



具身智能，在物理世界中成长

郑南宁



▲郑南宁院士(左一)与团队成员讨论星表非结构化建模仿真系统技术细节。
西安交通大学供图

院士讲科普 未来产业

习近平总书记指出,人工智能是世界经济增长的新引擎和新旧动能转换的加速器,正从“数字世界”走向“物理世界”。

“十五五”规划纲要把具身智能列为未来产业之一。从实验室走向生产线、再走向更复杂的行业场景,人工智能正在经历一场重要转变,发展成为能够在物理世界中持续交互、学习与进化的智能形态——具身智能。在人工智能重塑人类生产生活范式的今天,如何认识具身智能?具身智能怎样影响未来?

本期“院士讲科普·未来产业”邀请中国工程院院士、西安交通大学人工智能与机器人研究所所长郑南宁,围绕热点问题进行解读。

——编者

人工智能的重要发展方向之一,是让机器不仅能处理信息、推演复杂问题,也能在真实多变的环境中灵活完成各类任务。

从工业生产线上精细操作,到复杂地形中的自主行走,再到展演环境中的动态运动……近年来,机器人频繁出现在各种场景中。在这些能力背后,人工智能正在经历一场重要转变:从能够“计算”走向能够“行动”,并进一步发展为能够在物理世界中持续交互、学习与进化的智能形态——具身智能。

需要明确的是,具身智能不等于人形机器人,人形只是载体之一。其关键在于智能系统能否真正进入真实环境,形成“感知—认知—决策—行动—反馈”的闭环,并在这一闭环中不断调整自身行为,并通过学习改善内部模型和策略。因此,评价具身智能的标准,不在于形态是否“像人”,而在于是否能真正解决现实世界中的问题。

具身智能是什么? 像婴儿一样认识世界

理解具身智能,一个最直观的方式,是回到婴儿认识世界的过程。

婴儿不会先学习概念或语言,而是通过不断触摸、抓取、跌倒和重新尝试来建立对世界的理解。婴儿的认知并不脱离身体,而是在身体与环境的互动中逐步形成;视觉提供空间结构,触觉提供物理反馈,运动经验不断修正对世界的预测。

智能并不是只存在于“脑”中的计算过



▲2026中关村论坛年会期间,北京中关村展示中心常设展上,一台配备了灵巧手的机器人在展示穿针引线。

本报记者 张武军摄

水下钻探机器人,可移动的深海实验室

本报记者 姜晓丹

深海之下,一片黑暗与高压的世界。在南海1264米深的海底,一个形似蚯蚓的机器人,缓缓钻进地层——它是中国地质调查局广州海洋地质调查局自主研发的首台“海底地层空间立体钻探与原位监测机器人”。它在南海1264米水深海域成功完成试验作业,各项性能全面达标,标志着我国在深海勘探与地层原位监测领域实现关键突破。

深海充满了机遇与挑战,其地层中蕴藏着天然气水合物、深海稀土、多金属结核等战略资源。然而,这里的环境又极其复杂:低温、高盐、高压、地质不稳,对设备的密封性和耐压性要求很高。此外,海底地层的内部有

程,而是身体与环境相互作用的产物。因此,身体不只是执行指令的工具,更是认知系统的组成部分,参与感知、理解与行动的全过程。这种“身体参与认知”的结构性特征,构成了具身智能的内涵。

一个具身智能系统通常由3部分构成:感知系统(视觉、触觉、力觉等)负责获取环境信息,决策系统负责形成理解与规划,执行系统(机械臂、移动平台等物理实体)负责作用于物理世界。三者形成闭环,使系统能够在行动中学习,而不是仅仅依赖离线数据训练。

大语言模型代表的“数据驱动智能”与这一机制相比,有明显差异。当前的大模型更像“书房中的智能体”,主要擅长语言生成与知识表达,但并不直接作用于物理世界。而真实世界具有高度不确定性,例如光照变化、遮挡干扰、材料差异与环境扰动,都要求系统具备持续适应能力。具身智能不是对现有模型的简单扩展,而是推动我们重新审视身体、行动与环境在智能形成中的作用。

