

能感知、能行动、能在真实场景中反复试错完成工作——

物理人工智能，加速走进现实世界

本报记者 喻思南

■ 瞰前沿

如今的AI(人工智能),已经学会了对话、创作与分析,下一个进化方向在哪里?答案指向真实的物理世界。从虚拟世界的信息处理器,到能感知、能行动、能与现实环境深度交互的智能体,物理人工智能(物理AI)的兴起,正在开启AI发展的新篇章。

本期“瞰前沿”栏目,让我们一起走进物理AI的世界,探寻这项前沿技术的发展逻辑、现实挑战与广阔前景。——编者

从读懂图片的“视觉”,到写出文字的“表达”,再到创造视频画面的“想象”,当下,AI正持续“进化”。

学会看、写、生成之后,AI还能做什么?近年来,科技界正在探索推动AI从虚拟走向现实的技术路径。一种新的技术理念——物理AI越来越受关注。

物理AI与生成式AI有何不同,适用哪些场景?如何理解物理AI与具身智能的关系,技术落地又有什么挑战?记者采访了相关业内专家。

升级

让AI进化为与现实世界交互的智能体

什么是物理AI?简单说,我们可以将其理解为走出屏幕、进入现实的AI智能体,它能如人一般感知环境、“动手”操作。

北京通用人工智能研究院一德塔智能联合实验室负责人马晓健认为,物理AI有3个重要特征:能力建立在真实物理交互数据之上、包含对物理世界的理解以及能部署到真实世界上。

这意味着,物理AI知道物体的运动、接触、变形,了解摩擦、重力、空间关系和因果变化等,并能据此预测未来、规划动作,从而在开放环境中完成任务。

从技术演进角度看,物理AI是AI发展到一定阶段的自然方向。

“第一阶段AI通过计算机视觉学会了‘看’,第二阶段AI通过自然语言处理学会了‘写’,当前通过物理AI要学会‘行动’。”百度智能云主任架构师应茹介绍,物理AI的出现,让AI从信息处理工具进化为能够与现实世界交互的智能体。

过去大模型主要是复现人的语言、知识和推理能力,相当于进入人的精神世界;但人的智能并不只体现在大脑中,还体现在与物理世界的互动里。“当AI在语言和多模态理解上取得突破后,下一步必然是把这种智能外化到真实世界,让机器能够感知、行动、试错和完成工作。”马晓健说。

物理AI和生成式AI的差异,主要体现在技术原理和承载任务上。

具体来说,物理AI的重要能力是在物理世界中承载运动控制、环境交互等任务;而生成式AI的重要能力是文、图、视频生成等,支撑内容创作、代码编写、数据分析等任务。

“物理AI和生成式AI属于AI的两种不同分类维度。”马晓健介绍,两者正在深度结合。比如,生成式AI强大的

语言理解、场景生成、规划和代码生成能力,可以帮助物理AI更好地理解任务、构建仿真环境等。

挑战

从模型、数据到承载本体,物理AI落地面临多重难题

过去数年,科技界从核心算法到工程本体,多措并举推进物理AI落地。

比如,用于模拟环境动态并预测未来状态的世界模型被称为物理AI的“内部大脑”。学界专家提出世界模型的3项重要能力,即生成性、多模态、交互性,为物理AI搭建起环境理解、因果推断与任务规划的框架。

当前,“视觉—语言—动作”大模型迭代演进,为物理AI筑牢模型底座。

马晓健介绍,目前落地物理AI大致分为3类技术路线。第一类是“预训练—后训练”范式,即先利用互联网视频、第一视角视频、跨机器人操作数据等开展大规模预训练,再依托遥操作数据、强化学习或真机微调完成后训练;第二类是“现实—仿真—现实”范式,即先把真实世界的几何、材质、动力学等信息重建到高仿真环境中,让机器人在“数字孪生”场景中大量试错,再迁移部署至实体设备;第三类是大模型编程路线,依托语言模型,根据任务生成机器人控制程序,串联感知、规划、执行等功能模块。

不同的技术实现路线,各有优劣。比如,“预训练—后训练”范式路径清晰,但对数据质量、机器人本体一致性、性能更强的模型、系统化评测与持续迭代,产品能力将稳步提升。另一方面,物理AI不必等到完全研发出通用类机器人实现产业化。在垂直细分场景中,只要模型可在同类任务中展现优良泛化能力,便是重要的阶段性成果。

