

プログラマブルな大規模オンチップ光リザーバコンピュータ

Programmable and Scalable Reservoir Computer on Photonic Chips

NTT 先端集積デバイス研 ○中島 光雅, 小仁所 志栞, 田仲 顕至, 橋本 俊和

NTT Device Technology Labs., Mitsumasa Nakajima, Shiori Konisho, Kenji Tanaka,

and Toshikazu Hashimoto, E-mail: mitsumasa.nakajima.wc@hco.ntt.co.jp

機械学習の高速化・高効率化に向けて、脳の神経回路を模した人工ニューラルネットワーク (ANN) を光回路へ実装する技術が注目を集めている[1-7]。ANNの中でも、小脳の構成を模した情報処理であるリザーバコンピューティング (RC) は、大半の演算処理をパッシブ回路で実現できるため、光回路との親和性が良く、近年精力的に研究が進められている [3-7]。光 RC では、光パルス群を仮想的なリザーバノード (中間層のニューロン) と見做し演算を行うが、多数の光パルス群を光回路に閉じ込めるためには長尺なファイバが必要となる。光 RC の進展に向け、光回路上への小型集積化も検討されているが、上記の制約で現状では仮想ノード数が 16 程度に限定されており[4]、演算能力に限界がある。本稿では、スケラブルなオンチップ型の光 RC の構成を提案・試作し、初期動作を確認したので報告する。提案回路は光干渉状態を操作することで、動的に再構成することも可能である。

Fig.1 に提案する光 RC 回路とその等価なネットワーク構成を示す。光回路は、入力層にあたる演算を行う光回路 (光畳み込み演算回路) とリザーバ層の演算を行う複数本の光回路 (線形遅延リング回路) によって構成され、各出力に対して電気領域で重みづけをすることで演算を行う。入力光は連続光ではなくパルス光で生成し、畳み込み演算回路にて設定されるインパルス応答に応じた時間波形へと変換される。このインパルス応答が、従来電気変調で生成していたマスク関数 [3-5] と同等であり、遅延差 θ の間隔で遅延線の各場所への結合 (入力層結合) を生成するため、従来の電気領域で生成する手法よりも高密度に光パルス群を生成できる[6]。畳み込みフィルタは複数の出力を有しており、それぞれの経路に応じて異なるインパルス応答を出力する。それぞれの出力に対応した遅延線を空間的に並べることで、複数の RC 回路を並列化し実効的なノード数をさらに増やすことができる。遅延回路には非線形素子は装荷されていないが、光回路内では複素空間内での演算が行われており (強度 1/2 乗、位相項)、むしろ線形素子の方が種々のタスクで性能が良いことが報告されている[5]。チップ内の各 MZ 干渉系には電気ヒータが搭載されており、RC の主要なパラメータを動的に再構成することも可能である。

上記の構成の光チップを試作し、実験にて光 RC 動作を検討した。作成した回路では遅延線アレー毎に最大 32 ノードの光パルス群を生成可能であり、さらに 32 並列されている。従って、最大で 1024 ノードの RC

演算が可能である。この数は、従来報告されている最大規模 RC と同程度である[7]。初期実験として、単一アレーで Santa-Fe カオス系列の予想タスク[3]を実施した。Fig.2(a)に FB 戻り光強度 (α) に対する規格化二乗平均誤差 (NMSE) の計算値と実験値を、Fig.2(b)に最適な場合 ($\alpha=0.5$) の波形を示す。参考として、RC 層に $\cos$ の非線形性[3]を入れた場合の計算値も示す。図から、計算と実験が概ね一致しており、提案素子が RC として機能していることがわかる。また、Santa-Fe タスクにおいて、線形素子であってもそんな色ない性能が得られることがわかる。当日は並列化した際の性能についても議論する予定である。

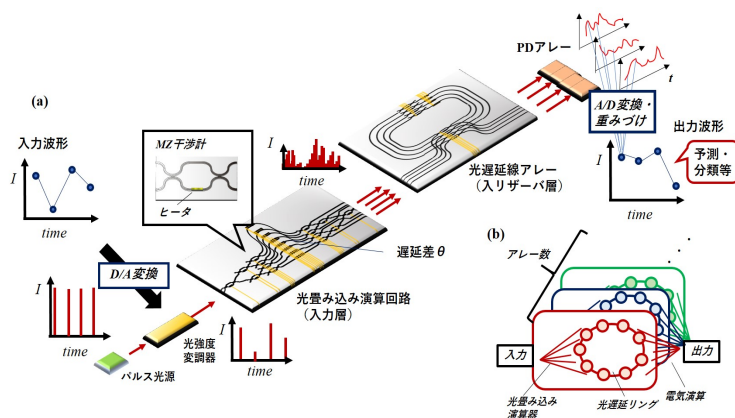


Fig. 1 (a) Schematic of on-chip reservoir computer,
(b) Equilibrium RC architecture

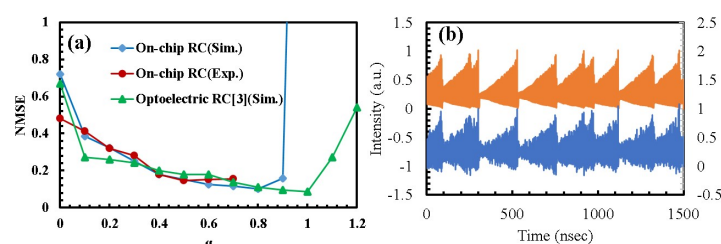


Fig.2 (a) Measured and simulated NMSE as a function of feed-back power, (b) measured and teacher waveform.

- [1] Y. Shen *et al.*, Nat. photon. **11**, 441 (2017).
- [2] J. Feldmann *et al.*, Nature **569**, 208 (2019)
- [3] L. Larger *et al.*, Opt. Express **20**, 3241 (2012)
- [4] K Vandoorne *et al.*, Nature commun. volume **5**, 3541 (2014).
- [5] Q. Vinckier *et al.*, Optica **5**, 438 (2015).
- [6] M. Nakajima *et al.*, CLEO2018., SM1C.4
- [7] J. Bueno *et al.*, Optica **5**, 756–760 (2018).