

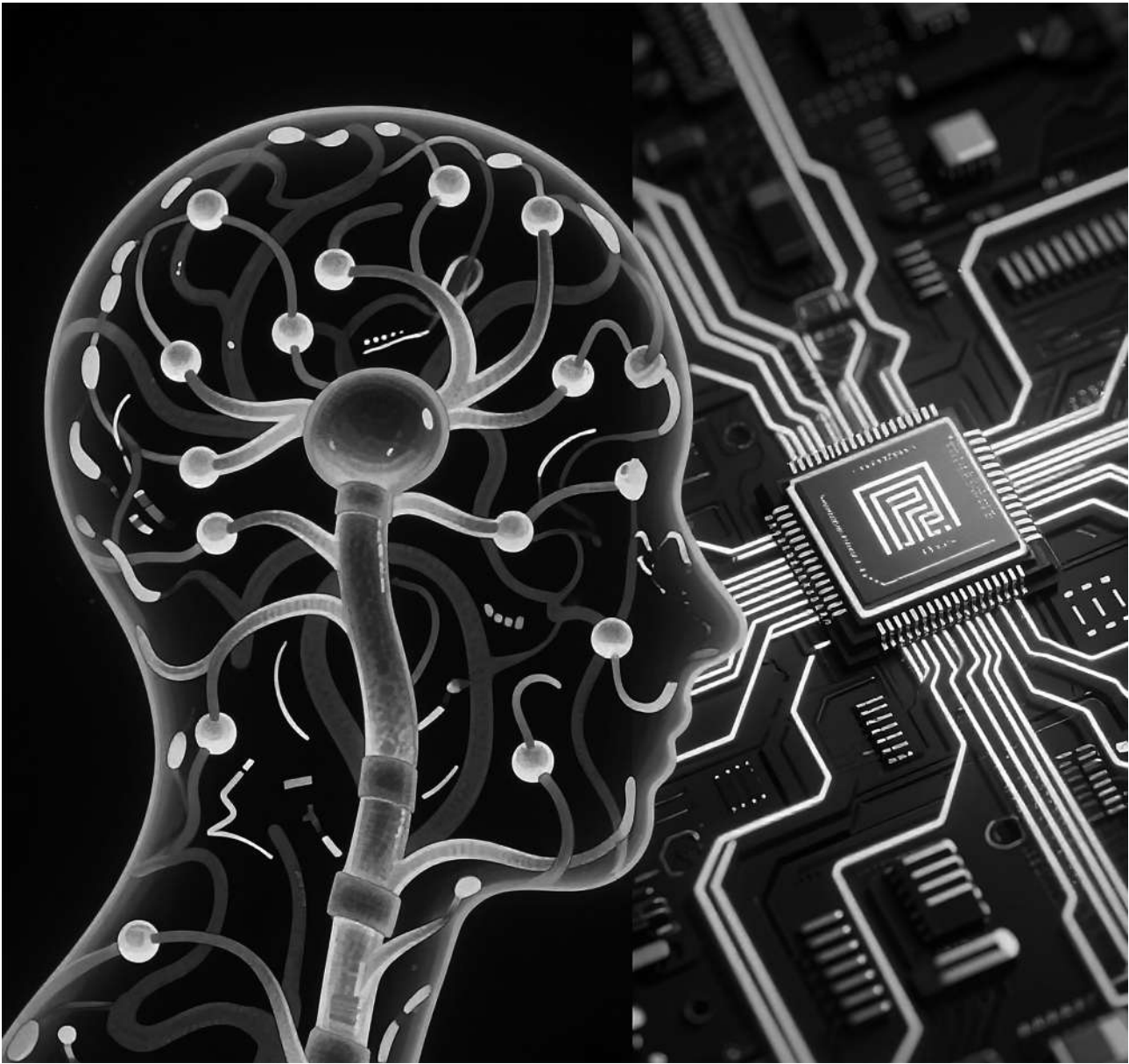
今年8月,浙江大学脑机智能全国重点实验室发布了新一代神经拟态类脑计算机“悟空”。“悟空”搭载了960颗达尔文3代芯片,整体由15台刀片式神经拟态类脑服务器组成。该系统支持超过20亿个脉冲神经元和千亿级神经突触,其神经元数量已接近猕猴大脑规模。这是国际上首台突破20亿神经元规模的类脑计算机。

