

6G 沉浸式通信业务与关键技术探索



Exploration of 6G Immersive Communication Services and Key Technologies

熊春山/Xiong Chunshan, 万青/Wan Qing, 陶源/Tao Yuan

(中兴科移动通信技术股份有限公司, 中国北京 100085)
(CICT Mobile Communication Technology Co., Ltd, Beijing 100085, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202601005

网络出版地址: <https://link.cnki.net/urlid/34.1228.TN.20260225.1015.006>

网络出版日期: 2026-02-25

收稿日期: 2025-12-20

摘要: 面对沉浸式通信业务向多行业渗透以及通感算智深度融合的发展趋势, 6G网络面临诸多技术挑战。提出一种面向6G的新型服务质量(QoS)架构及一系列关键技术。具体包括: 采用包级细粒度QoS控制, 定义一种保证速率且非资源预留的新型QoS类型, 以提升用户设备上行速率并实现用户面快速动态QoS调控; 基于6G内生智能实现流量检测与QoS参数生成, 提出多模态流的协作与同步方案; 设计支持智能体数字人通信的意图感知与流量特征自适应传输方案; 通过网络计算协同缓解人工智能生成内容(AIGC)算力瓶颈, 满足沉浸式生成式通信的性能需求。基于上述技术, 创造性构建了一套6G全息沉浸式通信业务验证平台, 实现了虚实共生的全息体验, 验证了AI赋能QoS的有效性。该平台在提供极致沉浸体验的同时, 借助智能体数字人开创了保护个人隐私的新型视频通话空间, 为未来移动通信新场景的培育奠定了技术基础。

关键词: 沉浸式通信; QoS; 多模态; 同步与协作; 智能体通信; AIGC; 全息; 数字人

Abstract: Facing the penetration of immersive communication services into multiple industries and the deep integration of sensing, communication, computation, and artificial intelligence, 6G networks are confronted with numerous technical challenges. A novel 6G quality of service (QoS) architecture and a series of key technologies are proposed. These include the adoption of packet-level fine-grained QoS control and the definition of a new QoS type that guarantees bit rates without resource reservation, so as to enhance user equipment uplink rates and enable fast dynamic QoS control on the user plane. Leveraging 6G endogenous intelligence, traffic detection and QoS parameter generation are realized, and collaboration and synchronization schemes for multi-modal streams are developed. An intention-aware and traffic-adaptive transmission scheme is designed to support avatar-enabled AI agent communication. Furthermore, computational and network resources are coordinated to alleviate the computational bottlenecks of Artificial Intelligence Generated Content (AIGC) and meet the performance requirements of generative immersive communication. Based on the aforementioned technologies, a service verification platform for 6G holographic immersive communication is innovatively constructed, achieving the holographic experience that virtual and real worlds coexist, and validating the effectiveness of AI-enabled QoS. While delivering ultra-immersive experiences, a novel video communication space that protects personal privacy is created through the use of intelligent avatars, laying a technical foundation for cultivating new scenarios in future mobile communications.

Keywords: immersive communication; QoS; multi-modality; synchronization and collaboration; AI agent communication; AIGC; holography; avatar

引用格式: 熊春山, 万青, 陶源. 6G沉浸式通信业务与关键技术探索 [J]. 中兴通讯技术, 2026, 32(1): 24-28. DOI: 10.12142/ZTETJ.202601005

Citation: Xiong C S, Wan Q, Tao Y. Exploration of 6G immersive communication services and key technologies [J]. ZTE technology journal, 2026, 32(1): 24-28. DOI: 10.12142/ZTETJ.202601005

沉浸式通信的应用场景不再局限于娱乐消费, 而是持续向教育、医疗、文旅、工业制造等垂直行业拓展。为此, 国际电信联盟 (ITU) 已将其列为6G六大重点应用场景之一^[1]。与此同时, 人工智能与计算技术正深刻影响并重塑

沉浸式通信应用的实现路径。例如, 基于大语言模型的智能体 (AI Agent) 通信正在颠覆传统的人机及机器间交互逻辑。在内容制作层面, 沉浸式业务正加速向计算机生成内容与云端实时渲染相结合的模式转型^[2], 显著降低了构建沉浸式虚拟空间的技术门槛。然而, 当前5G系统在架构设计和网络扩展能力方面仍面临一定的技术瓶颈, 难以充分满足更

基金项目: 国家科技重大专项 (2024ZD1300400, 2025ZD1301800)

