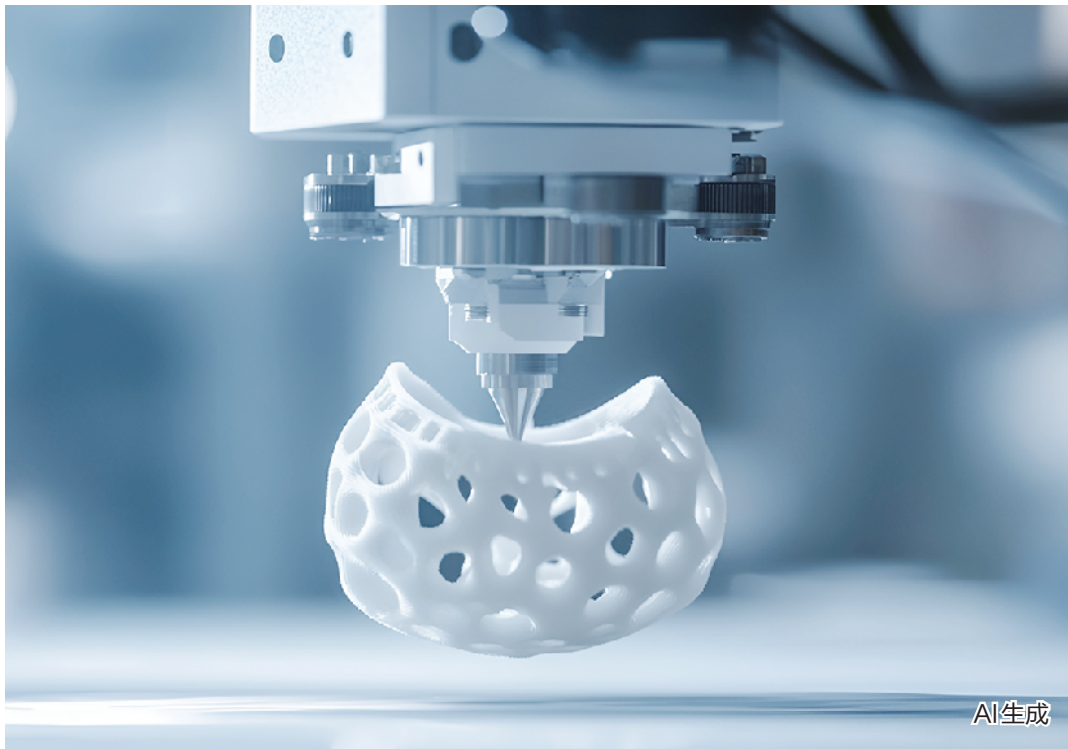


兼顾速度与精度

新技术突破3D打印“两难困境”

如今,3D打印技术已融入制造、医疗、科研等诸多领域,然而,“快与精难以兼得”的技术瓶颈制约了其进一步发展。为破解这一瓶颈,中国工程院院士、清华大学信息科学技术学院院长戴琼海团队历时5年攻关,研发出计算全息光场(DISH)三维打印技术,将毫米尺寸复杂结构曝光打印时间压缩至0.6秒,让增材制造正式迈入“亚秒级高精度”时代。

相关研究成果近日在线发表于国际期刊《自然》。



3D打印为何“快不精、精不快”

“做增材制造的人都绕不开这个矛盾:想快就糙,想精就慢,长期以来难有两全方案。”清华大学副教授吴嘉敏表示。

吴嘉敏介绍,目前光固化是高效3D打印的主流技术路线之一,但其底层逻辑决定了速度与精度存在天然对立。材料固化需要固定时长,单位时间内可固化的区域大小决定了打印速度,而精度依赖三维像素(体素)尺寸——像素越小、精度越高,单位时间可加工体积就越小,速度自然下降。

主流光固化技术分为逐点、逐层、体积打印三类,效率依次提升,但各自面临不同困局。逐点打印如激光立体光刻,依靠激光逐点扫描,精度可达微米级,但打印一枚微小零件往往耗费数十分钟;逐层打印如数字光处理,一次投影固化一整层,速度有所提升,却仍受层厚与分辨率的制约,精度一旦提高,速度就会下降。

“被寄予厚望的体积打印在速度方面具备天然优势,因为它一次性照亮整个三维体进行光固化反应。然而,其仍存在两大问题。”吴嘉敏进一步解释,衍射效应使高精度光束仅能在极小范围内聚焦,类似长焦镜头只有焦点处清晰,物体稍大精度就急剧衰减;传统体积打印必须旋转样

本,高速运转带来的振动、材料流动,会直接破坏成型精度。

因此,如果能够在光固化化学反应完成前,就形成完整的三维光强分布投影,就有可能实现目前最快的三维打印速度。而这对于光学投影系统的速度、精度和稳定性都提出了极高要求,传统技术难以同时满足。所谓“焦面附近清晰、离焦区域模糊”成为行业常态,高精度与大尺寸、高速度始终无法共存。这也成为3D打印向高端领域进阶的核心瓶颈。

