

智能体通信网络 (ACN): 面向6G的网络发展新范式

段晓东, 黄正磊, 陆璐, 孙滔, 郑韶雯, 孙慧晴

(中国移动通信研究院, 北京 100053)

摘要: 具身智能、个人数字助理等智能体涌现, 为6G网络带来新的终端形态及应用场景, 也带来诸多挑战。智能体有望成为6G网络发展重要驱动力, 进而引发网络发展范式的变革。预见到该趋势, 提出了智能体通信网络 (ACN) 的未来网络发展方向。从6G使能智能体、智能体赋能6G两个维度, 首先分析了智能体与6G融合的新需求及挑战。其次, 提出智能体通信网络架构设计方案, 并系统分析了智能体通信网络的关键技术。最后, 构建原型样机对智能体通信网络的关键功能及性能进行验证, 并对未来研究方向进行了展望。

关键词: 6G; 智能体通信; 网络架构

中图分类号: TN92

文献标志码: A

DOI: 10.11959/j.issn.1000-436x.2025203

AI agent communication network (ACN): a new network paradigm for 6G

DUAN Xiaodong, HUANG Zhenglei, LU Lu, SUN Tao, ZHENG Shaowen, SUN Huiqing

China Mobile Research Institute, Beijing 100053, China

Abstract: The emergence of artificial intelligent (AI) agents such as embodied intelligence and personal digital assistants has brought new terminal forms and application scenarios to 6G networks, while also posing numerous challenges. AI agent is expected to become a crucial driving force for the development of 6G networks, thereby triggering a transformation in the paradigm of network development. Anticipating this trend, the future network development direction of the AI agent communication network (ACN) was proposed. From two dimensions of 6G enabling AI agent and AI agent empowering 6G, the new requirements and challenges arising from the integration of AI agent and 6G were analyzed firstly. Secondly, the design of network architecture of the ACN was presented, and the key technologies of the ACN were systematically analyzed. Finally, a prototype was built to verify the key functions and performance of the ACN, and prospects for future research directions were also summarized.

Keywords: 6G, AI agent communication, network architecture

0 引言

智能体的发展源远流长, 其思想根源可追溯至20世纪50年代。艾伦·图灵提出“图灵测试”, 这一理论探索背后隐含了“自主代理”的前瞻性思想^[1]。与此同时, 诺伯特·维纳提出的控制论, 以

其对系统通过反馈与环境交互机制的深刻阐述, 为后来智能体的“感知-决策-行动”循环机制奠定了坚实的理论基础。随着人工智能 (AI, artificial intelligence) 的发展, 智能体用来描述具有智能行为的实体, 并具备自主性、反应性、主动性和社交能力等特质^[2-3]。

收稿日期: 2025-06-05; 修回日期: 2025-11-14

通信作者: 孙滔, suntao@chinamobile.com

基金项目: 国家科技重大专项基金资助项目 (No.2024ZD1300400)

Foundation Item: The National Science and Technology Major Project of China (No.2024ZD1300400)

随着大模型从单模态向多模态的演进,智能体成为实现大模型商业应用的主流形态。大语言模型(LLM, large language model)赋予了智能体卓越的自然语言理解与生成能力,使其能够高效执行各类复杂任务。如图 1 所示,智能体融合了 LLM 的生成、推理、逻辑分析和记忆能力,能够更好地感知环境、做出决策并执行复杂任务。具身智能与机器人领域的创新突破,进一步将智能体拓展至物理世界,借助强化学习技术,实现在真实环境中的精准决策。

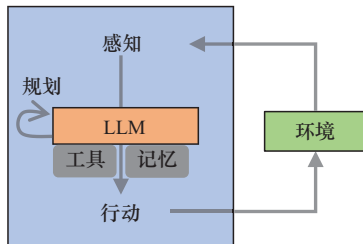


图1 基于 LLM 的智能体示意

AI 以及大模型与移动通信网络的融合是学术界研究的热点之一。文献[4]总结分析了 LLM 应用于移动通信网络的机遇及关键技术,包括 LLM 使能基于网络领域知识的生成式 AI 应用、基于 LLM 的业务和流量分类、基于 LLM 的优化和预测技术等。文献[5]分析了生成式 AI 模型应用于移动通信网络的挑战,以及基于生成式 AI 模型的推理、规划能力的潜在应用方向,包括业务管理、网络生命周期管理、网络基础设施管理等。文献[6-7]研究了生成式 AI 在移动通信网络中的应用,包括改善无线感知和传输性能、按需向用户提供 AI 生成内容服务等。文献[8]对 AI 优化 6G 网络中的通信性能、资源分配及安全性提升进行了分析,侧重 AI 如何提升 6G 网络能力。文献[9]围绕 6G 网络中 AI 与通信的融合,从利用 AI 优化网络、网络为 AI 提供全面支持以及 6G 网络提供 AI 服务(AIaaS, AI as a service) 3 个方面进行了阐述,尚未针对智能体与 6G 网络的融合进行深入讨论。

智能体因其具备更强大的自主性、交互性和适应性,其与移动通信网络的融合逐渐成为学术界关注重点。文献[10]分析了 6G 中典型的智能体用例,包括基于智能体的 6G 网络自动化、手持个性化智能体、互联机器人和自主系统等,并初步提出了使能移动智能体的 6G 网络架构。文献[11]提出智能

体信息网的概念,通过网络中部署不同能力、类型和层次智能体,支持不同智能体之间通过网络进行交互与协作。文献[12]提出基于生成式模型构建智能体网络(AgentNet)框架,支持智能体之间交互、协作学习和知识转移。文献[13]提出了“智能体即服务”的边缘计算框架,在 6G 网络中构建 AI 原生的边缘计算框架,利用智能体自动执行计算、感知和通信任务。文献[14]提出了应用于 6G 网络中的智能体分布学习系统,通过移动设备与边缘服务器之间协作,共同完成用户与智能体之间的交互任务。同时,研究者针对多智能体协作与移动通信网络的融合也进行了探索。文献[15-16]利用多智能体强化学习进行无线网络资源分配,以实现功率分配优化。在上述研究基础上,本文聚焦 6G 智能体通信网络架构设计,以及 6G 使能智能体、智能体赋能 6G 的关键技术方案。

在产业实践中,智能体通信协议的发展备受关注。美国公司 Anthropic 提出模型上下文协议(MCP, model context protocol),实现 AI 模型与外部工具、数据源之间的互通^[17]。目前,已有代码托管平台 GitHub、企业协作沟通平台 Slack、容器化平台 Docker 等超过 1 000 个社区构建的 MCP 服务器投入使用。谷歌联合 50 多家技术公司提出 A2A(agent-to-agent)协议,聚焦智能体之间的沟通与协作^[18]。智能体通信协议的快速发展,为智能体之间的高效协同提供了新的可能。

在国际标准层面,智能体与 6G 网络的融合已逐渐成为产业共识。在国际标准化组织第三代合作伙伴计划(3GPP)首个 6G 项目《6G 场景用例与需求》中,中国移动等 15 家公司提出了智能体与 6G 网络融合的标准提案,涵盖了 6G 网络支持智能体动态组网、可信接入、多模态交互等场景,以及将智能体引入 6G 网络实现智能故障定位、用户体验优化等场景^[19]。

在 AI 大模型、智能体等技术快速发展的背景下,AI 与网络及应用的深度交融正驱动着 6G 与智能体之间的双向赋能。一方面,6G 作为通感算智安融合的新型基础设施,其如何为形态各异、能力不同且需求多元的智能体提供服务,是当前亟待深入探究的关键问题;另一方面,智能体具有自感知、自决策、自学习的特征,如何利用智能体的优势有效提升 6G 系统效率及业务体验,也需要进一

步深入研究。基于智能体和 6G 双向赋能的理念, 本文系统性地提出了智能体通信网络 (ACN, AI agent communication network) 的概念内涵、网络架构设计及关键技术。本文的主要贡献如下。

1) 系统分析了智能体通信网络的需求和挑战。在 6G 使能智能体方面, 通过分析智能体的行为和流量特征, 提出流量转发和多模态交互、灵活组网等连接需求, 统一身份标识及授权管理, 以及算力卸载、数据服务等超越连接需求。在智能体赋能 6G 方面, 面向多点、复杂任务协同场景, 分析了基于智能体实现网络设计态优化和网络运行态优化的潜在需求。

