研究人员提出深度学习增强的计算光学解码策略

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/40291.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！

研究人员提出深度学习增强的计算光学解码策略。随着人工智能、大模型训练和云数据中心的发展，全球数据量正在快速增长，尤其是在长期归档与冷数据存储领域，传统存储技术面临能耗高、寿命有限以及成本不断攀升等问题。

光学数据存储具有寿命长、能耗低和稳定性高等优势，被认为是未来大规模冷数据存储的重要方向。但传统高密度光盘存储系统长期受到光学衍射极限的限制，限制了实际存储密度与效率的进一步提升。

近日，清华大学深圳国际研究生院副研究员马建设、苏萍团队与上海理工大学顾敏团队等合作，提出了一种深度学习增强的计算光学解码策略（DECODS），通过人工智能与计算光学结合，在不改变传统光存储光学前端结构的情况下，实现了对高密度光盘信号的智能解码，为提升传统光存储系统在衍射限制条件下的解码能力提供了一条新的计算路径。研究成果发表于《光子学》。

DECODS将光盘读取过程视为一个数据驱动的光学读出通道，而非传统意义上的几何长度测量。系统通过聚焦激光扫描高密度光盘中的纳米级记录结构，获取由记录符号调制后的连续光电信号，并利用深度学习网络对不同长度的信号窗口进行并行识别，实现连续动态解码。

与传统方法不同，DECODS采用了一种自适应滑动窗口策略，可同时构建七个不同长度的判断窗口，并利用深度学习网络对各窗口进行独立识别，动态调整后续解码位置，从而显著提高复杂噪声环境下的鲁棒性与解码精度。

研究团队进一步建立了完整的高精度光学物理模型，对激光聚焦、衍射传播、噪声、伺服误差、码间串扰以及轨道串扰等因素进行了系统建模。基于该物理模型，团队构建了数十万规模的训练数据集，并利用这些完全由计算生成的数据成功训练深度学习模型，实现了对真实实验读出信号的有效解码。

实验结果表明，在真实实验信号测试中，DECODS在选定验证信号上实现了0%的原始误码率，并成功解码出在测试条件下信号质量低于传统高密度光盘译码阈值极限5.8倍的真实读出信号。这说明即使在严重噪声、信号错位以及复杂串扰条件下，DECODS仍能够维持稳定可靠的解码能力。

研究人员还通过减小记录符号宽度以及减小轨道间距，对未来更高密度光存储场景进行了理论建模分析。结果表明，即使在记录结构进一步缩小、传统系统更容易发生串扰的情况下，DECODS仍然能够维持稳定的解码能力与伺服容忍范围。

理论分析显示，通过降低原始误码率并减少对高冗余ECC的依赖，DECODS在决策层面可对应最高约14.8%的有效容量提升，理论有效存储效率提升可达到26.28%。这说明在现有光学硬件条件下，人工智能与计算解码可以在决策层显著提升系统对高密度信息的可分辨能力。

DECODS展示了计算增强型光存储的新方向，未来有望进一步应用于下一代超高密度光存储、冷数据中心以及长期低能耗数据归档等领域。（来源：中国科学报 刁雯蕙）

相关论文信息：https://doi.org/10.1186/s43074-026-00251-5

作者：马建设等 来源：《光子学》

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