

模拟复杂现象的光子元胞自动机

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/24276.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！

模拟复杂现象的光子元胞自动机。近日，美国加州理工学院的Alireza Marandi教授课题组提出并实现了一种专用光子计算机——用于模拟基于元胞自动机的复杂现象（图1），并实验演示了包括分形、混沌和孤子与复杂系统相关联的物理现象。这种光子计算机具有很强的灵活性与可编程性，为模拟和利用复杂性提供了新的机会，并且为使用光子进行高效、鲁棒和分散的信息处理提供了新方案。

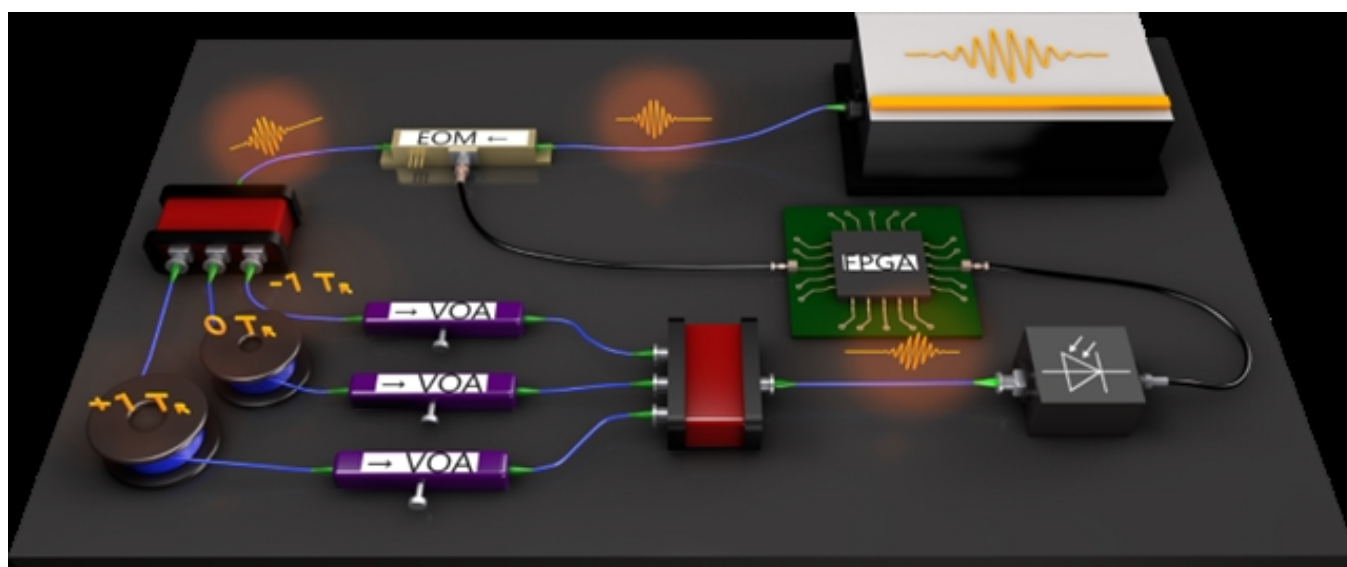


图1：使用初等元胞自动机模拟复杂现象的光子平台

该文章近日发表在Light: Science Applications，题为Photonic Elementary Cellular Automata for Simulation of Complex Phenomena，Gordon H.Y. Li为论文的第一作者，Alireza Marandi教授为论文的通讯作者。

基于冯·诺伊曼体系结构的现代数字电子计算机，其硬件结构极其复杂，由数十亿个以分层和高度结构化设计的晶体管组成。与冯·诺伊曼架构不同的是，自然界充满了突发性现象和复杂系统，这些系统包含许多相互作用的组件，遵循简单的规则，没有层次控制。例如，像蚂蚁这样的群居昆虫，只有有限的局部信息，可以集体组织形成全局结构。这表明，模拟这种现象的另一种更有效的方法是利用简单和分散的物理硬件，直接模拟复杂系统的底层规则。