具身智能并非今天才出现。我国1986年实施的国家高技术研究发展计划(863计划)中,自动化主题就已明确提出研制精密装配机器人、水下作业机器人、复杂恶劣环境作业机器人,这些机器人都必须面对真实环境并完成闭环操作,它们正是早期具身智能的雏形。

近年来,随着算法进步、算力提升以及多模态数据的丰富,这一方向才真正具备规模化工程实现条件。

能力如何进化? 从“看懂世界”到“改变世界”

具身智能要让机器真正“进入世界并在世界中行动”,需要多种能力,可以从4个方面概括:

——世界模型的形成。系统需要在内部构建一个可模拟环境,使其能够在行动之前预测与推演,从而评估不同决策可能带来的结果。这种能力使智能系统从被动响应转向具有前瞻性的主动决策。

——多模态表征能力。现实世界的信息来源具有高度异质性,包括视觉、语言、触觉与声音等多种形式。具身智能需要将这些信息整合到统一的语义空间,从而形成整体性理解。

——因果推理能力。当前大模型主要基于统计相关性进行学习,对因果结构的把握仍然有限。因此,模型作出的判断有时在语言上看似合理,但在物理世界中并不成立。这也是人工智能幻觉的来源之一。具身智能必须进一步建立稳定的“动作—结果”的因果链条,才能在复杂环境中可靠运行。

——生成与行动一体化能力。随着生成式人工智能的发展,逐步出现将视觉、语言与动作统一建模的端到端系统,使机器人能够根据自然语言指令生成动作策略,并通过控制系统和执行机构付诸行动,再根据环境反馈持续修正。

在这一框架之下,当前系统仍然存在一定局限性:许多模型仍停留在单一信息域的处理阶段,难以实现真正意义上的跨模态统一。因此,一个更具前沿性的方向正在形成,即推动“信息—物理—认知”三域融合建模,使智能系统逐步具备更接近人类的整体认知结构,从而形成对世界的深层理解,并支撑其在物理环境中的推理与行动闭环。这一方向也代表了具身智能向更高层次发展的重要路径,但其实现仍面临多方面挑战:一是黑箱问题,模型决策过程的可解释性不足;二是算力与部署矛盾,大模型难以在边缘设备实时运行;三是产业生态尚未成熟,标准体系与接口规范仍处于演进阶段。

与此同时,具身智能的发展还依赖两大基础条件:一是高质量多模态数据作为“燃料”,二是高逼真仿真环境作为“练兵场”。

非常多的障碍物,海底地形也十分复杂,传统设备一旦进入地层里面,就无法接收到卫星信号,更别说实现精准、长期的原位监测。面对国家资源安全的迫切需求,科研团队研制出这台具备自主钻进与智能原位监测能力的机器人。

现场看,这个“大家伙”更显震撼。高2.5米、重110公斤,最引人注目的,是它的仿生多节式设计——灵感来源于蚯蚓在土壤中的运动方式,使其能在地层中360度灵活转向。科研团队融合了惯性导航、磁信标辅助定位技术,能精准确定机器人在地层中的位置,使其在200米范围内的三维定位误差小

通过仿真训练再迁移到真实世界已成为重要技术路径,但如何缩小仿真与现实的差距,仍亟待解决。

怎样影响未来? 从“实验室”走向“应用场”

具身智能的价值,最终必须在现实应用中体现。

在工业制造领域,一个重要趋势正在形成:智能系统正在从执行工具转向意图驱动系统。在这种系统中,工艺参数可以直接进入智能模型,用于分析生产过程中的优化空间;系统可以扮演“数字检验工程师”的角色,对产品质量进行实时监控,并参与生产调度;通过传感器与数字孪生技术,整个生产过程可以在虚拟空间中同步映射,实现全流程可视化与可追溯。

当前,制造体系正在从单点自动化走向全流程闭环。这种结构性变化,本质上就是具身智能在工业体系中的落地形态。

在医疗与康复领域,智能系统正在成为医生的重要辅助工具,参与微创手术、康复训练等。在城市治理与公共安全中,无人机与地面机器人协同执行基础设施巡检任务,

延伸阅读

跑马拉松是对机器人的压力测试

陶 永

平坦的半程马拉松赛道都跑不完,凭什么相信人形机器人能在一间乱糟糟的客厅里站稳?如果遇到轻微碰撞就趴下起不来,怎么在拥挤的车间里作业?

