



专题：5G 演进技术

面向融合、智慧、低碳的 5G 技术演进

段晓东, 孙滔

(中国移动通信有限公司研究院, 北京 100053)

摘要: 随着 5G 部署规模的扩大, 产业界对 5G 演进的关注度持续提升。5G 演进既是现有 5G 技术的进一步发展, 也是 5G 向 6G 的过渡。2021 年 4 月, 3GPP 将 5G 演进命名为“5G-Advanced”。介绍了 5G 演进的节奏, 归纳了 5G 技术发展至今的状态, 展望了 5G 演进的方向, 提出了以“融合”“智慧”“低碳”3 个特征为代表的 5G 演进趋势。重点介绍了多媒体增强、异构网络融合、网络大数据分析等 5G 演进方向。结合网络技术的发展, 指出了 5G 演进过程中系统设计的重点和难点。

关键词: 5G 演进; 网络架构; 网络融合

中图分类号: TP393

文献标志码: A

doi:10.11959/j.issn.1000-0801.2022045

Towards converged, intelligent, low-carbon characterized 5G-Advanced technologies

DUAN Xiaodong, SUN Tao

China Mobile Research Institute, Beijing 100053, China

Abstract: With the expansion of 5G deployment scale, the industry has paid more attention to 5G evolution. It is not only the extension of the existing 5G technology, but also a transition from 5G to 6G. In April 2021, 3GPP named 5G evolution as 5G-Advanced. The process of 5G-Advanced was introduced. The status of 5G technology so far was summarized, and the direction of 5G evolution technologies were analyzed. Converged, intelligent and low-carbon as the three characteristics of the 5G evolution was proposed. More specially, the multimedia enhancement, heterogeneous network convergence and network big data analysis were introduced. Considering the network technology development, difficulties and key aspects of the system design were also identified.

Key words: 5G-Advanced, network architecture, network converged

0 引言

在全球产业界的持续努力以及各地政府的支

持下, 在全球, 尤其是中国, 5G 部署和应用快速发展。截至 2021 年年底, 中国已建成全球规模最大的 5G 独立组网 (5G SA) 网络, 实现城市和乡

收稿日期: 2022-02-07; 修回日期: 2022-02-27

通信作者: 孙滔, suntao@chinamobile.com

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.62032003); 国家重点研发计划项目 (No.2020YFB1806801, No.2020YFB1806800)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (No.62032003), The National Key Research and Development Program of China (No.2020YFB1806801, No.2020YFB1806800)



镇全面覆盖、行政村基本覆盖、重点应用场景深度覆盖^[1]。中国 5G 基站数量为 142.5 万个，占全球 5G 基站数量的 70%，5G 移动电话用户达到 3.55 亿户^[2]，占全球 5G 用户数的 80%。5G 行业应用也发展迅速，2021 年第四届“绽放杯”5G 应用征集大赛，征集了近 7 000 家公司的超过 1.2 万个项目。“5G+工业互联网”在建项目超过 2 000 个，涉及远程设备操控、机器视觉质检、生产效能管控等典型应用场景，并已经在采矿、港口、钢铁、电力、石油化工等重点行业领域深度应用，助力企业提质、降本、增效以及绿色、安全发展^[3]。2021 年，工业和信息化部联合 9 个部门，印发了《5G 应用“扬帆”行动计划(2021—2023 年)》。

在 5G 建设和应用取得快速进展的同时，5G 演进成为产业界新的焦点之一。5G 演进担负着延续 5G 生命周期以及向 6G 过渡的使命。一些新的技术将被引入 5G 系统，对于持续发挥 5G 的效能起着重要作用。同时，这些技术为 6G 的发展拓展了道路。2018 年 6 月初步完成的 3GPP Release 15 (Rel-15) 是 5G 第一版技术标准，它以“eMBB（增强型移动宽带）”为重点，定义了 5G 的基础系统。在 2020 年 6 月完成的 3GPP Rel-16 是 5G 国际标准的第二个版本，它完善了 5G 架构设计，支持了三大业务场景中另外两种：“URLLC（超可靠低时延通信）”和“mMTC（大连接物联网）”。5G 第三版技术标准——3GPP Rel-17，预计在 2022 年 6 月完成，是 5G 标准相对完整定义后的第一个标准增强版本。2021 年 12 月，在 3GPP 的第 94 次全会上，RAN（无线电接入网）组和 SA（系统架构）组分别确定了无线电接入领域的 28 个项目以及系统架构领域的 28 个项目——至此，5G 演进的第一个版本的范围已经确定。无线电接入网领域的关键技术和系统架构领域的这 28 个项目有关联，但并非一一对应。

