

通信运营商在 具身智能产业定位研究

Research on Industrial Positioning of Communication Operators in Embodied Intelligence

范 琨¹, 闵爱佳² (1. 中国联合网络通信集团有限公司, 北京 100033; 2. 联通数字科技有限公司, 北京 100032)
Fan Kun¹, Min Aijia² (1. China United Network Communications Group Co., Ltd., Beijing 100033, China; 2. China Unicom Digital Technology Co., Ltd., Beijing 100032, China)

摘 要:

近年来,随着人工智能技术的快速发展,具身智能逐渐成为备受瞩目的前沿领域。基于对具身智能发展历程、关键技术、应用场景及产业链情况的分析,探究其所面临的基础配套、技术、成本、安全伦理等挑战。在此基础上,通过分析运营商具备的网络、算力、数据、安全、运营等全要素优势,为具身智能的发展困境提出解决方案。深刻揭示运营商在具身智能领域扮演的关键角色,为加快形成新质生产力和推动高质量发展提供新的启示。

关键词:

通信运营商; 具身智能; 融合发展; 技术创新
doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2025.07.001
文章编号: 1007-3043(2025)07-0001-07
中图分类号: TP18
文献标识码: A
开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

Abstract:

In recent years, with the rapid development of artificial intelligence technology, embodied intelligence has gradually become a highly anticipated frontier field. Based on an analysis of the development history, key technologies, application scenarios and industrial chain of embodied intelligence, it explores the challenges it faces, such as infrastructure supporting facilities, technology, cost, safety and ethics. On this basis, it further proposes solutions to the development predicaments of embodied intelligence by analyzing the comprehensive advantages of communication operators in terms of network, computing power, data, security, and operation. It profoundly reveals the key role that operators play in the field of embodied intelligence, providing new insights for accelerating the formation of new quality productivity and promoting high-quality development.

Keywords:

Communication operator; Embodied intelligence; Integrated development; Technological innovation

引用格式: 范琨, 闵爱佳. 通信运营商在具身智能产业定位研究[J]. 邮电设计技术, 2025(7): 1-7.

0 引言

具身智能是指具有身体的智能,其机器大脑能够帮助决策,从而支配肢体能够快速对外部环境变化做出反应,核心在于实体设备与智能决策的深度融合。具身智能是人工智能(AI)与其他学科交叉融合发展的新范式,是一种强调智能体通过物理身体与环境实

时交互,实现感知、认知、决策与行动一体化的智能形态。随着数字世界的AI算法开始展现出逼近甚至超越人类的思维能力,具身智能有望打开AI从数字世界到物理世界的窗口,在复杂的物理世界中进一步延伸和拓展AI边界,实现“知行合一”^[1]。

随着2025年春晚上身着花袄、手持花绢扭秧歌的人形机器人“福兮”火出圈,具身智能的概念进入大众视野。2025年全国两会期间,“具身智能”首次被写入政府工作报告,并作为未来产业的重要组成部分,

收稿日期: 2025-06-04

标志其正式进入国家战略规划。2025年北京亦庄人形机器人半程马拉松赛事作为全球首次“人机共跑”的突破性赛事,不仅展现了具身智能技术的阶段性成果,更通过极限场景验证、产业链协同和生态构建,成为推动具身智能产业发展的关键催化剂。

通信运营商作为网络强国、数字中国建设的主力军,积极布局和发展具身智能产业既是响应国家战略需求,也是向“科技创新型企业”转型的必然选择。本文通过梳理具身智能的发展历程、关键技术、应用现状以及面临的挑战,分析通信运营商的网络、算力、数据、安全、运营的全要素优势,研判其在具身智能产业发展中的定位,提出其未来发展的思考,旨在为产业研究者和从业者提供有益的参考和启示。

1 具身智能发展概述

1.1 概念内涵

具身智能从字面理解是“具身化的人工智能”,是将人工智能融入机器人、机器狗、无人机、无人车等物理实体,为“大脑”赋予了“身体”,使其拥有像人一样感知、学习和与环境动态交互的能力。它是一种基于物理身体的各类传感设备进行环境感知和开展相应必要行动的智能系统,通过智能体与环境的交互获取信息、理解问题、做出决策并实现行动,从而产生智能行为和适应性。