在未来,低空经济、新能源电池、具身智能、高端芯片、航空航天等需要复杂场景仿真与优化的前沿领域,均是物理AI的落地方向。马晓健认为,在一些不适合人类长期作业、传统自动化又难以完全解决的场景,物理AI有望最先落地。

电力巡检便是这样一个场景。在西南偏远地区,过去需要工作人员翻山越岭检查设备,现在北京人形机器人创新中心研制的“天工”机器人可实现户外巡检、变电倒闸操作、配网接地线挂载等复杂任务。

“物理AI并不是为了替代所有自动化。”马晓健说,如果任务高度规整、流程固定,传统工业自动化往往更便宜、更稳定。物理AI真正有优势之处在于执行环境多变、需要实时感知和灵活决策,同时兼具重复性或高危属性的任务。

在产业界,物理AI模型训练效率也在持续提升。“得益于在AI基础设施领域的常年积淀,我们将‘视觉—语言—动作’大模型训练速度提升70%,世界模型推理时延下降50%。原本以周为单位的训练周期,如今可压缩至小时级。”百度集团执行副总裁、百度智能云事业群总裁沈抖表示。

如何更好推进物理AI落地?虽然存在阻力,但业内专家普遍看

好物理AI产业化落地前景。一方面,物理AI与大模型发展底层逻辑相通,依托更大规模的数据采集、性能更强的模型、系统化评测与持续迭代,产品能力将稳步提升。另一方面,物理AI不必等到完全研发出通用类机器人实现产业化。在垂直细分场景中,只要模型可在同类任务中展现优良泛化能力,便是重要的阶段性成果。

“由于真实世界工况繁杂、多种物理因素相互影响,仿真系统无法完整复刻物理细节,有时仅能作为真实数据缺失时的补充方案。”北京微链道爱科技有限公司总经理张宇说。

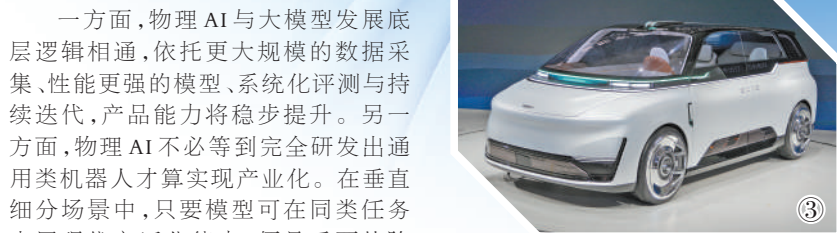
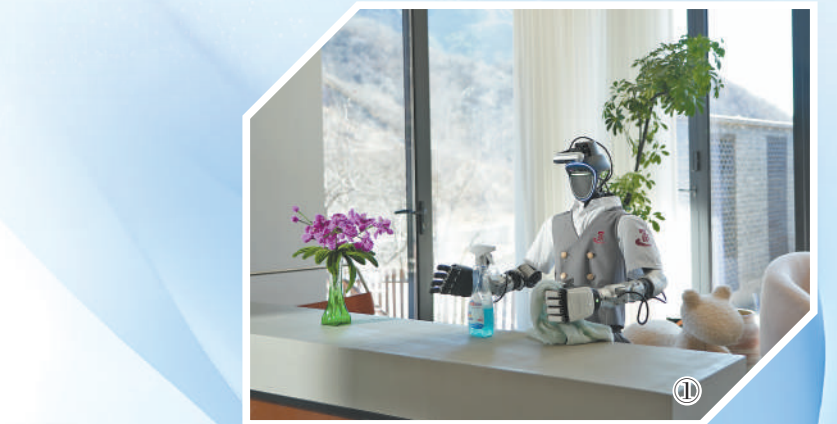
“总体看,3条路线大概率不会互相取代,而是在数据、仿真和大模型推理层面逐步融合。”马晓健说。