比赛时有个细节:在休息点附近有纸杯、海绵等不规则障碍物随机散落在机器人赛道,大部分参赛的人形机器人依靠多模态传感器、内部动态平衡算法,能自主调整姿态有惊无险地通过这段障碍赛道。这个能力,放在工厂里就是“姿态自稳定”,放在家庭里就是“安全不伤人”。半程马拉松比赛跑出的不仅是速度,更是稳定性、适应性。

半程马拉松,只是人形机器人落地大考的第一步。别误会,跑完并不等于人形机器人就能上岗干活了。接下来,人形机器人还要面对更严苛的“职业考试”:在工厂里连续工作8小时不充电、在仓库里自主避障分拣货物、在家庭中听懂模糊指令并安全执行……每一步都比马拉松比赛更难。马拉松赛道是前沿展示平台,更是技术验证平台。今天能在赛道上跑完半马的机器人,明天才有可能在车间、医院、社区里站稳脚跟。

(作者为北京航空航天大学机械工程专业自动化学院、具身智能机器人研究院副教授,本报记者王昊男采访整理)

于0.3米。此外,团队还针对机器人的工作环境,量身定制了一套算法,让它能向着设定的目标位置自主前进,遇到岩石、生物残骸等障碍物可以自主避开,避障成功率达99.5%。绕开障碍物之后,机器人可以在两秒内重新规划最优的前进路线。

“它不仅是钻探设备,更是一座可移动的深海实验室。”广州海洋地质调查局工程师朱扬涛说。在此次海试中,该机器人深入目标地层,开展原位实时监测,成功获取超过2000组关于甲烷浓度、溶解氧、地层结构等关键数据,为南海资源勘查与地质研究提供珍贵一手资料。

团队接下来将继续优化机器人的综合性能,推动其在天然气水合物试采、深海稀土勘查等场景中落地应用,服务国家深海科学钻探战略,为我国向深海进军、建设海洋强国提供坚实技术支撑。

右图:海底地层空间立体钻探与原位监测机器人。广州海洋地质调查局供图



唠『科』



在医院的核磁共振成像(MRI)扫描室,人们总会看到“当心强磁场”的警示牌,医务人员也会反复叮嘱“请取下身上的所有金属物及磁卡等物品”。许多人会好奇,其中的科学缘由是什么?答案就藏在微观世界最基本的特性——量子自旋之中。

我们生活的世界由原子构成,而原子里的微观粒子都有量子自旋这一内禀属性。所谓内禀属性,指的是粒子的基本性质,像质量和电荷一样。比如说电子、光子或者中子,它们的质量、电荷和量子自旋都有确定的值,改变了就不是电子、光子或者中子了。因此,量子自旋并非经典意义上的实际旋转。

而MRI的原理,就是探测人体内氢核的量子自旋状态。人体约70%是水分,每个水分子含有两个氢原子,因此我们体内蕴含着大量的氢核自旋信号。通过分析这些氢核自旋状态的分布和变化,可以还原出人体组织的清晰影像,为疾病诊断提供科学依据。

然而,人体中氢核的自旋信号极其微弱,要捕捉到它们,离不开强磁场的帮助。传统核磁共振成像仪上的圆形装置实际上是一个超导磁体,它提供了一个远超地球磁场的强磁场(相当于地球磁场的数万倍)。在强磁场环境下,氢核的量子自旋就像是被“定了向”,原本杂乱无章的自旋状态变得有序排列,仪器就能准确捕捉到它们的“踪迹”。

金属是强磁场的“亲密伙伴”,也是自旋信号的干扰源。金属在强磁场中会被强烈磁化,轻则产生位移、震动,影响氢核自旋信号的采集,导致成像模糊失真,重则在强大的磁力作用下,会高速飞向磁体,不仅会损坏仪器设备,还有可能撞击到人体,造成意外伤害。此外,心脏起搏器、金属支架等体内植入物,还会因强磁场干扰失去正常功能,带来很大危险。

难道身体有金属植入物的人,就永远无法做核磁共振检查了吗?我们有没有可能在无磁场条件下完成对人体的核磁共振检查呢?

