
多芯光纤实地验证量子通信与110Tbps高速光传输共存

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/37329.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！

多芯光纤实地验证量子通信与110Tbps高速光传输共存。 导读

量子密钥分发作为实现信息绝对安全的重要手段，正逐步从实验室走向实际应用。然而，如何与现有的高容量经典通信系统协同工作，是迈向现实网络部署的关键挑战。多芯光纤作为未来光通信网络的重要发展方向，提供了天然的物理隔离，有望实现量子通信与经典通信的共存，但其在真实复杂环境下的共存特性尚缺乏系统验证。近日，香港理工大学博士后研究员吴琪，上海交通大学胡卫生教授与拉奎拉大学Cristian Antonelli, Antonio

Mecozzi教授团队合作，首次在实地部署的多芯光纤中实现了量子密钥分发与110.8 Tbit/s双向经典通信的共存传输，突破了QKD系统实验室验证到实地部署的关键瓶颈。研究系统性地揭示了现场环境下量子信号受到自发拉曼散射噪声的干扰机制，提出并实验验证了跨芯拉曼噪声理论模型，指导了共存方案的优化配置。通过优化波长配置与传输方向，研究成功实现了25.2 km距离下的安全密钥生成，为未来QKD与经典通信融合网络的实地部署提供了理论指导与工程验证。该研究以Integration of quantum key distribution and high-throughput classical communications in field-deployed multi-core fibers 为题，发表于《Light：Science Applications》。

研究背景

量子密钥分发可实现信息的无条件安全，但其信号微弱，难以与高功率的经典通信共存，限制了大规模应用。多芯光纤MCF通过空间物理隔离，为QKD与经典通信的共存提供了新思路。然而，MCF芯间仍存在跨芯串扰，尤其是自发拉曼散射噪声，会干扰量子信号，降低密钥率。目前大多研究仍停留在实验室验证，缺乏对实际部署环境中干扰机制和工程可行性的系统研究。为此，有必要在真实光纤网络中开展QKD与经典通信共存实验，探索干扰规律、优化配置方案，并建立理论模型，为构建高容量、低成本、可扩展的量子通信网络奠定基础。

研究亮点

图1：本研究使用的多芯光纤部署在意大利拉奎拉，是全球首段在现网中实际铺设的多芯光纤。

本文构建了全球首个在真实城市网络（图1）中实现的高速量子密钥分发与大容量相干光通信共传实验系统（图2(a)-(d)），采用四芯多芯光纤作为传输介质，其中一芯承载BB84协议的QKD，三芯承载总速率达110.8 Tbit/s（图2(e)）的C波段相干光通信，实现了光纤资源的高效复用。为抑制高功率经典信号对量子信道的干扰，实验中采用了对象传输方案，并优化了波长分配，显著降低了跨芯自发拉曼散射（IC-SpRS）噪声。实测结果显示，即使在三芯满负荷传输 170×3 路WDM信道、单芯发射功率高达19.5 dBm的情况下，QKD系统依然在25.2 km光纤链路上稳定产生每秒超0.41 kb的安全密钥（图2(f)），首次验证了高吞吐量与高安全性在实际网络条件下的可兼得性，为未来城市级量子保密通信网络部署提供了范式样本。

图2：(a) Alice端量子密钥分发模块；(b) Bob端量子密钥接收模块；(c) 覆盖C波段的高容量相干光发射机；(d) 相干光接收机；(e) WDM信道的传输速率分布；(f) 实测安全密钥率与量子比特误码率。

为了准确评估和预测经典信号对QKD系统的影响，本文首次提出并实验验证了跨芯自发拉曼散射理论模型(图 (3))，系统考虑了信号光谱功率分布、纤芯间几何关系、信号传输方向与波长配置等因素对量子通道噪声的影响。基于该模型，研究团队对多种量子-经典共传配置进行了仿真计算，揭示了不同纤芯排列与传播方向下IC-SpRS噪声的演化规律，并据此推导出最优波长配置和发射功率策略，确保在不牺牲QKD性能的前提下最大化经典通信容量。该模型不仅成功解释了实验中观测到的量子误码率变化趋势，也为未来多芯光纤中的混合量子-经典通信系统提供了理论设计依据，具备良好的工程通用性和可拓展性。

图3：跨芯拉曼噪声理论模型。

总结与展望

本研究首次实现了基于多芯光纤的量子密钥分发与110.8 Tb/s大容量相干光通信的实地共存传输，验证了量子通信在真实网络环境中的稳定性和实用性。通过提出并验证跨芯自发拉曼散射噪声理论模型，系统揭示了干扰机制并优化了波长与传输方向配置，实现了在保证量子信号安全的同时最大化经典通信吞吐量。未来，随着多芯光纤技术与量子通信方案的不断发展，结合先进的噪声抑制和资源管理技术，有望进一步提升系统性能和应用规模。该工作为量子与经典通信融合网络的实际部署提供了重要理论和实验基础，推动安全、高效的下一代光通信网络建设，具有广泛应用前景和战略价值。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-025-01982-z>

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：吴琪等 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