

短い遅延ループ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並列化

Parallel reservoir computing using semiconductor laser with short feedback loop

埼玉大 [○]菅野 千紘, アフィカ アマリナ ハヤ, 菅野 円隆, 内田 淳史
Saitama Univ. [○]C. Sugano, A. A. Haya, K. Kanno, and A. Uchida
E-mails: c.sugano.912@ms.saitama-u.ac.jp, auchida@mail.saitama-u.ac.jp

はじめに: 脳の構造を模倣したニューラルネットワークを用いた情報処理方式が近年注目されている。リザーバコンピューティングでは、ネットワークに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を用いることで従来のコンピュータでは難しいとされる時系列依存のタスクに有用である[1]。リザーバコンピューティングは、入力のリカレントとネットワークを固定し、出力の重みのみを最適化することで学習を簡素化している[1]。さらにこのネットワーク部を、遅延フィードバックを有する非線形素子に置き換え、出力を一定間隔ごとに仮想ノードを仮定することで単体素子での実装を可能としている[2]。半導体レーザの性質であるコンシステンシー[3]と過渡応答は、リザーバに求められる再現性と高次元性を満たすため、半導体レーザを非線形素子として用いるリザーバコンピューティングが報告されている[4]。また、リザーバコンピューティングの小型化のため、半導体レーザと外部共振器を集積化した光集積回路を用いたリザーバコンピューティングが報告されている[5]。複数回の遅延ループを1つのネットワークと捉えることで、仮想ノード数を増加させることが可能である。光集積回路を用いることで、並列化への拡張が容易になると期待できる。そこで本研究では、複数個の短い遅延ループを有する半導体レーザを並列化したリザーバコンピューティングを数値計算上で実装することを目的とする。また、単体の短い外部共振器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と比較を行う。

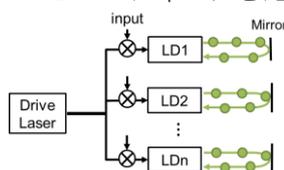


Fig. 1 Schematics of reservoir computing using semiconductor lasers with short feedback loops.

方法: 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の方式について述べる。入力信号は離散ステップごとに引き延ばされてマスクと呼ばれる処理を施し、非線形素子(レーザ)へ与えられる。非線形素子からの出力は入力により過渡状態を生じ、再び非線形素子へフィードバックされる。この過渡状態を一定間隔 θ ごとに区切り、仮想ノード状態と定義することで、遅延フィードバックループ内において仮想ネットワークが構築される。出力は予め学習で最適化された重みを用いて、仮想ノード状態の線形和を計算する。本研究のリザーバコンピューティングのモデル図を Fig.1 に示す。半導体レーザはそれぞれ短い外部共振器を有しており、短い遅延ループ内で定義できるノード数は少ないが、半導体レーザの個数に比例してノード数を増加させることが可能である。また、半導体レーザにはそれぞれ異なるマスクパターンを重畳した入力信号により変調された Drive 光が注入される。

文献[5]のように複数回の遅延ループを1つの

ネットワークとしてノード数を増加させる場合、入力信号をより長く引き伸ばす必要があり、入力信号1点に対する入力時間が長くなるという問題がある。さらに、リザーバは過去の情報を短時間記憶する性質を有するが、1入力に対して複数回の遅延ループを用いることで記憶の減少が速いことが問題となる。そこで複数回の遅延ループを用いる代わりにレーザを並列化することで、入力時間が短いままノード数を増加させることが可能であり、記憶を保持できると期待される。

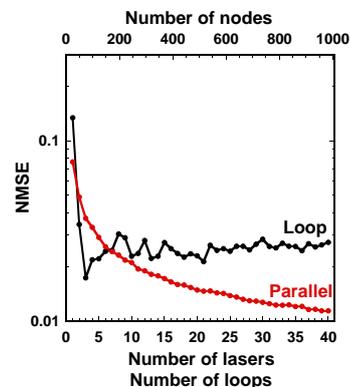


Fig. 2 Normalized mean square errors (NMSE) as a function of the number of lasers and the number of feedback delay loops.

結果: 時系列予測タスクは、遠赤外線レーザカオス時系列データの一点先を予測するタスクである。性能は規格化平均二乗誤差を用いて評価した。これは0に近いほどより元の波形に近く、予測精度が高いことを示している。

並列化したレーザにおいて、半導体レーザの個数を変化させた場合の予測誤差を Fig. 2 に示す。また比較のため、複数回の遅延ループを用いる方式での遅延ループ数を変化させた結果も Fig. 2 に示す。遅延ループの回数を変化させた場合では、ノード数が増加しても予測誤差は飽和している。一方でレーザを並列化した場合では、レーザ数の増加に対して予測誤差が単調に減少した。このようにレーザを並列化した方式の方が予測誤差を低減できることが分かった。これは、入力時間が短く、複数回ループ方式と比べて記憶が保持されるためと考えられる。

まとめ: 本研究では、短い遅延ループを有する半導体レーザにおいて、レーザを並列化したリザーバコンピューティングの数値計算を行った。複数回の遅延ループを用いる手法では、遅延ループ回数の増加と共に性能が飽和するが、レーザを並列化した場合では単調に予測誤差が減少した。

参考文献

- [1] H. Jaeger, et al., Science, 304, 78 (2004).
- [2] L. Appeltant, et al., Nat. Commun., 2, 468 (2011).
- [3] A. Uchida, et al., Phys. Rev. Lett., 93, 244102 (2004).
- [4] J. Nakayama, et al., Opt. Exp., 24, 8679 (2016).
- [5] K. Takano, et al., Opt. Exp., 26, 29424 (2018).