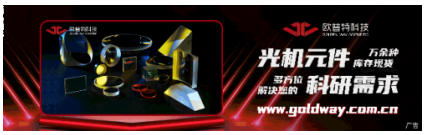
OEA封面丨时空双域计算架构：可编程光子微分方程并行求解器

作者：writer 来源：科学网

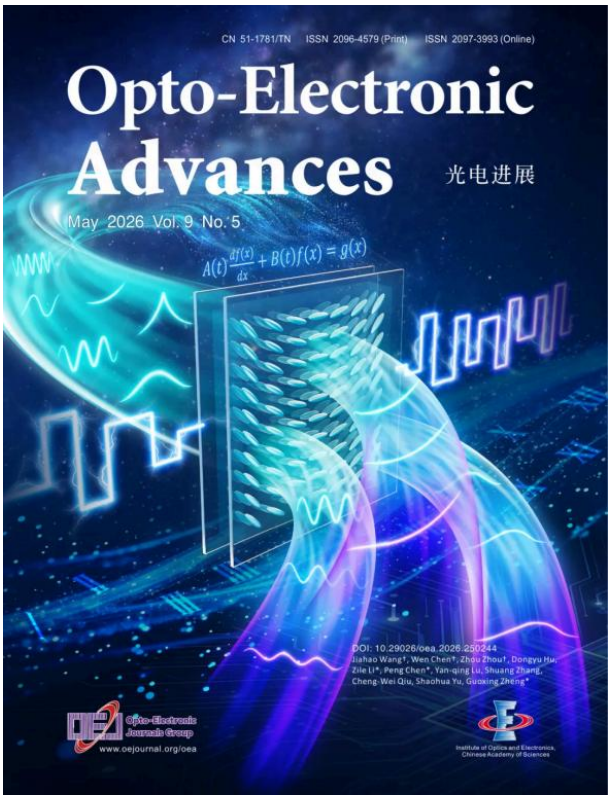
本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/41347.html

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！

OEA封面丨时空双域计算架构：可编程光子微分方程并行求解器。



Opto-Electronic Advances封面论文推荐武汉大学郑国兴教授、李子乐研究员团队与南京大学陆延青教授、陈鹏副教授团队合作提出一种基于电可调谐液晶的全光可重构微分方程求解器，首次将空域架构的天然并行求解优势与时域架构的动态可调谐能力高效融合，演示了多个场景下的变系数微分方程的高效求解。



封面文章 Wang JH, Chen W, Zhou Z et al. Massively parallel and programmable photoni c differenti a l equati on solver. Opto-Electron A dv 9, 250244 (2026).

第一作者：汪嘉豪，陈闻，周舟

通信作者：李子乐，陈鹏，郑国兴

研究背景

微分方程是描述自然规律的核心数学语言，从宇宙星辰的运行演化、自然气候的模拟预测到微观粒子的交织碰撞，万千世界的动态法则都蕴藏于它的表述之中。然而，绝大多数微分方程形式复杂，难以解析求解，常采取数值计算方法。众所周知，传统的电子计算方法在处理海量数据时存在处理速度和效率瓶颈，因此能耗低、速度快的全光计算被视为极具潜力的突破方向。

当前，光学求解微分方程主要有空域和时域两种架构。空域架构（利用空间分布模拟输入函数）有着并行处理大量数据的天然特性，但一旦器件制成，其功能就被固定，无法调整微分方程的系数。时域架构（利用谐振微环、马赫-曾德尔干涉仪等经典结构时域动态调谐）可实现方程系数的改变，但其并行求解能力往往依赖复杂且昂贵的多信道复用技术。如何同时获得高效的并行处理能力和灵活的变系数求解，是全光计算领域的重要挑战。

近日，武汉大学郑国兴教授、李子乐研究员团队与南京大学陆延青教授、陈鹏副教授团队的合作研究，为这一挑战提供了一种解决方案。他们提出一种基于电可调谐液晶的全光可重构微分方程求解器，首次将空域架构的天然并行求解优势与时域架构的动态可调谐能力高效融合，演示了多

