异步光学循环加速器新突破

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/33366.html

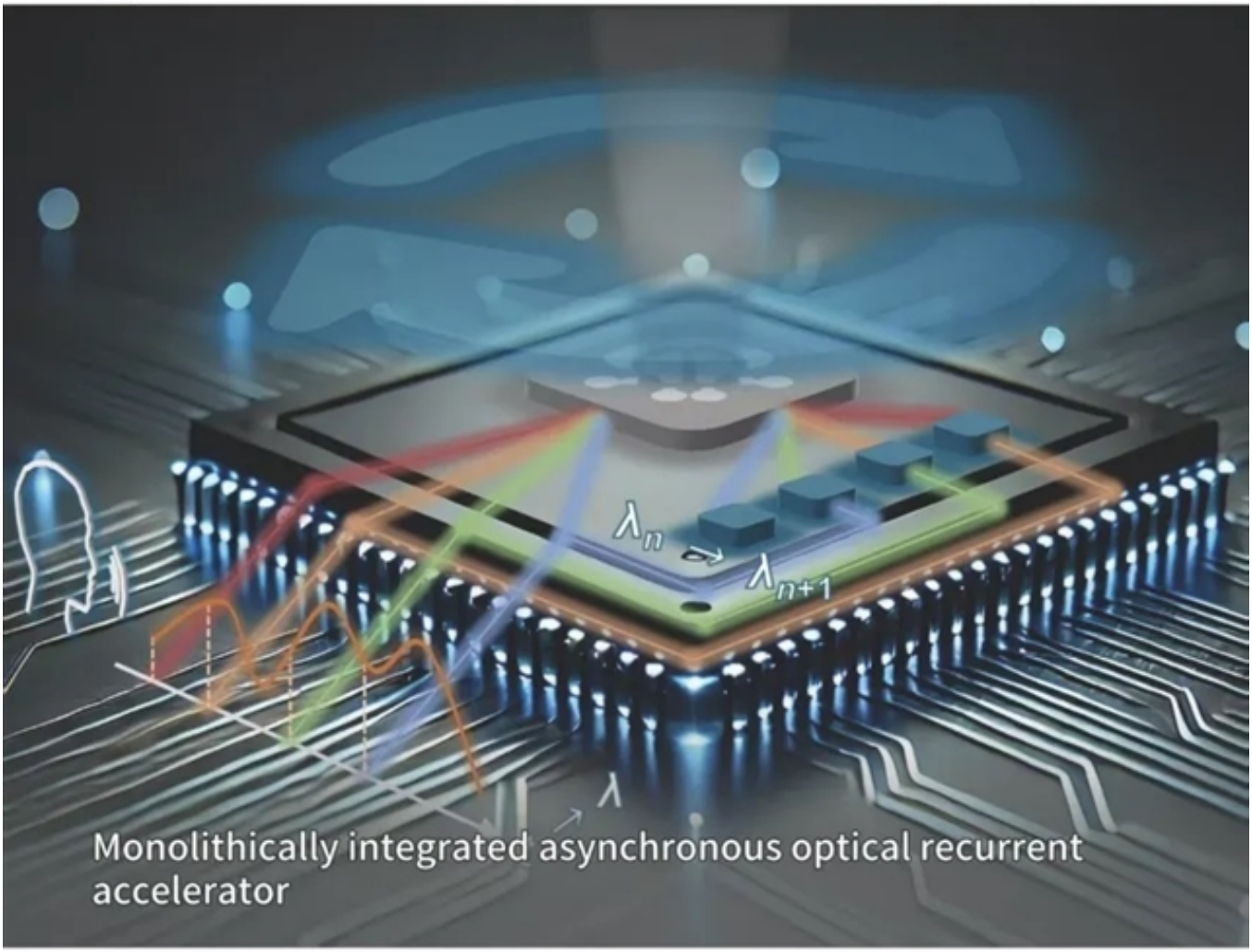
本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

