戻り光を有する半導体レーザを用いた光ディープリザーバコンピューティングにおける層数と性能の関係調査

Investigation of the relationship between the number of layers and performance in photonic deep reservoir computing using a semiconductor laser with optical feedback

埼玉大 ○長谷川 寛，菅野 円隆，内田 淳史
Saitama Univ. ○H. Hasegawa, 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、自己フィードバックループを有するリカレントニューラルネットワークが挙げられる。リカレントニューラルネットワークは、過去の入力情報を持つために記憶能力を有している点が大きな特徴である。

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[1]。この手法の利点は、出力の重みのみ学習するため、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]。また半導体レーザはリザーバに求められる再現性（コンシステンシー）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、複数のリザーバを並列化する手法や[5]、多層化を行う手法が提案されている[6]。しかしながら、半導体レーザを用いたリザーバコンピューティングにおける多層化の層数に対する性能の影響は未調査である。

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リザーバコンピューティングの多層化と並列化を数値計算で行うことを目的とする。特に、時系列予測タスクにおいてリザーバを 5 層まで増加させた場合の性能について調査する。

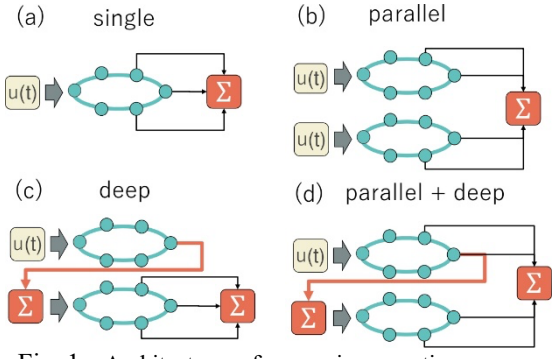

Fig. 1 Architectures of reservoir computing.

方法: 本研究では戻り光を有する半導体レーザを各リザーバとして用いる[4,5]。リザーバの構成方法を Fig. 1 に示す。Fig. 1(a) は単体のリザーバである。Fig. 1(b)は並列化されたリザーバを示している。各リザーバへの入力信号は同じであり、出力では重み付き線形和として全てのリザーバのノードを用いている。Fig. 1(c)は多層化されたディープリザーバコンピューティングであり、1 つ目のリザーバの出力信号を次のリザーバの入力信号に用いる手法である。出力は最後の層のリザーバのノードのみを用いて算出する。Fig. 1(d)は、ハイブリッドリザーバ(並列 + ディープ)の構成方法である。入力については Fig. 1(c)のディープリザーバと同様に、一層目ではタスクの入力信号を入力し、二層目では前層の出力を入力として用いる。一方で出力については Fig. 1(b)の並列リザーバと同様に、全てのリザーバのノードを用いて算出する。本研究では、時系列予測タスクを用いて、各構成方法について 5 層まで増加させた場合の性能調査を行った。

結果: 各構成方法に対して時系列予測タスクを用いて、予測誤差(NMSE)により評価を行い、5 層までの性能評価の結果を Table 1 に示す。各層で用いたリザーバのパラメータは同じに設定した。比較には総ノード数を 600 個に統一して行った。総ノード数の設定には、単体リザーバで総ノード数を変化させ、ノード数の過多による過学習が起こらない 600 個に設定した。Table 1 より、並列リザーバの場合は 2~5 個のリザーバを用いた場合、単体リザーバ(Layer1)の性能と等しくなっている。これより時系列予測タスクにおいて並列化が有効でないことが分かる。ディープリザーバとハイブリッドリザーバは 2 層目の性能が高くなり(NMSE が小さい)、3 層目以降は性能が悪化している。これは一層目から層が深くなるにつれて、一層目の入力で用いている時系列データの情報が少なくなることが原因と考えられる。以上より、ディープ型とハイブリッド型は層を増加させるのは 2 層目までで十分である事が分かった。

Table 1 Comparison of performance (NMSE) for each layer in parallel, deep, and hybrid reservoirs using Santa Fe time series prediction task.

Layer	1	2	3	4	5
Parallel	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
Deep		0.007	0.009	0.011	0.014
Hybrid		0.006	0.006	0.007	0.007

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の並列化と多層化（ディープ）を数値計算で実装した。各構成方法を 5 層まで多層化させ、時系列予測タスクを用いて各層ごとの性能を比較した。その結果、並列リザーバでは性能が向上しなかった。一方でディープリザーバとハイブリッドリザーバでは、2 層目が一番性能が高くなることが明らかとなった。

参考文献

[1] H. Jaeger, et al., Science, **304**, 78 (2004).
[2] L. Appeltant, et al., Nat. Commun., **2**, 468 (2011).
[3] A. Uchida, et al., Phys. Rev. Lett., **93**, 244102 (2004).
[4] J. Nakayama, et al., Opt. Express, **24**, 8679 (2016).
[5] C. Sugano, et al., IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron., **26**, 1500409 (2020).
[6] M. Freiberger, et. al, IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron., **26**, 7700611 (2020).

© 2021年 応用物理学会