

具身智能标准化研究与评测

Research on Standardization and Evaluation Methodologies of Embodied Intelligence

方法探索

魏家馨¹,马瑞涛¹,滕一阳¹,王 芃²(1. 中国联通研究院,北京 100048;2. 中国联合网络通信集团有限公司,北京 100033)
Wei Jiaxin¹,Ma Ruitao¹,Teng Yiyang¹,Wang Peng²(1. China Unicom Research Institute,Beijing 100048,China;2. China United Network Communications Group Co.,Ltd.,Beijing 100033,China)

摘 要:

具身智能作为融合了人工智能与机器人技术的新范式,是实现物理世界感知、决策与交互的重要路径,对通用人工智能的发展具有关键意义。梳理了具身智能的核心能力维度,分析了当前标准化工作的进展与挑战,提出评测体系设计原则与关键指标,探讨了典型评测方法与平台实践。尽管初步标准框架已形成,但在多模态交互、群体智能等方面仍缺乏系统标准,评测工具亦亟待升级。未来应完善分领域标准、建设权威评测平台、加快国际接轨,并同步推进伦理法律规范,推动具身智能生态规范发展。

Abstract:

Embodied intelligence, as a new paradigm integrating artificial intelligence and robotics technology, enables intelligent agents to perceive, decide, and interact within the physical world, serving as a vital pathway toward the development of general artificial intelligence. It reviews the core capabilities of embodied intelligence, analyzes the current status and challenges of standardization efforts, and proposes design principles and key metrics for evaluation systems. Typical evaluation methods and platform practices are also discussed. While a preliminary standard framework has taken shape, systematic standards for multimodal interaction and collective intelligence remain lacking, and evaluation tools require continuous updates. Future efforts should focus on refining domain-specific standards, developing authoritative benchmarking platforms, accelerating international alignment, and promoting ethical and legal frameworks to foster an open and well-regulated embodied intelligence ecosystem.

Keywords:

Embodied intelligence; Standardization; Evaluation system; Application scenarios

引用格式:魏家馨,马瑞涛,滕一阳,等. 具身智能标准化研究与评测方法探索[J]. 邮电设计技术,2025(7):46-52.

0 引言

人工智能技术正加速从虚拟环境走向与现实世界交互的“具身智能”新纪元。具身智能(Embodied Intelligence)通过赋予人工智能体物理存在形式,使其能在三维空间中实现环境感知、动态决策与自主行动,构建起“感知—决策—执行”的闭环智能系统。该理念可追溯至1986年Rodney Brooks提出的“包容式架构”^[1],它颠覆了传统AI对符号推理的依赖,主张智能

关键词:

具身智能; 标准化; 评测体系; 应用场景

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2025.07.008

文章编号:1007-3043(2025)07-0046-07

中图分类号:TP18

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



应通过身体与环境的实时交互自然涌现。2025年北京亦庄人形机器人半程马拉松赛事中参赛机型展现出的环境适应能力,在一定程度上标志着具身智能已从实验室验证迈向产业化落地。

近年来技术突破逐渐形成多维进化格局,在大规模预训练模型方面,深度求索发布的DeepSeek系列开源模型显著降低了开发门槛^[2];在硬件创新领域,宇树科技四足机器人全球市场占有率超60%,上海智元开源机器人灵犀X1构建起开发生态^[3];在软硬件协同层面,NVIDIA IsaacGym平台支持百万智能体并行训练^[4],OpenAI与Figure联合开发的Figure 01已实现语

收稿日期:2025-06-11

义级人机交互^[5]。这些进展使具身智能体展现出主动环境改造能力,也被业内认为是通向通用人工智能的关键路径。

随着全球产业格局加速重构,我国在具身智能领域表现突出,2025年政府工作报告首次将具身智能纳入国家战略,截至2025年4月9日,我国具身智能专利申请量达21.99万件,占全球总量的26.45%。产业应用呈现多点开花态势,在工业场景中,优必选 Walker S1 实现全球首例人机协同产线^[6];在服务领域中,擎朗智能部署超10万台设备^[7],覆盖60个国家;在医疗康养方面,杭州智元“髋部助行外骨骼”已帮助数万老年人恢复行动能力。

