

6G 室内覆盖展望及关键技术应用思考

刘海涛¹, 刘洋¹, 冯晓丽², 宗佳颖¹

(1. 中国电信研究院, 北京 102209; 2. 中国电信集团有限公司, 北京 100031)

摘要: 随着 5G 商用进程的不断加快, 面向室内覆盖的网络建设逐渐成为热议话题。同时, 6G 网络伴随着云原生、人工智能等新兴技术的发展, 也将影响未来室内网络的架构及设备形态, 通过室内场景需求探索面向 6G 网络的更开放和智能的无线接入网技术创新, 有助于推进边缘云网深度融合。首先介绍 5G 室内覆盖现状, 包括主流解决方案及设备形态, 根据 6G 网络需求分析其短期可能的演进方向; 然后进一步地面向室内覆盖梳理相关 6G 使能关键技术, 展望未来室内场景网络愿景和可能的技术演进方向。

关键词: 6G; 室内覆盖; 皮基站; 无线接入网

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.212352

中文引用格式: 刘海涛, 刘洋, 冯晓丽, 等. 6G 室内覆盖展望及关键技术应用思考[J]. 电子技术应用, 2021, 47(12): 5-8, 14.

英文引用格式: Liu Haitao, Liu Yang, Feng Xiaoli, et al. Prospect of 6G indoor coverage and considerations on application of key technologies[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(12): 5-8, 14.

Prospect of 6G indoor coverage and considerations on application of key technologies

Liu Haitao¹, Liu Yang¹, Feng Xiaoli², Zong Jiaying¹

(1. China Telecom Research Institute, Beijing 102209, China; 2. China Telecom Co., Ltd., Beijing 100031, China)

Abstract: As the commercialization of 5G continues to accelerate, the network construction for indoor coverage has gradually become a hot topic. At the same time, the development of 6G network, cloud native, artificial intelligence and other emerging technologies also affect the pattern of future indoor networks. Exploring a more open and intelligent wireless access network for 6G network through the need for indoor scenarios is helpful to promote the deep integration of cloud and networks at the edge. This paper firstly introduces the current situation of 5G indoor coverage, including main solutions, and analyzes its possible evolution direction in the short term according to the requirements of 6G network. Then, the relevant 6G key technologies are sorted out for indoor coverage, and the vision of the network and possible technological evolution direction for future indoor scenarios are forecasted.

Key words: 6G; indoor coverage; pico site; radio access network

0 引言

近年来, 在信息消费极大增长和生产效率不断提升的需求驱动下, 移动通信技术的发展日新月异, 移动网络研究及建设不断加速。自 2015 年 9 月第三代合作伙伴计划(3rd Generation Partnership Project, 3GPP)启动 5G 新型无线空口(New Radio, NR)的研究到 2021 年我国建成 100 万个 5G 基站, 仅仅用了 6 年时间^[1]。同时, 伴随着 5G 网络建设如火如荼地开展, 6G 研究也在产业界和学术界提上了日程, 在先进的感知技术、人工智能、通信技术、新材料和新器件的使能下, 移动通信新需求将不断涌出, 推动 5G 向 6G 演进和发展。预计 3GPP 将于 2025 年后启动 6G 国际技术标准研制, 有望在 2030 年实现 6G 商用^[2]。

目前, 5G 的网络建设投入主要以室外宏基站为主, 而根据 5G 三大业务场景需求, 预计将有 70% 以上的业务需求来自室内^[3]。从 6G 的应用场景(例如人机交互、

触感互联、云扩展现实(Extended Reality, XR)及全息通信等)可以预估, 未来的网络需求趋势将继续延续 4G/5G 的情况, 即大部分的数据业务将发生于室内。所以, 6G 的网络技术发展也将在 5G 基础上进一步拓展和深化室内覆盖, 持续提升现有网络的基础能力, 不断发掘新的业务应用, 服务于智能化生活的室内覆盖已成为现在和未来的重要场景。

