中国科学: 物理学 力学 天文学 2024 年 第 54 卷 第 10 期: 104231
SCIENTIA SINICA Physica, Mechanica & Astronomica physcn.scichina.com
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS

亮 点

随机波动与遮挡下涡旋光束的轨道角动量实时测量

陈险峰*

上海交通大学物理与天文学院, 上海 200240
*联系人, E-mail: xfchen@sjtu.edu.cn

收稿日期: 2024-06-09; 接受日期: 2024-06-18; 网络出版日期: 2024-08-14

摘要 涡旋光束携带轨道角动量, 在增加光通信信息容量方面具有重要的应用价值. 在自由空间光通信应用中, 对涡旋光束的轨道角动量进行精确测量是一个关键的问题. 最近的一项研究结合相移定理与自参考全息技术, 提出了一种用于随机波动和遮挡的涡旋光束的轨道角动量实时测量方法. 根据初始轨道角动量与观测平面上相干奇点之间的定量关系, 可以同时确定初始轨道角动量的符号和大小.

关键词 光学涡旋, 相位恢复, 轨道角动量测量, 抗湍流和抗扰动

PACS: 42.25.Dd, 42.25.Kb, 42.30.Rx

具有螺旋波前的涡旋光束已被证明携带有轨道角动量, 因此吸引了大量的研究兴趣, 在大容量光通信、超分辨率成像、微粒操纵、图像加密、非线性光学和轨道角动量量子纠缠等方面得到广泛应用[1,2]. 涡旋光束轨道角动量的大小决定了信息编码的能力, 因此, 精确测量涡旋光束的轨道角动量的大小和符号是光通信领域的一个重要研究方向.

干涉法、衍射法、模式转换器、轨道角动量谱和几何坐标变换的方法已被证明可以用于精确测量完全相干涡旋光束的轨道角动量[3]. 在自由空间光通信的实际传输环境中, 涡旋光束在传输过程中可能会遭遇随机波动和障碍物进而导致光束的相干性下降以及信息受损. 当相干性下降后, 完全相干涡旋光束转化为部分相干涡旋光束, 上述测量完全相干涡旋光束的轨道角动量的方法将会失效. 为了测量部分相干涡旋光束的轨道角动量, 研究人员提出了复相干度测量、角梯度滤波器以及交叉谱密度测量的方法[4]. 然而, 在随机波动的传输环境中, 这些方法难以实现部分相干涡旋光束轨道角动量的精确测量.

近日, 苏州大学赵承良教授团队与山东师范大学蔡阳健教授团队以及上海理工大学詹其文教授团队[5]合作, 在随机波动和遮挡下涡旋光束的轨道角动量的实时测量方面取得了重要进展. 该研究成果以“Single-shot phase retrieval for randomly fluctuated and obstructed vortex beams”为题在线发表在*SCIENCE CHINA Physics, Mechanics & Astronomy*.

研究团队提出了一种非理想涡旋光束轨道角动量的实时测量方法, 该方法仅需单次拍摄光强分布即可恢复

引用格式: 陈险峰. 随机波动与遮挡下涡旋光束的轨道角动量实时测量. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2024, 54: 104231
Chen X F. Real-time measurement of orbital angular momentum of vortex beams under random fluctuations and obstruction (in Chinese). Sci Sin-Phys Mech Astron, 2024, 54: 104231, doi: 10.1360/SSPMA-2024-0220