“具身”是前提,即具有身体且能通过交互、感知、行动等能力来执行任务,具身本体的形态不必限制在外观上的“人形”,同时身体的形态也不能作为判断是否属于“具身智能”的依据。“智能”是核心,随着大模型等AI技术的快速发展,文本、视觉、语音等多模态信息能够被理解和转换。将这些AI技术嵌入到物理实体如机器人上,可显著提升其对环境的感知、交互和任务执行能力^[2]。

具身智能与传统人工智能最大的区别在于它强调物理本体与所处环境的互感互动,而不只是一段程序、一段算法、一个数据处理结果的展示。具身智能通过分布在本体的各类传感器感知环境信息,然后结合AI、端侧算力、云端算力,通过复杂的决策算法规划行动,能以“第一人称”主动进行感知、理解、推理、规划、移动和操作等任务。例如,特种机器人在机房巡检时,需要感知机柜的位置、机房的温度、移动的人员,然后做出避障、调温、外来入侵检测等一系列随机性事件,这一过程充分体现了具身智能“感传算控”体

系化的核心内涵。

1.2 发展历程

1950年,具身智能在图灵的论文《Computing Machinery and Intelligence》中被首次提出,认为人工智能的终极形态是像人一样能与环境交互感知,自主规划、决策、行动和执行的机器人/仿真。在随后的发展过程中,计算机视觉、自然语言处理、机器人学等技术逐步取得突破,为具身智能的实现奠定了坚实基础。1986年,布鲁克斯从控制论的角度出发,提出“包容式架构”,摒弃传统人工智能对符号推理的依赖,主张智能应由身体与环境的实时交互自然涌现,确立了“感知—行动”闭环系统的可行性,成为具身智能的奠基性理念,并认为“真正的智能无法脱离身体存在,具身化是人工智能走向通用化的必经之路”^[3]。

近年来,技术融合浪潮为具身智能注入了强大动能。计算机视觉、激光雷达与深度相机实现了毫米级环境感知,而深度强化学习则使智能体能够在仿真环境中通过数万亿次试错来优化策略。例如,英伟达(NVIDIA)的IsaacGym平台支持百万智能体并行训练,加速了这一过程。OpenAI的Dactyl机械臂凭借触觉反馈成功复原魔方,展示了具身智能在精细操作方面的潜力。PaLM-E多模态大模型更是将语言理解与机器人控制相结合,推动具身智能进入了语义交互的新纪元。2024年OpenAI与人形机器人初创公司Figure合作推出了Figure 01机器人,该机器人能听、会说、能与人类对话交流并且可以执行多样化任务。美国高校联合发布新版“国家机器人路线图”,旨在重振机器人技术领先地位。日本正在将具身智能机器人纳入社会并使机器人成为其社会基础的关键部分,在人口老龄化的背景下持续聚焦机器人应用以升级制造业生产和替代人类服务。韩国出台多项政策推动以机器人和自动驾驶为核心的具身智能技术创新。2025年,我国将具身智能写入政府工作报告,明确为未来产业培育方向,标志政策驱动下的规模化发展^[4-5]。

1.3 关键技术

具身智能是一个复杂的智能体,由硬件本体、各类传感、大脑、小脑智能系统组成。硬件本体是具身智能各项功能的载体,包括四肢、关节、能源系统等;传感系统是具身智能信息的源头,涵盖视觉感知、听觉感知、触觉感知等多模态感知技术;大脑即决策与规划系统,是具身智能智能化的核心,负责根据感

知信息制定行动策略;小脑则是具身智能的运动控制技术,确保智能体能够准确执行决策规划所生成的行动指令。这些关键技术涉及自动化、人工智能、传感器等众多领域的众多企业,各领域技术的协同发展是推动具身智能进步的关键。

大模型技术使具身智能的新进展呈井喷式涌现,大幅提高了机器人的语言交互、环境感知和任务决策等关键能力。例如,VoxPoser模型利用ChatGPT理解任务语言描述并进行任务步骤分解。PaLM-E具身多模态语言模型,将真实世界的连续传感器模态融入大

语言模型(Large Language Models,LLMs)中,构建了文本和其他感知数据之间的语义联系,实现了更全面的环境感知。NaviLLM为导航任务中语言描述、视觉观察对象以及运动轨迹等不同阶段的任务需求设计了统一的指令输入方案,让LLMs能够直接生成运动方向、对象位置等行动信息。GPT-4o多模态大模型赋予Figure 02更强的常识推理与复杂任务的自主执行能力,目前已经能完成叠衣服、工厂装配等任务。具身智能大模型的演进如图1所示。

