
高效的片上光处理器在线训练算法

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/31453.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！

高效的片上光处理器在线训练算法。华中科技大学王健教授带领的多维光子学实验室（MDPL）团队提出了一种利用随机并行梯度下降算法（SPGD algorithm）的光学神经网络芯片在线训练方法，该方法相比目前主流的其他优化算法极大地减少了运算次数，可以大大节约训练过程中的功耗，有望应用于超大规模光学矩阵计算芯片的在线训练。

随着全球数据量的爆炸式增长，空分复用（SDM）技术已成为提高通信容量的一种有前途的解决方案，目前已经在多芯光纤、少模光纤和自由空间光通信中广泛应用。然而，由于光传输过程中不同信道会发生串扰，这将导致信号质量下降，因此需要在接收端用数字信号处理（DSP）算法来进行解扰，但这会增加复杂度、设计困难和功耗。

近年来，集成可重构光处理器已被用于模分复用系统中的光信号解扰。然而，目前主要的在线训练算法（如数值梯度下降算法）每次迭代都需要逐个更新变量来计算损失函数，这会导致大量的计算量和较长的训练时间。而遗传算法（GA）、粒子群优化（PSO）算法等群体智能算法必须有足够大的种群规模以保证训练结果的可靠性，这也会带来较大的运算量，因此，寻找一种适用于光学矩阵配置的高效优化算法对大规模光子计算芯片在线训练与多维光通信系统均有较大意义。

最近，华中科技大学武汉光电国家研究中心王健教授带领的多维光子学实验室（MDPL）团队在光学矩阵计算芯片在线训练方面取得了进展，相关成果以Efficient stochastic parallel gradient descent training for on-chip optical processor为题作为封面文章发表在Opto-Electronic Advances (OEA, 光电进展) 2024年第4期。该工作提出了一种利用随机并行梯度下降算法（SPGD algorithm）的光学神经网络芯片在线训练方法，算法流程图如图1所示，该方法相比目前主流的离散梯度下降算法、遗传算法、粒子群算法等优化算法极大地减少了运算次数，可以大大节约训练过程中的功耗，有望应用于超大规模光学矩阵计算芯片的在线训练。

