何祖源万阳阳等 Light 纳秒级延迟的全光光纤传感

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/42901.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！

何祖源万阳阳等 Light 纳秒级延迟的全光光纤传感。 导读

近日，上海交通大学何祖源团队提出一种全光纤传感与传感器内计算架构（AOFS-IC），将传感器内计算引入光纤传感领域，使感知与计算在同一光学系统中同步完成。该系统无需依赖传统电子处理器参与实时解调，实现了纳秒级响应速度，并成功应用于多参数感知、多节点监测和机器人运动状态识别等任务，为构建下一代超高速智能传感系统提供了新的技术路径。

该研究成果以Nanosecond-latency all-optical fiber sensing with in-sensor computing为题，发表于Light: Science
Applications。上海交通大学的陶宇博士生为论文第一作者，万阳阳助理教授为论文通讯作者。

光纤传感技术被广泛应用于基础设施监测和智能制造等领域。凭借高灵敏度、抗电磁干扰以及易于分布式部署等优势，光纤传感器能够实现对温度、应变、振动等物理量的实时监测，已成为现代智能感知体系的重要组成部分。然而，一个长期存在却鲜少被关注的问题是：光纤传感器能够快速获取信息，却无法快速获得结果。

在传统光纤传感系统中，传感信号需要经过光电转换、数据传输和电子计算等多个环节才能完成解调。随着传感网络规模不断扩大以及实时性需求持续提升，电子处理过程逐渐成为系统实时性能提升的主要瓶颈。在机器人控制、高速工业检测和极端环境监测等场景中，大量传感数据需要被即时处理，这不仅带来额外的功耗，也限制了系统响应速度的进一步提升。

因此，实现感知与计算的一体化融合，构建传感即计算的新型架构，使信息在获取过程中同步完成处理，成为光纤传感领域仍待解决的重要挑战。

针对这一挑战，上海交通大学的研究团队提出并实验验证了一种全光纤传感与传感器内计算架构（AOFS-IC），将传感器内光计算引入光纤传感领域（图1）。在该架构中，外界温度、应变、振动等物理量首先通过光纤转化为光学散斑信息，随后由训练后的衍射光学网络直接完成特征提取与信息解调。与传统系统需要经过光电转换、数据传输和电子计算不同，AOFS-IC能够在光传播过程中同步完成感知与计算，使最终结果直接以光学方式输出。

图片

图1：全光纤传感与传感器内计算架构示意图。传统光纤传感系统依赖电子设备完成信号处理，而AOFS-IC利用多模光纤散斑编码和衍射光学网络，实现感知与计算在光传播过程中的同步完成

这种传感即计算的新模式显著提升了系统响应速度。研究团队利用多模光纤位移感知实验验证了全光计算过程（图2）。随着光纤应变变化，光纤输出散斑发生相应改变，而衍射光学网络能够直接完成模式识别与结果解码。由于省去了复杂的电子计算环节，系统整体响应延迟低于3纳秒，相比传统电子解调方案提升超过两个数量级，接近光传播所决定的物理极限。

图片

图2：全光传感器内计算原理验证。不同应变状态对应不同光谱和散斑以及解调的光强

除了实现超高速解调，AOFS-IC还展现出良好的通用性。研究团队在光纤布拉格光栅应变测量、多模光纤扭转识别、多参数同时感知以及多节点空间复用监测等典型任务中均验证了该架构的有效性，表明不同类型的传感问题均可通过统一的光学计算框架完成处理。

进一步地，研究团队将该系统应用于机器人运动状态感知（图3）。通过将多模光纤集成于机器人关节区域，机器人运动产生的形变信息能够实时映射为光学散斑，并由全光计算网络直接解码。实验结果表明，该系统能够准确识别多个自由度的运动状态，实现高速实时感知。如果将传统光纤传感器比作机器人的感觉器官，那么AOFS-IC则进一步赋予其类似神经系统的信息处理能力，为未来具身智能机器人和自主系统的发展提供了新的技术路径。

图片

图3：AOFS-IC在机器人运动感知中的应用，具有高速和低功耗的优势

总结与展望

本研究提出全光纤传感与传感器内计算架构，首次实现光纤传感与光学计算的深度融合。通过将多模光纤散斑编码与衍射光学网络相结合，系统能够在光传播过程中同步完成信息获取与处理，实现纳秒级响应速度和多任务统一解调。

该工作突破了传统光纤传感系统感知—计算分离的架构限制，为构建高速、低功耗、自主化智能感知系统提供了新的思路。未来，随着光学计算器件、人工智能算法以及先进光纤技术的发展，这种传感即计算的新范式有望广泛应用于机器人、智能制造、能源监测、航空航天以及边缘智能网络等领域，为下一代智能感知系统的发展开辟新的方向。（来源：中国光学微信公众号）

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41377-026-02265-x

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：何祖源等 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转发