
类冯诺依曼架构的光学模拟器及其在量子混沌研究中的应用

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/28320.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！

类冯诺依曼架构的光学模拟器及其在量子混沌研究中的应用。 导读

郭光灿院士领导的中国科学技术大学中科院量子信息重点实验室的李传锋、韩永建、唐建顺课题组，利用光学时间模式构建了一种类冯诺依曼式的光学量子模拟器。这种模拟器的主要特点就是其循环结构，这赋予它一个极大的优势——节约资源。同时，时间模式的运用使它拥有稳定性好的优点。两个优点结合赋予该模拟器一个更大的优势，即完全可编程性。为了体现这点，课题组在该模拟器上运行了两个具有不同资源需求的程序，分别从两个不同的侧面探究了量子混沌的特性，即观察量子混沌在相空间的行为和定量研究费米黄金规则。借助于这台模拟器的独特优势，课题组实现了一个最多具有1694个自由可调相位的光学干涉网络，并且这个数字可以根据需要自由编程。论文的第一作者为该课题组毕业生俞上博士，现为帝国理工学院副研究员，玛丽居里学者。

相关成果以A von-Neumann-like photonic processor and its application in studying quantum signature of chaos为题在线发表在Light: Science Applications上。

研究背景

光学量子模拟在处理某些特定任务上展现出传统计算机无法比拟的速度和效率，因此受到广泛关注。然而，随着量子算法和量子系统的研究不断深入，现有的光学量子模拟平台在资源利用率、可编程性、相位稳定性以及软硬件可扩展性方面的局限性逐渐暴露。它们或者性能强但编程能力弱、或者可编程但牺牲了模拟器性能。同时，现有的光学模拟器大都基于空间模式编码，需要消耗巨大的资源，如控制电路和探测器数目以及可能占据的庞大空间。特别是在量子混沌这一高度复杂的研究领域，演化需要非常多的步数，传统的光学量子模拟器架构难以满足高稳定性、高资源利用率、完全灵活的编程条件等并存的苛刻需求。

研究创新点

针对上述挑战，课题组提出了一种基于时间模式编码和循环结构的类冯诺依曼架构的光学模拟器。这一架构最大的创新之处在于其多模式的通用可编程性。这意味着在同一处理器上可以处理各种资源需求的量子模拟任务，并且利用循环结构中包含的存储单元，甚至可以并行地执行这些模拟任务，大大提高了计算效率。同时，时间模式编码和环形结构的设计不仅优化了光子的利用率，还在保证计算过程中相位稳定性，并实现了资源的高效配置。此外，该架构还支持仅需基于软

件的高度可扩展性，为量子算法的开发和测试提供了强大的支持。

研究应用

通过在同一台光学量子模拟器上成功执行两个具有不同资源需求的量子程序，来从两个侧面分别研究了量子混沌的特性，展示了新型架构的强大可编程能力和可扩展性。这两个程序分别研究了量子混沌系统在相空间的行为特征和与量子混沌理论紧密关联的费米黄金规则，为量子混沌的进一步研究提供了新的工具和方法。这不仅在理论上验证了新架构的有效性，更在实践中展现了其在处理高度复杂量子现象时的独特优势。值得一提的是，在该实验中，课题组通过编写不同的量子程序构建了许多量子干涉网络，其中最大的一个包含了1694个自由可调的相位。

总结与展望

这项研究的成功，不仅在技术上实现了对现有光子处理器架构的重大改进，更重要的是，它为量子混沌等复杂量子现象的研究提供了一种全新的视角和工具。随着量子计算技术的不断进步，我们有理由相信，量子科学的未来将更加广阔，量子技术的应用领域也将进一步拓展。这项研究不仅展现了光子处理器的一种新架构，也证明了其在量子基础问题方面的应用能力。同时，利用这里类冯诺依曼架构，人们可以将指令块与数据块自由地切割打包并存放在内存中，这样就可以灵活地进行多线程、多核（并行或串行）运算，为基于光学处理器的多任务工作模式、量子网络和量子服务器的构建提供可能性。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-024-01413-5>

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。

作者：郭光灿等 来源：《光：科学与应用》

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

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