与此同时,具身智能标准化建设也已进入攻坚阶段。在技术标准方面,2025年发布的《人工智能具身智能数据采集规范》解决了多源异构数据碎片化难题;在评测体系领域,中国人工智能产业发展联盟(AIIA)具身智能工作组推出具身智能基准测试方法(EAI Bench),涵盖五大类真实场景测试场;在产业生态层面,人形机器人创新中心建成“麒麟”训练场,实现“数据—模型—训练”的闭环迭代。但当前具身智能发展仍面临硬件“非标准化”“高成本”的高门槛、多模态融合算法效率仍偏低、伦理责任界定模糊等挑战。本文通过解析具身智能“技术演进—标准构建—评测验证”协同发展机制,结合产业研报最新研究,以期与产业专家共同探索解决具身智能标准化研究与评测方法。

1 国内外标准化研究现状分析

1.1 国内标准化现状

近年来,随着具身智能技术的快速发展,我国逐步展开了该领域的标准化工作,并取得了初步成效。2024年中国信息通信研究院与北京人形机器人创新中心有限公司联合发布的《具身智能发展报告》指出,当前具身智能领域存在标准规范缺失、软硬件平台碎片化等问题,亟需构建统一的标准体系以引领产业健康发展^[8]。该报告强调缺乏统一的操作系统和标准化开发工具链、硬件耐用性和能效有待提升、技术评测和安全伦理标准空白等因素,制约了具身智能的规模化应用。

在国家层面,《国家人工智能产业综合标准化体系建设指南(2024版)》将具身智能列为人工智能关键技术标准体系的重要组成部分^[9]。该指南提出制定多

项具身智能相关标准,涵盖多模态交互、自主学习、仿真模拟、群体协同等方面,体现了国家层面对具身智能标准化的顶层设计和统筹规划。

在产业层面,AIIA 2023年牵头成立了具身智能工作组,并于2024年发布了“具身智能标准体系1.0”,成为我国该领域首个体系化的标准框架^[10]。《具身智能系统总体架构及技术要求》(AIIA/T 0198-2024)和《具身智能产品能力要求与评估方法 第1部分:家庭陪伴机器人》(AIIA/T 0199-2024)2项团体标准,分别规定了具身智能系统的参考架构和核心技术能力要求,以及家庭陪伴机器人的评估指标体系,具身智能系统框架国际标准在ITU-T成功立项^[11]。同时,北京人形机器人创新中心牵头制定的《人形机器人电驱动一体化关节接口规范》硬件接口标准也已通过立项审查。

此外,北京具身智能机器人创新中心等机构发布了《具身智能标准化研究报告》《具身智能数据集及评测研究报告》等白皮书,梳理了国内外相关标准,并提出了后续标准研制路线。同时,北京具身智能机器人创新中心联合北京大学计算机学院发布了大规模多构型具身智能数据集及测试基准“RoboMIND”,并牵头立项了国内首个具身智能数据集标准《人工智能 具身智能 数据采集规范》,推动数据标准化和开源共享。

1.2 国际标准化动态

随着具身智能技术的快速发展,国际标准化组织正加速推进相关标准的制定与完善,旨在构建统一的技术框架和评估体系,以促进全球范围内的协同创新与应用落地。通过政府、产业和学术界的协同推进,国际具身智能标准化正逐步从“项目散点”走向“体系收敛”,各主流组织正加速形成统一的技术语言、能力指标与安全评估范式,为全球具身智能技术的协同创新与跨境互认提供基础支撑。

ISO/IEC 第一联合技术委员会(JTC 1)在人工智能领域持续推进标准化工作,在功能安全领域,2022年发布的《道路车辆—预期功能安全》(SOTIF)(ISO/PAS 21448)标准为自动驾驶和智能系统提供了风险识别与评估的指导框架,强调在无故障情况下系统可能引发的安全风险。2024年发布的《道路车辆—安全和人工智能》(ISO/PAS 8800)标准进一步扩展了SOTIF的适用范围,针对人工智能系统的功能安全风险提出了具体的设计和验证要求,特别适用于具身智能系统在复杂环境中的应用。

在具身智能系统的互操作性方面,IEEE 标准协会

正在制定 IEEE P2874 异构机器人通信协议标准^[12],旨在通过定义统一的通信协议和接口,实现异构机器人系统之间的高效协同与数据共享。此外,研究人员提出了基于物联网机器人技术(IoRT)的中间件架构,支持多种机器人操作系统在动态环境中的通信与协作,提升了具身智能系统的灵活性和可扩展性。

