

原生AI融合网络数字孪生赋能下一代无线网络自治



Native AI-Integrated Network Digital Twin for Empowering Next-Generation Wireless Network Autonomy

王首峰/WANG Shoufeng, 郭建超/GUO Jianchao, 边森/BIAN Sen

(亚信科技(中国)有限公司, 中国 北京 100193)
(AsiaInfo Technologies (China), Inc., Beijing 100193, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202505006

网络出版地址: <https://link.cnki.net/urlid/34.1228.TN.20251011.1230.004>

网络出版日期: 2025-10-13

收稿日期: 2025-08-02

摘要: 面向下一代无线网络的高水平自治需求, 提出一种融合原生人工智能(AI)与网络数字孪生的一体化架构。该架构涵盖无线网络数字孪生中的数据采集、模型构建与管理等关键环节, 以及原生AI驱动的网络性能预测、AI用例自生成与网络策略自定义等核心能力。通过将原生AI深度融入数字孪生系统, 构建了“数据-模型-决策-验证”的内生智能闭环, 为应对6G网络高复杂度与高动态性环境下的自治挑战, 提供了系统化的架构设计与理论支撑。

关键词: 6G; 数字孪生网络; 原生AI

Abstract: To address the demand for high-level autonomy in next-generation wireless networks, an integrated architecture that converges native artificial intelligence (AI) with network digital twin (NDT) is proposed. The framework encompasses key processes within the wireless NDT, including data acquisition, model construction, and management, alongside core native AI-driven capabilities such as network performance prediction, automated AI use case generation, and self-customized network strategy formulation. By deeply embedding native AI into the digital twin system, an endogenous intelligent closed loop of "data-model-decision-verification" is established. This provides a systematic architectural design and theoretical foundation for tackling the autonomy challenges posed by the high complexity and dynamic nature of 6G network environments.

Keywords: 6G; digital twin network; native AI

引用格式: 王首峰, 郭建超, 边森. 原生AI融合网络数字孪生赋能下一代无线网络自治 [J]. 中兴通讯技术, 2025, 31(5): 30-36. DOI: 10.12142/ZTETJ.202505006

Citation: WANG S F, GUO J C, BIAN S. Native AI-integrated network digital twin for empowering next-generation wireless network autonomy [J]. ZTE technology journal, 2025, 31(5): 30-36. DOI: 10.12142/ZTETJ.202505006

1 网络数字孪生融合网络智能化研究现状

1.1 数字孪生网络标准现状

全球顶尖咨询公司 Forrester 的研究表明, 数字孪生技术目前主要应用于工业制造、能源、交通等领域, 而在通信网络等基础设施管理方面的应用仍处于萌芽阶段。另据 Gartner 发布的 2023 年十大战略技术趋势预测, 到 2027 年, 全球超过 40% 的大型企业将在其元宇宙相关项目中采用数字孪生技术。然而网络数字孪生技术的实际应用尚处于起步阶段^[1]。

在标准化与学术研究层面, 国际电信联盟电信标准化部

门 (ITU-T) 在其面向未来网络的 Network 2030 焦点组技术报告中, 将数字孪生列为未来网络 12 个代表性用例之一^[2], 并发布了《数字孪生网络需求与架构》标准研究^[3], 同时启动了“数字孪生网络能力评级”等项目的立项研究工作。国际电信管理论坛 (TM Forum) 围绕数字孪生网络服务发起了催化剂项目 “Digital network twin for data-driven 5G services”, 并已完成端到端服务等级协议 (SLA) 闭环保障的概念验证 (PoC)^[4]。互联网工程任务组 (IETF) 也立项了“数字孪生网络: 概念与参考架构”项目, 相关架构文稿已被纳入网络管理研究组 (NMRG) 的组稿范畴^[5]。此外, 国际知名通信测试厂商 Spirent 指出, 由于 5G 技术复杂且可用

性仍面临挑战,需引入数字孪生技术以构建灵活高效的5G试验平台及沙箱环境。Spirent专注于5G信道仿真和移动定位技术,通过实现高精度无线信道仿真,持续评估与预测网络状态,从而助力运营商提升生产效率、降低运营风险、优化决策并增强网络可靠性。

