

首款毫秒级神经动力学芯片问世

较英伟达 GPU 提速 50.38 至 478.18 倍

■本报记者 刁雯蕙

想要让一块芯片,像大脑的神经网络一样解构、重建、处理一个复杂的数学任务,至少需要十几分钟,而我科学家的最新研究成果有望将这个时间缩短至毫秒级。

近日,北京大学深圳研究生院信息工程学院院长杨玉超团队联合中国科学院上海微系统与信息技术研究所研究员宋志棠团队,首次提出了一种毫秒级神经动力学系统芯片,将神经动力学系统的单步运算时延压缩至 2.12 毫秒。相关研究成果发表于《科学》。

这一成果不仅将原本需要离线运行的复杂建模方法推向毫秒级实时在线操作,也为下一代脑机接口、脑数字孪生、神经导航和神经退行性疾病智能诊疗提供了全新的硬件底座。

半个世纪的“数据搬运”困局

大脑是自然界最复杂的动力学系统之一。脑机接口要实时解析神经状态,医学影像要高精度重建脑皮层,都依赖对连续神经形态和动态过程的快速建模。

神经动力学系统指的是让机器像大脑一样,能够实时建模和理解物理世界的计算框架。它将神经系统的表达能力和微分方程中的连续演化机制相结合,在物理世界建模、计算成像等领域应用前景广阔。

然而,神经动力学系统自 1980 年首次提出以来,始终面临一个核心挑战:如何在保持高精度连续建模能力的同时,实现低延迟实时计算?

“主要原因是计算量太大了。”论文通讯作

者杨玉超解释道。传统的计算框架(冯·诺依曼架构)中,存储器和处理器是分开的,在计算过程中,数据就像“运快递”一样,要在存储器和处理器之间来回搬运。

而基于传统计算框架的神经动力学系统在计算过程中需要反复进行积分运算、误差控制,并根据误差调整步长,步长太大就会导致结果不稳,步长太小则会导致算不完,需要不断循环、判断和迭代。同时,神经动力学系统在计算过程中产生的海量数据变量需要在存储器与处理器之间频繁搬运,进一步放大了延迟和能耗,成为实时高保真脑建模的核心瓶颈。

首次实现毫秒级运行

针对这一难题,研究团队另辟蹊径,从忆阻器器件的物理特性找到了突破口。

相变存储器是忆阻器的一种。它有一种独特的“电导漂移”现象——在特定的时间窗口内,其电导变化是可预测、可精准调控的。他们敏锐地抓住了这一物理特性,将其与神经动力学系统中的自适应积分过程建立对应关系,使器件本身的电导演化不再只是存储状态的变化,而成为可被精确利用的原位计算过程。

“通俗地讲,原本需要复杂数字电路反复执行的运算、缓存访问、数据搬运等工作,现在交给了器件自身的物理规律去‘跑’。”杨玉超说道。

基于这一发现,团队提出细粒度可控电导演化机制,将有效积分步长直接编码为相变存储器的电导状态,并利用器件自身物理演化完

成自适应步长搜索。原本需要由数字电路反复计算、比较和判断的步长选择过程,被转化为阵列中的原位物理计算过程。

这一设计突破了神经动力学系统近半个世纪以来精度与延迟相互制衡的核心瓶颈。通过“可控存内计算”机制,该成果从根本上减少了读写、乘法器、加法器、缓存访问和数据搬运需求,使神经动力学系统的关键计算过程被压缩到毫秒级。

与此同时,团队进一步利用相变存储器的多级电导调控能力,构建高密度存内计算阵列,将神经网络权重存储和矩阵运算统一映射到器件阵列中。自适应步长搜索和神经网络矩阵运算这两类核心计算被统一集成到相变忆阻器物理系统中,形成了从器件、算法到架构协同设计的“可控存内计算”的新范式。

基于这一范式,团队研制出了全球首个基于相变忆阻器的毫秒级神经动力学系统芯片。该芯片采用 40 纳米工艺制造,存内计算与步长漂移阵列总面积为 0.28 平方毫米,并配备编程脉冲生成电路、模数转换器外围电路。芯片运行频率为 50 兆赫兹,单步积分仅需 9 级流水,降低了延迟,最终实现 2.12 毫秒的神经动力学单次迭代计算时延,首次将神经动力学硬件系统运行时间推进到毫秒级时代。