体积打印新方法破解两难矛盾

“DISH是一种体积打印方法,可以解决传统体积打印中速度与精度之间的矛盾。”清华大学自动化系博士后王旭康说。

面对技术瓶颈,团队成员从光学和算法底层出发,重新定义3D打印。

王旭康介绍,DISH技术通过三项颠覆性创新,彻底破解了速度与精度之间的核心矛盾。针对衍射效应导致的景深不足、精度衰减问题,团队

首创计算全息光场调控技术,通过相干全息光场拓展所有投影角度光束的景深,将衍射编码与多角度旋转同步结合,从根源上解决了尺寸与精度之间的矛盾;面对超大体素量模型,团队对1800个投影角度图案进行三维全息优化,采用“从粗到细”策略——先快速搭建光强框架,再逐步融入折射像差、运动模糊等实际因素进行精细校准,将景深从传统的50微米拓展至1厘米,实现了在全景深范围内保持均匀高精度。

在硬件设计方面,团队做出了颠覆式改变:打印容器与材料全程保持静止,光束通过高速旋转的潜望镜从单一光学平面入射,使得投影系统与打印容器完全分离。“这一设计消除了机械振动与材料流动的干扰,曝光时间仅由激光器功率决定。”王旭康介绍,目前团队取得的0.6秒的成绩并非极限,未来搭配更高功率光源,速度还将进一步提升。

为确保高速打印下的精度,团队研发了数字自适应光学矫正技术,打印前,在容器内放置荧光材料,通过正面与侧面双相机实时监控容器内的三维光强分布,基于监控数据,通过反馈机制

动态调节所有投影角度的光束参数,精准获取全息优化算法所需的投影参数,有效弥补器件加工、装配带来的误差,确保高速投影过程中光强分布的精准性。该技术使打印在0.6秒的超高速下,仍能保持12微米的超高精度——相当于头发丝直径的五分之一,真正实现“高速与精度双在线”。

赋能千行百业仍需突破瓶颈

“DISH技术不是简单提升速度,而是打开了3D打印全新的应用场景。”谈及产业化前景,戴琼海充满信心。

戴琼海表示,在生物医学领域,此项技术有望加速精准医疗与生命科学研究的进程。借助生物相容性材料,可实现血管、组织模型的高精度快速打印,甚至在生物组织上原位打印,大幅降低组织工程模型的制备成本与时间,推动再生医学、器官移植研究的落地。同时,该技术可提升高通量药物筛选的效率,缩短新药研发周期,让精准医疗、个性化生物器件制造成为可能,惠及民生健康。

在高端制造领域,这一技术有望推动产业升级与效率革命。超高速、批量连续的打印能力可融入工业流水线,实现光子计算器件、手机相机模组、微纳传感器高效量产,适配航空航天领域复杂精密零件的加工,破解传统微制造效率低、定制化难的痛点。该技术无需专用容器、可在流体管道中打印的特性,更让“定制化+批量化”的柔性制造成为可能,契合制造业数字化、智能化的趋势。

虽然前景光明,但从实验室走向大规模应用,DISH技术仍需突破四大瓶颈。戴琼海坦言,目前打印尺寸局限于厘米级,需通过优化光学系统、研发新型材料,解决光束在材料中的衰减问题;全息优化算法在处理复杂模型时耗时较长,未来需引入神经网络、图形处理器提升效率;激光散斑带来的表面伪影,需通过光路优化、多全息图技术、后处理工艺加以消除;流体管道连续打印场景,亟须构建集精准送料、固化监测、产物定位于一体的全流程流体控制系统。

“现在,我们正朝着工业化方向持续迭代,争取让这项中国原创技术早日走进工厂、医院,赋能千行百业。”戴琼海说。

据《科技日报》作者:华凌

量子计算机配上“中国管家”

想象一下,有一座超大规模的未来计算中心,精密仪器密布其间,数据流以不可思议的速度飞驰。当指令下达瞬间,数以亿计的部件便精准协同、全力运转。要让这一切成为现实,靠的是什么?