元胞自动机（CA）就是一类可以从简单和分散的物理硬件中受益的计算模型，可以模拟各种复

杂现象。CA在20世纪40年代被引入，用于研究自复制和进化如何在人工生命中出现，并在康威生命游戏中得到普及，该游戏展现了类似生物系统的自组织模式。随后的重要研究揭示了CA也能够复制其他复杂行为，例如分形、混沌、自组织临界性、同步和通用计算。因此，CA在物理学、化学和生物学中建模各种自然现象具有实用价值。此外，CA在现实世界的计算问题中也有重要应用，例如密码学、数据压缩、纠错、交通流模拟和开发更强大的人工智能。



图2：高斯帕滑翔机枪（在元胞自动机康威生命游戏中创造滑翔机）

然而大多数CA仅作为高级软件在传统计算机上实现，这导致了不必要的开销。因此，需要寻找能够更好地封装CA计算原理的物理硬件，以实现更高效的仿真。

团队提出并实验展示了一种专用光子计算平台（见图1），利用合成的时间维度和简单的硬件组件，能够模拟广泛的复杂现象。与其他方法相比，该光子平台提供了几个明显的优势：

- (1) 使用光子进行计算所赋予的固有高带宽与传统冯诺依曼计算机上的CA模拟相比，时钟速率提高了几个数量级；
- (2) 该光子平台的快速可重构性，便于对各种CA规则进行编程，可以在同一物理系统中观察到许多不同的复杂现象；
- (3) CA所需的稀疏、局部和平移不变连接非常适合光子平台。

由于硬件系统提供的灵活性和快速可重构性，团队的去中心化和非冯诺依曼架构光子计算机可以编程来表示光脉冲的不同规则和初始条件。实验中，团队在同一硬件上显示了一系列重要的复杂现象，包括分形（见图3）、混沌（见图4）和孤子（见图5）。