据研究人员介绍,“悟空”大规模、高并行、低功耗等特点,将为现有的计算场景提供新的计算范式。“悟空”的诞生,是神经形态计算技术发展进程中的代表性成果。那么,究竟什么是神经形态计算?这种技术和传统计算机有什么区别?请看本期解读。

神经形态计算——

类脑计算机迎来新突破

■ 华 娟 刘雪涛



神经形态计算概念图。

资料图片

解码脑启发的计算特性

计算机在中国被称为“电脑”。这个名称非常传神地解释了它的本质——模仿和扩展人脑部分功能的机器。从1946年第一台电子计算机问世以来,计算机被广泛用于科学计算、事务处理和过程控制,深刻影响着社会各个领域。可以说,计算机是人类步入信息时代的重要标志,也是支撑信息技术的关键支点。

20年前有人提出,如果不从根本上改变,传统计算机的发展速度将越来越慢,直至彻底停滞不前。今天看来,传统计算机已经站在了一个寻求突破的十字路口。现阶段半导体工艺的技术节点已经接近晶体管的物理极限,摩尔定律发展逐渐放缓,冯·诺依曼架构对效率的影响,算力增长带来的能耗飙升等制约着计算机的发展。人工智能和大数据的爆发式增长,更是进一步扩大了需求与算力供给之间的物理鸿沟。

是在现有框架内深度优化、还是彻底从根本上变革?有研究者将目光投向了自然界中已知最高效的计算系统——人类大脑。

人脑,以其无与伦比的复杂神经网络和认知能力,堪称自然界最伟大的奇迹之一。大脑中,约860亿个神经元如夜空中闪烁的繁星,通过100万亿个神经突触相互交织,构建起一张复杂的信号传递网络。当我们看到一片美丽的景色、听到一首动人的音乐或是思考一道复杂的数学题时,大脑中的神经元就会活跃起来,高效而精准地处理信息。这种处理方式灵活且能耗极低。一位企业家举了个例子:人类今天如果要用深度学习算法去模拟一只老鼠的能力,可能需要消耗一个小镇的电费;但是人的大脑这么聪明,大概25瓦,大点的50瓦,也就消耗这么多的能量。

20世纪80年代,加州理工学院教授卡弗·米德首次提出神经形态计算的概念,旨在模仿人脑神经元的工作原理,开发低功耗、高能效的计算技术。随着硬件的发展和技术的突破,神经形态计算逐渐成为一种模拟生物神经系统,特别是人脑神经元与神经突触工作机制的新型计算方式。神经形态计算并非在软件层面模拟大脑,而是在硬件层面直接使用电子器件来模拟生物神经元和突触的行为与结构。神经形态计算具备以下诸多优势。

事件驱动。神经元仅在接收到特定事件时才触发脉冲,这种“事件驱动”特性可以大幅减少无效计算。如同我们使用聊天工具沟通,只有需要传递信息的时候,才会发出信号。大部分时间,这些神经元们都在安静地休息。

存算一体。如果把传统计算系统比作一个图书馆,CPU是管理员,内存

是书架,硬盘是门口等待入库的图书。“管理员”需要在“图书”和“书架”之间来回奔跑,跑得再快也有一个上限。这就是著名的“冯·诺依曼瓶颈”。而在神经形态器件中,存储信息的物理位置本身也是执行计算的地方,大大削减了搬运延迟,降低了能耗。

高度并行。神经形态硬件由大量神经元和突触组成分布式网络,支持大规模并行计算。与传统CPU逻辑层面的顺序执行不同,每个神经元都可以独立处理信息并通过脉冲事件异步传递结果。同时,神经网络通过脉冲时序编码实现毫秒级时间信息处理,形成“空间拓扑并行+时间动态并行”的双重并行机制。