个场景下的变系数微分方程的高效求解。该工作以Massively parallel and programmable photonic differential equation solver 为题作为封面文章发表在Opto-Electronic Advances 2026年第5期。

本文亮点

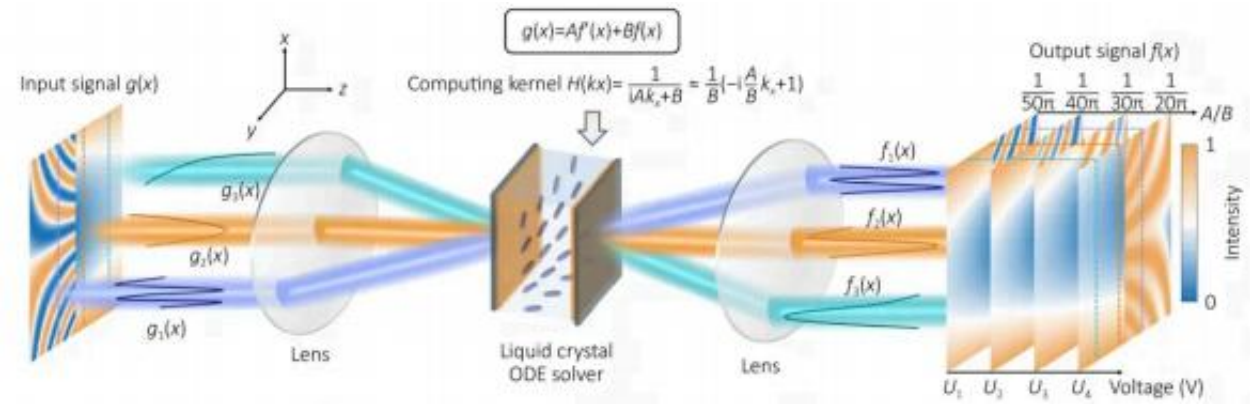


图1空域一阶变系数常微分方程求解器示意图

研究团队基于经典的4f系统进行一阶变系数微分方程求解。研究人员将微分方程的输入函数设计为4f系统的输入端，被求解函数设计为4f系统的输出，微分方程的系数通过设计4f系统频谱面的滤波器进行模拟。本研究中，4f滤波器基于可调液晶器件来实现。研究发现，微分方程的传递函数可以由可调液晶器件准确模拟：空间频率kx与液晶的面内方位角有着明确的函数映射关系，而微分方程的系数又与液晶的动力学相位具有明确的函数关系式。由于液晶的动力学相位可以通过电控进行灵活调节，这也就意味着微分方程的系数可以随调控电压随时改变。在输入端，由于输入函数在空间中只占据一列，因此可以在不同列排列设计不同的输入函数，从而实现多输入并行计算功能。以上创新设计充分结合了空域计算的并行能力和时域计算的可调能力，只需一次光传播即可在4f系统的输出端同时记录得到N个变系数微分方程的求解结果（N为输入函数的数量）。