© 2024 《中国科学》杂志社

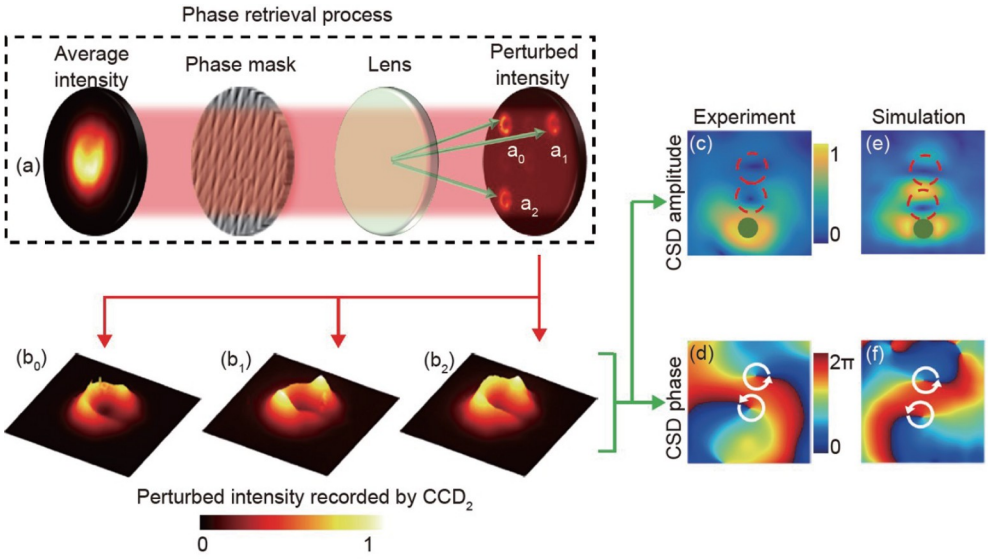


图 1 (网络版彩图)基于相移定理和自参考全息技术来恢复待测涡旋光束的交叉谱密度相位的原理图[5]. (a) 相位恢复过程, (a_0), (a_1)和(a_2)为 CCD2记录的扰动后的光强; (b_0), (b_1)和(b_2)为相应的3D光强分布. (c), (d) 实验恢复的交叉谱密度的振幅和相位. (e), (f) 相应的模拟结果

Figure 1 (Color online) Schematic diagram of the cross spectral density phase recovery of the measured vortex beam based on the phase shift theorem and self-reference holography [5]. (a) Phase retrieval process, (a_0), (a_1), and (a_2) are perturbed intensities recorded by CCD2; (b_0), (b_1), and (b_2) are the corresponding three-dimensional intensities. (c), (d) are experimental recovered crossspectral density (CSD) amplitude and phase, respectively. (e), (f) are the corresponding simulation results.

该光束的交叉谱密度信息. 基于交叉谱密度相位中的相干奇点, 可以获得轨道角动量的大小和符号信息. 提出的随机波动和遮挡的涡旋光束的轨道角动量实时测量方法具有更强的抗随机扰动和遮挡的特性, 对自由空间光通信系统中信息的实时精确测量具有重要的应用价值.

研究人员基于相移定理和自参考全息技术, 利用一个高分辨率的空间光调制器来同时加载三次不同的相位扰动. 受到随机扰动和遮挡影响的涡旋光束照射在携带有三种相位扰动的复合全息图上, 并基于相移定理将受到不同扰动的光强位移到不同的空间位置. 最后通过全息算法即可恢复出该光束的交叉谱密度的振幅和相位, 如图1所示. 基于交叉谱密度相位中的相干奇点, 该方法可以实现对轨道角动量的大小和符号的实时测量.

此外, 由于部分相干涡旋光束的光强具有自修复特性, 只要相位扰动点选取在光强不为零的位置, 就可以从测量到的交叉谱密度的相位中恢复轨道角动量的信息. 相比于传统三次测量的方法, 该方法具有实时测量以及抗大气湍流的优势.

该研究团队提出的随机波动和遮挡的涡旋光束轨道角动量的实时测量方法, 在非理想自由空间光通信领域具有重要的应用价值.

参考文献

1 Forbes A, de Oliveira M, Dennis M R. Structured light. Nat Photon, 2021, 15: 253–262

2 Shen Y, Wang X, Xie Z, et al. Optical vortices 30 years on: OAM manipulation from topological charge to multiple singularities. Light Sci Appl, 2019, 8: 90

3 Liu Z, Yan S, Liu H, et al. Superhigh-resolution recognition of optical vortex modes assisted by a deep-learning method. Phys Rev Lett, 2019, 123: 183902

4 Zhang Z, Liu Z, Liu X, et al. Measuring the orbital angular momentum of a vortex beam under extremely low coherence. Appl Phys Lett, 2023, 122: 011101

5 Zhang H, Zhu J, Lu X, et al. Single-shot phase retrieval for randomly fluctuated and obstructed vortex beams. Sci China-Phys Mech Astron, 2024, 67: 244211

Real-time measurement of orbital angular momentum of vortex beams under random fluctuations and obstruction

CHEN XianFeng*

School of Physics and Astronomy, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China
**Corresponding author (email: xfchen@sjtu.edu.cn)*

Vortex beams carry orbital angular momentum and are of great application value for increasing the information capacity of optical communication. Accurate measurement of the orbital angular momentum of a vortex beam is a critical issue in free-space optical communication applications. A recent study combined the phase shift theorem with self-reference holography to propose real-time measurements of the orbital angular momentum for randomly fluctuating and obstructed vortex beams. According to the quantitative relationship between the initial orbital angular momentum and the coherent singularity in the observation plane, the sign and magnitude of the initial orbital angular momentum can be determined simultaneously.

optical vortex, phase retrieve, orbital angular momentum measurement, anti-turbulence and anti-disturbance

PACS: 42.25.Dd, 42.25.Kb, 42.30.Rx

doi: 10.1360/SSPMA-2024-0220