自适应学习。大脑的核心学习能力依赖于神经突触的可塑性。神经形态硬件能够在物理层面模拟这种可塑性。通过施加特定电压脉冲序列,它可以精确模拟增强或减弱突触连接的强度,实现模拟态的权重调整。这一过程支持硬件层面的在线学习与实时适应,无需依赖云端海量计算资源进行训练。

上述事件驱动、存算一体、高度并行、自适应学习等特性,共同造就了神

经形态计算系统的高能效、低功耗特性。这是其颠覆传统计算范式、实现智能普适化目标的关键基石。

前沿进展点燃类脑引擎

当前,神经形态计算正经历技术爆发期,在材料器件、算法模型、系统设计等多个层面不断突破。这些创新共同推动神经形态计算向实用化迈进。

无论对于传统计算机,还是神经形态计算,硬件都是基础。实现高效神经形态计算的核心在于,找到或设计出能有效模拟生物神经元与突触行为的器件。今年7月,《自然·通讯》杂志报道了一款基于二维材料磷三硫化锌的新型可重构忆阻器,其最大亮点是能通过单个电脉冲在模拟神经元与突触的模式间自由切换。该忆阻器为构建高灵活性、高资源利用率的神经形态芯片开辟了新路径。此外,相变存储器、磁性隧道结、铁电晶体管、液滴界面突触等神经形态器件技术不断进步,共同推动了

神经形态计算领域的硬件发展。

强大的硬件需要配套的软件与算法驱动。神经形态计算的软件核心在于脉冲神经网络。相较于主流的深度神经网络对生物网络的初步抽象,脉冲神经网络更贴近生物神经元实际工作机制。在脉冲神经网络中,神经元间传递的是离散且时间精确的脉冲信号;信息不仅编码于脉冲发放频率,还更精细地编码于脉冲的精确时序或间隔模式。这种处理方式天然契合神经形态硬件的事件驱动特性,能充分挖掘其低功耗和实时信息处理优势。近年来,研究者们开发了多种局部学习规则,以适应更广泛的任务需求。

芯片方面,业内许多公司已推出多项研究成果,如英特尔公司的类脑芯片系列、IBM公司的真北与北极芯片、清华大学的天机芯片,等等。随着基础器件的持续突破,神经形态计算系统正从单芯片扩展到大规模神经拟态计算平台。其中,“Hala Point”便是这一发展进程中的代表性成果。Hala Point由英特尔公司于2024年4月推出,集成了1152个高性能神经形态处理器,可模拟

分布在超14万个处理核心中的11.52亿个人工神经元和1280亿个突触,具备强大的并行处理能力。在执行特定人工智能任务负载时,它的速度比传统CPU与GPU系统快50倍,能耗仅为其1%。

今年初,由哈佛大学领衔的近60家国际顶尖学术机构与科技企业,共同推出首个面向神经形态计算的统一评测框架。该框架通过算法与系统双轨并行评测,既支持基础研究的深入探索,又推动实用系统的技术发展,标志着神经形态计算评测进入标准化新阶段。

应用广泛的超低功耗智能

神经形态计算以其独特的仿生架构与卓越特性,在众多领域有着广泛的应用前景。

在实时性、能效要求极其苛刻的边缘智能与感知领域,神经形态计算优势显著。神经形态芯片的事件驱动特性仅在信号变化时激活计算,能大幅降低静态功耗;其低延迟与高并行性能可以极速处理来自视觉、听觉等传感器的连续数据流。引入神经形态计算后,可在高速、强光或弱光等传统摄像头失效场景下,实现超低功耗实时监测。这为自主导航、精确制导、军事感知与监视等应用奠定了基础。

