GSMA | AI100 人工智能百人会

Mobile AI

具身智能联网化

通向实用化的必由之路

© GSMA 2026。保留所有权利。

免责声明

本文件并非“行业规范”（Industry Specification），亦非由 GSMA 按照《GSMA AA.35 - 行业规范制定程序》（Procedures for Industry Specifications）的相关规定制定或维护。

本文件不代表 GSMA 的官方立场。尽管 GSMA 是本文件的发布方及所有者，但报告中所表达的观点和意见可能仅代表作者本人的立场，未必反映 GSMA 的观点。

本文件按“现状”提供，仅供参考。对于本文件所含信息的准确性、完整性或及时性，GSMA 不作任何明示或暗示的陈述、保证或承诺，亦不承担任何责任。用户使用本文件所含信息需自行承担风险；若因使用该信息而引发任何第三方索赔，由用户自行承担相应责任。对于因使用或依赖本文件而产生的任何直接、间接、附带、特殊、后果性或惩罚性损害，以及任何利润、收入、数据或商业机会的损失，GSMA 概不承担任何责任。

本文件未通过暗示、禁止反言或其他方式授予 GSMA 或任何第三方的任何知识产权许可。未经事先书面许可，本文件中的任何内容均不得被视为授予了使用 GSMA 任何商标的许可或权利。本文件中的任何内容均无意向任何第三方授予任何利益或权利。

GSMA 没有义务更新、修订或补充本文件。GSMA 可随时撤回或修改本文件，恕不另行通知。

反垄断声明

本文件所含信息系根据 GSMA《反垄断政策》（Antitrust Policy）编制：https://legal.gsma.com/wp-content/uploads/2025/11/Antitrust-Policy-October-2025.pdf

摘要

具身智能正从实验室演示走向工厂、物流、能源、商业服务和公共服务等真实场景中的持续运行。然而，单体机器人受本体算力、能源、数据和成本的约束，难以同时满足复杂认知、持续学习、多机协同和全生命周期治理的要求。本白皮书提出“具身智能联网化”研究框架，探讨移动网络、边缘与云计算以及运营平台如何与本体智能形成互补。本白皮书主要面向移动网络运营商和机器人企业，重点关注移动机器人。

白皮书阐述了联网化可以发挥价值的四个方面：大脑与小脑分层协同，按需算力卸载，多机协同，以及可信连接、可信 AI 与功能安全的结合。在上述各方面，网络能力是对本体智能的补充而非替代，安全关键控制仍保留在机器人本体。由于不同场景的需求差异显著，白皮书提出四类组网形态，并建议以端到端任务结果而非单一网络指标来评估性能。

白皮书收录了九个中国产业案例，涵盖工业园区、电网巡检、消防救援、物流、商业服务和大型赛事，展示了当前实践以及网络在各案例中实际发挥的作用。

最后，白皮书提出了供产业讨论的发展方向：按场景规划网络，建设网络与算力一体化基础设施，推进开放接口及 GSMA Open Gateway 等网络 API，构建全生命周期可信体系，将 Responsible AI 纳入治理，开展联合测试，以及探索可持续的商业模式。上述内容为产业研究结论，不代表 GSMA 政策立场或技术规范。白皮书还依据 GSMA 已发布的 AI 就绪政策建议，提出了营造有利于具身智能联网化的政策环境的建议。

目 录

第一章 产业背景与网络底座：具身智能从“炫技”走向“联网作业” 02

第二章 单机边界与通信破局：联网化是具身智能规模化运营的必由之路 05

第三章 具身智能联网化的内涵与技术架构：端—边—网—云协同 08

第四章 具身智能联网化的核心价值 13

第五章 产业实践案例 16

第六章 建设路径与政策建议：构建具身智能联网化基础设施 26

结语 34

附录 术语说明 35

参考文献 36

致谢 38

前言



斯寒
GSMA 大中华区总裁

当前，以大模型、先进计算和机器人技术为代表的新一轮科技创新加速演进，人工智能正从数字世界走向物理世界。具身智能是人工智能与实体经济融合的重要载体，正从实验室技术验证和单机能力展示，逐步走向工厂、园区、能源、物流、商业服务及公共服务等真实场景。衡量其发展水平的标准也随之变化：不仅要能完成一次精彩的演示，更要能在复杂、动态和开放的环境中持续运行、自主决策、协同作业，并创造实际价值。

我们认为，具身智能未来发展方向可以概括为“四化”：自主化、通用化、协作化和实用化。自主化，指智能体能够更加自主地感知环境、理解任务、作出决策并执行行动。通用化，指能力从特定任务、特定环境发展为跨任务、跨场景迁移和复用。协作化，指智能体不再孤立运行，而能与其他智能体、人以及数字化系统高效协同。实用化，指具身智能走出实验室和展示场景，在真实世界中稳定、安全、经济地运行，并持续创造可衡量的价值。

从当前阶段走向“四化”，联网化是具身智能走向规模化运营、持续服务和多主体协同的必由之路。这里的联网化并不意味着所有动作持续依赖远端网络，而是以本地安全自治为基础，将机器人接入更大的智能、运营和治理体系。

真实世界具有开放性、动态性和不确定性。单机的算力、能耗、数据和认知边界有限，难以同时满足复杂决策、实时响应、持续学习、多机协同以及全生命周期治理的要求。通过联网，机器人本体可以与边缘计算、云端模型、行业知识和外部数据相连接，获得更持续、更广泛的智能支持。当机器人之间、机器人与人之间、机器人与数字世界之间实现可信、高效、实时、安全的连接，孤立的“智能个体”才有可能形成相互感知、共享信息、协同执行任务的“智能集群”。当连接进一步与算力调度、模型迭代、安全治理和行业系统结合，具身智能才有可能从技术能力转化为可规模部署、持续运营的生产力。

因此，通信网络的角色也在发生变化。它不再只是传输数据的通道，而是连接机器人本体、边缘计算、云端智能、其他智能体、操作人员和行业系统的重要基础设施。5G、5G-Advanced、Wi-Fi、工业以太网、Mesh 以及面向未来的 6G 等多层次连接能力，可以支持端、边、网、云之间更加灵活的智能分工与协同。

需要说明的是，联网化并不是“为连接而连接”，也不是简单地为机器人增加一个通信模块。它的意义在于打破单体智能的边界，将连接、计算、数据和智能有机结合，为“四化”提供重要支撑。联网化是路径，“四化”是方向。未来具身智能的竞争力，不仅取决于单个机器人能走多远，也取决于整个智能体系能否连接起来、协同起来、共同进化。

这一方向的探索需要多方参与。电信运营商、机器人企业、网络与设备厂商、算力和模型提供方、行业用户、科研机构及标准组织等，都可以在技术架构、接口、安全机制、测试体系和商业模式等方面贡献视角。中国拥有领先的移动通信基础设施、完整的机器人产业链和丰富的行业应用场景，为研究具身智能联网化提供了良好基础。具身智能同时也是全球性的创新命题，中国的产业实践可以为全球移动通信和人工智能生态的相关讨论提供参考。

本白皮书提出“具身智能联网化”这一研究框架，旨在促进移动通信产业与机器人产业围绕连接、计算、协同、安全和规模运营开展讨论与验证。我们希望本文能为产业伙伴的研究与交流提供参考，也欢迎各方提出意见和建议。

道阻且长，行则将至。通向实用化的道路上，GSMA 愿与全球移动通信和机器人产业伙伴携手同行，以连接汇聚智能，以协同释放价值，让具身智能“四化”在全球开花结果，共同绘制智能互联时代的新蓝图。

第一章

产业背景与网络底座

具身智能从“炫技”走向“联网作业”

具身智能正从技术验证走向场景应用。在全球范围内，机器人已开始进入工业制造、仓储物流、能源电力等领域，承担拆垛、上料、装配、巡检、分拣等实际工作。在真实复杂的场景中，远程实时操控、端云协同智能等核心能力对网络时延、传输带宽及覆盖连续性提出了较高要求。通信网络与具身智能的融合，正成为推动其规模化应用的重要路径。

本白皮书的读者对象。本白皮书主要面向两类读者：一是移动网络运营商，帮助其了解机器人对网络、边缘计算和网络 API 的需求；二是机器人企业，帮助其了解联网能力能够提供什么、不能提供什么，以及如何据此设计产品。行业用户、网络与设备供应商、平台企业和标准组织也可参考。本白皮书主要关注移动机器人，例如人形、轮式和四足机器人，它们在不断变化的环境中移动，并受本体功耗、算力和网络覆盖的约束。固定式工业机器人仅在与移动机器人协同作业或共用现场网络时涉及。

1.1 全球动向：具身智能与通信网络走向融合

具身智能已成为越来越多主要经济体政府和产业界的战略重点。各地政策议程日益将机器人和人工智能与数字基础设施、实景测试和标准建设联系起来，机器人企业、AI 开发者、云服务商和移动运营商也在持续加大投入。中国是其中最活跃的市场之一，已在国家规划中将具身智能列为前瞻布局的未来产业，并围绕技术攻关、场景应用、标准体系和实景实训出台了一系列配套措施。

这些议程呈现出一个共同变化：具身智能不再被视为孤立的机器人产品，而被纳入算力、数据、场景、网络和安全协同建设的系统工程。移动通信产业也是这一变化的一部分。运营商正与行业伙伴合作，支撑机器人、无人机、网联汽车及人工智能应用 [24]；ITU IMT-2030 框架也将人工智能、感知与通信的融合列为未来 6G 系统的发展方向 [7]。这些进展共同为具身智能联网化提供了产业与基础设施两方面的动力。

1.2 技术演进：具身智能从单体能力走向多模态、端云协同与群体智能

当前，具身智能正处在由“单项能力突破”向“系统能力融合”演进的阶段。其技术进步已不再局限于机械本体、运动控制或单一算法性能提升，而是逐步形成由多模态感知、具身大模型、实时运动控制、数据闭环和多智能体协同共同构成的技术体系。机器人由执行预设程序的自动化设备，向能够理解环境、理解任务并在开放环境中持续学习和自主行动的智能体演进。

感知由单一传感器走向多模态、高维度和持续在线

机器人需同时处理视觉、深度、激光雷达、语音、触觉、关节状态等多源信息，本质上成为移动的多模态数据采集平台，持续产生大量上行数据，并在异常识别、远程接管等阶段形成突发流量。

决策由规则和专用模型向具身基础模型与 VLA 模型演进

视觉—语言—动作模型将视觉理解、语言指令和动作映射纳入统一模型，推动机器人从执行特定技能向理解自然语言、分解复杂任务和跨场景泛化发展。但模型能力增强意味着参数规模、上下文和推理计算量持续增加，本体受功耗、散热、重量和成本约束，难以无限提升峰值算力，未来更可能形成本体实时自治、边缘低时延推理、云端复杂认知与训练相结合的分层智能架构。

控制由单一时间尺度转向多时间尺度协同

关节伺服、平衡、急停需在本体形成硬实时闭环；环境理解、任务规划、多机调度时间尺度更长。网络需要为本体、边缘和云之间不同时间尺度的智能任务提供相应的连接与保障。

能力进化由“模型交付”走向“数据—训练—部署—反馈”持续闭环

真实世界长尾问题使失败样本、环境数据和运行日志成为模型进化的重要来源。网络需求从一次性接入扩展为高容量回传、模型与技能下发、OTA 升级、版本审计和跨场站数据协同。

系统形态由单机智能向多机器人和异构智能体协同发展

制造、物流、医院、园区等场景同时存在人形、轮式、机器狗、无人车及电梯、门禁等设备。关键能力不仅是单台机器人多聪明，更在于不同设备能否共享位置、地图、事件和任务状态，并动态分工。

因此，具身智能对网络的许多需求源于其自身的技术演进：多模态感知推动大上行，端云协同要求低时延和边缘计算，多机协同要求高可靠、时间同步和连续覆盖，数据闭环要求稳定回传与模型分发，规模化运营要求身份、权限、安全和网络能力可编程。具身智能越向通用化、自主化、协作化和实用化发展，网络越需要作为连接与能力保障基础设施融入智能系统。

1.3 通信网络是具身智能持续迭代的底座

具身智能在多元化场景下对远程操控、多机协同与海量数据回传的网络依赖度较高。具身智能能力的形成不是一次训练、一次部署的静态过程，而是“真实作业—数据回传—失败样本分析—模型训练—仿真验证—版本下发—再作业”的循环。机器人在真实世界中遇到的长尾问题，例如透明包装、柔性物体、反光金属、非标准摆放和临时障碍，难以仅靠实验室数据覆盖。将量产设备变成可管理的数据节点，是把分散在不同机器人上的经验转化为共享能力的关键。

网络在这一闭环中承担三类作用。第一，承载多模态数据和运行日志的回传，使研发团队能够识别失败模式；第二，承载模型、技能和策略的分发，使一台机器人学会的能力可以在审核后同步到同类设备；第三，承载版本、权限和回滚信息，使模型升级不再是人工逐台维护，而成为可灰度、可审计的运营过程。换言之，联网化使机器人从“产品”转变为可持续运营的智能服务节点。