在评测基准建设方面,NVIDIA 推出的 Omniverse 平台为具身智能系统提供了高保真度的仿真环境,支持多模态数据的生成与处理,广泛应用于工业仿真和机器人训练等领域。Meta AI 发布的 AgiBot World 数据集包含但不限于视频、音频和文本样本,为多模态研究提供了丰富的数据资源,促进了具身智能系统在感知与理解方面的能力提升^[13]。

在系统认证方面,UL 公司发布的 UL 3300 标准为服务、通信、信息、教育和娱乐机器人系统建立了安全要求,涵盖人机交互中的潜在风险,确保具身智能系统在各种应用场景中的安全性^[14]。该标准强调在正常使用和可预见的误用条件下,机器人系统不应対人员或环境造成危险,涵盖了移动性、外部操作、用户类别和使用环境等多个方面的安全要求。

在数据开放领域,Meta 发起的“Embodied AI Data Consortium”国际数据联盟发布了多模态数据集,用于模型训练与评估一致性验证,推动了具身智能系统的数据共享与标准化。同时其发布了 OpenEQA 数据集,旨在衡量人工智能系统在具身问答任务中的能力,促进了具身智能系统在自然语言理解与环境交互方面的研究。

2 具身智能标准化需求与挑战

具身智能作为人工智能与机器人技术深度融合的前沿领域,其标准化工作对推动技术发展、保障系统安全、促进产业协同具有重要意义。然而,当前具身智能标准化仍处于起步阶段,面临着多方面的需求与挑战,需要政府、产业界和学术界的共同努力,构建科学、合理、可行的标准体系,推动具身智能技术的健康发展和广泛应用。

2.1 标准化的核心需求

标准化的核心需求主要有以下几个方面。

a) 技术规范统一。目前,具身智能系统在硬件构型、软件架构、通信协议等方面缺乏统一标准,导致不同厂商产品之间难以兼容,系统集成复杂,研发成本高。建立统一的技术标准有助于规范机器人硬件接

口、传感器数据格式、通信协议等,实现模块化设计和系统协同,提升开发效率。

b) 性能评估体系构建。缺乏统一的评测指标和基准,难以客观衡量不同具身智能系统的智能水平和能力边界。构建科学的评测方法和指标体系有助于发现技术短板,指导研发方向,为用户选型提供依据。

c) 安全与伦理保障。具身智能系统直接在物理环境中运行,涉及人机共处、安全防护、隐私保护等问题。制定相应的安全设计规范、数据安全要求和伦理准则,可确保系统在设计、部署和运行过程中的安全性和合规性。

d) 产业生态构建。统一的标准体系有利于上下游企业分工协作,形成从核心器件、整机制造到应用服务的完整产业链,促进技术推广和商业化落地。

2.2 标准化面临的主要挑战

标准化所面临的主要挑战如下。

a) 技术复杂性高。具身智能涉及人工智能、机器人、传感器、计算机视觉、通信等多学科交叉领域,技术体系复杂庞大,标准制定需协调各子领域之间的一致性,确保标准体系的完整和协调。

b) 技术发展快速。具身智能技术发展迅速,不同路径(如基于规则控制与基于学习的智能)并存,标准制定存在动态演进需求。过早制定过于具体的标准可能束缚创新,但缺乏标准又难以协同,需要在灵活性和统一性之间取得平衡。

c) 应用场景多样。具身智能应用场景广泛,涵盖家庭、工业、医疗、交通等多个领域,不同场景下的环境和任务差异大,难以用一套指标评估所有场景的智能水平。标准体系需具备通用框架,同时允许针对细分场景制定补充规范。

d) 评测基准缺失。即使提出了某些评估指标,如何证明这些指标能够客观反映智能体的能力仍是挑战,需要大量实验数据的支撑,而目前公开的高质量数据集和评测基准还不充分,部分开源数据质量参差不齐、通用性不足,影响标准有效性。

e) 国际标准协调难度大。各国可能基于自身技术优势和利益诉求推动不同的标准,缺乏统一的国际标准,增加了跨国合作和产品出口的难度。应加强国际间的沟通协调,推动标准互认,避免标准割裂。

