



数字孪生在网络全生命周期管理中的研究

王达¹, 孙滔², 孙晓文², 郭建超¹, 孙杰¹, 陈果¹, 杨爱东¹, 欧阳晔¹

(1. 亚信科技(中国)有限公司, 北京 100193;

2. 中国移动通信有限公司研究院, 北京 100053)

摘要: 随着消费者对于通信业务的需求日益丰富和多样化, 通信网络架构和功能也变得越来越庞大和复杂。随着 5G 通信技术的应用, 5G 通信网络可以实现网络能力的按需编排与灵活开放, 对于网络在全生命周期中的管理提出更高的要求。随着数字孪生技术的发展, 可以应用数字孪生技术辅助通信网络全生命周期管理, 从而提升网络管理质量, 降低网络风险和成本, 实现可视化感知和实时闭环控制。在网络数字孪生方面相关的实践工作说明, 所提网络数字孪生平台可以实现通信网络运行指标的可视化监控分析和网络故障快速诊断。

关键词: 数字孪生; 能力分级; 网络规划; 网络建设; 网络优化; 网络维护; 体验管理

中图分类号: TP393

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2022063

Study on digital twins in network lifecycle management

WANG Da¹, SUN Tao², SUN Xiaowen², GUO Jianchao¹, SUN Jie¹,

CHEN Guo¹, YANG Aidong¹, OUYANG Ye¹

1. Asia Info Technologies (China) Co., Ltd., Beijing 100193, China

2. China Mobile Research Institute, Beijing 100053, China

Abstract: As consumers' demands for mobile services have become more abundant and diversified, the architecture and functions of mobile network have become more complex. With the development of 5G technology, 5G mobile network could realize on-demand orchestration and flexible exposure of network capabilities, which made higher requirements for network lifecycle management. Digital twins technology could be used to assist the network lifecycle management, so as to improve the network management quality, reduce network risks and costs, and achieve the visual perception and the real-time closed-loop control. The network digital twin platform and application cases show that the proposed network digital twins platform can realize visual monitoring and analysis of mobile network operation key performance indicators and quickly diagnosis of network faults.

Key words: digital twins, capability classification, network planning, network construction, network optimization, network maintenance, experience management

0 引言

2003 年, Grieves 博士首次提出具备数字孪生要素的“镜像空间模型”概念^[1]。而“数字孪生”术语明确被提出是在 2011 年美国空军研究实验室做的一次演讲中。

Gartner 在 2017 年、2018 年和 2019 年连续将数字孪生列为十大技术趋势之一^[2], 其将数字孪生定义为对象的数字化表示, 同时 Gartner 2020 年新兴技术趋势发现先驱者正通过深化离散数字孪生和复合数字孪生技术, 尝试解决个性化需求强烈的应用场景。研究表明, 企业正在从关键任务模拟、高价值资产维护、业务创新场景、数据可用性和投入产出等方向考虑使用应用数字孪生技术^[3]。

数字孪生是综合运用感知、计算、建模等信息技术, 通过软件定义对物理实体进行描述、诊断、预测和决策, 进而实现物理空间与数字空间的实时交互映射^[4]。数字孪生技术基础架构^[5]如图 1 所示。

1 网络数字孪生

1.1 网络全生命周期管理面临的挑战

基于网络功能虚拟化 (network functions virtualization, NFV)、软件定义网络 (software defined network, SDN) 等网络技术的演进, 按需定制网络参数、按需构建组网方案成为网络发展的必然趋势。网络结构与业务形态的复杂化与多样化也

为网络的全生命周期管理带来挑战, 具体如下。

(1) 网络全面感知能力弱, 无法实时、可视化感知网络状态

随着 NFV、云计算技术的发展, 传统的网络架构由跨专业的横向物理网络向纵横结合的云化与容器化网络演进。网络管理无法进行跨网络 (无线、承载、核心网等)、跨信息技术 (information technology, IT) 层 (服务器、虚拟化网络功能等) 的网络组网拓扑可视, 从而无法实现基于可视化的网络性能、质量与故障等网络状态的全面、实时、准确感知。