2) 提出智能体通信网络架构设计方案。在 6G 使能智能体方面, 通过增强控制面、用户面等网络功能, 并新定义智能体通信服务域, 为各类智能体提供通信组网、计算数据等多要素融合服务。在智能体赋能 6G 方面, 基于智能体对控制面、用户面等网络功能进行智能化设计, 使其具备自主决策、环境交互及任务执行能力, 并构建智能体生成环境及运行引擎, 实现网络智能自治。

3) 系统分析了智能体通信网络的关键技术。在 6G 使能智能体方面, 分析了智能体的身份标识、动态组网、互通协议、数据+计算基础平台等潜在研究方向。在智能体赋能 6G 方面, 分析了网络功能智能化设计、 workflow 编排、网络接口协议等潜在研究方向。

4) 构建原型样机支持智能体通信网络的概念验证。面向多智能体协同抢险救灾场景, 构建原型系统对智能体注册认证、动态组网等 6G 使能智能体关键技术, 以及对网络智能化设计、 workflow 编排等智能体赋能 6G 网络新能力及网络性能进行了初步验证, 可为后续开展端到端性能验证及关键科学问题验证奠定基础。

1 智能体通信网络概念内涵

1.1 需求及挑战

1.1.1 6G 使能智能体

6G 使能智能体面临连接、管理、赋能 3 个方面的新需求和挑战。

1) 连接

智能体通信带来多模态突发实时交互需求。为实现对文本、图像、视频等多模态信息的高效分析

与处理, 智能体可能配置 LLM 和视觉语言模型 (VLM, vision language model) 等大模型, 进而引发流量特征的显著改变。以典型 VLM 驱动的讯飞星火智能体视频对话的流量特征为例, 通过 Wireshark 软件抓取流量包分析其具体特征, 具体如表 1 表示。数据分析显示, 该应用支持语音、图片等多模态信息输入, 其流量呈现显著的突发特性, 且上下行数据包数量基本保持对等。

表 1 智能体视频对话的流量特征

业务指标	业务阶段		
	语音上传 (上行)	图片上传 (上行)	答案应答 (下行)
峰值速率/(Mbit·s ⁻¹)	1.8	22.6	24
突发数据大小/MB	0.018	0.48~2.3	9.18
数据包数	10 974	10 081	9 012
突发持续时长/ms	3	140	4 600
平均包长/B	625	1 400	616

通过进一步分析当前主流智能体通信应用的流量特征, 本文归纳出智能体通信流量特征的变化趋势, 如表 2 所示。

表 2 智能体通信流量特征新趋势

当前流量特征	智能体通信流量新特征
视频流量占比达 70%	多模态流量: 文本、语音、图片、视频
下行为主	上下行对等, 甚至上行更密集
长连接	任务级瞬态连接
流量相对稳定	任务触发的突发不规则流
端侧缓存、带宽敏感	实时交互, 端到端时延 300~500 ms
非加密	全加密传输

现有 5G 网络的流量传输机制 (如按最高带宽预留资源), 难以高效支持智能体多模态突发实时交互需求, 因此需进一步研究面向智能体通信的新型流量特征识别方法及高效动态的流量传输机制。

智能体通信还带来任务驱动的动态灵活组网互通需求。多个智能体可能需要协作来完成特定的任务, 如用户的智能机器狗和商家配送货物的无人机进行动态组网以实现货物的智能配送, 以及跨厂家的救灾机器人、机器狗进行动态组网以实现复杂环境下的抢险救灾任务。这些场景需要支持异构多智能体间的秒级按需实时组网, 支持更加高效和安全

的信息交互和协作。

当前典型组网技术为 5G 局域网 (LAN, local area network) 技术, 需耗时数小时才能完成对终端和网元的参数配置, 包括业务流信息、用户设备 (UE, user equipment) 策略、群组通信策略等参数。该方案存在流程复杂、可扩展性低、实时性差等问题。因此, 需进一步研究面向多智能任务协同的灵活动态组网、定制化服务质量 (QoS, quality of service) 保障以及多智能体互通协议。

2) 管理

相较于传统的终端设备, 智能体具备独立规划和自主执行能力, 能够在没有人类干预的前提下基于预设规则、历史数据或实时数据进行分析, 进而生成决策指令。然而, 智能体的自主性易引发较高的行为风险, 基于 LLM 的智能体行为风险评估框架仅能识别 68.8% 的真实世界风险^[20]。

智能体的应用发展迅速, 为规避身份冒用、隐私泄露等导致的安全风险, 需对智能体进行统一的身份标识管理。此外, 考虑到智能体自主性及自我进化能力, 需支持面向任务的动态授权 (如户内/户外权限动态调整、通算资源权限动态调整), 以避免行为不可控导致的安全风险。

当前 5G 网络基于用户身份模块 (SIM, subscriber identity module) / 嵌入式 SIM 卡 (eSIM, embedded SIM) 身份认证机制, 需物理可信存储空间来存储身份认证信息, 不适用于数字化的智能体应用 (如个人数字助理)。此外, 当前 5G 网络主要支持基于签约的静态授权, 不支持面向任务的动态授权。因此, 需进一步研究面向智能体通信的统一身份标识管理及任务级动态授权管理。

3) 赋能

常见的智能终端算力有限, 难以支持视觉-语言-动作 (VLA, vision language action) 等大模型的复杂计算需求。因此为满足大模型运行要求, 从网络获取算力供给成为重要需求。具身智能机器人具备较强的算力, 可支持数百亿参数的大模型运行。然而, 这不可避免地推高了具身智能研发、生产和维护成本, 难以大规模应用和推广。考虑成本因素, 具身智能同样存在将计算卸载到网络的需求。

当前 5G 引入边缘计算, 但仍然服务于通信业务本身, 实现数据本地分流和低时延, 且缺乏对通信和计算的统一度量 and 调度。因此, 需进一步研究

网络-计算协同服务框架, 以支持异构算网资源实时感知及统一管控, 以及时延、吞吐量、资源利用率和计算负载等复杂约束下的通算资源协同调度。

此外, 智能体大模型的训练数据采集和存储面临严峻的挑战。以谷歌的 RT-1 VLA 模型为例, 该模型在数据采集阶段投入了 13 个机器人, 历经长达 17 个月的时间, 涵盖了 700 多个任务, 耗费了大量的人力、物力资源和时间成本^[21]。为应对这一困境, 需要网络提供通感、数据采集和数据存储、共享等能力, 为智能体大模型的训练提供丰富且高质量的数据。

当前 5G 网络主要面向用户业务数据传输, 不支持海量 AI 训练数据的高效采集、传输及存储。此外, 现网中数据在多域孤立存储, 缺乏数据统一管理, 难以支持高效数据共享。因此, 需进一步研究端到端数据服务框架, 以实现数据采集、传输、处理、存储和开放共享的数据全生命周期管理。

1.1.2 智能体赋能 6G

当前 AI 赋能网络 (AI4Net, AI for network) 主要面向单点、单任务智能, 如在无线物理层基于 AI 的信道估计^[22]、接收机非线性补偿等, 在无线高层基于 AI 的链路自适应^[23]、覆盖和容量优化等, 在核心网侧基于 AI 的业务识别、体验优化^[24]等。

此外, 5G 网络架构在支持多样化应用和差异化服务的灵活性方面仍有待提升。智能体有望为 6G 网络带来更高的灵活性、自适应性及智能化水平, 实现场景化的网络生成和差异化的服务供给。为应对未来新型业务场景和需求带来的多点、复杂任务协同智能挑战, 实现网络智能自治, 6G 将从 AI 赋能网络向智能体赋能网络演进。

在网络的设计态阶段, 智能体赋能网络场景化生成。不同场景对网络性能、架构和资源的要求差异巨大。例如, 沉浸式多媒体交互业务要求超低时延和高带宽, 而通感融合则需要极高连接密度和高精度感知能力。这种多样化的场景需求使得传统的预配置网络架构难以有效应对。网络内生智能体能够实时解析个人用户和行业用户在不同场景下的具体需求和意图, 并动态调配网络功能和资源, 自动化生成按需匹配的专用网络, 实现从“预配置网络”向“生成式网络”的演进。