基于以上背景, 在当下 5G 室内覆盖建设方兴未艾、6G 网络研究陆续开展的时候, 综合考虑后续室内网络建设, 即在满足当下应用的同时, 展望面向 6G 需求, 使之能够在一定程度上兼顾到未来的网络发展诉求, 为实现网络的平滑演进打下坚实的基础, 无论是对于建设高质量的 5G 室内网络, 还是对于业界正在热议的 6G 关键技术研究及选择都有重要意义。

本文首先介绍 5G 室内覆盖现状, 包括主流解决方案, 然后根据 6G 网络需求分析其应用场景对网络架构的影

响,以及可能的演进方向;随后进一步地面向室内覆盖,梳理相关 6G 关键技术,展望未来室内场景网络愿景和可能的技术演进方向。

1 5G 室内覆盖现状及 6G 展望

虽然当前 5G 网络建设迅速,室外宏基站已经大规模部署,提供了较好的 5G 覆盖,但是针对一般室内覆盖建设还未大规模铺开,若要实现精细化覆盖还需要进一步网络投入。在未来的建设过程中以及未来网络技术选择过程中,如果能一定程度上考虑网络设备的平滑升级,实现部分物理资源的重复利用,则有利于降低网络总拥有成本(Total Cost of Ownership,TCO),提高资源配置效率,这也是目前全球多家运营商都在持续探索的道路之一。

目前,5G 室内覆盖解决方案与 4G 时代相近,包括宏基站室外覆盖室内、无源室分、有源室分等。其中,由于 5G 采用较高频段部署,室外宏基站覆盖室内的方案性能受限;4G 传统的无源室分系统对于直接使用高频段存在改造难、成本高等问题,新建无源室分虽然可以支持 3.5 GHz 频段,在间隔较多场景可发挥头端数量优势,但存在不能有效监控管理等问题。相比而言,有源室分方案具有部署方便等优势,不仅能与宏基站搭配部署扫除覆盖盲区,还可实现数字化 5G 室内覆盖,满足服务的多样化需求。目前有源室分来主要考虑采用皮基站覆盖,具体又可以根据设备规格不同划分为分布式皮基站和扩展型皮基站。

总体上,两类皮基站方案在形态上基本相同,如图 1 所示,都采用了三级有源分布式架构,由基带处理单元(Building Base band Unit,BBU)、交换机(HUB)及射频处理单元(Remote Radio Unit,RRU)组成,区别只是在于产品规格上有所不同。分布式皮基站针对机场、火车站等大容量的室内覆盖热点区域,支持更多的小区数和用户数;而扩展型皮基站一般针对中低容量场景,支持的小区数和用户数更少,相应的硬件规格也更低,期望在较低成本下保障覆盖效果。目前扩展型皮基站的设备形态

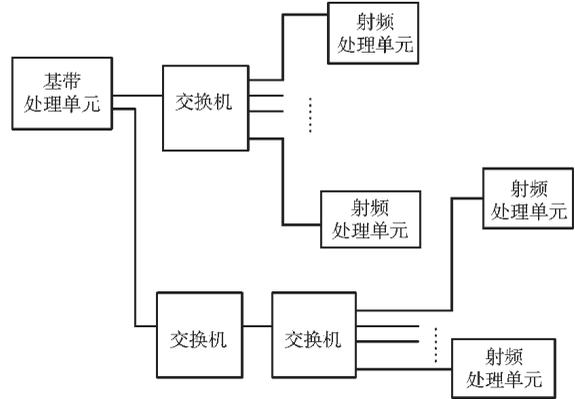


图 1 皮基站三级架构

(如图 2 所示)以基于通用硬件为主,其后续发展趋势可与移动边缘计算(Mobile Edge Computing, MEC)及其他业务应用共平台部署形成云化基站形态,随着基带芯片逐步发展成熟,其组成架构中也将引入专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit,ASIC)芯片,形成更低成本低功耗的产品形态。