未来6G网络将突破传统方法的局限,转向以人工智能(AI)为核心驱动力的网络规划、建设、运维与优化方式。该类人工智能方法可规避传统数学建模中的抽象转换问题,更贴合实际网络需求,并能够借助大规模神经网络计算快速生成合理决策。实现该目标需满足两个关键条件:首先,系统需构建与现网高度一致的数字模型,为AI算法提供准确输入数据;其次,针对人工智能决策存在的不可解释性,需引入具备仿真能力的平台以验证其决策有效性。人工智能、数字模型与动态仿真能力的有机融合,构成了智慧原生型的数字孪生系统。通过在数字空间中构建无线网络的数字孪生体,并结合网络可视化、数据开放、动态仿真与智能分析决策等技术,可有效提升未来6G网络的自主性与自治能力。

1.2 网络AI标准及技术发展现状

自Release 8起,第3代合作伙伴计划(3GPP)在4G中引入了自组织网络(SON),初步实现了管理面的自动化;Release 16在5G核心网中新增网络数据分析功能(NWDAF),支持在网络内部部署智能化应用;Release 18确立“AI/ML for NG-RAN”与“AI/ML for NR Air Interface”项目,推动支持人工智能的5G系统架构与空口设计^[6-8],这表明移动通信标准正持续朝着与人工智能逐步融合的方向演进。近年来,国际标准组织相继启动原生智能相关立项研究,其核心目标均聚焦于构建更适合AI应用的新一代6G网络架构、协议与机制。这一技术趋势已在全球范围内形成共识。国际电信联盟(ITU)发布5G+AI国际标准《机器学习应用于未来网络(含5G)中的架构框架》,明确指出机器学习技术将显著改变网络的运营与优化模式^[9]。

6G旗舰研究项目Hexa-X致力于构建全新的6G智能网络架构,以实现多项关键使能技术的智能融合。2022年2月,由美国电信行业解决方案联盟(ATIS)成立的Next G Alliance发布报告《Next G Alliance Report: Roadmap to 6G》,将“人工智能原生网络”列为北美6G发展的六大目标之一^[10]。国际上多家运营商与设备厂商也已陆续展开原生智能及网络自治相关研究。例如,思科(Cisco)推出基于意图的网络方案,将网络转变为可编程平台,通过策略驱动实现全网自动化交互,以适应不断变化的业务需求。Apstra则开发出一套供应商无关、基于意图的闭环指挥控制系统,可实

现网络的自动化配置、故障修复与安全防护。

IMT-2030(6G)推进组在《6G网络架构愿景与关键技术展望白皮书》中明确提出,“AI构建网络、网络赋能AI”将成为6G网络的关键能力。2022年1月,6G网络AI联盟(6GAN)发布《6G网络原生AI技术需求白皮书》,指出原生智能(Native AI)将成为未来6G移动通信系统的核心特征之一,并统一了相关术语,提出原生AI架构应具备的十大关键技术特征。中国运营商与设备厂商也相继开展原生智能研究:中国电信研发了共建共享云网智慧运营系统,主导完成了基于共建共享网络的5G人工智能运营技术攻关、系统开发与产业应用;华为推出了意图驱动的智能网络解决方案,致力于在用户与应用程序之间构建可预测、可自愈的网络系统。原生智能网络已成为中国通信领域的研究热点。未来,各企业及行业组织将持续推进6G网络AI相关技术在标准制定、政策监管与产业应用等方面的探索,通过信息与通信技术(ICT)产业、垂直行业、AI服务与解决方案提供商、学术界等多方协同,形成行业共识,共同推动AI成为6G网络全新的基础能力与服务^[11-12]。

在原生AI与网络融合的技术演进中,现有研究虽已探索人工智能在网络优化中的应用,但仍存在两点局限:一是AI模型大多依赖离线训练,难以实时适应6G网络的高动态环境;二是AI决策与网络控制之间耦合不足,缺乏端到端的闭环验证机制。这些不足为本文提出的“原生AI用例自生成”与“策略自定制”技术提供了创新空间。通过将AI深度融入网络孪生体的全生命周期管理,可在动态场景中实现智能决策与实时验证。

1.3 网络自治相关标准及产业进展

在6G研发于全球范围内大规模推进的同时,以TM Forum为代表的国际组织正在持续深化网络自治相关的标准研究。自智网络理念的核心目标,是通过构建体系化方法、技术框架与解决方案,助力运营商实现网络的数智化转型与自治化运营,从而更有效地应对5G/6G时代对网络提出更高要求的复杂商业场景,进一步提升运维效率,实现降本增效,并改善用户体验。为此,TM Forum专门设立了自智网络协作项目(ANP)工作组,聚焦于“通用与专业协同”下的五大标准方向:分级标准、评价体系、架构、接口与关键技术。近年来,该组织已发布多份自智网络最佳实践指南及相关标准,图1为TM Forum定义的自智网络架构^[13]。