在网络运行态阶段, 智能体赋能网络提供差异化服务。6G 网络运行态的核心目标是通过实时感

知网络资源状态和业务需求，动态建立资源与服务映射关系，为多样化业务和差异化用户需求提供可保障的定制化服务能力。智能体能够对网络进行自治优化与协同调度，从而支撑网络的动态感知、自主调控与弹性演化，使得 6G 网络能够更好地适应复杂多变的应用场景，满足用户的个性化需求。例如，某用户在高铁上参加重要视频会议，需要保障未来 1 h 的高清视频通话质量。网络内生智能体可根据用户的业务需求，结合用户位置、移动速度、网络负载等因素实时调整匹配网络参数，确保该用户的良好业务体验。

1.2 智能体通信网络概念内涵

ACN 是智能体与 6G 网络的深度融合与双向赋能，包括网络使能智能体和智能体赋能网络，如图 2 所示。网络使能智能体是指将 6G 作为智能体通信的新型基础设施，需要设计新的组网和交互模式，为多样化的智能体终端及应用提供有 QoS 保障的通信组网服务，以及计算、感知、数据等超越连接服务。针对网络使能智能体面临的需求和挑战，6G 通过增强控制面和用户面等网络功能设计，以解决智能体的身份管理、灵活组网等问题，以及 AI 模型、词元 (token) 等新型流量转发和多模态交互问题。同时，6G 通过增强数据面、计算面等网络功能设计，以解决智能体的计算卸载、数据采集和存储等问题。同时，6G 通过新定义智能体通信服务域，以更好支持智能体的注册发现以及任务协同。

智能体赋能网络是指智能体作为 6G 内生智能的重要技术途径，将终端到网络的连接、网络功能之间的连接变得更灵活更智能，从而满足多元化、多维化、动态化的新需求。针对智能体赋能网络的

需求及挑战，6G 需要基于智能体构建网络内生的“感知-决策-执行”能力，提升网络场景化定制能力和自智优化能力。6G 通过对控制面、用户面等网络功能进行智能化设计，构建智能体生成环境及运行引擎，以解决网络在设计态阶段和运行态阶段的优化问题，实现网络智能自治。

2 智能体通信网络架构设计

2.1 6G 使能智能体网络架构设计

面对 6G 时代异构智能体通信的复杂需求与挑战，6G 网络架构不仅需要连接与路由层、服务化功能层等增强，甚至需要聚合各层能力才能支撑实现智能体的高效协同。基于 6G “三体、四层、五面”的基础网络架构^[25]，本文提出一种面向智能体通信的分层增强架构，通过连接与路由层、服务化功能层及智能体通信服务域的跨层协同设计，实现智能体在 6G 中的泛在接入、数据融合处理、计算按需卸载及任务高效协作，如图 3 所示。

1) 连接与路由层

具备多模态无线接入能力，例如蜂窝网络、Wi-Fi、卫星通信等，支撑异构智能体在 6G 网络中的无缝泛在接入。通过互联网协议 (IP, Internet protocol) 网络、网关技术等实现异构接入协议的适配与融合，支持智能体在移动场景下的动态切换与低时延通信，从而为智能体通信提供高质量的连接保障。此外，该层还提供无线、边缘及云端算力资源，在服务化功能层控制下为用户提供泛在算力服务。

2) 服务化功能层

服务化功能层包括传统的控制面和用户面，以及 6G 新增的计算面、安全面、数据面功能，从而

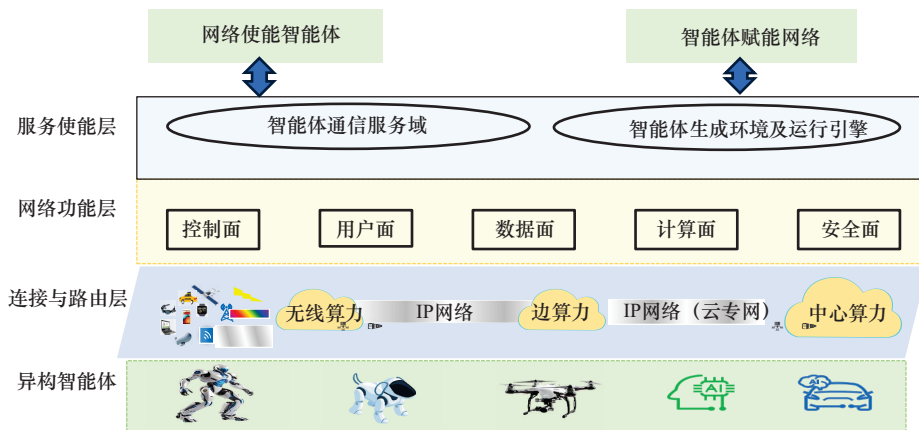


图 2 6G 智能体通信网络概念示意

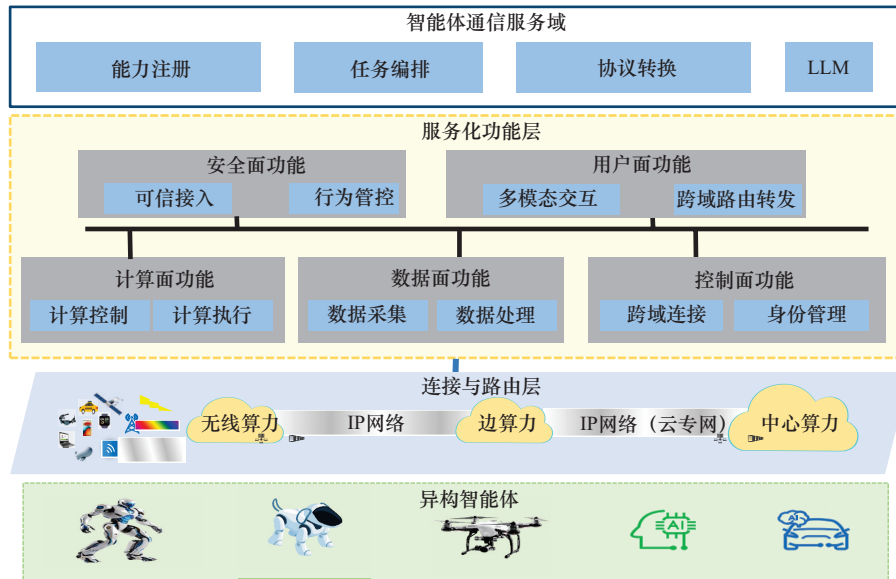


图3 6G使能智能体网络架构设计

为用户提供通信、感知、计算、智能、安全等多要素融合服务^[25]。

控制面增强支持智能体身份管理功能，基于统一的数字身份体系，关联及管理同一用户不同形态的智能体。控制面增强支持跨域连接功能，用户面增强支持多模态交互与跨域路由转发，协同连接与路由层，实现异构智能体之间多模态信息交互和高效任务协作。安全面增强支持智能体行为管控功能，以保障智能体的可信接入。数据面基于数据服务框架，支持数据的采集、传输、处理、存储和开放等全生命周期管理。计算面支持计算按需卸载、通算资源联合调度，实现智能体通信数据的融合处理和计算的高效执行。

3) 智能体通信服务域

智能体通信服务域与服务化功能层、连接与路由层协同，搭建6G使能智能体网络架构。通过组合调用服务化功能层的能力，为智能体提供能力注册、任务编排、协议转换等新型网络服务。能力注册服务通过标准化封装与开放智能体服务能力，支持智能体间的能力共享与互操作。任务编排服务支持基于能力图谱的任务编排与协同，使得智能体能够更加高效地协同完成任务。协议转换服务则实现了异构智能体之间的高效通信，打破了不同智能体协议生态间的壁垒。

2.2 智能体赋能6G网络架构设计

智能体的引入，是网络架构进一步实现智能化重构、升级的契机。其核心在于构建智能体生成环

境和运行引擎，以此为基础形成内生智能体的6G网络架构。本文基于6G“三体、四层、五面”的基础网络架构^[25]，设计智能体生成环境和运行引擎，并借助分层解耦与跨层协同机制，实现多维度功能组件的有机整合与高效协同，如图4所示。