为严苛的性能指标要求及日趋多元化的应用需求。本文立足6G系统的发展视角,旨在探索支撑未来沉浸式通信标准化与产业化的关键技术路径与可行解决方案。

1 6G沉浸式通信的发展趋势与挑战

随着人工智能与计算技术的持续突破,沉浸式通信技术正加速向通感算智融合的方向演进,相关应用与设备也从概念验证走向产品规模化落地,呈现出以下核心趋势:

1) 应用场景多元化:从以娱乐游戏为主拓展至行业应用与社会治理,涵盖扩展现实(XR)远程医疗诊断、沉浸式教育、虚拟演唱会及数字孪生等多个领域。沉浸式通信正逐步成为连接物理世界与数字世界的关键纽带。

2) 消费体验升级:具备裸眼3D、全息交互功能的沉浸式设备(如智能眼镜)正加速走向大众市场。预计未来5年,全沉浸式配置设备的复合年均增长率(CAGR)将超过23%^[3]。同时,沉浸式设备持续向轻量化、低功耗、多模态方向演进。

3) 与AI技术深度融合:集成智能体的沉浸式通信设备可实现人机及机器间的意图感知,支持语言、手势、表情等多模态自然交互。此外,以AI模型为核心,由文本、图像或语音指令驱动的内容自动生成与动态演化^[4],将支撑实时高保真的虚拟环境与角色构建。其中,三维数字人(3D Avatar)^[5]因具备个性化、灵活性及情境感知能力,成为当前热点方向之一。

4) 与计算技术深度融合:复杂场景下的实时渲染对终端算力提出更高要求。借助分布式计算与云计算技术,终端的渲染任务正逐步向边缘端或云端迁移,有效提升系统性能与用户体验。

随着ITU将沉浸式通信列为6G六大典型场景之一,第3代合作伙伴计划(3GPP)、IMT-2030(6G)推进组等标准组织已相继开展6G用例与需求的研究。总体而言,6G沉浸式通信对系统设计提出的挑战可归纳为以下几个方面:

1) 多维度拓展网络通信性能。新型媒体形态与高交互体验要求网络同时具备超大带宽(吉比特每秒量级)、极低时延(毫秒级)及高可靠(99.999%级)的传输能力。

2) 多维度同步要求。多模态与多源数据需在时间、空间、运动方向等维度满足严格的同步要求(允许一定门限偏差),以保障沉浸式体验的一致性。

3) 动态适配业务特征变化。业务流量特征会随模态切换/组合、非周期媒体传输等出现突发性变化,网络需具备实时动态适配能力,以确保确定性的用户体验。

4) 支持智能体通信。基于智能体的通信将是6G区别于

传统5G通信的关键特征之一。智能体通信不仅要支持传统媒体流的传输,还需支持基于意图及其AI隐空间解析/生成内容的通信模式。

5) 协同计算与通信。当终端将计算任务卸载至边缘或云端时,网络需实现计算与通信的协同优化,以在网络环境与算力资源动态变化的条件下保障端到端的总时延要求。

2 6G沉浸式通信的关键技术

为应对上述挑战,本文中我们提出一种面向6G的新型服务质量(QoS)架构,并围绕多模同步与协作机制、适配智能体数字人通信特点的传输方案,以及支持生成式通信的网络计算等关键技术展开分析。

2.1 6G新QoS架构

基于智能内生特性,6G网络能够实时感知业务流量特征与数据类型,动态调整QoS策略并进行相应的资源分配。其核心在于构建一种“内容可感知、弹性自适应、精准可控”的新型QoS机制。

1) 包级QoS控制

6G QoS架构支持更细粒度的控制单元——包级QoS。5G的最小控制单元为QoS流,同一流内所有协议数据单元(PDU)采用一致的QoS参数与控制逻辑;5G-A进一步引入PDU集(PDU Set)级控制,确保流内所有PDU Set参数一致。而6G则允许将同一IP五元组数据流中的单个数据包分配至不同的6G QoS标识(QFI),每个QFI对应不同的6G QoS参数配置。

终端与应用服务器可感知每包内容并进行语义标记,通过传输协议(如QUIC)的数据帧将标记传递至6G网络。6G用户设备(UE)或6G用户面功能(UPF)根据接收到的语义标识作为包过滤器,将不同数据包映射至相应的6G QFI。6G无线接入网(RAN)通过解析包的6G QFI及其关联的QoS参数,实现更精细的QoS流级传输调度。