国内外许多研究团队都对此开展了探索。目前,中国科学技术大学的研究团队已成功研发出零磁场核磁共振谱仪,该装置的主要器件为原子自旋磁力计,它能够在无磁场环境下实现对物质内部量子自旋状态的探测。

零磁场核磁共振谱仪已经可以做到对金属容器内的水成像,以及对人体手指和入脑的初步成像。这意味着体内有金属植入物的人未来有可能顺利完成核磁共振检查。尽管现阶段该技术成像的清晰程度还远不如传统的核磁共振成像技术,但其具备成本低、无辐射等优势,将大幅降低医疗成本。

量子自旋这一看似遥远的物理概念,其实早已融入我们的日常生活。相信随着对量子自旋研究的不断深入,未来还会涌现更多新的技术突破,守护我们的健康。

(作者为中国科学技术大学教授,本报记者李俊杰整理)

北京谱仪Ⅲ实验首次证明胶球的存在

本报北京电 (记者吴月辉)记者6日从中国科学院高能物理研究所获悉:我国科研人员领衔的北京谱仪Ⅲ实验(BESⅢ)国际合作组首次证明了一类全新物质形态——胶球的存在。

自然界中,夸克之间靠胶子传递强相互作用力。胶子的特别之处在于,它不仅负责传递力,自身还会相互吸引、彼此纠缠。因此,胶子之间有可能聚集在一起,形成一种全新的粒子——胶球。半个世纪以来,实验上一直未能找到胶球。

北京正负电子对撞机能够大量产生丁肇中发现的J/psi粒子,这种粒子的衰变过程理论上被认为非常有利于胶球的产生。2011年,BESⅢ合作组在J/psi的衰变产物中发现了一个新粒子X(2370),疑似为胶球。2024年他们首次利用100亿个J/psi粒子样本,精确测定了X(2370)粒子的自旋和宇称量子数,为确定其真实身份迈出了关键一步。

最近,由南京大学金山教授和中国科学院高能物理研究所黄燕萍研究员共同领衔的研究团队又取得了决定性进展。他们发现多个X(2370)粒子新衰变模式,并且首次测出了它的又一项关键“身份特征”——“味单态”性质。“味单态”性质是胶球的最重要特性。普通粒子含有不同“味道”的夸克,而胶球由纯胶子构成,不含任何“味道”信息,正属于“味单态”。至此,BESⅢ建立了从质量、量子数到“味单态”的完整实验证据链,证实X(2370)的主要成分正是胶球。

我国首次依托水上通信渠道推送北极航道海冰预报

本报北京电 (记者韩鑫)交通运输部北海航海保障中心近日对外播报北极航道海冰预报信息。这是我国首次依托水上通信渠道推送北极航道海冰预报,标志着我国北极海上信息服务实现从实况播报到动态预报的跨越式发展。此举进一步健全北极航行信息保障体系,为极地航运高质量发展提供有力支撑。

此次上线的北极航道海冰预报,覆盖东西伯利亚海、拉普捷夫海、喀拉海、巴伦支海四大北极海域,以及白令海峡、德米特里拉普捷夫海峡、维利基茨基海峡、喀拉海峡4个通航海峡。预报内容涵盖海冰厚度、海冰面积、海冰流速等重要参数,采用3小时高时间分辨率、10公里高精度空间分辨率标准,每24小时完成一次更新,能够为极地航行船舶提供提前预判、科学规划航线的关键数据支撑,有效规避航行风险。

本版责编:曹怡晴 陈圆圆 陈世涵 版式设计:沈亦伶