智能体生成环境和运行引擎包括网络大模型、智能体自动化管理、工作流编排，基于大模型整合工具库、执行流程及编排管理机制，构建适配移动通信网络的智能体运行环境，为智能体高效运行提供底层能力支撑。

1) 基于LLM构建网络大模型。利用LLM强大的语言理解和生成能力，构建网络大模型。该模型为智能体提供丰富的知识和推理能力，使其能够更好地理解用户意图和网络需求。在意图解析过程中，基于LLM构建的网络大模型可以准确理解用户复杂的需求描述，并将其转化为具体的网络任务，实现智能体的精准任务执行。

2) 智能体自动化管理。通过自动化注册和发现机制，智能体能够快速找到所需的工具，并根据任务需求进行智能匹配。同时，对智能体的权限管理和容灾备份机制确保了智能体在网络中的安全运行和可靠性。在多用户多任务场景下，自动化管理系统可以根据任务优先级和资源状况，合理分配智能体和工具资源，避免资源冲突和浪费。

3) 工作流编排。采用面向任务的工作流编排机制，实现网络自动化、智能化的高效运行。通过意图理解将用户需求拆解为具体任务，然后进行任

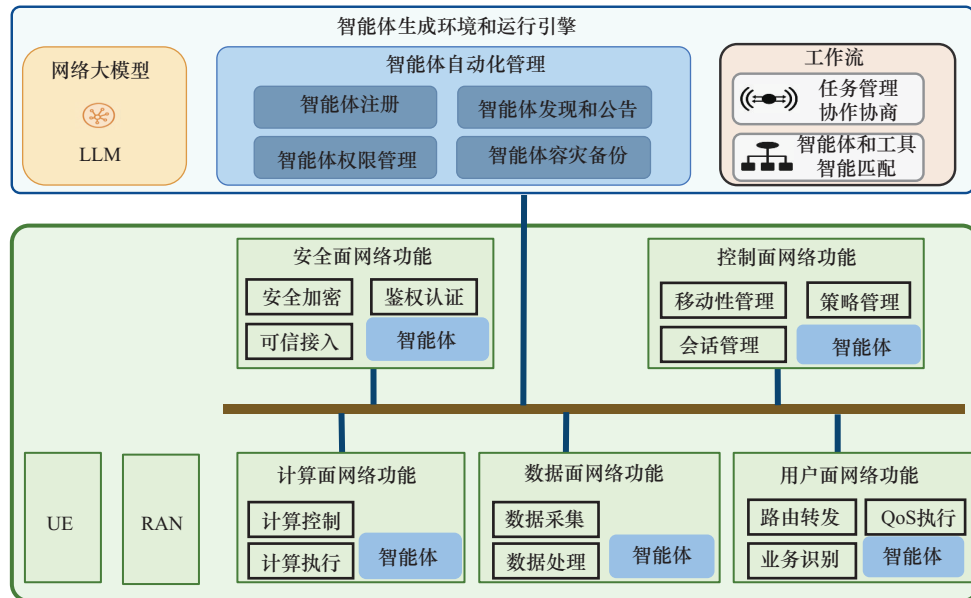


图4 智能体赋能6G网络架构设计

务编排与重编排。在这个过程中，网络功能被Agentic化封装，原子服务被封装为工具，通过智能体框架实现新功能的敏捷迭代及自动调用。

3 智能体通信网络关键技术

3.1 6G使能智能体

为支撑实现6G使能智能体的网络架构设计，需结合智能体特性和通信网络特征开展关键技术研究，包括身份标识、动态组网、互通协议以及数据+计算基础平台等关键技术。

3.1.1 智能体身份标识

随着智能体的形态多元化、供应商多样化，各类智能体均面临接入网络的迫切需求，亟须探索支持跨生态泛在接入的身份标识技术。该身份标识需具备两大核心能力：一是锚定信任锚点，构建智能体行为的可追溯性与可管控性框架；二是强化智能体属性管理能力，兼容运营商与第三方属性感知需求，实现基于身份标识的属性感知与管控，进而支撑基于属性的智能体动态组网与服务定制。

当前移动通信网络身份认证体系存在显著局限性。基于SIM卡的连接服务及以统一数据管理（UDM, unified data management）为核心的集中静态签约模式，导致网络服务同质化严重，难以适应智能体通信的差异化需求。一种潜在的技术方向为去中心化身份（DID, decentralized identifier）认证框架，通过为每个智能体分配唯一数字身份标识，

并基于区块链或分布式账本记录身份信息，实现DID验证^[26]。其特点在于支持跨平台互信，可打破传统中心化认证的孤岛限制，使不同供应商智能体能够互认身份。同时结合非对称加密等技术，确保通信过程的数据隐私性。然而，该框架在面对大规模智能体接入时，其存储和计算能力可能成为瓶颈，从而影响认证效率。

面对上述挑战，未来需支持SIM/non-SIM身份灵活分发，确保智能体责任锚定可追溯至真实用户。同时，需进一步探索结合DID等数字身份体系，构建分层身份认证体系，以应对未来智能体通信的复杂需求。此外，还需考虑智能体属性感知管理，识别来自智能体和第三方的需求，加强智能体行为管控。

3.1.2 智能体动态组网

考虑到智能体的能力存在多样性和差异性，且单一能力的智能体难以完成复杂任务，通常需要多智能体协作来完成复杂任务。

为支持多个智能体的通信和协作，需研究如何支持租户化灵活组网。移动网络首先为每个用户创建专属的子网，相同用户名下的智能体能够通过数字身份接入子网，并与子网内的其他智能体共享数据及任务协作。此外，当面临复杂任务时，可以基于任务目标临时地为多个智能体创建动态子网，使得不同用户的智能体也可以实现信息交互和任务协作，保证智能体组网的任务级隔离。

此外, 还需考虑如何保障子网的稳定性和可靠性。当子网中的智能体出现异常行为, 如通信中断、响应迟缓、异常动作等, 网络可以根据自动监控或用户指示迅速对其进行隔离管控, 如强制下线该智能体。一旦异常状况升级, 网络可以触发子网级别的安全隔离机制, 将整个子网与其他正常网络区域隔离, 从而将潜在风险控制在最小范围内。

3.1.3 智能体互通协议

为确保不同形态、不同能力、跨厂商智能体之间的全局互操作性, 需引入标准化的智能体互通协议。业界针对智能体互通协议已有相关实践, 主要包括智能体与工具之间的交互协议以及智能体之间的交互协议^[27]。

MCP 是智能体与工具之间交互的典型协议, 将模型与外部系统之间的通信抽象为一个客户端-服务器架构, 通过标准化的接口实现上下文的动态传递和工具的灵活调用^[17]。智能体之间的交互协议包括智能体网络协议 (ANP, agent network protocol) 及 A2A 协议等。前者是针对智能体网络设计的开放协议框架, 旨在定义智能体之间如何连接, 并为海量智能体构建开放、安全、高效的协作网络^[28]。后者则可为智能体提供一个通用的开放标准, 使其能够跨越不同的平台、框架和供应商, 安全地进行通信、交换信息并协调行动。

针对移动通信网络需求, 智能体通信协议设计可考虑进一步优化。首先, 移动通信的时延、信令效率等的要求更加极致, 现有协议的通信效率需大幅提升。其次, 移动通信的可靠性、确定性要求更高, 基于 LLM 的概率性决策需进一步提升准确性。此外, 智能体通信协议的安全性也可考虑进一步增强, 包括身份安全认证, 授权、加密通信防篡改、防攻击等。

语义通信通过提取语义特征而非传输原始比特流, 可以大幅提高传输效率, 其基于通信双方的上下文知识和对语义的理解力实现信息含义精准传输, 可用于多智能体实时协同场景^[29]。面向异构智能体多模态通信需求, 文献[30]提出多模态大语言模型实现图像、语音、文本等多模态数据的语义对齐, 解决传统单模态系统效率低下的问题, 实现多模态数据的无缝支持。文献[31]则提出了一种基于边缘的语义提取训练、维护和执行方法, 提升智能体的泛化能力并降低通信开销。

