



网络融合深化使能 5G 全场景多维度服务

Deep Network Convergence Enables 5G Full-Scene Multi-Dimensional Service

孙滔 /SUN Tao, 陆璐 /LU Lu, 刘超 /LIU Chao

(中国移动研究院网络与 IT 技术研究所, 北京 100053)
(Institute of Network and IT Technology, China Mobile Research
Institute, Beijing 100053, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202003011

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20200624.1610.006.html>

网络出版日期: 2020-06-24

收稿日期: 2020-04-06

摘要: 5G R16 标准已经发布, 使得 5G 预期解决增强移动宽带 (eMBB)、超可靠低时延通信 (URLLC)、海量机器类通信 (mMTC) 的标准初步完备。以网络融合为主线, 从固定移动融合、空天地一体化融合、通信技术 (CT) /运营技术 (OT) 融合这 3 个角度, 分析 5G 架构在网络融合的深度及广度上的发展趋势, 同时指出了 5G 面向 R17 的关键演进方向。认为网络融合技术的复杂性和融合的深度有关, 不能因为网络融合复杂而放弃技术和应用的融会贯通。

关键词: 5G; 固定移动融合; 空天地一体化; 工业互联网

Abstract: R16 for 5G has been released, which makes the standards of enhanced mobile broadband (eMBB), ultra reliable low latency communications (URLLC) and massive machine type of communication (mMTC) preliminarily complete. Targetting the description of 5G evolution from network convergence perspective, the trend of 5G architecture design is analyzed from three main angles: fixed mobile convergence, space-aerial-terrestrial integration and communication technology (CT) and operation technology (OT) integration. Through the analysis of network from convergence and integration aspects, the key evolution direction of 5G towards R17 is pointed out. It is considered that the complexity of network convergence technology is related to the depth of integration, and the integration of technology and application should not be abandoned because of its complexity.

Keywords: 5G; fixed mobile convergence; space-aerial-terrestrial integration; industrial Internet

1 在 5G 独立组网 (SA) 商用元年审视 5G 发展的走向

移动通信技术发展的魅力是其代际的更替。10 年一代的蜂窝网“摩尔定律”让从事移动通信技术的研发人员无法停下前进的脚步。思考 5G 技术发展的过程, 同时展望后 5G 技术的演进将具有重要的意义。这对指导我们实践 5G 应用以及拓展 5G 技术的边界至关重要。

2020 年是 5G 独立组网商用的元年。中国、韩国等国家的运营商都已经表示将在 2020 年进行 5G SA 网络的商用。作为产业链中特别重要的一

环, 5G SA 能力的终端也将更加丰富多样。5G 网络可以避免对 4G 的强依赖, 提供端到端更高性能及更灵活的连接服务。

5G 技术从被提出以来就一路坎坷。技术标准的分歧、架构的多样、非技术因素的干扰, 甚至 2020 年爆发的新冠疫情都使得 5G 的发展命运多舛; 然而, 好的技术不会被埋没, 这些困难并不能阻碍 5G 的发展。作为全球 5G 的排头兵, 中国运营商在过去几年通过建设全球最大规模的 4G 网络带来了巨大红利。相信 5G 的新发展必将为我们的生产生活带来翻天覆地的变化^[1]。

2 从融合的角度分析 5G 架构的演进

网络的融合是移动通信技术一直追求的重要主题。标准化组织 3GPP 在 3G 时代就开始对融合的网络架构进行标准化, 对 3GPP 标准定义的蜂窝网 (简称 3GPP 网络) 和非 3GPP 定义的网络 [简称非 3GPP 网络, 如码分多址 (CDMA)、无线局域网 (WLAN) 等] 进行了融合的架构设计。在 4G 时期, 网络的融合架构更加全面, 既考虑了可信和非可信的接入类型, 也考虑了实现融合所采用的不同技术, 如基于终端的协议和基于网络的协议^[2]。以 T-Mobile USA 为代表的运营商在其