异步光学循环加速器新突破。

ISSN 2662-8643(online) CN 22-1427 / O4 ISSN 2097-1710(print)

eLight

May 2025 · Volume 5 · Issue 18
elight.springeropen.com



ISSN 2097-1710
Light | Publishing Group
SPRINGER NATURE

导读

近日，华中科技大学武汉光电国家研究中心张新亮、董建绩教授研究团队成功研发了一种基于波长编码的异步光学循环加速器。该技术突破了光学计算中的同步控制瓶颈，对于降低计算能耗和提升计算效率具有关键意义。研究成果以Monolithically integrated asynchronous optical recurrent accelerator为题发表在eLight（入选两期卓越计划）。博士生吴波和硕士生周浩军为该工作的共同第一作者，周海龙副教授、董建绩教授和张新亮教授为该工作的共同通讯作者。

研究背景与技术原理

随着人工智能和大规模数据处理需求的急剧增长，传统电子计算受限于能耗和延迟。光学计算因其高速、低功耗特性成为潜在可替代方案之一，但现有方案依赖于频繁的光电信号转换及精确的电学同步控制，尤其在循环网络计算任务中，增加了系统复杂度和能量损耗。

基于时间序列的光学循环计算要求光信号严格时序对齐，并且多路数据信号周期和光学延迟之间需要保持严格一致，如图1(a)所示。为了解决上述同步难题，研究团队提出了一种基于波长编码的异步计算架构。在该架构中，不同时间循环周期的数据被映射到不同的波长通道，并通过片上波长中继单元（WRU）完成数据传递，如图1(b)所示。相比传统的时序同步方法，该方案无需精确对齐不同计算单元的数据传输时间，从而减少了同步电路的功耗，简化了系统设计。该架构通过光学计算核心执行波长复用的矩阵运算，并结合光电探测器驱动的微环调制器（即波长中继单元）完成信号在波长域的转换，使计算完全在光域中进行。其中，微环调制器采用下一级波长官员作为补充光，结合其传递函数的性质，波长中继单元（WRU）可以实现信号之间的加、减、乘、除、非线性等多种计算功能，如图1(c-e)所示。

