
神经超表面：光信号的智能立交桥

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/40723.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！

神经超表面：光信号的智能立交桥。 武汉大学郑国兴教授团队联合鹏城实验室、中国信科集团光通信技术和网络全国重点实验室等单位在中国工程院院刊Engineering发表题为A Neuro Metasurface Mode-Router for Fiber Mode Demultiplexing and Communications(面向光纤模式解复用与通信的神经超表面路由器)的研究文章。该文章提出了一种经深度学习优化的神经超表面路由器，该器件融合超表面与光纤通信技术，通过神经网络增强相位调制的鲁棒性，实现了少模光纤中多种线偏振模式的高效空间分离与并行传输。实验表明，无需任何补偿技术，即可实现双通道100 Gbps的高速模分复用通信，误码率低至 10^{-2} 量级，并可扩展至四模式分离。研究还展示了图像传输应用，验证了系统的兼容性与扩展性，为智能超表面辅助的光互联提供了新思路。

神经超表面路由器是什么？

神经超表面路由器（NMR）是融合超表面、深度学习和光纤通信三大技术研发出来的。简单说，这就是一款用人工智能优化过的超迷你光信号分拣机。

我们先说说超表面，它是一种由纳米尺度结构组成的平面光学器件，薄到可以忽略不计，却能精准控制光的相位、幅度、偏振等特性，就像给光信号设置了精准的交通指挥牌。而深度学习则像一个超级智能的设计师，通过大量数据训练，优化超表面的纳米结构分布，让它能更精准、更稳定地分拣光信号。

这款神经超表面路由器，核心就是一块经过深度学习优化的单层超表面，没有复杂的辅助器件，以超紧凑结构实现多模式光信号的精准分离，并能够支持多通道通信。它的工作原理也很有趣：把光纤里不同模式的光信号当作不同的快递包裹，超表面的调制能力就是分拣规则，深度学习优化的算法就是分拣员大脑，不同模式的光信号经过超表面后，会被精准路由到不同的空间区域，实现完美分离，就像不同的快递被送到不同的收件人手中。

更厉害的是，光纤在实际使用中会因为弯曲、扭转、环境震动等因素，让光信号的传播状态发生变化，就像快递运输中遇到了颠簸。而研究团队在训练深度学习模型时，特意考虑了这些干扰因素，让神经超表面路由器拥有了较强的抗干扰能力，哪怕光信号的状态发生了平移、旋转、缩放，它依然能精准分拣。