未来智能体互通协议的设计可以考虑基于 A2A 协议、MCP 以及语义通信等技术, 在实时性、可靠性、安全性等方面进行增强。

3.1.4 数据+计算基础平台

在 6G 多要素基础平台能力中, 数据面、计算面对于实现智能体通信数据融合处理与高效计算至关重要^[25]。其中数据服务框架和计算任务卸载两大技术发挥着核心作用。数据服务框架为计算任务卸载提供高质量的数据支持, 保障计算任务基于准确、全面的数据进行^[32]。计算任务卸载则依托数据服务框架采集和处理的数据, 合理分配计算资源, 实现数据的高效利用和计算的优化执行。

数据服务框架支持数据采集、传输、处理、存储和开放的全生命周期管理^[33]。智能体通信涉及的数据可涵盖网络感知数据、网络智能化数据、应用数据等 6G 新型数据, 以及用户签约数据、网络策略数据、用户上下文数据等 5G 传统数据, 从而为智能体通信提供数据服务的基础来源。这些多源异构数据只有通过统一的数据管理, 才能确保数据在网络中的融合处理。数据服务框架为智能体通信提供的数据服务包括数据采集、传输、处理和存储等基本功能, 以支持智能体通信高效的数据全流程管理。

计算任务卸载支持终端在算力有限情况下将计算任务卸载至网络, 实现端网协同计算^[34]。智能体通信存在高效海量计算需求, 不同智能体的算力要求各不相同。5G 移动边缘计算 (MEC, mobile edge computing) 技术为 6G 网络智能体通信奠定了基础, 实现了计算能力下沉、低时延保障、服务本地化, 能够扩展支持端-边-网多层次协同计算。这一技术可以被 6G 智能体通信网络继承并进一步扩展。计算任务卸载技术需研究如何根据智能体的计算任务需求, 结合端、网、边、云侧计算资源的实际情况, 为任务选择最合适的计算节点和计算资源。例如, 对于实时性要求高但计算量相对较小的任务, 优先卸载到网络边缘计算节点, 减少传输时延; 对于计算量巨大但实时性要求较低的任务, 可卸载到云端强大的计算节点进行处理, 以此提升计算效率。

3.2 智能体赋能 6G

为实现智能体对 6G 网络功能的深度赋能, 需融合智能体特性与 6G 网络技术特征, 开展关键技术研究, 具体包括网络功能 Agentic 化设计、工作流编排以及基于智能体的网络接口协议。

3.2.1 网络功能 Agentic 化设计

智能体为网络功能重构带来了新的思路与方法，推动网络功能向 Agentic 化深度转型，从而构建更为智能、高效的网络体系。具体包括如下内容。

1) 控制面功能重构。将控制面网元进行 Agentic 化改造，通过智能体整合与优化网元内处理流程，把控制面原本多个网络功能协同的复杂处理过程，简化为单个智能体的感知、决策、执行闭环操作。这种重构减少了功能模块间的交互损耗，实现了资源的高效利用，大幅提升了网络控制面的处理效率。

2) 用户面功能重构。用户面新增 Agentic 能力，包括策略生成、工具调用和智能体协同等。这些能力赋予用户面更强的自主性：能够根据端网协同及会话需求分解任务，依据实时网络状态动态生成流量策略，并自主调用外部工具，与控制面智能体实现高效协同。

3) 计算与数据处理功能重构。未来网络需满足超高并发、超低时延、海量异构等数据处理需求，引入智能体后，可实现计算资源的高效调度和优化，将计算任务智能卸载到对应的网络侧资源，为端侧提供算力支撑。在数据处理方面，数据智能体可高效完成各类数据的采集、整理和存储，包括签约数据、感知数据等，实现数据全生命周期的智能化管理。

4) 网络管理功能重构。网络管理功能通过 Agentic 化重构，构建具备自主感知能力的管理智能体，实时监测网络拥塞情况、设备性能等关键状态指标。基于收集到的信息，网络管理功能结合机器学习算法和资源调度策略进行智能决策，通过动态调整带宽分配、优化路由路径、平衡负载等方式，实现网络资源的合理分配。

以上是从网络功能不同域分析如何进行网络功能的智能体化设计。在 6G 网络架构演进中，可以分阶段实现网络功能的智能体化设计。

在近期，可在不改变已有 5G/6G 网络功能基础上引入独立的智能体，支持特定场景（如网络管理）的用户意图解析以及 workflow 编排，并与现有网络功能进行交互和协同，从而实现与现有网络功能的兼容性。

在中期，随着感知、计算等新型业务的快速发展和引入，考虑计算面、数据面等处理场景较为复杂的新型网络功能进行按需智能体化设计，通过在

计算面、数据面相关网络功能中内嵌智能体模块，实现智能体的自主“感知-决策-执行”功能。

在远期，为支持更多样的 6G 新型业务以及网络的智能自治，可对原有控制面、用户面、计算面、数据面等网络功能进行重构，即将原有网络功能的原子服务进行拆分或重组，进行智能体化设计封装为可被调用的工具，并基于多智能体协同框架重新构建原有网络功能流程（如移动性管理、会话管理等流程）。

3.2.2 workflow 编排

workflow 是指为完成特定任务或目标所采用的一系列相互关联的步骤。传统意义上的 workflow 步骤是确定性的，即它们遵循预先定义的步骤规则执行任务并返回结果。智能体可与 workflow 场景结合形成智能体 workflow，即为完成特定任务或目标，由一个或多个智能体来动态决策与编排并调用工具执行一系列步骤，以结果为导向进行反思迭代操作，如图 5 所示。

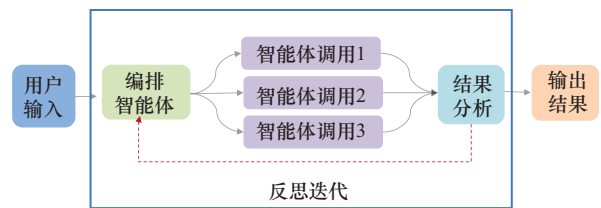


图 5 智能体 workflow 示例

6G 网络具有足够的复杂性和适应性，而智能体 workflow 能够通过分布式决策、动态协作和自适应优化等能力，为网络实现基于意图的 workflow 编排机制，以支持网络自动化、智能化的高效运行，如图 6 所示。为实现这一目标，6G 网络智能体 workflow 应包括以下功能。

1) 基于意图的 workflow 编排机制。大模型通过与用户交流，理解并记忆用户提供的任务意图描述，结合实时网络状况和资源情况动态生成 workflow 任务描述，将任务通过智能体协议接口下发到相关网络功能智能体。

2) 网络功能的智能体化封装及自动化调用。将网络功能封装为可复用的智能体，并以接口调用方式提供给其他智能体调用，配合相应的权限管理实施任务规划。

3) 多智能体高效协同能力。多个智能体互连接构成系统进行交互，以任务为中心自主规划执

行流程, 按需调用网络内外的工具完成单个智能体不能完成的复杂任务。

4) 任务结果反馈迭代。智能体可在每个步骤评估任务执行结果, 如有必要调整计划直到得到满意的结果。

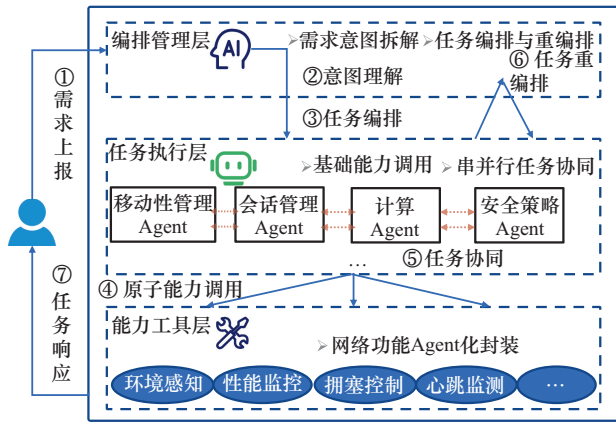


图 6 6G 网络智能体工作流编排

3.2.3 基于智能体的网络接口协议

对应网络功能智能化设计的 3 个阶段, 网络功能接口协议包括图 7 所示的 3 种可选的技术方案。

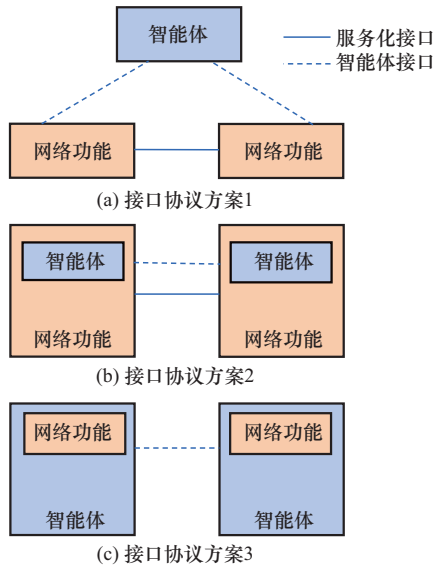


图 7 基于智能体的网络接口协议

在近期阶段, 网络功能间的服务化接口 (SBI, service-based interface) 可继承网络功能原生 SBI 通信机制, 通过独立的智能体模块实现网络智能化增强, 而智能体和网络功能之间可以通过 MCP 及 A2A 协议等智能体接口协议进行交互, 如图 7(a)所示。