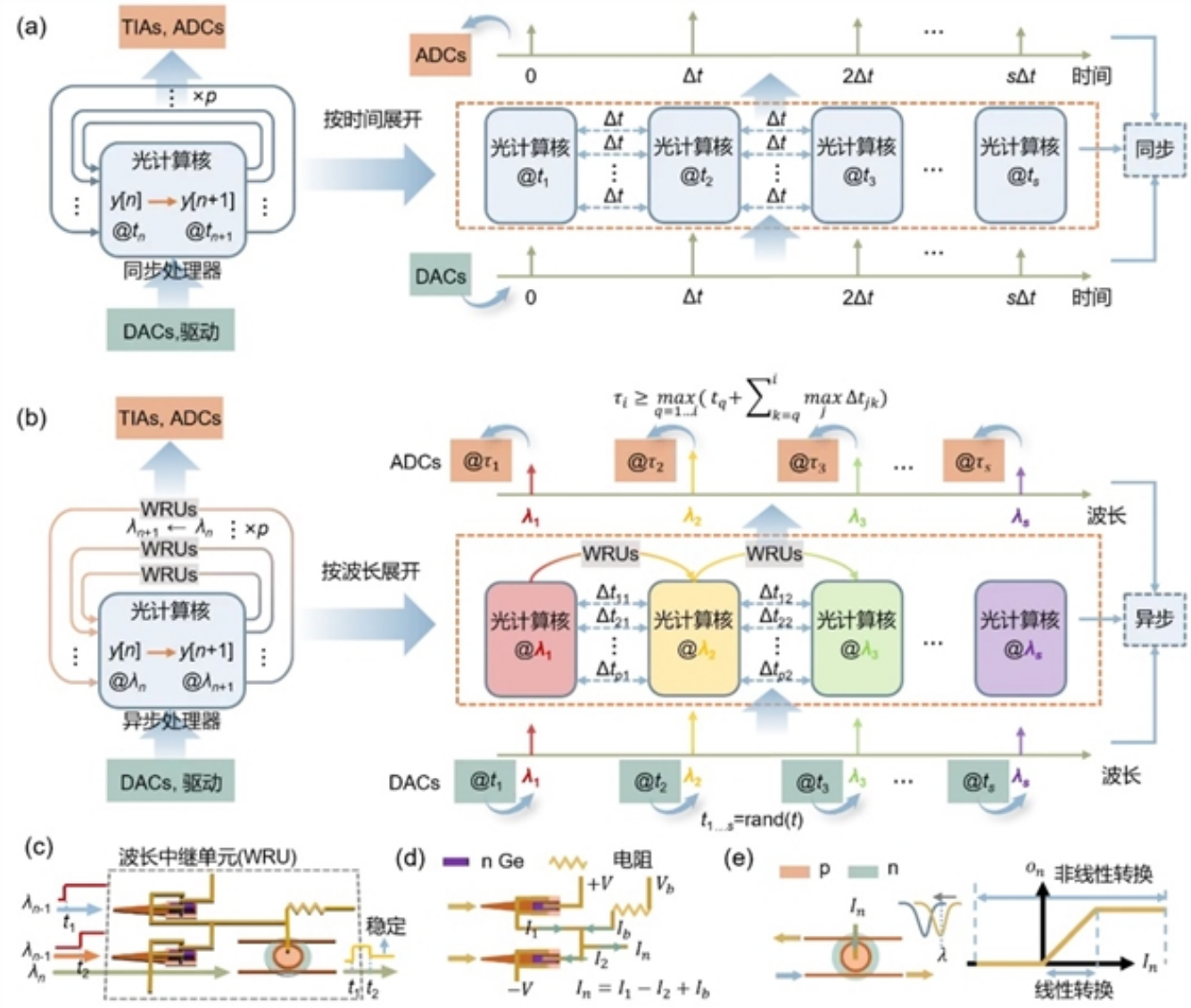


图1：(a)同步光学循环加速器的系统架构示意图。(b)异步光学循环加速器的系统架构示意图，展示了如何利用波长中继进行数据传输。(c-d)波长中继单元的基本工作原理

实验验证与结果分析

基于上述异步循环计算架构，研究团队首先研制了一款光学隐马尔可夫模型（OHMM）芯片，该芯片利用光学矩阵运算执行概率推理任务。OHMM芯片通过将不同状态概率编码到不同波长，并利用光学矩阵运算进行状态转移计算，如图2(a)所示。芯片采用微环谐振器的光谱滤波机制，使不同状态之间的转换能够高效地映射到光学矩阵运算模块。该芯片成功实现了对DNA序列的隐藏状态推断，实验结果表明其在基因序列分析任务中的准确率可达99%，如图2(b)所示。在600个碱基对范围内隐藏状态的相似性表明了这两种DNA是同源的。

