



5G 架构演进 Option4 技术分析及部署建议

高松涛, 马向辰, 于一鸣, 潘都

(中国移动通信集团设计院有限公司, 北京 100080)

摘要: 5G Option4 架构通过以 5G 为锚点的 4G/5G 双连接 (NR E-UTRAN dual connectivity, NE-DC) 在 5G 独立组网 (standalone, SA) 基础上聚合 4G 链路能力, 提升 5G 网络性能, 同时可兼顾现有 4G 用户体验, 是受运营商关注的潜在 5G 架构演进方向。介绍了 Option4 技术原理, 多维度详细分析了 Option4 关键性能, 探讨了 Option4 对运维复杂度的影响, 提出了 5G Option4 架构部署建议。

关键词: 5G 架构; Option4; NE-DC

中图分类号: TN929.5

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2022148

5G architectural evolution Option4 technology analysis and deployment suggestions

GAO Songtao, MA Xiangchen, YU Yiming, PAN Du

China Mobile Group Design Institute Co., Ltd., Beijing 100080, China

Abstract: Option4 architecture improves 5G network performance by aggregating 4G link capabilities on the basis of 5G SA, while taking into account the existing 4G user experience. It is a potential 5G architecture evolution direction that operators are concerned about. The technical principles of Option4 was introduced, the key performance of Option4 from multiple dimensions was analyzed in detail, the impact of Option4 on the complexity of operation and maintenance was discussed, and 5G Option4 architecture deployment suggestions were proposed.

Key words: 5G architecture, Option4, NE-DC

0 引言

综合考虑 5G 引入速度及建设成本等因素, 第三代合作伙伴计划 (3rd Generation Partnership Project, 3GPP) 定义了非独立组网 (non-standalone, NSA) 和独立组网 (standalone, SA) 两类 5G 组网架构, 并进一步细分了多种技术选项 (option)^[1],

运营商可根据实际情况灵活选择。我国 5G 网络目前支持 Option3x (NSA) 和 Option2 (SA) 混合组网, 且明确将 Option2 作为 5G 目标架构。但在 4G/5G 网络长期共存成为行业共识的背景下^[2], Option4 作为能够盘活现有 4G 资源, 兼顾存量 4G 用户体验的同时实现 5G 网络性能增强的技术选项, 已受到运营商关注并作为潜在技术演进方向进行研究。

1 Option4 技术原理

1.1 网络架构

5G 部署初期, 为借助现有 4G 网络实现 5G 低成本快速商用, 我国运营商普遍采用 Option3x 进行组网^[3]。该方式无须新建 5G 核心网 (5G core, 5GC), 只需要软件升级 4G 的核心网演进分组核心网 (evolved packet core, EPC), 控制面信令将 4G 基站作为锚点, 用户面数据由 5G 基站进行分流^[4]。这种方式也称为以 4G 为锚点的 4G/5G 双连接 (E-UTRAN NR dual connectivity, EN-DC), E 在前面代表控制由 4G 的 E-UTRAN 来实现。由于控制面由 4G 承载, Option3x 仅能发挥 5G 高速率能力, 无法支持大连接物联网 (massive machine-type communication, mMTC) 和超可靠低时延通信 (ultra-reliable and low-latency communication, URLLC) 两类行业场景需求, 经过短暂的过渡阶段后升级为 Option2 进行建设^[5]。

Option2 是一张 5G SA 网络, 需要新建 5GC, 5G 用户面和控制面均由 5GC 承载^[6]。只有 SA 才能实现更低时延和更大连接^[7], 有效支持 5G 全部应用场景, 这是 5G 的内涵和本质, 也是我国运营商将建设成一张全球先进的 5G SA 网络作为目标的驱动力。我国大部分已建 5G 基站采用基于 Option2 架构的 SA 单模方式, 前期少量建设的 NSA 基站也已完成 NSA/SA 双模升级。

Option4 以 Option2 为组网前提, 是 Option2 的进一步升级。Option4 控制面由 5G 承载, 同时 5G 基站可将用户面数据分流至 4G 基站, 因此也称为以 5G 为锚点的 4G/5G 双连接 (NR E-UTRAN dual connectivity, NE-DC)。通过双连接技术, Option4 实现了与 4G 深度融合的 5G 组网, 兼具 Option2 和 Option3x 的优势, 既能够提供面向 5G 全场景的服务, 又能够通过 4G 分流提升 5G 网络容量和用户峰值速率。同时, Option4 通过合理的调度算法设计保留了 4G 网络给 4G 用户使用, 基本不影响现有 4G 用户体验。另外, Option4 系列下还有一种 Option4a 架构, 4G 用户面接口在 Option4a 架构下与 5GC 对接, 和 5G 基站之间没有用户面接口, 与 Option4 的差异在于用户面数据由 5GC 分流至 4G 基站, 但 5GC 无法感知空口状态, 无法基于空口状态进行动态分流^[8]。由于 Option4 业务分流的灵活度更好、分流能力强于 Option4a, 因此重点考虑采用 Option4, 不推荐 Option4a。

