

遅延フィードバックを有する半導体レーザを用いた リザーバコンピューティングの遅延時間による影響

Effect of delay time on reservoir computing using a semiconductor laser with optical feedback

埼玉大[○]長谷川 寛, 菅野 千紘, アフィカ アマリナ ハヤ, 菅野 円隆, 内田 淳史

Saitama Univ. [○]H. Hasegawa, C. Sugano, A. A. Haya, K. Kanno, and A. Uchida

E-mails: h.hasegawa.126@ms.saitama-u.ac.jp, auchida@mail.saitama-u.ac.jp

はじめに: 近年ニューラルネットワークを用いた情報処理の進展が著しい。ニューラルネットワークの一つとして、リカレントニューラルネットワークと呼ばれる、自己フィードバックループを有するネットワークが挙げられる。このネットワークの特性の一つとして、過去の入力情報を持つために記憶能力を有している。

リカレントニューラルネットワークを用いた情報処理技法として、リザーバコンピューティングが提案されている。この手法の利点は、出力の重みのみ学習し、学習が容易となることである[1]。このネットワーク部分に対して、遅延フィードバックを有する非線形システムに置き換えた単体素子でのリザーバコンピューティングが提案されている[2]。半導体レーザはリザーバに求められる再現性と高次元性を満たしている[3]。そこでリザーバコンピューティングの実装手法の一つとして、時間遅延した戻り光を有する半導体レーザを用いる手法が提案されている[4]。

またリザーバの性能を向上させる方法として、ノード数の増加が考えられる。戻り光を有する半導体レーザを用いた手法において、戻り光の遅延時間を微小間隔で区切ることでノードを仮定する。ノード数を増加させるためには、遅延時間を増加させる必要がある。しかしながら遅延時間を増加させた時にリザーバコンピューティングの性能がどのような変化を示すかは、これまでに実験的な調査は行われていない。

そこで本研究では、戻り光を有する半導体レーザを用いた光注入型リザーバコンピューティングの実験実装を行うことを目的とする。特に遅延時間を変化させた場合にリザーバコンピューティングの性能にどのような影響を与えるかを調査する。

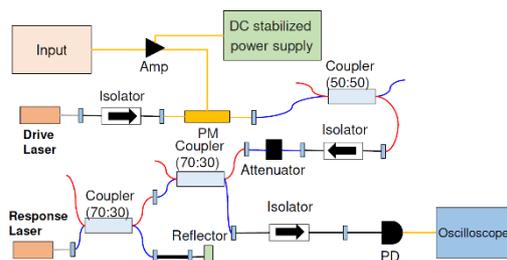


Fig. 1 Experimental setup for reservoir computing with semiconductor lasers.

方法: はじめに前処理として、入力信号を引き延ばしたステップ信号とマスク信号を重畳させた変調信号を作成する。入力信号を用いて、Drive レーザ光の位相を位相変調器(PM)で変調する。Drive レーザ光はResponse レーザに注入され、リザーバ部に入力信号を送る。Response レーザでは反射鏡(Reflector)で戻り光を生成し、レーザ光を再注入する。この時間遅延ループをリザーバとして用いる。Response レーザ出力の時間波形はオシロスコープで観測される。この時間波形を

一定区間で区切った値をノードとみなし、その重み付き線形和を出力として、リザーバコンピューティングを行う。

本研究では、時間遅延ループのファイバ部分の長さを、0.5 m ずつ変化させていった場合の予測誤差の変化を調査した。ここで遅延時間を変化させると、ノード数も同時に変化する。一方でノード数を遅延時間が一番短い時の $N=201$ に固定し、遅延時間のみを変化させた場合についても調査を行った。この2つの予測誤差を比較することで、遅延時間の変化がリザーバの性能にどのような影響を与えるかを調査する。

また本実験では注入光量を13 μW に、戻り光量を0.5 μW に、ノード間隔を0.12 nsに設定した。また入力マスクには2値マスクを用いた。

結果: カオス時間波形の一点先を予測をする時系列予測タスクを評価タスクとして用いた。このタスクは過去の入力の情報を必要とし、予測誤差が低いほど良い結果となる。遅延時間を変化させてノード数を同時に変化させた場合(黒線)と、ノード数を固定した場合(赤線)の予測誤差を比較した図を Fig. 2 に示す。どちらも、遅延時間が長くなるほど予測誤差は増加し、性能は悪化した。またノード数を変化させた場合と固定させた場合を比べると、固定した場合の方が性能は良くなっている。これより、遅延時間が短くなるほどリザーバの性能は良くなることが分かった。

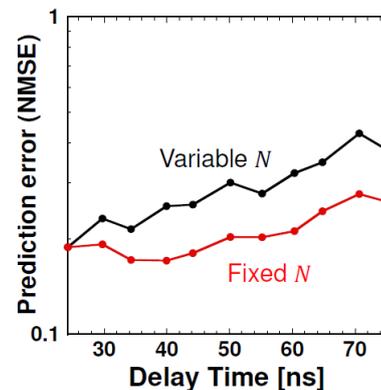


Fig. 2 Prediction errors of time-series prediction task as a function of delay time with fixed (red) and variable (black) number of nodes N .

まとめ: 本研究では、戻り光を有する半導体レーザを用いたリザーバコンピューティングを実験的に実装し、遅延時間がリザーバに与える性能を調査した。遅延時間が短くなるほど予測誤差は小さくなり、リザーバの性能は向上することが分かった。

参考文献

- [1] H. Jaeger, et al., Science, **304**, 78 (2004).
- [2] L. Appeltant, et al., Nat. Commun., **2**, 468 (2011).
- [3] J. Nakayama, et al., Opt. Exp. **24**, 8679 (2016).
- [4] A. Uchida, et al., Phys. Rev. Lett., **93**, 244102 (2004).