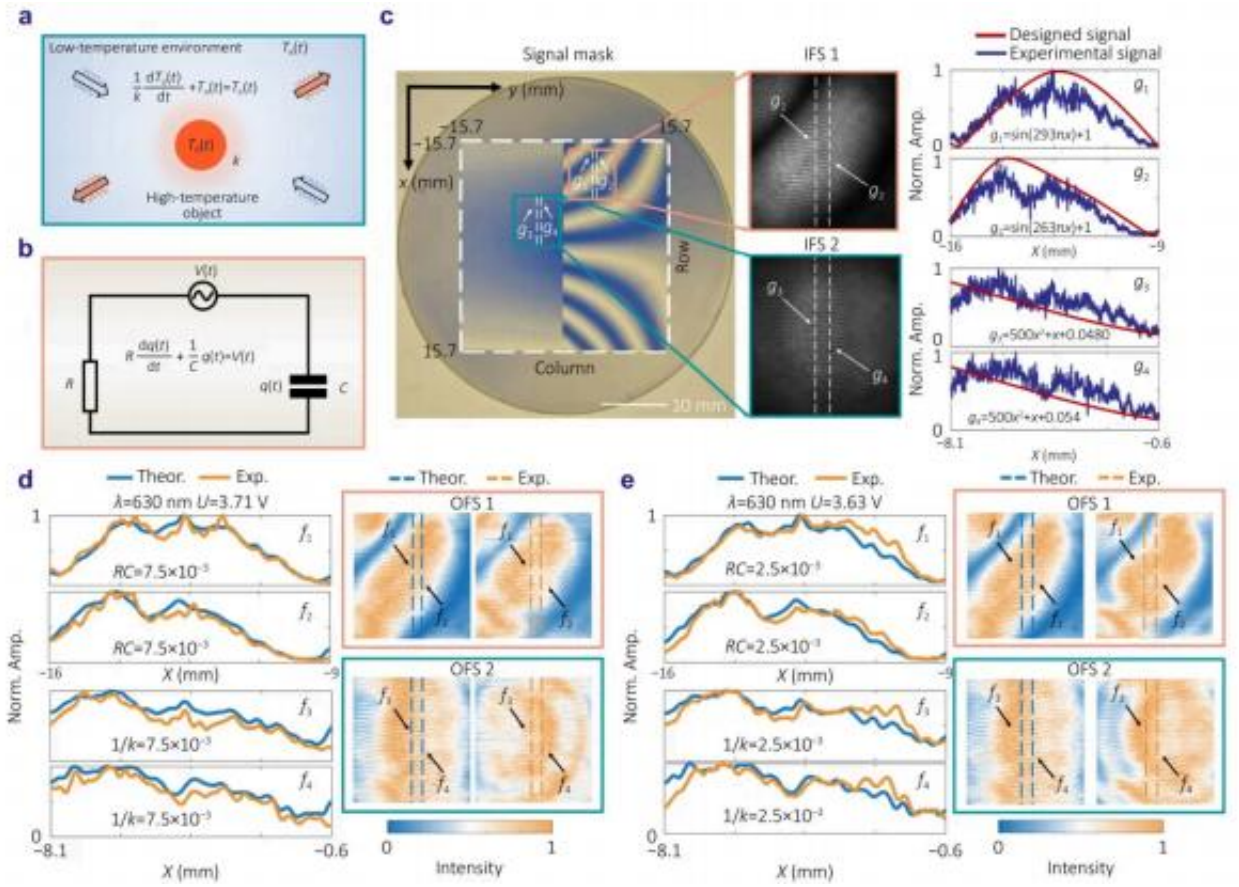


图2 论文提出的微分方程求解器的两个实际应用（热传导过程和RC串联电路）

在实验中，研究团队展示了单次实现158个微分方程的并行计算能力，
以及针对热传导和RC级联电路等实际物理问题的简单高效求解
，不同输入函数和方程系数下的实验结果与理论结果高度吻合，验证了团队所提出方法的有效性。这一新型求解器的最大特点在于其强大的并行计算和可重构求解能力。不同于传统计算方法需要逐步计算单一方程，这种全光求解器能够同时解算多个微分方程，极大提高了计算效率。

从计算模式上看，空域计算天然具备并行处理能力，而光学计算又具有速度快、能耗低的优势，两者结合使该方案在高通量数据处理场景中具有显著潜力。此外，该系统还支持多波长信号处理，为多通道、宽带并行计算提供了可能。未来通过引入随时间变化的输入信号，其处理吞吐量有望进一步提升。与基于精密微纳加工的超表面方案相比，液晶方案在保持高计算性能的同时，制备工艺更为灵活、成本更低；相较于复杂的时域复用系统，其并行处理方式则更为直接高效。这项工作为发展高速、紧凑、多通道、可重构的全光并行信息处理系统开辟了一条新路径，未来在全光衍射神经网络、实时图像识别与信号处理等领域均有广阔的应用前景。

爱科学
iikx.com

OEA | Opto-Electronic Advances

Article

May 2026, Vol. 9, No. 5

Open Access

Massively parallel and programmable photonic differential equation solver

Jiahao Wang[1,2†], Wen Chen[3†], Zhou Zhou[4†], Dongyu Hu[1,5], Zile Li[1,2*], Peng Chen[3*], Yan-qing Lu[3], Shuang Zhang[6], Cheng-Wei Qiu[4], Shaohua Yu[7] and Guoxing Zheng[1,2,5*]

