

面積符号化による DMD 型空間光イジングマシン的高速化 Speeding up of DMD-based spatial photonic Ising machine with area encoding

野内 稜^{1*}, 谷田 純², 下村 優², 小倉 裕介²

[°]Ryo Nouchi^{1*}, Jun Tanida, Suguru Shimomura², and Yusuke Ogura²

1. 大阪大学工学部, 2. 大阪大学大学院情報科学研究科

1. Faculty of Engineering, Osaka University

2. Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

[*r-nouchi@ist.osaka-u.ac.jp](mailto:r-nouchi@ist.osaka-u.ac.jp)

A spatial-photonic Ising machine (SPIM) solves combinatorial optimization problems based on optical modulation. Although the SPIM has high scalability for the variable number, a liquid-crystal spatial light modulator used for optical modulation limits the computing speed. In this study, we propose a new scheme of the SPIM by using a micro mirror device (DMD) which is a high speed SLM. Binary phase control and area encoding enable computation of the SPIM using DMD and achieve high computing speed. We demonstrated that proposed method could enhance computation speed by a factor of six.

組合せ最適化問題は、物流の輸送経路の最適化など、我々の日常生活に広く関係する。一方、問題が大規模になると組合せ爆発が起こり、計算時間が膨大になる。空間光イジングマシン (Spatially Photonic Ising Machine; SPIM) は組合せ最適化問題を解くことに特化した計算機である[1]。空間光変調を用いることで、多数の制約条件・選択肢が存在する問題の解探索が可能であり、また、問題規模によらない演算が実行できる。しかし、光変調に用いられる液晶型空間光変調器 (SLM) の動作速度がシステムの律速となっていた。本研究では、SLM として高速制御可能なデジタルマイクロミラーデバイス (DMD) を用いた空間光イジングマシンを実装する。ミラー反射光の光路長差によりバイナリー位相を制御する手法[2]と、振幅を表現するための面積符号化法を組み合わせた手法による高速化を検討し、原理実証実験を行った。

Fig. 1 に DMD を用いた SPIM の概略を示す。SPIM では、問題条件を振幅分布に、決定変数 (スピン状態) を 2 値(0, π) のバイナリー位相に対応づけて光変調し、レンズを用いたフーリエ変換作用ののちに得られる光強度からイジングハミルトニアンを取得する。DMD を用いた SPIM では、振幅分布と位相分布を 1 つの DMD で表現する。位相制御は、DMD への光の入射角の調整により、隣接するミラー間の光路長差が半波長になることを利用して実現する。隣接する 2 つのミラーを一組として、どちらか一方のミラーのみを ON にすることでバイナリー位相表現を行う。振幅表現は、振幅分布を整数値に変換し、それに対応する数のミラーの集合を各スピンに割り当てる面積符号化を用いる。DMD を反射した光は最終的に集光されるため、ミラーの数、すなわち反射する面積に比例した振幅を各スピンに対応づけられる。

提案手法を検証するため、14 個の要素を持つ数集合の数分割問題解探索を実行した。反復回数は 500 回とし、解探索アルゴリズムとしてシミュレーテッドアニーリングを用いた。100 回までの解探索における一方の集合の要素和の推移を Fig. 2 に示す。20 回の試行全てにおいて、最終的に得られた解における要素の和と、最適値 80 との差は 2 以内に収まっており、20 回中 10 回最適解に到達した。また、2 つの液晶型 SLM を使ったシステムと比べて約 6 倍の高速化がなされた。本結果より提案手法の高速性を実証した。本研究は、JST ALCA-Next (JPMJAN23F2) , JSPS 科研費 (23H04805)の助成を受けたものです。

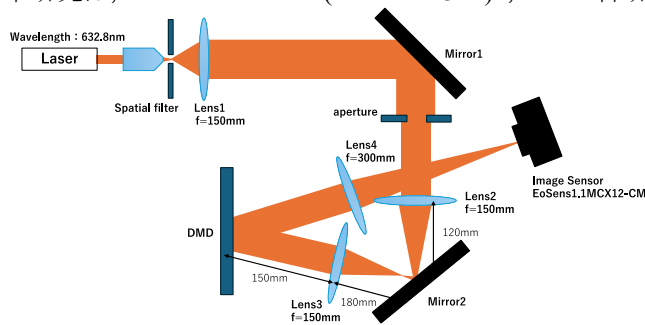


Fig. 1 Spatial photonic Ising machine with DMD

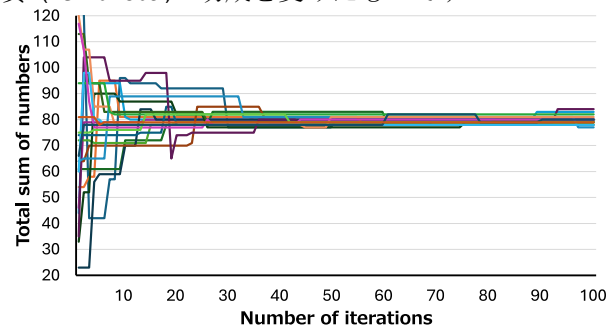


Fig.2 Change in total of selected numbers

参考文献

- 1)D. Pierangeli, et al, “Large-Scale Photonic Ising Machine by Spatial Light Modulation,” Physical review letters, 122.21, 213902 (2019).
- 2)Y. Ogura, et al, “Spatial photonic Ising machine using a digital micromirror device,” OIE25_proceedings, 42-43 (2025).