2) 保证速率的非资源预留型QoS类型

本文定义一种新型QoS类型——增强型非保证比特率(E-Non-GBR),可在动态适配资源变化的同时提供速率保证。5G中的保证比特率(GBR)与时延关键型GBR采用强制资源预留方式,在无线资源动态变化及业务编码速率可变场景下,刚性预留易导致资源浪费。而5G的非保证比特率(Non-GBR)虽灵活性高,却无法提供速率保证,难以支撑高价值业务。E-Non-GBR为QoS流配置所需流比特率(RFBR)与所需流最大比特率(RFMR),但不参与资源预留。通过动态QoS机制,在不预留资源的前提下实现对所需

流比特率的保障。

3) 强化网络与UE应用的交互

5G 主要依赖网络能力开放接口支持 RAN、核心网 (CN) 与数据网络 (DN) 的应用功能 (AF) /应用服务器 (AS) 之间的交互。6G 则进一步支持 UE 向 RAN 提供可选的上行 RFBR/RFMR 列表, 由 RAN 选择并指示支持的参数标识, 确保 UE 获得指定的保证速率。

4) 用户面的开放与交互

在 6G 系统中, RAN 与 CN 可通过用户面实现与 DN AF/AS 或 UE 应用之间的相互开放, 感知方式更加高效。借助用户面交互优势, 可有效降低信令开销与交互时延, 同时保留控制面交互作为重要补充手段。

5) AI 赋能 QoS

6G 内生 AI 将深度融入 QoS 与策略设计: UPF 可智能识别新业务流量特性, 为 QoS 参数特性标识打标; 6G 策略控制功能 (PCF) 可智能生成 QoS 参数; 内生 AI 还可优化用户面资源调度, 避免频繁修改 QoS 参数, 从而实现用户体验与系统容量的协同提升^[6]。

2.2 6G 多维度多模通信的同步与协作

6G 多模态通信将融合音视频、触觉信号、数字人 (含模型、表情码、姿态码)、用户手势/位置/姿态信息, 以及人工智能生成内容 (AIGC) 输入提示词与输出内容等多种数据流, 对同步性与融合性提出更高要求。部分新型模态数据在时间、空间与运动维度上的同步需求, 将进一步映射为网络传输中的时间同步、抖动控制及同步门限等关键指标。

5G-A 通过在同一 QoS 流 (QoS Flow) 内配置相同的分组时延预算 (PDB) 实现多模同步。6G 则基于包级 QoS 控制方案, 将“时间”作为特定 QoS 特性参数, 并将不同数据包之间的同步抖动要求作为 QoS 参数, 加载至 GPRS 隧道协议用户面部分 (GTP-U) 协议扩展头中。所有数据包的时间信息由 UE 与 UPF 映射至 6G 系统内部时钟, 时间精度依据应用层需求确定; 同一时间戳对应的多个数据包 (如 PDU 集) 可支持编码优化; 多流间的同步门限则可通过控制面或用户面传递至用户面节点。

6G 将进一步强化多模态协作机制。多模态数据流通常映射至不同的 QoS Flow, 通过优化无线资源变化时的 QoS 调整逻辑 (如独立调整或联合调

整), 以及基站切换时的 QoS Flow 建立策略 (如切换失败时优先放弃某一模态流或整体放弃), 可有效提升多模态数据流的协同传输能力。具体实现方案仍有赖于 6G QoS 新架构的进一步验证。

2.3 基于沉浸式智能体数字人实时通信

智能体数字人是 6G 沉浸式智能体通信的关键技术之一。相较于 5G 沉浸式业务, 沉浸式智能体数字人实时通信的流量模式呈现显著差异: 意图交互频次高、单次交互持续时间多变、意图内容多样且突发性强; 同时, 新型多模态数据 (如意图、Token、张量、隐空间数据等) 的引入, 以及会话流量特征的短时多变性 (如突发交互与周期性流式输出交替出现), 使得流量模式更加复杂。智能体通信的流量特征及其 QoS 保障已成为 6G 标准化的重点研究方向之一^[7]。

