

相互結合された半導体レーザの遅延カオス同期を用いた意思決定実験 Experiments on decision making using lag synchronization of chaos in mutually coupled semiconductor lasers

埼玉大¹, 東京大²

○高林 瑞穂¹, 三井 湧方¹, 巳鼻 孝朋¹, 菅野 円隆¹, 成瀬 誠², 内田 淳史¹

Saitama Univ.¹, The University of Tokyo²

○Mizuho Takabayashi¹, Yusuke Mitsui¹, 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: 人工知能分野の意思決定問題の一つに多腕バンディット問題が挙げられる。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、定められた試行回数内で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のことで、強化学習として扱われる。この多腕バンディット問題の解法として綱引き理論が提案されており[1]、半導体レーザのカオス波形とそのしきい値の大小関係から選択するスロットマシンを決定する実装例が報告されている[2]。

また、相互に結合された半導体レーザの一方が遅延して同期する遅延カオス同期現象が報告されている[3]。ここで、先行振動するリーダーと遅れて同期するラグードが自発的に入れ替わる自発的スイッチングという現象も確認されている[4]。このリーダーとなる確率は、二つのレーザの結合強度差により変化することが報告されている。

本現象を用いた意思決定の実装実験が報告されている[5]。しかしながら、意思決定は各結合強度差での時間波形取得後、オフラインで相関値を算出し、意思決定を行っている。そこで本研究では、時間波形取得と相関値の算出、及び意思決定を同時に行うオンライン意思決定を実験的に行うことを目的とする。

方法: 相互に結合された2台の半導体レーザを用いた、2腕バンディット問題の綱引き理論を用いたオンライン意思決定の実験装置図を以下に示す。各レーザの時間波形を取得し、オシロスコープ上で短時間相互相関値 C_1, C_2 を計算する。レーザ1の時間波形を遅延させた場合の相関値 C_1 とレーザ2の時間波形を遅延させた場合の相関値 C_2 の大小関係からリーダーであるレーザを判定する。例えば $C_1 > C_2$ であれば、レーザ1がリーダーであると判定できる。このとき、レーザ1がリーダーであればスロットマシン1を試行し、レーザ2がリーダーであればスロットマシン2を試行する。スロットマシンはオシロスコープ内でソフトウェア的に実装し、乱数を用いて「当たり」ま

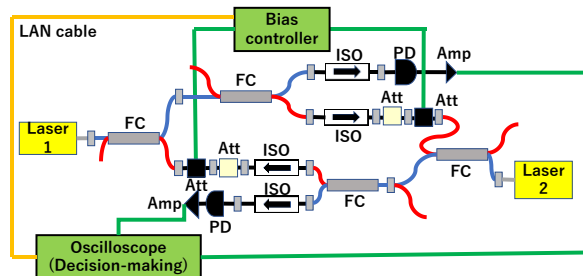


Fig. 1 On-line experimental setup for solving two-armed bandit problem using mutually coupled semiconductor lasers. ISO, isolator; PD, photo detector; Att, attenuator; Amp, amplifier.

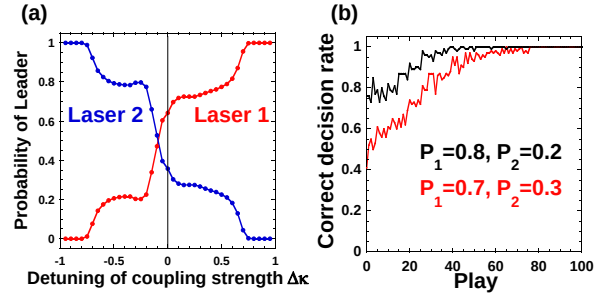


Fig. 2 (a) Probability of being the leader laser as a function of the detuning of coupling strengths. (b) Temporal evolution of correct decision rate.

たは「はずれ」の試行結果を返す。その結果に応じて、オシロスコープからの命令により任意波形生成器を用いて結合強度差 $\Delta\kappa$ を変化させる。ここで、一方のスロットマシンが「当たり」だった場合、そのスロットマシンが選択されやすいように、結合強度を一定の移動量で変化させる。これを繰り返し行うことで、オンライン意思決定を行う。

結果: 本実験にて短時間相互相関値 C_1, C_2 から算出した、各結合強度差における各レーザがリーダーとなる確率を Fig. 2(a) に示す。 $|\Delta\kappa| \leq 0.8$ の区間では、両レーザがリーダーとなる可能性があるのに対し、 $|\Delta\kappa| > 0.8$ の区間では一方のレーザが常にリーダーとなっていることが分かる。

本方式を用いた意思決定のオンライン実験結果を Fig. 2(b) に示す。評価方法として平均正答率(Correct decision rate)を用いた。これは、当たり確率が高い方のスロットマシンを選んだ時を 1、その他の時を 0 とし、全 100 サイクルを平均した指標である。各スロットマシンの当たり確率が $P_1 = 0.8, P_2 = 0.2$ の場合は、50 回程度で平均正答率が 1.0 で収束し、意思決定を実現できた。一方、 $P_1 = 0.7, P_2 = 0.3$ の場合は、80 回程度で 1 に到達した。

まとめ: 本研究では、相互に結合された2つの半導体レーザの遅延カオス同期を用いたオンライン意思決定を実験的に実装した。スロットマシンの結果に応じて結合強度差を制御することで、2腕バンディット問題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. E, **86**, 795 (2001).
- [4] K. Kanno, et al., Phys. Rev. E, **95**, 052212 (2017).
- [5] Y. Mitsui, et al., Proc. NOLTA 2018, **1**, 219 (2018).