(2) 网络创新效率低, 试错成本高

随着 5G 部署和商用, 通信网络承载的业务也从单一的个人业务向复杂的多种业务发展。各类业务对网络的稳定性与可靠性提出了更高的要求, 而现有网络架构多样化, 网络拓扑复杂度高, 应用系统数据孤立分散, 运维过程自动化程度较低也影响了基于全网信息数据进行新技术创新的效率, 导致网络业务创新性试错成本高。

1.2 网络数字孪生的定义

网络数字孪生是指基于数字孪生技术融合通信人工智能等有关技术, 实现通信网络全要素全生命周期数字化管理, 用于全程全网业务支撑。网络数字孪生构建与编排如图 2 所示, 利用数字孪生技术构建了物理网络的数字化镜像。网络数字孪生依靠运营商丰富的大数据, 可对网络提供

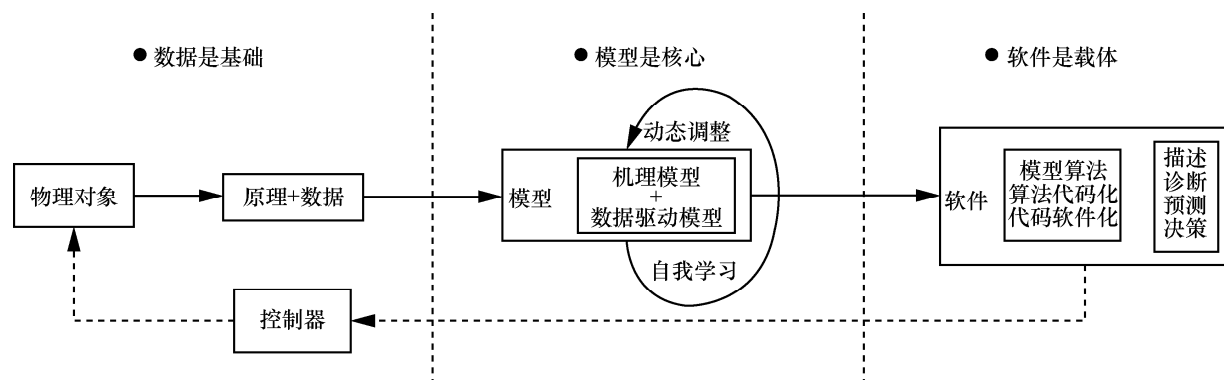


图 1 数字孪生技术基础架构^[5]