网络功能的引入都是先完善基础架构和流程，再完善漫游机制，最后完善开放能力。本文的组织方式如下：以融合、智慧、低碳三大主线介绍 5G 演进技术，将多种关键技术进行归类。在介绍关键

技术时，先介绍 5G 技术标准在 3GPP Rel-17 的发展情况，进而介绍该技术在 3GPP Rel-18 的进一步发展。

1 面向融合的 5G 演进技术

1.1 支持沉浸式多媒体实现“虚实融合”

随着数字化发展已经成为社会的共识，“数字孪生”“元宇宙”等理念和方向引起了业界的广泛关注。2020 年，全球虚拟现实的规模近千亿元，且增长迅速^[4]。5G 对 XR、多媒体方面的支持能力越来越重要。5G 第一个技术标准的版本（3GPP Rel-15）是以“eMBB”为代表的技术。因此在支持大带宽方面有了较好的基础。在第二版 5G 技术标准中，3GPP 专门针对 XR 的定义、技术挑战、与 5G 的结合、应用场景进行了系统研究^[5]。

在 5G 演进项目中，支持 XR 和多媒体业务能力将从架构方面入手，加强对沉浸式 VR、远程控制、多机器人协作等场景的支持，沉浸多媒体业务及网络如图 1 所示。

这些场景需提升的能力有 3 个特征：大流量（1 Gbit/s 或更高）叠加低时延；一个业务由多种不同类型、不同优先级的数据流量进行传输；不同业务流往往需要时间同步，便于在交换式业务时有最好的业务体验^[6]。

5G 演进的 XR 及多媒体增强能力是端到端的能力，涉及终端、接入网、核心网、业务编解码能力的提升。需要 5G 的系统设计适应 XR 的业务机制，这需从如下方面着手。

- 业务感知，结合上下行业务特征、应用层特征参数辅助，感知不同的视频分块（tile）。
- 质量保障，引入新型的服务质量（quality of service, QoS），如分层或帧级的调度机制，保障接入网资源分配和调度。
- 多流协同，支持多流差异化传输，进行 QoS 的协同控制，并考虑时间同步的传输。
- 信息开放，把网络层信息对应用层开放，从而避免业务流量的超量发送，降低拥塞。