网络中部署了对非可信 WLAN 接入支持的能力, 实现了基于 Wi-Fi 的语音通话的业务^[3]; 然而, 由于不可信的融合方案需要终端与网络建立 IPSec 安全隧道, 对终端能力的要求高, 导致产业支持度一直不好。Apple 公司在 2013 年的 iOS7 系统中引入了对多路径传输控制协议 (MPTCP) 的支持^[4], 用以提升其 Siri 应用识别语音的业务体验。这是 4G 时代又一个网络融合与协同的标志性进展, 它不仅提升了网络对应用的响应速度, 还能辅助用户在蜂窝网和 Wi-Fi 网络平滑灵活地切换。随后几年, Apple 公司把 MPTCP 扩展到其他应用中, 例如 Apple Map 等。

网络融合是 5G 发展的内在需求, 在后 5G 阶段将持续深化。5G 网络架构的融合设计来自 3 个主要驱动力:

1) 增强网络接入带宽。以多接入能力、4G/5G 融合为代表, “网络总是拥塞的”在任何时代都是成立的。新冠肺炎 (COVID-19) 在欧洲爆发后, YouTube 将欧盟和英国的视频降为标清, 以避免成千上万的欧洲人在家工作导致网络崩溃。此前, Netflix 也宣布降低在欧洲播出的一切流媒体视频质量和大小。4G/5G/Wi-Fi/ 固网仍然是提升带宽最直接的手段, 因此, 这些网络的融合与协同仍然非常重要。

2) 提升运维管理效率。对于提供固网和移动网的全业务运营商来说, 依托蜂窝网在接入管理、控制、计费等一系列的优势, 实现统一运维是降本增效的重要手段。此外, 统一运营也有利于实现用户业务体验的一致性和综合网络服务能力, 从而增强用户粘性。

3) 扩展网络服务的场景。5G 最主要的特征是服务垂直行业能力的扩展, 这也体现在网络架构的融合上。从地面接入为主到融合卫星接入, 从面向为人服务为主扩展到面向生产和

制造的服务。这就需要网络支持生产制造场景下的数据传输类型及特有的场景。本文中, 我们对扩展的网络服务场景进行了分析和介绍。

3 网络架构深化融合促进 5G 服务能力扩展

3.1 在能力三角的基础上继续提升网络能力

从 2016 年开始, 3GPP 定义了 R15 和 R16 两个 5G 国际标准的版本, 用接近 5 年的时间完成了 5G 面向 3 大典型业务场景的技术研究及标准化。在这个过程中, 5G 网络一直将网络融合作为重要的特性在不断增强和发展。

3.2 固定移动融合

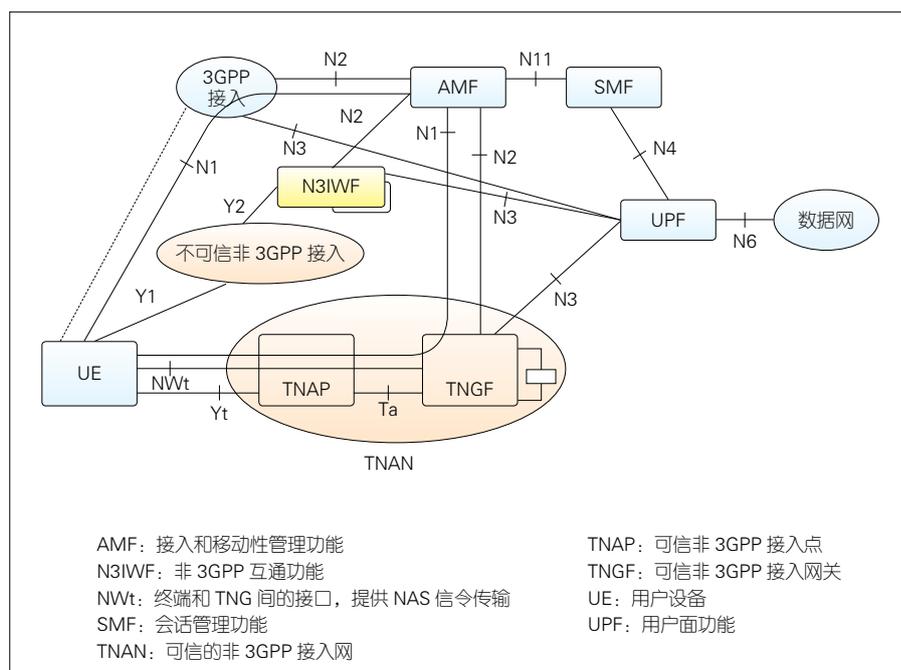
“内生的融合”是 5G 系统设计之初的目标^[5]。5G 设计之初, 宽带论坛 (BBF) 与 3GPP SA2 (系统架构组) 在 2017 年 2 月召开了联合会议。运营商希望 5G 具备统一接入的能力, 实现“接入无关性”。这就要求不同的接

