

マイクロミラーデバイスにおけるサブピクセル法を用いた 光渦生成の精度評価

1200003 秋田 真吾(光制御・ネットワーク研究室)
(指導教員 小林 和弘 准教授 岩下 克 教授)

1. 研究背景・目的

光渦とは、図 1(a)のように螺旋状の波面 (位相が 0 となる位置) を持つ光ビームである。ビーム断面において円環状の強度分布と $2\pi l$ (整数 l は空間モードの番号) の方位角位相をもつ [図 1(b)]。異なる螺旋波面を持った光渦に個別のデータを載せることで同一波長での通信多重化が可能になるため、通信の大容量化への応用が期待されている。このような応用を実現させるためには光渦を効率的かつ高精度に生成する必要がある。本研究では多数の微小鏡面を平面状に配列したデジタルマイクロミラーデバイス(DMD)を用いた光渦生成の検証とその高精度化を目的として実験を行ったので報告する。

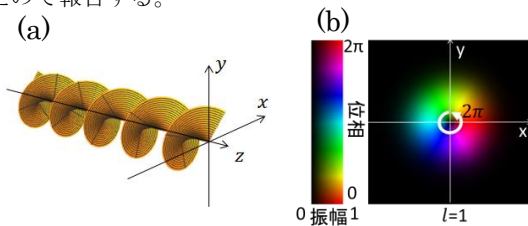


図 1 光渦($l=1$)の(a) 波面、(b) 複素振幅分布

2. DMD による光渦生成

本実験では、図 2 のように通常のビーム(ガウシアンビーム)と光渦ビームから生成される干渉縞を二値化して強度変調パターンとして DMD に表示することで光渦を生成する。

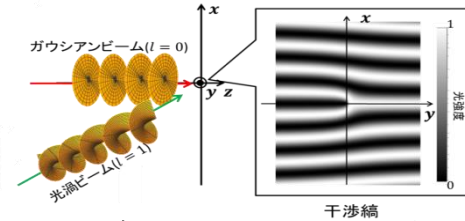


図 2 xz 平面に入射する光渦ビーム($l=1$)で生じる干渉干渉縞を計算する際にはある面にガウシアンビーム($l=0$)と光渦が互いに $\pm\theta$ の角度で入射していると仮定する。 z 軸に対して角度 θ で伝搬する波数 k の単色光の光渦ビームの複素振幅は

$$E_l(\vec{r}, \theta) = A \exp[i\{\Phi + k(x \sin\theta + z \cos\theta)\}] \quad (1)$$

で表される。ただし、 $\vec{r} = (x, y, z)$ 、 A は振幅、 Φ は xy 平面における偏角を表す。 $\theta = 0^\circ$ 方向に伝搬するガウシアンビームと $+\theta$ 方向に伝搬する光渦ビームの干渉縞の強度分布 $|E_0(r, 0^\circ) + E_l(\vec{r}, \theta)|^2$ を計算して DMD に入力し、通常的光ビーム($l=0$)を入射すると反射光として光渦が再現される。

DMD の各ミラーは 1 つ 1 つ独立動作するが、ミラーの傾きを ON 状態か OFF 状態の 2 状態しか選択できない。干渉縞の強度分布を二値化して表示する手法が最も簡便であるが、より高精度な光渦を生成するために、縦横 3×3 ピクセルを 1 セットとして、ON 状態のピクセル数を干渉縞の強度に比例して変化させるサブピクセル法で DMD に表示する画像を作成し、光渦の生成を行なった。

3. 実験構成・結果

図 3(a)はガウシアンビームと光渦ビームから生成した干渉縞である。この干渉縞強度に対して閾値を最大値の半分とした 2 値化を行ったものが図 3(b)である。更に 9 個のピ

クセルを 1 セットとしてサブピクセル法で作成したものが図 3(c)である。図 3(b)と(c)の干渉縞を強度変調パターンとして、図 4 に示す実験系で $l=1$ の光渦生成の実験を行った。ガウシアンビームと光渦を干渉させて強度と位相(複素振幅)を観測することで光渦の生成精度を調べることができるモード分布を観測する。モード分布の縦軸はモード分布確率、横軸は光渦モードを表し $l = -3$ から $l = +3$ まで観測する。図 3(b)、(c)から観測した強度分布が図 5(a)、(b)である。図 6 から図 5(b)の方が生成精度が高いことがわかった。

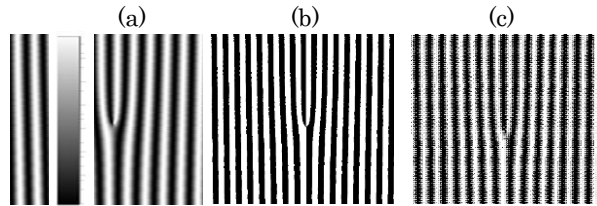


図 3 (a) 通常的光ビームと光渦ビームから生成した干渉縞 (b) (a) を 2 値化した干渉縞 (c) 9 個のピクセルを 1 セットとした時の干渉縞

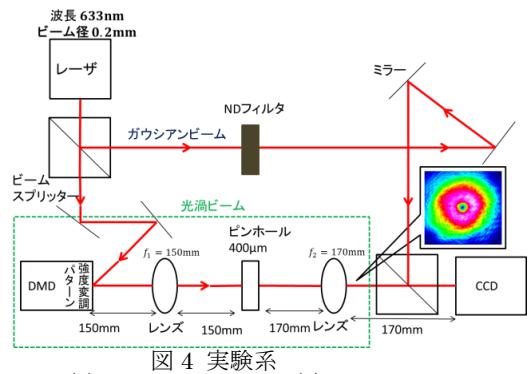


図 4 実験系

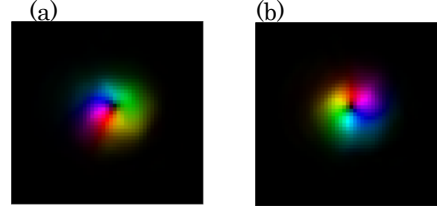


図 5 (a) 図 3(b) から観測した複素振幅分布 (b) 図 3(c) から観測した複素振幅分布

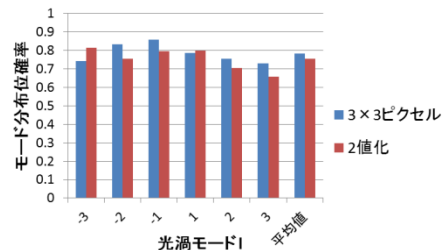


図 6 モード分布 ($l = -3 \sim +3$)

4. まとめと今後の予定

DMD に入力した干渉縞によって任意のモード l の光渦を生成できることが分かった。また図 5(a)より図 5(b)の方が生成精度が少し高かった。現在は光渦の理論値からサブピクセルごとに最適な位相を掛け合わせ、理論値とより近い光渦を生成させることで高精度化を目指している。