构建自适应、持续学习的智能机器人与自主系统,是神经形态计算的另一重要应用。神经形态系统擅长处理连续的时空信息流,使得机器人在救灾、野外等动态环境中,能够实时融合多模态传感数据,优化“感知—决策—行动”闭环,提升面对突发威胁、路径阻断或通信干扰时的适应性与生存能力。同时,其低功耗特性可支持更持久的任务执行并需要更少的后勤补给,或将为未来智能化作战体系提供有效支撑。

对于部署规模庞大、依赖电池或能量采集的物联网终端和智能传感器节点,如环境监测、设备状态监控、健康监测等,神经形态计算也具备强大的竞争力。神经形态处理器的超低功耗,尤其是近乎为零的待机功耗,构成了其核心竞争力。它们能直接在本地高效处理传感器原始数据,并仅在检测到重要事件时才唤醒主控芯片或启动通信,最大程度节省能源。这在战场传感网络、分布式侦察、装备状态监控和智能安防中价值巨大。

此外,神经形态计算在下一代脑机接口、神经修复等领域中也展现了潜力,是新一代脑启发人工智能模型运行的关键平台,有望推动更可持续的人工智能发展。

神经形态计算并非为了完全取代传统计算机,而是各有各的赛道。未来的计算机世界,或许将是一个多足鼎立的时代:传统计算机负责精密的逻辑思考,神经形态计算负责高效的感知与决策,量子计算机负责攻克顶级的科学难题……它们共同助力计算技术更好服务人类。



热点追踪

10月初,瑞典皇家科学院宣布将2025年诺贝尔化学奖授予日本京都大学的北川进、澳大利亚墨尔本大学的理查德·罗布森和美国加利福尼亚大学伯克利分校的奥马尔·M·亚吉,以表彰他们在金属有机框架领域的贡献。领奖台上,诺贝尔奖委员会用一句简洁的赞语总结了他们的贡献:“他们为化学创造了新空间。”

金属有机框架是一种由金属节点和有机配体组成、具有规则空腔的晶体结构。这种材料化学性质稳定,内部孔隙丰富,具有极高的比表面积。精巧的分子结构,赋予其优异的物质吸附和储存能力。在此基础上,通过设计孔隙尺寸,可实现对特定分子的精准捕获。

金属有机框架

『分子海绵』如何改变世界

■ 宣传杨

辛宇恒

当科学家首次在分子尺度上发现“可编程”的三维空间时,材料科学的革命性突破已悄然酝酿。1989年,理查德·罗布森首次提出三维配位聚合物的结构构想,金属有机框架的化学概念开始萌芽。1999年,奥马尔·M·亚吉团队设计出MOF-5,其展现出前所未有的化学稳定性,推动化学合成进入结构可预测时代。随后的20多年间,全球相继开发出数万种各具特色的金属有机框架材料,将这一领域逐步推向产业化应用。

在能源领域,装载着金属有机框架的燃料电池储氢罐正在改写清洁能源的格局。相较于传统高压钢瓶,其储氢密度可提升数倍,让氢动力汽车续航难题迎来破局曙光。在化工厂中,金属有机框架分离器正在代替高耗能的蒸馏工艺,以分子级别的尺寸差异实现乙烯、乙烷等工业气体的低温分离,可节约大量能源。

在环保领域,得益于金属有机框架“可设计的”的吸附能力,这些材料正在成为环境治理的“分子吸尘器”。科学家设计出对二氧化碳具有特异吸附性的金属有机框架,当工厂废气通过这些材料时,温室气体就被牢牢锁在孔隙中,转化为可利用的碳源。某些能捕获砷离子、汞离子的金属有机框架材料,正在帮助数百万受重金属污染威胁的居民获得安全饮水。

在生物医学领域,金属有机框架则化身为精准投递的“纳米胶囊”,能将小分子药物包裹于孔隙之中,实现高效运载。研究人员给抗肿瘤药物“穿上”金属有机框架的外衣,使药物在血液循环中保持稳定,仅当遇到肿瘤特有的酸性环境时才释放药效。这种“智能爆破”技术使化疗药物就像精确制导武器,在降低毒副作用的同时显著提升疗效。