在2023年9月发布的TM Forum第5版自智网络白皮书,对未来技术演进进行了深入分析,明确指出网络自治的关键演进技术具体包括:网络AI基础模型、网络可信性技术、

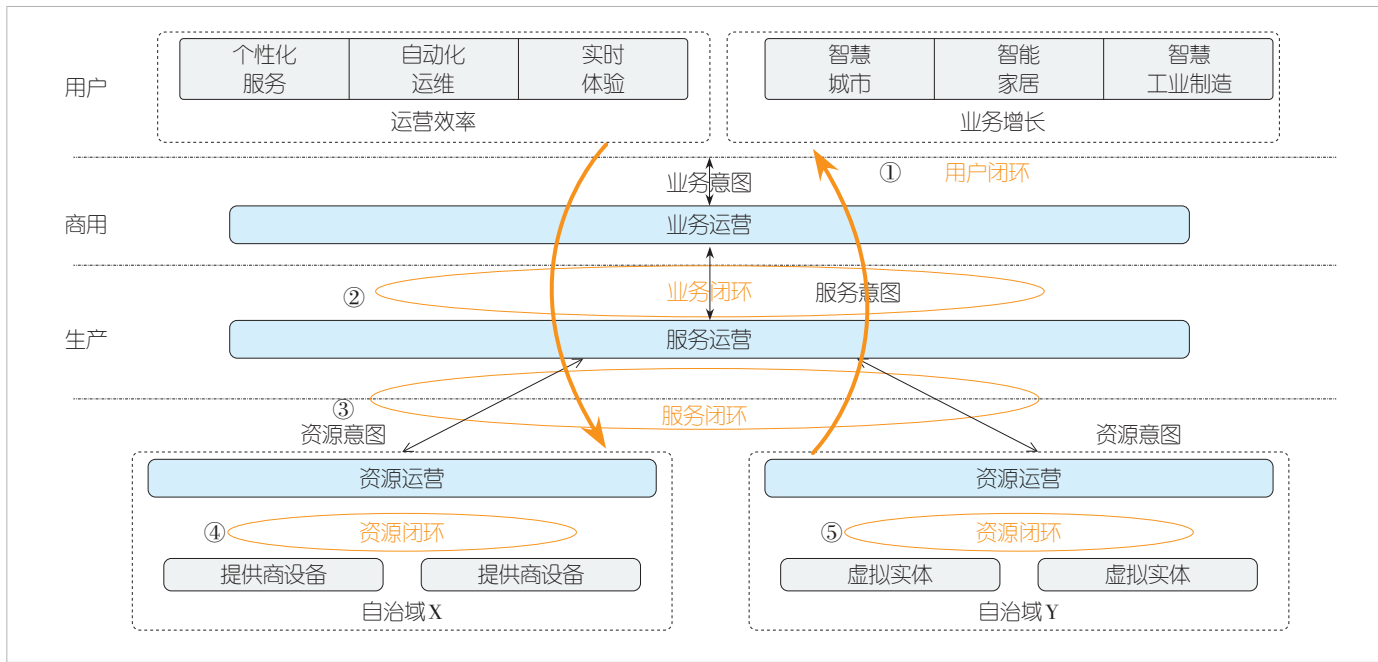


图1 电信管理论坛(TMF)定义的自智网络架构

网络数字孪生、在线网络仿真、网络认知智能及网络人机共生。

与此同时，中国通信标准化协会（CCSA）、3GPP、ITU-T、欧洲电信标准协会（ETSI）等全球标准组织也陆续启动了自智网络相关的标准化工作，积极推动该领域的标准布局。CCSA 已成立以 TC7（技术工作委员会）和 TC610（标准推进委员会）为核心的联合协同工作组，带动多个技术委员会深入合作，立项了 40 余项自智网络相关标准与研究课题，加速自智网络标准体系的构建。ITU-T SG13 则设立了自智网络焦点组 FG-AN，并发布了涵盖用例、机制框架和可信评估等方面的标准建议。下一步，ITU-T SG13 将持续推进数字孪生网络、意图驱动网络及自智网络成效评估指标等相关标准的制定工作。