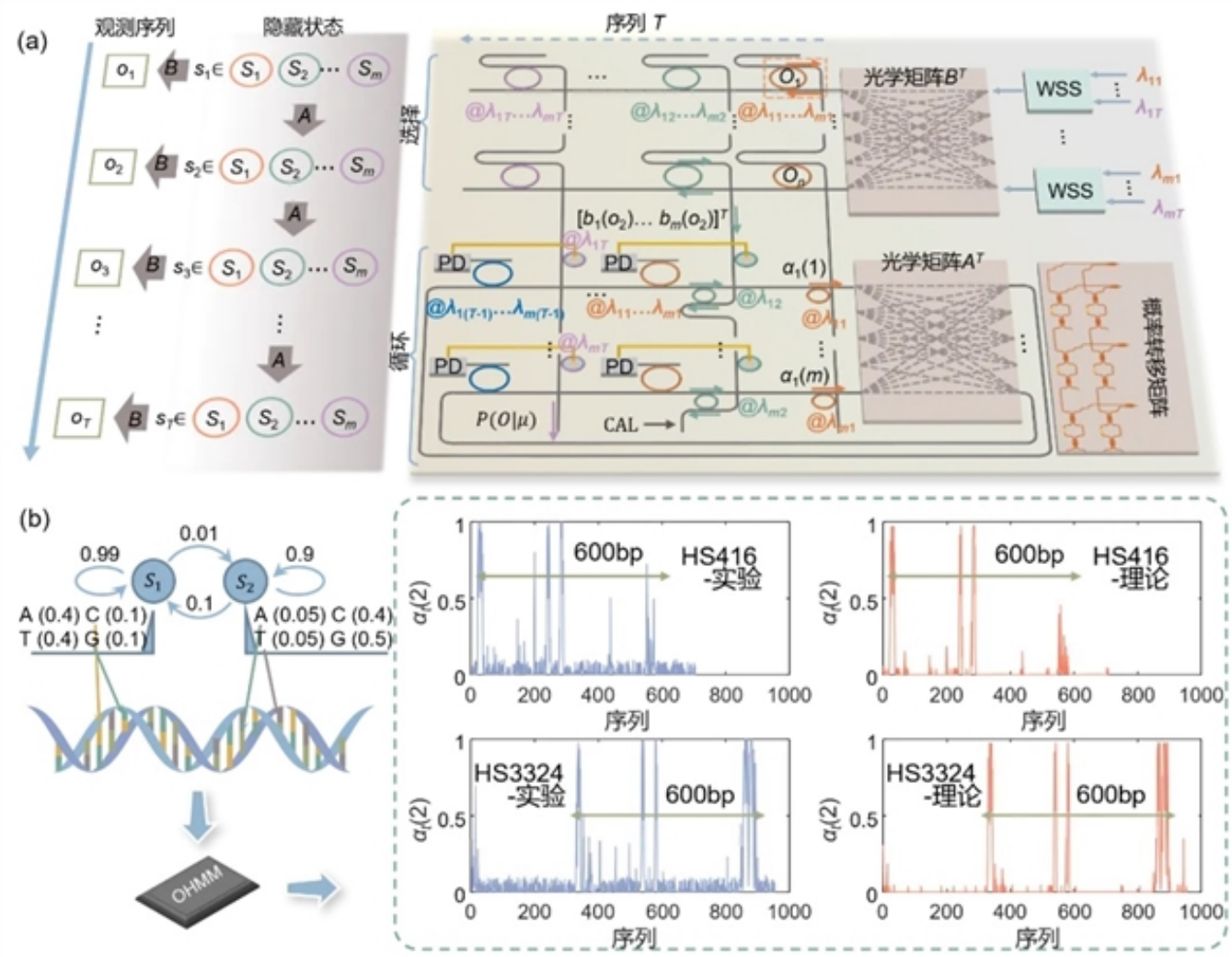


图2：(a) OHMM 计算流程示意图，展示光学矩阵计算如何用于隐藏状态推理。(b)芯片在DNA序列分析中的应用。图中展示了实验结果与理论计算的对比

研究团队还进一步开发了一款单片集成的光学循环神经网络（ORNN）芯片，显著提升了光学计算在处理高维时序数据方面的能力。ORNN芯片利用差分驱动的调制器同时实现波长中继和非线性计算，通过波长复用的方式进行循环计算，如图3(a)所示。该芯片采用原位训练方法在多轮训练过程中优化参数，实现分类任务。在实际测试中，ORNN芯片在日语元音二分类任务中取得了高达97%的训练准确率和95%的测试准确率，并通过一对多的训练策略成功扩展至八分类语音识别任务，测试准确率达87.7%，验证了其在多类别分类中的优越性能，如图3(b)所示。