在中期阶段, 智能体作为网络功能内嵌的核心

模块存在, 与网络功能深度耦合。智能体通过内部接口与网络功能交互, 无独立外部接口。智能体之间不直接进行交互, 而是通过将智能体之间的交互信息封装到 SBI 消息中, 通过网络功能进行间接的交互。而网络功能之间的交互, 还是按照现有核心网 SBI 交互方式, 如图 7(b)所示。

在远期阶段, 当网络功能基于智能体重构时, 网络功能深度融合于各类智能体内, 智能体间通过外部智能体通信接口实现交互, 可采用基于 MCP 及 A2A 协议等协议进行交互, 如图 7(c)所示。

为支持以上 3 种潜在的网络接口协议交互方式, 可考虑 6G 网络支持双接口协同, 即复用网络功能之间的 SBI, 同时引入智能体之间的智能体通信接口。该方式支持智能体与网络功能通过标准化扩展接口进行智能化交互, 在保留原生 SBI 基础通信能力基础上, 让智能体与原生网络功能形成“既独立又协同”的交互方式。智能体支持接收网络功能的任务请求, 并且调用其他网络功能的能力来完成任务。而在较为稳定的传统业务场景下, 使用现有网络功能间的交互方式, 基于标准的 SBI 完成服务调用。同时, 智能体通信接口也可支持网络功能内的智能体实现信息交互。

4 概念验证

4.1 验证场景及假设

以面向行业的应急救援为应用场景, 设计并搭建了 6G 智能体通信网络原型样机。具备不同能力、不同属性的多智能体通过 6G 网络实现互联互通及任务协作, 验证了智能体注册认证、动态组网等关键特性及流程, 同时验证了网络 Agentic 化设计及工作流编排等 6G 网络新能力。

针对上述场景, 原型验证中假设用户爱丽丝 (Alice) 具有机械狗和机械臂共 2 个智能体, 用户鲍勃 (Bob) 具有机械臂搜救车; 所有智能体均被分配了数字身份标识, 可分别关联到用户 Alice 和 Bob 接入到 6G 网络中。由于所有智能体均可注册到 6G 网络中, 其能力和属性可基于允许和授权对子网内其他成员可见。

4.2 原型系统构建

在应急救援场景中, 2 个用户的 3 个智能体可分别完成不同任务。机械狗搭载激光雷达, 执行环境探测; 机械臂搭载触觉传感器, 完成障碍物抓取

及搬运；机械臂搜救车具有运动底盘，完成导航搬运等任务。智能体终端均内置 AI 大模型。

为实现多智能体协同救援，设计并搭建了 6G 智能体通信网络原型样机系统，如图 8 所示。该系统包括 3 个智能体终端（机械狗、机械臂及搜救车），1 套 E9000H-2U2 服务器用于核心网功能实现并模拟手机终端及无线接入网络的部署，1 台 CE6858 交换机用于核心网部署及设备间组网通信，1 台显示器用于展示核心网功能用户接口界面。

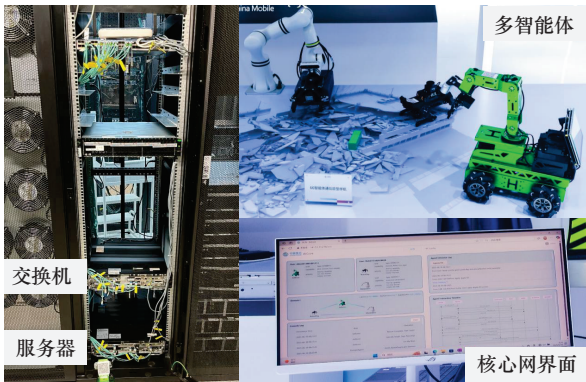


图 8 6G 智能体通信网络原型样机系统

6G 智能体通信网络原型样机硬件配置如表 3 所示。

4.3 验证结果分析

基于搭建的 6G 智能体通信网络原型样机，验证了智能体通信网络关键技术。系统功能验证及结果详细分析如下。

1) 数字身份注册及授权

用户的不同智能体终端通过数字身份，携带能力属性信息及权限属性信息注册到 6G 网络，如图 9 所示。其中机械狗具备摄像头、雷达、四足等属性能力，机械臂具有工业级操作能力，机械臂搜救车具有机械臂、摄像头、四轮等能力属性。三者都具有可共享、可加入新的任务域、可启动新任务等权限属性。

网络基于智能体注册过程中携带的能力及权限属性，调用网络内数字身份管理（IDM, identity management）工具、非接入层（NAS, non-access stratum）信令处理工具，完成智能体的认证并授权。

表 3 6G 智能体通信网络原型样机硬件配置

名称	规格配置
E9000H-2U2 服务器	配置 X86 和 Kunpen 2 套计算板，分别处理计算任务及 AI 推理任务。X86 计算板：2× Intel Ice lake-SP 6338N 32Core@2.2 GHz；Kunpeng 计算板：2× Kunpeng920 64 Core@2.6 GHz 内存：16×DDR4
CE6858 交换机	10 GE 以太网光接口
幻尔 ROS2 四足机械狗	PuppyPi 树莓派、摄像头、飞行时间（TOF, time of flight）激光雷达
幻尔 JetRover 机械臂搜救车	麦轮底盘、摄像头、G4 雷达、深度视觉机械臂
他山 TS 机械臂	多模态触觉传感器、智能仿生机械臂



图 9 智能体数字身份注册

2) 基于任务的动态组网

网络基于用户下发的救援意图进行识别和分析,根据注册到网络中的不同智能体的能力和权限,制定多个智能体的灵活组网策略,如图 10 所示。网络调用域创建工具,创建临时任务域 Domain 1,并通过信令将配置信息发送给终端,将机械狗、机械臂、搜救车加入该任务域,并预留网络资源为智能体通信提供传输保障。

3) 网络功能智能化及 workflow 编排

6G 核心网基于智能化的网络功能,可与工

作流场景结合形成智能体 workflow。网络内不同网络功能智能体交互及工具调用流程如图 11 所示。其中智能体终端可通过 A2A 协议与网络内的智能体进行交互,而网络内智能体可通过 MCP 调用身份管理、动态组网、任务通知等工具。

