

戻り光を有するマルチモード半導体レーザのカオスダイナミクスを用いた意思決定における選択特徴の調査

Investigation of feature of selection in decision making using chaotic dynamics in a multimode semiconductor laser with optical feedback

埼玉大¹, 東大情理² ○岩見 龍吾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

○Ryugo Iwami¹, Takatomo Mihana¹, Kazutaka Kanno¹, Makoto Naruse², and Atsushi Uchida¹
E-mail: r.iwami.692@ms.saitama-u.ac.jp, auchida@mail.saitama-u.ac.jp

はじめに: 近年、多腕バンディット問題における意思決定を光により達成する光意思決定に関する研究が行われている[1-3]。多腕バンディット問題とは、当たり確率が事前に不明な複数台のスロットマシンの中から 1 台を選択して報酬を得ることを繰り返す時に、総報酬の最大化を目指す問題である。この問題を解くためには、スロットマシンの試行結果の履歴に応じた意思決定が重要である。光意思決定では、2 つの状態間の変化を利用することで、スロットマシンが 2 台の場合の多腕バンディット問題が解かれている[1]。一方で 3 台以上の場合への拡張方式は、2 台の場合の方式を階層状に組み合わせる方式[2]や、レーザネットワークによる拡張方式[3]が提案されている。しかしながら、これらの拡張方式は構造に起因してスロットマシンの配置により意思決定性能が悪化することが示唆されており、スロットマシンの台数増加に対するスケーラビリティの点で課題となる。そこで、スロットマシンの台数増加に対する新たな拡張手法を検討し、スケーラビリティを確保することが重要である。

マルチモード半導体レーザは、複数の縦モードを有するレーザであり、スロットマシンの選択を縦モードの発振状態に対応させることで、複数台のスロットマシンの場合への拡張が期待できる。これまでに、戻り光を有するマルチモード半導体レーザにおけるカオス発振状態での縦モードの競合ダイナミクスを利用した意思決定方式が提案されている[4]。特に、スロットマシンの台数増加に対するスケーラビリティや、その選択の特徴を調査することが重要である。

そこで本研究では、戻り光を有するマルチモード半導体レーザのカオスダイナミクスを用いた意思決定におけるスケーラビリティと、選択の特徴を数値計算により調査することを目的とする。**方法:** 本研究では、全てのモードで利得を同じとして、利得の差による発振状態の差を考慮せず数値計算を行う。 M 個の縦モードとスロットマシンを一対一に対応させ、支配モード (光強度が最大のモード) に対応するスロットマシンを選択する。この時、スロットマシンの試行結果に応じて外部からレーザ光を光注入することで支配モードを制御し、スロットマシンが M 台の場合の多腕バンディット問題を解く。スロットマシン 1 の当たり確率のみを 0.6 に設定し、残り $M - 1$ 台の当たり確率を 0.4 に設定した時、本方式における意思決定を、ソフトウェア的なアルゴリズムとして知られる UCB1-tuned [5]を用いた意思決定と比較する。

結果: スロットマシンの台数を $M = 3$ から 129 まで変化させた時、当たり確率が最大のスロットマシンを選択する割合を表す平均正答率 (CDR) が 0.95 以上になるのに必要な試行回数 (plays) のスケーラビリティの比較を Fig. 1 に示す。Fig. 1 では、スロットマシンの台数が少ない時には、本方式 (赤

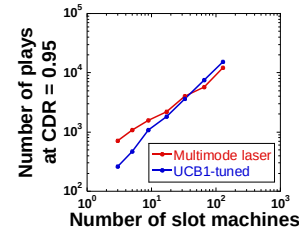


Fig. 1 Scalability of the number of plays at CDR = 0.95 as a function of the number of slot machines using multimode laser and UCB1-tuned algorithm.

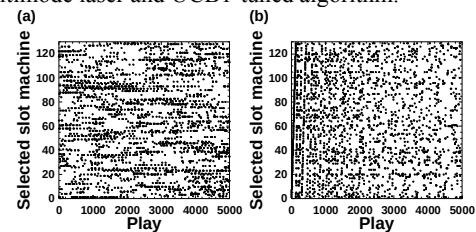


Fig. 2 Slot machine selection as a function of the number of plays when the number of slot machines is $M = 129$. (a) Multimode semiconductor laser, and (b) UCB1-tuned.

線) よりも UCB1-tuned (青線) の方が少ない試行回数で正しい意思決定が行えることが分かる。一方で、スロットマシンの台数が増加すると両方式の試行回数の差が縮まり、129 台の時には本方式の方が少ない試行回数で正しい意思決定が行えている。グラフの傾きはマルチモードレーザでは 0.73 であり、UCB1-tuned では 1.07 であるため、マルチモードレーザの方が傾きが小さい。このように、本方式はスロットマシンの台数増加に対するスケーラビリティがソフトウェア的な方式よりも優れていることが分かった。

次に、スロットマシンの台数が $M = 129$ の時の選択過程の比較を Fig. 2 に示す。Fig. 2(a)は、本方式を用いた時の選択結果である。Fig. 2(a)では、各試行においてランダムな選択をしているが、着目する試行回数により選択するスロットマシンが偏っている。一方で、Fig. 2(b)は、UCB1-tunedを用いた時の選択結果である。Fig. 2(b)では、選択における偏りが少なく並列的に選択していることが分かる。このように、本方式では偏りのある選択をする特徴が出現することが分かった。

まとめ: 本研究では、戻り光を有するマルチモード半導体レーザのカオスダイナミクスを用いた意思決定におけるスケーラビリティと選択の特徴を数値計算により調査した。本方式はソフトウェア的な方式よりもスケーラビリティが優れていることが分かった。また、本方式は偏りのある選択をする特徴があることが明らかとなった。

参考文献

- [1] M. Naruse, et al., Sci. Rep., **7**, 8772 (2017).
- [2] M. Naruse, et al., Sci. Rep., **8**, 10890 (2018).
- [3] T. Mihana, et al., Opt. Express, **28**, 40112 (2020).
- [4] R. Iwami, et al., Proc. NOLTA 2020, **1**, 286 (2020).
- [5] P. Auer, et al., Mach. Learn., **47**, 235 (2002).