
矢量结构光束不可分性的相干探测方案

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/37496.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

导读

近年来，研究发现矢量结构光束在大气湍流中传输时其空间-偏振不可分性保持不变。基于该原理可以实现不可分性编码的抗湍流自由空间光通信系统。对于这样的抗湍流通信系统，精准且高效地测量矢量结构光束的不可分性成为了一项重要挑战。为此，来自西安电子科技大学和华中科技大学的研究团队提出了一种矢量结构光束不可分性的相干探测方案，该技术具有单次测量、空间复杂度低和无需额外解调器件的特点，能够为基于不可分性编码方案的抗湍流通信提供有力支撑。

该成果以Coherent detector for the non-separability measurement of vectorial structured light为题发表于Light：Science Applications，西安电子科技大学光电工程学院梁益泽准聘副教授为本文第一作者，西安电子科技大学光电工程学院席特立副教授、邵晓鹏教授和华中科技大学武汉光电国家研究中心王健教授为本文共同通讯作者。

自由空间光通信，又称无线光通信，是指以光波为载体在真空或大气中传递信息的通信技术。自由空间光通信技术凭借其传输带宽大、频谱资源无需授权和抗窃听能力强等优势，能够高效解决通信的最后一公里问题。然而，大气环境中普遍存在的大气湍流导致传输光束的强度和波前发生畸变，从而引起自由空间光通信系统误码率上升乃至通信中断。研究发现矢量结构光束的空间-偏振不可分性在大气湍流中具备传输不变性，这为抗湍流通信提供了新的方案——将信号加载在矢量结构光束的不可分性上，并在接收端对接收光束的不可分性进行探测解码。

对于这样的新型抗大气湍流编码通信系统，快速精准的矢量结构光束不可分性探测至关重要，其功能类似于传统光通信系统中的光电探测器，决定了通信系统的通信性能。然而，目前的矢量结构光束不可分性探测方法通过在多个时域通道或空间域通道中直接探测模式层析或偏振层析后的光场强度来获取光束的不可分性，这导致传统不可分性探测方案大都存在空间复杂度和时间复杂度不可同时较小，且多数依赖笨重且成本高昂的空间光调制器或数字微镜器件。

本研究提出了一种高效的矢量结构光束不可分性的相干探测方案。不同于传统的不可分性探测方案，本研究提出的相干探测方案首次通过测量光束的复波前（振幅分布+相位分布）信息实现对光场的不可分性探测。受益于新的测量原理，该方案在无需空间光调制器和数字微镜器件的前提下，能够在单次曝光中实现矢量结构光束的不可分性数值探测。图1展示了矢量结构光束不可分性相干探测方案的原理图，其原理可以被概括为离轴全息图获取（a）和数字域处理（b）两部分。

