
智能混合策略：高维多自由度光场调控新范式

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/34979.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！

智能混合策略：高维多自由度光场调控新范式。 导读

北京理工大学付时尧、高春清研究团队提出了面向高维光子学的智能混合光场调控策略，首次在单一超表面器件上实现了激光光场波矢、相位、模场分布、振幅、OAM和SAM 6个自由度的协同调控，构建了288维超高维光场，通过实验验证了调控效果与精度，开创了光场高维多自由度调控新范式，为量子计算、集成光子学等领域提供了关键技术支撑。

挑战：传统光场调控的臃肿困境

在超大容量光通信、高密度光存储和量子信息技术等前沿研究领域，光场的多自由度协同调控及高维拓展能力一直以来是一项核心需求。然而，现有多自由度调控技术往往依赖庞大光学元件或复杂系统，难以在单一紧凑器件上同时调控波矢、相位、振幅、偏振、轨道角动量（OAM）及自旋角动量（SAM）等多个自由度，并且维度十分有限，成为集成化光子学发展的瓶颈。

难点：如何让多线程调控成为可能？

光场的每个自由度对应不同的物理特性，通常需分步调控，导致系统复杂且效率低下。其中，OAM作为真正的高维自由度，解决多模调制强度串扰的问题也是一项关键挑战。因此，如何在保证精度的前提下，通过单一元件直接实现多自由度的协同调控以获得高维光场，是亟待解决的科学难题。

攻关：智能混合策略打破维度限制

本文提出一种智能混合调控策略，将衍射理论、深度学习与几何相位技术结合：

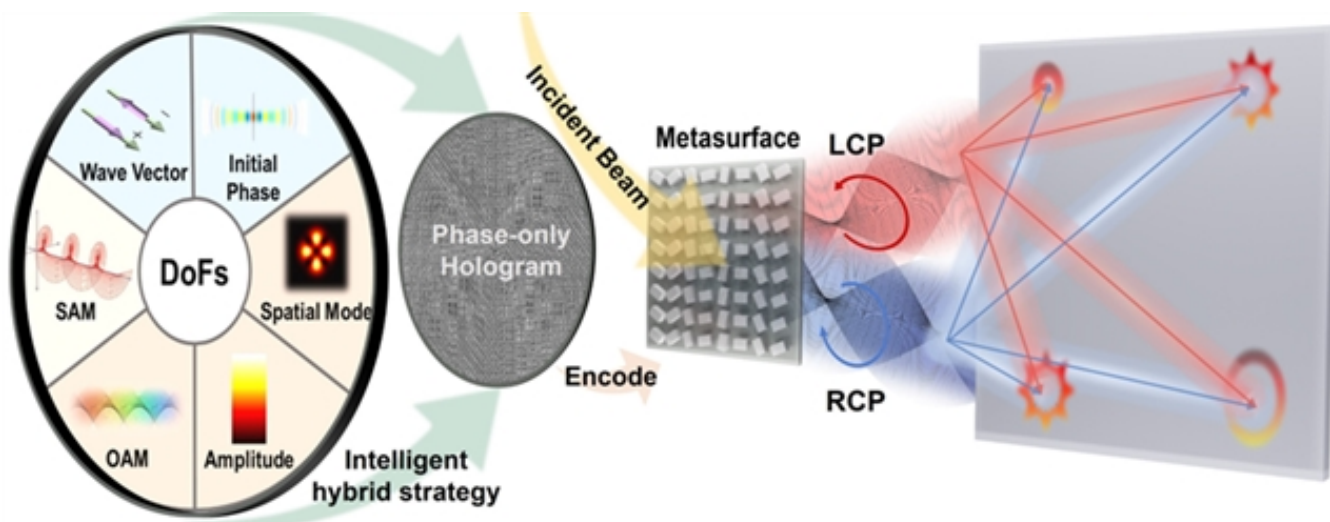


图1. 智能混合调控策略示意图。

基于衍射理论设计相位分布，精确控制光场传播方向与初始相位；采用深度学习神经网络赋能OAM调控，生成相位全息图，有效解决高效解决多模式OAM叠加的强度串扰问题，同时保证与其他自由度协同调控的相位叠加可行性；最后通过几何相位集成SAM，实现六自由度的高维协同调控。

亮点：6自由度288维光场

实验表明，该策略可在单一器件上实现6个自由度、288维光场的协同调控：

简单灵活：基于智能混合调控策略生成调控全息图可在包括但不限于超表面、液晶等双折射材料器件上直接实现，在光学系统中即插即用，操作简单，无需复杂校准；针对多任务场景兼容，使用方式灵活。