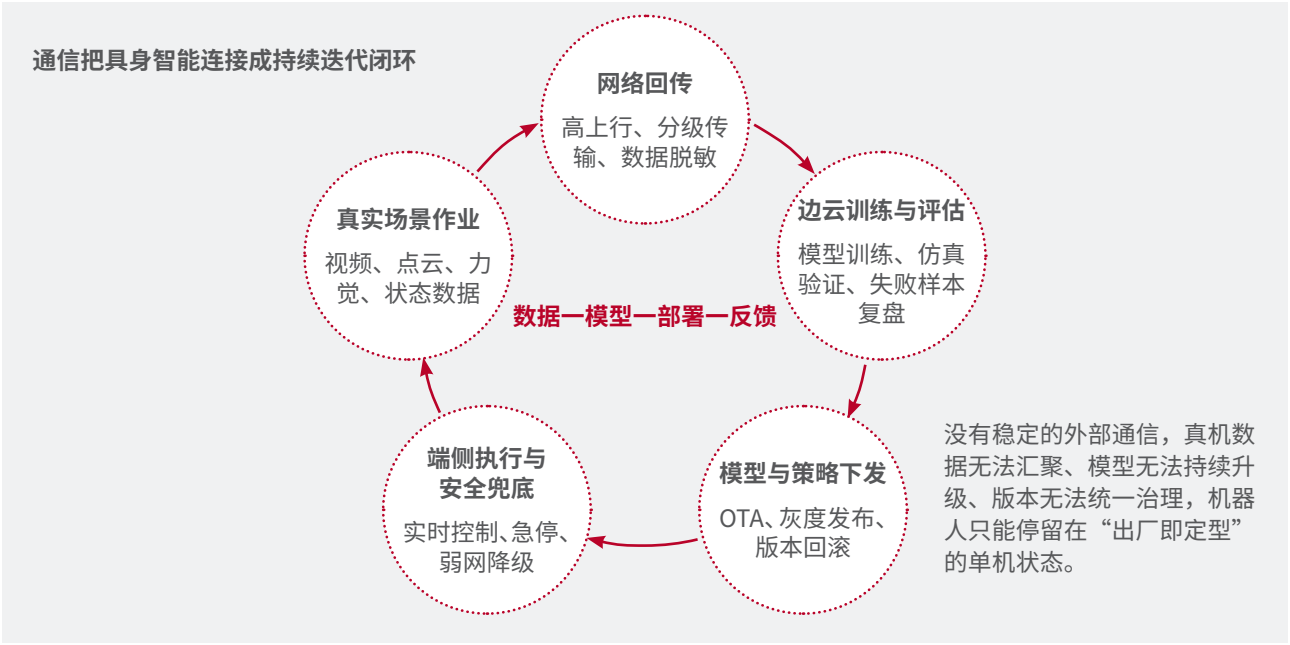

图 1 通信支撑具身智能持续迭代闭环

资料来源：研究课题组根据行业公开资料绘制

第二章

单机边界与通信破局

联网化是具身智能规模化运营的必由之路

当机器人试图摆脱预设程序的束缚，迈向动态、开放的真实应用环境时，终端仍面临“算力、数据、续航、成本”四大瓶颈。

2.1 本体侧四重约束：算力、数据、续航与成本相互耦合

算力天花板

本体的体积、重量、功耗、散热构成硬约束。一台人形机器人留给计算芯片的功率预算通常在数十瓦至百瓦级，而用于云端大模型训练的 GPU 单卡功耗普遍在数百瓦量级。大规格算力会带来显著功耗，影响具身智能机器人的续航，并对散热提出更高要求。

数据孤岛

每台机器人都是一个数据孤岛。它看到的世界、经历的场景、犯过的错误，都无法与其他机器人共享。模型无法持续进化——没有新数据输入，模型就停留在出厂时的水平。

续航约束

算力与续航相互制约。加装高性能芯片意味着更短的作业时间。在工业场景中，续航不足直接导致机器人无法完成一个完整班次的工作。

成本压力

如果每台机器人都独立配置高算力芯片，单体成本将被推至难以规模化的高位。

2.2 网络侧四类结构性矛盾：传统连接尚未完全适配机器人业务

具身智能需要网络，并不等于现有网络已经天然适配。还存在以下四类矛盾：

终端侧连接缺口

虽然中国已建成全球最大 5G 网络，但机器人终端侧的连接仍未打通。多数机器人出厂时不标配蜂窝通信模块，许多机器人仅依靠 Wi-Fi 或本地链路，广域蜂窝联网能力是“选配”而非“标配”。

业务模型的适配不足

具身智能的业务模型与手机业务存在明显差异：上行流量大（手机以下行为主）、脉冲式传输（手机为连续流）、确定性要求高（消费级业务多以尽力而为方式承载）。现有网络对机器人业务的适配仍在初期。

缺乏统一标准 机器人通信协议各行其是，跨品牌、跨机型的互联互通缺乏统一标准。这导致即便有网络，不同厂商的机器人也难以协同。需构建面向具身智能机器人和移动通信的技术体系和标准框架，重点聚焦智能体连接、智能体协作、端网协同等关键领域。

成本顾虑 企业担心加装通信模块增加硬件成本，担心上云带来持续的运营费用，担心网络安全风险。当前量级不足，导致通信模组、芯片等硬件成本难以摊薄，进一步制约了企业“为机器人加装通信能力”的投入意愿。

2.3 问题根源：机器人仍被当作孤立终端，而不是系统节点

算力不足、数据封闭、协同困难和远程管理与安全治理困难，看似属于不同问题，实质上都源于同一架构：机器人被设计为独立完成全部感知、决策和执行的孤立设备。在这种架构下，外部算力无法按需调用，其他机器人无法共享感知和任务状态，运营平台也无法统一管理身份、版本和权限。

优化本体可以缓解单机的性能瓶颈，却解决不了系统层面的问题。更高性能的芯片可以提升单机推理速度，但每台机器人的经验仍然无法与其他设备共享；更大的电池可以延长单机作业时间，但多台机器人之间的任务分配和路径冲突仍需外部协调；更强的本地模型可以提高自主性，但运营方仍然无法远程审计其行为，或在必要时安全接管。数据共享、多机协调和远程治理，都依赖设备与设备、设备与平台之间的连接。具身智能要从单台样机走向大规模生产系统，需要在架构层面作出转变。

2.4 破局方向：从“单机智能”转向“网联智能”

联网化的核心之一，是根据任务的实时性和计算需求，将不同任务放在合适的计算位置，并通过网络连接成协同的闭环。例如，关节伺服、平衡控制和急停等硬实时安全功能必须留在本体；视觉融合、局部规划和现场任务编排可部署在边缘；大模型训练、知识库、长程规划和跨区域调度可部署在云端；身份、权限、日志和版本管理，以及计费等运营功能，可由运营管理平台承担。以上为逻辑功能划分，实际部署可以是分布式的，也可以由多个平台共同承担。

单机问题	网络化解法	工程收益
算力不足	边缘 / 云端按需补充复杂推理与训练能力	按需调用边云算力，本体保留安全与实时闭环
模型停滞	真机数据回传、失败复盘、模型灰度下发	形成数据—模型—部署—反馈闭环
单机孤立	共享地图、位置、任务状态与能力描述	支持多机器人协同和异构设备编排
安全失控	数字身份、接入认证、行为审计、远程接管	使高危和敏感场景可控、可追溯
规模运维困难	远程监控、OTA、告警和版本回滚	降低逐台维护成本，支持批量复制

资料来源：研究课题组整理

需要说明的是，单机可以独立完成部分任务；当业务要求远程监督、多机协同、跨场站运维、持续更新或统一治理时，网络依赖显著增强。因此，联网化的价值主要体现在系统化运营，而不是替代本体实时控制。按网络依赖程度，可将具身智能能力分为三类：

强网络依赖 跨场站运营、远程监督与接管、多机调度、集中运维、模型和凭证生命周期管理、跨主体协同，对规模部署上述功能往往是基础性的；

联网增强 外部知识调用、按需算力卸载、共享学习、高精度定位辅助、非实时模型更新，具有价值，但需依场景、成本和数据边界决定；

必须本地自治 关节伺服、平衡、碰撞检测、急停、基本避障和失联安全状态，不得依赖外部网络连接或远端推理。

2.5 通信基础设施已逐步具备从连接走向赋能的条件

5G 部署逐步成熟，大规模市场先行。目前全球已有众多市场商用部署 5G，但各市场在覆盖、独立组网（SA）部署和网络能力上差异显著，中国是部署规模最大的市场。 截至 2026 年 4 月末，中国 5G 基站达到 500.9 万个，5G 移动电话用户达到 12.62 亿户 [4]。 在具备此类广域覆盖的地区，网络可为机器人跨园区、跨城市和户外移动提供基础连接条件。截至 2026 年 6 月，中国 5G 应用已融入 97 个国民经济大类中的 91 个，应用案例超过 18.2 万个 [5]。

5G-A（5G 演进网络）尚处于部署初期。多个市场的运营商已开始 5G-A 商用部署，其中中国范围最广：工信部 2025 年通信业统计公报解读显示，截至 2025 年底，5G-A 已覆盖中国超过 330 个城市 [6]。在特定部署和测试条件下，5G-A 可提供数百 Mbps 的上行传输容量，并在局域范围内实现毫秒级时延与高可靠性。对具身智能而言，上述能力可与边缘计算结合，为多模态数据回传、移动作业和远程协同提供网络基础。但在多数市场，这些能力尚未广泛可用，部署应以当地运营商实际提供的能力为准。

本章观点

具身智能的规模化运营越来越依赖联网，不是因为本体不再重要，而是因为本体的物理边界无法同时承担复杂认知、持续学习、群体协同和全生命周期治理。

第三章

具身智能联网化的内涵与技术架构
端—边—网—云协同

第二章阐述了联网化的价值。但“联网化”不是简单地在机器人身上装一个通信模块——它涉及架构、连接方式、技术栈的全面重构。本章从概念界定、连接层次、技术架构等多个维度，系统阐述联网化的内涵与技术架构。

3.1 概念界定：联网化不是加装通信模组，而是重构智能分工

具身智能联网化，是在保留本地实时控制与安全自治的前提下，通过蜂窝移动通信、Wi-Fi、工业以太网、Mesh 及其他连接方式，将机器人本体、边缘节点、通信网络、云端模型、其他智能体、人和业务系统连接起来，形成“端—边—网—云”协同的智能系统。其核心不是“所有数据上云”，而是依据任务实时性、安全等级、数据敏感度和算力需求，在端、边、网、云之间进行分级协同、动态调度、持续迭代和安全治理。

联网化不是简单加装通信模块，而是从“单机智能”到“网联智能”的架构转换。本地“小脑”负责即时感知与执行，边缘 / 云端“大脑”负责复杂决策，通信网络为两者提供连接与能力保障（“大脑”“小脑”仅为解释性比喻）。



图 2 具身智能联网化端—边—网—云参考架构

资料来源：研究课题组绘制

联网化要求把任务拆分为多个时间尺度：硬实时安全闭环必须在本体完成；现场低时延任务可由本体与边缘协同；需要大模型、全局知识或群体状态的任务由边云承担；跨班次训练和运营分析则在云端完成。网络是这些时间尺度之间的连接和协调机制。

3.2 具身智能联网化的关键特点：从“传数据”转向“保障任务”

具身智能业务的网络需求特征可归纳为以下六个方面，这些特征决定了传统面向手机业务的网络架构需要针对性增强。第一，上行流量大。机器人是移动传感器平台，多路视频、点云、语音、触觉和状态数据持续产生，上行容量往往比传统手机业务更关键。第二，流量突发。正常巡航时数据量可控，但遇到异常、遥操作或高精度抓取时会突然增加。第三，多模态异构。高清视频、点云、控制小包、日志和模型文件在同一网络混跑，业务包长、周期和优先级差异显著。第四，移动与遮挡复杂。机器人在金属货架、机械臂、人员和设备之间运动，信道会随姿态、位置和遮挡快速变化。第五，尾时延敏感。平均时延较低并不能保证任务稳定，P99/P99.9 时延和抖动更能反映偶发卡顿。第六，信息价值与任务相关。远程急停指令和安全状态上报的价值高于普通日志（本地急停始终在本体完成），关键帧和异常点云的价值高于大量重复原始数据。

传感器配置如何转化为网络需求？具身智能的网络负载首先由“有多少传感器、哪些数据需要离开本体、以什么频率和压缩方式传输”决定。规划阶段应从业务数据源反推带宽。下面给出仅用于方案估算的示例口径，最终应以设备编码参数和现场实测为准。

数据源示例	典型配置 / 假设	规划侧影响
RGB 视频	4 路 1080p 视频；若单路压缩码率约 4–8 Mbps	持续上行约 16–32 Mbps；多机并发时需叠加并考虑 P95/P99 拥塞
深度 / 双目视觉	1–2 路深度或双目数据，按任务选择原始流、特征流或事件流	原始数据上云会显著抬升带宽；优先在端 / 边缘提取特征
激光雷达 / 点云	1–2 套点云设备；是否上传全量点云取决于定位、建图和远程诊断需求	全量回传对上行和抖动敏感；可采用边缘融合、关键帧和异常片段上传
状态与控制	关节、位置、健康状态、任务状态等小包高频数据	带宽占用不高，但更关注确定性、尾时延、丢包和优先级保障
模型 / 日志文件	模型包、回放日志、失败样本批量上传	可容忍较高时延，应与实时控制流量隔离并在低峰传输

3.3 联网化的三层连接：本体—云、本体—本体、本体—人

本体—云端连接，解决“单机能力如何持续扩展”。机器人把经过筛选的感知数据、任务上下文和运行日志上传至边云，由大模型、知识库和算力池完成复杂推理、训练和全局优化，再将模型、技能或任务级指令下发。

