

# バイアス位相を用いた並列演算空間フォトニックイジングマシンの 検証実験

## Experimental demonstration of spatial photonic Ising machine

### with parallel processing using bias-phase

阪大院情 ○木原 崇晶, 下村 優, 小倉 裕介, 谷田 純

Osaka Univ., °Takaaki Kihara, Suguru Shimomura, Yusuke Ogura, Jun Tanida

E-mail: t-kihara@ist.osaka-u.ac.jp

空間フォトニックイジングマシン (SPIM) は, 組合せ最適化問題を解く計算システムであり, 大規模な組合せを取り扱うことができる<sup>1)</sup>. 本システムでは, 最適解を導出するために, 候補解に対する評価を基にして反復的に解の探索を行う. しかし, 1 反復につき 1 つの組合せしか評価できないため, 問題規模に応じて膨大な反復回数が必要となる. 本研究ではグレーティング状のバイアス位相を用いた空間多重化により, 異なる組合せを並列に評価可能な空間フォトニックイジングマシンを構築する. 並列評価による効率的な探索により, 良い解を導出するために必要な反復回数を削減できる. 実験光学系を構築し, 最小カット問題の最適解探索を行った. 各多重化数における解精度の比較により, 提案手法の有効性を検証した.

Figure 1 にバイアス位相を用いた SPIM の概略図を示す. SPIM では, 問題設定は入射光の振幅分布  $\xi$  で表現される. 位相変調量  $\phi_j \in \{0, \pi\}$  のバイナリー位相パターン  $\phi$  により, 組合せはスピン配置  $\sigma = e^{i\phi} \in \{-1, 1\}$  として表現される. 2 つの SLM によって振幅・位相が変調された光はレンズによって集光される. イメージセンサで集光中心の光強度を取得する. 取得される光強度は, 組合せの評価値であるイジングハミルトニアン  $H = -\sigma^T \xi \xi^T \sigma = -\sum_{jh} \xi_j \xi_h \sigma_j \sigma_h$  に対応している. 光強度値が最大となるよう, 位相変調パターンの反復更新により最適解を探索する. 本研究では, 位相パターン  $\phi^{(k)}$  の展開とグレーティング状のバイアス位相を用いて空間多重化を行う. 具体的には, 複数の位相パターン  $\phi^{(k)}$  に対してバイアス位相を重畳することで, グレーティングの向きに応じた回折によって集光位置をシフトさせる. それぞれのスピン配置に対応したイジングハミルトニアン  $H^{(k)}$  の取得により反復回数を削減でき, 解探索の高速化が可能となる.

実験では, 振幅分布  $\xi \in \{0, 1\}$  で表現されたスピン数が 100 の最小カット問題の最適解探索に適用した. 各多重化数 (N) において導出された解精度のヒストグラムを Fig. 2 に示す. 反復回数 50 回における解精度の平均を算出したところ, N=1 では 66.5%, N=4 では 76.1% となり, 多重化数に応じて解精度が向上した. 本結果より, 多重化を用いた複数の組合せの並列評価によって探索性能が向上することを実証した.

本研究は JSPS 科研費 23H04805, JST ALCA-Next JPMJAN23F2 の助成を受けたものです.

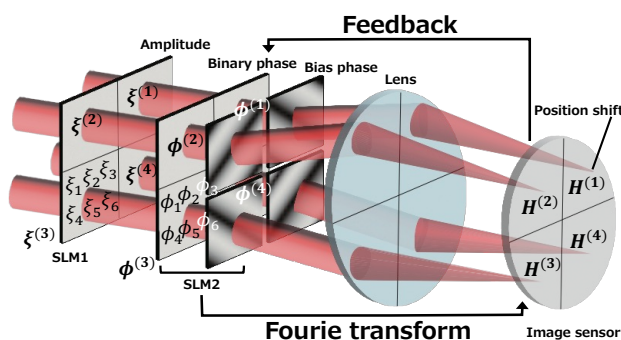


Fig. 1 Spatial photonic Ising machine with parallel processing using bias-phase.

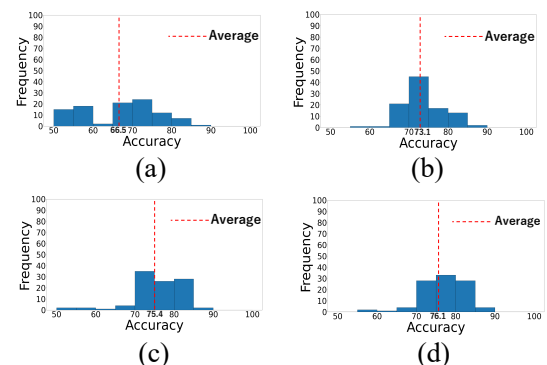


Fig. 2 Histograms of optimization accuracy for Min-cut problem with (a) N=1, (b) N=2, (c) N=3, and (d) N=4.

#### 参考文献

- 1) D. Pierangeli, *et al.*, Large-Scale Photonic Ising Machine by Spatial Light Modulation, Physical Review Letters **122**, 213902 (2019).