经过30余年的发展,金属有机框架正从实验室的“万能积木”转变为解决全球性挑战的“工业重器”。从能源转型到环境治理,从水资源获取到医疗进步,这种新型化学材料正在多个领域展现其变革性力量。随着人工智能与合成化学的深度融合,金属有机框架的结构特性将被进一步开发,使化学材料也能拥有自己的“语言模型”。



黑匣子图片。

资料图片

航空事故发生后,全球目光总会聚焦于“黑匣子”。从飞机失事到日常事故调查,黑匣子的“证词”便是寻找事故原因的核心依据。

黑匣子的正式名称是“飞行信息记录系统”。其主要包括两部分:飞行数据记录器(FDR)和驾驶舱语音记录器(CVR)。FDR用于采集飞行参数,小到发动机转速、襟翼角度,大到飞行高度、速度和姿态,一趟长途飞行可记录大量数据。CVR则用于连续记录驾驶舱内的对话、飞行员与空管的通信,甚

至机舱内的警报声、异响等背景音,这些信息是还原飞行员决策过程的关键。

随着云技术普及,不少人有了这样的疑惑:既然黑匣子如此重要,为何不直接将飞行数据实时同步到云端?其实,这个看似合理的想法,至今仍被技术、安全与成本等多重难题困扰。

首先,网络覆盖与传输稳定性不足。飞机飞行轨迹常跨越数千公里,网络并不能完美覆盖全部地区。目前,民航飞机主要依赖卫星通信传输数据,其带宽极其有限:民航使用的卫星通信的

下行速率仅为2至10Mbps,上行速率更低,仅能传输空管指令或乘客少量联网数据,根本无法承载海量飞行数据。例如,飞机飞越太平洋时,常会因距离远、大气层干扰等因素出现信号不稳定,甚至中断的情况。一旦数据传输在事故前中断,云端保存的就是“不完整数据”,反而失去调查价值。而黑匣子不受信号影响,只要飞机处于飞行状态,就能持续记录。

其次,飞行数据量远超现有传输能力。现代客机的FDR每秒可记录成百上千个参数。以波音787为例,一趟10小时的长途航班,生成的数据量约为500GB至1TB。要将如此庞大的数据实时传至云端,需至少100Mbps的稳定带宽——这是现有航空卫星带宽的10至50倍,短期内无法实现。即便采用数据压缩技术,也仅能压缩30%至50%,且压缩过程中可能丢失部分细节数据。

黑匣子则完整保存原始数据,不做任何压缩,确保调查时可还原最真实的飞行状态。

再者,实时传输存在高安全风险。飞行数据是航空安全的“核心机密”,不仅包含机组操作细节、发动机性能参数,还涉及航空公司的运营策略,一旦在传输中被黑客截取、篡改,后果不堪设想。例如,黑客篡改发动机故障数据,可能误导调查方向;泄露驾驶舱对话,可能引发舆论争议。黑匣子采用“物理隔离”的安全设计:它没有联网功能,数据仅能通过专用设备在地面读取,且读取权限严格限制在事故调查机构手中,从根源上规避了被远程攻击风险。此外,黑匣子外壳常常采用高强度合金材料,能有效抵御高温、冲击与水淹,即使飞机解体,也能安全保存下来。

除技术挑战外,经济成本也是重要

制约因素。要实现全球民航的数据同步,需搭建覆盖全球的高速卫星网络、大容量云端服务器,还需改造每架飞机的通信设备,这笔投入堪称天文数字。相比之下,黑匣子的成本较低:一台黑匣子造价约2至5万美元,使用寿命与飞机相当,使用期间几乎无需维护。

事实上,航空业并非完全排斥云同步。目前已有部分航空公司尝试将发动机机异常参数、高度突变数据等“关键数据”实时传至地面,用于提前预警设备故障。但这种传输是“选择性”的,而非“全量同步”,黑匣子的“终极备份”角色仍无法替代。

黑匣子存在本质是对“极端风险”的敬畏,也是对“真相”最后的守护。



科普笔记