

大気乱流を伝搬したラゲールガウスビームのモード分布の検証

Investigation of mode distribution of Laguerre-Gaussian beam propagating in atmospheric turbulence

日本女子大理 安国 依子, °小川 賀代

Japan Women's Univ., Eko Yasukuni, °Kayo Ogawa

E-mail: m1616091ye@ug.jwu.ac.jp

1.はじめに

近年、動画配信、SNS の普及、IoT の発展などにより通信トラフィックが増加し続けており、更なる大容量化が必要とされている。そこで新しい多重通信方式として OAM モード多重通信方式が注目を集めている。OAM モード多重通信方式とは軌道角運動量(OAM : Orbital Angular Momentum)を用いて信号を多重伝送する技術である。この OAM モードはラゲールガウス(LG)ビームの一部のモードであり、ラジアル次数 n とアジマス次数 m から決定される。モードは次数によって異なる複素振幅分布を有し、異なるモード間は直交関係にあるため、この性質を利用して多重を行っている。しかし、これまでの研究において空間伝搬における、モード間の染み出しが報告されている¹⁾。そこで、本研究では伝搬を伴う LG ビームのモード分布について検証を行う。

2.ラゲールガウスモード分布の評価

LG ビームのモード分布を評価するために各種モードの LG ビームの位相共役フィルタを用いてモードソートを行う。Fig.1 に示すように、伝搬してきた単一モードの $LG(n, m)$ ビームが複数の位相共役フィルタに入射した時、入射した $LG(n, m)$ モードと一致した位相共役フィルタを通過した時のみ平行光となり、フーリエ変換を行うことで、強いピークを得ることができる。(位相限定相関) 一方、入射 $LG(n, m)$ モードと位相共役フィルタのモードが異なる場合、ピークを得ることはできない。これにより、入射 $LG(n, m)$ モードのソートが可能となる。また、乱流によって位相分布が歪んだ場合は、その位相分布と各種位相共役フィルタ間の位相限定相関が強度値として得ることができる。

3.大気乱流における伝搬

大気伝搬には屈折率揺らぎのモデルを用いて位相変化を与える。本研究では、von Karman のパワースペクトル密度モデルを用いた。

$$\phi(f) = 0.023 \left(\frac{4\pi^2}{k^2 z C_n^2} \right)^{-5/3} \frac{\exp(-f^2/(1/2\pi l_0)^2)}{(-f^2/(1/L_0)^2)^{11/6}} \quad (1)$$

ここで、 k は波数、 z は伝搬距離、 l_0, L_0 は乱流の内部、外部スケールの大きさである。 C_n^2 は乱流の強さを表す屈折率構造定数であり、

$C_n^2 = 10^{-17} \text{m}^{-2/3}$ 以下が弱い乱流、 $C_n^2 = 10^{-13} \text{m}^{-2/3}$ 以上が強い乱流となる。

4.シミュレーション結果

今回は、LG(5, 1)ビームを真空中と大気乱流中でそれぞれ 500m、1000m、2000m 伝搬させ、その時のモード分布を調べた。結果を Fig2 に示す。真空中を伝搬させた場合は、いずれの伝搬距離においても LG(5, 1)モードに最も強いピークが得られたが、伝搬に伴い近隣モードを含むことが確認できた。また、大気乱流中を伝搬させた場合は、伝搬距離が 500m の場合のみ、LG(5, 1)モードに最も強いピークが得られたが、広範囲に他モードが含まれることがわかった。更なる長距離伝搬では、特定のモードが確認できない結果となった。

5.まとめ

大気伝搬した LG ビームのモード分布を調べたところ、伝搬モードだけでなく他の複数の LG モードを含有していることが確認できた。また、伝搬距離が長くなるほど、他のモードが多く含まれていることを確認した。

参考文献

1) T. Doster, et al., App. Opt. 55(36), 10239 (2016).

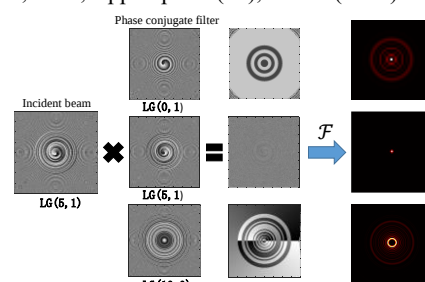


Fig.1 Phase conjugate sorting of LG(5,1)

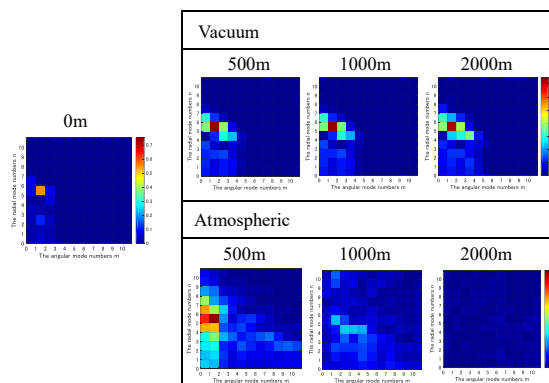


Fig.2 Simulation results of LG mode distribution after propagation