

人工智能精准调控随机激光模式

仝俊华¹, 史晓玉², 徐智洋², Naeem IQBAL², 葛坤², 翟天瑞^{2*}

1. 北京化工大学数理学院, 北京 100029

2. 北京工业大学物理与光电工程学院, 北京 100124

* 通信作者. E-mail: trzhai@bjut.edu.cn

随机激光器作为具有空间相干性低、模式多、强度波动等特性的新型光源, 在无散斑成像、生物传感、超分辨光谱以及跨学科研究平台等领域展现出巨大应用潜力. 然而, 其内在无序性使激光模式 (如发射频率、阈值、方向等) 的可控性不足, 限制其在光谱传感、信号处理、光计算等关键领域的实用化. 目前, 研究者主要通过操控泵浦光结构、增益和散射特性实现激光频率和阈值等的调控, 然而, 这些人工手段效率低, 且仅能实现激光频率的整体偏移和提取, 很难从复杂无序系统的众多相互关联的模式中精准提取目标模式.

人工智能技术与光学领域的交叉融合为突破这一困境提供了全新思路. 人工智能与光学的融合主要体现在两大方向: 一是以光子替代电子实现更高效的人工智能计算^[1]; 二是通过智能算法加速光学器件的设计与优化^[2]. 在此背景下, 北京化工大学与北京工业大学的研究团队提出了一种基于遗传算法的泵浦光场智能调控系统, 成功实现了随机激光器模式的精准选择与泵浦锁定, 为可编程随机激光器的发展奠定了重要基础.

SCIENCE CHINA Information Sciences 在 2026 年第 3 期上发表了北京工业大学翟天瑞等的研究论文 “Artificial intelligence—assisted pump-locked random lasers”. 文章系统阐述了智能调控系统的设计原理与实验验证过程 (图 1). 通过对泵浦光塑形, 操控随机体系的受激区域, 进而影响光学增益和散射路径, 最终实现对激光模式的调控. 团队自主开发智能调控程序主要包括遗传算法、空间光调制和光谱采集三部分. 遗传算法

是调控软件的核心, 算法根据软件设定的目标和已经采集过的特定空间光模式下的光谱数据, 通过运算推出下一循环所需的空空间光模式. 空间光调制程序通过调用空间光调制器的程序接口, 把二维图像数据展开成一维数据发送给调制器, 依照图像的灰度调整空间光调制器反射片, 改变部分光波路径, 进而实现对光波空间分布的调制功能. 光谱采集程序控制光谱仪, 根据设置的参数采集泵浦光照射下样品发出的随机激光光谱. 智能调控程序采用 MVC 架构, 把界面和模型相分离, 为后续程序功能的扩展打下了良好的基础. 基于模块化的设计, 方便对算法进行调试优化, 也可以轻松更换不同的算法. 实验结果表明, 该系统具备卓越的模式提取能力: 不仅能够高效提取任意单一模式, 还可精准锁定多个目标模式, 单模选择时的边模抑制比最高可达 14.8 dB. 同时, 优化后的泵浦轮廓使目标模式的泵浦阈值降至均匀泵浦时的一半, 且激光发射强度更高、稳定性更强. 该系统首次实现了泵浦单元与激光模式的锁定, 通过分析不同泵浦单元对模式的增强/抑制作用, 揭示模式间的耦合关系与光学反馈路径, 为解析随机激光的产生机制提供了全新视角.

研究的创新之处在于通过人工智能技术与激光技术融合, 实现了复杂无序系统中激光模式的定量提取, 不仅实现了任意目标模式的精准、高效提取, 还确定了泵浦单元与模式的锁定关系, 为分析模式间耦合机制与光学反馈路径提供了有效工具. 这一成果不仅推动了随机激光器在信号处理、光谱传感、通信及光计算等领

英文原文: Tong J H, Shi X Y, Xu Z Y, et al. Artificial intelligence—assisted pump-locked random lasers. *Sci China Inf Sci*, 2026, 69: 132401, doi: 10.1007/s11432-025-4528-6

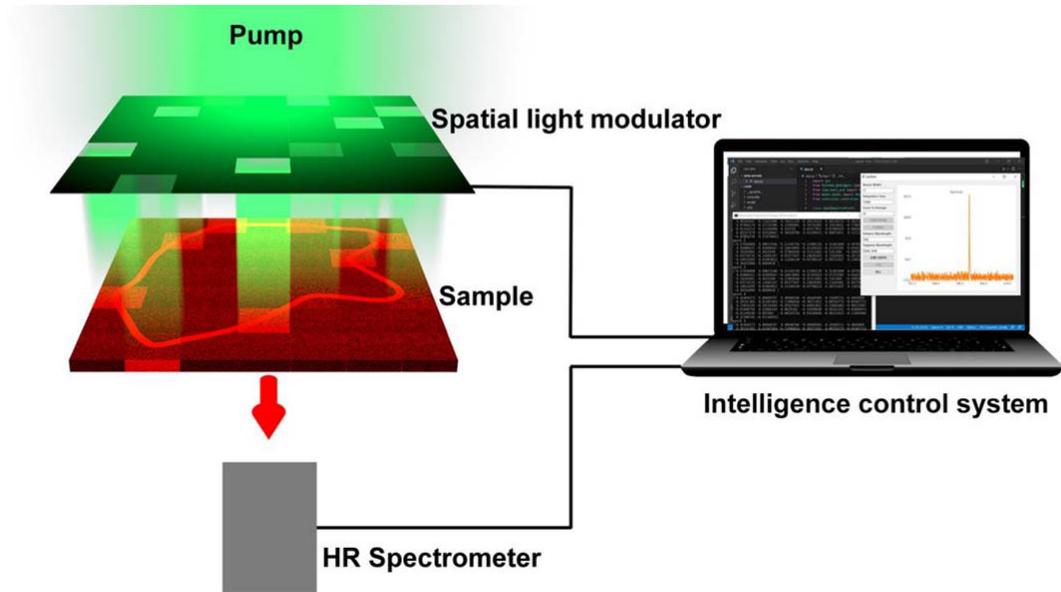


图 1 (网络版彩图) 泵浦光场智能提取随机激光模式的原理示意图.

Figure 1 (Color online) Principles of mode selection in random lasers using an intelligent control system.

域的实用化进程, 也为光子器件的逆向设计提供了创新思路, 对推动可编程光电子器件的发展具有重要意义.

参考文献

1 Wetzstein G, Ozcan A, Gigan S, et al. Inference in artificial

intelligence with deep optics and photonics. *Nature*, 2020, 588: 39–47

2 Bachelard N, Andreasen J, Gigan S, et al. Taming random lasers through active spatial control of the pump. *Phys Rev Lett*, 2012, 109: 033903