1.4 应用分析

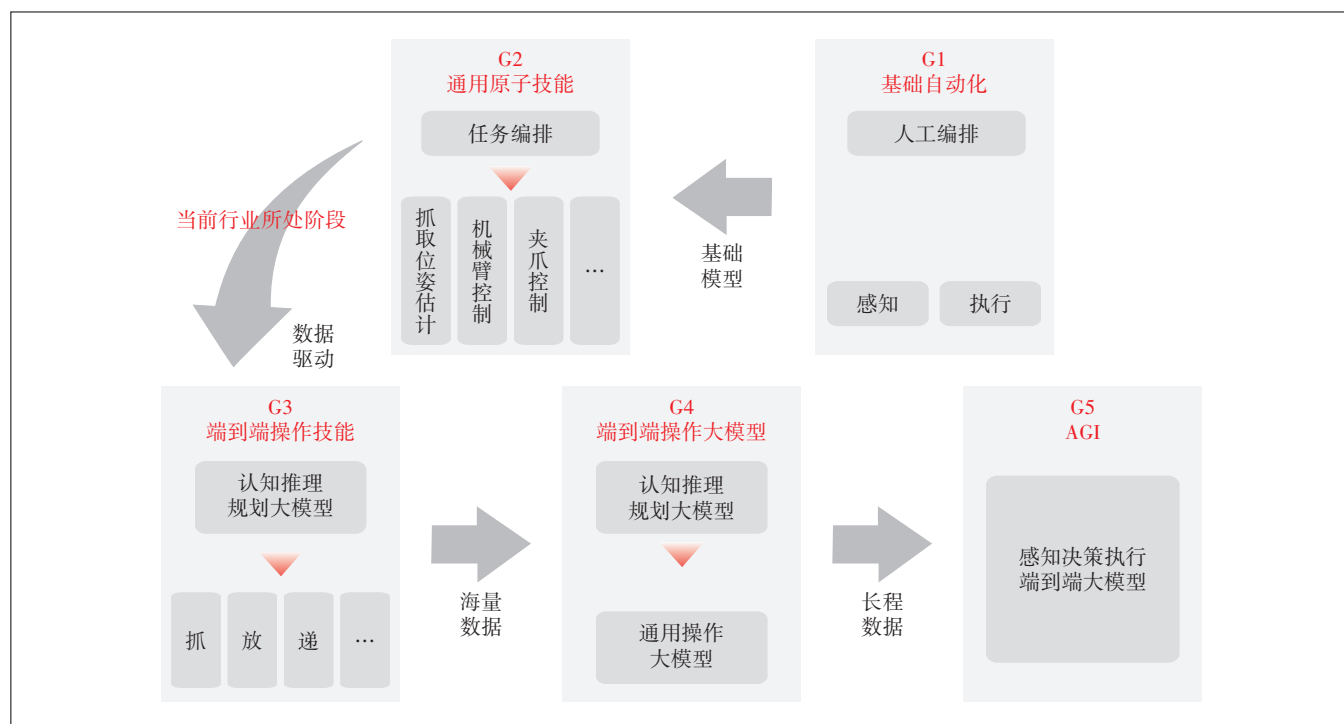


图1 具身智能大模型的演进

具身智能通过模拟人类大脑的“智能”和不同形态的机器人“身体”,将在多个领域释放出巨大的应用潜力,成为迈向通用人工智能的重要一步。具身机器人市场规模预估将在2035年达千亿美元(见图2),预计先在工业制造、商业服务和特种领域商业化落地实施^[6]。

在工业领域中,具身智能机器人主要在流程化作业过程中替代或协助人类完成简单、重复和频繁的长时间作业,如搬运、分拣、焊接、包装、质检等工作。中国是全球最大市场(占比47%),2024年市场达700亿元,出货量预计为48万套,预估每年约以16%的规模稳定增长^[7]。