本体—本体连接，解决“多台机器人如何共同完成一个任务”。多台机器人通过网络共享环境感知信息、位置和意图，并通过调度平台或对等通信进行任务协商，实现从“单兵作战”到“集群协作”的跃升。群体智能的关键不只是设备同时在线，而是状态语义一致、时间同步、冲突可解和故障可隔离。在应急指挥或大型公共安保现场，不同类型的机器人根据其专用能力可以组成高效协同的群组，实时通信、共享环境信息与任务状态，并在指挥人员授权范围内进行任务协商与分工。

本体—人连接，解决“机器人如何被监督、接管和协作”。在电力、消防、矿山等高风险场景，操作员需要获得高清视频、深度信息和设备状态，并在必要时远程接管。网络在这里同时承担感知回传、控制指令、身份认证和操作审计，决定遥操作能否安全、稳定地进入生产流程。

3.4 四类组网形态：差异化场景需要多样化通信网络

组网层级	典型技术	主要任务	设计重点
本体内部网络	EtherCAT、CAN/CAN-FD、TSN、ROS 2/DDS 等	关节、驱动、传感器与控制器之间的硬实时通信	时延最严、范围最小，必须支持离线运行
现场局域网络	工业以太网 /TSN、Wi-Fi 6/7、5G 专网	工厂、仓库、园区内的边缘推理、任务调度和数据闭环	强调确定性、数据不出域与可运维
广域公网 / 专网	5G/5G-A 公网、行业专网、APN/DNN、光纤专线（园区至云端回传）	跨园区管理、移动作业、云端模型和远程运维	强调连续覆盖、移动性和安全隔离
弱网 / 无网自组网	Mesh、设备直连、临时基站、卫星链路、公共安全应急网络（如 TETRA）	野外勘探、应急救援、灾害现场	强调快速部署、自治协同和失联降级

资料来源：研究课题组根据行业研究报告及公开标准资料整理，包括 3GPP TS 22.104[36]、TS 22.261[37] 及 5G-ACIA 白皮书 [39]

不同网络不是相互排斥的替代关系，而是构成分层组合。例如，汽车工厂可用工业以太网承载固定设备控制，用 5G 专网连接移动机器人，用 Wi-Fi 承载非关键运维终端，再通过专线接入云端训练平台；应急场景则可能同时使用 5G 公网、临时专网、Mesh 和卫星链路。场景选型的核心不是追求技术“先进”，而是满足任务闭环、数据边界、覆盖连续性和成本约束。

典型场景的网络需求参考如下表（典型场景的初始规划假设，非统一标准要求）：

场景	主要网络任务	上行带宽参考	时延参考	可靠性重点	典型组合
工业装配 / 精细操作	本体控制本地化；边缘视觉与任务规划	10—100 Mbps/ 台（视视频与点云配置）[37][38]	任务级 20—50 ms；本体控制更低 [36][39]	99.99% 及以上，关键任务需冗余 [36]	工业以太网 /TSN + 5G 专网 / Wi-Fi 7 组合
仓储物流 / 多机协同	位置、路径、任务状态、视频	1—50 Mbps/ 台 [39][40]	协同 20—100 ms[36]	状态与视频 99.9%–99.99%；安全相关控制环路可能要求高于 99.9999%[36]	5G 专网、Wi-Fi 6/7、边缘调度
能源巡检 / 遥操作	高清视频、仪表识别、远程精细动作	20—100 Mbps/ 台 [37][38]	遥操作 20—50 ms，状态监控更宽松 [37][38]	99.99% 及以上 [36][37]	5G-A 广覆盖 + 边缘 UPF/ 专线 [39]
应急救援	视频、热成像、气体、地图、控制	20—200 Mbps/ 台 [15]	关键控制 20—50 ms[37]	高可靠并需多链路 / 自组网 [37]	5G/5G-A+Mesh+ 临时基站 / 卫星
商业 / 家庭服务	语音、视频、订单、云端技能	5—50 Mbps/ 台	交互 100—300 ms	99.9% 左右，安全动作本地化	Wi-Fi+ 蜂窝备份 / 公网安全通道
数据采集与训练	多路原始视频、点云、日志	50—500 Mbps/ 台或离线批量 [11][38]	秒级可接受 [38]	重完整性和成本	大上行专网 / 光纤 / 边缘缓存

资料来源：综合《具身智能机器人和移动通信技术研究报告（2025 版）》[2]、3GPP TS 22.104[36]、3GPP TS 22.261[37]、5G-ACIA 白皮书 [38][39][40]、公开案例 [11][15] 与工程经验；未标注引用的数值为研究课题组的规划假设。表中为规划参考，须结合现场实测校准；表中可靠性指在时延预算内的端到端传输成功率

商业 / 家庭服务场景还可进一步细分商业、酒店、医院、家庭等。

家庭场景更强调隐私、本地安全和低成本，网络主要承载语音 / 视频交互、模型调用、远程运维和经授权的数据闭环，对断网后的本地自治要求高；酒店场景更强调跨楼层移动、门禁 / 电梯 / 客控系统协同与多机器人调度，需要连续覆盖、身份认证和跨设备接口；医院场景涉及患者隐私、药品 / 物资配送和人机共处，除连续覆盖外，还应强化数据最小化、权限分级、审计留痕和高风险动作人工确认。

3.5 5G、5G-A 与 6G

维度	5G	5G-A	6G（愿景 / 研究阶段）
标准阶段	IMT-2020/3GPP Rel-15 至 Rel-17	3GPP Rel-18 及后续 5G 演进	截至 2026 年 11 月：ITU-R WP 5D 已形成 IMT-2030 技术性能要求草案，有待第 5 研究组（SG5）批准；3GPP 6G 处于 Release 20 研究阶段，规范性标准计划在 Release 21（2027 年 3 月起）制定
核心定位	增强移动宽带、海量连接、低时延高可靠	增强上行、确定性、定位、感知、网络智能与多链路协同	通信、感知、计算、AI 和泛在连接深度融合
峰值速率参考	ITU 最低要求：下行 20 Gbps、上行 10 Gbps（理想条件）	无单一全球统一“峰值目标”，重点在现网能力增强和场景化保障	ITU 愿景示例：50/100/200 Gbps，最终指标仍在形成
空口时延参考	eMBB 4 ms、URLLC 1 ms（空载、小包、空口条件）	通过增强调度、确定性网络和边缘下沉降低尾时延与抖动	愿景研究目标 0.1—1 ms（空口），不等同于应用端到端时延
可靠性参考	32 字节在 1 ms 内成功概率 1-10^-5（ITU 最低要求）	面向工业和关键任务增强可靠性、冗余和故障恢复	愿景研究目标 1-10^-5 至 1-10^-7
对具身智能的主要价值	广覆盖接入、移动连接、基础低时延	大上行、移动连续性、差异化 QoS、定位和边缘协同	通感算智一体、网络原生 AI、智能体通信和全域协作

资料来源：ITU-R M.2410、M.2160 及 2026 年 IMT-2030 技术要求进展与评估进展。[6][7][8]；5G-A 为演进能力概括，不将厂商宣传值视为统一标准

5G 已提供移动连接、QoS 和边缘支持；5G-A 在 Rel-18 及后续版本中持续增强相关能力，但可用性取决于网络和终端部署。截至 2026 年 11 月，IMT-2030 仍处于研究和标准形成阶段，表中 6G 相关数值为愿景或草案要求，目前不宜视为商用承诺或网络指标。

需要特别强调，标准中的空口时延、峰值速率和可靠性是在特定测试条件下定义的理论值，不等于机器人从传感器采集、网络传输、模型推理到动作执行的端到端指标。具身智能项目应以任务成功率为最终目标，将通信、计算、控制和应用时延分解测量，避免把标准值直接定义为所有机器人场景的要求。

其中， 5G-A 相关能力正在基于 Release 18 及后续版本逐步部署，其可用功能和商用成熟度因市场、网络及终端生态而异，在具身智能中的关键能力可包括：

网络能力	对具身智能的作用	核心应用指标
大上行	支持多路视频、点云和真机数据回传	上行峰值 / 保障速率、拥塞时 P95 吞吐
低时延与低抖动	支持遥操作、任务级推理和多机同步	端到端 P50/P99/P99.9 时延、抖动
高可靠	降低关键控制和状态消息丢失	丢包率、连续任务成功率、故障恢复时间
连续覆盖与移动性	机器人在园区、道路、厂站移动时保持连接	切换成功率、短时中断次数、覆盖盲区
边缘计算与本地分流	缩短推理路径、保障数据不出域	边缘计算时延、算力利用率、回传流量减少
差异化 QoS	控制、视频、日志和模型文件分级保障	关键业务抢占效果、拥塞隔离能力
定位与感知增强	辅助机器人定位、轨迹和环境感知	定位精度、更新频率、遮挡稳定性

资料来源：研究课题组整理

5G-A 是 5G 演进阶段，不是一种独立组网模式，其具体能力取决于 SA 部署、频谱、终端能力、核心网、RAN 配置、边缘部署和运营商商用能力。机器人项目不能仅依据“5G-A”品牌名称验收，必须按端到端 KPI/SLO 和现场测试验收。

3.6 端到端 KPI 分层：从网络指标走向任务指标

具身智能项目不能用单一空口指标替代系统体验。建议把测量对象分为无线接入、传输与核心网、边缘与云、机器人系统、任务和运营六层，并建立从网络异常到任务结果的关联分析。所有指标都应同时定义测量点、统计窗口、分位数、并发负载和异常条件。

层级	建议指标
无线接入	RSRP/RSRQ/SINR、上行吞吐、空口时延、丢包、切换中断
传输与核心网	RTT、抖动、路径可用性、UPF 及边缘路径时延
边缘与云	排队时间、推理时间、资源利用率、冷启动时间
机器人系统	感知到决策时延、决策到动作时延、状态同步误差
任务层	任务成功率、人工接管率、安全停机率（因网络或系统异常触发的安全停机占任务数的比例）、单位任务成本
运营层	故障恢复时间、版本发布成功率、跨场站复制周期、SLO 达成率

第四章

具身智能联网化的核心价值

4

端—边—网—云协同的架构为具身智能联网化提供了技术基础，但其真正的产业价值在于转化为具体的生产力提升。第四章将论证联网化为具身智能带来的四大核心价值。

4.1 核心价值一：大脑与小脑分层协同，让复杂智能持续升级

联网化的作用，是把“大脑”和“小脑”连接成分层协同系统，而不是用云端取代本体。小脑位于本体，负责运动控制、安全状态和失联保护；现场边缘节点承担多模态融合、局部地图、视觉推理和低时延任务规划；云端大脑承担大模型、知识库、长程规划、模型训练和全局优化。机器人向上发送与任务相关的状态和感知，边云向下返回任务级策略、目标位姿或技能调用，本地控制器再将其转换为连续动作。

从产业价值看，大小脑协同使机器人能力不再被某一代本体硬件永久锁定。模型和知识可以在边云持续迭代，本体通过接口调用新能力；同一套大脑能力也可以适配轮式、双臂、人形等不同形态，降低重复研发成本。更重要的是，它为“智能能力持续升级”建立了工程路径，使机器人从一次性交付的设备转向可长期进化的生产工具。

如 2.4 节所述，安全关键闭环绝不能依赖外部网络；网络中断时机器人应进入减速、暂停、返航或安全姿态，而不是继续执行缺乏监督的高风险动作。

4.2 核心价值二：按需算力卸载，优化终端成本与能耗

联网化提供的不是简单“把计算搬到云上”，而是按任务时效和数据敏感度，依照 2.4 节所述的分工进行分层卸载。网络还可以支持模型切分、特征传输、缓存和动态调度，使计算位置随网络状态、任务负载和电量变化调整。

经济性必须以总体拥有成本衡量。算力卸载能够减少本体峰值配置、提高硬件复用和延长产品生命周期，但也增加网络建设、边缘服务器、云算力、流量和运维费用。项目应比较单位任务成本、机器人有效工时、人工接管比例和故障停机损失。只有当共享算力带来的利用率提升和运维效率超过新增网络成本时，联网化才能构成规模化量产的经济学基础。

TCO 维度	主要构成	联网化优化方向
本体成本	芯片、内存、散热、电池、结构加固	减少峰值配置，但保留安全与基础自治算力
网络成本	模组、专网 / 公网、AP、流量、专线	按场景分级，避免所有业务使用最高保障等级
边云成本	边缘服务器、GPU、模型调用、存储	共享池化、弹性调度、冷热数据分层
运营收益	有效工时、任务成功率、人员节省、停机减少	以单位任务成本和回收周期验证

资料来源：研究课题组整理

4.3 核心价值三：多机协同与群体智能

联网化把多台机器人从“同时存在”变成“共同作业”。其技术链条包括：统一身份和能力描述，让平台知道每台机器人能做什么；共享地图、位置和任务状态，减少重复感知和路径冲突；通过任务编排进行角色分配和动态重规划；通过时间同步和优先级机制保障关键协同消息；在故障时进行任务转移和局部隔离。群体智能因此不是简单增加设备数量，而是通过网络形成系统级感知和决策。

产业意义

联网化使具身智能的价值单位从“单台机器人”提升为“整个作业系统”。当感知、任务和能力可以共享时，一台机器人采集的信息可以服务多台设备，一台设备故障也可以由其他设备接替，系统弹性和资产利用率随之提升。

