

電気光遅延システムを用いたリザーバコンピューティング における非線形性と記憶容量の調査

Nonlinearity and memory capacity in electro-optic delay-based reservoir computing

埼玉大 ○齊藤 健斗, 菅野 円隆, 内田 淳史

Saitama Univ ○Kento Saito, Kazutaka Kanno, Atsushi Uchida

E-mails: k.saito.395@ms.saitama-u.ac.jp, auchida@mail.saitama-u.ac.jp

はじめに: 近年, リザーバコンピューティングと呼ばれる機械学習の手法が盛んに研究されている[1,2]. これは従来の手法と異なり, ネットワークの重みを固定して出力部のみを最適化することで学習を簡素化する手法である. 本手法の物理的な実装方法の一つとして電気光遅延システムを用いた手法[3] (以下, 電気光リザーバ) が挙げられる. 電気光遅延システムは主に非線形変換の役割を担う光変調器と, 時間遅延フィードバックのための光ファイバから構成される.

リザーバコンピューティングにより情報処理を行うためには, リザーバが非線形性および記憶能力を有する必要がある[4]. しかし物理実装の場合, これらの性質のうち, 特に非線形性は構成要素の持つ非線形性により決定されるため, 非線形性を直接変化させることが困難である. これに対して, 時間遅延システムのフィードバックの強さや遅延時間は比較的自由に変化できる. これらを介してリザーバの非線形性や記憶能力を変化できれば, 情報処理タスクごとに適したリザーバの構築が可能であると期待される.

そこで本研究では, 電気光リザーバにおけるフィードバックの遅延時間を変化させ, 非線形性や記憶容量の制御可能性について数値シミュレーションにより調査することを目的とする.

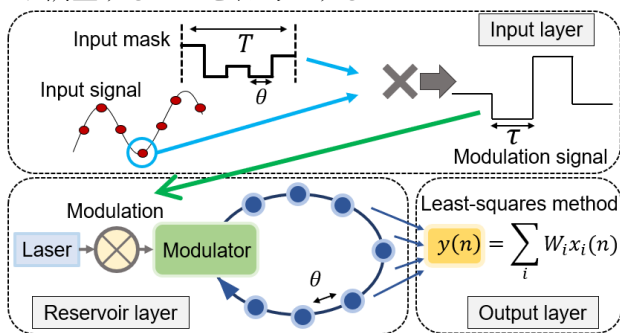


Fig. 1 Schematic diagram of electro-optic delay-based reservoir computing. T is the mask length. θ is the node interval. τ is the delay time in the reservoir.

方法: 電気光リザーバはFig.1のように3層で構成される[3]. 入力層では入力信号とマスク信号とから変調信号を作成し, リザーバ層へ入力する. リザーバ層では電気光遅延システムから得られる複雑な応答を時間分割して仮想ノードを定義する. 出力層では, 各ノードの重み付き線形和をリザーバの計算結果として出力する. ここで重みは最小二乗法による学習で決定される.

非線形性と記憶能力を定量化するために関数近似

タスク[4]を用いる. 関数近似タスクは $y(n) = \sin(v \times I(n) - \tau_D)$ で定義される関数 $y(n)$ の近似を行うタスクである. $I(n)$ はランダム入力信号である. このタスクは, 非線形係数 v によりタスクに求められる非線形性を変化でき, 遅延ステップ数 τ_D によりタスクに求められる記憶容量を変化できる.

本研究では, リザーバの特性を調査するため以下の2種類のパラメータ設定値を用意する. ①非線形タスク: $v = 2.0\pi$, $\tau_D = 0$ (2周期正弦波の近似・記憶容量は不要) および, ②記憶タスク: $v = 0.1\pi$, $\tau_D = 3$ (直線的な関数の近似・記憶能力が必要) である. 2つのタスクに対して関数近似を行い, 性能を正規化平均二乗誤差 (NMSE) を用いて評価する (小さいほど性能が高い).

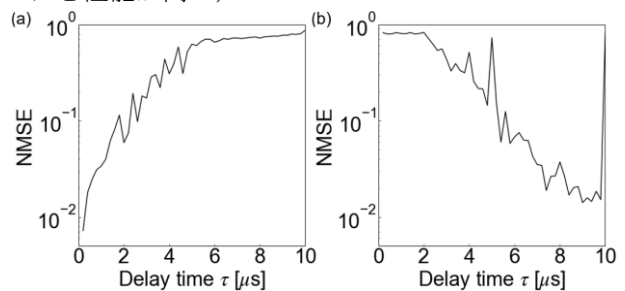


Fig. 2 NMSE as a function of feedback delay time τ in the simple function approximation task. (a) Nonlinear task and (b) Memory task.

結果: 遅延時間 τ を変化させたときの NMSE の変化の様子を調査した. 非線形タスクの結果を Fig. 2(a)に示す. タスクに非線形性が要求される場合, 遅延時間 τ が短いほど誤差が小さくなることが分かる. マスク周期 T よりも遅延時間 τ が極端に短い場合, 変調器による非線形変換が多数繰り返されるため, 非線形性が向上すると考えられる. 次に記憶タスクの結果を Fig. 2(b) に示す. 記憶容量が求められる場合, 遅延時間が長い領域で誤差が減少する. つまり長い遅延時間により記憶能力が大きいためであると考えられる.

まとめ: 本研究では, 電気光遅延システムを用いたリザーバコンピューティングの非線形性と記憶容量について数値計算で調査した. 遅延時間が短い領域では非線形タスクの性能が良く, 遅延時間が長い領域で記憶タスクの性能が向上することが分かった.

参考文献

- [1] D. Brunner, et al., Nat. Commun., **4**, 1364 (2013).
- [2] G. Tanaka, et al., Neural Networks, **115** (2019).
- [3] Y. Paquot, et al., Sci. Rep., **2**, 287 (2018).
- [4] M. Inubushi, & K. Yoshimura, Sci. Rep., **7** 10199 (2017).