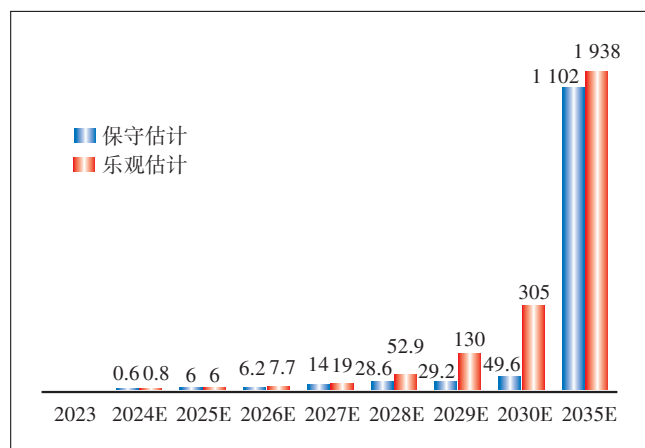


图2 具身智能机器人市场规模预估(单位:亿美元)^[6-7]

在服务机器人方面,该类机器人主要用于辅助人类生活、情感陪护等,如家用服务(扫地、除草、料理)、娱乐教育(玩具、陪伴、教育)、公用服务(送餐、迎宾、物流)等。2024年国内市场增至837亿元,出货量达950万套,近5年增长率为32%,家用(如扫地等)、教育、娱乐等年增长率在50%以上。其中外形类人的机器人能胜任多种应用场景,最被看好。

1.5 产业链分析

具身智能产业链上游为软硬件供应,主要包括芯片、传感器、控制器、电机、通信模组、能源管理、AI算法、云服务等;中游为具身智能产品制造,具身智能的实现方式多种多样,可以根据具体任务和环境需求选择合适的智能实体形态,其中人形机器人作为具身智能的典型代表,被视为实现具身智能的最佳载体之一;下游为应用场景,包括工业制造、服务业、医疗健康、教育娱乐、交通出行、公共安全等^[3]。具身智能产业链如图3所示。

1.6 面临的挑战

1.6.1 基础配套挑战

当前,具身智能机器人项目大多以个位数量级进行交付,且多采用Wi-Fi接入等方式,基本都为定制化贴身服务,未充分考虑规模化后机器人开通、运营、运维等全生命周期的服务保障设施配套。这成为具身智能快速规模化发展需要重点考虑的问题,缺乏完善的基础设施规划建设,将严重制约具身智能产业的大规模推广和应用。

1.6.2 技术突破挑战

具身智能机器人需要感知各类信息源要素,并快速通过端边云协同实现计算、决策。然而,目前不同感知模态之间的信息融合精度和实时性有待提高,智能体在复杂环境中的感知准确性受限。决策规划算法在面对高度复杂、动态变化的环境时,难以兼顾计算效率和决策准确性,且模型的可解释性较差,增加了实际应用的风险。由于各技术环节分属不同领域,如何实现本体、传感、小脑、大脑的良好融合,是需要全产业链协同攻关的难题^[8-9]。



图3 具身智能产业链

1.6.3 成本压降挑战

具身智能设备的研发、生产和部署成本较高。高端传感器、高性能计算芯片以及复杂的算法开发,使得具身智能产品价格昂贵,限制了其大规模普及应用。目前人形机器人售价普遍高达数十万元甚至更高,普通家庭和中小企业难以承受。此外,由于目前机器人大多需要技术人员贴身服务,缺乏远程维护、训练的通用平台,运维和运营成本进一步提高。降低成本成为推动具身智能广泛应用的关键因素之一。

1.6.4 安全伦理挑战

在具身智能设备发展过程中,安全问题是一个潜在的关键性问题,包括数据安全和伦理安全等方面。随着具身智能设备与人类生产生活的日益紧密结合,将有大量数据通过具身智能多模态传感技术被搜集与存储,如何保障数据安全对传输、存储等环节提出了新要求。同时,在智能体执行任务的过程中,相关数据结果的信息化应用可能使其面临道德决策困境,如在自动驾驶场景中,当面临不可避免的碰撞时,应优先保护车内乘客还是行人,这涉及到复杂的伦理问题^[10-11]。