2.3 应对策略与建议

加强数据资源建设,建设高质量、多样化的具身智能数据集^[15],支持标准制定和评测体系构建,提升

标准的科学性和适用性。推动标准与技术协同发展,在技术研发初期同步开展标准研究,确保标准与技术同步演进,避免标准滞后于技术发展。逐步推进建立多层次标准体系,构建涵盖基础共性、关键技术、产品应用和评测认证等多个层次的标准体系,既满足通用性需求,又具备针对性和灵活性。与此同时,深化国际合作,积极参与国际标准化组织的工作,推动我国技术和标准走出去,提升国际影响力,实现标准互认,促进全球具身智能产业协同发展。

3 标准及评测体系构建原则与关键技术支撑

3.1 具身智能标准及评测体系构建原则

具身智能作为具备感知、认知、决策、执行能力的复杂系统,其标准及评测体系建设应保障系统性、演化性与实践适应性的统一,确保既能全面刻画具身智能的核心能力,又具备面向未来技术演进的开放性。结合当前具身智能标准化研究与典型测评框架,可归纳以下5类构建原则。

a) 全面性与针对性并重。评估框架需覆盖具身智能的关键能力维度,包括感知、认知、决策、行为控制、人机交互与通信协作等方面,确保体系结构的完整性。同时,应根据智能体在工业、服务、教育等不同场景中的应用特点,设定具有针对性的任务型指标,增强标准体系的可适配性。

b) 客观可量化。所有评估指标应具备明确的度量方式,避免主观判断误差。引入统一的测量单位与

基准测试环境,以保证评测结果的可重复性与横向可比性,是推动标准化实施的重要前提。

c) 可解释性与可预测性。评估体系不仅应给出系统性能的优劣结论,还应揭示具身智能体在感知理解、策略规划、行为执行等方面的能力短板或瓶颈,指导模型或系统的持续优化。

d) 动态扩展与迭代更新。随着具身智能技术的发展,系统将呈现出更多异构性与演化性。因此评测标准应支持模块化构建与动态更新,能够灵活扩展新能力维度(如迭代学习、跨平台迁移等),保持与技术发展的同步性。

e) 安全性、伦理性与合规性保障。评测内容和方法应严格遵循安全保护、数据隐私、公平性原则等伦理与合规要求,避免诱发系统行为产生的不良影响,特别是在交互、协作等场景下,应确保行为合法、安全可控。

3.2 具身智能核心技术与关键评估维度

具身智能系统作为融合了“感知—认知—行动—反馈”闭环的新一代智能体,其标准化建设应以核心能力为基础,系统梳理关键技术维度,为标准及评测体系构建提供结构化支撑。结合当前主流研究成果与具身智能系统演化趋势,标准及评测工作可聚焦以下8个核心技术方向(见图1),构建系统性能力结构与可量化评估基线,兼顾能力识别、行为建模与指标落地,实现从静态能力到动态演化的全景化评价框架。