物理AI与具身智能又是什么关系?简单说,具身智能是物理AI的重要载体,物理AI是落地具身智能的核心技术路径。不过,物理AI落地具身智能的过程中,在硬件本体工程化层面仍存诸多挑战。例如,具身智能执行任务时,需适配复杂动作控制算法。倘若硬件精度不达标,极易影响软硬件深度耦合。业界专家表示,近些年,我国机器人核心零部件国产化水平提升显著,但谐波减速器等关键零部件的加工精度距离国际先进水平仍有提升空间。

前景

依托丰富应用场景优势,物理AI持续迭代

虽然存在阻力,但业内专家普遍看



图①:家居场景具身智能机器人做家务演示图。

图②:电力具身智能机器人进行电力运维操作。

图③:2026(第十九届)北京国际汽车展览会上展出的具备物理AI能力的国产智能汽车。

当前物理AI仍处在技术路线尚未收敛的发展阶段。“我们要鼓励差异化、多路线并行探索。”马晓健认为,产业政策与科研扶持不宜扎堆单一技术热点,应引导企业、高校和科研院所围绕模型、控制、仿真、传感器、灵巧手、本体结构等方向开展多元化攻关。此举既能规避押注单一路线的研发风险,也有助于补齐我国在算法、硬件、制造和系统集成领域的全链条产业部分短板。

物理AI真正落地,不靠实验室演示,而是依托真实场景的数据反馈与持续迭代。

业内人士认为,应用场景资源充沛是我国发展物理AI的独特优势。“让技术深入矿井、工厂、仓储、巡检现场等一线场景,物理AI才能更好形成‘场景—数据—模型—产品’良性闭环。”马晓健说。

北京通用人工智能研究院供图

百度智能云供图

唐克摄(人民视觉)

聪明的电网「免疫力」和「自愈力」更强

别朝红

“十五五”规划纲要提出,“着力构建新型电力系统,全面提升电力系统互补互济和安全韧性水平,优化全国电力流向和跨区域通道布局,加快智能电网建设”。

电力系统,对于当代经济社会发展的重要性不言而喻。它是万家灯火的能源底座,也是支撑生产活动的“动力心脏”。每个经济“细胞”的活动,都离不开电力的持续供给。

当前,传统电力系统正面临两道难题。

第一道难题来自电力系统内部。不同于其他能源传输与分配系统,电力的生产与消费需要实时平衡。然而,一边是高低比例间歇性新能源并网、电源出力的不确定性大幅增加,另一边是全社会用电需求持续增长、电力负荷峰谷差进一步拉大,这让电力供需平衡难度显著增加。

另一道难题来自系统外部。随着全球气候变化不断加剧,极端天气和自然灾害正呈现“频发、广发、强发、并发”态势,电力应急保供面临严峻挑战。

面对内外两重现实考验,加快建设更加坚强智能的“大网”、更加灵活自治的“小网”,正成为破解能源供需平衡难题、提升安全保供水平的重要支撑。

先看“大网”——智能电网,就是给传统电网的“躯干”装上大脑和神经。

通过先进的传感、通信和控制技术,将发、输、变、配、用各环节紧密连接起来,使电力系统实现能量流和信息流的高度融合。通过采集多源运行数据,智能电网像中枢神经系统一样感知风险态势,并利用辅助决策能力指导资源调度与应急处置,从而更加高效地防控风险。

这是如何做到的?以主动防御与快速恢复为例。

通过智能决策在线生成主动防御与快速恢复优化方案,指导实施预防控制、紧急控制和恢复控制。在事前,根据运行方式、网络拓扑、灾害预测场景等信息,制定运行方式微调策略,实现系统稳定边界扩张;在事中,快速切断故障传播路径,降低连锁故障风险,尽可能缩小影响范围;在事后,构建稳控协同与滚动优化的恢复方法,综合

提升电力系统的恢复速度与效果。通过事前、事中、事后的协同应急,处置电力系统极端事件实现从“被动应对”到“主动迎战”的突破。

再看“小网”——微电网是由分布式电源、储能装置、负荷和控制设备组成的小型发配用电系统。微电网平时可以并入大电网协同运行,必要时也能够切换至离网模式,自给自足供应区域内的用电负荷。