2 电信运营商产业定位

2.1 行业优势

2.1.1 网络优势

通信运营商经过多年的网络建设,蜂窝网络覆盖广泛,无论是城市还是偏远农村地区,都能实现网络信号的有效覆盖。这一优势为具身智能业务的大规模推广提供了坚实的基础。以物流配送机器人为例,它们可以在运营商网络覆盖的区域内开展配送任务,将货物准确送达客户手中。随着5G等高速网络基础设施的覆盖不断完善,其低时延、高带宽、海量连接等显著优势,在远程操控机器人、实时反馈机器人状态等场景中,能够确保指令的快速传输和数据的实时回传,避免因网络延迟导致的操作失误和响应滞后。高带宽则使得机器人能够快速传输大量的多模态感知数据,如高清视频、深度图像等,为智能决策提供充足的信息支持。例如,中国联通已经建成全球规模最大、速率最快的共建共享精品网,移动网络基站数超过459万,行政村移网覆盖率达到99%,5G-A在300多个城市规模商用,实现下行万兆、上行千兆的超高速率,能够为具身智能业务提供优质的网络服务。

2.1.2 算力优势

运营商拥有大规模的数据中心和丰富的算力资源,正在积极构建算力网络,将分布在不同地区的数据中心和算力资源进行整合,实现算力的灵活调度和高效分配,能够为具身智能业务提供强大的计算支持。具身智能涉及大量的数据处理和复杂的算法运算,如机器人的路径规划需要实时计算大量的环境数据,智能决策需要对多模态感知数据进行深度分析。运营商的数据中心具备高性能的服务器和先进的计算设备,能够快速处理这些数据,满足具身智能业务对算力的需求。例如,中国联通正加快IDC向AIDC、通算向智算的升级,建成算力智联网AINet,实现8个国家枢纽和22个省级节点的全覆盖,打造10个超大规模智算集群,部署300多个边缘智算节点,形成算网一体、算电一体的智算体系,为具身智能业务提供了强大的算力保障。

2.1.3 数据优势

通信运营商拥有得天独厚的海量用户生态和数据资源优势,国内三大运营商合计拥有16亿+移动用户、5亿+家庭宽带用户及数亿政企客户,覆盖全年龄段、各行业人群,积累起其他企业难以媲美的用户根基。率先实现数据资产入表成为三大运营商2024年财报中的亮点,数据资产价值日益显现。据统计,2024年,三大运营商数据资源总额达13.66亿元,其中,“无形资产”数据资源总计7.27亿元,“开发支出”数据资源总计6.39亿元,数据价值转化成果斐然^[12-13]。数据资源环比增长,体现出运营商在数据治理、技术创新、商业模式等多维度的能力提升,标志着运营商从“通信服务提供商”向“数据资产运营者”的跃迁。在行业场景数据闭环方面,运营商通过工业互联网平台打通“数据采集—分析—决策”链路,形成闭环优化。例如,中国联通与三一重工合作,通过分析设备振动数据预测故障,停机成本降低30%。面向具身智能领域,联通格物平台实现了人机实时交互与远程高精度操作,平台接入机器人用户数已达4.5万个,其中工业机器人用户数为2.1万个,展现出强大的用户吸引力与市场影响力^[14]。其能力建设涵盖具身(端侧)能力和智能(大脑与小脑)能力两大维度,通过技术升级与设备智能化,全面提升端侧设备能力,并融合多元模型及构建闭环架构推动智能能力升级,为行业智能化发展提供强大支撑^[14]。

2.1.4 安全优势

数据安全和隐私保护是具身智能业务发展中不

可忽视的问题。在工厂、家庭、物流等场景中,具身智能机器人的一系列智能化传感器将不断搜集周边环境信息,很多信息会涉及到用户隐私。通信运营商通过长期的2B、2C、2G各类客户运营过程,在数据安全方面拥有丰富的经验和完善的技术体系。通过采用加密技术、访问控制、数据备份等多种手段,运营商可以防止数据泄露和篡改,保障用户的合法权益,这对具身智能业务的发展具有重要价值,为具身智能设备合规地搜集数据、安全地存储数据、合法地应用数据提供可靠保障,同时也为个性化定制和服务优化提供依据。例如,中国联通作为网络安全现代产业链链长,构建业内技术领先、攻防兼备、场景丰富的安全产品能力体系,形成“云、网、边、端、用、数”等独有安全能力,向超过200家政府及大型企业提供服务。中国联通打造了首款全国产化的网络安全基础编程语言,发布了人工智能内生安全体系,建成央企首家国家级信创实验室,构建“墨攻”平台,打造“平台+组件+服务”的安全运营服务新模式。这些安全能力将成为确保具身智能体长期、可靠、安全运行的核心保障技术。

