

3つの半導体レーザにおける遅延カオス同期を用いた意思決定実験 Experiment on decision making using lag synchronization of chaos in unidirectionally coupled three semiconductor lasers

埼玉大¹, 東大情理²

○高林 瑞穂¹, 廣田 和幹¹, 巳鼻 孝朋¹, 菅野 円隆¹, 成瀬 誠², 内田 淳史¹

Saitama Univ.¹, Univ. Tokyo²

○Mizuho Takabayashi¹, Kazuki Hirota¹, Takatomo Mihana¹,
Kazutaka Kanno¹, Makoto Naruse², and Atsushi Uchida¹

E-mails: m.takabayashi.213@ms.saitama-u.ac.jp, auchida@mail.saitama-u.ac.jp

はじめに: 多腕バンディット問題における意思決定は、人工知能分野での強化学習の重要な研究の一つである。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スロットマシンから、最大の報酬が得られるようにスロットマシンを選択する問題である。この解法として、綱引き理論が提唱されている[1]。また、綱引き理論の実装として半導体レーザカオスの時間波形としきい値の比較を用いた手法が報告されている[2]。この手法ではしきい値の変化を用いて意思決定を行うが、波形の自己相関が意思決定に影響することが分かっている。

ここで、結合された半導体レーザが遅延して同期する遅延カオス同期に着目する[3]。遅延カオス同期において先行するレーザをリーダ、追従するレーザをラグガードと呼ぶ。リーダとラグガードの関係は自発的に入れ替わることや、結合強度で制御可能であることが知られている[4]。現在、2腕バンディット問題の意思決定が、相互結合された2台の半導体レーザの遅延カオス同期を用いて実装されている[5]。しかしながら、3台以上のレーザの遅延カオス同期を用いた意思決定の実験的調査は行われていない。

そこで本研究では、一方向に結合された3つの半導体レーザにおいて、各レーザ間の結合強度を変化させることで、遅延カオス同期におけるリーダの入れ替わりを用いた意思決定実験を行うことを目的とする。

方法: 一方向に結合された3つの半導体レーザを用いた遅延カオス同期を用いた意思決定の実験装置図を Fig. 1 に示す。各レーザ間の注入光量を変化させ、結合強度を変化させる。結合強度は最大の結合強度で規格化する。各レーザの時間波形を取得し、短時間相互相関値 C_1, C_2, C_3 を以下のように算出する。

$$C_{1,2,3} = \frac{\langle [I_{1,2,3}(t) - \bar{I}_{1,2,3}] [I_{3,1,2}(t - \tau_{ave}) - \bar{I}_{3,1,2}] \rangle}{\sigma_{1,2,3} \sigma_{3,1,2}}$$

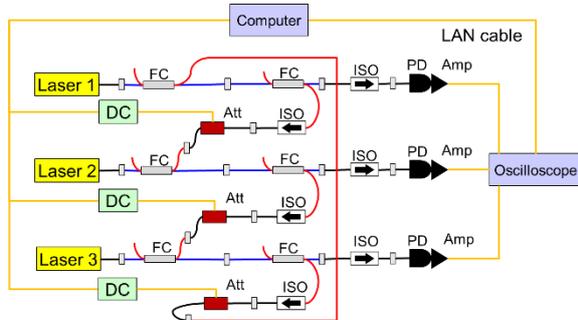


Fig. 1 Experimental setup for leader-laggard relationship in unidirectionally coupled three semiconductor lasers. FC, fiber coupler; ISO, isolator; PD, photodetector; Att, attenuator; Amp, amplifier.

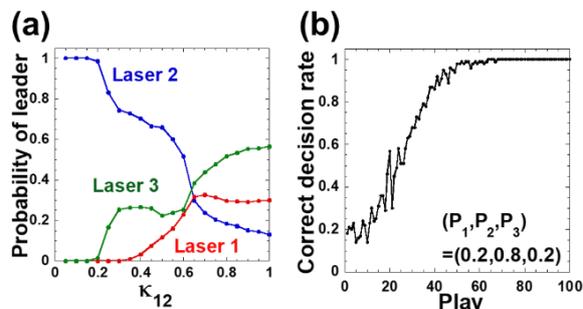


Fig. 2 (a) Probability of becoming the leader laser as a function of the coupling strength κ_{12} . The other coupling strengths are fixed at $\kappa_{31} = \kappa_{23} = 1$. (b) Correct decision rate when the hit probabilities of the slot machines are $(P_1, P_2, P_3) = (0.2, 0.8, 0.2)$.

ここで、 C_i が最小のとき、レーザ i がリーダであると定義する[5]。意思決定実験においては、リーダとなるレーザ i に対応するスロットマシン i を試行する。「当たり」または「はずれ」の結果に応じて、結合強度を変化させる。例えば、レーザ 2 がリーダの場合、スロット 2 を試行する。ここで結果が「当たり」の場合、レーザ 1 と 2 間のアッテネータ印加電圧を増加させて、 κ_{12} を小さくする。これにより、レーザ 2 がリーダになり易くなり、スロットマシン 2 を選択する確率が上昇する。

結果: 結合強度 κ_{12} の変化に対して、短時間相互相関値から算出した各レーザのリーダ確率を求めた実験結果を Fig. 2(a) に示す。レーザ 1 から 2 への結合強度 κ_{12} が弱まるにつれて、レーザ 2 のリーダ確率が増加している。また、遅延カオス同期を用いた意思決定の結果を Fig. 2(b) に示す。評価方法として平均正答率(Correct decision rate)を用いる。これは、当たり確率が最も高いスロットマシン 2 を選んだ場合を 1、その他の場合を 0 とし、全 100 サイクルを平均した指標である。100 回目には全サイクルでスロットマシン 2 を選択しており、正しい意思決定を実験的に達成した。

まとめ: 本研究では、一方向に結合された3つの半導体レーザの遅延カオス同期を用いた意思決定を実験的に行った。スロットマシンの試行結果に応じて結合強度を制御することで、3台のスロットマシンにおける意思決定を実験的に達成することができた。

参考文献

- [1] S.-J. Kim, et al., New J. Phys., **17**, 083023 (2015).
- [2] M. Naruse, et al., Sci. Rep., **7**, 8772 (2017).
- [3] T. Heil, et al., Phys. Rev., **86**, 795 (2001).
- [4] K. Kanno, et al., Phys. Rev. E, **95**, 052212 (2017).
- [5] T. Mihana, et al., Opt. Exp., **27**, 26989 (2019).