在图 1 所示的实验系统中, 智能体数字人 A 通过内置的实时 AI 表情识别模型, 对用户面部及姿态视频进行采集与分析, 生成表情码与姿态码, 并通过支持 QoS 感知的传输协议 (如网页实时通信 (WebRTC) 的不同数据通道) 将多种 AI 语义流实时传输至智能体数字人 B。其中, 3D 数字人模型、表情码、姿态码及意图分别采用独立的网页实时通信数据通道进行传输。各数据通道配置差异化的 QoS 调度策略, 并基于 2.2 节提出的 AI 流识别模型对不同数据流进行分类识别; 同时, 借助实时传输协议 (RTP) 层统一的采样时间源, 实现多模态数据的同步调度。智能体数字人之间采用统一的语义本体, 以保障意图识别的准确性。接收端可使用本地或接收到的通用 3D 数字人模型, 结合周期性传输的表情码与姿态码流, 快速驱动数字人模型渲染, 真实还原对方用户的表情与姿态。

在沉浸式数字人视频通信过程中, 仅传输用户的表情及姿态码信息, 未涉及任何真实用户的视频或背景数据, 从而有效保护用户隐私。预计在 6G 时代, 基于数字人的视频通信将开辟全新的市场空间, 使用户能够安心开启摄像头, 以

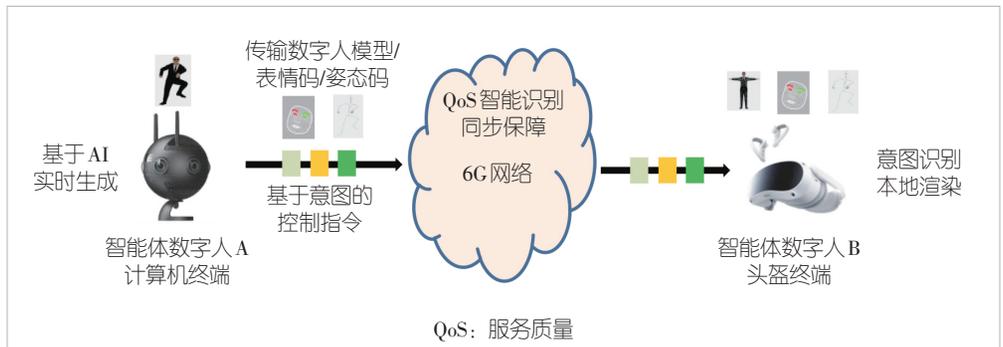


图1 智能体数字人实时通信

数字人形态与他人进行通信。

2.4 基于网络计算的沉浸式智能体生成式通信

基于智能体的 AIGC 有望成为 6G 沉浸式业务内容的核心生产力。当前，AIGC 生成符合用户意图的图片或视频大多需经多步完成：通常先以预览形式向用户呈现中间结果，供其检查效果并允许中断生成

过程以调整提示词（即意图）与配置参数，待用户满意后再最终生成高质量、个性化的内容。AIGC 内容质量可近似用“算力×时间”衡量，但现有算力调度与协调模式及其适配的 AI 算法，难以支撑实时输出高质量的沉浸式内容。若采用高性能 AI 算法，算力需求将激增，进而引发能耗、体积、重量及成本上升，难以在便携式头盔等终端设备上普及。因此，解决 AIGC 大算力需求与可穿戴终端有限算力之间矛盾的核心路径在于：将终端 AIGC 任务卸载至算力更强的应用服务器，同时保障生成多模态数据的时延要求^[8]。例如，6G 网络可向边缘计算节点提交计算时延约束（如多模态同步门限内），边缘节点据此分配算力；针对端到端时延与往返时延保障（含处理时延与通信时延，计算密集型业务中处理时延占比较高），6G 网络可结合业务时延需求、计算任务量、网络状态及应用服务器算力，动态选择适配的应用服务器与路由^[9]。

在图 2 所示的实验系统中，智能体数字人 B 向应用服务器（智能体 C）发送意图控制指令（如语音形式的自然语言或文字），智能体 C 依据 AIGC 指令生成 3D 高斯溅射（3DGS）模型，借助应用服务器的算力保障实时输出高质量沉浸式内容，并满足业务时延需求。智能体 B 可实时监控 AIGC 生成过程，并提取所生成的内容。

3 6G 沉浸式业务探索与实践

自 2022 年起，团队持续开展沉浸式业务研发，涵盖从 3D、虚拟现实（VR）、XR 到全息的技术演进，从 3 自由度（3DoF）到 6 自由度（6DoF）的交互升级，同步探索多模 QoS 保障技术，并自主搭建 6G 全息通信业务平台，已收获多项创新成果，如图 3 所示。