4.4 核心价值四：可信连接、可信 AI 与功能安全共同构成规模部署的信任底座

当具身智能机器人由实验室和展示场景进入工业制造、能源电力、应急救援、医疗服务、商业空间和家庭环境后，安全问题已不再局限于本体碰撞和机械故障，而是进一步扩展至设备身份、网络接入、数据流转、模型决策、权限控制和远程操控等多个环节。机器人一旦成为能够自主感知、决策并作用于物理世界的智能体，其安全边界也由单一设备安全扩展为跨设备、跨网络、跨模型和跨平台的系统性安全。

具身智能规模化部署首先要求机器人具备“可识别、可限制、可接管、可追溯”的基本能力。可信连接解决“谁可以接入、数据在传输过程中是否被篡改”的问题，但无法保证数据在源头的准确性；可信 AI 约束模型决策和自主行为；功能安全则保证在网络、模型或平台异常时，本体仍能够进入可控、安全状态。

可信连接通过设备数字身份、双向认证、加密传输、完整性保护和权限隔离，防止未经授权的设备和人员进入控制链路；需要强调的是，认证不等于授权，设备成功接入网络并不意味着获得开门、操作高压设备或接管机器人等动作权限；可信

AI 要求高风险任务中的模型输出经过规则、安全控制器或动作可行性校验，并在置信度下降、场景超出训练分布或连续执行失败时触发暂停、重新感知或人工接管；功能安全则要求关节伺服、碰撞检测、急停、速度限制、空间限制和失联保护等硬实时安全闭环保留在本体侧。机器人本体安全设计和验证应依据适用的机器人及机械安全法律、标准和场景要求开展；工业机器人场景可结合 ISO 10218-1:2025 和 ISO 10218-2:2025 评估（ISO 10218-2:2025 已纳入原 ISO/TS 15066 中协作应用的相关要求）；上述标准主要面向工业机器人及协作机器人场景，不应直接泛化为家庭、公共服务、医疗或其他非工业机器人的统一安全标准；本文不替代任何适用功能安全标准。

安全能力应从系统设计阶段同步纳入本体、网络、边缘、云端和运营平台架构，并在高风险场景中明确自主执行、平台调度、人工接管和安全停机之间的优先级。

本章观点

四大价值并非相互独立，而是共同构成具身智能规模化发展的系统能力：大小脑分层协同扩大单机智能边界，按需算力卸载提升资源利用效率，多机协同推动机器人由单体设备走向作业系统，可信连接、可信 AI 与功能安全则共同建立规模部署的信任底座。四者均以通信网络、算力、数据和运营平台的协同为基础，并最终指向具身智能的可用、可复制、可运营和可治理。

第五章

产业实践案例

在第四章从四个维度论证联网化价值之后，本章进一步以产业实践案例检验这些价值在真实场景中的呈现方式。需要说明的是，不同案例中联网化对最终业务结果的贡献程度并不相同。本章按可归因程度将案例分为三类：

A类 是联网能力与业务结果具有较直接测量关系，公开了网络指标与任务结果；

B类 是联网系统必要组成，承担回传、监督、调度和通信保障，但尚难单独量化其贡献；

C类 是主要展示端侧感知、推理、运控和算法能力，对联网价值更多体现为需求启示。

需要说明，A/B/C 分级反映的是联网能力与业务结果之间的可归因程度，并非对来源可靠性的评级。各案例数据来自所列公开报道或项目方披露，未经 GSMA 独立验证；指标的测量起止点、网络负载、终端数量、分位数和统计窗口以原始来源为准。案例的收录不代表 GSMA 对任何企业、产品、服务或解决方案的认可或推荐；文中出现的企业和产品名称仅用于指明所引来源中描述的案例。

5.1 实践案例一

B类

5G-A 多机器人专网——以边缘算力支撑按需卸载

要素	内容
项目全称	EasyOn·Robot 5G-A 多机器人专网解决方案
参与主体	中国电信、中兴通讯、卓益得（DroidUp）、智元机器人（AgiBot）
网络连接	现场部署 5G-A 专网，配合中兴 NodeEngine 边缘计算板卡；机器人将传感器、位置和状态数据上传至现场边缘，用于定位和任务编排。
公开时间	2025 年 12 月 GSMA Foundry 案例发布
部署 / 验证形态	多机器人娱乐协作、无人便利店等场景
案例来源	GSMA Foundry 官方案例 [12]

项目概况与现实痛点

GSMA Foundry 发布 EasyOn·Robot 5G-A 多机器人专网案例。该方案由中国电信、中兴通讯、卓益得（DroidUp）与智元机器人（AgiBot）联合推进，据案例介绍，已在多机器人娱乐协作、无人便利店等场景开展试点验证。此类场景需要多台机器人持续上传高清视觉、定位和状态数据，并由现场平台完成推理、定位与任务编排；如果完全依赖本体计算，不仅需要为每台设备配置更高峰值算力，也难以形成跨设备共享的数据与任务闭环 [11]。

联网与边缘协同方案

EasyOn·Robot 以 5G-A 专网连接不同类型机器人，并利用中兴 NodeEngine 边缘计算板卡把必要的 5G 能力与现场边缘计算结合起来。机器人将高分辨率传感数据、位置和运行状态上传至现场边缘侧，边缘平台完成高精度定位、任务编排和数据处理后，再向机器人下发任务与协同信息。高流量、低时延业务因此能够在园区内形成短闭环，复杂计算由共享边缘资源承接，而关节控制、平衡和安全保护仍留在本体侧，形成“本体保实时、边缘补算力”的分层结构。

公开成效

指标类别	公开结果
技术性能	总上行吞吐最高 2 Gbps；单机器人上行保障 200 Mbps；空口时延 <10 ms；网络可用性 99.99%（厂商口径）[11][12]。
业务能力	支持多机器人娱乐协作，以及无人便利店入场、推荐、自助结算、商品配送等流程。
部署价值	据案例介绍，边缘板卡将网络能力与现场边缘计算结合，缩短高流量、低时延业务处理路径。
架构价值	本体保留实时与安全闭环，复杂感知、定位和任务编排可调用共享边缘算力。

案例启示

该案例说明，具身智能的算力卸载不是简单“把模型搬到云上”，而是把不同时间尺度的计算放到最合适的位置：本体保留硬实时与安全闭环，边缘承担高带宽感知处理、定位和任务编排，云端再承担更长周期的模型训练与运营分析。

B类

5.2 实践案例二：5G-A 具身智能机器人电网巡检——远程安全管控的端到端示范与效率提升

要素	内容
项目全称	5G-A 具身智能机器人电网巡检应用示范 [15]
参与主体	广东电网、中国移动、乐聚机器人、北京通用人工智能研究院
网络连接	中国移动 5G-A 覆盖运行中的变电站，承载高清视频和状态上行以及基于 VR 的远程操控。部署方式（独立专网、网络切片或共享公网）未公开。
落地时间	2025 年 11 月公开发布
应用场景	真实电网厂站巡检、110 kV 间隔控制柜操作、10 kV 馈线柜验电
核心作业	户外设备测温、仪表 / 开关状态回传、VR 远程精细操作

项目概况与现实痛点

2025 年 11 月，广东电网、中国移动、乐聚机器人、北京通用人工智能研究院联合发布 5G-A 具身智能机器人电网巡检应用示范。机器人进入真实电网厂站，承担户外设备测温、110 kV 间隔控制柜操作、10 kV 馈线柜验电等任务。传统人工巡检需要进入高压设备区域，而仅依赖机器人本地自主判断又难以覆盖所有复杂设备状态；因此，场景真正需要的是“机器在前线、人在安全距离外”的实时监督与精细接管能力。

联网与远程接管方案

机器人本体负责移动、感知与动作执行，5G-A 提供厂站范围连续连接、稳定大上行以及项目方所称的毫秒级低时延、高可靠通道；头部和腕部摄像头把仪表读数、开关状态等第一视角信息回传后端，操作人员可借助 VR 设备进行远程复核和精细操控。在 110 kV 间隔柜操作、10 kV 馈线柜验电等环节，远端动作可由机器人 1:1 复现。网络因此不仅上传视频，还把状态回传、人工判断、控制下发和操作留痕串成一条安全闭环。



图 3 5G-A 电网巡检案例架构抽象

资料来源：根据新华社财经公开报道绘制 [14]

公开成效

指标类别	公开结果
技术性能	项目方称稳定大上行、毫秒级低时延和高可靠；支持远端动作 1:1 映射。
业务效率	项目方披露巡检效率同比提升 84%（公开资料未说明基线、统计周期和样本）[14]。
安全价值	据项目方介绍，操作人员在安全距离外完成 110 kV 间隔柜操作和 10 kV 馈线柜验电，实现人与高压环境物理隔离。
运营价值	高清视频回传、远程复核与精细接管结合，旨在使机器人承担高风险、重复性任务。

案例启示

高危场景的目标不应是盲目追求完全无人，而应优先建立“机器人前线作业 + 人员后方监督 + 异常远程接管”的安全生产范式。工程复制时，应同步设计全域覆盖测绘、关键任务 QoS、视频与控制业务分级、操作日志、失联安全动作以及高风险操作两次确认，让远程接管从演示功能变成可审计的生产制度。

B类

5.3 实践案例三：
中国移动 5G-A 消防救援示范——极端环境下的远程安全闭环

要素	内容
项目全称	“业界首个 5G-A 具身智能人形机器人训练场及消防救援应用示范”（项目方发布名称）[15]
参与主体	中国移动研究院、中国移动江苏公司、苏州市吴江区消防救援局、华为、乐聚机器人
网络连接	训练场部署中国移动 5G-A，实时视频与全量数据分通道上行，采用上行增强（多载波聚合、补充上行）和基于优先级的保障。据报道提供端到端专属通信保障；底层网络为公网还是专网未公开。
落地时间	2026 年 6 月
应用地点	江苏省苏州市吴江区
核心任务	火源识别、清障、阀门操作、远程遥控
案例来源	中国移动研究院公开资料、苏州日报报道 [15][16]

项目概况

2026 年 6 月 22 日，中国移动联合苏州市吴江区消防救援局及产业合作伙伴在苏州发布 5G-A 具身智能人形机器人训练场及消防救援应用示范。

据项目方介绍，传统消防应急场景中，Wi-Fi 存在干扰大、上行带宽有限、传输时延高、并发数量少等痛点，难以支撑多机器人同步大规模数据采集。钢筋混凝土阻隔、浓烟粉尘干扰会造成画面卡顿和控制延迟，甚至导致设备失联。

技术方案部署

训练场部署 5G-A“实时视频 + 全量数据”双传输通道网络方案，实现数据采集、存储落盘、实时回传一体化协同。项目方披露，训练场单路视频上行约 24 Mbps、非实时数据上行最高 150 Mbps，并形成超过 60 万条真机训练数据；消防演练阶段上行链路约 15–20 Mbps，用于现场视频、状态回传与远程操作 [15]。上述指标来自特定示范环境，测量端点、统计窗口及网络对任务成功率的独立贡献尚未公开。

据项目方介绍，演练中 5G-A 网络为消防机器人提供端到端专属通信保障，主要包括三方面网络能力：

一是网络上行增强。通过多载波聚合、补充上行等增强技术，满足机器视觉识别、精细化作业研判的数据带宽要求。

二是网业精细感知。实时监测业务流量波动与传输需求变化，按需调度网络资源并定向保障。

三是基于优先级的网络保障。区分业务优先级，优先保障关键数据的低时延、高可靠传输，支撑机器人本体与远程操作的 1:1 映射。

案例启示

当环境存在高温、浓烟、视线受阻和突发障碍时，网络需要同时支撑“看得见、控得住、失联能降级”。对消防、矿山、危化和灾害救援而言，可复制的不是某一个带宽数字，而是“机器人前探—多模态回传—后方研判—远程接管—本体安全兜底”的闭环设计。

B类

5.4 实践案例四：
十五运会“夸父”5G-A 机器人火炬传递——展示“大脑－小脑”分层协同

要素	内容
项目全称	第十五届全国运动会 5G-A 人形机器人火炬传递
参与主体	中国移动、乐聚机器人；哈工大、北京通用人工智能研究院等生态伙伴提供技术支持
网络连接	中国移动沿火炬传递路线的现网 5G-A（2.6 GHz+4.9 GHz 双频组网，优化 20 余个站点），采用业务感知调度、关键数据包优先保护和本地分流。未报道另建独立专网。
落地时间	2025 年 11 月 2 日
部署规模	沿线 20 余个 5G-A 站点优化；1 台“夸父”完成约百米传递
应用场景	国家级赛事、户外动态移动、人机火炬交接
案例来源	中国移动及中国移动研究院公开资料 [9][10]

项目概况与现实痛点

任务发生在开放户外环境，机器人既要依靠本体“运动小脑”处理步态、平衡、负载和关节姿态，又要持续回传第一视角画面与运行数据，并接受云端 / 中控侧任务决策和异常处置，因此同时考验本体自主性与广域移动连接。

“本体小脑 +5G-A+ 云端大脑”协同方案

项目没有把奔跑和平衡控制搬到远端，而是由本体侧升级运动控制“小脑”，负责实时步态与姿态闭环；5G-A 侧采用 2.6 GHz+4.9 GHz 双频组网，并对沿线 20 余个站点进行分圈分层优化，承载高清视频、关节姿态、控制指令等多类型数据 [9][10]。据项目方介绍，网络侧通过业务特征感知、资源智能调度、本地分流、关键包重保等机制，为任务级信息交互和远程保障建立稳定通道。