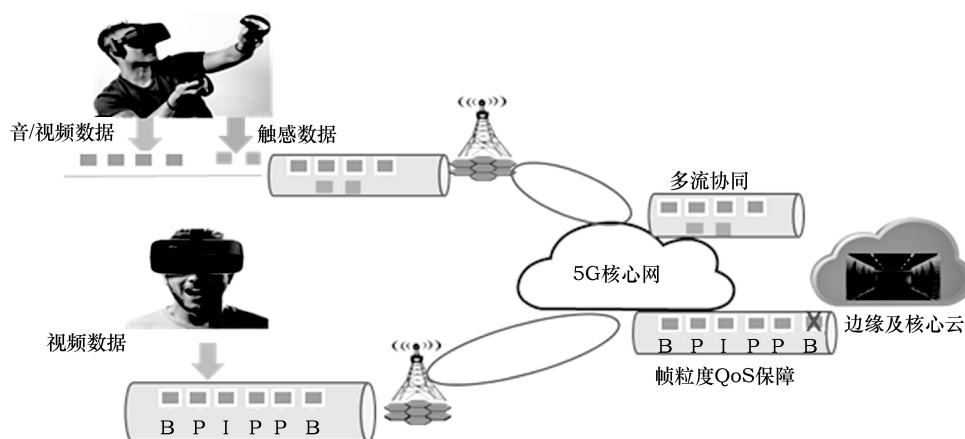


图1 沉浸多媒体业务及网络

1.2 空天地一体化深度融合

天地一体化是未来网络发展的趋势，空天地一体化融合架构如图 2 所示，卫星网络与地面网络在通信中是相互补充的关系^[7]。5G 在第一版技术标准 3GPP Rel-15 中即提出了卫星接入网整合到 5G 网络的需求，并从 3GPP Rel-16 开始研究卫星与 5G 系统的融合架构。这种融合从卫星作为接入网和回传网两种场景入手，会影响到网络的 QoS 及移动性管理等机制。3GPP Rel-17 标准化了卫星作为接入网和回传网时不同的融合类型，具体如下。

- 在业务质量方面：根据融合的类型动态调

整 QoS 策略、参数及信令状态机定时器，从而适配不同的传输场景。

- 移动性管理方面：通过卫星可调波束和星间接力覆盖的方式确保 TA（tracking area）相对地面不变，从而对 5G 系统的移动性管理基本无影响。
- 选网机制方面：明确了终端在初始注册和会话建立时，5G 网络基于用户位置判断是否允许接入以及指示终端重选其他网络等机制，从而解决卫星覆盖面大、横跨多个国家和地区的问题。

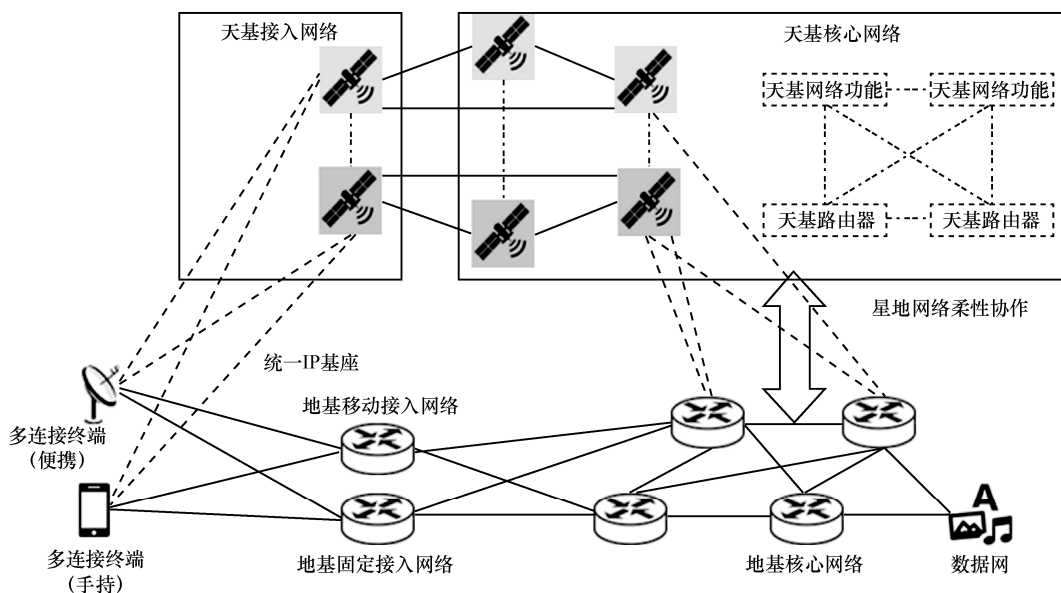


图2 空天地一体化融合架构



5G 演进阶段将进一步深化卫星网络与移动网络的融合^[8]。从接入网的 RRU (remote radio unit) 在卫星上, 到接入网的 BBU (building base band unit) 与卫星融合, 甚至核心网的 UPF (user port function) 上星都是 5G 演进需要探讨的内容。这种融合的架构使得基于卫星的本地转发成为可能, 从而增强数据业务的安全性, 得以优化传输路径。当卫星作为回传时, 动态地检测回传网络的特性, 如带宽和时延, 并将该信息对外开放。