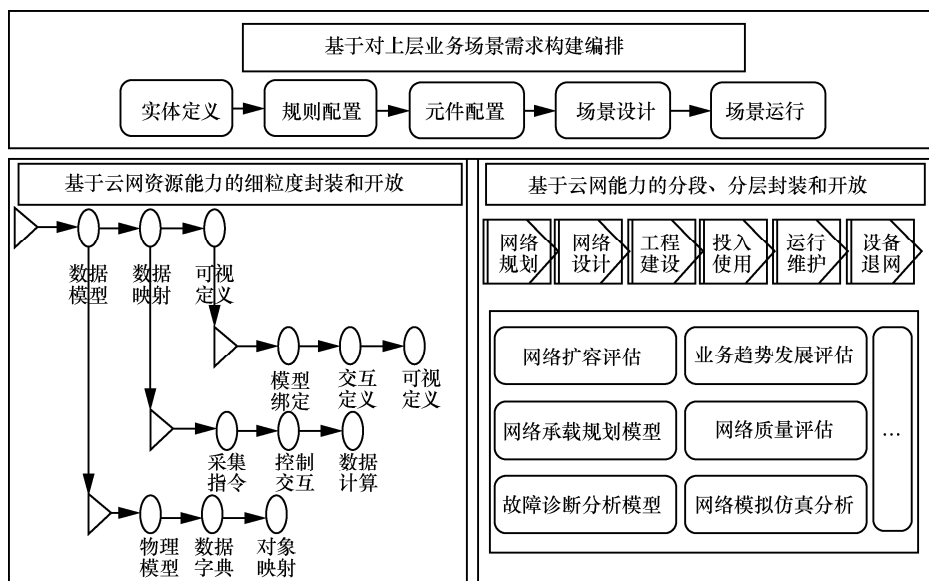


图2 网络数字孪生构建与编排

流量预测、新业务预测测试、配置预审核、网络预规划等服务^[6]。

2 网络数字孪生相关工作

网络数字孪生是一个新兴网络，融合了通信、物联网、人工智能等技术，利用建模技术从时间和空间维度刻画物理实体，实现生命周期管理^[7-8]。随着数字孪生技术赋能产业潜在价值愈发明显，运营商、设备商和集成商对网络数字孪生技术研究和产品发展展现了极高的热情。中国移动提出了“数字孪生网络的概念、架构及关键技术”^[9]等。同时国内外相关标准化管理组织也正在加紧制订与网络数字孪生相关标准。国际标准化组织/国际电工委员会第一联合技术委员会/物联网分技术委员会（ISO/IEC JTC1 SC41）正在制订“数字孪生概念和术语”标准以及“数字孪生应用案例”标准^[10]。国际电信联盟电信标准化部门正在制订“数字孪生网络的要求和体系结构”标准^[11]。中国通信标准化协会针对数字孪生技术赋能个性网络应用场景正在制订“行业现场网数字孪生场景与需求”系列标准^[12]。

数字孪生技术应用于通信领域正在全面探索

中，数字孪生结合神经网络技术，可以模拟切片端到端的性能，预测网络时延^[13]。基于 5G 网络支持复杂应用场景遇到的挑战，利用数字孪生技术可以提高管理效率和效能^[14]。未来在 6G 通信领域，数字孪生技术将提供按需服务和智慧内生等能力^[15]。本文将给出数字孪生如何赋能网络生命周期全过程中的具体论述。

3 网络全要素、全生命周期中的数字孪生

基于网络特性和数字孪生能力，数字孪生技术可实现在网络全生命周期管理过程中对网络特征要素进行孪生表达，如对网络组网拓扑的可视化呈现、网络业务的仿真推演，网络场景的自主孪生等。

3.1 网络数字孪生关键技术

（1）网络数字孪生体建模技术

网络数字孪生体模型构建主要包括孪生网络本体模型构建、统一表征融合网络孪生体数据库的构建及网元模型和拓扑模型的构建。

- 孪生网络本体模型构建：孪生网络本体模型是实现大规模网络数据一致性表征的基础。需要定义本体的组成要素，如类、属

性、关系、规则和实例等,继而通过本体模型对大规模网络数据进行一致性表征。

- 统一表征融合网络孪生体数据库的构建:基于孪生网络本体模型构建多源异构数据一致性融合表征操作,形成具有统一格式的数据,完成从多源异构数据到统一表征数据的映射。
- 网元模型和拓扑模型的构建:根据不同网元模型的功能或拓扑模型的结构,可基于统一表征的数据库,按需组合构建网络基础模型,从而实现孪生网络和物理网络的虚实映射。

(2) 全生命周期数字建模技术

- 网络规划和建设的建模:基于数据仓库中与网络及业务相关的数据,利用深度学习、机器学习等人工智能算法对业务预测、网络性能预测、覆盖优化等场景进行建模。
- 网络维护的建模:基于经验知识的推理规则将专家经验知识通过知识图谱固化,可实现对故障诊断及定位等网络维护场景的精准推理。
- 网络优化的建模:对于网络优化模型的建模,由于其问题的非凸性、非平稳性、随机性等困难,可采用进化类算法或者采用群智能算法等。另外,对于复杂的动态调度优化场景,基于强化学习的智能调度方法,组合动态规划、随机逼近和函数逼近的思想,解决基于动态调度的网络优化问题。
- 网络运营的建模:网络运营建模过程中需要有针对性地采集相关网络与业务数据,借助深度学习、集成算法等进行模型训练。可借助迁移学习,针对不同情况利用基于实例的迁移、特征的迁移及共享参数的迁移等方法进行快速精准建模。