机器人完成火炬传递是本体控制、现场调试、任务编排和网络保障共同作用的结果，现有公开材料不足以量化网络对步态稳定或任务成功率的独立贡献 [9][10]。

公开成效

指标类别	公开结果
基础事实	无技术人员陪跑、无手持遥控器现场跟随；机器人完成约百米火炬传递，并持续承载 1.6 kg 火炬。
网络部署	2.6 GHz+4.9 GHz 双频组网；沿线 20 余个 5G-A 站点分圈分层优化 [9][10]。
业务结果	完成起步、奔跑、挥手、交接等连续动作，第一视角超高清画面实时回传。
系统价值	本体运动“小脑”保持实时闭环，5G-A 承载多模态数据与云端决策下发，形成分层协同。

案例启示

火炬任务说明，“大脑—小脑协同”首先是一种正确的系统分工，而不是把所有控制都交给云端。面向户外巡检、园区配送、文旅服务等场景，可以复用“本体实时自治 + 网络连续覆盖 + 云端任务能力 + 远程保障”的结构，并在路线部署前完成覆盖、切换和拥塞测试，同时预设失联后的减速、暂停或安全姿态。

B类

5.5 实践案例五：
中国电信“灵思大脑”—— 异构机器人的协同调度

要素	内容
项目名称	“灵思大脑”机器人群体智能调度服务 [13]
实施主体	中国电信天翼物联及生态机器人厂商
网络连接	机器人接入天翼物联 AIoT 平台和 RaaS 平台，由平台承载事件上报、位置与状态同步以及“灵思大脑”的任务调度。公开演示中展示了 5G 联网的服务机器人；商用部署现场的接入技术和网络拓扑未公开。
公开时间	2024 年 12 月
落地范围	广东广州、四川达州、江苏苏州等园区企业
平台架构	天翼物联网 AIoT 平台 + RaaS 服务平台 + 星辰 AI 大模型 + “灵思大脑”
应用场景	大型楼宇、医院、核心机房等场景的配送、巡逻、清洁协同

项目概况与现实痛点

2024 年 12 月，中国电信天翼物联公开“灵思大脑”机器人群体智能调度服务，据企业介绍，已在广东广州、四川达州、江苏苏州等园区企业落地。其针对问题是：园区、楼宇和医院往往同时采购配送、清洁、巡逻等不同品牌和类型设备，各自拥有地图、接口与后台，容易形成“每类机器人一套系统”。设备越多，跨任务协作和运营调度反而越复杂。

AIoT+ 大模型 +RaaS 统一调度方案

据天翼物联介绍，“灵思大脑”提供机器人统一管理、定制和群体智能调度能力，并通过“快闪”交付系统支持部署。公开演示中，配送机器人发现卫生问题后定位问题并召唤清洁机器人处理；医院场景中，巡逻机器人承担安全巡查，配送机器人负责药品和物资运输。网络承担事件上报、位置与状态同步、任务下发，使不同机器人在同一个任务闭环中相互“发现”、相互“召唤”。

公开披露的落地情况

据公开资料，“灵思大脑”已在广州、达州、苏州等园区企业落地，显示“统一连接底座 + 统一能力管理 + 群体调度”已开始从展台概念进入园区业务。这个案例最能支撑第三项价值——多机器人协同：群体智能并不要求每台设备拥有同样的硬件和模型，而是要求不同机器人能够共享事件、位置、任务和能力状态，由公共平台完成跨设备任务编排。大型楼宇、医院和核心机房等场景都可以据此把配送、清洁、巡逻等单点能力组合成连续流程 [13]。

案例启示

多机协同的真正瓶颈往往不只是无线速率，而是“能否听懂彼此”：身份、能力、地图、事件、任务和状态必须形成公共语义。因而联网化下一阶段的重点，是在连接之外建立跨品牌的能力描述、任务接口、事件模型、状态码和权限体系，使平台能够判断“谁能做什么、现在在哪里、是否有权接单”，让机器人数量增加真正转化为系统生产力。

5.6 实践案例六：星动纪元在中国邮政、顺丰物流现场的应用——柔性供件与规模化路径

C类

要素	内容
项目名称	星动纪元具身智能机器人物流分拣与供件应用
参与主体	星动纪元、中国邮政、顺丰等物流企业
网络连接	未公开。公开资料提及与现场系统协同及作业数据采集，但未说明机器人接入技术、网络拓扑及实测上行速率、时延或可靠性；未确认对 5G 的具体依赖。
应用地点	中国邮政广州邮区中心及中国邮政、顺丰等物流作业现场
部署范围	据公开材料，相关合作已覆盖华北、华东、华南等区域 10 余个物流中心
典型任务	包裹抓取、翻面、面单朝向调整、分拣与供件
案例来源	星动纪元公开披露、海淀报、新华社公开材料 [17][18]

项目概况与现实痛点

快递物流供件环节具有作业频次高、重复劳动强、包裹差异大等特点。软包、纸箱等货物在尺寸、材质、形态和面单位置上存在差异，要求作业设备在连续运行中完成识别、抓取、姿态调整与准确投放。传统自动化设备对标准化物品处理效率较高，但面对非标准包裹和复杂操作，仍需要人工补充。

据公开报道，在中国邮政广州邮区中心，星动 M7 机器人承担包裹抓取、翻转及供件任务，将面单调整至朝上后投放到输送设备，探索以柔性操作能力补充既有自动化系统。

具身操作与现场系统协同方案

面向规模化应用，联网化的价值在于连接机器人、现场物流设备与运营系统。其建设路径包括三个方面：一是作业协同，通过设备状态、供件节拍与异常信息交互，提升机器人与输送、分拣设备之间的配合效率；二是数据闭环，将复杂包裹处理、抓取失败及异常处置等数据用于模型优化，经测试验证后部署至现场设备；三是规模运维，通过设备状态监测、故障诊断和版本管理，支撑多场站设备的统一维护与能力迭代。

该场景呈现出从单机自主操作向产线系统协同逐步演进的路径。现阶段，机器人已开展真实物流环境下的自主供件作业；整套设备系统的数据互通与作业联动，则属于后续建设方向。随着现场接口、数据闭环和运营管理能力逐步完善，机器人可能进一步融入物流生产体系，从而支持跨场站复制与规模化部署。

公开成效

指标类别	公开结果及适用范围
现场作业	广州邮政现场已展示包裹抓取、翻面、面单朝上投放等连续操作。
作业效率	广州邮政案例公开报道披露，最高供件效率可达 1200 件 / 小时 [17]。
部署范围	公开材料披露，与中国邮政、顺丰等合作已覆盖 10 余个物流中心 [18]。
推广基础	公开材料显示应用已由单点扩展至多个物流场站；跨场站的可复制性尚未经独立评估。

案例启示

当这些环节逐步贯通，单个工位的能力提升便有机会转化为多个场站的共同收益，推动规模扩张与系统优化相互促进。

5.7 实践案例七：

（数据治理案例，不评级网络归因）

商业服务机器人的隐私优先设计——企业介绍的数据保护做法

要素	内容
项目名称	商业服务机器人隐私与数据保护做法（企业介绍）
实施主体	云迹科技
部署范围	酒店等商业服务场景；境外本地化服务与高保密客户局域网部署 [19]
网络连接	高保密客户可在其本地局域网内运行；部分海外部署采用独立的区域或本地服务器。机器人侧接入技术未公开；上述属于数据托管安排，而非接入网设计。
应用场景	酒店客房等高度私密空间的服务运行；跨境多法域数据保护要求

项目概况与现实痛点

商业服务机器人进入酒店客房等私密空间时，客人可能担心导航避障用的摄像头是否在拍摄自己、数据是否会被上传并滥用；境外运营还需满足不同法域的数据保护要求。云迹科技在公开采访中介绍了其应对做法 [19]。

企业介绍的隐私保护措施

据企业介绍，其措施分为三个层面。终端侧，摄像头角度经过专门设计，客房门打开时或处于敏感区域时摄像头自动转向或关闭，数据加密传输；数据生命周期方面，运行中采集的脱敏环境日志设定较短的保存期限并定期删除；跨境运营方面，部分境外市场部署独立的区域云服务器。据企业介绍，这些部署旨在将相关运营数据保留在当地部署环境内，而不是常规性地回传至境外的中心平台；对保密要求较高的客户，系统可在客户局域网内运行 [19]。上述内容来自企业公开披露，不构成对任何产品满足特定法域监管要求的独立验证，本案例也不评估网络性能对任务结果的贡献。

案例启示

企业介绍的做法体现了联网服务机器人隐私优先设计的思路：先定义“不采集什么”，再定义数据如何传输、存储和删除。采集边界的物理约束、数据最小化与定期删除、跨境运营的本地化部署，都是其他部署可以参考的做法，但仍需对照当地要求核实。

C类

5.8 实践案例八：MWC 上海点球大战——动态场景下的具身智能系统能力展示及对网络需求的启示

要素	内容
项目名称	MWC26 上海“人形机器人点球大战”
组织方	GSMA（全球移动通信系统协会）主办；AI 百人会、中国人工智能产业发展联盟（AIIA）及新华网参与组委会
网络连接	感知、推理和运动控制闭环在本体运行，且禁止远程操控。公开赛事资料未显示参赛机器人使用 5G/5G-A，也未显示竞技控制依赖移动网络。
项目时间	2026 年 6 月 24 日至 25 日
举办地点	上海新国际博览中心 N4 馆
参赛规模	8 支参赛队伍，主要比赛于 6 月 24 日至 25 日完成 [20][21]
案例来源	GSMA 官方公告、新华社公开报道 [20][22][22]

项目概况

2026 年 6 月 24 日至 25 日，MWC26 上海首次设置“人形机器人点球大战”，8 支国内具身智能团队按照世界杯点球赛制，围绕自主射门和守门展开竞技。机器人需自主完成环境观察、目标追踪、站位判断和动作执行，不采用现场人工遥控或预设固定动作路径 [20][21][22]。据媒体报道，中国移动灵犀 CM-H2-A 获得冠军 [23]。GSMA 大中华区技术总经理刘鸿将这项赛事比作具身智能“图灵测试”的起点。

观察与启示

GSMA 将这项挑战定位为展示连接技术、人工智能、实时决策和运动控制协同作用的系统级活动 [22]。赛事结果主要反映感知、决策、运动控制和系统集成的综合表现，现有公开资料不能表明参赛机器人的竞技闭环依赖移动网络。对本白皮书而言，这项赛事更适合被视为具身系统在动态物理环境中的一次压力测试，同时也表明移动通信行业正将具身智能视为新兴应用领域。运营商正与行业伙伴合作支撑机器人、无人机、网联汽车及人工智能应用 [24]。GSMA 会长白德伟（Vivek Badrinath）表示，这些机器人的目的不是在球场上取代人类，而是服务工厂、医院、家庭和街道；连接技术、人工智能与物理行动的融合正开启“IQ 时代”。

C类

5.9 实践案例九：2026 世界人形机器人运动会——竞技能力展示与机器人联网管理

要素	内容
项目名称	2026 第二届世界人形机器人运动会网球表演赛、乒乓球比赛
组织方	北京市人民政府、中央广播电视总台、世界机器人合作组织、亚太机器人世界杯国际理事会主办
网络连接	中国联通在场馆为机器人搭建了相互隔离的网络：在 3.3 GHz 频段划出 100 MHz 作为机器人赛事专用 5G-A 载波（场馆共 300 MHz，其余供公众使用），并为赛事部署物理隔离的 Wi-Fi 7 网络；据报道，机器人控制端到端时延目标为 30 ms 以内（开幕式实测 18 ms）[49]。管理平台负责机器人身份、接入认证以及状态和位置监测；由于规则禁止云端控制，竞技控制闭环仍在本地运行。
项目时间	2026 年 8 月 22 日至 26 日
举办地点	北京国家速滑馆 " 冰丝带 "
参赛规模	来自 16 个国家的 666 支队伍、2056 台机器人 [25]
案例来源	北京日报、新华社、央视网等公开报道

项目概况

第二届世界人形机器人运动会于 2026 年 8 月 22 日至 26 日在北京举行，共有来自 16 个国家的 666 支队伍、2056 台机器人参赛 [25]。开幕式上，银河通用机器人与前网球世界冠军郑洁自主对打，据企业介绍，最长回合超过 130 拍 [26]。乒乓球首次成为正式比赛项目，即 HOPE（Hitch Open Ping-Pong Embodied）AI 自主决策机器人乒乓挑战赛，12 支队伍统一使用智元远征 A3 平台；机器人可接收赛事统一提供的动作捕捉和裁判系统数据，但禁止远程操作、远程控制和使用云端“远程大脑”[28]。

竞技能力来源

银河通用通过“银河星脑”（AstraBrain）协同任务决策与全身运动控制 [26]；北京大学—智源团队结合脉冲视觉、快慢视觉系统、快速轨迹预测和模仿学习 [27]；香港大学 SMASH 团队仅依靠机载感知 [29]。这些硬实时闭环都在机器人本体或现场完成，赛事规则也排除了云端控制，因此现有公开资料不能表明联网提升了竞技表现（C 类）。

联网化的作用：机器人管理平台

联网的作用体现在赛事运营上。在场馆内，相互隔离的机器人网络将专用 5G-A 载波与物理隔离的 Wi-Fi 7 赛事网络相结合 [49]。中国联通为赛事搭建了机器人管理平台。平台为每台机器人登记型号、队伍、网络地址并配置接入认证凭证，实时监测设备健康状态，并留存链路和位置记录以便排障。据运营商披露，平台支撑了 2056 台机器人运行，累计采集运行数据 156 万条 [30]。