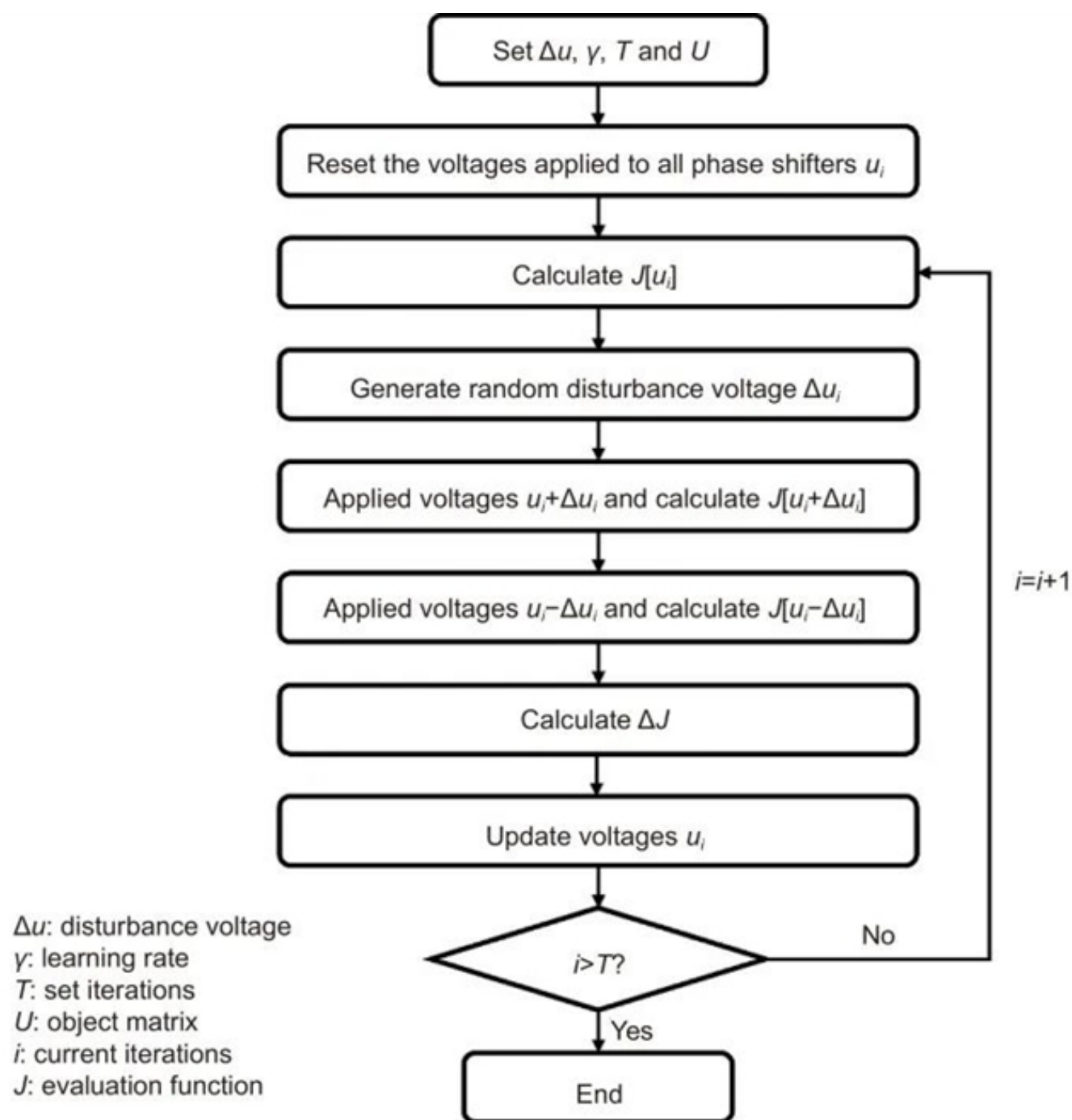


图1 SPGD算法流程图

为了验证所提出优化方法的可行性，该团队设计制造了基于级联马赫-曾德尔干涉仪（MZI）的 6×6 可重构光处理器芯片并进行了在线训练实验，包括光交换矩阵、光信号解扰矩阵以及二者的结合。图2展示了该光处理在实际模分复用（MDM）光通信系统的应用场景以及处理器内部结构。图3给出了训练的结果，可以看到对于多维光通信系统中的光交换和光信号解扰任务都有较好的训练效果。