入方式统一使用 3GPP 的接入标准: 终端采用 N1 (5G NAS) 协议, 接入网采用 3GPP 定义的 N2 (控制面) 和 N3 (用户面) 接口。在具体方案设计时, 考虑到现有旧的设备 (如固网的家庭网关) 难以升级, 3GPP 进行了折中的架构设计。

根据安全程度、接入类型、终端能力这 3 个维度, 固定移动融合分成多种接入架构。3GPP 在 R15 定义了非可信接入的场景, 在 R16 进行扩展支持了可信接入及固网接入的场景。

1) 从安全程度来看, 分可信接入及非可信接入, 如图 1 所示。可信接入是指该接入网与运营商的网络同属于一个安全域, 终端通过可信接入网关 (TNGF) 后能直接接入 5G 核心网 (5GC)。在非可信接入场景下, 接入网需要通过“互通功能” (N3IWF) 后再接入 5GC。

2) 从接入类型看, 分无线接入 (如 Wi-Fi) 和固定接入 (固定宽带接入, 如家庭网关)。蜂窝网和 Wi-Fi 网络的融合能力是相对完善的, 也是最主



▲图 1 可信及非可信非 3GPP 接入架构

要的场景。随着 Wi-Fi 6 能力的引入和北美对非授权频段的支持，我们可以预见，Wi-Fi 与 5G 的融合仍将是重要的融合能力。在对 Wi-Fi 融合接入支持的基础上，3GPP 在 R16 定义了固定接入（家庭网关）接入 5G 核心网的架构^[2]。

3) 从终端能力来看，终端通过非 3GPP 接入 5GC 时，又分为具备或不具备 5G 信令（NAS）能力两种类型，如图 2 所示。5G 家庭网关（5G-RG）是一类新的终端，具备 5G NAS（N1 接口）信令能力，能接入 5G 核心网，对 5G 网络来说可以被看作一个 5G 终端。固网家庭网关（FN-RG）代表一类旧的、非原生 5G 接入的终端，本身不支持 5G 信令，需要通过有线接入网关（W-AGF）的 5G 信令接入 5G 核心网。

在网络融合接入中，终端具有很大的主动性。终端将根据诸如设备配置、用户偏好、历史记录、当前可用的网络信息等因素选择是通过可信还是非可信的方式接入网络。不论终端选择了可信还是非可信的接入，终端的接入和移动性管理功能（AMF）仍然是唯一的。虽然终端和网络的信令参考点 N1 是两个（非 3GPP 的 N1 连接与 3GPP 的 N1 连接），但是只要公用陆用移动网（PLMN）是同一个。

终端无感知的网络融合方式仍将是后续技术发展的方向。从 3G/4G 的网络融合的应用来看，终端的数量大、种类多、能力参差不齐等因素往往是制约网络融合统一的关键；因此，尽可能降低对终端的影响、降低用户使用的难度、避免业务体验的影响，往往是运营商选择融合方案实施的主要考量之一。

3.3 空天地一体化融合

4G 引入的“永远在线”是指终端开机即完成注册认证、地址分配、连

接建立的过程，以便于快速地发起数据业务；然而，在偏远地区、海上、沙漠/草原等特殊环境下，缺少了基站的覆盖，这种“永远在线”也不复存在。卫星接入可以让 5G 终端解决这些场景下的接入问题。