(3) 网络数字孪生可视化技术

利用网络可视化技术,一方面可以辅助用户

认识网络的内部结构,另一方面有助于挖掘隐藏在网络内部的有价值信息。网络孪生体可视化呈现分为以下 3 类。

- 网络拓扑可视化:作为数字孪生网络可视化的基础,网络拓扑可视化将网络节点和链路以点和线构成图形呈现,清晰直观地反映网络运行状况。可视化布局算法是拓扑可视化的核心。
- 功能模型可视化:将相关的可视化技术运用到数字孪生网络的流量建模、故障诊断、质量保障等功能模型中,基于网络孪生体完成功能验证的同时实现可视化呈现。
- 可视化动态交互:数字孪生网络的网络拓扑和数据模型需要尽可能提供动态交互功能,让用户更好地参与对网络数据和模型的理解和分析,帮助用户探索数据、提高视觉认知。

(4) 网络数字孪生数据处理技术

基于各类传感器和数据采集装置、采集技术获取各类网络与业务数据。对采集的数据按照专业业务维度进行计算汇聚,形成各专业业务基础数据。基于各专业业务的基础数据,构建单体模型、各类功能模型等,支撑网络数字孪生应用场景构建。

3.2 网络数字孪生能力分级

3.2.1 网络数字孪生分级方法论

图 1 中提到“数据是基础、模型是核心、软件是载体”的设计理念,本文给出了数据管理、基础模型、功能模型 3 个维度的数字孪生网络分级体系。

高效准确的数据处理能力能够保障网络数字孪生稳定运行,数据管理由低等级的基础数据供给,向高等级的数据分析、建议、决策的能力进阶。

基础模型是数字孪生网络中最重要基础能力,基础模型包括网元本体模型、拓扑模型和运行状态等属性,用以刻画物理本体的固有属性、



可视化属性等,进一步通过拓扑模型描述了网元模型的连接能力。运行状态体现了数字孪生网络网元模型与物理本体的同步性。

功能模型面向应用功能智能化及虚实交互能力搭建。功能智能化从单网元智能到全域智能化、从静态策略执行到知识驱动的动态策略闭环能力演进。虚实交互的水平体现了数字孪生网络的控制水平。

3.2.2 网络数字孪生分级

本文旨在构造一种由数据驱动的数字孪生网络,通过模型驱动实现由人工主导到自主群智的智能化分级体系。

等级 1 网络物理可视:能够实现单个网元或网络设备的孪生,不能体现本体的全貌,满足基础可视需求,与物理本体的运行状态不能实时对应。可执行一些重复的子任务。

等级 2 网络模拟验证:增加网络配置数据和用户业务数据实现单域内的连接,可自动执行部分静态策略。通过人工方式管理孪生网络。

等级 3 网络模拟推演:实现多域协同智能化,在特定场景下具备策略智能生成能力。特定场景可实现自动化控制。

等级 4 网络智能决策:具备数据驱动模型推演生成策略的能力,可实现跨域的网络处置和预测,实现网络自动闭环控制。

等级 5 网络自主孪生:具备智能数据分析、自主学习沉淀知识的能力。运用知识驱动模型推演形成策略,并自主决策是否执行。

3.3 数字孪生在网络全生命周期管理中的应用

3.3.1 网络规划

考虑真正网络建设的预期成本、业务需求、网络运行预期质量等,迫切需要一种技术能够完整地将网络建设方案、网络运行影响因素、网络预期运行效果通过可视化的形式呈现,并在修正过程中,实时动态反映网络预期运行效果,完成网络规划的低成本试错^[16]。

数字孪生技术的出现可以很好地解决上述问题。基于网络业务需求,构建网元孪生本体模型、网络运行机理模型、结合城市信息模型、环境信息模型等,融合网络信号在物理空间传播的全要素信息,构建数字孪生网络。驱动孪生网络模拟运行,可视化展示关注的有关指标信息。当调整网络配置策略时,可动态呈现网络预期运行效果。在满足业务需求、方案可落地执行、成本可接受的同时,还需要保证网络具备一定的容量空间,为网络的中长期发展预留一定的空间。

3.3.2 网络建设

基于数字孪生的网络建设,一方面可以提前融合城市信息模型和建筑信息模型,规避施工困难问题。同时,如遇到其他不可调和的问题时,也可以运用数字孪生技术快速计算寻找新的设备布置方案^[17]。