1.3 无线有线及局域网络融合

多接入网络中具有“数据包”并发的更细粒度的融合与调度。无线有线融合通常的目的是最大可能地提升带宽、降低时延, 这进一步增强了 XR、全息等业务的传输保障。3GPP 接入与非 3GPP 接入的融合从 4G 时期就已经开始, 5G 时期的融合更加彻底^[9], 体现在以下几个方面。

- 接入信令的融合, 非 3GPP 直接支持 N2/N3 接口, 终端支持 N1 接口 (5G NAS)。
- 架构的融合, 不再使用非 3GPP 的 AAA, 而是基于 5G 的 AUSF/UDM 进行统一的认证。
- 更细粒度的流量调度, 实现从“流”粒度的并发到“数据包”粒度的并发, 即同一数据流可通过如 MPTCP (multi-path transmission control protocol) 的方式承载在多种接入网上。

这种多路径的能力使得网络可以灵活地进行不同策略的分流, 分流策略有 4 种: 主备模式、最低时延模式、优先模式以及负载均衡模式。MPTCP^[10]的方案, 顾名思义是处理 TCP 的流量。在 5G 的演进中将对 UDP (user datagram protocol) 流量 (这种流量在流媒体业务中更为常见) 进行并行传输, 其方案是 MPQUIC (multipath quick UDP internet connection), 即多路径的 QUIC (quick UDP internet connection) 协议。此外, 将考虑在 4 种模式基础上增加冗余传输模式。

从面向企业的 5G 局域网向面向个人的 5G 家庭网络、近场网络扩展。面向工业现场, 5G 在 3GPP Rel-16 定义了“5G 局域网”技术, 支持机制包括本地转发、组管理、点到多点通信等。为了进一步提升其对工业局域网的支撑能力, 在 5G 演进中将进一步增强其对移动性管理、QoS 的支持。此外, 随着个人用户数字化设备和服务的增强, 5G 演进将考虑与家庭网络的融合。这将把 5G 与家庭的多种接入设备关联在一起, 从而实现多种设备的互通、控制、数据采集、测距等能力。

2 智慧的 5G 演进技术

2.1 完善数据智能分析架构

5G 的发展正值 AI 技术热潮的时期, 因此其对 AI 及大数据处理能力的支持顺理成章。5G 分别在系统架构、接入网、网管方面都大幅度地拓展了对智能化的支持。在系统架构方面, 智能化、网络大数据分析能力 (network data analytics function, NWDAF) 在 5G 技术标准的第一个版本中即予以引入, 初始只是和网络的策略控制功能交互并主要处理网络切片的选择。在 5G 的第二版中, 其功能扩展来处理用户体验质量 (quality of experience, QoE) 及服务等级协定 (service-level agreement, SLA)、网络负载的分析、用户行为的分析等。同时, 大数据分析能力也从集中式向分布式演进, 对网络切片等场景予以支持。大数据分析的功能也分成数据分析和模型训练功能。网络大数据分析功能架构如图 3 所示^[11]。

5G 演进的方向上, 网络大数据分析将增强其漫游能力、提升模型分析的精确性、引入对联邦学习等训练模式的支持。在数据来源上, 也将数据从终端、网管、控制面的数据进一步向用户面数据扩展。这些更丰富的数据, 结合对模型输出结果的反馈等将被用于提升模型分析的精确性方面。在服务能力上, 网络的智能化能力也向平