卫星接入与 5G 的融合在 3GPP 进行 5G 设计之初就受到了很高的关注。众多卫星公司如休斯公司等，都已积极参与到 3GPP 的 5G 系统设计工作中，在 R15 的周期内研究了卫星接入的空口信道^[6]，并在 R16 周期内对卫星接入的网络融合架构进行了研究^[7]。卫星接入正式的标准制订已在 R17 启动。这既涉及接入网的工作，也涉及核心网架构的工作。

卫星网络主要通过两种方式 and 地面移动网络进行融合，即卫星作为非 3GPP 无线接技术（RAT）或 3GPP RAT 接入到 5G 核心网。卫星作为非 3GPP RAT 接入时，可参考 3.2 节所讨论的方式。卫星作为 3GPP RAT 接入时，如图 3 所示，卫星的空口采用 3GPP 增强协议，基站的部分或全部功能部

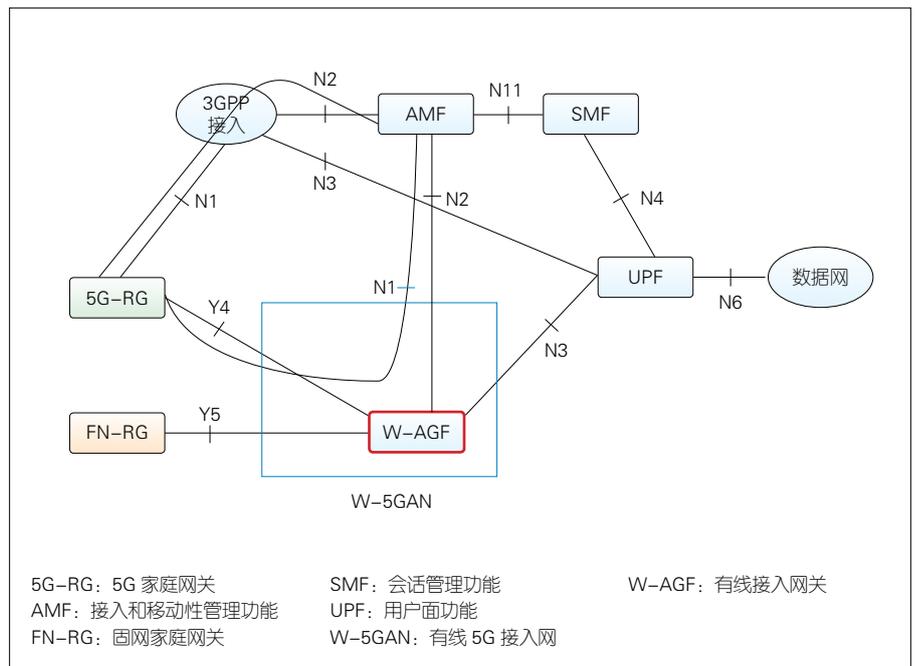
署在卫星上。5G 核心网对功能、接口进行增强和优化以适应卫星接入的特点。卫星作为 3GPP RAT 接入 5G 核心网时，存在如下 3 种可能的组网方案^[7]。