实验结果显示,在执行相同神经动力学运算时,该系统较当前最先进的专用加速器(ASIC)实现 3.82 至 36.27 倍速度提升。在脑皮层表面重建等高保真脑建模任务中,其较英伟达 GPU (图形处理器) 提速达 50.38 至 478.18 倍。

为脑疾病诊疗带来新思路

研究团队将该芯片用于大脑白质与脑灰质皮层表面的实时重建以及三维流形网格生成。结果表明,该系统能够生成平滑、闭合、拓扑一致的脑皮层表面,准确刻画复杂皮层褶皱结构,并有效抑制传统神经网络方法中常见的自相交和非流形伪影。重建结果在对称表面平均距离和豪斯多夫距离等指标上均显示出优势,满足高保真脑结构建模要求。

“这一突破对脑机接口有重要启示。”杨玉超表示,未来脑机接口不仅需要读取神经信号,更需要实时理解大脑状态、预测神经动力学演化,并根据反馈进行闭环调控。高保真脑建模能够以毫秒级速度运行,有望为脑机接口提供个体化、动态化、可解释的脑状态模型,使脑机系统从简单信号识别走向实时脑状态建模与智能交互。

《科学》同期针对该工作发表的观点评述文章指出,该平台能够以毫秒级的延迟执行高精度计算,为临床影像、机器人和具身智能领域的实时计算铺平了道路。

在医学场景中,该技术也有望支撑脑数字孪生、术中神经导航、脑皮层实时重建和神经退行性疾病辅助诊断。对于阿尔茨海默病、帕金森病等疾病而言,脑结构和脑功能的细微变化往往具有重要临床价值。该研究可在低功耗硬件上快速完成高保真脑建模,为脑疾病早筛、病程监测和个性化干预提供新的技术路径。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1126/science.aec6277>

按图索技

便携超声设备可居家做高精度乳腺癌筛查

本报讯 对于乳腺癌高风险人群而言,每年一次的乳腺钼靶检查或许不足以实现肿瘤早期检出。美国麻省理工学院研究团队研发的便携式超声检测仪不仅能够实现更早的病灶检出,还可用于乳腺癌术后长期随访监测,既能在诊室使用,也能居家操作。近日,相关成果发表于《自然 - 通讯》。

今年早些时候,研究团队研制出小型超声探头,搭配一个尺寸略大于智能手机的信号采集与处理模块。这套紧凑型设备仅需扫描两到三处位置,就能生成完整乳房的三维影像。

在此次发表的新研究中,研究人员对系统的核心改进之一是在超声换能器上增设“背衬层”。论文第一作者、麻省理工学院博士后 Md Osman Goni Nayeem 称:“增设背衬层后,设备生成的影像更清晰、更精准,适用声

波频率区间也更广。”

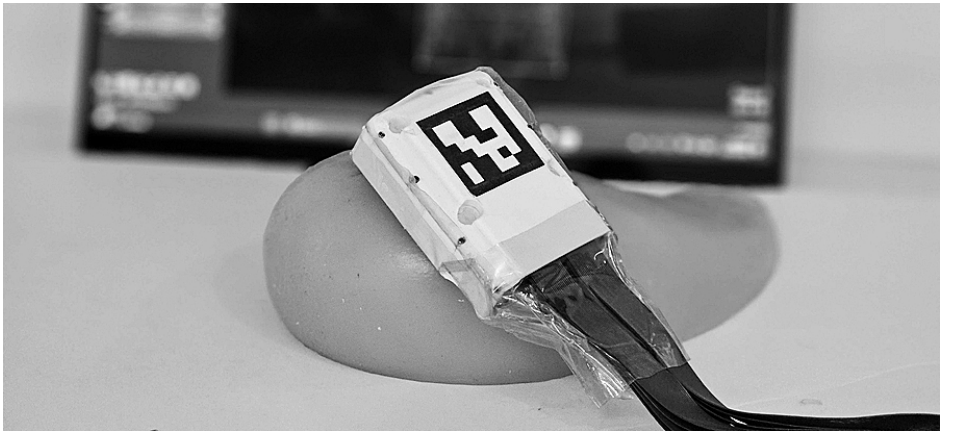
为进一步提升成像质量,研究人员还设计了一套自适应波束成形算法。该算法可校正声波在皮肤、脂肪等不同人体组织中传播速度的差异。

针对全新迭代版本,研究人员配套开发了电脑端可视化交互界面,引导使用者将探头置于标准检测位置。这一功能对于追踪新辅助治疗等疗法的疗效进展、长期监测纤维腺瘤、微小钙化灶等已异常常见病灶尤为关键。