在 5G 扩展型皮基站的设备架构可以看出,关于无线接入网开放的研究与实践在 5G 时代已逐渐兴起,无论是基于通用硬件的设备研发还是在前传接口的标准化开放中,都体现了无线网络开放的主旨要素。因此,在考虑室内覆盖的进一步发展时,也应当关注无线网络开放组织以及其所期望的开放网络形态。其中,以开放无线接入网(Open-Radio Access Network, O-RAN)联盟及电信基础设施项目(Telecom Infra Project, TIP)等为代表,期望新兴无线接入网设备能具备接口开放化、硬件白盒化、软件开源化和网络智能化等特征,以便推动无线接入网架构开放与智能^[4]。

目前在全球范围内,对于无线网络开放设备的讨论受到普遍关注,运营商、设备商针对设备的成本功耗、集成难度以及后期运维提出很多分析和观点,毋庸置疑的是,产业链正有越来越多的注意力被吸引过来。在无线

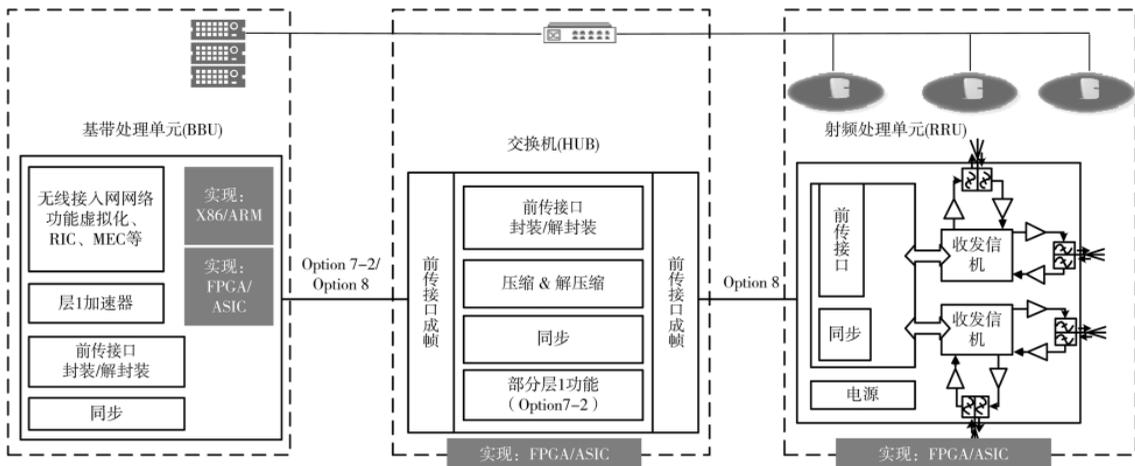


图 2 扩展型皮基站设备形态举例

网络开放与智能的研究热潮中可以看出,由技术门槛、指标要求等先天因素影响,其应用场景将主要在室内覆盖领域。从技术发展角度,基于通用硬件的网络部署将有助于通过软件升级实现代际更迭,有助于实现网络与应用的深度融合,接口的开放有助于产业链的繁荣。

2 6G 系统架构展望

6G 网络受到沉浸式云 XR、全息通信、感官互联、智能交互、通信感知、智慧内生、数字孪生、全域覆盖等新业务新需求场景的驱动,需要实现数据技术(Data Technology, DT)、信息技术(Information Technology, IT)和通信技术(Communication Technology, CT)的融合,以聚力驱动网络变革和能力升级,助力全社会全领域的数字化智能化发展。6G 移动网络将更充分地引入 IT 技术,将网络功能虚拟化(Network Functions Virtualization, NFV)、容器、软件定义网络(Software Defined Network, SDN)、基于应用程序接口(Application Programming Interface, API)的能力开放等技术在系统中获得充分应用^[5],以实现 ICDT 的进一步融合发展,这都将直接导致 6G 网络架构的变化,尤其是针对新兴技术应用实现从外挂式设计向内生设计的转变。云原生技术在 6G 时代的发展将促进无线网络基础设施从核心网到无线接入网的云化进程,将云的思维、架构、技术、特性融合到无线网络体系架构中。无线接入网将可以采用分布式或者集中式的方式在云端部署,实现网在云中、云网融合,通过无线云网络的弹性伸缩、敏捷运维和智能开放,满足电信业务多样性需求。另外,通过采用去中心化的网络 and 同态化的网络架构设计,以及采用统一的接口协议体系,实现网络服务的即插即用。