方案 1：卫星作为基站的射频拉远单元，透明传输地面基站和终端之间的无线信号。卫星和终端以及卫星和基站之间采用 3GPP 的空口；

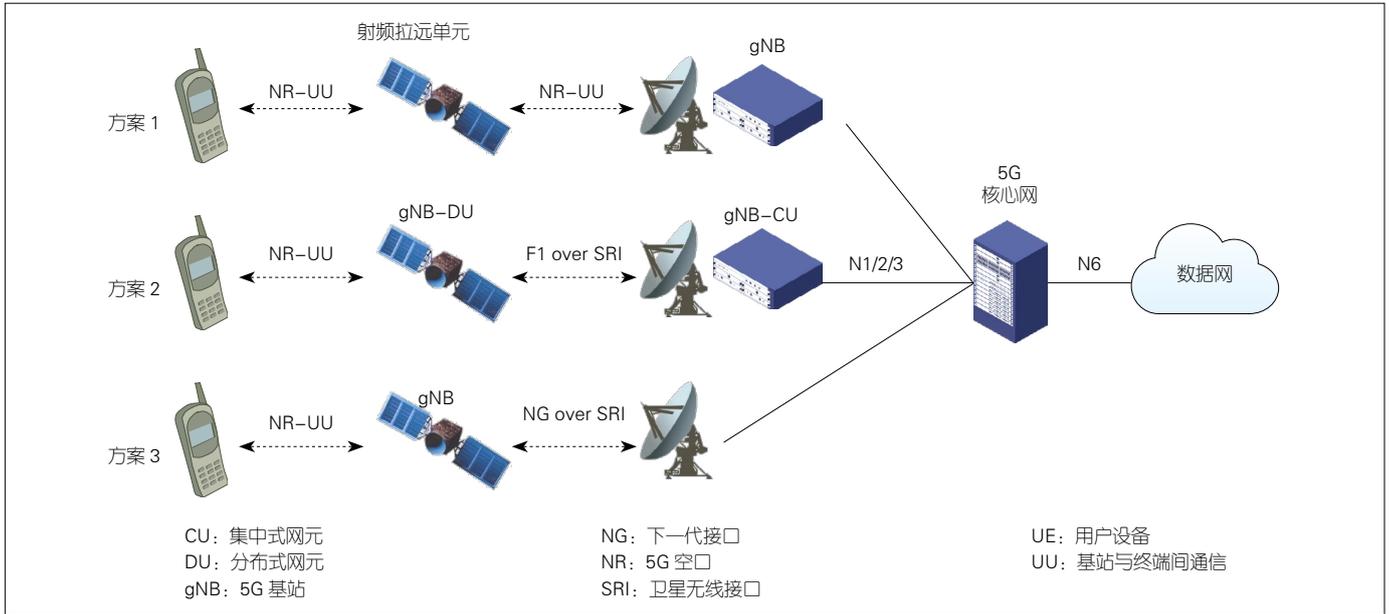
方案 2：分布式单元（DU）和集中式单元（CU）间的前传接口通过卫星无线空口（SRI）传输，卫星具备基站的部分功能，5G 基站的 DU 部分部署在卫星上，卫星和地面基站的核心网共用，但需要进行移动性管理、会话管理等功能增强；

方案 3：基站与核心网间的接口（N2/N3 接口）通过卫星空口传输。卫星具备 5G 基站的全部功能，DU、CU 均部署在卫星上，卫星和地面基站的核心网共用。

除了卫星接入的融合，5G 为空中无人机的接入及管理也提供了基础手段。美国联邦航天管理局（FAA）在 2019 年 12 月^[8]发布了对航空飞行器



▲ 图 2 不同能力的家庭网关接入 5G 核心网的架构



▲图 3 卫星作为 3GPP RAT 和移动网络融合架构

的监管要求，要求在美国的无人机飞行器都能对其标识进行辨识、对飞行器的飞行进行跟踪。3GPP 在 R17 也启动了无人机控制的项目（UAS），通过设计无人机管理架构来实现对无人机飞行器的连接、标识和跟踪。