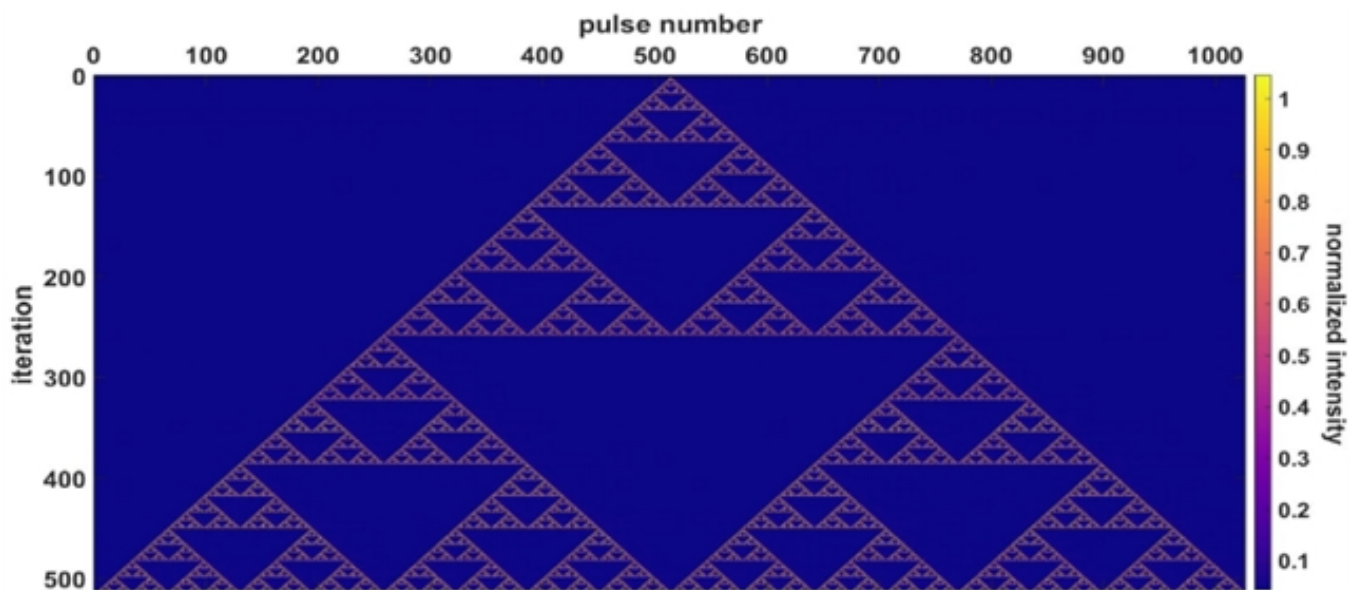


图3：等效时空图显示了Sierpinski三角形分形的出现

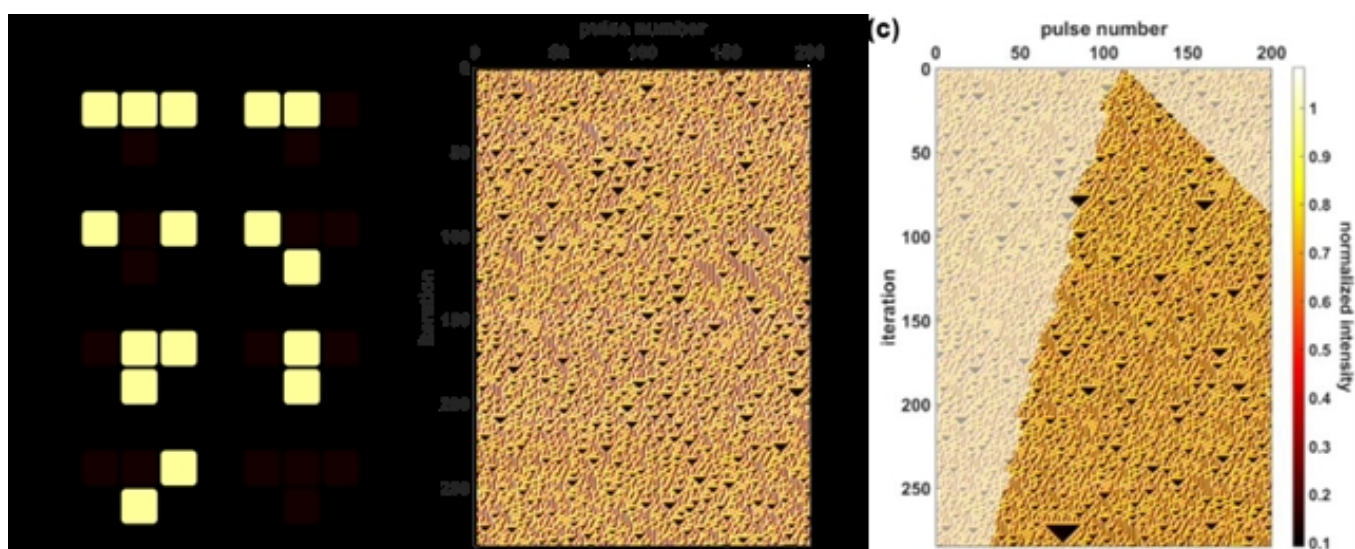


图4：时间复用光子硬件上基于元胞自动机规则产生的混沌图样

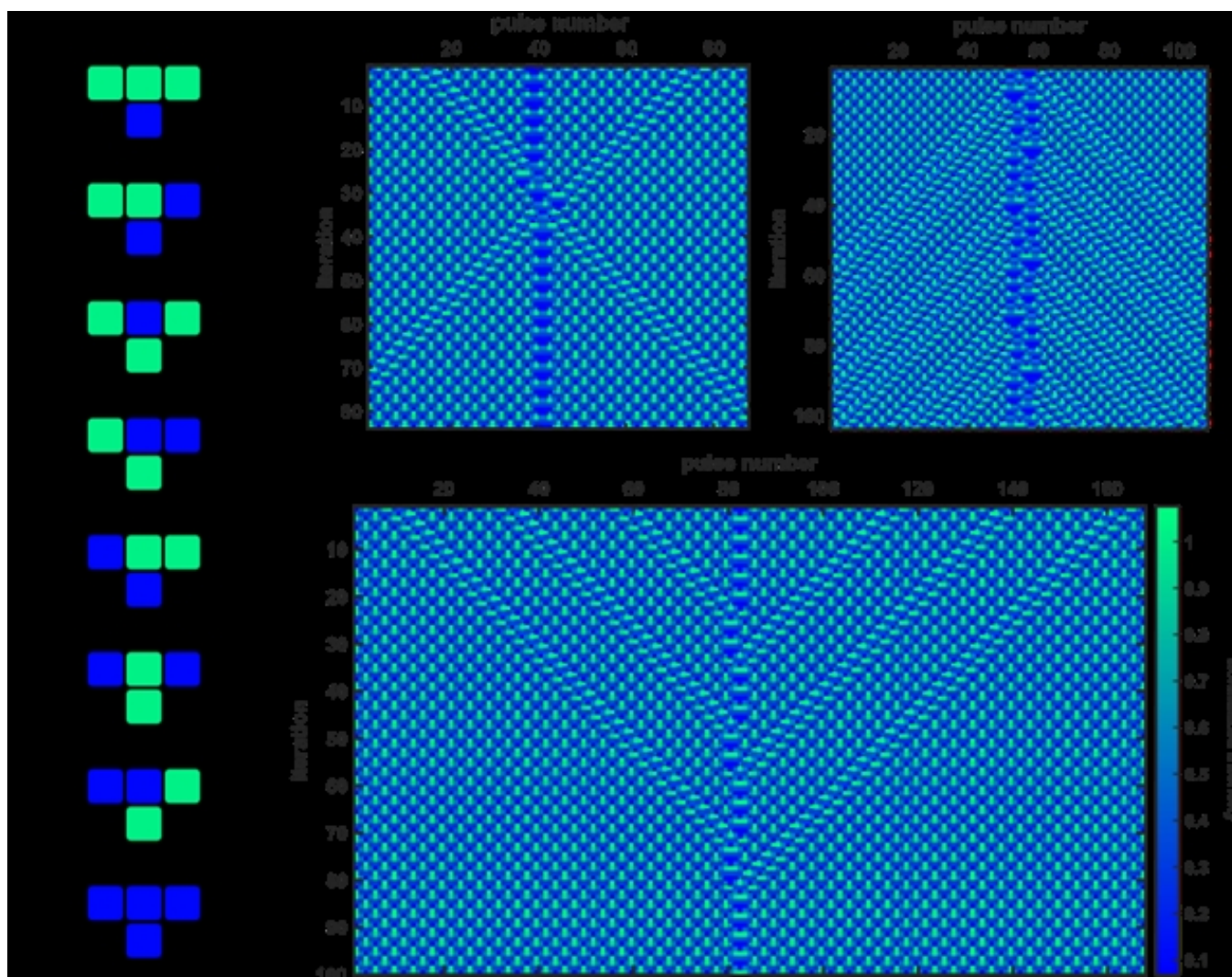


图5：光子硬件中由元胞自动机规则产生的类孤子和滑翔机相互作用

未来的工作可能涉及推广时间复用光子网络，以利用空间或频率复用技术实现更大的同步并行单元更新或实施其他类型的CA，包括滤波器CA、可逆CA和随机CA。这可以在动力学临界现象、伊辛模型和格点玻尔兹曼模型中研究具有实验挑战性的复杂动力学。（来源：中国光学）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-023-01180-9>

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事宜，请与我们联系。

来源：《光：科学与应用》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://iikx.com)转发