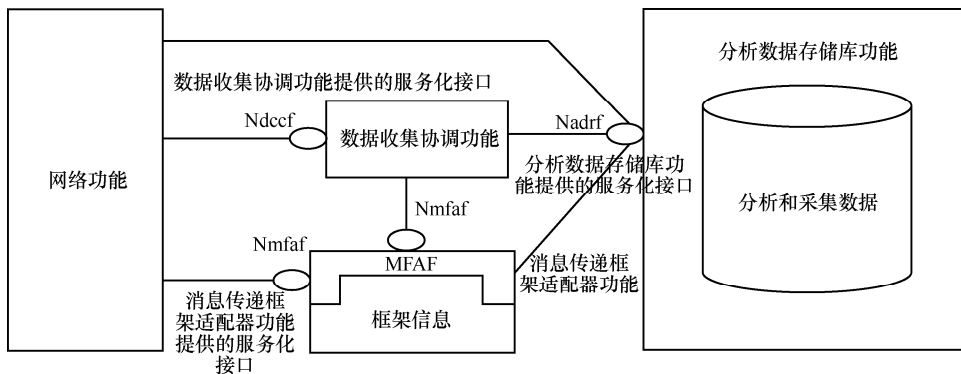


图 3 网络大数据分析功能架构

台化发展，对外提供网络数据分析服务。

2.2 面向智能、自治的管理能力

在网络管理方面，网络的自治、自动化是其目标。3GPP 在 5G 阶段定义了网管数据分析服务（management data analytics service, MDAS）能力^[12]，使能网络服务管理及编排的自动化。考虑网络的智能化是一个分阶段发展的过程，国际标准对网络自治能力分级进行了研究，规范了自治网络及自治网络分级的概念、用例及需求，分阶段实现网络完全自治的目标。从执行、感知、分析、决策、意图处理几个维度出发，网络自治等级评估的工作流中的任务分类如图 4 所示，将全手工网络运维作为“Level 0”，逐步提升自动化的程度，定义了辅助运营、初级自治、中级自治、高级自治、完全自治共 5 个自治等级^[13]。

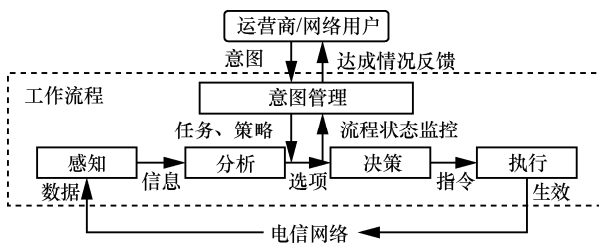


图 4 网络自治等级评估的工作流中的任务分类

在 5G 演进的阶段，网络从传统网元或网络功能的生命周期管理向 AI 模型的生命周期管理扩展。对于网络自治分级的方法，不同运营商的分级标准可能不同。但一些 KPI 的定义，对网络自治的发展起到更多的指导作用。另一方面，“意

图网络”的理念也将结合到 5G 网管中，通过将运营商的网络意图目标输入转化为网络的控制和管理操作，来实现网络的自治能力。

2.3 逐渐深化的接入网及空口智能

在接入网领域，从无线大数据采集和分析架构及 AI 对空口的支持两大方向入手^[14]。其设计的理念是基于现有的架构、聚焦于 AI 的输入和输出、不涉及 AI 模型的训练及算法定义，接入网智能的功能框架如图 5 所示。网络大数据分析将有利于接入网的节能、负载均衡及移动性的优化。

在 5G 演进中，将综合考虑性能和复杂性，聚焦于 CSI（channel state information）反馈增强、波束管理、NLOS（non line of sight）场景定位精度提升三大场景，定义关键指标及仿真评估方法。