案例启示

实时动作控制应留在本地，联网不应被描述为竞技表现的前提。但在规模化运行中，一个关键问题是每台机器人能否被识别、监测和追溯。管理平台的身份登记、接入认证、状态监测和记录留存，在赛事规模上体现了第 6.4 节所讨论的全生命周期可信体系中的若干要素；工厂、园区等场景可以借鉴的，正是这种管理能力，而不是某项网络指标。

第六章

建设路径与政策建议
构建具身智能联网化基础设施

规模化落地不只是采购通信模组开始简单联网，而应从场景、任务闭环和安全责任出发，形成机器人、网络、算力、平台和用户共同参与的建设机制。GSMA Ltd. 董事长洪曜庄（John Hoffman）在 MWC 上海开幕演讲中指出，移动产业的下一阶段不再只是连接人与设备，而是通过移动网络、AI、开放接口和全球标准连接“智能”；这种规模化智能无法由任何单一国家或企业独立实现，必须依靠跨行业、跨企业和跨境协作。本章从场景分级、基础设施、接口标准、全生命周期可信体系、Responsible AI、测试验证和商业闭环等维度提出建设路径。除引用 GSMA 已发布立场之处外，本章内容反映产业研究结论与观点，不代表 GSMA 正式公共政策立场，也不构成 GSMA 技术建议或规范。

6.1 以场景分级定义网络，而不是以网络能力寻找场景

建议按任务风险、移动范围、数据量和外部依赖程度对场景分级。低风险、弱交互任务可使用普通 Wi-Fi 或尽力而为的公共蜂窝网络连接；需要连续移动、高清视频和远程接管的场景应配置具备质量保障的 5G/5G-A（例如专网、网络切片或具备 QoS 保障的公网服务）及边缘节点；高精度工业控制应保留工业以太网 /TSN 和本地安全闭环；应急场景应配置多链路与自组网。场景分级有助于避免“一刀切”建设最高规格网络，降低部署成本。

对连续性要求较高的场景，场景分级还应包括连接保障方式的选择。对于跨园区、跨区域移动以及对业务连续性要求较高的具身智能场景，可根据任务风险、覆盖条件和运营需求，探索多运营商、多接入网络或多链路组合的连接保障机制。系统可综合考虑网络可用性、覆盖与信号质量、时延与丢包、业务优先级及运营策略，在终端和网络能力支持的条件下进行连接路径选择、故障切换或业务降级。对于远程操控、关键状态回传等连续性要求较高的业务，可结合多模组、多链路、边缘状态保持和应用层会话恢复等机制提升故障情况下的业务可用性；本体安全控制和失联保护仍应保持本地自治，避免安全关键功能依赖网络切换。

6.2 建设网络、云边算力与运营平台一体化基础设施

面向具身智能的网络建设，可能不宜仅以覆盖和速率作为评估依据；视具体场景，还需同步考虑边缘算力、模型服务、设备管理和安全审计等能力。例如，园区级平台可提供统一接入、数据分流、推理服务、地图和任务调度，云端负责跨园区训练、知识库、模型管理和运营分析。通过能力平台化，减少每个机器人项目重复建设专网、算力和后台。

面向具身智能的云边算力资源池化与协同调度可作为后续研究方向，包括如何根据任务需求、网络状态和数据边界在云端与边缘节点之间部署负载。

运营商可根据自身能力，在蜂窝连接之外拓展边缘算力、网络 API、身份信号、安全、计费和运维服务，并与机器人企业、云服务商及系统集成商共同形成解决方案；具体角色取决于各运营商的战略、资产与合作模式。

6.3 推进物联网互联互通与端—边—云接口标准

具身智能联网化的标准化目标，不是统一所有机器人的内部实现，而是定义跨品牌、跨平台协同所需的最小公共接口。相关领域包括：设备身份与能力描述；地图、位置、任务、状态与事件语义；端边云模型与数据接口；服务调用与权限管理；以及网络与任务联合测试。这些接口还需从机器人之间的协同扩展至电梯、门禁、传感器、输送设备等现场设施，并兼容既有协议和存量设备。部分标准组织和行业组织已在上述领域开展工作，例如在中国，MIIT/TC8 和中国通信标准化协会正在推进相关标准 [1]。

在网络侧，标准化网络 API 为机器人及其平台跨运营商、跨市场一致地调用运营商网络能力提供了现成路径。具身智能相关接口可探索与 GSMA Open Gateway 及 CAMARA 的衔接 [31]，在以下方面或可提供支持：

机器人需求	CAMARA/Open Gateway 相关 API 方向	典型用途
连接质量保障	Quality on Demand / QoS Profiles / QoS Provisioning（不承诺所有市场可用）	遥操作、关键视频上传
位置与区域验证	Location Verification（验证设备是否位于给定区域）	辅助越界提示与场站准入核验（不作为安全关键定位的唯一依据）
设备与号码信号	Number Verification / SIM Swap / Device Swap（订阅或防欺诈信号，非机器人资产身份）	接入风控的辅助信号（不替代设备身份或操作员认证）
网络状态感知	Connectivity Insights（QoS 阈值是否被突破）；Device Reachability Status（设备在线状态）	动态卸载、失联降级
边缘发现	Simple Edge Discovery（发现靠近设备的边缘云区域）	就近推理和本地分流

上表 API 名称以截至 2026 年 11 月的 GSMA Open Gateway/CAMARA 资料为准。具体 API 名称、可用市场、授权方式和服务等级，以 GSMA Open Gateway/CAMARA 正式发布及当地运营商商用能力为准。CAMARA 的 API 成熟度分类、单个 API 的发布状态与运营商商用可用性是不同概念，不应相互等同。

此外，部分成熟度较早期的 CAMARA API 也可能与具身智能相关，值得随其进展持续跟踪，例如：Device Identifier，可基于 TAC 返回设备型号和制造商信息 [43]；Network Slice Booking 和 Dedicated Networks，可在指定区域和时间窗口内预留网络资源，适用于活动保障或临时作业等场景 [44][45]；Optimal Edge Discovery，可为设备和应用确定最合适的边缘云区域 [48]；Traffic Influence，可将设备流量路由至最优的边缘应用实例 [46]。机器人企业和运营商可向上述工作项贡献用例，使机器人需求尽早得到体现。

全球统一标准和多边机制决定技术能否规模化。频谱协调、3GPP 标准、ITU 和 WRC 等国际机制，是 5G-A、6G 和 AI 跨境发展的基础。具身智能联网化涉及多个标准体系。3GPP 主要定义蜂窝网络架构、无线接入、核心网、QoS 和移动性等技术规范；ITU 负责 IMT 愿景、总体指标与频谱相关国际协调；机器人及工业组织负责功能安全、控制、数据模型和行业接口；GSMA 侧重汇聚运营商需求，推动跨网络、跨运营商的实施规范、互操作、认证、网络 API 和规模化商用。本文中的“GSMA 视角”主要指移动产业需求、互操作框架、网络能力开放、安全信任和商业规模化，而非替代 3GPP 或机器人标准组织制定底层技术标准。

6.4 构建全生命周期可信体系

具身智能联网化使机器人由相对封闭的单机设备转变为持续连接网络、算力、模型、平台和业务系统的智能节点。在这一过程中，安全风险也从传统的终端安全扩大为覆盖设备身份、通信链路、软件供应链、模型运行、数据处理、远程操控和设备退役等环节的全生命周期风险。因此，具身智能安全体系不应只聚焦网络接入和传输防护，而应贯穿设备“出厂—接入—运行—升级—维修—转移—退役”的完整生命周期，形成“身份可信、启动可信、连接可信、软件可信、模型可信、操作可信、数据可信、退役可信”的闭环体系。

建立设备根信任与可信身份体系

机器人应从设备出厂阶段建立唯一、可验证的设备身份，并视风险等级和设备架构，以安全元件（SE）、硬件安全模块（HSM）或其他具备相应保障等级的信任根机制等硬件级安全能力作为锚点。可信执行环境（TEE）可作为补充，用于保护敏感的运行时处理并支持远程证明。设备身份应与机器人型号、序列号、软硬件版本、所属主体和授权状态建立绑定关系。SIM、eSIM、iSIM 等通信身份主要解决设备接入移动网络的问题，但其本身不应等同于机器人完整身份。实际部署中，应建立移动网络身份、设备身份、设备证书和平台账户之间的映射和绑定机制，使网络侧、平台侧和业务侧能够共同确认“哪一台机器人、以何种身份、在什么场景下接入系统”。对于设备转移、维修、更换通信模块或更换运营主体等情况，应重新确认身份绑定关系，避免出现网络身份仍有效但设备主体已经发生变化的问题。具体而言，移动网络订阅身份、机器人设备身份、机器人业务 / 资产身份、操作员身份和平台服务身份应分别管理，并通过经审计的映射和授权关系协同；任何一种身份认证均不自动授予高风险动作权限。GSMA IoT SAFE 等方案可将 SIM 作为设备至云端安全通信的硬件信任根，但这同样不等同于完整业务身份或动作授权 [32]。

此外，还可提升运营商对设备型号的可见性。集成蜂窝连接的机器人企业可在 GSMA 注册为制造商，并为每款机器人型号申请类型分配码（TAC），而不仅依赖所内置通信模组的 TAC[41]。TAC 构成 IMEI 的前 8 位，借助 GSMA 设备数据库（Device Database），运营商可以了解接入其网络的设备品牌、型号和能力 [42]；CAMARA Device Identifier API 可将这些信息开放给获得授权的应用 [43]。这将有助于运营商把机器人识别为一类独立的设备，用于网络规划、策略制定和安全管理，与目前面向联网汽车开展的相关工作类似。与基于 SIM 的身份一样，TAC 标识的是设备型号，而非单台机器人的业务身份或其动作授权。

对于采用 eUICC/eSIM 的机器人，移动网络订阅 Profile 的远程配置和变更同样属于全生命周期管理的一部分。可结合 GSMA SGP.31/SGP.32 IoT eSIM 架构和技术规范 [34][35]，探索 Profile 的远程配置、状态管理及全生命周期管理，为机器人在不同部署区域和运营环境下的连接管理提供支撑。需要区分 Profile 远程配置、网络选择和业务连续性：eSIM 远程配置可支持订阅 Profile 的生命周期管理，但具体网络选择、切换策略和服务连续性仍取决于终端及模组能力、可用网络、运营商策略、漫游或商业安排以及应用层容错机制。Profile 变更会改变移动网络订阅身份，应按本节要求重新确认订阅身份与设备身份、平台账户之间的绑定关系。对于跨境部署，还应遵循适用的电信、数据保护及其他监管要求。

建立安全启动和固件完整性机制

机器人在启动过程中，应对引导程序、操作系统、驱动、控制软件、中间件和关键模型组件进行完整性验证，防止未经授权的软件或固件进入运行环境。对于本体控制器、边缘服务器和关键现场节点，可根据风险等级采用安全启动、度量启动与远程证明、代码签名校验等机制。

一旦发现固件、驱动或关键组件被非法篡改，应禁止进入正常任务状态，或自动切换至受限、安全模式，且切换过程本身不应危及人员、设备或正在进行的作业的安全。

建立凭证与密钥全生命周期管理机制

机器人、操作员、平台、边缘节点和云服务之间的身份认证不应长期依赖固定密码或静态密钥。应建立凭证和密钥的申请、签发、分发、轮换、更新、吊销和失效机制。对于长期运行设备，应根据风险等级定期轮换关键密钥；对于设备遗失、被攻击、转让或退役等情况，应及时吊销相关证书、令牌和网络访问权限。设备退役时，应同步完成网络身份注销、平台账户解除、密钥销毁、API 权限撤销以及敏感数据清理，避免“设备已经退出使用，但数字身份仍然有效”的安全隐患。

加强软件物料清单与供应链安全管理

具身智能机器人往往同时集成操作系统、ROS 中间件、通信协议栈、AI 推理框架、驱动程序、第三方库、边缘软件和云端服务，软件依赖关系复杂。建议建立软件物料清单（SBOM），持续记录关键软件组件、版本、来源和依赖关系，并对核心开源组件和第三方软件开展持续漏洞监测。机器人厂商、平台方和系统集成商应建立漏洞披露和响应机制，并针对不同严重程度的漏洞明确补丁服务等级协议（SLA），包括修复时限、临时缓解措施、回滚方案和受影响设备范围。

建立云—边—端模型签名和版本溯源体系

云端模型、边缘模型和本体模型均应具备唯一版本号、数字签名、来源记录和发布记录。模型上线前应经过测试、审批和版本登记，部署过程中支持灰度发布、分批生效和快速回滚。对于关键生产系统，应能够追溯某一时刻机器人实际调用的模型版本、模型来源、发布时间、部署对象以及对应配置参数。对于模型、技能包、控制策略和关键参数的更新，也应纳入统一的版本管理体系，避免未经验证的模型或策略直接覆盖生产设备。

明确人员操作员、平台与机器人之间的授权边界

具身智能系统中的控制关系不再只是“操作员—机器人”的单一关系，还包括平台自动调度、AI 模型自主决策和远程操作员人工接管等多种主体。应明确三方权限边界：操作员可以执行什么操作，平台可以自动下发什么任务，机器人可以自主完成哪些决策，哪些操作必须人工确认，以及哪些动作任何情况下都不得由远端覆盖本体安全机制。应按照任务风险等级实施最小权限原则。对于高压电气操作、危化处理、医疗辅助和公共安全等高风险任务，可采用双人审批、二次确认或多因素认证机制。