2.1.5 运营优势

通信运营商拥有成熟的覆盖全国的销售、服务、运维及运营体系。具身智能产业呈现服务高定制、保障高可靠、响应高及时的特点,而目前具身智能企业在运维及运营能力上还处于规划阶段,因此运营商在具身智能运维、运营本地化服务方面具备较大优势。运营商可以从机器人网联、日常巡检及备品备件管理等方面提供支持,甚至结合实际应用就近开展机器人场景化训练,开展相关模式创新。例如,中国联通构建了总部、省分、地(市)及区县四级新型营服体系,拥有庞大的线下营业厅网络和线上销售渠道,不仅为具身智能产品的市场推广和用户触达提供了渠道优势,还能对具身智能机器人提供便捷快速的售后服务,及时处理设备故障,保障机器人的正常运行。

2.2 产业定位

2.2.1 机器人基础设施提供者

运营商可以发挥传统信息基础设施建设和提供者的基本优势,面向具身智能领域为具身智能规模化商用提供全生命周期所需要的必要基础设施建设。在开发阶段,就近建立接近产业聚集地的训练场和中试平台,在训练场和中试平台上探索并形成适配机器人需求的全国性低时延、高可靠、高安全、高算力的基础设施。在服务阶段,保障全程全网的网络覆盖,确

保机器人系统的及时更新和有效监控。在运维阶段,围绕营业网点建设设备品备件仓库,快速提供具身智能机器人敏捷高效的维修服务,为具身智能产业的发展提供坚实的基础设施保障^[15]。

2.2.2 机器人场景整体方案提供者

针对客户场景连接满足需求的机器人,建立基于真实场景和基础设施的训练场、中试平台,面向最终客户交付训练算法+基础设施+平台+业务系统的场景整体解决方案。面向机器人生产企业,提供可靠网络、安全存储、分布式算力服务,保障其机器人基本的运营需求。例如,在智慧工厂场景中,运营商可以整合机器人、网络、算力、算法等资源,为工厂提供一套完整的智能生产解决方案,提高工厂的生产效率和智能化水平。

2.2.3 机器人综合运营服务提供者

发挥属地化服务优势,打造电信级具身智能服务平台,接入纳管场景内不同品牌、形态的机器人,为不同场景的百种千型万机机器人提供全生命周期运营、运维、保养和售后服务。通过该平台,运营商可以实现对机器人的统一管理和监控,及时发现和解决机器人运行过程中出现的问题,提高机器人的运行效率和可靠性,为具身智能产业的健康发展提供全方位的运营服务支持。

3 未来发展思考

3.1 技术创新

结合通信运营商的资源禀赋,加大具身智能领域的研发资源投入,布局一批集团级的科研项目,积极开展关键领域的核心技术攻关。以国家自然科学基金企业创新发展联合基金为重要平台,培育原始创新能力,推进具身智能领域重大基础理论和技术需求的研究,推动与国家科研机构和高水平大学的产学研深度融合。

3.2 产业合作

发挥通信运营商在产业链中的引领作用,加强与具身智能产业链上下游企业的合作,建立紧密的合作关系。打造创新联合体,组织产业链上下游企业开展技术交流、项目合作,共同推进具身智能产业的发展。例如成立具身智能产业联盟,并结合细分领域成立专委会开展深度产业融合。

3.3 标准制定

通信运营商积极参与具身智能行业标准和规范

的制定工作,联合具身智能企业、科研机构、高校等各方力量,共同制定具身智能各领域的统一的标准和规范。通过标准的制定,快速形成产业的“普通话”,加速产品开发对接,规范市场秩序,提高产品质量,促进具身智能产业的高效、快速、可持续发展。

3.4 人才引育

着力引进具身智能领域高层次科技人才,灵活运用团队引才、以才引才,建立基于产学研融合的柔性引才机制,积极探索“双聘双跨”人才共享。开展具身智能领域领军人才、领域专家的遴选,不断锻造高层次科技人才队伍,依托博士后科研工作站,加大对青年科技人才的支持力度和培养资源的倾斜。

3.5 研投协同

充分发挥股权投资支持科技创新的重要作用,面向具身智能领域,锚定研发主攻方向和技术源头,统筹用好直投和基金等方式开展资本布局,融通带动产业链上下游健康发展。与被投资企业开展业务合作与联合攻关,打造在通信运营商内部应用和对外销售拓展的优先路径^[16]。