这种特性使微电网成为提高末端供电灵活性和可靠性的重要方案,在城市园区、山区海岛、边防哨所、极地科考等各类场景均可应用。

一些工业园区积极探索绿色微电网,将光伏、储能、余热利用、氢能等综合应用于园区能源供应,不仅满足生产用能,缓解主网调峰压力,还可凭借绿电优势实现节能降碳和竞争力提升。

微电网的另一重价值在于提升“自愈力”。在偏远海岛、山区村落等地区,传统电网虽能覆盖,但存在网架建设薄弱、运维难度大、故障修复时间长等问题。

通过多类型分布式电源的互补协同,微电网突破了传统发电方法单一依赖主网的局限,恢复资源由主网主导转向分布式资源协调。

我国正在推进探索“末端保供型微电网”,平时并网运行提高供电质量,一旦外部线路中断就自动孤岛运行,保障重要负荷不断电。例如,在浙江温州,鹿西岛的镇级微电网可在故障5秒内复电,大瞿岛的微电网能够在外部断供情况下独立供电3天。可以预见,随着技术进步和政策支持增加,微电网将扮演更加重要的角色,成为“平急两用”的新型应急保障单元。

说到底,智能电网增强“免疫力”,是为了在风险到来前更早识别、更好预防;微电网提升“自愈力”,则是为了在冲击发生后及时止损、更快恢复。而数智化技术的蓬勃发展,将为新型电力系统的迭代升级提供更大想象空间。

(作者为电工材料电气绝缘国家重点实验室主任、西安交通大学电气工程学院教授)

我国科学家找到深海水虱抗饿绝招

本报青岛电(记者王沛)深海水虱是一类生活在深海中的甲壳动物,因保持世界上最长的绝食时间纪录(可达5年以上)而闻名。近日,我国科研人员揭示了这类生物耐饥饿的生理适应特征及其调控能量消耗的分子机制,为深海生物适应极端环境研究提供新视角。相关研究成果在线发表在国际学术期刊《细胞》上。

中国科学院海洋研究所联合香港中文大学和西北工业大学等单位,通过多层次组学数据联合分析及生物学功能验证,发现深海水虱通过“储能”和“降耗”相结合的双重适应性策略,缓解体形巨大带来的高能需求与深海食物匮乏之间的矛盾。研究发现,一方

面,深海水虱的胃约占2/3的身体体积,可用于机会性储存大量食物,并缓慢消化;另一方面,当摄入的食物被消化吸收后,其极低的基础代谢率能够减缓能量消耗,延长营养物质的利用时间。

此外,研究发现了一个与能量极致利用相关的水平转移基因ND1。研究以斑马鱼为试验对象进行功能验证。结果显示:在常温环境下,敲入ND1基因的斑马鱼代谢加快,相较于对照组存活时间短;在模拟深海的低温条件下,敲入ND1基因的斑马鱼代谢水平降低,并相较于对照组可延长37%的存活时间。这项研究不仅为解开深海水虱超长耐饥饿之谜提供了新的证据,也为理解极端环境下生命如何权衡生长与生存提供了重要范例。

阿根廷发现迅猛龙新物种

据新华社布宜诺斯艾利斯电(记者张锋、王钟毅)阿根廷贝尔纳迪诺·里瓦达维亚自然科学博物馆研究人员参与的国际团队近期确认,此前在阿根廷南部圣克鲁斯省挖掘的恐龙化石属于迅猛龙的一个新物种。

研究人员介绍,这些恐龙化石出土于圣克鲁斯省埃尔卡拉法特附近,挖掘工作始于2019年并持续多年。研究人员使用计算机断层扫描等先进技术,在此地挖掘的恐龙化石进行了骨骼结构重建,并对其解剖特征进行了细致分析。

研究显示,这些化石属于一种此前未知的迅猛龙物种。这种恐龙在约6600万年前曾广泛分布在附近地区。它体重约27公斤,使用两条后腿直立行走,第二脚趾上有弯爪,牙齿呈圆锥形且带有细脊,与北半球出土的迅猛龙化石存在较大的特征差异。研究人员表示,这些化石具有“地理纽带”的意义,表明生活在阿根廷南部的恐龙物种与分布在全球其他地区的迅猛龙具有亲缘关系。