要实现网络基础设施全面云化,首先要做的是实现网络虚拟化,特别是在无线接入侧,需要进行网络改造,这方面可以参考 5G 核心网侧所做的服务化架构(Service Based Architecture, SBA)。为了满足不同行业用户的差异化需求,适应新型业务快速交付及持续的迭代更新,5G RAN 已经开始了在服务化网络方面的探索,包括无线架构上引入了集中单元(Centralized Unit, CU)和分布单元(Distributed Unit, DU)分离的设计, CU 也通过 E1 接口实现了控制面/用户面的分离,但是整体来看依然任重道远,特别是在网络功能模块化和无状态化方面,加上底层虚拟化程度不高,难以支持极低时延的部署,业务融合程度较低,这些都约束了无线网络提供情境化业务的能力^[6]。

针对无线接入网进行服务化改造的进程将深入影响 6G 网络架构的发展变化,图 3 给出了基于完全虚拟化^[7]的服务化 RAN 示例,执行传统协议栈功能的 RAN 功能网元通过虚拟化平台部署在边缘云上,通过服务化接口(Service Based Interface, SBI)连接到核心网,届时传统意义上的基站形态将可能只保留天线与射频部分,为终端提供空口接入。基于这种架构,可以有更丰富的组网形态,资源可以更灵活地编排和定制,通过对多个小区进行集中调度和协调,实现以业务服务为中心的网

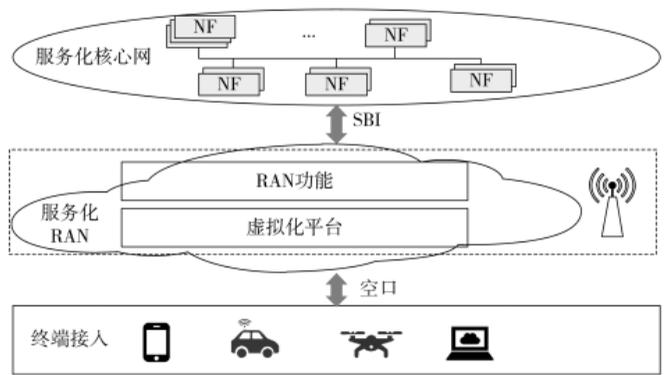


图 3 服务化 RAN 示例

络,进而实现移动性和业务连续性大幅增强。总之,这种架构有助于最大化地发挥云网融合的潜能。

3 面向室内的 6G 关键技术应用分析

3.1 毫米波及太赫兹通信

面向 6G 的关键技术研究目前主要包括三方面,即 6G 新频段及融合型技术、6G 无线新空口技术以及 6G 网络架构。在新频段方面,6G 频谱需求预计将在 2023 年底的世界无线电通信大会(World Radio Communication Conferences, WRC)上正式讨论,目前潜在候选频段中包括太赫兹频段、毫米波频段。其中,6G 对超高速率、超大容量的频谱需求使得毫米波乃至更高的频段将被充分利用,而随着产业的不断发展和成熟,毫米波频段在 6G 时代将发挥更大作用,其性能和使用效率将大幅提升。太赫兹通信是以太赫兹频段作为载波实现无线通信的技术,由于太赫兹频段具有超大带宽的频段资源可供利用,支持超高的通信速率^[8],因此,太赫兹通信被认为是达成 6G 太比特每秒(Tb/s)通信速率的重要空口技术备选方案。

与毫米波相比,太赫兹、可见光等更高频段受传播特性限制,将重点满足特定场景的短距离大容量需求。可以预见到,未来大量对数据速率、时延和连接数等需求呈现数量级增长的通信业务应用将在室内展开,例如全息通信、高质量视频在线会议、增强现实/虚拟现实、3D 游戏等,而毫米波及太赫兹通信能够满足上述技术需求,可用于为热点地区提供超高速网络覆盖,作为宏蜂窝网络的补充,提供超宽带无线通信服务;再考虑到传输损耗及水汽影响和当前器件输出功率发展的限制,毫米波、太赫兹通信可能更适于先在室内场景进行广泛实践^[9]。