Abstract: Calculus equations are fundamental mathematical tools, whose numerical solution is crucial. Existing solvers with optical analog computing struggle to simultaneously integrate programmability and parallel processing, thus constraining computational speed and density. Herein, we propose a reconfigurable all-optical platform capable of solving variable-coefficient first-order ordinary differential equations in parallel. We utilize the electrically tunable liquid crystals (LCs) as computing kernels to address these equations. The solver's applicability to canonical scientific problems, such as heat conduction and resistor-capacitor circuit dynamics, is further showcased with simultaneous solving of 158 equations with only one single forward propagation of light. Experimental results confirm the efficacy of the platform in solving equations in an ultra-fast, reconfigurable, broadband, and parallel manner.

Keywords: photonics computing; ordinary differential equations; photonic differential equation solver

DOI: 10.29026/oea.2026.250244 | **CSTR:** 32247.14.oea.2026.250244

Citation: Wang JH, Chen W, Zhou Z et al. Massively parallel and programmable photonic differential equation solver. *Opto-Electron Adv* **9**, 250244 (2026).

[1]Electronic Information School, Wuhan University, Wuhan 430072, China; [2]Peng Cheng Laboratory, Shenzhen 518055, China; [3]National Laboratory of Solid State Microstructures, and College of Engineering and Applied Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China; [4]NUS Graduate School and Department of Electrical and Computer Engineering, National University of Singapore, Singapore 119077, Singapore; [5]Wuhan Institute of Quantum Technology, Wuhan 430206, China; [6]Department of Physics, University of Hong Kong, Hong Kong 999077, China; [7]Chinese Academy of Engineering, Beijing 100088, China.

†These authors contributed equally to this work.

*Correspondence: ZL Li, E-mail: lizile@whu.edu.cn; P Chen, E-mail: chenpeng@nju.edu.cn;
GX Zheng, E-mail: gxzheng@whu.edu.cn

研究团队简介



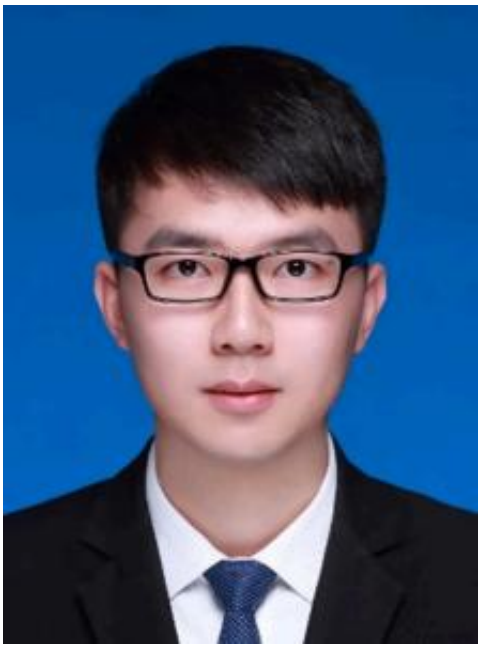
李子乐

于2018年在武汉大学获得博士学位。2018年6月至2022年3月于武汉大学从事博士后研究工作。自2022年4月起任武汉大学研究员。研究方向包括超表面、全息术及相关领域。

个人主页：

http://eis.whu.edu.cn/index/szdwDetail?

rsh=00032014newskind_id=20160320222026165YIdDsQIbgNtoE



陈鹏

南京大学副教授/博导，先后于南京大学获得学士和博士学位，主要从事液晶微纳结构的设计构筑、多维光场的按需调控、智能动态光学元器件的开发应用。

个人主页 ：https://eng.nju.edu.cn/cp1/main.htm



郑国兴

武汉大学电子信息学院教授/院长，主要从事光学超表面、信息器件及系统集成研究，聚焦超表面在光成像、光传感、光通信等领域的创新和应用。

个人主页：

https://jszy.whu.edu.cn/zhengguoxing/zh_CN/index.htm

长按识别此二维码，直达全文
来源：光电期刊

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