答案或许出人意料:不只是更强大的芯片,还需要一个能纵观全局、调度千军万马的“大管家”。

近日,我国首款自主研发的量子计算机操作系统“本源司南”正式面向全球开放下载,其扮演的正是量子计算机体系中“大管家”角色。作为全球首个开放线上下载渠道的量子计算机操作系统,“本源司南”正以开放包容的姿态,推动我国量子计算产业从技术攻坚向产业生态体系建设迈出重要一步。

操作系统层面的突破非常重要

在本源量子计算机组装与测试实验室,稀制冷机发出低沉而规律的“嗡嗡”声,正持续为第三代自主超导量子计算机“本源悟空”营造超低温的运行环境。这台拥有72个计算量子比特的机器,如今已为全球超过160个国家和地区完成80余万次运算任务。

什么是量子计算机?简单来说,它是一种利用量子力学规律进行信息处理的装置,能够完成高速数学与逻辑运算,并实现信息的存储与处理。

传统计算机依赖经典比特来处理信息,每个经典比特只能代表一个确定的状态,也就是“0”或“1”。而量子计算机的基本信息单元是量子比特,这种基于微观粒子(如原子或光子)的量子态构建的单元,具有独特的量子叠加特性,可以同时处于“0”和“1”的叠加状态。正是这一特性,赋予了量子计算机并行处理海量信息的巨大潜力,也为其带来了远超传统计算机的强大能力。

“经典计算机解题,好比迷宫里只有你一个人,走不通了就退回重试,需要逐条路排除;而量子计算机解题,就像瞬间派出无数个分身,同时探索所有路径。”中国科学技术大学教授、本源量子首席科学家郭国平表示。

正是凭借这种并行计算能力,量子计算机有望在几分钟内解决传统计算机需要耗费万年计算的“宇宙级难题”。然而,要让这项前沿科技从实验室走向应用,离不开一个关键的推手——量子计算机操作系统。

当前,随着新一轮科技革命和产业变革加速突破,全球量子计算竞赛正进入生态构建的重要阶段。作为量子资源调度、任务协同、软硬件适配与应用落地的核心枢纽,操作系统层面的突破非常重要。

但做好开发并非易事,与管理成熟稳定硬件的Windows等传统计算机操作系统不同,量子计算机操作系统面对的是极其脆弱的量子单元。“温度波动、微小振动,甚至电磁环境的细微变化,都可能让量子态瞬间崩溃。”郭国平说,“操作

量子计算机就像在针尖上跳舞。”

以开放换生态

打开浏览器,检索“本源量子云”,点击进入,便能轻松找到“本源司南”操作系统免费使用入口。作为国内自主研发的科技成果,这款操作系统融合了量子计算的诸多特色。

“我们着力让量子计算机从‘需要专家手动调校的精密仪器’转变为工程师也能轻松上手的自动化设备,在核心调度、噪声抑制、错误缓解等关键底层算法下功夫,全面提升量子计算机的稳定性和易用性。”郭国平介绍,“本源司南”还引入自动校准功能,“过去需要依赖经验实时监测量子比特运行状态的工作,如今可由系统自动完成,一旦发现偏差便能及时修正,从而显著降低对人工调参的依赖。”

此外,“本源司南”还加入了高效的并行调度机制,能够合理安排多个计算任务,有效避免算力闲置,提升资源利用率,相关技术已成功部署在国内的“本源悟空”系列量子计算机上,并保持稳定运行。

“现在,任何科研机构、高校或企业都可在本地快速完成系统部署,开展量子算法的研发与验证。”郭国平表示,以自主破垄断,以开放换生态,“量子计算的竞争,本质上是产业生态的竞争,只有通过开放的手段让更多人‘用起来’,愿意在国内量子芯片和系统上做开发,国内量子计算产业才能在快速迭代中补齐短板,构建真正自主可控、可持续的产业生态。”

但开放,远不止于“开源”和“使用”,开发者想要在不同硬件平台之间进行迁移,往往面临巨大的适配成本。由于各类型量子芯片底层的操控指令存在本质差异,每当接触一种新的量子硬件,开发者常常需要重新学习一套指令集、重新构建一套运行环境,极大限制了量子计算应用生态的发展。作为完整的量子计算机操作系统,“本源司南”构建了一套覆盖底层驱动到上层应用的全栈式解决方案,不仅能够直接支持超导、离子阱、中性原子等多种技术路线的量子芯片,还可协同调度量子计算、超级计算与人工智能算力资源,真正

使“量子算力”走向可用、可控、可落地。

“通俗地说,我们为量子计算打造了一套‘通用语言’。”郭国平介绍,针对不同技术体系的量子芯片,只需要本地部署“本源司南”,就可以操作硬件,完成校准、调度与优化工作。

开放“本源司南”线上下下载通道,量子计算机的底层能力将有效“工具化”。硬件厂商有系统可用,开发者有平台可依,最终让普通用户有算力可调,让更多人参与到量子计算的创新中来。