a) 多模态感知与语义建模能力。具身智能体需

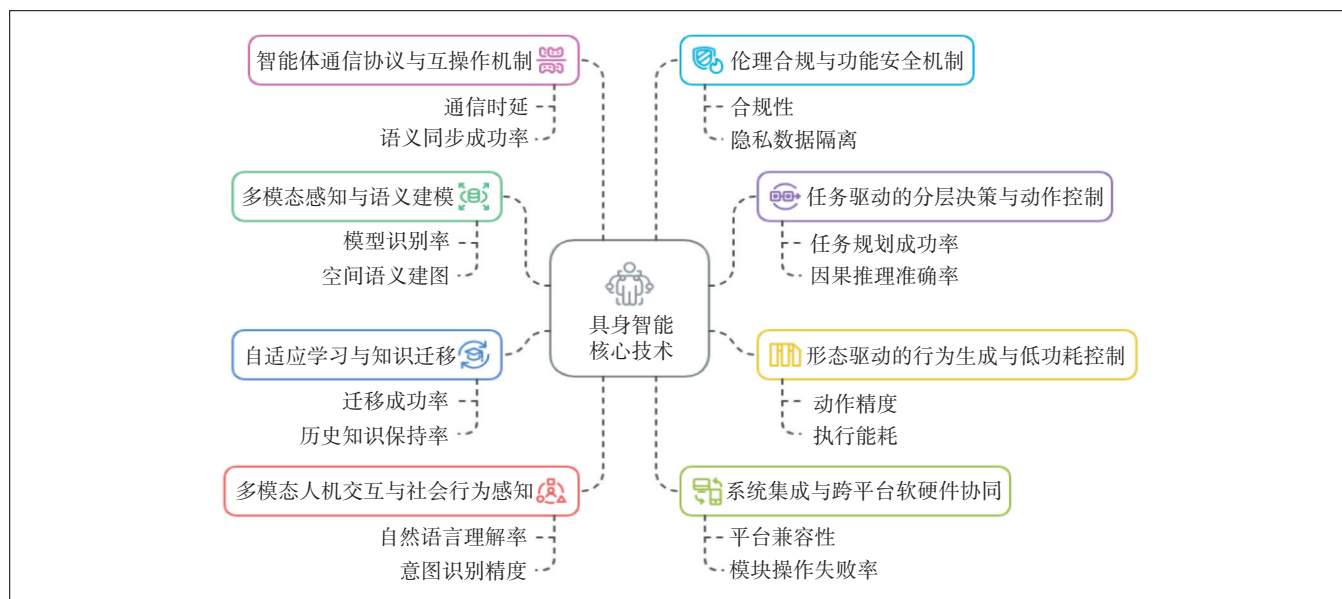


图1 具身智能核心技术与关键评估维度

处理来自视觉、语音、触觉、惯性等多模态传感器的异构数据,并实现跨模态融合与语义抽取,以构建环境语义图与认知场景表示。该能力是实现环境建模、自主认知与语言交互的前提,代表性研究路径包括视觉—语言模型、空间语义建图、跨模态对齐机制等^[16]。该核心技术的代表性标准及评测指标包括视觉识别率、深度建图精度、语义地图一致性、多模态融合响应时间、触觉灵敏度等,典型场景包括导航机器人、物流分拣等。

b) 任务驱动的分层决策与动作控制。具身智能体通常基于自然语言指令或环境目标进行任务拆解,并在策略规划与执行控制层面实现感知—决策—行动的链式联动^[17]。当前主流系统普遍采用层级架构,将语言理解、策略生成与运动控制分层解耦,提升智能体的泛化能力与场景适应性。该核心技术的代表性标准及评测指标包括任务规划成功率、因果推理准确率、路径最优性、响应时延、推理链完整度等,典型场景包括服务机器人、自主巡检系统等。

c) 形态驱动的行为生成与低功耗控制。具身智能强调形态结构与控制策略的耦合,例如通过柔性材料、可变刚度结构实现的顺应行为控制^[18]。该类技术实现了行为生成过程中的能耗优化与鲁棒性增强,是软体机器人与生物仿生设计中的关键方向。该核心技术的代表性标准及评测指标包括动作精度、执行能耗、地形适应性、导航误差、机械臂操作时长与成功率等,典型场景包括软体机器人、仿生平台、工业协作臂等。

d) 自适应学习与知识迁移能力。具身智能系统需具备通过交互积累知识、跨任务迁移与在线增量学习能力,实现从训练阶段向部署阶段的持续演化。自适应学习是支持多场景复用、应对环境变化与未知任务的关键路径,也是当前大模型技术在具身智能中应用的前沿方向。该核心技术的代表性标准及评测指标包括迁移成功率、历史知识保持率、学习样本效率、泛化误差、持续学习曲线斜率等,典型场景包括跨环境任务迁移、多任务智能体等。

e) 多模态人机交互与社会行为感知。具身智能的社会化要求其能够通过自然语言、手势、表情等方式与人类用户及其他智能体交互,并对语境、情绪、社交规则等进行建模理解^[19]。此类能力支持智能体在服务、陪护、教育等场景中发挥主动角色。该核心技术的代表性标准及评测指标包括自然语言理解率、意图识别精度、语境切换成功率、多轮对话完成率、交互

透明度等,典型场景包括陪护机器人、社交助理、群体协同作业等。

f) 系统集成与跨平台软硬件协同。具身智能系统通常由多个功能模块组成,包括传感、认知、决策、执行等,其运行依赖于高效稳定的系统集成能力。软硬件协同、模块化架构与跨平台接口设计是推动具身智能通用化、可扩展发展的重要技术方向。该核心技术的代表性标准及评测指标包括平台兼容性、模块互操作失败率、运行时重构时间、部署稳定性评分等,典型场景包括多厂家软硬混合部署平台等。

g) 智能体通信协议与互操作机制。随着具身智能系统向群体智能与多智能体协同演进,通信协议成为实现任务分发、状态同步与语义协同的核心基础设施。典型协议如 MCP、A2A、AgentMesh 等正在探索任务级、事件级与语言级的通信建模机制。该核心技术的代表性标准及评测指标包括通信时延、语义同步成功率、带宽适配度、任务状态一致性、断点恢复效率等,典型场景包括多机器人协作、小型集群部署等。