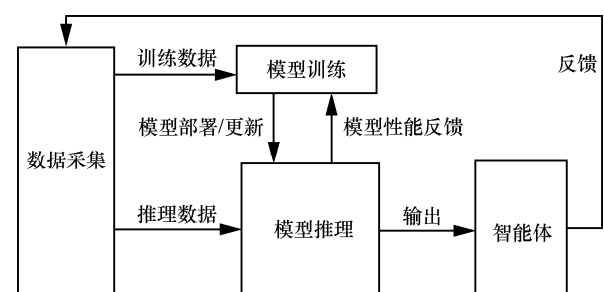


图 5 接入网智能的功能框架

3 低碳的 5G 演进技术

3.1 终端及无线节电

因为引入大规模天线等技术，从每比特的



传输效率来看, 5G 比 4G 更节能。除了无线效率的提升外, 降低网络轻载、中等负载情况下的能耗具有较大的优化空间。一种设计方式是高频和低频的联合设计: 低频承载公共信道, 实现 UE 的附着; 高频承载控制及数据信道, 从而在没有数据传输时, 关断高频信号。终端通过低频信道获取高频信道的信息。在射频单元方面, 可优化 AAU (active antenna unit) 架构设计, 提升基带处理能力^[15]; 通过基站的符号/通道级别的静默、设备休眠功能等方案实现系统性的低碳排放。分析报告^[16]系统地研究了终端节电的方案, 包括不同的节电模式设置。基于其定义的功耗模型, 将在 5G 演进阶段通过设置基站节能的参考配置, 结合实际运行的配置参数和状态得到实际的相对功耗^[17]。

3.2 绿色网络技术

自从 2015 年 12 月《巴黎协定》通过以来, 绿色低碳在移动通信领域产生了广泛的影响。多个行业组织, 如 GSMA、NGMN、3GPP 等都启动了相关项目。文献[18]从终端及用户设备、站点、网络设备、网络的规划和优化 4 个方面讨论了 5G 可能存在的节能创新点, 能耗的费用占网络总费用约 23%。多个欧洲运营商参与了 GSMA 的评估项目^[19], 无线电接入网(RAN)的能耗占比 73%(0.24 kW-h/GB), 核心网占比 13%, 运营商自己的数据中心占比 9%。当然, 这些是从部分运营商的数据中获得的, 全球来看, 数据可能会有一些变化, 特别是中国运营商, 往往自身拥有较大的数据中心。3GPP 在 5G 开始前的 2017 年即完成了能效的系统研究项目, 定义了节能的 KPI^[20]。该研究项目涉及蜂窝网系统的节能控制、接入网与其他子系统的节能协同、站点级的节电、自组织网络中的节能、上下文分析的节能等方面。3GPP 全会将进一步的主要工作转交给 3GPP 网管组完善。

基于 AI 辅助的节能成为新兴关注的方向。结合智能算法对网络进行规划、对用户的流量

进行预测, 从而优化站点频点的关断和开启。这些技术在 AI 项目、XR 增强项目等方面也都有所应用。

4 结束语

5G 演进的第一个版本 (3GPP Rel-18) 开启了沉浸式多媒体服务的时代。无论是产业界的关注程度还是国际标准组织的投入程度, 都主要聚焦于 XR 和多媒体的服务能力, 因而可以说, 5G 演进从对 XR 和多媒体的服务拉开帷幕。正如文献[21]所说, “XR 将是下一代移动计算的平台”。

“融合、智慧、低碳”的主题将从 5G 演进延续到 6G。本文初步展望了 5G 演进的趋势和关键技术, 同时还可以预期一些新的 5G 演进技术将在未来登上移动通信的舞台。在“融合”方面: 可以预期感知与通信的融合、算力与移动网的融合、数字孪生网络^[22]的虚实融合等技术将在 5G 演进的后期, 即在 3GPP Rel-19 及更晚的版本中进行研究。在“智慧”方面, AI 结合 5G 仍需在技术完善及应用场景上有所发展, 特别是后者亟待突破^[23]。5G 演进中对蜂窝网与智能化的探索将为 6G 的“智慧内生”^[24]打下基础。而“低碳”已经成为全球通信产业发展的主题。北美的“下一代网络联盟”发布的《Roadmap to 6G (6G 路径)》^[25]报告也把系统性的能效提升作为 6G 的六大目标之一。

像引入新的 API 一样, 引入网络能力。对网络架构来说, “架构智简、功能智强”是其不断追求的目标。5G 演进的新能力应尽可能减少对现有网络功能的影响, 降低与现有功能的耦合。5G 网络应该像引入 API 一样引入新的网络能力。只有这样, 5G 系统在不断丰富的时候, 才不会对现有网络造成冲击。

参考文献:

- [1] 工业和信息化部. “十四五”信息通信行业发展规划: 工信部规〔2021〕164 号[R]. 2021.

