

オンチップ光ニューラルネットによる機械学習

Machine Learning with On-Chip Photonic Neural Network

NTT 先デ研 ○中島 光雅, 田仲 顕至, 橋本 俊和

NTT Device Technology Labs., Mitsumasa Nakajima, 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[1-5]。ANNの中でも、ランダムなネットワークを用いて情報処理を行うリザーバコンピューティング (RC) は、大半のパラメータの学習が不要であるため、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 [2-5]。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[3]、演算能力に限界がある。

本稿では、光通信用の集積回路として発展した石英系導波路(Planar lightwave circuit, PLC)技術を転用した、スケーラブルなオンチップ型の光 RC の構成を提案し、その試作機による動作を紹介する[4]。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。電気信号が光パルスによって高い帯域へと変調されるため、小型回路中に高密度に光

パルス群 (仮想ノード) を集積可能である。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。光通信用の C 帯と呼ばれる波長全域で信号を多重化することで、異なる波長の情報を並列処理できる。見積もられる演算回数は最大 0.8 ペタ回/秒 (40 波長並列時) であり、市販の CPU/GPU の理論値(およそ 500 ギガ、6 テラ回/秒)を上回る。上記から、ANN の演算を光回路を用いることで、より高速に実行できる可能性が見出された。当日は、更なる集積化に向け、光の伝搬方程式自体をニューラルネットワークとして捉え、より大規模なネットワークを微細構造で表現する手法[5]についても紹介する。

- [1] Y. Shen *et al.*, “Deep learning with coherent nanophotonic circuits,” Nat. Photonics 11, 441–446 (2017).
- [2] D. Brunner *et al.*, “Parallel Photonic Information Processing at Gigabyte per Second Data Rates Using Transient States”, Nat. Commun. 4, 1364 (2013).
- [3] K. Vandoorne *et al.* Experimental demonstration of reservoir computing on a silicon photonics chip. Nat. Commun. 5, 3541 (2014).
- [4] M. Nakajima *et al.*, “Scalable Reservoir Computing on Coherent Linear Photonic Processor”, Commun. Phys., to-appear
- [5] M. Nakajima *et al.*, “Neural Schrodinger Equation: Physical Law as Neural Network”, arXiv:2006.13541

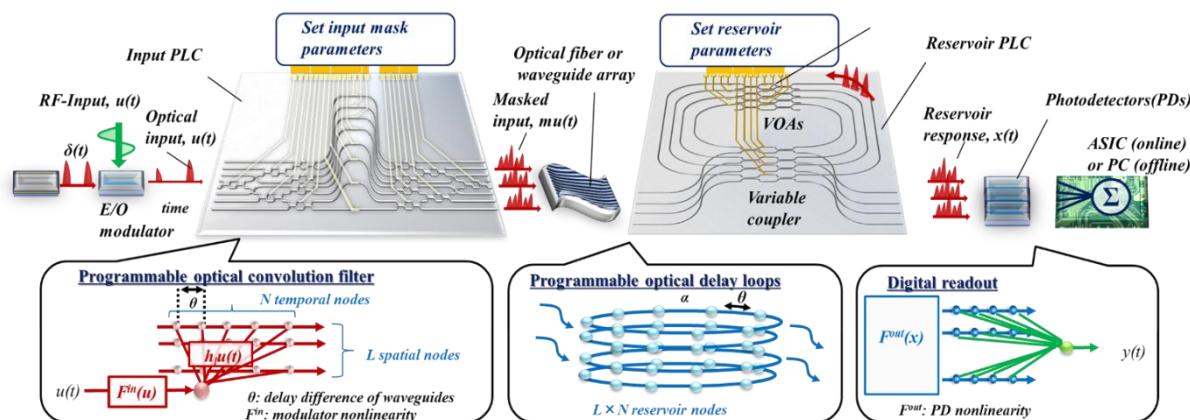


Fig1. Schematic of proposed reservoir computing architecture. Input-to-reservoir connection (input mask) is generated in the optical domain by an optical convolutional filter. An array of L optical cavities with N temporal nodes acts as an RC system with $N \times L$ virtual nodes, which enables large-scale implementation on optical chips and ultrafast processing beyond the bandwidth limitation of RF inputs