精准可控：实验验证相位定性调控精准，定量调控相位误差仅为0.02，轨道角动量强度误差平均在0.0036，在5%调控器件加工误差下均可进行高精度调控。

无限扩展：由于OAM的无限正交特性，当前288维光场仅占理论容量的冰山一角。团队已验证单器件同时调控151个OAM模式（从-75到+75阶），此外，波矢、相位、振幅等均可扩展至更高维度。因此，光场调控维度可以进一步提升。

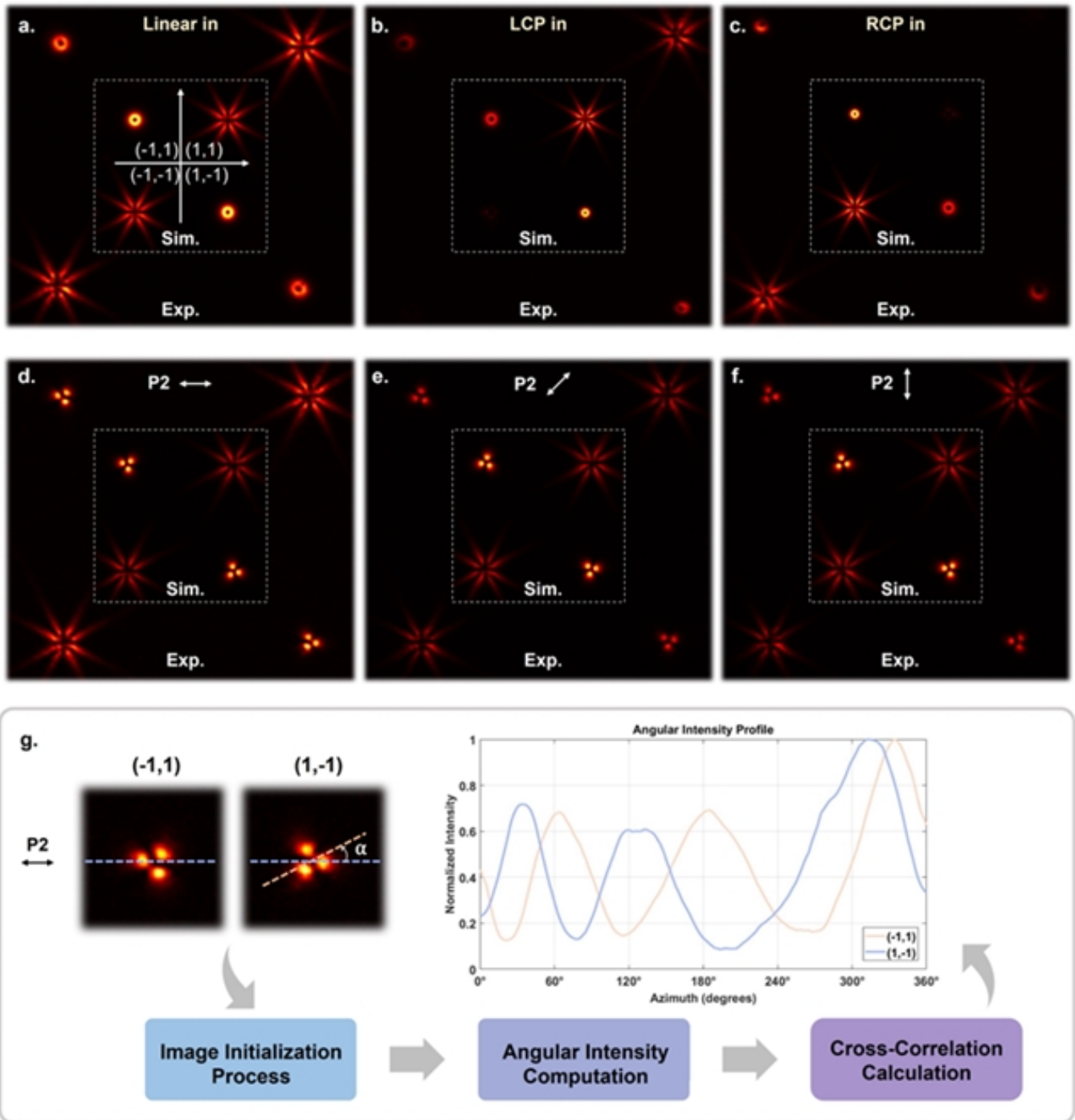


图2.6自由度288维光场实验验证结果。

应用前景：从量子计算到集成芯片

该技术可应用于超大容量光通信、高密度光存储和量子信息技术等尖端领域，为光场的多自由度精准调控提供了新范式，为集成化高维光子学发展提供技术支撑。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-025-01857-3>

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：付时尧等 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](http://www.iikx.com)转发