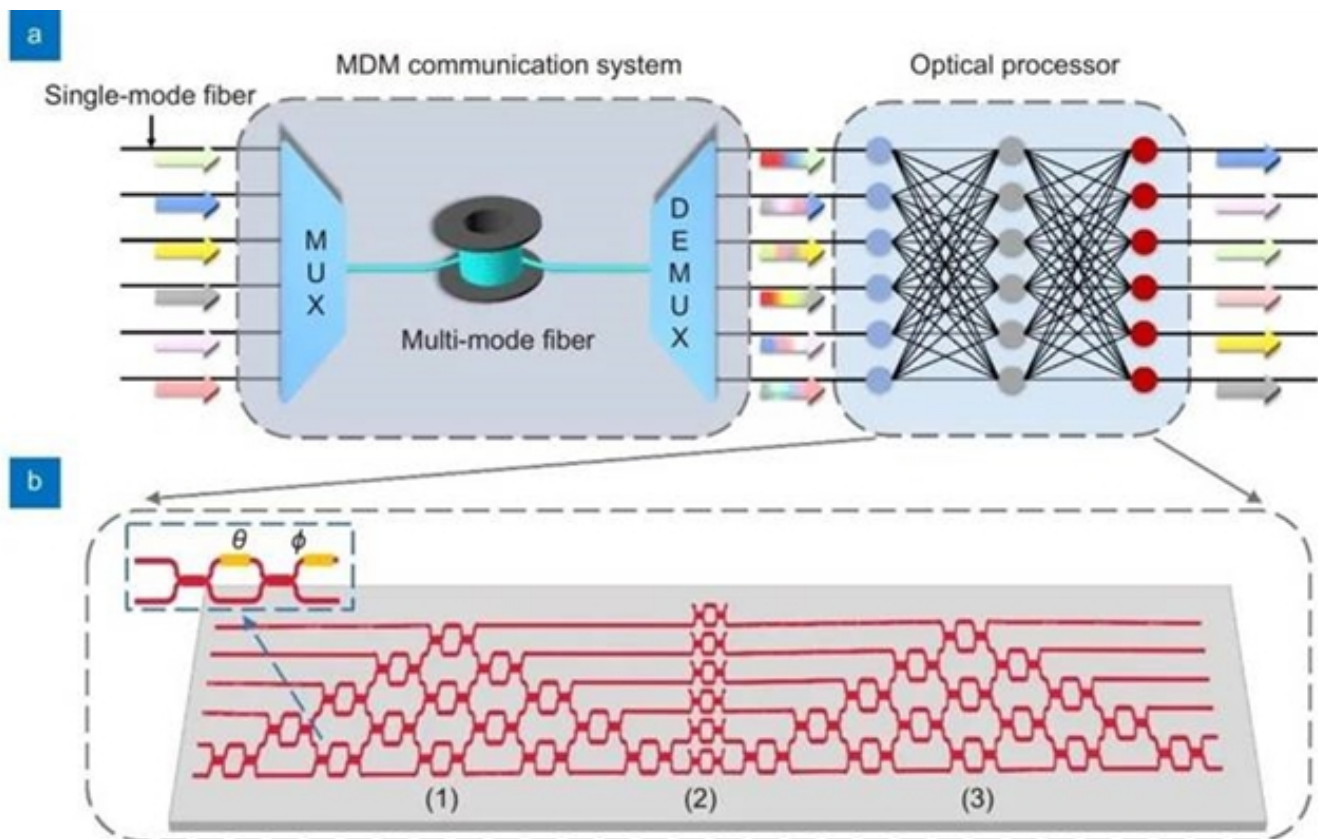


图2 (a) MDM光通信系统中用于光交换和信道解码器的片上光处理器的概念图。(b)集成可重构光处理器内部结构图。

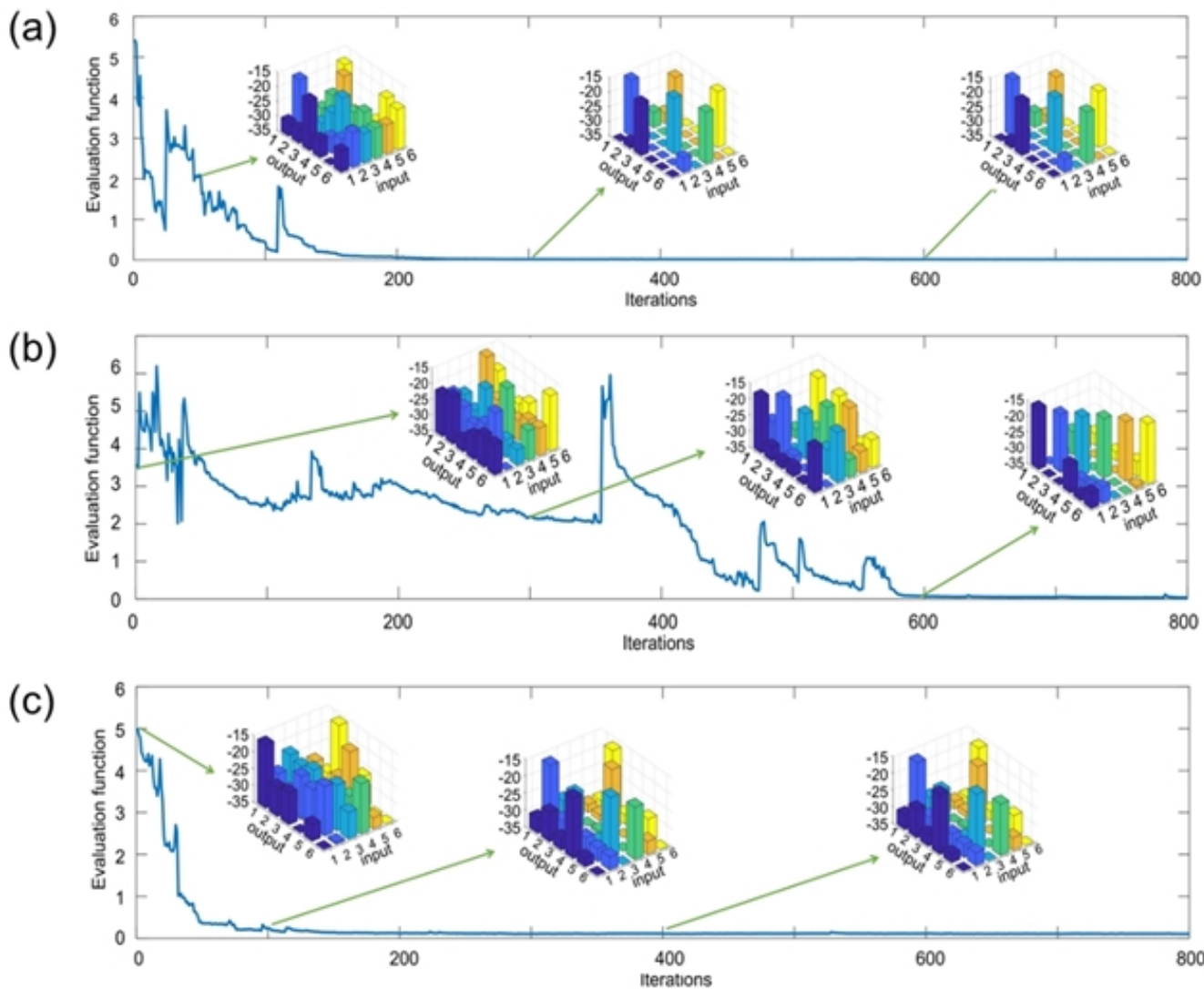


图3 在线训练结果。(a) 光交换, (b) 光信号解扰, (c) 光信号解扰+交换

在此基础上，该团队将这种可重构光处理器芯片应用于高速光通信系统，用于补偿传输过程中的模式串扰。所采用的实验装置图如图4 (a) 所示，采用20 Gbaud的16QAM信号，可以看到光经过训练好的光子芯片后信号的质量得到了显著的改善（见图4 (e,f)），误码率也明显下降。