3.4 面向工业互联网的通信技术 (CT) 与运营技术 (OT) 融合

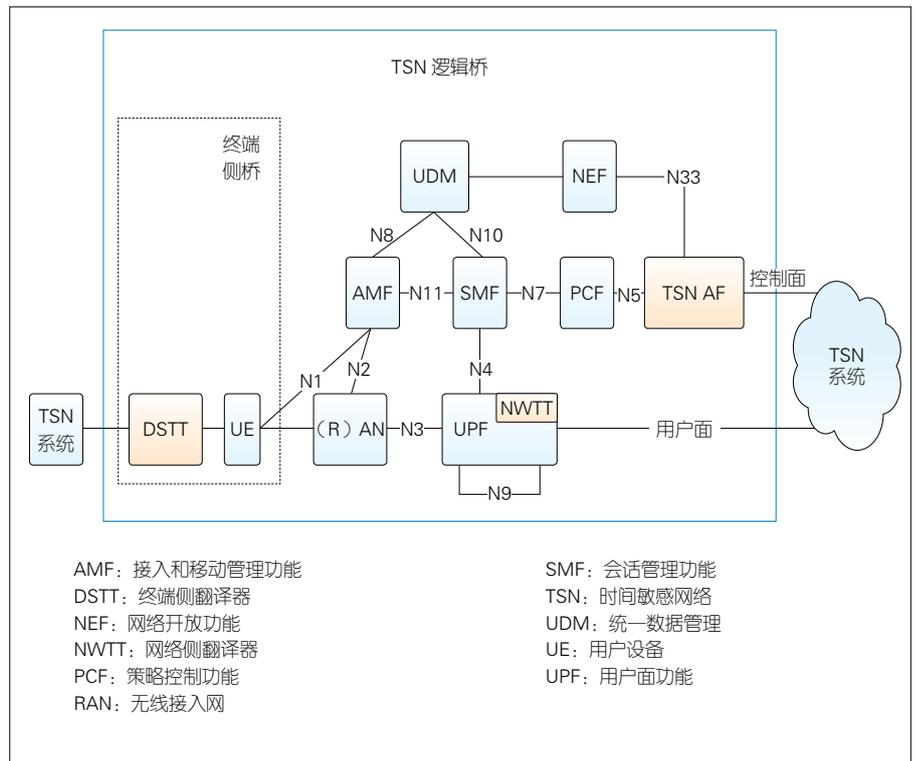
工业互联网越来越被认为是 5G 的重要应用场景之一，这在 5G 标准的后续版本中得到了充分体现。例如，5G 局域网（5G LAN, R16）和工业互联网（IIoT, R17）在 3GPP 得到了产业界众多公司的支持。这是 CT 网络与 OT 网络的融合在 5G 网络上最直观的反映。

对工业互联网的支持需要 5G 能够为多种工业场景下的数据传输提供通道。事实上，5G 在第一个版本（R15）中就提供了以太网的支持^[9]。ETSI 在 2020 年 4 月也成立了非 IP 网络（NIN）的工作组^[10]，其目的是为 5G 的应用场景研究比 IP 更适合的协议。在这之前，ETSI 已经完成了“下一代协议

（NGP）”的研究工作。NIN 指出，在 70 年代 IP 协议被用来固定网络传输文本，在 5G 时代需要研究非 IP 技术来应对诸如降低音视频及体感网的时延、现场对海量接收者的直播、网

络服务可持续保障、更高效的频谱和处理能力的使用等。

3GPP 在 R16 引入了对时间敏感网络（TSN）的支持，如图 4 所示。5G 系统对外表现为 TSN “逻辑桥”，



▲图 4 卫星作为 3GPP RAT 和移动网络融合架构

即作为一个黑盒呈现。在控制面，AF 作为翻译器，用于适配 5G 系统接口和 TSN 协议及参数。在用户面，5G 系统通过 TSN 的翻译器（终端翻译器 DSTT 和网络翻译器 NWT）向 TSN 网络提供 TSN 端口特性。在实现方式上，NWT 和转发面网元（UPF）合一部署，DSTT 和终端合一或者独立部署。

需要指出的是，3GPP R16 对 TSN 的支持仍然非常有限。3GPP 从 IEEE 的约 26 个 TSN 典型协议中选择支持最基本、相对简单的 5 个协议：IEEE 802.1Qbv(出口门控列表)、802.1AS(时间同步)、802.1Qci(入口的流过滤)、802.1AB(网络拓扑发现)、802.1Qcc(网络管理模型)^[9]。

以 TSN 为代表的 CT 与 OT 融合技术将是一个长期的过程。TSN 的技术本身仍在发展中：IEEE 在 2018 年以来陆续发布相关技术标准并将继续丰富完善；相关产业发展仍有较长的路要走，TSN 控制器的实现复杂性高。在应用时，考虑到时间同步、时延、维护业务转发状态等方面的要求^[1]，TSN 初期应用在小范围网络中。5G 对以 TSN 为代表的行业应用的支持仍在继续增强。R17 的 IIoT 项目研究者将对支持 TSN 的上行时间同步、多时钟域、终端直接通信（通过用户面网关）、对时间同步及确定性业务能力的开放等方面开展进一步研究工作。