- MIIT. Development planning of information and communication industry in the 14th Five-year Plan: MIIT(2021) No. 164 [R]. 2021.
- [2] 工业和信息化部. 2021 年通信业统计公报[R]. 2022.
MIIT. Report on communications industry statistics 2021[R]. 2022.
- [3] 工业和信息化部. 2021 年工业和信息化发展情况新闻发布会[Z]. 2022.
MIIT. Press conference on the development of industry and informatization in 2021[Z]. 2022.
- [4] 中国信通院, 华为, 京东方. 虚拟(增强)现实白皮书[R]. 2021.
CAICT, Huawei, BOE. VR/AR whitepaper[R]. 2021.
- [5] 3GPP. Extended reality (XR) in 5G: TR 26.928[R]. 2020.
- [6] 3GPP. Study on supporting tactile and multi-modality communication services: TR 22.847[R]. 2021.
- [7] RINALDI F, MAATTANEN H L, TORSNER J, et al. Non-terrestrial networks in 5G & beyond: a survey[J]. IEEE Access, 2020(8): 165178-165200.
- [8] WANG X Y, SUN T, DUAN X D, et al. Holistic service-based architecture for space-air-ground integrated network for 5G-advanced and beyond[J]. China Communications, 2022, 19(1): 14-28.
- [9] 3GPP. Wireless and wireline convergence access support for the 5G system (5GS): TS 23.316[S]. 2019.
- [10] IETF. TCP extensions for multipath operation with multiple addresses: RFC 8684[S]. 2020.
- [11] 3GPP. Architecture enhancements for 5G System (5GS) to support network data analytics services: TS 23.288[S]. 2021.
- [12] 3GPP. Management and orchestration; management data analytics: TS 28.104[S]. 2022.
- [13] 3GPP. Management and orchestration; levels of autonomous network: TS 28.100[S]. 2021.
- [14] 3GPP. Study on enhancement for data collection for NR and ENDC: TR 37.817[R]. 2022.
- [15] NGMN. Green future networks—network energy efficiency[R]. 2021.
- [16] 3GPP. Study on user equipment (UE) power saving in NR: TR 38.840[R]. 2019.
- [17] 3GPP. New SI: Study on network energy savings for NR:RP-213554[R]. 2021.
- [18] GSMA. 5G energy efficiencies[R]. 2020.
- [19] GSMA. Going green: benchmarking the energy efficiency of mobile[R]. 2021.
- [20] 3GPP. Study on energy efficiency aspects of 3GPP standards: TR 21.866[R]. 2017.
- [21] 高通. XR 的移动未来[R]. 2020.
Qualcomm. The mobile future of extended reality(XR)[R]. 2020.
- [22] 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.
- [23] 李琴, 李唯源, 孙晓文, 等. 6G 网络智能内生的思考[J]. 电信科学, 2021, 37(9): 20-29.
LI Q, LI W Y, SUN X W, et al. Thinking of native artificial intelligence in 6G networks[J]. Telecommunications Science, 2021, 37(9): 20-29.
- [24] IMT-2030(6G)推进组. 6G 网络架构愿景与关键技术展望[R]. 2021.
IMT-2030(6G) Promotion Group. Whitepaper on 6G vision and candidate technologies[R]. 2021.
- [25] ATIS' Next G Alliance. Roadmap to 6G[R]. 2022.

[作者简介]



段晓东(1977—), 男, 中国移动通信有限公司研究院正高级工程师、副院长, IMT-2030 (6G) 推进组网络技术组组长, 主要研究方向为 5G/6G 网络架构、IP 新技术、IPv6、算力网络等。



孙滔(1981—), 男, 博士, 中国移动通信有限公司研究院正高级工程师、首席专家, 国际标准化组织 3GPP SA2 副主席, 中国科学技术协会第十届全国委员会委员, 长期从事移动通信网架构及 IP 新技术研究及国际标准化工作。