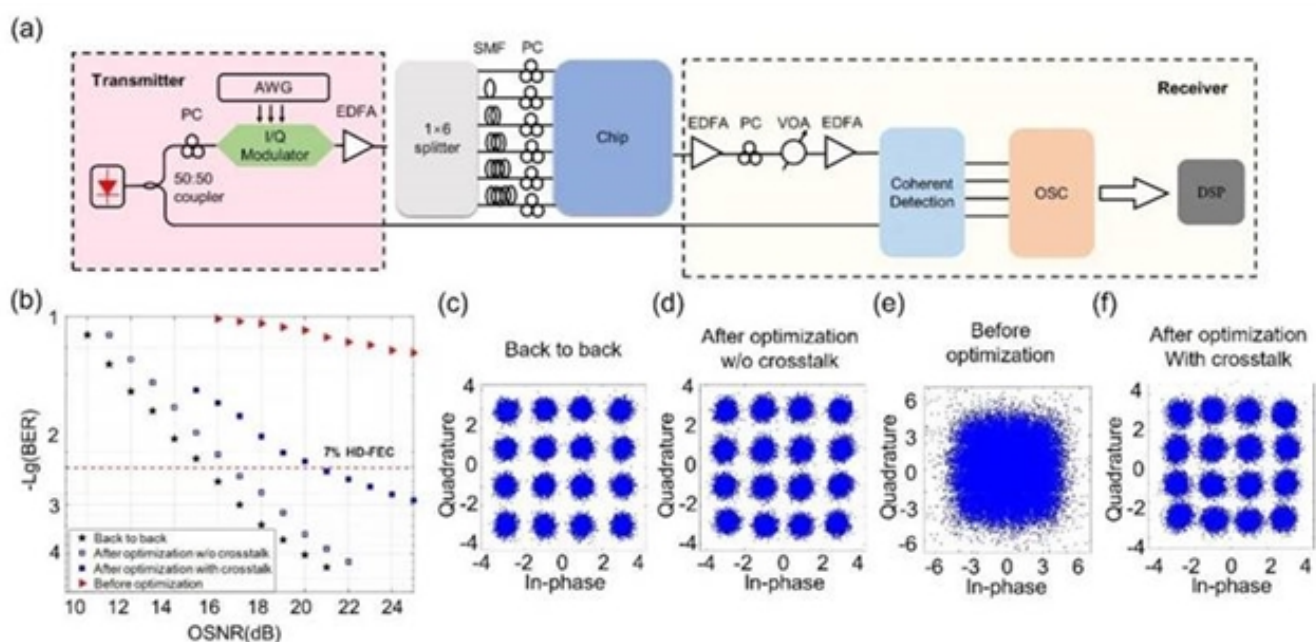


图4 可重构光学矩阵计算芯片应用实际光通信系统测试结果

最后，该团队还研究对比了光学矩阵规模扩大到 10×10 、 16×16 、 32×32 时SPGD算法与传统梯度算法、遗传算法和粒子群算法的运算量，结果表明随着矩阵规模的扩大SPGD算法运算量的增幅小于其他算法。

Algorithm	Numbers of update	Matrix sizes			
		N=6	N=10	N=16	N=32
GD	$N(N-1) \times T$	690	3870	13200	93248
GA	$M \times T$	1048	9046.67	39732	171200
PSO	$M \times T$	1024	5912	31056	116145
SPGD	$3 \times T$	297.9	1092.6	4752.6	18053.1

表1 不同算法的对比

研究团队简介

华中科技大学多维光子学实验室（Multi-Dimensional Photonics Laboratory，MDPL）团队长期致力于光场调控、多维光通信、光信号处理、光电子器件与集成、硅基光子集成芯片等研究并取得了系列重要成果。团队瞄准高速大容量光通信和光子集成芯片等国家重大需求和世界科技前沿，承担了多项国家重点研发计划等项目，成果入选美国光学学会重要进展和国家十三五科技创新成就展。

团队负责人王健教授是武汉光电国家研究中心副主任，国家杰出青年科学基金获得者，当选电气与电子工程师协会会士（IEEE Fellow）、美国光学学会会士（OPTICA Fellow），国际光学工程学会会士（SPIE Fellow）。曾入选国家优秀青年科学基金、长江学者奖励计划青年学者、国家万人计划青年拔尖人才、英国皇家学会牛顿高级学者。担任美国光学学会会士评选委员会委员、中国光学学会常务理事、IEEE Photonics Society武汉分会副主席。入选2019—2023年度全球前2%顶尖科学家、爱思唯尔2020—2022年度中国高被引学者。第一完成人获教育

部自然科学一等奖2次、教育部青年科学奖1次、中国光学学会自然科学一等奖1次和王大珩光学中青年科技人员奖1次。

相关论文

Wan YJ, Liu XD, Wu GZ et al. Efficient stochastic parallel gradient descent training for on-chip optical processor. Opto-Electron Adv 7, 230182 (2024).

DOI: 10.29026/oea.2024.230182

作者：王健等 来源：《光电进展》

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](https://www.iikx.com)转发