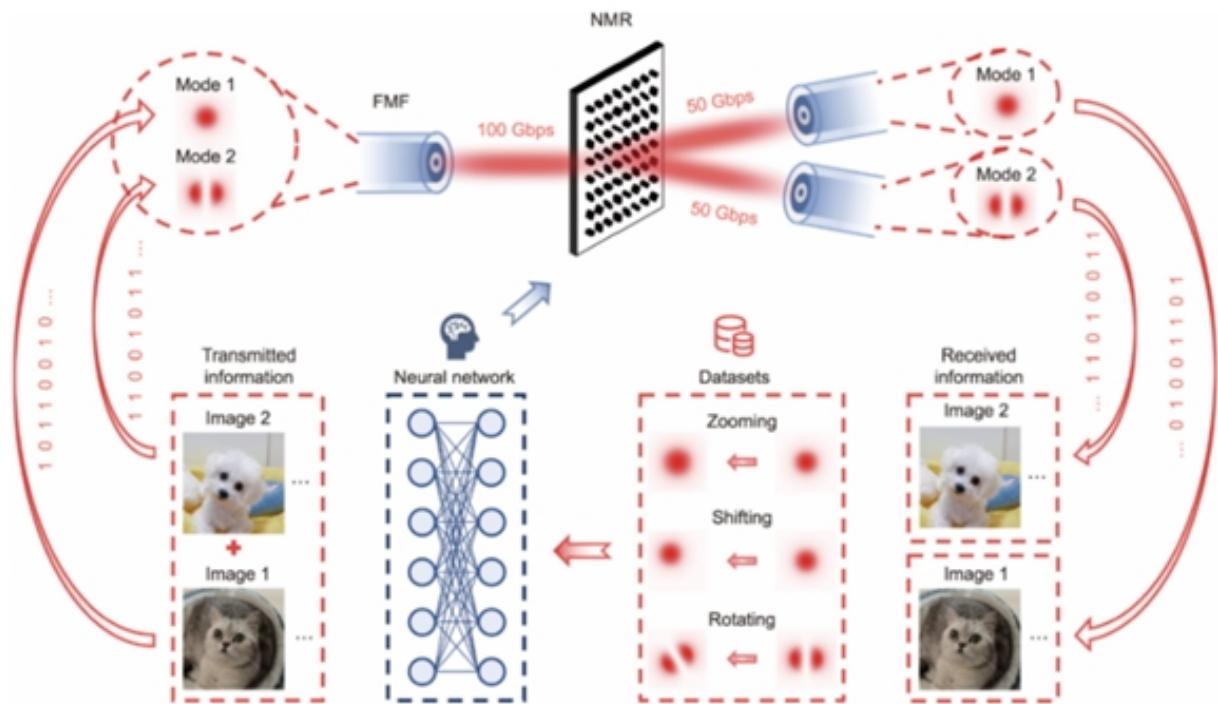


图1.面向模分复用的神经超表面路由器概念及其在大容量光纤通信中的应用

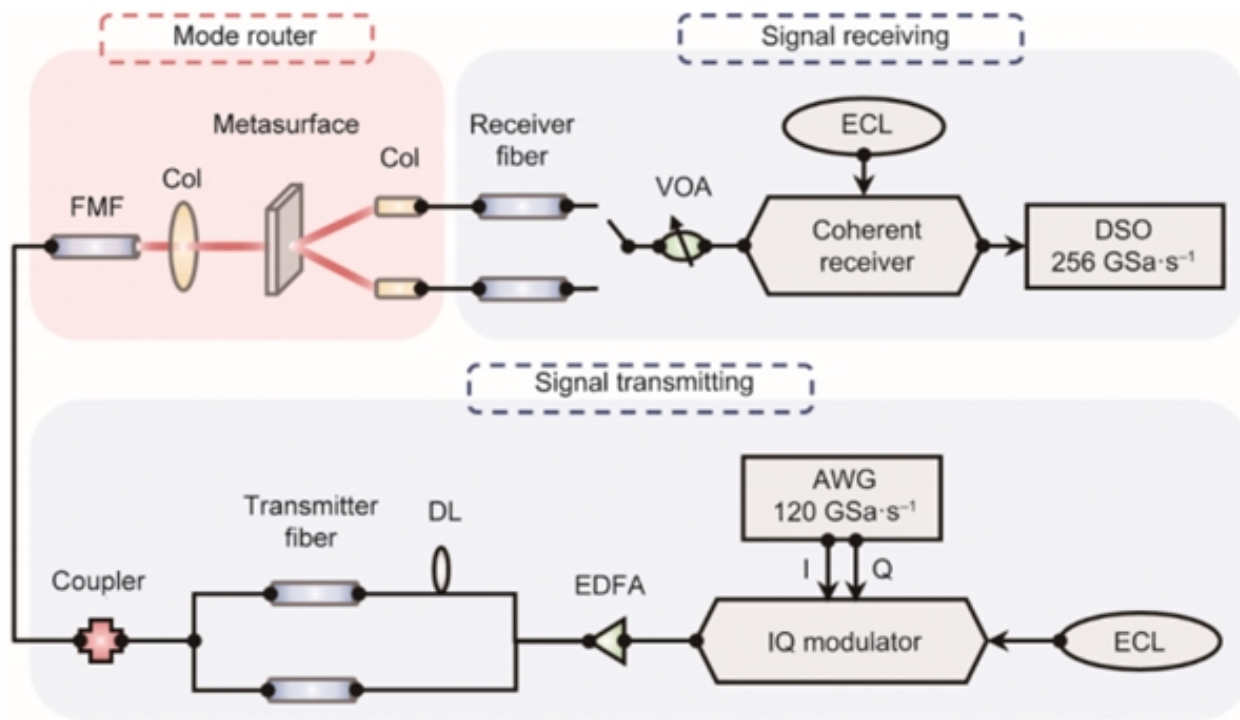
实测超给力：100 Gbps高速传输，低误码率

本文的研究团队不仅设计出了神经超表面路由器，还搭建了实际的光纤通信系统，进行了一系列实验验证，结果让人眼前一亮。

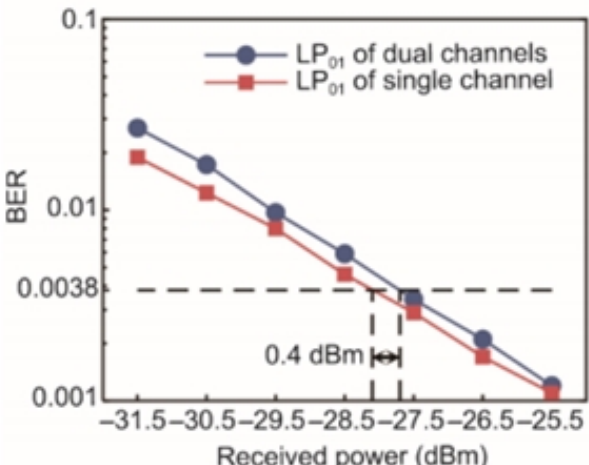
在实验中，研究团队选择了少模光纤中两种常见的光信号模式，让它们各自携带50 Gbps的信号并行传输，通过神经超表面路由器后，两种模式被精准分离，总传输容量达到了100 Gbps。这是什么概念？100 Gbps的传输速度，一秒钟就能传输十几部高清电影，完全能满足当下大数据、超高清视频、云服务的传输需求。

而且，在没有任何补偿技术和辅助器件的情况下，这套系统的误码率低至 10^{-7} 量级，也就是传输1000个信号，出错的还不到1个，传输稳定性良好。为了测试它的实用性，研究团队还让它传输二进制、灰度、彩色等不同类型的图像，从武汉大学的校徽、校官网二维码，到小猫小狗的照片以及各类表情符号，传输后的图像几乎没有失真，只有少量像素的细微偏差。这证明它能精准传递各类信息。

