

複雑系フォトリニクスを用いた光リザーバコンピューティングと光意思決定

Photonic reservoir computing and decision making using complex photonics

埼玉大[○]内田 淳史、菅野 円隆

Saitama Univ., [○]Atsushi Uchida, Kazutaka Kanno

E-mail: auchida@mail.saitama-u.ac.jp

はじめに: 機械学習の代表的な要素技術としてニューラルネットワークが用いられている。近年リカレントニューラルネットワークに基づくリザーバコンピューティングと呼ばれる情報処理方式が盛んに研究されている[1]。本手法では、ネットワークのノード間の結合重みを予めランダムに固定し、ネットワークの出力重みのみを学習する。単純な線形回帰問題を解くだけで学習が実現可能であることから、従来のリカレントネットワークよりも学習コストを低減できるという利点を有している。さらに時間遅延フィードバックを有する非線形素子を用いて、リザーバの仮想ネットワークを構成する手法が提案されている[2]。本提案により、複数の非線形素子を多数結合してネットワークを構成する必要がなくなり、単体の物理デバイスを用いてネットワークを実現できる。特に半導体レーザを用いることで、GHz以上の高速な情報処理が報告されている[3]。

また、インターネット広告やロボット制御分野で強化学習が広く用いられている。強化学習の例として多腕バンディット問題が知られている。多腕バンディット問題とは、当たり確率が未知の複数台のロットマシンから1台を選択することを繰り返し、報酬の最大化を目的とする問題である。本問題は、通信のチャネル選択等への応用が期待されている。これまでにレーザカオス波形を利用して多腕バンディット問題を高速に解く手法が提案されている[4]。光を利用して様々な情報処理を加速させる技術は、光アクセラレータと呼ばれており[5]、近年非常に注目されている。

そこで本稿では、複雑系フォトリニクスと呼ばれる半導体レーザの非線形ダイナミクスを用いた光リザーバコンピューティングと光意思決定の近年の実装例について述べる。

光リザーバコンピューティング: 光リザーバコンピューティングの小型化に関する研究が近年盛んに行われている[6,7]。本研究では半導体レーザと光増幅器、外部反射鏡を1つの回路内に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の実装実験を行った[8]。光集積回路の構成をFig. 1(a)に示す。本光集積回路では、複雑な過渡応答ダイナミクスを生成するために、半導体レーザに外部反射鏡を設置して戻り光を付加している。半導体レーザと外部反射鏡までの距離は10.6 mmと短く設定している。また光増幅器への注入電流を変化させることで、戻り光の強度を調節することができる。戻り光は現在の入力に対して過去の出力の影響(記憶効果)を持たせるために重要となる。出力部では、光集積回路からの光強度出力の時間波形をオシロスコープで観測し、一定間隔でサンプリングした値を仮想ノード状態として定義する。ノード状態の重み付き線形和を計算することで最終的なリザーバの出力を得る。本光集積回路を用いて、時系列予測タスクの情報処理を実験的に達成している[8]。

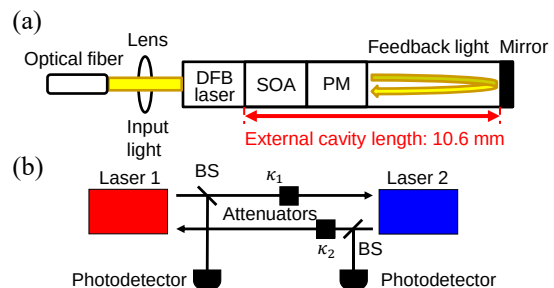


Fig. 1 (a) Photonic integrated circuit for reservoir computing [8]. (b) Mutually-coupled semiconductor lasers for decision making [9].

光意思決定: 相互結合された半導体レーザにおける遅延カオス同期(一方のレーザが先行振動してカオス同期する現象)を用いて、多腕バンディット問題における意思決定を行った[9]。Fig. 1(b)に示すように、2つの半導体レーザを相互に結合させる。結合強度は電圧制御可能な可変減光器を用いて変化させる。どちらのレーザが先行振動して同期するか(リーダーと呼ぶ)を相互相関値により決定し、結合強度を変化させてリーダーとなる確率を変化させる。ここで意思決定を実現するために、ロットマシンとレーザを1対1に対応させ、リーダーに対応するロットマシンを選択する。ロットマシンを選択して得られた「当たり」または「はずれ」の結果を結合強度へフィードバックする。例えば、ロットマシン1を選択して結果が当たりの場合、レーザ1がリーダーになる確率を増加させるように結合強度を変化させる。本システムを用いて意思決定を実験的に行った結果、多腕バンディット問題を解くことに成功した[9]。さらにロットマシンの増加に対しては、レーザの台数を増加させることで解決できることを示した[10]。

まとめ: 本稿では、複雑系フォトリニクスを用いた光リザーバコンピューティングと光意思決定の最近の研究動向について述べた。これらの光アクセラレータは、少ない学習コストで情報処理を加速する方式として、エッジコンピューティング等への応用が期待できる。

参考文献

- [1] 田中剛平ら, “リザーバコンピューティング, 時系列パターン認識のための高速機械学習の理論とハードウェア,” 森北出版 (2021).
- [2] L. Appeltant, et al., Nat. Commun. **2**, 468 (2011).
- [3] D. Brunner, et al., Nat. Commun. **4**, 1364 (2013).
- [4] M. Naruse, et al., Sci. Rep. **7**, 8772 (2017).
- [5] K. Kitayama, et al., APL Photonics **4**, 090901 (2019).
- [6] M. Nakajima, et al., Commun. Phys. **4**, 20 (2021).
- [7] S. Sunada, et al., arXiv:2105.10672 (2021).
- [8] K. Takano, et al., Opt. Express **26**, 29424 (2018).
- [9] T. Mihana, et al., Opt. Express **27**, 26989 (2019).
- [10] T. Mihana, et al., Opt. Express **28**, 40112 (2020).