1) 多空间的全息沉浸式体验：基于不同位置的多虚拟空间组合，用户移步至不同区域可进入相应的沉浸空间，体验多种模态的沉浸式效果。通过非交互大带宽的“超高清晰

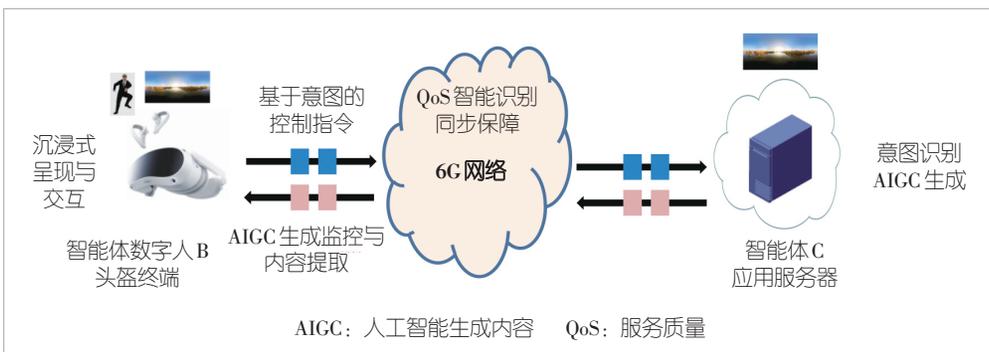


图2 智能体生成式通信

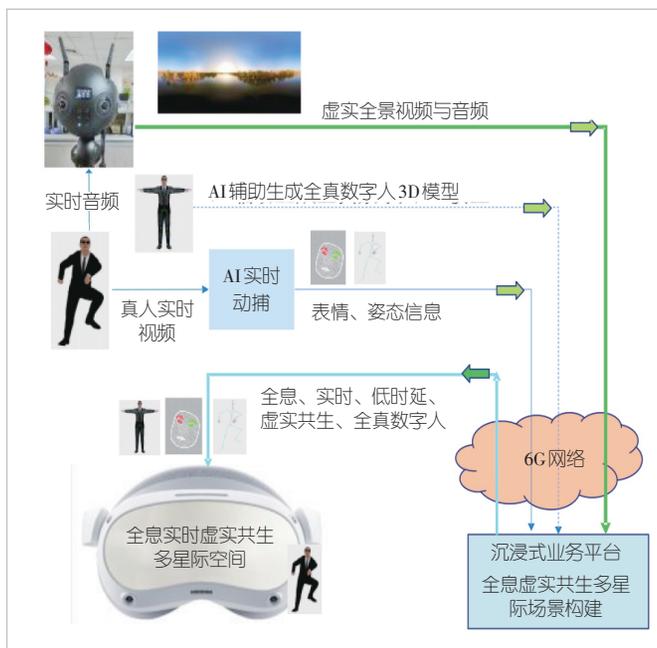


图3 6G全息沉浸式通信验证平台

虚拟空间”与“全景设备实时采集的超低时延、超高清真实空间内容”，实现虚实空间共生与融合。用户在空间移步穿越全景场景时，可体验类似电影《星际穿越》中的“虫洞”效果。此外，平台还支持数字人实时交互空间和文本生成 3DGS 场景的 AIGC 交互空间。

2) QoS 智能控制：基于 2.3 节所述的 AI 流识别模型，智能识别不同流类型，并采用 2.1 节所述的差异化 QoS 控制策略，保障交互式全景实时视频的传输质量。端到端移动到图像（M2P）时间控制在 100~150 ms，其中网络传输时延小于 5 ms，终端头盔设备可稳定接收。

3) 基于智能体的数字人通信：通过 3D 与 AI 工具构建作者的全真 3D 网格数字人模型，并通过 2.3 节所述的智能体通信，实现 3D 数字人的实时表情、姿态驱动与渲染，体验有别于传统视频通信的新场景。

4) 基于意图的智能体生成3D场景: 将AIGC生成计算任务卸载至配置大算力的应用服务器, 在满足低业务时延要求的条件下, 输出高质量、个性化的沉浸式内容。

5) 多模态数据传输: 全息通信业务传输多种模态数据, 包括两个虚实空间全景视频流、一个虚空间语音流、一个数字人语音流、一个实空间语音流、一个3D数字人模型流、一个表情码流、一个姿态码流、一个AIGC提示词命令流, 以及一个获取AIGC 3DGS模型的FastAPI(高性能数据接口)流。6G实验网络可智能识别关键数据流, 分配差异化QoS, 并依据传输层标记的时间戳, 在网络调度时实现多模态数据的同步传输(如大带宽视频与AI语义驱动的高可靠数字人表情码的协同传输)。该多模态多空间全息沉浸式通信业务系统为行业内首个公开报道的多模态的融合6G沉浸式通信业务系统, 支撑2023—2025年工信部与运营商组织的5G基站XR业务测试, 并于2025年6月获上海世界移动大会(MWC)最佳演示奖^[10]。