3.2 去蜂窝大规模天线阵列

无线空口技术演进方面,针对大规模天线阵列(Massive Multiple-Input Multiple-output, Massive MIMO)的增强也是热点之一。针对大容量、高密度的室内覆盖场馆,传统方法通过密集部署室内基站以及频率复用,提高频谱资源利用率来满足大容量需求。但该方法会导致同频干扰和频繁的越区切换问题,并且由于信号衰减,小区边缘用户性能较差。随着 6G 室内应用规模和性能要求的增长以及使用频率的升高,蜂窝架构的深度变革是未来值

得研究的关键技术之一。

去蜂窝 Massive MIMO 是一种分布式的大规模 MIMO 系统,实现以用户为中心的相干传输,以克服蜂窝网络中的小区域干扰限制,并提供额外的宏分集^[10]。具体来看,将大量安装有一根或多根天线的接入点分布在一定区域,通过回传链路将数据传输到中央处理单元,并利用相同的时频资源为多用户服务^[11]。分布式大规模 MIMO 技术在 5G 已有室内场景商用案例,未来去蜂窝大规模 MIMO 技术可针对接收机算法设计、信号处理技术以降低回传容量要求、准确的信道状态信息、功率控制等方面进行研究^[12],赋能 6G 室内覆盖场景。

3.3 新型可重构智能表面

在新兴技术方面,可应用于室内场景的 6G 潜在关键技术之一是可重构智能表面(Reconfigurable Intelligent Surface, RIS),它通过对无线信号的可控反射,可以有效提升期望区域的覆盖性能。与室外通信场景相比,室内的通信环境更为简单,通信距离更短,用户移动性更低,但是无线传输面临着更大的穿透损耗以及更加严重的多径问题。信号能量散开在室内空间中,很难实现均匀的覆盖,不同位置、不同房间的覆盖性能可能存在较大差异,且难以控制。

RIS 技术为室内覆盖解决方案提供了一种新的思路。一方面,由于 RIS 本身由无源或近无源器件组成,且占用空间较小,可以打消人们对于电磁辐射的顾虑;另一方面,RIS 易于部署在室内墙面上,不需要额外的布线,且可通过室内装饰的方式呈现,不会有突兀的视觉观感。通过在室内部署多个 RIS,可以将室外基站信号反射到各个屋内,提升室内覆盖性能。另外,RIS 也可以很好地与其他室内覆盖方案相结合,作为室内覆盖增强方案的额外补充^[13]。由此可见,得益于 RIS 低成本、轻体量等特性,可重构智能表面在 6G 室内覆盖中具备很大的潜力。

3.4 内生智能促进云网融合

在网络架构方面,上一节中讨论的 5G 室内覆盖现状以及云化基础设施中都指出无线网络开放以及无线网络虚拟化在未来网络发展中的重要作用,而如果要进一步利用无线接入网的开放数据推进本地化业务应用,以实现无线接入网的能力开放,构建新的生态和以用户为中心的业务体验,离不开内生人工智能(Artificial Intelligence, AI)的新型网络架构。内生 AI 将充分利用网络节点的通信、计算和感知能力,使得 6G 网络能够原生支持各类 AI 应用。将智能从应用和云端走向网络,在云网间实现多维资源(包括频谱、计算、存储等)的智能适配,将提升总体效能。而当云网走向智能融合的时候,处在网络边缘侧的无线接入网也必须考虑对云原生、AI 智能化等的内生设计需求^[14],室内覆盖网络若要依托边缘设施构建,需要从 6G 网络架构设计初期即开始探索基于开放式架构的 RAN,并基于此进一步探索内生智能的实现方式,将促进云网在部署、架构和服务上的深度融