明确人工接管优先级与权限冲突处理机制

具身智能进入自主运行阶段后，可能同时出现本体自主决策、平台调度任务和人工远程指令。应预先定义权限优先级：安全急停和本体安全保护具有最高优先级；经授权的人工接管高于一般平台自动任务；平台调度不应覆盖本体安全逻辑；普通自主任务不得绕过安全控制器。对于关键动作，可设置“人工接管—二次确认—操作留痕—超时自动释放”的闭环机制，避免误操作和长期占用控制权。

强化数据最小化、目的限制和跨境治理

具身智能机器人会持续采集视频、语音、地图、定位、环境、人员行为、设备状态和任务日志等数据，部分数据可能涉及个人隐私、商业秘密或重要业务信息。应遵循数据最小化原则，仅采集完成任务所必需的数据；明确数据采集目的和使用边界，避免将为单一任务采集的数据未

经授权用于其他用途。能够在本体完成处理的数据，应优先本地处理；能够在边缘完成分析的数据，不应默认上传至云端；在满足业务需求的情况下，可优先传输特征、事件结果或关键片段，而非完整原始数据。对于跨区域、跨主体或跨境数据处理，应明确数据分类、访问权限、保存周期、处理目的和责任主体，并按照适用规则开展评估和授权。

在此基础上，部署前还应根据适用法律明确个人信息处理者、受托处理方、数据提供方或其他相应角色及责任，说明处理目的及适用规则或合法基础；对家庭成员、员工、患者和访客等受影响人员提供透明告知；明确训练、评测和运维数据能否二次使用，以及删除、匿名化和个人权利响应机制；摄像头、语音和地图等功能宜采用默认最小采集设计。上述要求可参考 GSMA 移动隐私原则（Mobile Privacy Principles）[33]。

建立面向联网机器人的威胁模型

具身智能系统应针对典型异常和攻击场景提前设计安全策略，重点包括网络质量下降或通信中断、GNSS 欺骗与定位干扰、边缘节点失陷、机器人身份冒用、通信凭证泄露、模型服务不可用、模型或控制策略被篡改、位置与环境信息被伪造、远程接管链路异常以及多机器人系统中的恶意设备接入。对于不同威胁，应明确检测、隔离、降级和恢复机制。例如，网络失联时机器人应自动进入本地自治或安全状态；定位异常时通过视觉、惯性导航等多源信息交叉验证；边缘节点异常时及时切断其高风险控制权限，并将关键任务切换至可信节点。

本节观点

全生命周期可信体系的目标，不是保证系统“永不发生故障或攻击”，而是确保系统在任何阶段都能够识别主体、控制权限、发现异常、限制影响、快速恢复并追溯责任。对于具身智能而言，安全能力与设备生命周期、网络连接、模型运行和实际业务共同设计，更有助于支撑规模化部署。

6.5 将 Responsible AI 纳入具身智能系统治理

具身智能的风险不仅来自断网、越权、设备攻击和数据泄露，还来自模型误判、分布漂移、数据偏差、错误泛化、不可解释决策以及模型在未见场景下产生不符合预期的动作。与传统生成式 AI 相比，具身智能模型的输出可能直接转化为机械运动，对人员、设备和环境产生物理影响。因此，Responsible AI 需要超越原则性声明，进入模型开发、验证、部署、运行和事故调查全过程。

本节聚焦联网具身智能特有的 AI 风险，重点包括高风险动作校验、人工升级、模型版本控制、持续监测以及网络、模型与本体的联合事故调查，不试图替代通用 AI 治理框架或功能安全标准。

高风险动作不得由未经验证的生成式模型直接执行

对于可能造成人身、设备或环境重大影响的动作（如人员安全、设备启停、高压电气操作、危险品处理、医疗辅助、门禁放行等），未经场景验证的生成式模型输出不应直接驱动执行器，而应经过经验证的规则、安全控制器、动作约束或人工确认。模型可以负责理解任务、进行高层规划和生成候选策略，但最终动作应经过规则、安全控制器或动作可行性校验。

建立模型输出校验与安全约束机制

大模型或 VLA 模型负责高层语义理解和任务规划时，本体控制器应保留独立的安全闭环。模型可以提出“做什么”，但不应直接决定所有“怎么做”。具体动作在执行前，应检查碰撞风险、关节极限、工作空间、工具状态和人员位置，确保认知层的错误不会直接转化为危险动作。

建立置信度阈值与人工升级机制

当模型置信度降低、感知信息冲突、任务超出训练分布或连续执行失败时，机器人不应继续“猜测执行”。应根据任务风险等级配置暂停、重新感知、切换模型、降低速度、请求远程确认或人工接管等机制。对于高风险任务，应预先定义明确的人工升级阈值，并优先采用“无法确定则停止”的安全原则。

明确训练数据来源、许可、质量和代表性

具身智能模型高度依赖真实数据、仿真数据和合成数据，其性能受到数据质量、场景覆盖和代表性直接影响。应记录训练数据来源、采集方式、许可范围、数据版本、质量控制方式和适用场景，并评估不同人群、环境、设备和任务类型上的数据偏差。合成数据和仿真数据应通过真机测试验证其有效性，避免仅以离线指标判断模型在真实生产环境中的安全性。

建立模型全链路审计能力

具身智能系统应记录模型版本、关键提示或任务指令、工具调用、任务输入、关键中间状态、输出动作和最终任务结果。对于模型调用外部工具、数据库或行业系统的场景，还应记录调用对象、返回结果及权限状态。事故发生后，应能够还原“设备状态—网络状态—模型输入—模型决策—平台指令—人工操作—最终动作”的完整链路。

实施场景化独立评测

实验室中的识别率、抓取成功率或模型基准测试结果，不应直接等同于真实生产环境中的安全和可靠性。每一种应用场景都应基于其环境、人员密度、任务复杂度和风险等级进行独立评测。例如，酒店配送、医院配送、工业装配和消防救援即使使用同一套机器人和模型，其可接受的错误率、人工接管条件和安全边界也应不同。模型完成通用测试后，还应完成面向具体应用场景的独立验证。

建立模型漂移和持续监测机制

机器人长期运行后，场景、设备、人员和任务分布都会发生变化，模型可能逐步偏离原有训练分布。系统应持续监测任务成功率、异常动作、人工接管率、置信度变化和失败类型，在发现显著漂移时触发重新验证、模型更新或版本回退。

强化数据治理与目的限制

Responsible AI 与数据治理应形成统一闭环。对家庭、医疗、公共服务等敏感场景，应坚持数据最小化、目的限制和分级授权，明确数据留存周期、访问权限和跨境处理边界；训练数据、评测数据和运行数据应保持来源可追溯、用途可说明、权限可审计，避免未经授权的二次使用。

明确责任主体和事故调查机制

具身智能系统通常由机器人厂商、模型提供商、运营商、平台方、系统集成商和最终用户共同构成。应在部署前明确不同主体对设备、网络、模型、数据和操作的责任边界。发生事故后，应基于日志、模型版本、网络状态和权限记录开展调查，避免出现“模型问题归设备、设备问题归网络、网络问题归平台”的责任模糊。

本节观点

Responsible AI 不是网络安全体系的补充条款，而是具身智能进入真实世界后需要具备的一项独立能力。可信连接有助于确认“谁可以接入、数据在传输过程中是否被篡改”，但无法保证数据在源头的准确性；Responsible AI 为模型的开发、验证、部署和监测提供治理与保障机制，包括明确何时应限制或升级自动化决策；功能安全旨在使机器人在网络或模型失效时仍保持安全状态。三者相互补充、不能相互替代，共同构成具身智能规模部署的信任底座。

6.6 建立联合测试验证与第三方评测机制

联网具身智能的验证，可在接近真实部署的条件下开展，例如共享测试床、行业测试场地或企业现场试点。测试条件可包括金属车间、密集货架、户外移动、弱覆盖和高并发等典型挑战，测试范围可覆盖单机到多机、静态到移动、正常到故障等情况，并同时记录网络、系统和业务三个层面的指标。对公开案例中的关键指标，可视情况引入独立的第三方测试，以增强结果的可比性和可信度。

测试内容可包括，例如：跨厂商设备接入、状态与事件语义一致性、服务调用和权限校验等互操作测试；网络波动和节点故障条件下的任务完成时延与故障恢复能力；机器人与现场设备的联动成功率；以及失联后本体能否安全降级。测试方法和结果应尽量可比较、可复现，以便不同部署之间相互参考。

6.7 以真实场景形成商业闭环

在制造、物流、能源、应急、商业服务等价值较高的场景中，多方协作有助于推动联网具身智能走向实际部署。例如，用户单位可提出可量化的任务目标，机器人企业提供整机与模型，运营商提供网络与边缘能力，平台企业承担系统集成与运营；具体分工可因项目而异。在商业模式方面，相关企业可根据自身情况探索不同形式，例如设备租赁与网络服务、模型订阅相结合，按有效工时或任务量计费，或共享边缘算力等。在特定场景内，单位任务成本和投资回收期可作为有用的评估指标。但不同任务在复杂度和价值上差异很大，跨场景不具备直接可比性，因此仍需建立适用于具身智能联网化的更通用的经济性指标。

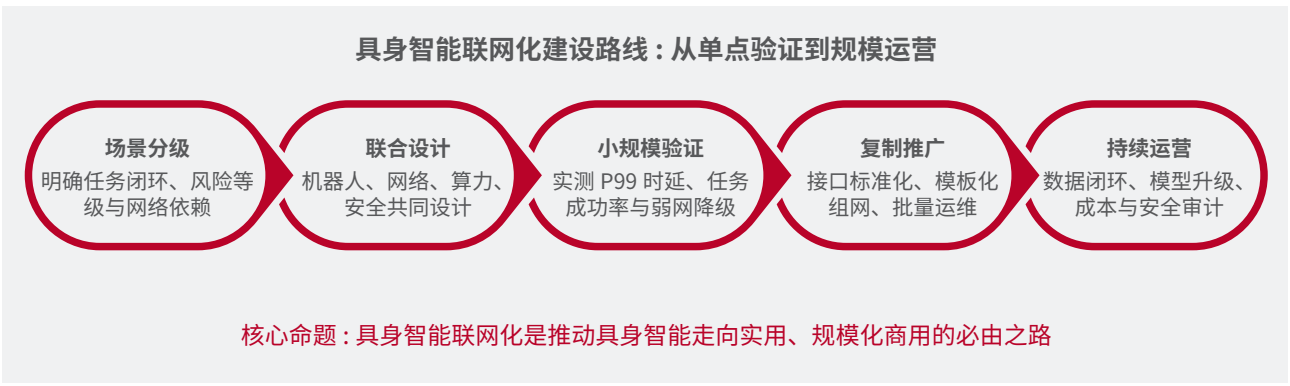

图 4 具身智能联网化建设路线

资料来源：研究课题组绘制

6.8 营造有利于具身智能联网化的政策环境

具身智能联网化有赖于对移动网络、边缘计算以及机器人可规模化使用的网络能力的持续投入。然而，由于技术迭代周期缩短、网络加密部署和数据需求增长，运营商面临成本上升和资本密集度提高的压力 [47]。根据 GSMA 已发布的 AI 就绪政策建议 [47]，政策制定者和监管机构可结合具身智能联网化的特点，考虑以下措施。

支持可持续的网络投资

营造有利于运营商投资的经济环境，例如合理化行业特定税费、延长许可期限、推动市场化监管，并优先完善高效的网络部署规则和频谱管理 [47]。这有助于 5G/5G-A 和边缘计算覆盖机器人作业的工厂、园区、物流场站和公共空间。

与产业合作推动测试与创新

限时监管沙盒等协作治理机制，可为新理念和新兴技术提供测试空间 [47]。对于联网机器人，这类机制可支持在大规模推广前开展真实场景试验，并推动运营商、机器人企业和科研机构之间的研发与生态合作。

保持政策环境清晰、一致、协调

以国际公认原则（如 OECD 或 UNESCO 制定的原则）为基础的治理框架以及一致的术语，有助于解决方案在不同市场间实现规模经济。数据隐私框架应基于风险、横向适用且技术中立，AI 政策应与之协同设计 [47]。

加强技能与机构能力建设

扩大面向联网机器人部署、运营和维护人员的数字技能培训项目，并加强能力建设，使政策制定者和监管机构及时掌握快速发展的技术和全球最佳实践 [47]。

在规则制定的早期阶段引入运营商和其他产业参与方，有助于确保治理持续有效，并与部署进展同步 [47]。

结语

随着具身智能从演示走向真实作业，挑战已不仅在于提升单台机器人的能力。规模化部署还需要机器人、计算资源、通信网络、运营平台和人员在清晰界定的安全、网络安全与治理边界内协同工作。联网可以在这一转变中发挥重要作用，支撑外部算力与知识调用、多机协同、远程监督、全生命周期管理和持续服务。

具身智能联网化不应被理解为把所有智能或控制都搬到网络或云端。硬实时控制和安全功能应在需要时保留在本地，边缘、网络和云端能力则可根据任务时延、风险、数据敏感度和运营需求，对端侧智能形成补充。因此，合适的架构因场景而异，应以端到端任务结果而不仅是网络性能来评估。