融入生产生活

当前,量子计算正处于从原型机向工程机过渡的关键应用期,未来5年是量子计算技术从实验室原型向市场化应用转化的关键窗口期。

作为量子资源调度、任务协同、软硬件适配与应用落地的核心枢纽,“本源司南”提前搭建起软件底座,让应用开发与硬件研发并行,有效推动量子计算从实验室走向行业应用。

目前,依托“本源司南”,量子计算机已在多个关键领域展现出广泛的应用前景。在金融领域,它成功支撑“本源悟空”运行全球最大规模的投资组合优化应用;在生物医药领域,作为底层软件核心,“本源司南”高效驱动了乳腺钼靶检测、药物分子性质预测及药物分子对接等关键应用,为药物研发与精准医疗开辟了量子加速的全新路径。

然而,快速发展的背后,量子计算也面临新的挑战。如何让更多开发者“有工具可用、有场景可做”,正成为推动技术普及的关键命题。

当前,我国已在“三硬三软”六大核心能力上系统布局,但在专用算法工具链层面仍显薄弱,尚未催生出具有广泛影响力的“杀手级”应用。硬件的进步需要应用牵引,软件的成熟需要开发者验证,而技术的最终落地则离不开行业用户的信任。从“造出来”到“用起来”,生态规模与应用丰富度的不足,依然是横亘在技术与产业之间的现实鸿沟。

郭国平认为,应充分利用现有超导量子计算机及超算中心的资源优势,加快推动“量超融合”计算中心建设。同时,深入实施“千家场景”行动计划,在金融、政务、通信、生物医药等重点领域,面向全国征集和遴选标杆应用场景,让新技术“有地方可用、有场景可练”。

技术落地需要载体,创新突破离不开方向指引。在量子计算加速走向应用的进程中,以“司南”命名的量子计算机操作系统已迭代至4.0版本。它既象征着前行的方向,也承载着探索的使命。展望未来,量子计算有望逐步成为润物无声、无处不在的新型基础设施,以更高效、更安全、更智能的方式,融入生产、生活、医疗、交通和金融的每一个角落,为智能社会筑牢基石。

据《经济日报》作者:梁睿 李思隐

► 科工前沿

仿生“海葵手”攻克轻柔抓取关

眼下正是草莓上市的季节。近日,在南京市江宁区丰硕农场的高架草莓园里,翠绿的藤蔓间挂满鲜红的果实。

一台身形灵巧的履带式底盘机器人正慢悠悠地穿梭在空间。它顶部的“眼睛”——深度相机通过快速扫描,精准锁定一颗成熟的草莓。随即,机械臂带动末端的柔性小“手”缓缓移动,四层硅胶触手如海葵般轻柔包裹住草莓,轻轻一拖、一转,一颗完整无梗的草莓便被稳稳摘下,并被轻轻放入收集筐。

这正是南京农业大学教授汪小昆团队研发的第二代草莓采摘机器人。“平均20秒就能摘一颗草莓,抓取成功率达到84%,采下来的草莓品相完好,跟人工摘的几乎没差别。”汪小昆说,其核心成果为高架草莓的无损去茎自动化采收提供了全新解决方案。

草莓皮薄、果小,采摘既要精细又要快速。工人弯腰采摘一天累得腰酸背痛,而且成本年年上涨。2021年,团队启动草莓生产全程机械化项目,专攻草莓智能采摘装备研发。团队反复优化视觉识别、机械臂操控和柔性夹爪设计,做了大量田间试验,终于研发出这款能精准识别、轻柔采摘、自动去梗的全能机器人。

汪小昆介绍,传统夹剪一体式、气吸式采摘器采下的草莓容易留下果梗,这些果梗会在运输过程中刺破、划伤相邻果实,造成损伤。如何避免这种情况?团队跳出传统思路,从海洋生物中获得了灵感。

“你看这个‘海葵手’,柔性材质,不会碰伤果实。”汪小昆介绍,“包络仿生式气动软夹爪”主体采用柔性硅胶,仿照海葵进食行为设计,四层错位排列的柔性触手可完全包裹不同大小、形态的草莓。此外,夹爪底部气动腔可通过气压调节实现触手智能收放,负压时触手向内贴合完成轻柔抓取,正压时舒展释放果实,完美适配草莓果皮柔软易损的特性,从根本上避免了机械损伤。

为实现草莓采摘后不留硬梗,团队专门为机器人设计了模仿人类采摘行为的“拖拽-旋转”动作。当软夹爪完成柔性包络抓取后,机械臂按预设程序进行精准拖拽与旋转,使草莓花梗与花萼的连接点自然断裂。“抓取后做‘拖拽-旋转’动作,像人摘草莓一样,既要平稳,又要让果梗自然断裂,难度大幅提升。”汪小昆说。

这一设计彻底解决了果梗残留问题,采摘的草莓无需二次处理,直接成为商品果。田间试验显示,采用此方式的采摘效果接近人工,损伤率大幅降低。

从初代剪夹一体结构到如今二代机型无损去梗,团队耗时3年多,持续优化软硬件,攻克了农业非结构化场景下的智能采摘难题。

据《中国科学报》作者:李晨