h) 伦理合规与功能安全机制。具身智能的广泛应用和社会化目标,对其伦理行为、安全边界与合规运行提出了明确要求。行为可解释性、隐私数据处理、责任归属机制成为当前标准化的重要补充方向^[20],也是国际组织(如 IEEE、ISO 等)重点推动的研究领域。该核心技术的代表性标准及评测指标包括碰撞率、故障恢复时间、紧急响应延迟、隐私数据隔离机制评分、合规性规则项通过比,典型场景包括公共服务机器人、安防系统等。

4 具身智能典型评测方法与现有平台分析

具身智能强调智能体在物理或虚拟环境中通过感知、决策和行动的闭环交互。为全面评估其能力,学术界和产业界当前已提出了多种评测方法和平台(见图2)。

4.1 Tong 通用智能评测平台

由北京通用人工智能研究院等提出的 Tong 测试平台^[21],旨在评估通用人工智能(AGI)的多维能力。该平台引入 DEPSI(Dynamic Embodied Physical and Social Interactions)环境,通过动态具身的物理和社会互动,生成多样化任务,评估智能体的感知、认知、运动、交互、社会和学习等能力,以及对自我、他人和群体的价值理解。平台架构包括高性能仿真引擎、支持物理和社会交互的 DEPSI 环境以及评估工具套件,能够全

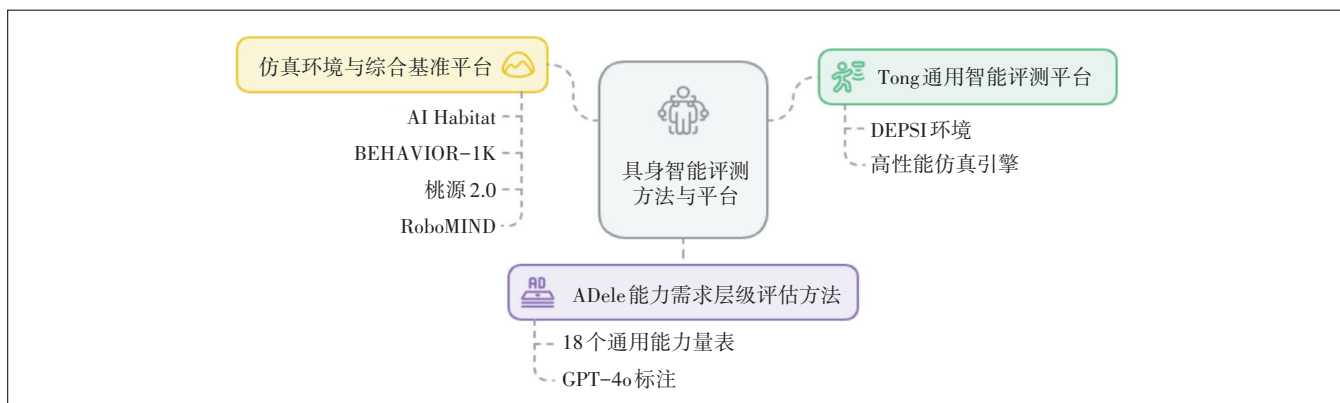


图2 典型评测方法与现有平台

面考察智能体的综合能力。

4.2 ADeLe能力需求层级评估方法

微软亚洲研究院提出的 ADeLe (Annotated Demand Levels)方法,构建了18个通用能力量表,涵盖基础认知能力、知识领域及外部干扰因素。每个量表定义了0~5的需求层级,用于标注任务对特定能力的需求强度。研究团队利用GPT-4o对20个基准测试的1.6万个任务实例进行了标注,构建了ADeLe v1.0数据集,支持对AI系统能力的解释和预测^[22]。

4.3 仿真环境与综合基准平台

仿真环境和基准平台是具身智能评测的重要工具。AI Habitat平台由Facebook AI Research开发,提供逼真的室内三维环境和高效的物理引擎,支持导航、抓取等任务的训练和评估。BEHAVIOR-1K是斯坦福大学等提出的大规模评测基准,涵盖1 000项日常生活活动^[23],定义在50种不同家庭和办公场景中,强调多样性和现实性,评估家用服务机器人在复杂连续任务下的表现。国内的桃源2.0(GRUtopia 2.0)由上海人工智能实验室发布,集成通用模块化框架,支持导航、操作、运动控制等各类具身任务,提供标准化的物体资产库和自动场景生成工具,提升数据采集效率。RoboMIND数据集和评测框架由北京创新中心推出,支持多种机器人本体和任务的性能验证,涵盖厨房、家庭、零售、办公室及工业五大场景,提供多样化的操作数据,支持对不同场景和任务中的机器人操作能力进行细粒度分析。