当前，自智网络的标准研究主要聚焦于架构框架与分级体系，然而在技术落地层面仍存在明显瓶颈：数字孪生与人工智能的融合机制尚未明晰，跨域场景下的动态映射与策略协同也缺乏有效解决方案。针对这一问题，本研究旨在构建原生 AI 与数字孪生深度融合的新型架构，重点解决高动态网络环境中的实时映射构建、自治策略的闭环验证等关键挑战，以填补现有标准在技术实现路径方面的空白。

2 下一代无线网络自治的挑战

6G 作为新一代智能化综合性数字信息基础设施，凭借其空天地海立体覆盖、泛在互联与普惠智能等核心特征，使

得网络系统呈现出高度复杂性、动态性，并对管理能力提出更高要求，从而为实现高阶自治目标带来一系列重大挑战。

2.1 网络动态性与复杂性带来的精准映射与实时响应挑战

高动态性与高复杂性是 6G 网络的核心特征，为实现精准网络映射与实时响应带来了巨大挑战。6G 网络将突破传统地面通信的局限，构建空天地海一体化的立体覆盖体系，其应用场景广泛涵盖城市、海洋、空中和太空等多样化环境。在此背景下，网络拓扑随接入智能体的移动及业务切换而动态变化，信道特性也显著受到多路径衰落、多普勒效应等时变因素的复杂影响。与此同时，6G 网络需支持从传统人与人、人与物通信向智能体高效互联的范式跃迁，业务类型从语音与数据进一步扩展至沉浸式扩展现实（XR）、工业控制、自动驾驶等全新领域。各类业务在时延、带宽和可靠性等方面呈现出极大差异性，导致网络状态表现出高度的动态性和复杂性。传统网络管理方法依赖于人工预设规则与静态建模机制，难以实现对全场景、多维度网络数据（如泛在终端运行状态、多维环境感知参数等）的高效采集，更无法构建与物理网络实时同步的动态数字映射，因而难以及时响应网络拥塞、故障等动态问题，无法满足 6G 高阶自治对实时精准管控的根本要求。

2.2 网络管理的高需求与人工主导模式的适配性挑战

高管理需求是 6G 网络规模与复杂性指数级增长的必然

结果,传统依赖人工主导的管理模式已难以适应。6G网络的高阶自治目标要求实现涵盖规划、部署、运维与优化等全生命周期的自动化管理。然而,6G网络规模呈指数扩张,接入设备数量从百亿级向千亿级跃升,网络功能的虚拟化与切片化进一步增加了其逻辑架构的复杂性,导致传统以人为核心的管理模式面临三重困境:

1) 效率低下:依赖人工配置参数与排查故障,响应速度无法满足6G业务对实时性的严苛要求,例如工业控制中毫秒级时延的应用场景;

2) 成本高昂:为维护超大规模网络需投入大量人力资源,致使运维成本随网络扩展急剧上升;

3) 准确性不足:基于人工经验制定的策略难以适应多样化业务场景,容易因策略误判导致网络性能下降,例如切片资源分配不合理引发业务中断。

2.3 网络自治的“自智能能力”闭环验证挑战

实现6G的高水平自治,要求网络具备“自感知、自决策、自执行、自修复”的完整闭环能力。然而,网络的高动态性与高复杂性使得传统技术难以构建有效的验证机制:

1) 在物理网络中,策略执行后的效果评估往往伴随较高风险,例如测试新的资源调度策略可能引发实际业务中断;

2) 缺乏高保真虚拟环境的支撑,难以在极端场景(如突发自然灾害导致基站密集故障)下验证自修复与自愈策略的有效性。

这种“决策-执行”环节中验证机制的缺失,可能导致网络在高动态复杂环境中因策略失效而制约其自治的稳定性与可靠性。

2.4 原生AI决策的可解释性与网络可信性挑战

原生AI作为6G网络自治的核心驱动力,其决策过程的“黑箱特性”与网络的泛在联接性共同引入了可信性风险:

1) 可解释性不足:基于深度学习等AI算法的决策机制缺乏可追溯性。若因算法偏差导致策略错误(例如误判用户业务类型引发服务质量降级),管理人员难以定位问题根源,无法实施有效干预与修正;

