

巨大的优势。”

ISRO建造的第2部雷达主要用于扫描印度及极地地区,工作波长为9 cm,介于NISAR卫星的长波雷达与其他多数合成孔径雷达(SAR)任务的波长之间。它既能穿透森林冠层,又能探测部分植被结构,从而绘制出更精确的耕地地图。ISRO亦计划利用这部雷达监测印度沿海水域的波浪运动,通过分析这些数据绘制沿海海床轮廓。

NISAR卫星的雷达脉冲可穿透地表数厘米,为分析土壤类型和含水量提供数据支持。康奈尔大学地球物理学家Rowena Lohman认为,这些数据将揭示全球变暖对永冻层的影响。永冻层占地球陆地面积的15%,全年处于冻结状态。NISAR卫星不仅能追踪永冻层的融化过程,还能监测其位移和沉降情况,包括冻土层上的植被和建筑物的变化。Rowena Lohman指出:“我们将能清晰区分永冻层的移动量和融化量。”

Das指出,在气候更温和的地区,土壤数据结合上层植被含水量的测量结果,将有助于识别农作物并监测其健康状况。此外,NISAR卫星团队将完成一项全球首创的工作:制作分辨率为200 m的全球土壤湿度定期更新地图,这将为灌溉规划、干旱及洪水评估提供支持。Das表示:“这是前所未有的创新。”

澳大利亚联邦科学与工业研究组织的遥感研究员Pascal Castellazzi表示,NISAR卫星将在其数据与其他来源的数据结合后得

以释放全部潜力。过去20年间,通过测量地球引力微小变化的卫星,科学家已追踪到干旱和灌溉导致地下水资源发生的迁移与减少。而NISAR卫星通过测量农民抽取地下水和雨水补给地下水时发生的细微地表运动,可进一步完善这一研究。Castellazzi表示:“将这些数据结合起来,我们基本上就能实现地下水管理的理想目标:绘制出高分辨率的地下水质量变化体积图。”

除科学使命外,NISAR卫星亦标志着美印两国在太空领域的合作日益紧密。NASA与ISRO联合研制的卫星,将由ISRO的火箭从印度南部海岸的斯里哈里科塔发射场送入轨道。亚利桑那州立大学的太空政策学者Namrata Goswami表示:“这是NASA与印度首次真正合作研制硬件,意义极为重大。”

(译自《Science》,2025, 389(6756))

量子随机化的精简实现

基于少量量子门层实现量子计算中的随机性

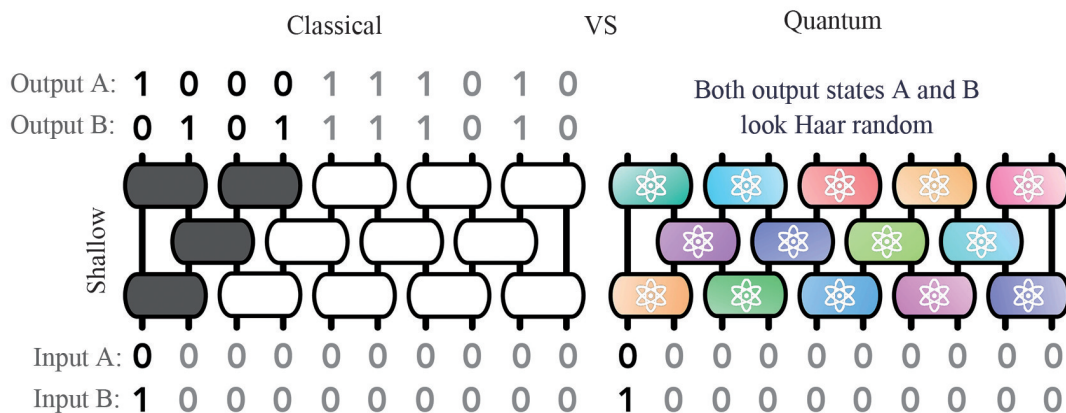
文/Naoiki Yamamoto, Kaito Wada

掷骰子时,6个面中的每一面都以等概率随机出现。这种简单的随机现象在诸多技术领域中都具关键作用,例如密码学、复杂物理模拟及磁共振成像。在经典计算机科学中,与遵循确定性路径的算法相比,随机化算法能通过运用更少的内存执行更高效的计算。随机性在量子计算中也具有重要的技术作用,但要达到生成结果的随机性则需大量操作。Schuster团队提出的量子电路(一种用于计算的抽象操作序列)可指数级减少实现结果随机性所需的操作数量,降低了在各类应用中实现快速高效量子计算的工程壁垒。