论文通讯作者、麻省理工学院副教授 Canan Dagdeviren 称:“这项技术适用于所有软组织成像,可用于卵巢癌筛查、子宫内膜异位症病程监测以及孕检等多种场景。”

(张晴丹)

相关论文信息: <https://doi.org/10.1038/s41467-026-74708-3>



三维超声探头被放置于模拟乳腺组织体模上,用于观测内置肿瘤模型。
图片来源: Canan Dagdeviren

AI 技术让《富春山居图》实现数字合璧

■本报记者 李媛

长期以来,由于历史原因被火烧为两截的《富春山居图》残卷分别藏于浙江省博物馆和台北故宫博物院,大面积的残缺让这幅传世佳作难以展现全貌。

2019 年,一位台湾的文化工作者在陕西交流时提出,希望有生之年能看到修复后的完整画作。参与交流的陕西师范大学人工智能与计算机学院副教授孙增国听后深受触动,便萌生了通过数字技术复原古画的想法。正是这一次邂逅,让他和团队开启了古画人工智能(AI)数字修复的科研道路。

近日,团队研发的新型 Mamba 古画修复模型,突破了行业技术瓶颈,解决了古画修复过程中大面积破损难修复的问题,实现了细节精确修复。相关成果在线发表于《人工智能的工程应用》。

区别于传统人工修复

“早期 AI 修复技术仅能应对小幅破损画面,面对大面积残缺画作,往往无法兼顾整体轮廓与细微笔墨纹理,修复效率低、还原度差,难以满足珍贵古画的修复需求。”孙增国告诉记者,Mamba 古画修复模型专攻高难度、大面积破损场景,即便画作残缺面积达到三分之二,依然能精准完成修复工作。

论文第一作者、陕西师范大学博士生常菊美介绍,Mamba 古画修复模型一方面可精准还原大面积破损区域的整体结构轮廓,比如古树枝干、古建筑框架等主体形态;另一方面能细致复原叶片、瓦纹、笔墨晕染等细微纹理,规避了以往修复画面模糊、细节缺失、画风违和的问题。同时,模型具备线性复杂度的特性,大幅降低修复运算成本,在保障高精度修复效果的同时,提升了修复效率,也为后续移动端轻量化落地应用奠定了基础。

孙增国告诉《中国科学报》,AI 数字修复技术属于虚拟修复,全程不触碰、不改动文物本体,彻底规避了人工修复可能造成文物二次损伤的风险。同时,AI 修复可批量处理画作破损问题,效率超过人工修复,能够为文博专家

的实体修复提供精准、多元的参考依据和辅助思路。

不过,孙增国也表示,AI 数字修复始终还是人工修复的补充手段,永远无法替代传统人工修复,二者相辅相成、互为支撑。“我们团队始终严格界定技术应用边界,不能将 AI 修复成果等同于文物真迹,所有数字化修复成品均定位为文创作品。”孙增国说。

从“修旧如旧”到“修旧如新”

研究初期,团队成员便遇到第一个瓶颈:数据集的构建难题。古画笔墨纹理独特,色彩晕染细腻,且现存高清古画素材稀少,普遍存在噪声、模糊等问题,而样本质量直接决定模型修复精度。

为筛选出适配古画修复的最优样本,团队在长期摸索后发现,样本尺寸过大会导致画面元素模糊,特征不清晰;尺寸过大会割裂山水、草木、建筑的空间关联,同时放大画面原有噪声与模糊问题,严重干扰模型训练。

历经无数次调试、对比、测试,团队最终确定最优样本尺寸,同时创新采用区域预处理技术,优化样本画质,剔除干扰因素。“这套耗时多年搭建的基础数据集,成为我们团队后续所有修复模型、系列科研成果的核心根基,为各类破损场景的技术研发提供了坚实支撑。”孙增国介绍。

数据集难题攻克后,“模拟破损适配真实古画修复”的难题随之出现。初期模型训练依托人工模拟破损样本开展,通过添加蒙版打造规则、不规则的残缺画面,让模型学习破损前后的画面关联。但真实古画的破损形态随机、无规律,且破损区域原始信息完全缺失,即便资深文博修复专家也很难精准预判原貌,导致训练成型的模型难以适配真实古画修复场景,实用性大打折扣。

