

高速複素光リザーバコンピューティングの提案と実証

Demonstration of Ultrafast Complex-Valued Photonic Reservoir Computing

NTT先端集積デバイス研¹, NTTコミュニケーション科学基礎研²

中島 光雅¹, 犬伏 正信², 郷 隆司¹, 橋本 俊和¹

NTT Device Technology Labs.¹, NTT Communication Science Labs.²,

Mitsumasa Nakajima¹, Masanobu Inubushi², Takashi Goh¹, Toshikazu Hashimoto¹

E-mail: mitsumasa.nakajima.wc@hco.ntt.co.jp

1. はじめに

機械学習の抜本的高速化・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)を光回路上で実現する技術が注目を集めている[1,2]。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、光回路との親和性が良く、近年積極的に光実装の研究が進められている[2-4]。特に、単一の遅延線ループと非線形素子を用いた構成の提案により、数百ニューロンからなるRCの演算をサブμ秒オーダーで実現可能となっている[2,4]。一方で、従来の光RCでは強度変調/直接検波(IM/DD)方式で信号処理を行っているため、光の波動的性質を十分に取り扱えていない。加えて、従来方式では入力層とリザーバ層のニューロン間の結合(入力マスク)を電気領域での信号処理によって生成しており、これが処理速度のボトルネックとなっている。

本稿では、光RCの性能を向上する手法として、(i)コヒーレント送受信技術を活用した複素数空間での光RC、及び(ii)光領域での波形整形による入力マスクの生成を提案する。また、上記を組み合わせた回路を実装し、サブナノ秒オーダーでの複素RC動作を検証する。

2. 提案構成

Fig. 1に提案する複素RC用光回路の構成を示す。I/Q変調器を介して複素空間にマッピングされた光信号 u は、光回路で形成される有限インパルス応答(FIR)フィルタで入力マスク処理を施され、リザーバ層である遅延ループに導入される。遅延線ループには、非線形素子として半導体光アンプ(SOA)が導入されており、遅延ループ内のダイナミクスを仮想的なニューロンとみなすことが出来る。各仮想ニューロンの複素応答 x_i は、90°ハイブリッド、ローカルオシレータ(LO)光源、及びバランス光検出器からなるコヒーレント受信機によって検出される。これらの応答は、電気領域で重み付けと和算がなされ、出力信号 y となる。この時、出力信号のスループットは、光FIRフィルタの遅延差 θ が小さい程短く設定できる。概ねのハードウェア構成は、参考文献[4]と同様であるが、(i)コヒーレント送受信により複素空間でのRCが可能である点、(ii)入力マスクを光FIRフィルタとしており、これにより θ を微小な間隔と出来る点(すなわち出力スループットを向上できる点)が異なる。

3. 実験結果

光通信デバイスを用いて提案構成のプロトタイプ

を構築した。複素入力信号は変調速度 2GHz で生成し、光FIRフィルタには、空間光学系と空間光変調器を用いた光スペクトル整形器[5]を用いた。各アームの複素重みはランダムに生成し、 $\theta=12.5$ ps、遅延タップ数 $K=40$ のように設定した。各ニューロンの複素応答 x_i を 80GS/s でサンプリングし、オフライン処理にて重み付けと和算を行い、出力信号 y を 2GS/s で得た。RCの性能評価には、ベンチマークとしてよく用いられるNARMA10タスクを用いた[3]。仮想ニューロン数は200としており、学習には最小二乗法を用いた。Fig. 2に教師信号と学習を終えた後の光RCの出力信号の時間波形を示す。実部と虚部の両方で教師信号と出力信号は一致しており、複素空間におけるRCの演算をサブナノ秒で実現できていることが分かる。

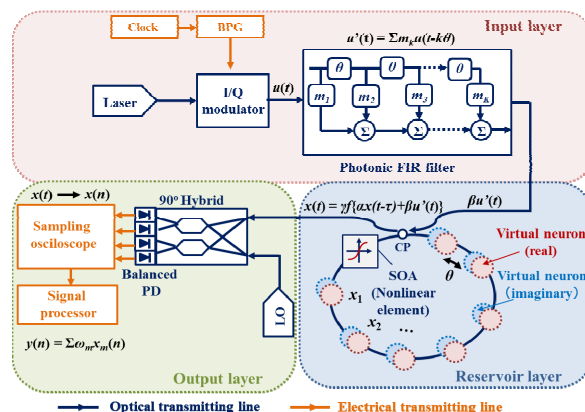


Fig. 1. Proposed complex-valued RC scheme with coherent detection and photonic input mask

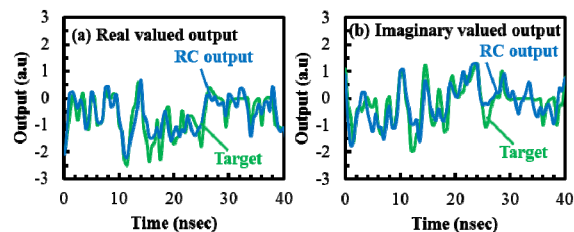


Fig. 2. Measured and target response in NARMA task for (a) real- and (b) imaginary-valued output

- [1] Y. Shen *et al.*, Nat. photon. 11, 441 (2017).
- [2] L. Appeltant *et al.*, Nat. Commun. 2, 468 (2011).
- [3] D. Brunner *et al.*, Nat. Commun. 4, 1364 (2013).
- [4] F. Dupport *et al.*, Opt. Express. 20, 22783 (2012).
- [5] M. Nakajima *et al.*, OFC2016, Th2A.11