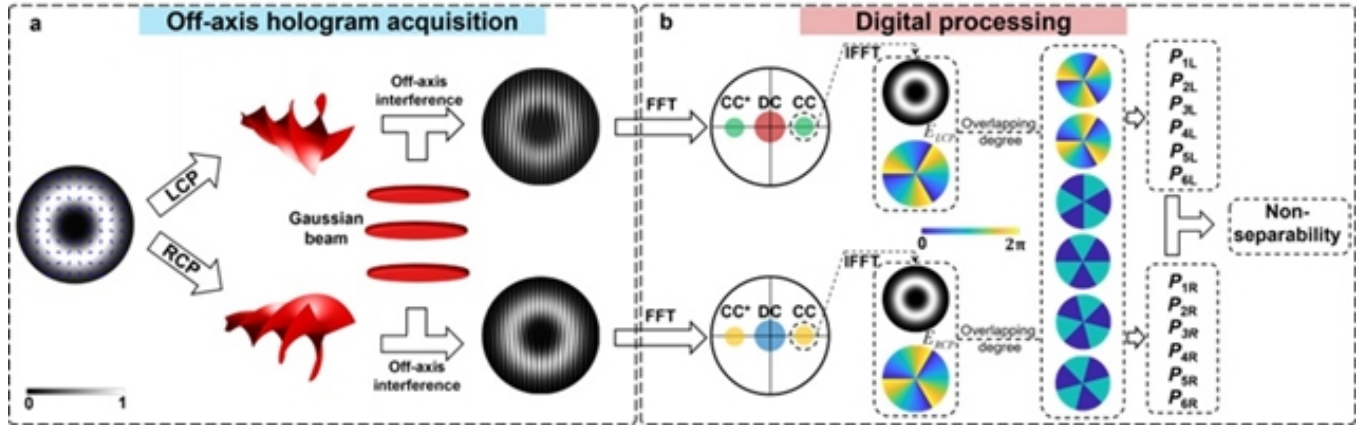


图1：矢量结构光束不可分性相干探测方案原理图。（a）离轴全息图获取过程（b）数字域处理过程

图1（a）所示为对矢量结构光束的两个自旋通道分量进行复波前探测所需的离轴全息图获取过程。首先对矢量结构光束进行圆偏振分束，将其分为左旋（LCP）和右旋（RCP）两个自旋通道。之后令参考的高斯光束与两个自旋通道中的光束（信号光）进行离轴干涉，这样的离轴干涉会产生具有线性条纹的离轴全息图。该离轴全息图包含了两路信号光的光场复波前信息。对记录的离轴全息图进行数字域处理，能够获取两路信号光的复波前信息并实现不可分性测量，具体过程如图1（b）所示。首先对记录的两幅离轴全息图进行快速傅里叶变换得到其空间频域。在空间频域中，得益于离轴干涉，干涉的直流项（DC）和交流项（CC）能够分开，而干涉交流项包含了信号光的复波前信息。因此对干涉交流项做逆傅里叶变换就能得到两路信号光的复波前信息。在得到两路自旋通道中的光场复波前后，计算这两路信号光与模式层析中六个基模式的重叠积分，得到不同基模式的功率权重系数，从而在数字域实现模式层析过程，最终通过数字计算得到了矢量结构光束的不可分性数值。

图2展示了基于本研究方案对不同2阶矢量结构光束的不可分性进行探测的结果。其中主要包括两类矢量结构光束：其一为组成2阶矢量结构光束的完全正交的两个涡旋光束（偏振为正交圆偏振，涡旋阶数相反）的功率比在发生变化（由 θ 决定），如图2（a）和（b）所示；其二为这两个涡旋光束的相位差 2α 在发生变化，如图2（c）所示。对于每一组实验结果，都连续测量50张离轴全息图来获取50次测量的结果，并计算标准差并标注在图上。图2（a）展示了两个涡旋光束分量的功率比变化的过程中，对两个自旋通道下光场复波前测量的结果。图2（b）和（c）中的实验结果与理论和仿真结果误差较小，且50次测量具有较高稳定性。