4 结束语

网络融合是移动通信实现接入能力兼容并包、技术变革升级的重要途径。5G 在网络融合的道路上有了更深入的发展，未来网络的应用也必将证明这一点。蜂窝网络的演进，特别是网络架构的演进，总是不断借鉴 IP、IT、OT 等领域的新技术。除了上述列

举的例子，我们可以从众多其他例子中看到端倪，如 3GPP 在 R16 中所引入的 5G LAN 技术就是对 WLAN 网络的本地组网、灵活易用能力的借鉴。

通过技术融合，移动通信也将实际更迭的红利带给相关技术领域。移动通信在兼容新的网络技术时也促进了相关领域技术的革新。例如，4G 时代蜂窝网与 Wi-Fi 的融合对 Wi-Fi 的无感知认证、Wi-Fi 电话等技术起到促进作用。

应用与实践是检验网络融合成功与否的最重要标准。这不仅涉及到网络的支持，也涉及到终端、接入网、承载网的支持。系统融合的技术瓶颈往往不是网络，而是数量更多、更靠近用户的终端。网络融合技术的复杂性和融合的深度有关，即是达到业务逻辑统一的深度融合，还是仅实现系统间互通的简单融合。需要指出的是，技术并不是决定性因素，网络融合所带来的管理组织结构的融合、产业链的融合发展影响更深刻。“求其上者得其中”，我们不能因为网络融合复杂而放弃技术和应用的融会贯通。

参考文献

- [1] 李正茂, 王晓云, 张同须, 等. 5G+: 5G 如何改变社会 [M]. 北京: 中信出版社, 2019
- [2] 3GPP. Architecture enhancements for non-3GPP accesses: TS 23.402[S]. 2020
- [3] T-Mobile. Every Wi-Fi connection works like a T-Mobile tower[EB/OL]. [2020-06-16]. <https://www.t-mobile.com/offers/wifi-calling-wifi-extenders>
- [4] Apple. Use multipath TCP to create backup connections for iOS[EB/OL]. (2017-08-04) [2020-06-16]. <https://support.apple.com/en-us/HT201373>
- [5] NGMN. NGMN 5G white paper[EB/OL]. (2015-03-03)[2020-06-16]. <https://www.ngmn.org/publications/ngmn-5g-white-paper.html>
- [6] 3GPP. Study on new radio (NR) to support

- non-terrestrial networks: TR 38.811[S]. 2018
- [7] 3GPP. Study on architecture aspects for using satellite access in 5G: TR 23.737[S]. 2018
- [8] USA Federal Aviation Administration. Remote identification of unmanned aircraft systems[EB/OL]. (2019-12-31)[2020-06-16]. <https://www.federalregister.gov/documents/2019/12/31/2019-28100/remote-identification-of-unmanned-aircraft-systems>
- [9] 3GPP. System architecture for the 5G System (5GS): TS 23.501[S]. 2020
- [10] ETSI. Non-IP-Networking[EB/OL]. [2020-06-16]. <https://www.etsi.org/technologies/non-ip-networking>
- [11] 赵福川, 刘爱华, 周华东. 5G 确定性网络的应用和传送技术 [J]. 中兴通讯技术, 2019, 25(5): 62-67. DOI: 10.12142/ZTETJ.201905010

作者简介



孙滔, 中国移动研究院主任研究员、高级工程师, 网络与 IT 技术研究所网络创新实验室室经理, 3GPP SA2 副主席; 主要从事移动通信网络架构、网络融合、网络智能化、5G/6G 等网络新技术的研发工作; 从 2009 年开始代表中国移动参加 3GPP 会议, 作为报告人完成 5G 架构的研究和标准制订工作。



陆璐, 中国移动研究院网络与 IT 技术研究所副所长、高级工程师, CCSA TC5 核心网组组长, ITU-T SG13 WP1 副主席; 主要从事移动核心网策略、演进、标准和技术研究工作, 在 5G 网络架构、网络智能化、边缘计算、网络切片以及未来网络架构等领域有深入研究。



刘超, 中国移动研究院网络与 IT 技术研究所核心网研究员; 长期从事 TD-LTE、NB IOT、5G 核心网等领域的技术攻关、研究和标准化工作。