在无噪声的情况下,量子力学中状态的演化可通过幺正矩阵

(复数方阵)进行数学描述。随着量子比特[与经典计算中的比特(0或1)类似的量子位]数量增加,该矩阵的大小以2的幂次方增长($2^n \times 2^n$,其中 n 为量子比特数量)。对于当前已实现超过100个量子比特的设备而言,所需的幺正矩阵规模已变得极为庞大。尽管经典计算机无法对如此庞大的幺正矩阵进行高效处理,但量子计算机却能够做到。此外,由于量子系统高度自由,信息传播速度极快,这不仅为量子计算增添了另一层复杂性,同时也赋予了其更强的算力。

与经典计算领域相同,随机算法在量子密码学、量子模拟等诸多应用场景中均展现出重要价值。大型随机电路能够执行一系



浅随机经典电路与量子电路的随机性差异

(图片来源:《Science》)

列复杂任务,而此类任务是经典计算机难以高效处理的。随机量子电路可对么正矩阵(其功能类似于—组逻辑门的集合)进行任意选取,且不受其在量子系统中分布状态的影响。不过,构建完全随机的量子电路需要指数级数量的操作步骤。相较而言,近似随机量子电路的核心思路是对一系列量子门(即么正矩阵)进行随机应用,且无需依赖指数级数量的操作。传统观点认为,近似随机电路中量子门的数量(即电路深度)通常与量子比特数量呈线性增长关系。尽管该方法在处理少量量子比特的计算任务时具有一定有效性,但当量子比特数量增多时,就需要构建具备多层序列结构的深度电路。

Schuster团队构建的近似随机量子电路深度被缩减至量子比特数量的对数级别。这一突破不仅使近似随机电路的规模实现指数级缩减,还降低了随机量子信息处理的复杂度。研究者将单个操作整合为所谓的“砖墙结构”,其中每个“砖块”均代表一个小型

随机电路。当2层“砖块”堆叠后,在电路深度显著降低的情况下,其性能便与完全随机电路高度接近。此类浅层电路所对应的么正矩阵具备不可区分性,而这一特性在现有方法中往往需要通过多层量子门才能实现。Schuster团队证实,针对多种电路几何结构,能够生成伪随机么正矩阵,且其深度仅为 n 个量子比特对数的多项式级别。

Schuster团队提出的方法,有望提升几乎所有依赖随机量子电路的量子技术的效率。例如,随机测量技术推动了磁共振成像的发展,如今借助浅层随机量子电路,可实现“经典阴影”协议——这是一种无需对量子态进行完整描述便能完成量子态估算的协议。该技术还可用于提取基本的量子物理特性,如物质的相态及强关联现象等。除技术应用层面外,将经典随机算法转化为量子系统,为量子计算领域开拓了全新的高效算法路径。浅层随机量子电路实现了多量子比特系统的快速随机化,而这正是大规模随

机量子算法的核心要求。

Schuster团队的研究发现为量子物理领域提供了深刻见解。可观测物理性质的基本限制究竟是什么?或许正如Schuster团队所暗示的,某些性质之所以无法被探测,是因为物理现象本质中固有的随机电路会以指数级速率隐藏量子信息。这一观点令人联想到海森堡不确定性原理——该原理从根本上限制了量子力学中可获取的信息量。目前,人们已开发出诸如“压缩”等技术,通过改变系统内不确定性的分布(即减少某一量子属性的不确定性,同时增加另一量子属性的不确定性)来对海森堡不确定性原理进行调控。尽管此类技术能够提升测量精度,但无法突破量子力学的基本限制。那么,被隐藏的量子信息是否有可能被提取呢?一种可将系统回溯至先前状态的时间反转量子操作或许是可行方案,而浅层随机量子电路或有助于验证这一点。

原文参考文献略。

(译自《Science》,2025,389(6755))