为破解这一核心痛点,科研人员摒弃单一、规整的模拟破损样式,海量扩充样本数量,丰富破损形态,随机生成方形、曲线形、不规则形状等各类破损样式,最大限度还原古画自然

破损、人为破损的真实样貌。

反复打磨之下,多元化、全覆盖的模拟破损数据集终于成型,模型逐步掌握各类古画破损的修复逻辑,顺利适配真实破损古画的修复工作。此时,模型不仅能完美修复实验样本,对真实传世破损古画的修复效果也做到了精准自然、细节饱满,与画作原有纹理、画风高度契合。

除此之外,修复画风失真、细节缺失、串色错位等问题,也是团队常年攻坚的重点。训练初期,模型时常出现树叶修复消失、树干纹理模糊、色彩错乱等问题。团队摸索出一套双向优化方案,一方面持续优化样本质量,丰富画面元素、保障样本清晰度;另一方面反复迭代调试模型参数、调整训练轮次,通过与完整真迹样本精准比对、计算误差函数,不断优化模型修复精度。

值得一提的是,在修复理念上,团队创新提出从传统“修旧如旧”向“修旧如新”迭代。针对大面积破损、无法精准还原原貌的古画,摒弃固化修复思维,依托 AI 图像编辑技术,结合专家与用户的创意引导,在贴合画作整体风格的基础上完成二次创作,打造特色文创作品,为文物活化利用开辟了新赛道。

让更多馆藏文物“活”起来

历经五年科研攻关,孙增国圆了当年的梦想。他告诉《中国科学报》,团队目前已成功修复《富春山居图》《千里江山图》《上林图卷》等名画。其中,针对绢本画作《千里江山图》的多处糟朽裂口,团队精准补全残缺纹理、还原色彩;针对大面积火烧破损的《富春山居图》,团队完整复原画作缺失的核心区域,让分处两岸的传世名作在数字空间实现合璧。



孙增国(中)团队在实验室。
受访者供图

近年来,团队在古画修复的基础上持续拓展技术边界,将修复模型迁移应用到碑帖、壁画等多类文物保护场景,先后完成颜真卿《多宝塔碑》、柳公权《玄秘塔碑》等知名碑帖,以及昭陵博物馆唐墓壁画、北庭壁画的数字化复原工作。

目前,团队已与昭陵博物馆达成深度合作,依托馆内唐墓壁画、昭陵六骏碑等珍贵文物开展修复与活化工作。此外,团队基于修复成果开发出系列文创产品,推出壁画动态活化明信片,用户扫码即可观看壁画人物动态演绎、聆听唐代宫廷乐舞,让静态文物实现动态活化,极大提升了传统文化的互动性与传播力。

谈及未来,孙增国表示,团队将依托大模型基础信息优势,实现技术轻量化、高效化,降低落地门槛;依托博物馆正版数据授权,团队将古画、壁画、碑帖等文物的数字化修复成果,转化为长卷、挂轴、明信片、纪念章等多元文创产品,让文物数字成果实现社会价值与经济价值双落地。

相关论文信息: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2026.115384>

集装箱

人工智能 + 战略性矿产资源评价与勘探论坛召开

本报讯(记者高雅丽)日前,由中国科学技术协会主办、中国有色金属学会承办的第二十八届中国科协年会—人工智能(AI)+战略性矿产资源评价与勘探专题论坛在北京召开。论坛聚焦国家战略性矿产资源安全保障核心需求展开深度研讨,分享前沿技术创新成果与产业落地实践案例,推动矿产资源评价与勘探领域数字化转型升级,夯实我国战略性矿产资源安全保障根基。

中国工程院院士王国法、东北大学教授赵兴东等分别作学术专题报告,围绕 AI 融合地质大数据建模、AI 矿业应用瓶颈、多源数据智能融合、绿色勘探、新一代智能勘探体系等核心方向展开系统性交流。在论坛圆桌研讨环节,聚焦 AI+ 赋能战略性矿产勘探的未来发展趋势、现存技术挑战及配套政策建议这一核心主题,多位业内专家结合自身研究与产业实践深度分享观点。在论坛非共识议题研讨专场,参会专家围绕行业现存争议性核心问题自由交流、碰撞观点,重点围绕 AI 产业亟待解决的核心技术短板、产业创新能力不足和应用生态待优化等三个问题展开研讨。

论坛同步面向行业征集学术论文数十篇,经组委会专家评审,择优遴选出 10 篇高质量论文进行墙报展示,供参会代表与专家交流研讨。

首家难治性结节、囊肿超声介入微创诊疗中心揭牌

本报讯(记者朱汉斌 通讯员朱健)日前,广东省第二人民医院正式揭牌成立全国首家难治性结节、囊肿超声介入微创诊疗中心(以下简称中心)。中心以细针微创靶向治疗为特色,创新建立诊断—治疗—随访全闭环诊疗体系,专攻各类常规治疗效果差、难以根治、容易复发的疑难结节、囊肿疾病,填补了区域诊疗空白。