相关论文已发表于美国《古脊椎动物学杂志》。

清洁低碳氢煤混烧技术取得新突破

本报北京电(记者王云彬)记者从国家能源集团获悉:近日,国家能源集团旗下科环集团烟台龙源公司依托“40兆瓦炉内氢煤混烧工程实验室”搭建的大容量氢煤混烧中试试验装置,首次实现了50%绿氢大比例掺烧以及100%纯氢燃烧,标志着我国在燃煤锅炉绿色零碳燃料替代利用领域迈入世界先进行列。

该项目采用自主研发的氢煤混燃低氮燃烧器,使氢与煤粉在锅炉内充分混合燃烧,并在40兆瓦燃煤锅炉上实现50%热量掺氢燃烧,在世界尚属首次。这意味着节煤减碳幅度可达50%,协同降氮减排效果显著。该成果为我国未来燃煤机组实现大幅度减碳探索出了一条新路径,对煤电绿色低碳转型、煤电与新能源融合发展具有重要意义。

■ 探一线

我国首批飞艇驾驶员持证上岗

国产飞艇从“试验田”走向“商业田”

本报记者 邱超奕

我国首批自主培养的4名飞艇驾驶员近日获得由中国民航局颁发的飞艇商业驾驶执照,正式持证上岗。

开飞艇和开飞机有啥不一样?飞艇驾驶员要学习哪些知识与技能?首批飞艇驾驶员持证上岗有什么意义?记者进行了采访。

穿上飞行制服,佩戴飞行耳机,戴上太阳镜,飞艇驾驶员冯兴飞稳步走上登机梯,坐进位于飞艇艇舱前缘的驾驶员座位。

“1号,AS700准备好,请示开车”“AS700检查好,请示起飞”……在湖北荆门市漳河机场,随着一声声指令传达,冯兴飞加大油门,50米长的AS700载人飞艇缓缓爬升至安全高度,随后完成大仰角爬升、大俯角下降等动作。冯兴飞紧盯速度、高度等仪表读数,有条不紊地操纵飞艇。

要想成为飞艇驾驶员,要求不一般。中国航空工业集团特飞所装备事业部总经理罗希延介绍,此前,我国没有成体系的商用飞艇驾驶员正规培训。2025年3月,中国民航局批准航空工业特飞所承担国内首批飞艇驾驶员和基础教员的培训工作,在有关部门指导下开展规范化培养。



“首先,首批学员都是有飞机安全飞行经历的成熟飞行员;此外,学员还需系统掌握浮空原理、低速低空精准操控等专业本领。”航空工业特飞所试飞试验主任赵佳楠说。为保证培训质量,所里组建了复合型培训团队。理论教

学由飞艇研发团队和湖北鸿萌航校的专业理论教员负责,飞行训练由飞艇基础教员负责,指挥员和地面保障团队由AS700载人飞艇试飞以来的成熟团队负责,既能保证训练安全,也能保障培训质量。

飞艇驾驶员培训和飞机驾驶员培训相比,在航空法规、安全理念、体检资质、民航执照管理等方面要求一致,但也存在不同:比如,飞机驾驶往往强调快速反应与大机动操控,而飞艇驾驶更侧重气流预判、精细微调等。

冯兴飞解释,飞艇作为一种浮空器,操控系统与飞机不同,这就要求学员要克服原有的驾驶习惯。此外,飞艇受风力影响更明显,低速状态下姿态调整难度也要高于固定翼飞机。飞艇在构造上也与飞机不同,涉及气囊压力控制、矢量系统等特殊系统,需要学员从头学起。

目前,AS700载人飞艇已收获44架订单,除湖北辖区外,今年年底将在浙江绍兴、广东珠海等地开启商业运营。作为首批持证飞艇驾驶员,冯兴飞将用所学的专业技能帮助客户企业搭建运营模式,推动国产飞艇从“试验田”走向“商业田”。

据介绍,此次AS700载人飞艇驾驶员培训及商业执照取证,推动我国飞艇驾驶员规范化培训、标准化考核、官方资质认证以及飞艇专业人才培养体系等进一步发展,为低空经济多场景规模化应用筑牢人才根基。

图为祥云AS700载人飞艇飞越贵州花江大峡谷。

何东摄

本版责编:曹怡晴 陈圆圆 陈世涵 版式设计:汪哲平