当面对诸如网络业务模拟开通、系统割接风险评估等,数字孪生技术仍然可以发挥一定的作用。基于数字孪生网络与物理网络实时交互的特性,数字孪生网络可以获得物理网络最新的运行数据及物理网络历史的运行情况,在孪生网络中优先模拟业务开通或模拟系统风险的规避等。

3.3.3 网络优化

对于网络优化,基于数字孪生的网络可以实时采集物理网络的运行数据以及网络整体资源情况,从而实现对网络资源的动态调配。按业务优先级、业务需求进行精准配置,实现资源的合理利用。同时,基于物理网络设置的性能告警阈值,在网络运行性能接近网络性能告警阈值前,提前寻找性能优化策略,并在数字孪生网络中验证策略的可行性后,指导物理网络执行,实现网络日常的运维优化闭环管理^[18]。

3.3.4 网络维护

基于数字孪生技术的网络维护,可以实时监控网络运行状态,关注网元的运行情况。基于业务运行状态,提前预测运行趋势,实时可视化呈

现网络运行数据^[19]。对于异常运行情况提前预警、提前介入。在保障正常业务服务运行的同时,寻找告警消除策略,优先在数字孪生网络中验证策略可行性后,再指导物理网络执行,避免网络宕机情况发生。在面对突发的网络运行故障时,基于孪生网络与物理网络实时交互的特性,可以快速定位故障设备或发生故障的网元,并有针对性地制定故障消除策略。故障消除策略可以优先在数字孪生网络中部署配置并模拟验证。验证通过并确认对网络不会产生其他关联问题后,再指导物理网络执行,完成网络故障处理的闭环管理。

3.3.5 体验管理

网络的体验管理是面向业务的服务质量、用户满意度提升的一种手段。运用数字孪生技术实时采集网元运行数据、业务数据、用户对于网络使用的特性数据等,并综合网络整体运行能力,深度仿真和分析,依据用户偏好提供更优的服务方案。同时,可以利用数字孪生技术深度感知网元的运行状态、网络运行质量,评估网元和网络运行的健康度。依据数字孪生网络给出的评估结论,可以提前介入维护,提升网络可靠稳定的运行周期,改善网络运行质量,从而提升用户对于网络体验的满意度^[20]。

4 数字孪生在网络全生命周期中的价值

数字孪生技术在网络的全生命周期管理中能够实现降本增效,可实现业务或故障问题前移,事先预测、事前验证、提前规避、提前优化的网络“闭环”管理。

4.1 提升网络管理质量

相比于传统的网络生命周期管理,应用数字孪生技术可以使网络管理中的要素更精准。数据来源可追溯性强、可信度更高,业务还原度更趋近于实际,输出的策略的可执行性更高。

相比于传统的网络生命周期管理,应用数字孪生技术一方面可以提前验证网络实践策略,另

一方面可以验证实践策略是否会对网络造成潜在冲突,提前规避风险。

可在孪生网络中实现低成本、高效率的网络创新技术研究,降低新技术在运行中的网络验证时产生的风险,减小部署到现网中发生错误的可能性。

4.2 拓扑透视和流量全息

基于交互式的数字孪生可视化技术可以提升网络全息化呈现水平,如各种网元运行信息、拓扑信息、网络业务实时状态、演化方向等信息。拓扑透视能够实时追踪网络各节点的运行状态。

基于拓扑可视,数字孪生技术可对相邻网元或附属网元的管理实现拓扑问题的快速定位。在网络配置调整和策略执行时,可以更准确、直观地呈现网络的实时变化效果,从而发现最佳的业务匹配方案。全息化呈现网络虚实交互映射,帮助用户更清晰地感知网络状况、更高效地挖掘网络有价值的信息、以更友好的沉浸交互界面探索网络创新应用。

4.3 网络实时闭环控制

基于数字孪生技术具备的仿真、分析、诊断和预测、决策功能,可以实现对网络的实时闭环控制。

实时闭环控制分为“内闭环”和“外闭环”控制。“内闭环”实时控制指通过网络数字孪生在数字空间内对问题的闭环验证与优化;“外闭环”控制指物理网络向孪生网络进行信息上报、孪生网络经内闭环分析生成可执行策略下发给物理网络闭环优化的过程。通过“内闭环”与“外闭环”,最终实现网络的自学习、自验证、自演进的实时闭环控制。