合,赋予 6G 网络在传统覆盖能力之外广阔的发展前景。

4 结论

随着我国 5G 基础设施建设全面铺开以及 5G 商用进程的不断加快,面向室内覆盖的解决方案已逐步成为热点问题,其中扩展型皮基站作为无线接入网开放的产业实践逐步走进大众视野。面向未来网络演进,无线接入网开放所涉及的云化及智能内生等架构革新将是 6G 的重要方向。展望 6G 室内覆盖技术发展,一方面将是基于现有架构面向 6G 网络需求,通过探索 RAN 侧的全面云化和开放,推进边缘云网融合;另一方面则是关注 6G 关键技术面向室内场景的研究和测试进展,在室内覆盖建设时,充分考虑未来技术的引入和兼容,最终实现 5G 到 6G 网络的平滑升级。本文对室内覆盖的现状进行了总结与展望,对 6G 讨论中与室内场景密切相关的技术应用进行了梳理分析,并展望了未来室内场景网络愿景和可能的技术演进方向。

参考文献

- [1] 刘晶.5G 建网:做好基础网络谋定未来之路[N].中国电子报,2021-09-24(005).
- [2] 禹忠,陈彦萍,周运基,等.5G 移动通信系统关键技术与标准进展及 6G 展望[J].西安邮电大学学报,2020,25(1):11-20.
- [3] 喻根,黄伟荣.5G 网络室内覆盖解决方案研究[J].通信与信息技术,2019(6):55-57,26.
- [4] 刘洋,杨涛,刘海涛,等.基于 5G 小基站的无线接入网开放架构及分析[J].移动通信,2020,44(4):54-58.
- [5] IMT-2030 (6G)推进组.6G 总体愿景与潜在关键技术白皮书[EB/OL].(2021-06-xx)[2021-11-18].http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/zbtg/202106/P020210604552572072895.pdf.
- [6] 唐雄燕,李福昌,张忠皓,等.6G 网络需求、架构及技术趋势[J].移动通信,2021,45(4):37-44.
- [7] 刘海涛,刘洋,杨峰义.基于 5G 小基站的虚拟化场景与应用分析[J].电子技术应用,2020,46(7):29-32.
- [8] IMT-2030 (6G)推进组.太赫兹通信技术研究报告[EB/OL].(2021-09-xx)[2021-11-18].https://mp.weixin.qq.com/s/seAYWMNGhPq4M4hDfsHgYg.
- [9] 彭琳,段亚娟,别业楠.B5G 毫米波和太赫兹技术的背景、应用和挑战[J].中兴通讯技术,2019,25(3):82-86.
- [10] 李南希,朱剑驰,郭婧,等.面向 6G 的可重构智能表面部署与应用思考[J].移动通信,2021,45(4):105-109.
- [11] INTERDONATO G, BJÖRNSSON E, NGO H Q, et al. Ubiquitous cell-free massive MIMO communications[J]. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2019(1):1-13.
- [12] 章嘉懿.去蜂窝大规模 MIMO 系统研究进展与发展趋势[J].重庆邮电大学学报(自然科学版),2019,31(3):285-292.

(下转第 14 页)

- technologies for 6G mobile communications[J].Science China (Information Sciences), 2020, 63(8): 217-235.
- [9] Zhang Ping, Xu Xiaodong, Qin Xiaoqi, et al. Evolution toward artificial Intelligence of Things under 6G ubiquitous-X[J]. Journal of Harbin Institute of Technology(New Series), 2020, 27(3): 116-135.
- [10] 刘秋妍, 李铭轩, 吕轩, 等. 面向 6G 网络的可信需求与应用场景研究[J]. 电子技术应用, 2021, 47(3): 5-7.
- [11] 杨林瑶, 陈思远, 王晓, 等. 数字孪生与平行系统: 发展现状、对比及展望[J]. 自动化学报, 2019, 45(11): 2001-2031.
- [12] 靳欣欣, 戴英豪. 5G 赋能云 VR 直播迎来新一轮发展契机[J]. 通信世界, 2020(14): 21-23.
- [13] 靳欣欣. “新冠”疫情防控战 信息消费再升级[J]. 通信世界, 2020(4): 22-23.

