

戻り光変調された半導体レーザを用いた 光リザーバコンピューティングの性能評価実験

Evaluation of photonic reservoir computing in a semiconductor laser with optical feedback modulation

埼玉大 ○アフィカ アマリナ ハヤ, 菅野 円隆, 内田 淳史

Saitama Univ. ○ A. A. Haya, 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: 機械学習や人工知能の研究が盛んに行われている。その手法の一つとしてニューラルネットワークを用いて情報処理を行う手法が提案されている。ニューラルネットワークとは人間の脳内の多くのニューロンを用いたシステムである。一般的にニューラルネットワークを用いた学習手法では、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として知られている[1]。

リザーバコンピューティングのネットワーク層は自己フィードバック有するリカレントニューラルネットワークを用いている。この構成により、過去の情報を保持することで時系列依存の処理に有用とされている。機械学習手法においてリカレントニューラルネットワークを利用することによって全ての結合間の重みに対して学習を行う必要がある。そのためアルゴリズムの計算量が膨大になるという問題があった。これに対してリザーバコンピューティングでは、出力の重みのみの学習を行い、入力層およびネットワーク内の結合はランダムに固定することで学習を簡素化できる[1]。

近年、時間遅延システムを用いたリザーバコンピューティングが提案されている[2]。時間遅延システムは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。リカレントニューラルネットワーク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単化できるため、ハードウェア的な実装が容易となる。

さらに、半導体レーザ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]。従来の半導体レーザを用いた光リザーバコンピューティングでは外部のレーザ光を注入する手法であり、リザーバ用のレーザ光波長と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]。一方で光注入の代わりに戻り光に対して変調を加える方式のリザーバコンピューティングの実験実装が報告されている[5]。

これまでの光リザーバコンピューティングでは強度変調システムが多く使われている。そこで本研究では、半導体レーザの戻り光ループ内で入力位相変調または強度変調を行い、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。また、予測タスクや認識タスクを用いて性能評価を行う。

実験方法: リザーバコンピューティングのリザーバ層には戻り光変調された半導体レーザを用いる。このシステムでは単体の半導体レーザを用いる。本研究では、戻り光強度を変化させて位相変調と強度変調のシステムを比較した。

実験結果: リザーバコンピューティングの性能評価を行うため、時系列予測タスクの予測誤差(NMSE)を評価する。戻り光量を変化させた

場合の位相変調と強度変調の予測誤差の結果をFig. 1(a)に示す。位相変調の方が予測誤差が低いことが分かる。またFig. 1(b)に信号対雑音比を示す。コンシステンシー領域内で位相変調の方が信号対雑音比が高いことが分かる。この結果より、位相変調の方が低い予測誤差が得られ、再現性の高い出力波形が得られることが分かった。

次に音声認識タスクを用いて認識誤り率(WER)を評価する。0から9の数字の音声を識別する認識タスクの位相変調システムによる結果をFig. 2に示す。Fig. 2(a)のように戻り光強度が低い方が誤り率が小さいことが分かる。一方でFig. 2(b)戻り光が大きくなると、コンシステンシーが得られにくくなり、誤り率が大きくなることが分かる。

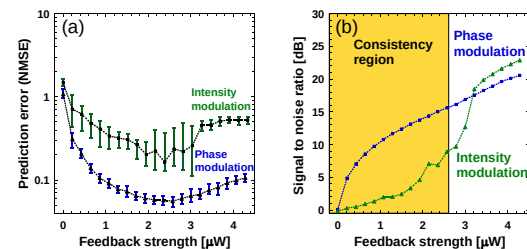


Fig. 1 (a) Prediction error (NMSE) as a function of feedback strength for intensity modulation (green) and phase modulation (blue). (b) Signal-to-noise ratio (SNR).

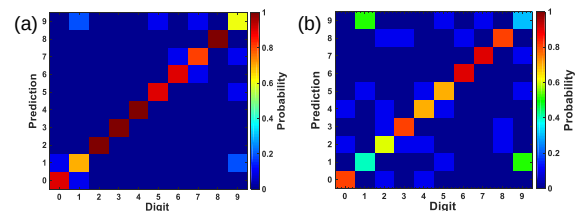


Fig. 2 Speech recognition task for phase modulation system. (a) low feedback power and (b) high feedback power.

まとめ: 本研究では、戻り変調された半導体レーザを用いた光リザーバコンピューティングの性能評価実験を行った。位相変調システムでは信号対雑音比が高く予測性能が優れていることが分かった。また、予測タスクと音声認識タスクでは、低い戻り光量で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] R. M. Nguimdo et al., Opt Lett., **42**, 375 (2017).