5 网络数字孪生应用实践

5.1 网络数字孪生平台

网络数字孪生平台由网络数字孪生开发平台和网络数字孪生场景构建平台组成。网络数字孪生开发平台进行通信网络网元的建模与设计,输



入给网络数字孪生场景构建平台。网络数字孪生场景构建平台在场景构建过程中,也会将相关数据输入给网络数字孪生开发平台进行模型的迭代优化。

网络数字孪生开发平台面向通信网络网元的建模与设计,实现对各类通信网元设备实体多维度数字化建模,将不同应用上生成的信息数字化,将实体的物理模型、关系规则、运行数据统一,从而进行更适时的决策和信息管理。网络数字孪生开发平台是设计模式的改变,促进了企业资产真正数字化,实现了对数字孪生体的属性定义、事件指令交互、机理规则、可视化形态的开发,并提供了建模管理、仿真服务。

网络数字孪生场景构建平台定位面向通信网络应用场景的设计与编排。网络数字孪生场景构建平台是生产模式的改变,低代码开发助力业务流程数字化。满足在具体的业务场景下,基于数字孪生体的组合、编排和运行规则的定义和操作,实现数字孪生的仿真服务和孪生智能化的需求。

5.2 网络数字孪生场景与案例

亚信科技率先在 5G 通信网络应急保障场景中引入数字孪生技术,实现大型体育场馆的通信网络运行指标的可视化监控分析、网络故障快速诊断及全程可视化应急指挥调度。

基于数字孪生开发平台,实现了对光缆网、承载网、无线网等相关通信网络网元的数字建模,实现了与物理网络层的实时同步,并完成了对相关通信网络网元组网的物理拓扑可视以及物理链路上的业务信息可视。该平台实现了与物理网络层的数据采集和存储通道,并将相关数据采集、控制等接口注入数字孪生平台,从而实现孪生网络层与物理网络层的数据互联互通、虚实交互。

6 结束语

当前网络数字孪生产品和应用落地正处于高速发展阶段。按照第 3.2 节的网络数字孪生能力分

级体系,大部分产品和应用案例处于等级 2 向等级 3 的过渡阶段。为加快推进数字孪生在通信网络中的应用和落地,更大程度地体现网络数字孪生的价值,需要推进产品向等级 5 网络自主孪生演进。

针对等级 5 网络自主孪生的演进,需要构建完整的网络数字孪生技术标准体系,沉淀数字孪生技术,保障在通信领域应用的落地。基于通信技术的发展和网络的特性,深挖数字孪生技术在通信行业的应用潜能,更好地赋能垂直行业。因此,未来还需要通信领域的专业人才、数字孪生技术的专业人才、标准化人才等共同协作,完成底层的知识构建,共同将数字孪生技术在通信领域的应用发挥到极致。

参考文献:

- [1] GRIEVES M. Virtually perfect: driving innovative and lean products through product lifecycle management[M]. Cocoa Beach, Fla, USA: Space Coast Press, 2011.
- [2] PANETTA K. 5 trends drive the gartner hype cycle for emerging technologies[EB]. 2020.
- [3] JAMNADASS R. The relationship between 5G and digital twins in industry 4.0[EB]. 2020.
- [4] REED S, LÖFSTRAND M, ANDREWS J. Modelling cycle for simulation digital twins[J]. Manufacturing Letters, 2021, 28: 54-58.
- [5] 中国电子信息产业发展研究院. 数字孪生白皮书(2019)[R]. 北京, 2019.
China Center for Information Industry Development. Digital twin white paper (2019)[R]. Beijing, 2019.
- [6] RATHORE M M, SHAH S A, SHUKLA D, et al. The role of AI, machine learning, and big data in digital twinning: a systematic literature review, challenges, and opportunities[J]. IEEE Access, 2021, 9: 32030-32052.
- [7] GRIEVES M, VICKERS J. Digital twin: mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems[J]. Springer International Publishing, 2017.
- [8] WU Y W, ZHANG K, ZHANG Y. Digital twin networks: a survey[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2021, 8(18): 13789-13804.
- [9] 孙滔, 周铨, 段晓东, 等. 数字孪生网络(DTN): 概念、架构及关键技术[J]. 自动化学报, 2021, 47(3): 569-582.