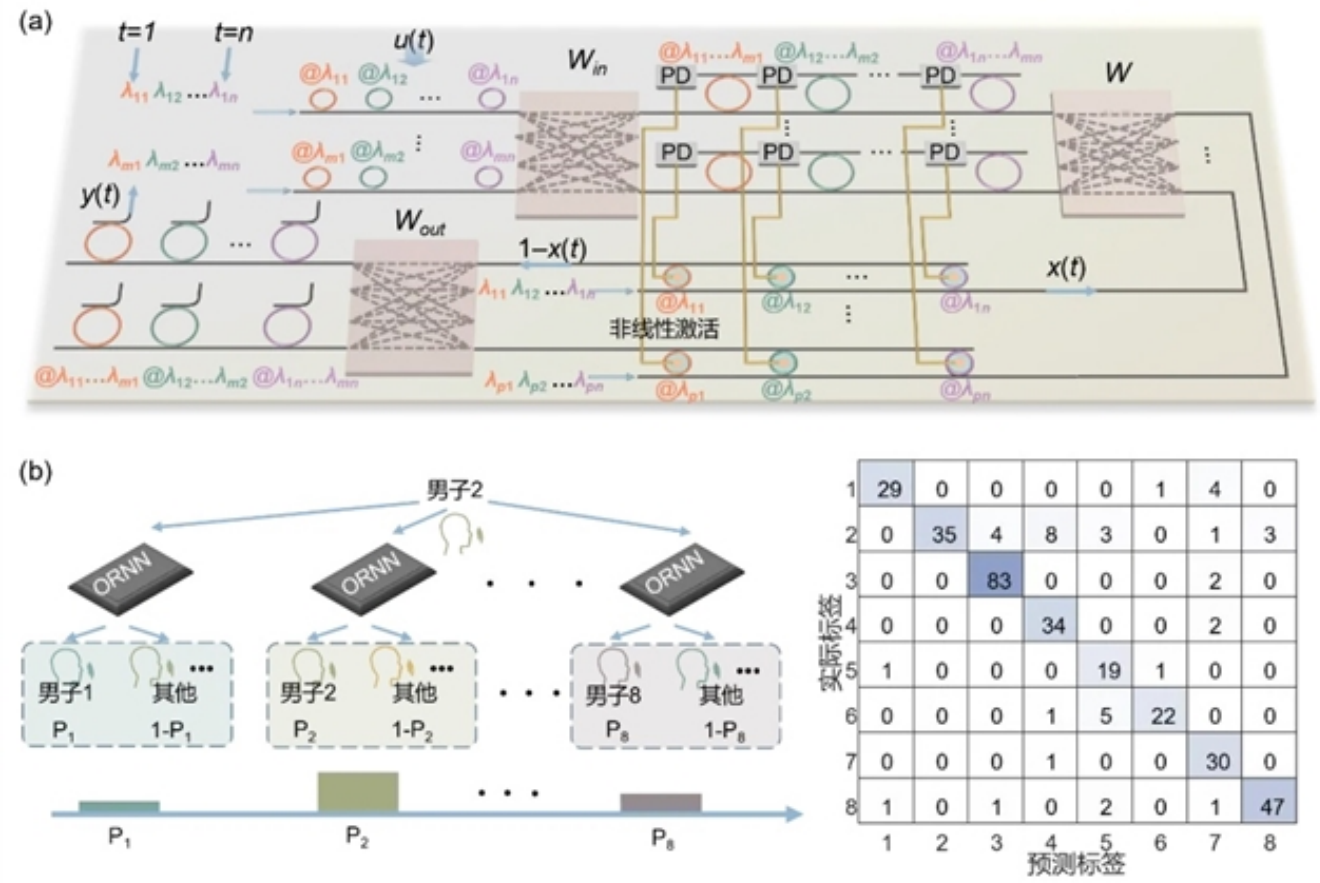


图3：(a) ORNN 计算流程示意图，展示波长复用和非线性计算的实现方式。(b)语音分类实验结果，展示了一对多的训练策略和八分类混淆矩阵

技术优势与未来展望

异步光学计算架构在实验中展现出较低的计算延迟和较高的能效。相较于传统电子计算方案，该芯片在基因序列分析和语音处理任务中均表现出更低的功耗和更快的计算速度。光学计算核心能够高效地执行矩阵运算，并避免高频电子电路带来的信号失真问题。此外，芯片的紧凑设计（仅10mm2）支持更高密度的光计算单元集成（集成上百个光学器件），为未来的大规模光学计算提供了可能性。

研究团队未来计划进一步优化芯片架构，提高计算精度，并探索其在更广泛智能计算场景中的应用，例如自动驾驶、智能感知和边缘计算设备。随着光学计算技术的持续发展，该异步架构有望在未来时序记忆光计算硬件中发挥核心作用。（来源：中国光学微信公众号）

相关论文信息：https://doi.org/10.1186/s43593-025-00084-y

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：张新亮等 来源：eLight

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