5 具身智能评测在实际应用场景中的实践

具身智能技术在服务机器人、智能制造和智慧城市等领域的应用日益广泛,标准化评测在实际应用中

具有重要意义。

a) 服务机器人领域。家庭陪伴机器人需要在家庭环境中执行对话交流、情感陪伴、物品递送等功能。中国信通院发布的《家庭陪伴机器人能力要求与评估方法》提出了评测框架,涵盖感知、交互、行动、安全等指标。通过这些指标,可对不同品牌的陪伴机器人进行横向比较,指导厂商改进设计。

b) 智能制造领域。在智能制造场景中,具身智能机器人能够通过视觉、力觉等感知自主调整动作,并与人类工人协同完成任务^[24]。评测内容包括装配精度、操作速度、感知反馈、自主纠偏等指标以及人机协作安全。国际标准如ISO 10218-2和ISO/TS 15066为协作机器人安全提供了规范。

c) 智慧城市领域。智慧城市中的具身智能系统包括自动驾驶车辆、城市配送机器人、安防巡逻机器人等。国际上SAE等组织制定了自动驾驶分级标准(L0~L5),各级对应功能边界和安全要求。评测内容涵盖感知、决策、定位导航、人机交互、安全冗余设计等方面。通过标准化测试,监管部门决定设备能否上路试运行并最终商业化。

6 结论与未来展望

具身智能作为人工智能发展的前沿方向,推动了AI从感知理解走向物理交互,正在重塑技术边界与应用格局。本文系统梳理了具身智能的概念内涵与核心能力维度,分析了国内外标准化工作的进展与关键挑战,提出了评测体系设计原则及关键指标,并结合典型方法与场景,论证了标准化评测在支撑技术落地中的现实价值。

当前,具身智能标准化已初步形成框架,但多模

态交互、群体智能等领域仍缺乏系统性标准,评测工具也需随技术演进不断升级。未来标准化工作可从以下5个方面推进:一是完善分领域标准簇,强化不同智能体能力分级与测试方法;二是建设权威评测基准与仿真平台,提升评估客观性和可复现性;三是加快国际标准接轨,推动我国评测成果纳入ISO、IEEE、ITU等体系;四是关注新兴技术融合,如大模型、数字孪生与具身智能的耦合标准;五是同步推进伦理法律规范,保障技术发展与社会接纳度协调统一。

展望未来,具身智能系统将呈现“多形态协同”的发展态势,标准体系和评测机制将成为引导其高质量演进的关键基础。通过制度先行、技术协同与全球合作,有望在具身智能标准化进程中发挥引领作用,构建具有国际影响力的具身智能方案。

参考文献:

