レーザネットワークのゼロ遅延同期を用いた協力的意思決定実験

Experiment of collective decision making using zero-lag synchronization in a laser network

東大情理 ○伊藤 向子，巳鼻 孝朋，レーム アンドレ，堀﨑 遼一，成瀬 誠
Univ. Tokyo, °Hisako Ito, Takatomo Mihana, André Röhm, Ryoichi Horisaki, and Makoto Naruse
E-mail: ito-hisako780@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

はじめに

近年，機械学習の進展共に莫大な計算需要が必要とされている．そこで，GPU に挙げられるようなアクセラレータの必要性が高まっている[1].

光を用いたアクセラレータとして，強化学習における競合バンディット問題に対する意思決定が行われている[2]．競合バンディット問題とは，複数人のプレーヤが複数台の未知のスロットマシンから 1 台を選択し，報酬の最大化を目指す問題である．複数人のプレーヤは同時にスロットマシンを選択するため，選択競合がありうる．選択競合をした場合にはスロットマシンから得られる報酬は分割される．したがって，プレーヤは互いの選択が異なるような競合回避をしつつ，意思決定を達成する必要がある．

工学的実用性が高く，大きな設計自由度をもつ光システムとしてレーザネットワークがある．レーザネットワークでは，レーザの結合から生じる遅延カオス同期[3]とネットワーク構成により生じるゼロ遅延同期[4]の 2 つの同期現象が共存できる．遅延カオス同期は先行振動するレーザが結合遅延時間ごとに入れ替わる同期現象である．また，ゼロ遅延同期ではネットワーク内の一部のレーザがゼロ遅延で同期する．今までに，2 つの同期現象が共存するネットワークを構成することで，競合バンディット問題を解決できることを数値計算により示したが[5]，実際の光デバイスを用いた実証研究が望まれていた．

そこで本研究では，2 つの同期現象を組み合わせることでレーザネットワークが実験的に競合バンディット問題の解決を行えることを示す．

方法と結果

本研究では Fig. 1(a) に示すネットワークを構築した．以前の研究[5]では Fig. 1(b) に示す相互結合で構成されたレーザネットワークを用いていたが，実験において複数の半導体レーザからの

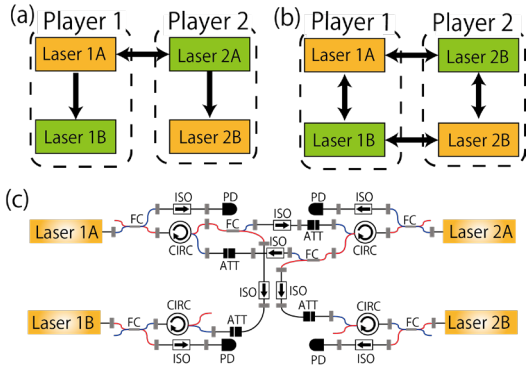

Figure 1 (a) Proposed network. (b) Previous network[5]. (c) Experimental setup.

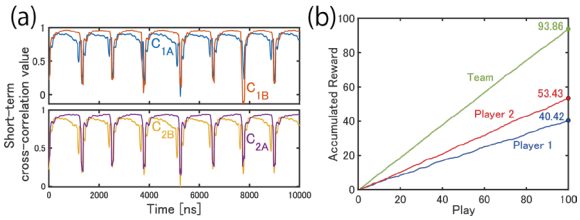

Figure 2 (a) Short-term cross-correlation values. (b) Accumulated reward. Hit probabilities are set to $\{S_A, S_B\} = \{0.8, 0.2\}$.

入力はダイナミクスの不安定化を招くため，レーザネットワークの構成を変更した．変更したネットワークでは必ず 1 つの半導体レーザからの入力のみで構成されている．理論上，何れのネットワーク構成においても同様のゼロ遅延同期を示す．Fig. 1(c)に実際の実験装置図を示す．レーザ間の遅延時間は各結合の遅延時間の差が短くなるように設計している．

2 つのレーザ間においてどちらが先行しているかを局所的に判定する短時間相互相関値を意思決定に利用した（Fig. 2(a)）．このレーザネットワークでは、理論的には、{Laser 1A, 2B} の組と {Laser 1B, 2A} の組がそれぞれゼロ遅延同期する．実験では「完全」なゼロ遅延同期を達成することは困難であり，各々の組の短時間相互相関値は完全には一致していないが，類似した値を示している.また，遅延カオス同期下では、急激なドロップアウトと回復過程が生じるため，先行振動するレーザが入れ替わる様子が確認できる．

本研究では，短時間相互相関値のドロップアウト部分を用いて意思決定を行った（Fig. 2(b)）．全体の総報酬では 93.86 となった．両プレーヤがランダムに選択した場合の報酬は理論的に 75.00 であることから，競合回避により，獲得報酬の増加を実験的に実現できた．一方，両プレーヤの報酬平等性は十分に実現できていない．意思決定の判定基準の改良等による平等性の改善は今後の課題のひとつと言える．

まとめ

本研究では半導体レーザネットワークを用いて，ゼロ遅延同期による競合バンディット問題の意思決定を実験的に実証した．今後の課題として結合遅延時間の均一化や，相互相関値に限らない新たな判定方法の探索等が期待される．

参考文献

[1] M. A. Nahmias, et al., Opt. Photon. News, **29**, 34 (2018).
[2] N. Chauvet, et al., Sci. Rep., **9**, 12229 (2019).
[3] K. Kanno, et al., Phys. Rev. E, **95**, 052212 (2017).
[4] M. Nixon, et al., Phys. Rev. Lett., **95**, 052212 (2011).
[5] 神徳ら，第 83 回 応用物理学会 秋季学術講演会 (2022).

© 2023年 応用物理学会