2) 安全风险:6G网络广泛接入智慧交通、工业控制等关键基础设施。原生AI系统一旦遭受恶意攻击(如通过数据投毒篡改训练样本),可能输出错误决策(例如误导自动驾驶车辆的通信资源分配),进而引发严重安全事故。

上述问题阻碍了原生AI在关键任务场景中的可靠应用,构成了实现网络高阶自治的重要信任壁垒。

2.5 跨域场景下的网络自治协同挑战

6G网络旨在实现空地海一体化立体覆盖,其协同自治必然涉及地面移动通信、卫星通信与低空通信等多类异构网络,然而当前跨域协同仍面临技术挑战:

1) 跨域数据融合困难:不同域网络在技术特性上存在本质差异,如地面网络侧重高带宽与低时延,而卫星网络受限于链路稳定性与传播时延,导致各域数据在采集维度、格式与更新频率方面难以统一,无法构建支持全局决策的完整数据视图。例如,地面基站的信道状态信息、卫星的星历参数以及无人机的实时轨迹数据分属不同体系,传统数据处理技术难以实现高效融合与协同利用。

2) 跨域策略适配性不足:跨域业务(如远洋船舶经由卫星与地面指挥中心实现实时通信、无人机集群与地面控制系统的协同操作)对资源调度与故障恢复等机制提出差异化要求。依赖人工预设的静态策略难以适应复杂动态环境,如在卫星链路突发拥塞时,地面网络无法迅速做出响应以重新调配资源,从而导致业务连续性面临高风险。

3 基于原生AI的网络数字孪生架构

本文提出将网络数字孪生与原生人工智能深度融合,为下一代无线网络的自治能力提供关键支撑。数字孪生通过构建物理网络的精准数字化映射,建立了一个虚拟仿真环境,不仅实现了全域实时网络状态的可视化,也为各类管理策略提供了安全可靠的验证平台。原生AI则依托其用例自生成、策略自定制与智能决策能力,驱动网络实现从规划到运维的全生命周期自动化与智能化管理。二者的协同融合可动态适应复杂多变的网络环境与多样化业务需求,有效克服传统依赖人工管理在效率与准确性方面的局限,显著提升网络响应速度与决策精度。同时,依托双闭环验证机制,该架构能够保障自治策略的有效性与可靠性,增强AI决策的可解释性与系统整体可信度,并有助于强化跨域协同能力,从而为构建支持6G泛在互联与普惠智能愿景的高水平自治网络奠定坚实基础。

图2给出了基于原生AI的网络数字孪生赋能下一代无线网络自治架构,研究创新点主要体现在以下3个方面:

1) 架构创新:提出了一种原生AI与网络数字孪生深度融合的新型自治网络架构,通过构建“数据-模型-决策-验证”的敏捷闭环,实现了网络智能从外部赋能向内生融合的体系性突破。

