RC) がある. 本研究では, QDNN が示す時間-空間二次元情報を用いた RC の実行可能性を示すため, 光子計数系の実験構成を考慮して定義した時間-空間二次元蛍光情報に対して, 動的システム近似の一つとして知られる XOR タスクを RC として実行 (Fig. 1(d)) し, その学習精度について評価した. その結果, 合計 100 回の試行における BER は 6.8% であり, 時間-空間二次元蛍光情報に基づいた RC が一定以上の精度で実行可能であることを実証している.

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

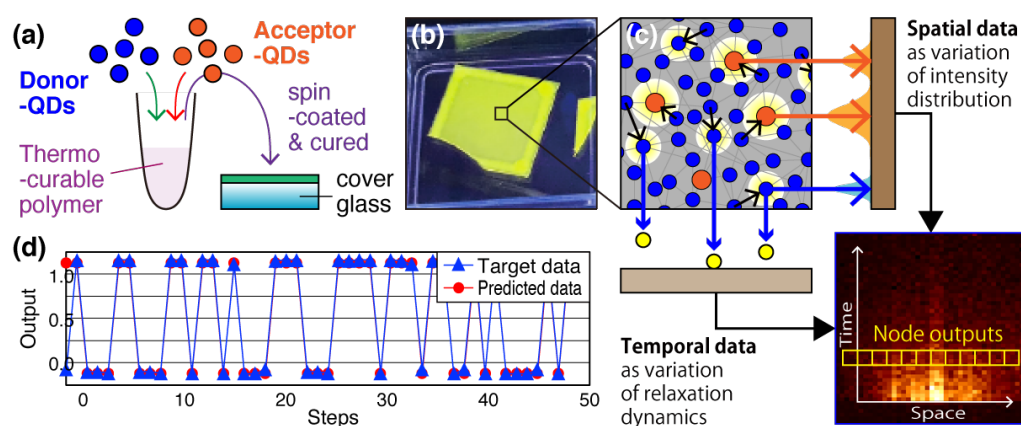


Fig. 1. (a) Schematic diagram of experimental process to prepare QDNN sample. (b) Appearance of QDNN sample under UV light illumination. (c) Schematic diagram of spatio-temporal fluorescence output based on various FRET in QDNN. (d) Result of experimental ML demonstration based on spatio-temporal fluorescence processing.