

光複素振幅の座標変換による光渦の方位角および動径モード変換

Azimuthal and Radial Mode Conversion of Optical Vortex via Coordinate Transformation of Optical Complex Amplitude

1255052 鈴木 健斗 (光制御・ネットワーク研究室)
(指導教員 小林 弘和 准教授)

1. 研究背景・目的

光渦は、図1(a)のように円環状の振幅分布を形成しビーム断面の方位角方向 θ に $e^{il\theta}$ (l は整数)の位相変化を持つ特殊なビームである。図1(a)のように位相と振幅を色と明度で表現した分布を光複素振幅という (b)のように光渦モードそれぞれを異なるデータで変調して合波、伝送し、図1(c)のようにモードごとに分離をすることで同一波長でのモード分割多重化通信が成立する。この時、光渦のモードを乗除算的に操作ができれば分離精度やチャンネルの操作の自由度を向上させることが可能である。光渦モードの乗除算の手法として、扇形変換による光渦モード通倍変換と分周変換が報告されている[1]が実装と効率化にはまだ課題が多い。本研究は、通倍、分周変換を高効率に実現することを目的としている。光渦はLaguerre-Gaussian(LG)モード l に対応し、LGモードには図2のように動径方向に $p+1$ 重リングを形成するモード p も存在する。なお本稿では紙面の都合上動径方向モード p の変換については記載しない。

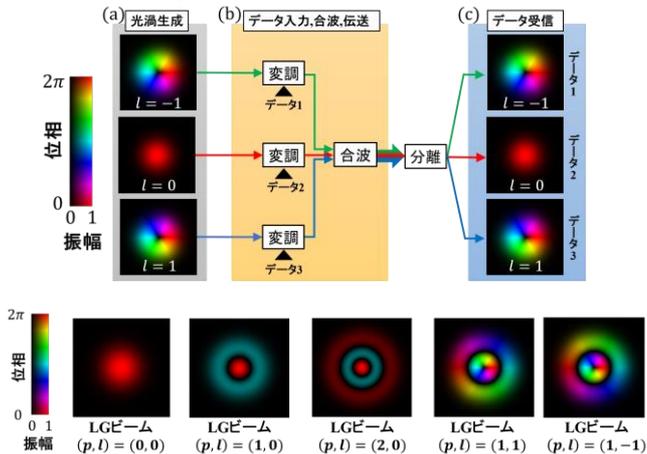


図2 LGビームの断面光複素振幅

2. 通倍・分周を実現する位相分布

距離 f 伝搬後に光渦モードの N 通倍を実現するために、ビーム断面の円環から扇形への変換が成立するような方位角 $\theta \mapsto \phi = (\theta + 2n\pi)/N$ (n は整数で $0 \leq n < N$)の座標変換(扇形変換)を位相フィルタ $\varphi_n(\theta)$ で実現する。 $\varphi_n(\theta)$ を被変換光の位相指数関数に付加することで $e^{il\theta} \mapsto e^{iNl\phi}$ となるため変換後のモードは Nl となり、 N 通倍される。実際に通倍数 $N=2$ の時の位相フィルタ $\varphi_1(\theta)$, $\varphi_2(\theta)$ を付加した後の伝

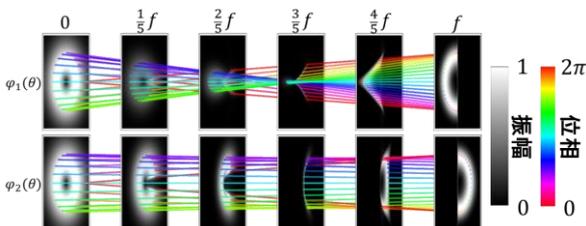


図3 伝搬による扇形変換の様子

搬による扇形変換の様子をそれぞれ図3に示す。本研究では通倍変換の手法として N 個の $\varphi_n(\theta)$ を単一の位相分布 $\varphi(\theta)$ で実装して光渦に付加し、伝搬させることで強度分布を円環から円環へ高効率に変換した。伝搬後、付加した位相

$\varphi(\theta)$ と伝搬による位相の変化を打ち消す補正用位相フィルタ $\Psi(\phi)$ を付加することで光渦モードの N 通倍変換を実現した。なお分周変換は光渦を $1/N$ の扇形 N 個によって形成されたものであると考え、逆に $\phi \mapsto \theta$ を成立させる位相フィルタを用意し同様に補正することで実現した。

3. 光渦モード通倍・1/2分周変換実験

空間光学系での光渦モード通倍・分周実験の実験系を図4に示す。本実験では被測定光にモード $l=-1$ (通倍実験の入射光)、 $l=-2$ (分周実験の入射光)の光渦を準備し、反射型空間位相変調器(SLM)で被測定光の通倍・分周変換を実現した。また通倍された光渦の複素振幅を観測するために参照光と被測定光を干渉させた。実験結果を図5に示す。図5(a),(b)はそれぞれ通倍変換される入射光渦 $l=-1$ と、通倍数 $N=\pm 2, \pm 3$ で通倍変換した後の出射モードの光複素振幅の分布と各電力比、入射光渦 $l=-2$ とその1/2分周後の位相と振幅の分布と各電力比である。結果より、本研究の通倍分周手法でも変換後所望モードが得られた。

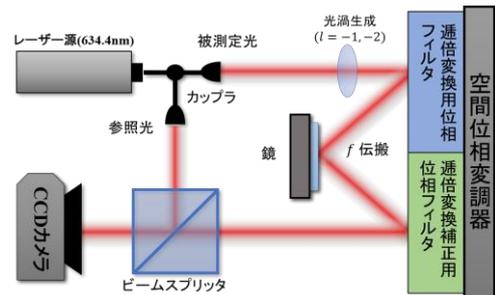


図4 N 通倍・分周変換実験系

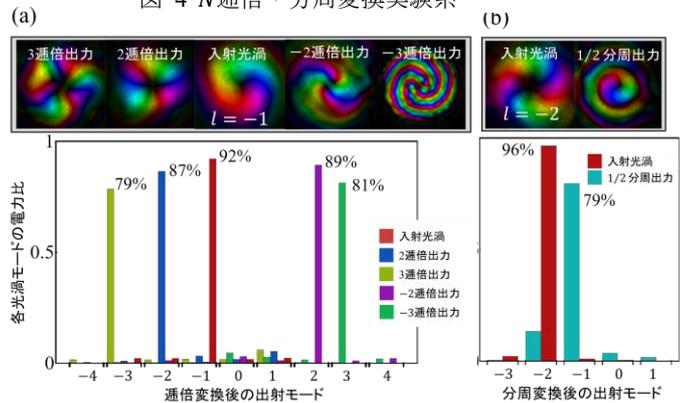


図5 (a)通倍変換後の光素振幅と各電力比, (b)1/2分周変換後の光素振幅分と各電力比

4. まとめ

通倍・分周変換を実現する位相分布を工夫することで通倍・分周変換精度は平均 91.2%であった。変換後の所望モード電力はSLMの分解能が $20\mu\text{m}$ であることを踏まえても高精度である。変換用の位相フィルタに $20\mu\text{m}$ よりも高分解能な位相フィルタを使うことでさらに高精度な変換ができると期待される。

5. 参考文献

[1] S. Takashima, H. Kobayashi, K. Iwashita, Phys. Rev. A **100**, 063822 (2019)