2) 机制创新:设计了“AI用例自生成”与“网络策略自定制”两大核心机制,并引入智能服务质量(QoS)量化评估与双闭环验证框架,有效解决了传统自治网络中AI

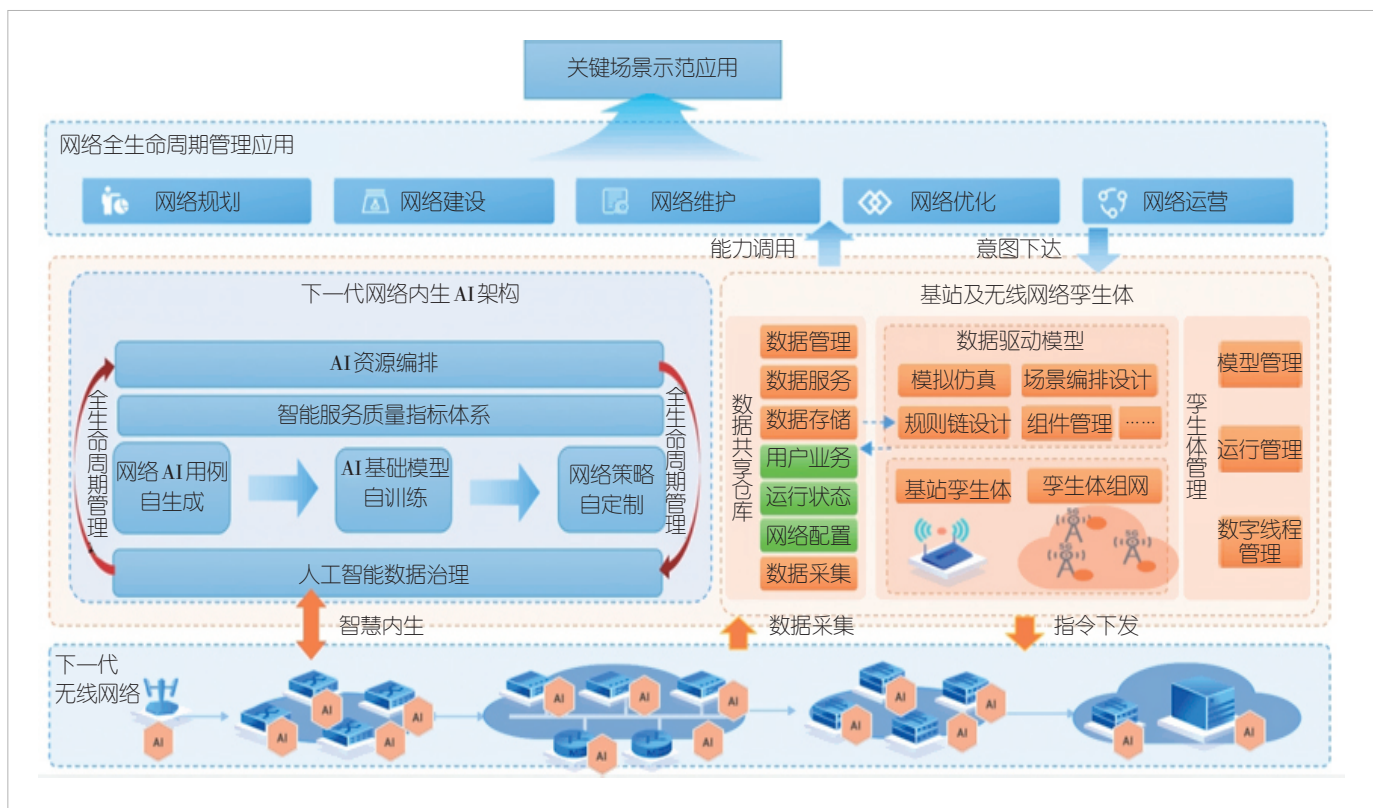


图2 基于原生AI的网络数字孪生赋能下一代无线网络自治框架

决策可解释性差与策略执行风险高的关键问题。

3) 范式创新：推动了网络运维从“被动响应”到“主动生成”的模式转变，使网络具备应对复杂动态环境的自适应与自演进能力，为6G网络实现高阶自治提供了切实可行的技术路径。

3.1 基于原生AI的网络数字孪生关键能力

本架构依托按需、多维、高速的无线网络数据采集、传输与存储技术，构建数字孪生基础。通过建立孪生体本体模型，构建统一表征的融合网络孪生数据库，并基于网元模型与拓扑模型的按需组合实现设备孪生体建模；借助数字线程与场景编排等技术，完成网络全生命周期——包括规划、建设、维护、优化与运营的场景建模，实现数字孪生体的全域闭环生命周期管理。通过AI用例自生成、基础模型自训练与网络策略自定制，系统实现从服务需求到网络执行的智能映射；依托AI服务质量评估与保障机制，全面量化AI服务质量需求。基于原生人工智能与数字孪生两项关键技术，分别构建原生AI无线网元与数字孪生系统，并实现二者深度融合。通过形成“数据-模型-决策-验证”的闭环体系，有效应对下一代无线网络在自治化过程中所面临的动态性、复

杂性与可信性等核心挑战。

3.2 基于原生AI的网络数字孪生关键技术

1) 高通量的数据采集技术研究

为应对网络动态性与复杂性所带来的精准映射与实时响应挑战，本文采用按需采集与异构数据融合技术，实现空、天、地、海多场景网络数据的实时同步，为构建精准映射提供基础支撑。由于物理网络规模庞大、设备形态多样、流量信息复杂多变，全量数据采集难度极高，因此提出以按需采集为核心策略，其采集类型、频率与方法均以支撑数字孪生网络应用为目标，在保障应用需求的同时兼顾全面性与效率。在对特定网络应用进行建模时，所需数据均可从网络孪生层的数据共享仓库中高效获取。该仓库作为数字孪生网络的“单一事实源”，不仅存储海量的历史与实时网络数据，更通过统一的数据模型与标准化接口，实现多源异构数据的语义对齐与深度融合。例如，将地面基站的信道状态信息、卫星星历参数以及无人机移动轨迹等数据进行融合与标准化处理。此外，依托分布式数据同步机制与实时流处理技术，系统确保数据的一致性与高时效性，为跨场景下的全局决策提供精准、完整的数据视图。