- [1] BROOKS R A. Intelligence without representation[J]. Artificial Intelligence, 1991, 47(1/3): 139-159.
- [2] DeepSeek AI. DeepSeek-V3[Z/OL]. [2025-05-12]. <https://github.com/deepseek-ai/DeepSeek-V3>.
- [3] MCKAY C. Zhiyuan robotics unveils five new humanoid robots, open-source plans, and outlines technology roadmap[EB/OL]. [2025-05-12]. <https://www.maginitive.com/article/zhiyuan-robotics-unveils-five-new-humanoid-robots-open-source-plans-and-outlines-technology-roadmap/>.
- [4] NVIDIA. AI for Robotics [Z/OL]. [2025-05-12]. <https://www.nvidia.com/en-us/industries/robotics/>.
- [5] AltoolMall. a What is figure 01: OpenAI's leap into humanoid robotics [EB/OL]. [2025-05-12]. <https://aitoolmall.com/news/what-is-figure-01/>.
- [6] ROBOTICS U. UBTECH swarm intelligence; walker S1 factory training 2.0 [EB/OL]. [2025-05-12]. https://miind.altervista.org/ubtech-swarm-intelligence-walker-s1-factory-training-2-0/?doing_wp_cron=1751525789.8962979316711425781250.
- [7] KEENON Robotics. KEENON robotics ranked number one in catering delivery robot exports, with over 100,000 of its service robots shipped globally [EB/OL]. [2025-05-12]. <https://www.prnewswire.com/news-releases/keenon-robotics-ranked-number-one-in-catering-delivery-robot-exports-with-over-100-000-of-its-service-robots-shipped-globally-302294206.html>.
- [8] 中国信息通信研究院,北京人形机器人创新中心有限公司. 具身智能发展报告(2024年) [R/OL]. [2025-05-12]. <http://221.179.172.81/images/20240827/19241724745944786.pdf>.
- [9] 国务院. 国家人工智能产业综合标准化体系建设指南(2024版) [EB/OL]. [2025-05-12]. <https://dzswgf.mofcom.gov.cn/news-attachments/7948e1a159d0154b1a5b72157f496196c51f.pdf>.
- [10] 中国人工智能产业发展联盟. 具身智能标准体系 1.0 [R]. 2024-12-20.
- [11] 搜狐. 中国信通院牵头的具身智能系统框架国际标准在ITU-T成功立项 [EB/OL]. [2025-05-12]. https://www.sohu.com/a/853484293_121124361.
- [12] IEEE Standards Association. IEEE P2874 spatial Web, architecture and governance working group [EB/OL]. [2025-05-12]. <https://sa-groups.ieee.org/2874/>.
- [13] Meta AI. Introducing MUGEN, a new dataset for multimodal research [EB/OL]. [2025-05-12]. <https://ai.meta.com/blog/introducing-mugen-a-new-dataset-for-multimodal-research/>.
- [14] UL. Service, communication, information, education and entertainment robots - SCIEE Robots: UL 3300 [EB/OL]. [2025-05-12]. https://www.shopulstandards.com/ProductDetail.aspx?productId=UL3300_1_X_20250416.
- [15] 华凌. 我国具身智能数据集建设步入量质并重“快车道” [EB/OL]. [2025-05-12]. https://www.stdaily.com/web/gdxw/2024-12/30/content_280765.html.
- [16] 王文晟,谭宁,黄凯,等. 基于大模型的具身智能系统综述[J]. 自动化学报, 2025, 51(1): 1-19.
- [17] WANG Y Q, SUN A X. Toward embodied AGI: a review of embodied AI and the road ahead [EB/OL]. [2025-05-12]. <https://www.scilit.com/publications/6fb54d94a3451b23ccf511227e289b1f>.
- [18] 刘华平,郭迪,孙富春,等. 基于形态的具身智能研究: 历史回顾与前沿进展[J]. 自动化学报, 2023, 49(6): 1131-1154.
- [19] 沈甜雨,陶子锐,王亚东,等. 具身智能研究的关键问题: 自主感知,行动与进化[J]. 自动化学报, 2025, 51(1): 43-71.
- [20] 周乐鑫. 人工智能评测新范式: 解锁AI性能的可解释力与预测力 [EB/OL]. [2025-05-12]. <https://www.microsoft.com/en-us/research/articles/adele/>.
- [21] PENG Y J, HAN J H, ZHANG Z L, et al. The Tong test: evaluating AGI through dynamic embodied physical and social interactions [J]. Engineering, 2024, 34: 12-22.
- [22] Microsoft Research Asia. AdeLe: annotated demand levels. [Z/OL]. [2025-05-12]. <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/adele-annotated-demand-levels/>.
- [23] LI C S, ZHANG R H, WONG J, et al. BEHAVIOR-1K: a benchmark for embodied ai with 1,000 everyday activities and realistic simulation [C]//Proceedings of The 6th Conference on Robot Learning. New York: JMLR. 2023: 80-93.
- [24] XU J, SUN Q Y, HAN Q L, et al. When embodied AI meets industry 5.0: human-centered smart manufacturing [J]. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2025, 12(3): 485-501.

作者简介:

魏家馨,毕业于爱丁堡大学,工程师,硕士,主要从事人工智能及大模型标准化及应用技术研究工作;马瑞涛,正高级工程师,主要从事通信核心网、创新业务、区块链和人工智能领域的前沿标准、规划、系统方案、技术试验、商用工程、科技重大专项及创新示范研究工作;滕一阳,毕业于北京邮电大学,博士,主要从事人工智能评测、多模态AIGC应用技术研究工作;王芃,高级工程师,博士,主要从事人工智能和具身智能研发等工作。