本白皮书将具身智能联网化作为一个研究框架提出，而非规范性架构或行业规范。互操作接口、全生命周期安全与身份、Responsible AI、隐私与数据治理、跨厂商测试、网络能力开放以及商业上可持续的部署模式等方面，仍需进一步研究。移动运营商、机器人企业、技术提供商、行业用户和标准组织之间的协作，有助于厘清联网能力在哪些场景中能带来可衡量的价值，以及如何安全、规模化地引入这些能力。

附录 术语说明

术语	定义
具身智能	具有物理载体，能够感知环境、理解任务并通过动作影响物理世界的智能系统。
联网化	通过多种通信技术将本体、边缘、云端、其他智能体、人和业务系统连接成协同系统。
大脑 - 小脑	大脑指复杂认知、规划和知识能力；小脑指本体运动控制、实时执行和安全闭环。
边缘计算	部署在园区、基站或现场附近的计算资源，用于低时延推理、数据处理和任务调度。
5G-A	5G-A（5G-Advanced），基于 3GPP Release 18 及后续版本的 5G 增强演进。
任务级 KPI/SLO	围绕任务成功而定义的网络、计算、控制和业务指标（KPI）及目标值（SLO）；仅在写入合同后称为 SLA。
尾时延	时延分布高分位值，如 P99/P99.9，用于反映偶发卡顿和极端延迟。
失联降级（Degraded operation under connectivity loss）	网络中断或质量下降时，机器人进入预设的减速、暂停、返航或安全姿态。

英文术语统一：本白皮书中“具身智能联网化”英文表述统一使用“Connected Embodied Intelligence”。该英文表述为本文研究术语，并非既有 GSMA 正式术语。

参考文献

1. 工业和信息化部 . 中华人民共和国工业和信息化部公告（2025 年 第 44 号）[EB/OL]. 2025-12-31. https://www.miit.gov.cn/jgsj/kjs/wjfb/art/2025/art_91588a03c1694803b04f6e7674ac973a.html
2. 全国机器人标准化技术委员会 . 具身智能机器人和移动通信技术研究报告（2025 版）[R]. 2025-12（2026-05-06 公开发布 ）. https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzkzMjMxMzg5NA==&mid=2247486341&idx=1&sn=e1f9d1b926b343d11e89557192763768
3. 工业和信息化部 . 2026 年前 4 个月通信业经济运行情况 [EB/OL]. 2026-05-25. https://www.miit.gov.cn/jgsj/yxj/xxfb/art/2026/art_a70719667cfe461fbd88a5f516d22706.html
4. 中国信通院内容经新浪转载 . 五张图，见证中国 5G 七年非凡 之 路 [EB/OL]. 2026-06. https://finance.sina.com.cn/wm/2026-06-06/doc-iniankfk1829355.shtml
5. 工业和信息化部 . 2025 年通信业统计公报解读：通信业运行平稳 新动能加快培育 [EB/OL]. 2026-01-28. https://www.miit.gov.cn/gxsj/tjfx/txy/art/2026/art_da754fe24a9347dc89bef9bf9c28528e.html
6. ITU-R. Report M.2410-0: Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s) [R]. 2017. https://www.itu.int/pub/R-REP-M.2410-2017
7. ITU-R. Recommendation M.2160-0: Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2030 and beyond[R]. 2023. https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2160-0-202311-I!!PDF-E.pdf
8. TU-R WP 5D. IMT towards 2030 and beyond: technical performance requirements and evaluation progress[EB/OL]. 2026. 2026 年 2 月技术要求草案及 6 月评估指南草案，拟提交 2026 年 12 月 SG 5 审议 . https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/IMT-2030/Pages/default.aspx
9. 中国移动内容经 C114 转载 . 全运火炬传递，5G-A 机器人全球首棒独立开跑！ [EB/OL]. 2025-11-04. https://www.c114.com.cn/news/118/a1299853.html
10. 中国移动研究院 . 中国移动研究院 5G-A 创新“黑科技”护航全运会，树立网络保障新范式 [EB/OL]. 2025-11-17. https://mp.weixin.qq.com/s/ubA9j2sLjo0k-iTtRardjA
11. GSMA Foundry. 5G-Advanced Facilitates Multi-Robot Collaboration — ZTE & China Telecom[R]. 2025-11（ 报告标注日期；2025 年 12 月网页刊载）. https://www.gsma.com/get-involved/gsma-foundry/wp-content/uploads/2025/12/5G-Advanced-Facilitates-Multi-Robot-Collaboration_Nov_25.pdf
12. ZTE. ZTE 5G-A EasyOn·Robot private network facilitates multi-robot collaboration at WAIC 2025[EB/OL]. 2025-08-07. 所列时延为空口时延，99.99% 为网络可用性口径 . https://www.zte.com.cn/global/solutions_latest/5g-advanced/solution-news/zte-5g-a-easyon-robot-private-network-facilitates-multi-robot-co.html
13. 中国电信天翼物联 . “灵思大脑”赋能机器人迈向群体智能 [EB/OL]. 2024-12-17. https://www.chinatelecom.com.cn/ct/news/rgzn/154072.html
14. 新华财经 . 5G-A 具身智能机器人电网巡检应用示范成果发布 [EB/OL]. 2025-11-02. 效率提升为项目方披露，未公开独立网络贡献测量 . https://m.cnfin.com/hg-lb/zixun/20251102/4327817_1.html
15. 中国移动研究院内容经新浪转载 . 中国移动携手产业合作伙伴打造业界首个 5G-A 具身智能人形机器人训练场及消防救援应用示范 [EB/OL]. 2026-07-02. https://finance.sina.com.cn/wm/2026-07-02/doc-inifmmmu2670899.shtml
16. 苏州日报 . 救援机器人“看懂”火场 5G-A 具身智能人形机器人训练场发布 [EB/OL]. 2026-06-26. https://news.2500sz.com/doc/2026/06/26/1216625.shtml
17. 海淀报 . 人形机器人上岗快递“分拣员”[EB/OL]. 2026-05-18. 供件效率来自企业受访披露 . https://hdb.bjhdnet.cn/hdb/content/202605/18/c62088.html
18. 新华社 . 活力中国调研行丨走出实验室，机器人如何“上岗”[EB/OL]. 2026-06-12. https://www.news.cn/tech/20260612/128fdccbf5144235846fbfd1075e31a4/c.html
19. 新华社内容经云迹科技转载 . 新华社专访云迹科技 CEO 李全印：做数字与物理世界的“连接者”[EB/OL]. 2026-04-27. https://mp.weixin.qq.com/s/M6EU4pg0C03lLvgSOQuvBw
20. GSMA. Humanoid Robot Football Penalties Challenge[EB/OL]. MWC26 上海赛事官方介绍 . https://www.mwcshanghai.com/exhibition/humanoid-robot-football-penalty-challenge
21. 新华社 . 科技盛会上的人形机器人“世界杯”[EB/OL]. 2026-06-25. https://www.xinhuanet.com/20260625/109b3d2280ff470eaa23e0eab6d6d3f9/c.html
22. GSMA. GSMA announces Humanoid Robot Football Penalties Challenge, set to debut at MWC26 Shanghai[EB/OL]. 2026-04-10. https://www.mwcshanghai.com/articles/humanoid-robot-football-penalties-challenge
23. 太平洋科技 . 中国移动灵犀人形机器人夺得 MWC26 上海机器人点球大赛冠军 [EB/OL]. 2026-06-26. 技术与获奖信息引述中国移动公开介绍 . https://news.pconline.com.cn/2177/21777637.html
24. GSMA. GSMA MWC26 Shanghai Opens Doors as AI, Robotics, and Drones Lead Packed Agenda[EB/OL]. 2026-06-24. https://www.mwcshanghai.com/articles/opens-

doors-ai-robotics-drones-lead-packed-agenda

25. 北京日报 . 第二届世界人形机器人运动会在京开幕 16 个国家的 666 支赛队 2056 台机器人参与竞逐 [EB/OL]. 2026-08-23. https://www.beijing.gov.cn/ywdt/gzdt/202608/t20260823_4833187.html
26. 新华财经 . 机器人“真干活” 产业“加速跑”——银河通用具身智能规模化落地观察 [EB/OL]. 2026-09-16. 超过 130 拍为企业披露的最长连续击球数 . https://www.cnfin.com/cmjj-lb/detail/20260916/4470662_1.html
27. 北京大学 . 北大乒乓机器人，夺冠！ [EB/OL]. 2026-08-28. https://mp.weixin.qq.com/s/RT_Rovg9BwsaliK6aKAeYw
28. 央视网 . 第二届世界人形机器人运动会 HOPE AI 自主决策乒乓球赛事收官 北京大学智源研究院联合战队夺冠 [EB/OL]. 2026-08-28. https://www.cctv.com/2026/08/28/ARTIGbZj5n4k3gXNeJq1QXNg260828.shtml
29. 香港大学 . HKU SMASH Team Wins Silver at World Humanoid Robot Games with World-First Autonomous Humanoid Table Tennis System[EB/OL]. 2026-09-01. https://lead.hku.hk/en/article/2026/09/hku-smash-team-wins-silver-at-world-humanoid-robot-games-with-world-first-autonomous-humanoid-table-tennis-system/
30. 新华网 . 向智同行 连接算力新生态 中国联通亮相 2026 服贸会 [EB/OL]. 2026-09-10. https://www.xinhuanet.com/info/20260910/055612f38adc445eb0761fb08b6d5eb2/c.html
31. GSMA. GSMA Open Gateway API Descriptions[EB/OL]. https://www.gsma.com/solutions-and-impact/gsma-open-gateway/gsma-open-gateway-api-descriptions/
32. GSMA. IoT SAFE (IoT SIM Applet For Secure End-to-End Communication)[EB/OL]. https://www.gsma.com/solutions-and-impact/technologies/internet-of-things/IoT-SAFE/
33. GSMA. Mobile Privacy Principles[R/OL]. 原则首发于 2011 年 1 月；资源页日期 2016-02-05. https://www.gsma.com/solutions-and-impact/connectivity-for-good/public-policy/gsma_resources/mobile-privacy-principles/
34. GSMA. SGP.31 eSIM IoT Architecture and Requirements, Version 1.3[S]. 2026-05.
35. GSMA. SGP.32 eSIM IoT Technical Specification, Version 1.3[S]. 2026-05.
36. 3GPP. TS 22.104: Service requirements for cyber-physical control applications in vertical domains; Stage 1 (Release 19)[S]. https://www.3gpp.org/DynaReport/22104.htm
37. 3GPP. TS 22.261: Service requirements for the 5G system; Stage 1 (Release 18)[S]. 第 6.9、6.31、6.42、7.4 条分别涉及中继 UE、灾难漫游、移动基站中继和卫星接入；表 7.11-1 给出远程控制机器人的 KPI. https://www.3gpp.org/DynaReport/22261.htm
38. 5G-ACIA. Architecture and Technology for Machine Vision in Industrial Applications with 5G[R]. 2025-03. https://5g-acia.org/whitepapers/architecture-and-technology-for-machine-vision-in-industrial-applications-with-5g/
39. 5G-ACIA. Industrial 5G Edge Computing – Use Cases, Architecture and Deployment[R]. 2023-02. https://5g-acia.org/whitepapers/industrial-5g-edge-computing-use-cases-architecture-and-deployment/
40. 5G-ACIA. A 5G Traffic Model for Industrial Use Cases[R]. 2019-11. https://5g-acia.org/wp-content/uploads/2021/04/WP_5G_5G_A_Traffic_Model_for_Industrial_Use_Cases_22.10.19.pdf
41. GSMA. TAC Allocation[EB/OL]. https://www.gsma.com/services/device/tac-allocation
42. GSMA. Device Attribute Data: GSMA Device Database and GSMA Device Map[EB/OL]. https://www.gsma.com/solutions-and-impact/industry-services/device-services/gsma-device-attribute
43. CAMARA Project. Device Identifier API[EB/OL]. https://camaraproject.org/device-identifier
44. CAMARA Project. Network Slice Booking API[EB/OL]. https://camaraproject.org/network-slice-booking/
45. CAMARA Project. Dedicated Networks API[EB/OL]. https://camaraproject.org/dedicated-networks/
46. CAMARA Project. Traffic Influence API repository[EB/OL]. https://github.com/camaraproject/TrafficInfluence
47. GSMA. Telco for AI: Policy Recommendations for AI Readiness[R]. 2026-03. https://www.gsma.com/solutions-and-impact/connectivity-for-good/external-affairs/gsma_resources/telco-for-ai-policy-recommendations-for-ai-readiness/
48. CAMARA Project. Optimal Edge Discovery API[EB/OL]. https://camaraproject.org/optimal-edge-discovery/
49. C114 通信网 . 从护航 2026 世界人形机器人运动会到赋能产业：中国联通如何成为“最懂具身智能”的运营商 [EB/OL]. 2026-08-27. https://m.c114.com.cn/w119-1316470.html

致 谢

本白皮书由 GSMA 与 人工智能百人会联合发起、组织编写与发布。

本白皮书主要由以下单位参与研究，撰写与审校，在此对各位的贡献表示诚挚感谢：

中国信息通信研究院人工智能研究所 | 中国移动｜中国联通｜中国电信 | 华为 | 星动纪元｜银河通用｜极佳视界｜进迭时空｜云迹科技｜基元智航



GSMA 总部
1 Angel Lane
London
EC4R 3AB
United Kingdom

电话: +44(0)20 7356 0600
传真: +44(0)20 7356 0601