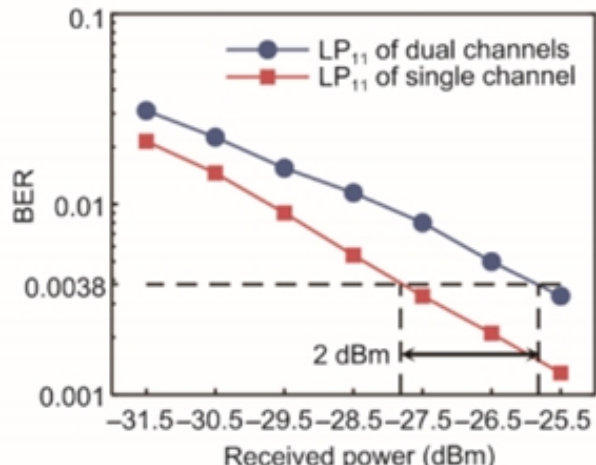
除此之外，实验还验证了这款路由器的鲁棒性，当超表面的位置发生轻微平移，光信号的目标光斑功率变化较小。在一定范围内的干扰完全不会影响路由器的正常工作，这让它在实际工程应用中拥有了很高的可靠性。



(a)



(b)



(c)

图2.基于NMR的光通信系统在FMF两种传输模式下的实验配置与结果

未来可期：不止双模，还能无限扩展

这款神经超表面路由器的价值，不仅在于实现了100Gbps的高速传输，更在于它拥有超强的可扩展性，未来能解锁更多光纤通信的可能性。

目前实验中实现的是两种模式光信号的分离，但理论上，通过深度学习的优化，这款路由器可以轻松扩展到四种、八种甚至更多模式的分离，而且超表面的设计复杂度不会发生变化，只需进一步优化纳米结构即可。就像原本的双车道分拣机，不用扩大体积，就能升级成八车道分拣机，传输容量会成倍数提升。

除此之外，它还能和其他复用技术结合，实现叠加升级：比如和偏振复用结合，让不同偏振方向的光信号也能被精准分离；和波分复用结合，让不同波长的光信号在不同通道传输，进一步挖掘光纤的传输潜力，让一根光纤的传输容量实现大幅度的提升。

更重要的是，神经超表面路由器是纯光学运行，传输速度就是光速，而且体积超紧凑、集成度高，能轻松集成到现有的光纤通信设备中，不用大规模改造现有通信网络，降低了技术落地的成本。

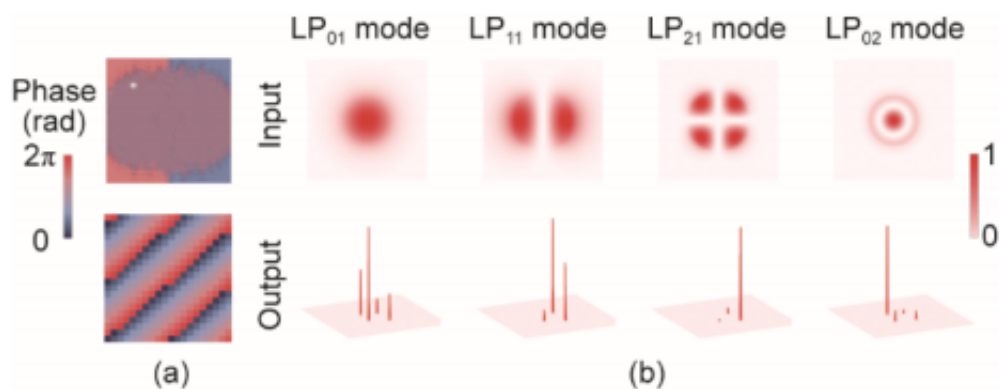


图3.四模式NMR优化结果

文末总结：小小超表面，改变通信大未来

从一根光纤只能传少量信号，到利用空间维度实现多模式并行传输，再到神经超表面路由器实现精准、高速、稳定的信号分拣，光纤通信的发展，始终围绕着更高效利用光的特性这一核心。

这款融合了超表面、深度学习的新型器件，不仅突破了传统解复用器的瓶颈，为模分复用技术的实际应用铺平了道路，还为智能超表面辅助的光互联、全光模式识别等新技术提供了新思路。未来，随着技术的不断优化，神经超表面路由器还能实现更高的传输容量、更精准的信号分离，或许再过不久，我们就能体验到更流畅的网络、更快的文件传输，而这背后，正是这样一个小小的黑科技在推动着通信技术不断向前。

而这也让我们看到，当光学材料、人工智能和通信技术相互融合，总能碰撞出意想不到的火花，为我们的数字生活带来更多可能性。（来源：EngineeringJournals微信公众号）

相关论文信息：<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S209580992400660X>

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等事宜，请与我们接洽。

作者：郑国兴等 来源：《工程》

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