2) 高精度的数字孪生建模技术研究

本文通过本体论、知识图谱与图神经网络构成的三级建模方法,构建与物理网络实时同步的动态模型,以提升映射精度。无线网络数字孪生建模主要包括设备网元单体建模和应用场景功能建模两部分。

单体建模是实现大规模网络数据一致性表征的基础。基于本体理论,对实体进行统一表征,构建统一的元数据模型,以确保不同类型、不同厂商设备之间的语义一致性。针对通信网络设备与逻辑网元,融合物理设备信息、环境信息、拓扑节点信息、网络链路信息、容器/虚拟机信息以及网元配置信息,建立无线网络数字孪生体单体模型。在复杂动态场景中,可进一步引入知识图谱与图神经网络(GNN)等技术,以更有效地捕捉网络中实体间的复杂关联与动态变化。功能建模则面向实际网络功能需求,通过整合全生命周期中的多种功能模块,实现动态演进的推理与决策。该模型能够根据各类网络应用的具体需求,在多维度上进行构建与扩展。

3) 高拟真度的数字孪生呈现

为满足自治闭环能力的验证需求,本文中我们采用高拟真可视化与场景编排技术,构建贴近真实的虚拟试验场,以支持网络策略的有效验证。数字孪生网络可视化需具备多精度网元单体与场景模型构建能力,并能够依据具体业务需求选择适当的可视化层级,从而实现对不同环境的高精度拟真。可视化范围涵盖从宏观的网络拓扑与区域覆盖,到微观的基站内部组件与信号传播路径的精细呈现,支持从小微场景至城市级规模网络的全生命周期管理可视化。该技术能够高度还原真实网络状态,并借助数字线程驱动可视化场景的运行与动态更新,通过线程对可视化内容的实时调整,实现动态可视能力。网络可视化不仅有助于用户理解网络内部结构,还可用于挖掘网络中潜藏的有价值信息。数字孪生网络的可视化面临孪生体规模庞大、虚实映射实时性要求高等挑战。为应对这些挑战,可探索基于游戏引擎的高效渲染技术及分布式可视化架构,以支持大规模、高并发环境的实时数据呈现。

4) 网络原生AI用例自生成

为应对网络管理的高需求与人工主导模式之间的适配性挑战,本文中我们提出通过“意图到用例”的自动转换机制替代传统人工配置,以提升网络管理效率。原生AI用例自生成技术重点研究AI用例的生成技术框架及其形式化描述。网络可基于自身数据分析或外部输入(如高层业务意图或网络态势感知结果),自动识别并生成潜在的AI用例描述。该过程可引入自然语言处理、知识推理与强化学习等技术,实

现从业务需求到可执行AI任务的自动化转换。

5) 基于QoAIS的原生AI网络策略自定制技术

为应对原生AI决策在可解释性与网络可信性方面面临的挑战,本文引入QoAIS量化指标体系,以实现AI策略的可追溯与可验证。QoAIS是用于评估网络原生AI服务质量的指标体系。每个AI服务对应一套QoAIS指标,而一个AI用例所对应的QoAIS则由其包含的所有AI服务的QoAIS组合构成。在网络接收到AI用例后,需明确其QoAIS要求,以便将其分解为对资源编排、调度与控制的具体指令。QoAIS要求的获取主要有两种途径:一是外部导入,即在引入AI用例描述时一并提供相应的QoAIS要求;二是内部生成,例如当网络根据上层意图信息自动生成AI用例时,可同步基于该意图生成对应的QoAIS指标要求。