网络智能体基于用户意图,为完成应急救援的特定任务,由一个或多个网络功能智能体执行推理服务,动态决策与编排相关任务及资源分配。

4.4 网络性能分析

基于上述功能实现,智能体注册阶段端到端时

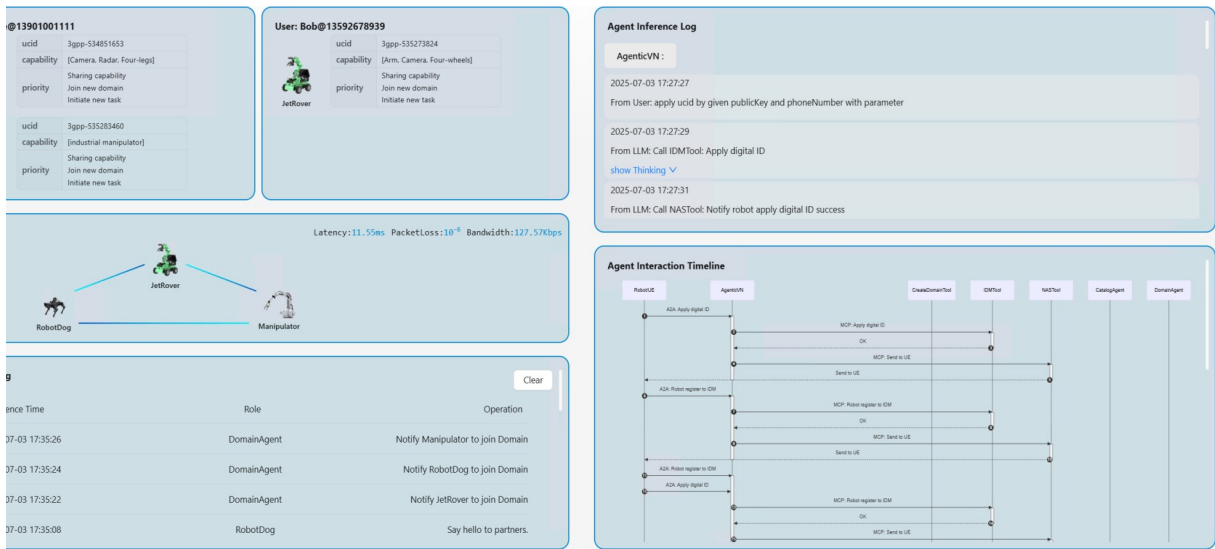


图 10 基于任务的动态组网

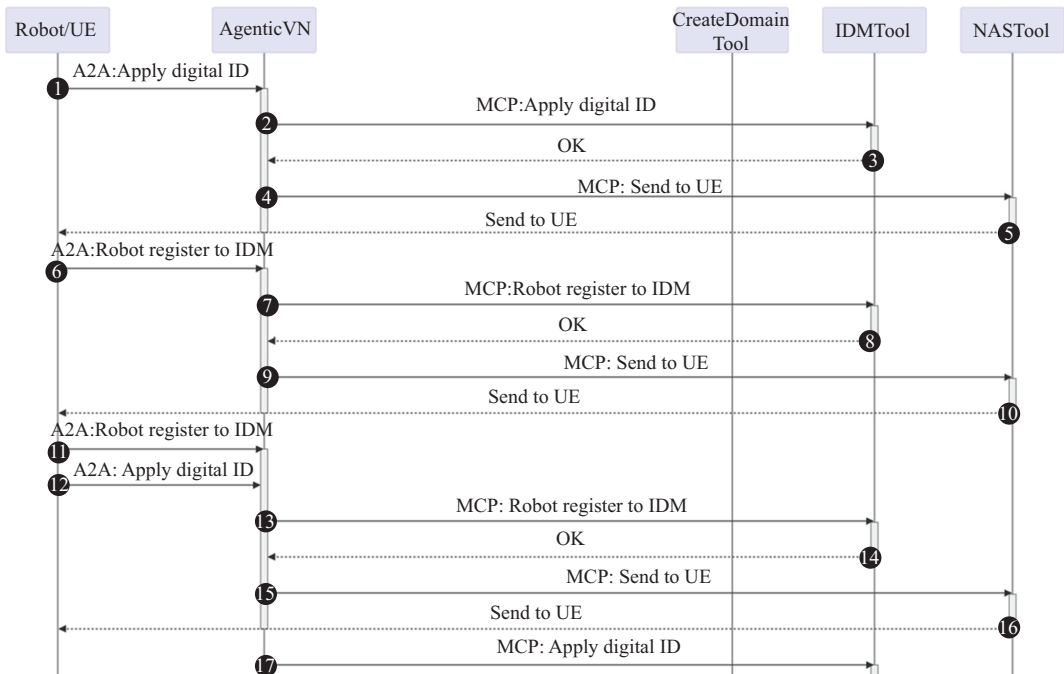


图 11 网络内不同网络功能智能体交互及工具调用流程

延测试结果如表 4 所示。

表 4 智能体注册阶段端到端时延测试结果

注册流程	时延/ms
申请数字身份凭证	155.67
使用网络分配的身份接入	80.33
注册流程总时延	236.00

上述端到端时延包括核心网信令传输及工具调用, 该注册流程的时延可满足不同智能体通过数字身份快速接入的需求。

为评估系统可扩展性, 本文针对多个智能体任务协作阶段测试了核心网控制面时延作为性能评估指标, 如表 5 所示。其中控制面时延为网络下发任务配置到所有智能体接收到并加入临时任务域。

表 5 智能体协作任务控制面时延

智能体任务协作阶段	控制面时延/ms
2 个智能体	446.33
10 个智能体	483.33

基于时延测试结果, 当 2 个智能体扩展到 10 个智能体协作时, 控制面时延仅增加 37 ms, 表明本文系统具有良好的系统可扩展性, 可支持大量智能体协作完成特定任务, 多智能体资源同时调度时不存在冲突。

为评估智能体任务协作阶段用户面性能, 测试从基站到用户面功能 (UPF, user plane function) 的 UPF 丢包率、时延、抖动、带宽等指标, 如表 6 所示。由测试结果可知, UPF 可实现 0 丢包, 同时时延及抖动可满足多智能体协作的数据传输需求。

表 6 智能体协作任务用户面指标

用户面指标	指标均值
单 UPF 丢包率	0
单 UPF 时延/ms	0.541
单 UPF 抖动/ms	0.007
双 UPF 丢包率	0
双 UPF 时延/ms	0.531
双 UPF 抖动/ms	0.10
支持最大带宽/(Mbit·s ⁻¹)	60

5 结束语

6G 将实现从万物互联到亿智智联的变革式发展。智能体通信是 6G 与 AI 的双向奔赴, 既是 6G 最主要的需求之一, 也是 6G 架构最有区分度的技术。本文从网络使能智能体和智能体赋能网络 2 个维度出发, 分析了 6G 与智能体深度融合的需求与挑战, 提出网络架构设计方案以及潜在关键技术, 并构建原型样机对核心功能及关键技术进行了初步验证。

考虑技术的成熟度和变革的深度, 6G 智能体通信网络的发展可分 2 个阶段。6G 智能体通信网络的第一阶段 (即 ACN 1.0) 应首先支持网络使能智能体, 基于 6G 内生计算、感知、AI 等能力, 为各类虚拟和物理智能体提供接入、组网、会话、赋能、协作等需求, 拓展 6G 网络服务能力及价值场景。在此基础上, 6G 智能体通信网络的第二阶段 (即 ACN 2.0) 进一步拓展智能体引发网络变革, 通过智能体技术全面重构 6G 终端、接入网及核心网的网络功能、服务及接口协议。在具体推进过程中, 上述 2 个阶段可根据技术及产业进展进行更细分的阶段划分, 分阶段推动接入、会话、组网、赋能、协作等网络新服务使能多样化智能体通信终端及应用, 实现智能体技术对终端、接入网及核心网的重构。

面向未来发展, 6G 智能体通信有望向生成式 AI 网络迈进。在大语言模型的驱动下, 网络功能与网络协议将实现智能化, 进而推动通信网络的代际变革。然而, 智能体对 6G 终端、接入网及核心网的网络功能、服务及接口协议进行全面重构的必要性与可行性, 仍需业界展开深入研究与广泛探讨。其中, 智能体赋能网络仍需进一步探索智能化网络的运行机制, 以实现智能、高效的网络能力供给。因此, 基于意图的自动化功能生成及编排机制、智能体驱动的网络资源感知与优化方法、基于智能体的网络自动化治理等是未来研究的重要技术方向。

此外, 智能体通信的安全风险将涉及用户与智能体交互、智能体间交互、智能体与环境交互等方面, 包括恶意攻击、注册污染、资源过载拒绝服务、智能体欺骗、侵犯用户及智能体隐私等^[35], 对智能体通信提出了安全及隐私方面的挑战。因此, 智能体动态组网的安全隔离、智能体隐私保护、智能体通信监控防御机制等也是未来重要的研究方向。

未来仍需进一步推动智能体通信网络的技术创新、标准化和产业落地, 加快智能体通信网络追赶 6G 商用的节奏, 为 6G 技术和商业成功筑牢基础。

参考文献:

