

光リザーバコンピューティングにおける戻り光強度変調と位相変調の比較実験

Experimental comparison of feedback intensity and phase modulation in photonic reservoir computing

埼玉大 ○アフィカ アマリナ ハヤ, 菅野 千紘, 菅野 円隆, 内田 淳史

Saitama Univ. ○ A. A. Haya, C. Sugano, K. Kanno, and A. Uchida

E-mails: afeeqah.a.h.705@ms.saitama-u.ac.jp, auchida@mail.saitama-u.ac.jp

はじめに: 人間の脳では多くのニューロンを用いて情報処理を行うことが知られている。この仕組みに対して脳の構造を模倣したシステムとしてニューラルネットワーク (Neural Network, NN) が知られている。最近、多くの研究では NN を用いた機械学習手法が様々な応用に適用されている。一般的に NN を用いた機械学習手法における学習では、ネットワークの学習に時間がかかるため、学習を簡素化した機械学習手法が提案されており、これはリザーバコンピューティング (Reservoir Computing, RC) と呼ばれている[1]。

従来の RC では、リザーバ層に自己フィードバックを有するリカレントニューラルネットワーク (Recurrent Neural Network, RNN) を用いている。一般的な機械学習手法において RNN を用いる場合、全ての結合に対して学習を行う必要があるため、計算量が膨大となるという問題があった。これに対して RC では、出力の重みのみを学習して入力層およびネットワーク内の結合はランダムで固定することで学習を簡素化できる[1]。

さらに、時間遅延システムを用いた RC が提案されている[2]。時間遅延システムは 1 つの非線形素子とフィードバックループにより構成されるシステムである。RNN の代わりに単体素子とフィードバックループを用いることでネットワークを簡素化できるため、ハードウェア的な実装が容易になった。

加えて、半導体レーザーの時間ダイナミクスを用いた光リザーバコンピューティングが報告されている[3]。本手法の情報処理速度は GHz オーダーの速度であり、非常に高速な情報処理が可能である。また従来の半導体レーザーを用いた光 RC では 2 つの半導体レーザーを用いる手法であり光波長を一致させるためにインジェクションロックを行う必要がある[4,5]。一方で、1 つのマイクロチップレーザーを用いた RC の実験実装が報告されている[6]。

そこで本研究では、1 つの半導体レーザーの戻り光ループ内に位相または強度変調器を用いることで、光リザーバコンピューティングを実験的に実装することを目的とする。

方法: 光リザーバコンピューティングのリザーバ層の実験実装を Fig. 1 に示す。本装置は戻り光を位相変調された半導体レーザーを用いた RC である。処理の流れとしては、レーザーの光は光サーキュレータとカプラを通り、位相変調器で変調されて光サーキュレータを通して再びレーザーに戻る。一方で強度変調器の実験を行う時には位相変調器の部分を置き換える。本研究では、戻り光量比率を変化させて位相変調器と強度変調器のシステムを比較した。

結果: リザーバコンピューティングで良く用いられる性能評価は時系列予測タスクである。これはカオス波形の一点先の値を予測するタスクであり、予想誤差 (NMSE) を用いて評価する。戻り光量比率を変化させた場合の位相変調器と強度変調器の予測誤差の結果を Fig. 2(a) に示す。位相変調器を用いた方が低い予測誤差であることが分かる。また、戻り光量比率を変化させた場合のレーザー出力波形の相互相関値を Fig. 2(b) に示す。位相変調器の方が相関値が高いことが分かる。この結果より、位相変調器の方がより低い予測誤差を得られ、再現性の高い出力波形が得られることが分かった。

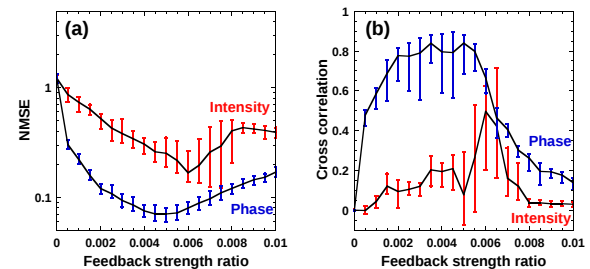


Fig. 2 (a) Prediction errors (NMSE) and (b) cross correlation of two temporal waveforms for intensity modulator (with red error bars) and phase modulator (with blue error bars)

まとめ: 本研究では、遅延フィードバックに位相変調器または強度変調器を加えた半導体レーザーを用いた光リザーバコンピューティングの実験実装を行った。戻り光量比率を変化させた時に、位相変調器の用いたシステムの方が時系列予測タスクの予測誤差が低下して性能が向上することが分かった。

参考文献

- [1] H. Jaeger, et al., Science, **304**, 5667 (2004).
- [2] L. Appeltant, et al., Nat. Commun., **2**, 468 (2011).
- [3] D. Brunner, et al., Nat. Commun., **4**, 1364 (2013).
- [4] J. Bueno, et al., Opt. Exp., **25**, 2401 (2017).
- [5] Y. Kuriki, et al., Opt. Exp., **26**, 5777 (2018).
- [6] R. M. Nguimdo et al., Opt Lett., **42**, 375 (2017).

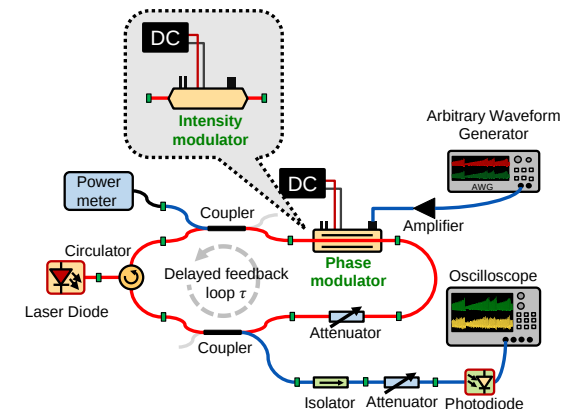


Fig. 1 Experimental setup of reservoir computing using a semiconductor laser with optical feedback-phase modulation and feedback-intensity modulation.