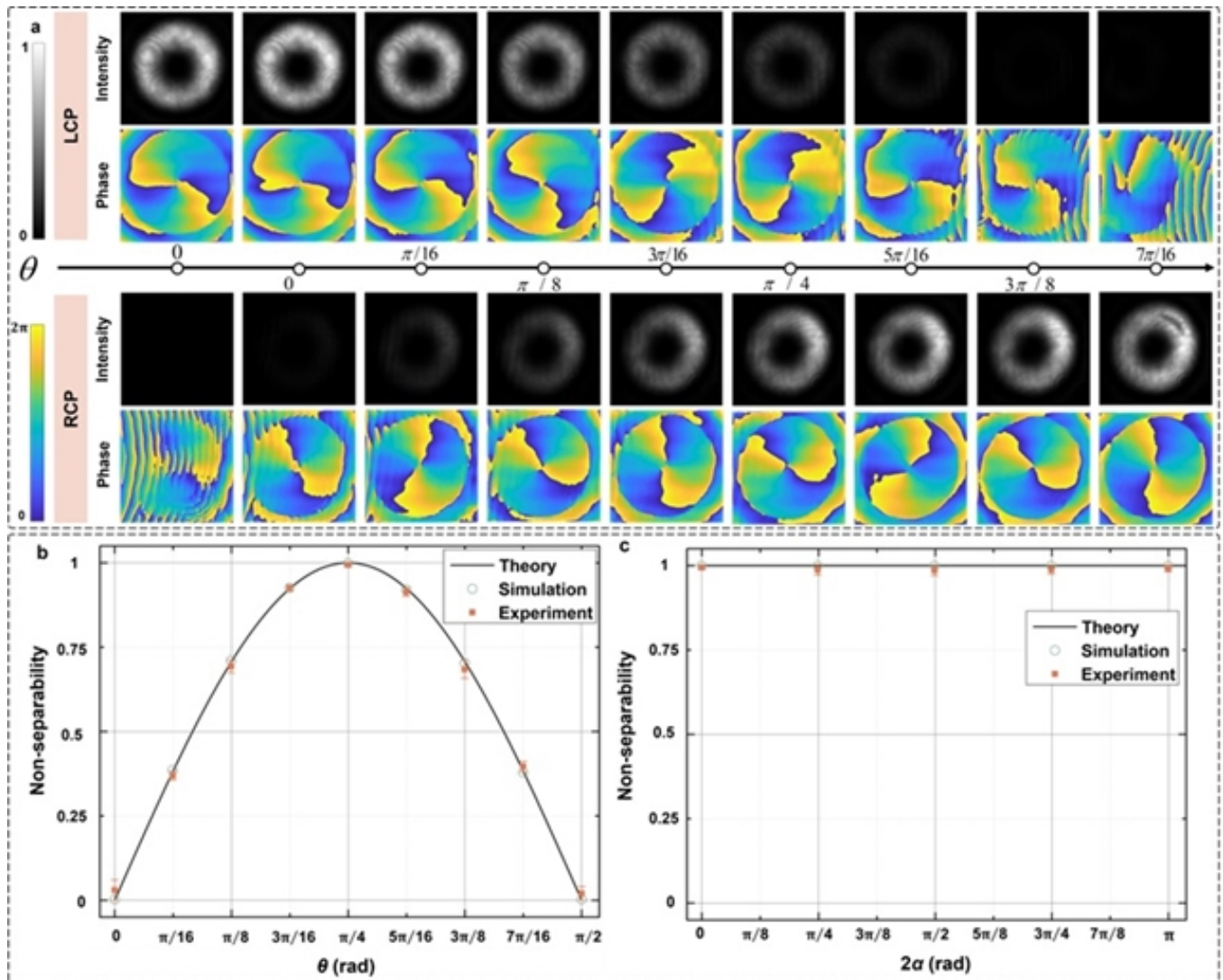


图2：不同2阶矢量结构光束的不可分性相干探测结果

总结与展望

本研究提出了一种全新的矢量结构光束不可分性相干探测方案。不同于传统探测方案，本项目的相干探测方案通过测量光束复波前，并在数字域处理中计算模式基空间内积实现模式层析，这一独特的机理显著降低了探测的复杂度。与现存的矢量结构光束不可分性探测方法相比，本项目提出的相干探测方案具有单次曝光探测、装置空间复杂度低、无需SLM或DMD的优势。该技术方案为矢量结构光束的探测提供了新的见解，能够将传统模式层析场景中复杂的解调过程简化为数字域的处理，大大降低光场模式相关探测的复杂度。此外，该技术方案有望为不可分性编码的抗湍流通信系统提供一种高效的不可分性探测方案，进而推动结构光在自由空间光通信领域的前沿应用发展。（来源：中国光学微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-025-02035-1>

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费事宜，请与我们联系。

作者：席特立等 来源：《光：科学与应用》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发