- [1] TURING A M. Computing machinery and intelligence[C]//Parsing the Turing Test. Berlin: Springer, 2007: 23-65.
- [2] WOOLDRIDGE M, JENNINGS N R. Intelligent agents: theory and practice[J]. The Knowledge Engineering Review, 1995, 10(2): 115-152.
- [3] GOODWIN R. Formalizing properties of agents[J]. Journal of Logic and Computation, 1995, 5(6): 763-781.
- [4] ZHOU H, HU C, YUAN Y, et al. Large language model (LLM) for telecommunications: a comprehensive survey on principles, key techniques, and opportunities[J]. arXiv preprint, arXiv: 2405.10825, 2024.
- [5] KARAPANTELAKIS A, NIKOU A, KATTEPUR A, et al. A survey on the integration of generative AI for critical thinking in mobile networks[J]. arXiv preprint, arXiv: 2404.06946, 2024.
- [6] BARIAH L, ZHAO Q Y, ZOU H, et al. Large generative AI models for telecom: the next big thing?[J]. IEEE Communications Magazine, 2024, 62(11): 84-90.
- [7] XU M R, DU H Y, NIYATO D, et al. Unleashing the power of edge-cloud generative AI in mobile networks: a survey of AIGC services[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2024, 26(2): 1127-1170.
- [8] SANJALAWA Y, FRAIHAT S, AL-E' MARI S, et al. A review of 6G and AI convergence: enhancing communication networks with artificial intelligence[J]. IEEE Open Journal of the Communications Society, 2025, 6: 2308-2355.
- [9] CUI Q M, YOU X H, WEI N, et al. Overview of AI and communication for 6G network: fundamentals, challenges, and future research opportunities[J]. Science China Information Sciences, 2025, 68(7): 171301.
- [10] CHEN Z Q, SUN Q, LI N, et al. Enabling mobile AI agent in 6G era: architecture and key technologies[J]. IEEE Network: the Magazine of Global Internetworking, 2024, 38(5): 66-75.
- [11] 肖泳. 迈入网络智能 3.0: 移动智能体信息通信网[J]. 移动通信, 2025, 49(1): 1.
XIAO Y. Entering network intelligence 3.0: mobile intelligent agent information communication network[J]. Mobile Communications, 2025, 49(1): 1.
- [12] XIAO Y, SHI G, ZHANG P. Towards agentic AI networking in 6G: a generative foundation model-as-agent approach[J]. arXiv Preprint, arXiv: 2503.15764, 2025.
- [13] LI B R, LIU T E, WANG W L, et al. Agent-as-a-service: an AI-native edge computing framework for 6G networks[J]. IEEE Network: the Magazine of Global Internetworking, 2025, 39(2): 44-51.
- [14] XU M R, NIYATO D, KANG J W, et al. When large language model agents meet 6G networks: perception, grounding, and alignment[J]. IEEE Wireless Communications, 2024, 31(6): 63-71.
- [15] XIAO Y, SONG Y Q, LIU J. Multi-agent deep reinforcement learning based resource allocation for ultra-reliable low-latency Internet of controllable things[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2023, 22(8): 5414-5430.
- [16] NASIR Y S, GUO D N. Multi-agent deep reinforcement learning for dynamic power allocation in wireless networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2019, 37(10): 2239-2250.
- [17] HOU X, ZHAO Y, WANG S, et al. Model context protocol (MCP): landscape, security threats, and future research directions [J]. arXiv Preprint, arXiv: 2503.23278, 2025.
- [18] TUPE V, THUBE S. Demonstrating multi-agent collaboration via agent-to-agent and model context protocols: an IT incident response case study[C]//Proceedings of the 2025 IEEE International Conference on Service-Oriented System Engineering (SOSE). Piscataway: IEEE Press, 2025: 1-5.
- [19] 3GPP. TR 22.870, study on 6G use cases and service requirements; stage 1; release 20[R]. 2025.
- [20] GUO C Q, LI B, LIN Z N, et al. RedCode: risky code execution and generation benchmark for code agents[C]//Proceedings of the Advances in Neural Information Processing Systems 37. Vancouver: Neural Information Processing Systems Foundation, Inc. (NeurIPS), 2024: 106190-106236.
- [21] NEILL A, REHMAN A, MADDUKURI A, et al. Open x-embodiment: robotic learning datasets and RT-X models: open x-embodiment collaboration[C]//Proceedings of the 2024 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). Piscataway: IEEE Press, 2024: 6892-6903.
- [22] GIZZINI A K, MEDJAHDI Y, GHANDOUR A J, et al. Towards explainable AI for channel estimation in wireless communications[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2024, 73(5): 7389-7394.
- [23] KHAN N A, SCHMID S. AI-RAN in 6G networks: state-of-the-art and challenges[J]. IEEE Open Journal of the Communications Society, 2023, 5: 294-311.
- [24] ROY D, RAO A S, ALPCAN T, et al. Achieving AI-enabled robust end-to-end quality of experience over backhaul radio access networks[J]. IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking, 2022, 8(3): 1468-1481.
- [25] DUAN X D, WANG X Y, LU L, et al. 6G architecture design: from overall, logical and networking perspective[J]. IEEE Communications Magazine, 2023, 61(7): 158-164.
- [26] LI X H, JING T, LI R N, et al. BDRA: blockchain and decentralized identifiers assisted secure registration and authentication for VANETs[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2022, 10(14): 12140-12155.
- [27] YANG Y, CHAI H, SONG Y, et al. A survey of AI agent protocols[J]. arXiv Preprint, arXiv: 2504.16736, 2025.
- [28] ZHANG X Q, DONG X F, WANG Y R, et al. A survey of multi-AI agent collaboration: theories, technologies and applications[C]//Proceedings of the 2nd Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area International Conference on Digital Economy and Artificial Intelligence. New York: ACM Press, 2025: 1875-1881.
- [29] 张亦弛, 张平, 魏急波, 等. 面向智能体的语义通信: 架构与范例[J]. 中国科学: 信息科学, 2022, 52(5): 907-921.
ZHANG Y C, ZHANG P, WEI J B, et al. Semantic communication for intelligent devices: architectures and a paradigm[J]. Scientia Sinica (Informationis), 2022, 52(5): 907-921.
- [30] SUN Y, LIU Y Q, GUO S Y, et al. Edge large AI model agent-empowered cognitive multimodal semantic communication[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2025, PP(99): 1-18.
- [31] YANG W T, LIEW Z Q, LIM W Y B, et al. Semantic communication

meets edge intelligence[J]. IEEE Wireless Communications, 2022, 29(5): 28-35.

- [32] YUAN Y N, QIN F, LIU J K, et al. A unified data collection framework based on the data plane for 6G[J]. Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering, 2025, 26(2): 293-300.
- [33] QIN Z, DENG S G, YAN X Q, et al. 6G data plane: a novel architecture enabling data collaboration with arbitrary topology[J]. Mobile Networks and Applications, 2023, 28(1): 394-405.
- [34] COZZOLINO V, TONETTO L, MOHAN N, et al. Nimbus: towards latency-energy efficient task offloading for AR services[J]. IEEE Transactions on Cloud Computing, 2022, 11(2): 1530-1545.
- [35] HE Y F, WANG E, RONG Y Y, et al. Security of AI agents[C]//Proceedings of the 2025 IEEE/ACM International Workshop on Responsible AI Engineering (RAIE). Piscataway: IEEE Press, 2025: 45-52.

[作者简介]



段晓东 (1977-), 男, 山东临沂人, 中国移动通信研究院教授级高级工程师, 主要研究方向为 5G/6G 网络架构、IP 新技术、IPv6、算力网络等。



黄正磊 (1982-), 男, 四川盐源人, 博士, 中国移动通信研究院高级工程师, 主要研究方向为 5G/6G 网络架构、智能体通信等。



陆璐 (1979-), 女, 重庆人, 中国移动通信研究院正高级工程师, 主要研究方向为 5G/6G 网络架构、算力网络等。



孙滔 (1981-), 男, 山东滕州人, 博士, 中国移动通信研究院正高级工程师, 主要研究方向为移动通信网架构、IP 新技术研究和标准化等。



郑韶雯 (1993-), 女, 浙江衢州人, 中国移动通信研究院工程师, 主要研究方向为 5G/6G 网络架构、智能体通信等。



孙慧晴 (1995-), 女, 河北保定人, 中国移动通信研究院工程师, 主要研究方向为 5G/6G 网络架构、沉浸式通信等。