- [14] WAN M, WANG Q, WANG R, et al. Platelet-derived porous nanomotor for thrombus therapy[J]. Science Advances, 2020, 6(22): aaz9014.
- [15] SCHLEICH J M, DILLENSEGER J L, LOEUILLET L, et al. Three dimensional reconstruction and morphologic of human embryonic hearts; a new diagnostic and quantitative method applicable to fetuses younger than 13 weeks of gestation[J]. Pediatric and Developmental Pathology, 2005, 8(4): 463-473.

(收稿日期: 2021-11-11)

作者简介:

靳欣欣(1992-), 女, 硕士研究生, 工程师, 主要研究方向: ICT 产业发展与技术应用。



扫码下载电子文档

(上接第 4 页)

- 书[EB/OL].(2021-06-xx)[2021-11-11].http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/ztbg/202106/P020210604552572072895.pdf.
- [3] 6G Flagship, University of Oulu. White paper on 6G net-working[EB/OL].(2020-06-xx)[2021-11-11].http://jultika.oulu.fi/files/isbn9789526226842.pdf.
- [4] The 5G Infrastructure Association. European vision for the 6G network ecosystem[EB/OL].(2021-06-xx)[2021-11-11].https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2021/06/WhitePaper-6G-Europe.pdf.
- [5] IMT-2030(6G)推进组. 6G 网络架构愿景与关键技术展望白皮书[EB/OL].(2021-09-17)[2021-11-11].http://221.179.172.81/images/20210917/16141631860877816.pdf.
- [6] 未来移动通信论坛. 面向云网融合服务的 6G 网络技术[EB/OL].(2020-11-26)[2021-11-11].http://www.future-forum.org/dl/201126/whitepaper/70J.pdf.
- [7] 中国联合网络通信有限公司研究院. 中国联通 6G 白皮书[EB/OL].(2021-03-22)[2021-11-11].http://221.179.172.81/images/20210322/30691616408868127.pdf.
- [8] 东南大学, 紫金山实验室, 上海科技大学, 等. 6G 无线网络: 愿景、使能技术与新应用范式[EB/OL].(2020-08-14)

[2021-11-11].http://www.future-forum.org/cn/leon/a/upfiles/file/202104/20210409170967466746.pdf.

- [9] 方敏, 段向阳, 胡留军. 6G 技术挑战、创新与展望[J]. 中兴通讯技术, 2020, 26(3): 61-70.
- [10] 3GPP TS 23.501. System architecture for the 5G system, V16.5.1[S]. 2020.
- [11] 3GPP TS 29.500. Technical realization of service based architecture, V16.9.0[S]. 2021.
- [12] 3GPP TS 33.501. Security architecture and procedures for 5G system, V16.7.1[S]. 2021.
- [13] 刘超, 王丹. 5G 服务化网络架构研究[J]. 信息通信技术与政策, 2018, 44(11): 31-35.

(收稿日期: 2021-11-11)

作者简介:

宗佳颖(1994-), 女, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向: 5G、6G 无线接入网技术等。

刘洋(1983-), 女, 博士, 高级工程师, 主要研究方向: 无线网络开放、5G 室内小基站等。

刘海涛(1992-), 男, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向: 5G 接入网、开源网络技术



扫码下载电子文档

(上接第 8 页)

- [13] 东南大学, 紫金山实验室, 上海科技大学, 等. 6G 无线网络: 愿景、使能技术与新应用范式[EB/OL].(2020-08-14)[2021-11-18].http://www.future-forum.org/cn/leon/a/upfiles/file/202104/20210409170967466746.pdf.
- [14] IMT-2030 (6G)推进组. 6G 网络架构愿景与关键技术展望白皮书[EB/OL].(2021-09-17)[2021-11-18].http://221.179.172.81/images/20210917/16141631860877816.pdf.

(收稿日期: 2021-11-18)

作者简介:

刘海涛(1992-), 男, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向: 无线接入网、开源网络技术等。

刘洋(1983-), 女, 博士, 高级工程师, 主要研究方向: 无线网络开放、5G 室内小基站等。

宗佳颖(1994-), 女, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向: 5G、6G 无线接入网技术等。



扫码下载电子文档

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所