- SUN T, ZHOU C, DUAN X D, et al. Digital twin network(DTN): concepts, architecture, and key technologies[J]. Acta Automatica Sinica, 2021, 47(3): 569-582.
- [10] ISO/IEC JTC1 SC41. Digital twin-use cases, digital twin concepts and terminology[S]. 2021.
- [11] ITU-T SG13, Recommendation Y.DTN-ReqArch. Requirements and architecture of digital twin network[S]. 2021.
- [12] CCSA TC10.行业现场网数字孪生需求与场景[S]. 2021. CCSA TC10.Digital twin of proximity network part 1: scenarios and requirements[S]. 2021.
- [13] WANG HZ, WU YL, MIN GY, et al. A graph neural network-based digital twin for network slicing management[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 29 December 2020.
- [14] 刘伟轩, 刘晓莲. 基于数字孪生技术的网络运维管理系统架构研究[J]. 信息与电脑, 2021, 33(07): 16-18. LIU W X, LIU X L. Research on the architecture of network operation and maintenance management system based on digital twin technology[J]. China Computer & Communication, 2021, 33(07): 16-18.
- [15] LU Y L, MAHARJAN S, ZHANG Y. Adaptive edge association for wireless digital twin networks in 6G[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2021, 8(22): 16219-16230.
- [16] FENG Z J, CUI Q S, ZHANG Y, et al. Online assessment of flexibility on active distribution network planning through digital twin[C]//Proceedings of 2020 2nd International Conference on Electrical, Control and Instrumentation Engineering (ICE-CIE). Piscataway: IEEE Press, 2020: 1-6.
- [17] NGUYEN H X, TRESTIAN R, TO D, et al. Digital twin for 5G and beyond[J]. IEEE Communications Magazine, 2021, 59(2): 10-15.
- [18] DENG J, ZHENG Q B, LIU G Y, et al. A digital twin approach for self-optimization of mobile networks[C]//Proceedings of 2021 IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops. Piscataway: IEEE Press, 2021: 1-6.
- [19] LIU Z F, CHEN W, ZHANG C X, et al. Data super-network fault prediction model and maintenance strategy for mechanical product based on digital twin[J]. IEEE Access, 2019, 7: 177284-177296.
- [20] BARANDA J, MANGUES-BAFALLUY J, ZEYDAN E, et al. Demo: AI/ML-as-a-service for SLA management of a digital twin virtual network service[C]//Proceedings of IEEE INFOCOM 2021 - IEEE Conference on Computer Communications Workshops. Piscataway: IEEE Press, 2021: 1-2.

[作者简介]



王达(1985-),男,博士,亚信科技(中国)有限公司技术创新与标准化部总监,主要研究方向为移动通信、网络传输、人工智能。



孙滔(1981-),男,博士,中国移动通信有限公司研究院主任研究员、网络创新实验室技术经理,3GPP 系统架构组副主席,主要研究方向为移动网新架构、网络智能化。



孙晓文(1989-),女,中国移动通信有限公司研究院基础网络技术研究项目所项目经理,主要研究方向为网络切片、数字孪生、网络智能化等。

郭建超(1991-),男,亚信科技(中国)有限公司高级工程师,主要研究方向为数字孪生技术、知识图谱技术、大数据技术等。

孙杰(1983-),男,亚信科技(中国)有限公司研发中心云网规划部经理,主要研究方向为通信与 5G 网络智能化。

陈果(1982-),男,亚信科技(中国)有限公司 GIS 与数字孪生创新实验室产品总监,主要研究方向为地理信息系统、时空大数据分析、数字孪生技术及其应用。

杨爱东(1984-),男,博士,亚信科技(中国)有限公司首席数据科学家,主要研究方向为 5G 无线通信、大数据挖掘、机器学习及其应用。

欧阳晔(1981-),男,博士,亚信科技(中国)有限公司首席技术官、高级副总裁,主要研究方向为移动通信、人工智能、数据科学、科技研发创新与管理。