4 结束语

沉浸式业务在提供极致用户体验的同时, 也面临传统沉浸式内容生成成本高昂的问题。近年来, 3DGS技术持续发展, 借助消费级相机与软件, 仅需多角度照片即可快速重建高逼真3D场景。该技术正加速成熟, 有望激活用户生成的沉浸式短视频市场。

基于数字人的表情码与姿态码视频通信, 可在全面保护用户隐私的前提下, 创建全新的移动视频通信市场, 充分彰显沉浸式通信业务的市场创新潜力。

面向6G, 沉浸式通信带来多维度技术挑战, 亟需通过多种新型6G架构技术加以应对。

致谢

本研究得到中信科移动通信技术股份有限公司王可、秦海超、徐晖、艾明、王胡成、肖国军等专家的指导与帮助; 同时, 在6G全息沉浸式通信开发与实验过程中, 刘强、陆洁、程志密、张晓康、谷肖飞等同事多年来提供了大量的演示与测试支持, 并提出诸多改进建议。谨向以上所有人员致以诚挚谢意!

参考文献

[1] ITU. Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2030 and beyond: ITU-R M.2160-0 [S]. 2020
 [2] Hu K Y, Jin Y L, Zhou H, et al. Generative AI for immersive video: recent advances and future opportunities [PP/OL]. arXiv(2025-08-23)[2026-01-03]. <http://arxiv.org/abs/2508.17163>
 [3] Mordor Intelligence. Virtual Reality (VR) market size & share

analysis - growth trends and forecast (2026 - 2031) [EB/OL]. [2026-01-14]. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/virtual-reality-market>

[4] VELU D, EMBRY A. The convergence of AI and immersive-environments: shaping the future of digital realities [EB/OL]. [2026-01-03]. <https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2024/08/The-convergence-of-AI-and-immersive-environments.pdf>
 [5] 3GPP. Study of avatars in real-time communication services: 3GPP TR26.813 [S]. 2025
 [6] Wang Y Y, I C-L, Sun J S, et al. End to end AI architecture for next generation network [J]. IEEE wireless communications, 2024, 31(1): 86-92. DOI: 10.1109/mwc.013.2200269
 [7] Chen Z Q, Sun Q, Li N, et al. Enabling mobile AI agent in 6G era: architecture and key technologies [J]. IEEE network, 2024, 38(5): 66-75. DOI: 10.1109/mnet.2024.3422309
 [8] Zhao L Q, Zhou G R, Zheng G, et al. Open-source multi-access edge computing for 6G: opportunities and challenges [J]. IEEE access, 2021, 9: 158426-158439. DOI: 10.1109/access.2021.3130418
 [9] Yan M, Guo H R, Chan C A, et al. Semantic communication-enabled multi-access edge computing network resource optimization in the 6G era [J]. IEEE wireless communications, 2025: 1-9. DOI: 10.1109/mwc.2025.3600791
 [10] 中信科移动. 中信科移动6G全息沉浸式通信系统荣获GSMA最佳演示奖 [EB/OL]. (2025-06-30)[2026-01-10]. https://mp.weixin.qq.com/s/Cr_kMW_N7rOkovwNnc_VrA

作者简介



熊春山, 中信科移动通信技术股份有限公司主任级工程师; 主要研究领域为无线网络架构与业务、QoS与政策、IP新技术与移动网络融合、XR/沉浸式通信、数字人、AIGC等; 参与国家级和省部级科研项目9项; 已发表论文17篇, 获授权发明专利140余项。



万青, 中信科移动通信技术股份有限公司工程师; 主要研究领域为移动通信系统业务与架构、蜂窝物联网、卫星通信、定位、沉浸式通信等; 参与终端和网络产品设计20余款, 参与国家级和省部级科研项目3项; 已发表论文4篇, 获授权发明专利20余项。



陶源, 中信科移动通信技术股份有限公司工程师; 主要研究领域为5G-A/6G网络架构、边缘计算、算网融合、时间敏感通信、XR等; 参与国家级和省部级科研项目5项; 已发表论文3篇, 获授权发明专利30余项。