中心由资深超声介入专家马力牵头,配备全套高端数字化超声诊疗设备,依托全国首个多模态数智超声大模型,提供覆盖诊断、治疗、随访的规范化闭环服务。

传统诊疗模式下,大量结节、囊肿患者面临“做了手术又长、长了又要做”的困局。部分病灶因体积巨大或紧邻重要脏器,常规开刀手术风险极高;不少囊肿、结节术后反复发作,患者需多次手术;高龄、体弱、合并基础病人群难以耐受全麻开放手术。马力指出,为破解这些传统诊疗痛点,中心精准聚焦四大疑难病灶——体积巨大、位置刁钻、多次复发、体质不耐受开刀,诊疗范围覆盖甲状腺、乳腺、肝脏、肺部、肾脏、盆腔、肌骨软组织等全身多部位结节与囊肿。

马力介绍,中心常态化开展三大微创介入项目,覆盖结节、囊肿全诊疗需求。一是全身各部位结节穿刺活检,精准鉴别病灶良恶性,为临床明确诊断和制定治疗方案提供权威病理依据。二是甲状腺结节热消融治疗,利用高温效应灭活病灶,结节逐步自行吸收萎缩,无需开刀、不留疤痕,保留正常甲状腺腺体功能,无需长期服药,术后不影响颈部美观。三是全身各部位囊肿抽液硬化治疗,在超声引导下精准穿刺抽尽囊内积液,再注入硬化药物封闭囊壁,从根源降低复发概率。目前,该中心一站式诊疗体系已在临床全面应用。

自主可控碳-14 核电池全链条技术成果发布

本报讯(记者叶满山)近日,在兰州举行的“千纪启源·核能革新”自主可控碳-14 核电池全链条技术成果发布会上,“千纪源天枢”碳-14 核电池和“千纪源能枢”碳化硅换能器两大核心成果正式面世。

“千纪源”系列碳-14 核电池是西北师范大学和甘肃烛龙科技有限公司产学研合作的项目成果,实现了科研成果从实验室到工程化、市场化和产业化的关键跨越。

此次发布的“千纪源”系列成果相较于 2025 年 3 月发布的“烛龙一号”碳-14 核电池工程样机,完成了五大技术突破,涵盖放射源适配技术、碳化硅换能技术、三维叠层封装技术、智能电源管理技术和无线自供电传感技术,构建了国产化自主可控的技术体系。

依托全链条技术革新,“千纪源天枢”碳-14 核电池在 16.8 立方厘米的体积内,实现了短路电流 0.713 微安、开路电压 2.06 伏、填充因子 0.77、输出功率 1.13 微瓦的性能指标。其核心性能指标较前代工程样机大幅提升:短路电流提升了 2.5 倍,最大输出功率提升 2.6 倍;在保持开路电压基本一致、输出稳定性不变的前提下,产品有效体积缩减至前代的 17%,体积功率密度提升 15.5 倍;碳-14 放射源总用量仅为前代的 22%,大幅降低了核心原材料成本。这一系列指标突破了碳-14 核电池效率低、成本高、体积大、功率密度低的局限,实现了小型化、高功率、低成本、高集成的系统性升级,现阶段产品具备较高的产业价值。

“智身课堂”大模型系统面世

本报讯(记者江庆龄)近日,由上海师范大学音乐学院联合学校分析测试与超算中心、教育大数据与教育决策实验室共同研发的“智身课堂”大模型系统阶段性成果正式面世。

长期以来,舞蹈、形体等以身体运动为核心表达形式的艺术教育,高度依赖老师的“口传心授、言传身教”与个人经验判断。目前,教学评价存在两大困境,一方面动作的瞬间性与不可逆性导致课堂表现难以被完整记录和长期追踪;另一方面评价标准主观性强,教师往往只能凭感觉给出模糊反馈,学生也难以精准定位自身问题。

“智身课堂”系统的推出,正是对这一行业痛点的系统性回应。依托上海师范大学前期研发的核心数字教育转型成果——“智元课堂”大模型系统技术底座,“智身课堂”大模型系统将行为计算、计算机视觉与多模态认知科学深度融合,实现了对高动态、非结构化艺术教学场景中师生身体运动的精准采集、智能理解与量化评价。