4 结论

具身智能作为人工智能领域的重要发展方向,为通信运营商带来了新的业务增长点和增长级。运营商凭借网络、算力、数据、安全、运营等优势,在开展具身智能业务方面具有得天独厚的条件,但是也面临着技术、市场、产业生态等多方面的挑战。通过加大技术创新与合作、加强市场培育与拓展、积极构建产业生态等发展路径,运营商有望在具身智能领域取得突破,实现业务的转型升级和可持续发展。未来,随着技术的不断进步和市场的逐渐成熟,具身智能业务将在运营商的业务布局中占据越来越重要的地位,为经济社会的发展做出更大贡献。在发展过程中,运营商应持续关注技术发展趋势和市场需求变化,不断调整发展策略,以适应具身智能产业快速发展的需要^[17]。

参考文献:

- [1] 甲子光年智库. 2025 具身智能行业发展研究报告: 系列报告之一: 具身智能技术与行业应用简析[R/OL]. [2025-05-04]. https://data.eastmoney.com/report/zw_industry.jshtml?infocode=AP202501191642341033.
- [2] 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]. [2025-05-04]. <http://221.179.172.81/images/20240827/19241724745944786.pdf>.

- [3] 36 氪研究院. 2024 年具身智能产业发展研究报告: 大模型赋能, 人形机器人引领具身智能新浪潮[R/OL]. [2025-05-04]. <https://www.shangyexinzhi.com/article/22734635.html>.
- [4] 东吴证券. 人形机器人量产渐进, 建议关注多链条各环节投资机遇[R/OL]. [2025-05-04]. <https://www.163.com/dy/article/JNFMHCGT0556712C.html>.
- [5] 长江证券股份有限公司. 人形机器人月报: OPTIMUS 已在工厂实现简单工作运用 宇树科技发布 G1 人形智能体[R/OL]. [2025-05-04]. https://stock.finance.sina.com.cn/stock/go.php/vReport_Show/kind/industry/rptid/770295475555/index.phtml.
- [6] 华西证券. 人形机器人: 由‘外’到‘内’, 智能革命[R/OL]. [2025-05-04]. <https://www.fxbao.com/detail/4724475>.
- [7] 觅途咨询. 2024 中国工业机器人及减速机产业发展白皮书[R/OL]. [2025-05-04]. <https://finance.sina.com.cn/wm/2024-12-02/doc-incxzsq5501159.shtml>.
- [8] 沙利文. 全球商用服务机器人市场研究报告(2023)[R/OL]. [2025-05-04]. <https://www.frostchina.com/content/insight/detail?id=66b96cfadce2a58aa58ac492>.
- [9] 凯文·J·米切尔. 超凡智能体: 从生命起源到智能体[M]. [出版地不详]: 中译出版社, 2024.
- [10] 刘志毅. 具身智能[M]. 北京: 中译出版社, 2024.
- [11] 甘一鸣, 俞波, 万梓荣, 等. 具身智能机器人系统[M]. 北京: 电子工业出版社, 2024.
- [12] 中国移动有限公司. 2024 年度业绩[R/OL]. [2025-05-04]. <https://reportify.cn/filings/1100139416053223424>.
- [13] 中国联合网络通信股份有限公司. 2024 年度报告[R/OL]. [2025-05-04]. <https://static.cninfo.com.cn/finalpage/2025-03-19/1222833552.PDF>.
- [14] 中国网中国应急. 联通格物®+“具身智能”, 智能引擎再升级, 开启行业变革新征程![EB/OL]. [2025-05-04]. http://yingji.china.com.cn/2025-03/25/content_43063466.shtml.
- [15] 王亚晖. 硅、神经与智能体: 人工智能的觉醒[M]. 北京: 化学工业出版社, 2025.
- [16] 基辛格, 施密特, 胡滕洛赫. 人工智能时代与人类未来[M]. 胡利平, 凤君, 译. 北京: 中信出版社, 2023.
- [17] 赫拉利. 智人之上: 从石器时代到 AI 时代的信息网络简史[M]. 北京: 中信出版社, 2024.

作者简介:

范琨, 毕业于西安电子科技大学, 高级工程师, 硕士, 主要从事网络规划优化、网络新技术实验、科技创新管理等工作; 闵爱佳, 毕业于河海大学, 高级工程师, 硕士, 主要从事产品研发、硬件测试管理、科技创新管理、品牌生态管理等工作。