6) 融合数字孪生网络的AI模型训练与验证技术

在原生AI场景模型的生命周期管理过程中,数字孪生网络通过高通量技术采集多维度网络状态数据,经整合处理后为AI提供输入。原生AI根据场景需求自动生成模型选择、训练、验证及决策实施策略。数字孪生凭借其高精度建模与仿真能力,在虚拟环境中对模型及策略效果进行验证,并将反馈结果用于AI迭代优化,最终形成适配方案,从而支撑无线网络规划、建设、维护、优化全流程的自动化,提升网络自治水平。数字孪生作为“安全可靠的试验场”,能够模拟各类极端场景(如大规模故障、突发流量洪峰、网络攻击等),支持故障注入与异常行为验证,从而在不干扰物理网络正常运行的前提下,全面评估AI策略的鲁棒性与有效性,显著降低新策略的引入风险。为进一步增强原生AI决策的可解释性与网络可信性,集成可解释人工智能(XAI)技术,通过决策过程可视化、特征重要性分析及反事实解释等方法,使AI的“黑箱决策”过程变得可理解、可追溯,便于管理人员定位问题并实施干预修正。

4 结束语

本文聚焦6G网络自治需求,提出了一种融合原生AI与网络数字孪生的新型架构。面对6G网络的高复杂性、高动态性以及高管理需求,传统人工主导的管理模式已难以适应。为应对这些挑战,本文所提架构将网络数字孪生与原生AI技术进行深度融合。该架构涵盖无线网络数字孪生的高通量数据采集、高精度建模与高保真呈现等关键技术,并依托原生AI实现网络性能预测、AI用例自生成与网络策略自定制等能力,从而完成从服务需求到网络执行的智能映射。通过构建“数据-模型-决策-验证”的闭环体系,该架构能够有效应对下一代无线网络在动态性、复杂性与可信性等方

面的核心挑战。其关键创新在于，不仅实现了多项技术的系统整合，更构建了一套内生智能、闭环自治的一体化体系，为6G网络实现真正的高阶自治提供了清晰的技术路径与理论支撑。数字孪生作为“安全可靠的试验场”，可模拟极端场景并验证AI策略的鲁棒性及有效性。本研究可为面向下一代无线网络自治的系统设计与原型开发提供理论指导。

致谢

感谢亚信科技(中国)有限公司的任志东、王希栋、李赞，以及中国联合网络通信集团有限公司的李凡、陈璇对本研究工作的的大力支持！

参考文献

- [1] Gartner. Gartner top 10 strategic technology trends for 2023 [R]. 2022
- [2] ITU-R. Future technology trends of terrestrial international mobile telecommunications systems towards 2030 and beyond [R]. 2022
- [3] ITU-T. Digital twin network - requirements and architecture: Y. 3090 [S]. 2022
- [4] TM Forum. Digital network twin for data - driven 5G services [EB/OL]. [2025-09-10]. <https://www.tmforum.org/catalysts/projects/C21.0.175/digital-network-twin-for-datadriven-5g-services>
- [5] ZHOU C, YANG H W, DUAN X D, et al. Digital twin network: concepts and reference architecture [EB/OL].[2025-08-20]. <https://datatracker.ietf.org/doc/draft-irtf-nmrg-network-digital-twin-arch/>
- [6] 3GPP. Self-organizing networks (SON), concepts and requirements (Release 8): 3GPP TS 32.500 [S]. 2008
- [7] 3GPP. Architecture enhancements for 5G system (5GS) to support network data analytics services: 3GPP TS 23.288 [S]. 2011
- [8] 3GPP. Study on enhancements for Artificial Intelligence (AI)/ Machine Learning (ML) for NG-RAN: 3GPP TR 38.743 [S]. 2024
- [9] ITU-T. Architectural framework for machine learning in future networks including IMT - 2020: ITU - T Y.3172 [S]. 2019

- [10] Next G Alliance. Next G alliance report: roadmap to 6G [R]. 2022
- [11] IMT - 2030 (6G) Promotion group. 6G network architecture vision and key technology outlook white paper [R]. 2021
- [12] 6GANA. 6G Network native AI technology requirements white paper [R]. 2022
- [13] TM Forum. IG1251 autonomous networks - reference architecture v1.0.0 [R]. 2021

作者简介



王首峰，亚信科技(中国)有限公司创新中心总经理、通信人工智能实验室主任；主要研究方向为将人工智能、大数据和IT技术融入通信网络。



郭建超，亚信科技(中国)有限公司标准化工程师；主要研究领域包括数字孪生网络、算力网络、联邦学习等；发表论文10余篇，获授权专利7项。



边森，亚信科技(中国)有限公司研发中心网络产品规划部总监；主要研究方向为面向6G的无线网络智能化技术；发表论文10余篇，获授权专利7项。