Option3x/2/4/4a 架构对比如图 1 所示。

1.2 标准及产业进展

3GPP 对 Option4 架构的标准化在 Release 15 (Rel-15) 规范中已经完成, Rel-17 RAN4 已明确 NE-DC 允许的部分 5G 和 4G 频段组合^[9], Rel-17 RAN5 将通过立项支持验证 Option4 功能所需要的所有互操作性测试^[10]。

为支持 Option4, 网络侧和终端侧都需要进行

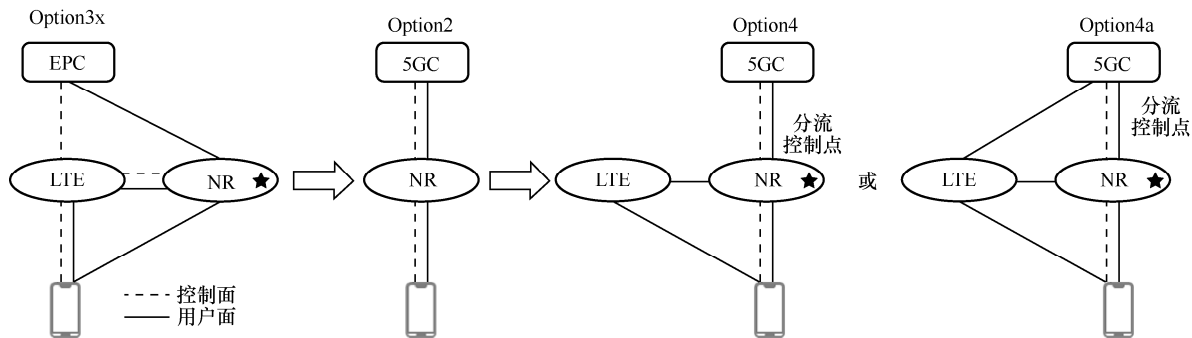


图 1 Option3x/Option2/Option4/Option4a 架构对比



升级改造。对于网络侧,首先需要新增 4G 与 5G 之间的 Xn 接口,以支持 4G 的数据分流和数据交互。相应地,5G 基站需要升级 Xn 接口信令(包括辅节点的添加/数据量上报/信令传输等)^[11]和分组数据汇聚协议(packet data convergence protocol, PDCP)层(处理 4G 能传输的数据量并转发);4G 基站需要升级支持 5G Option4 终端的分流。对于终端侧,软件需要升级以支持 NE-DC;射频若不支持相应的 NE-DC 频段组合则需要对硬件进行重新设计^[12]。

由于涉及改造较多,且运营商尚未明确释放产业引导信息,目前主设备厂商暂无支持 Option4 的商用设备,芯片和终端厂商也没有明确的计划。根据调研,预计 2023—2024 年 Option4 能够具备商用条件。

2 Option4 关键性能

2.1 速率能力

用户峰值速率基于网络带宽、多输入多输出(multiple-input multiple-output, MIMO)层数、调

制阶数、开销占比等参数进行测算^[13],用户体验速率根据外场测试数据整理,国内运营商 5G 和 4G 网络典型单载波配置下的用户峰值和体验速率见表 1。

基于 Option4 的技术原理,用户峰值及体验速率相当于处于双连接状态的 5G 和 4G 相应速率叠加,不同双连接组合对应的 Option4 用户峰值速率和用户体验速率情况及对应的增益分别见表 2 和表 3。

由表 2 和表 3 可以看出,5G 锚点基站带宽越小,升级 Option4 获得的性能增益越明显。如在 NR 700 MHz 或 NR 2.1 GHz 部署 Option4,用户峰值速率及体验速率基本可提升 20%以上。而对于 NR 2.6 GHz 和 NR 3.5 GHz,由于单载波带宽达 100 MHz,本身可提供较高的 5G 用户峰值速率和体验速率,Option4 带来的下行增益低于 10%;虽然上行可带来更大提升,但鉴于运营商已积极试点应用载波聚合(carrier aggregation, CA)^[14]、补充上行(supplementary uplink, SUL)^[15]等 5G 上行增强技术,部署 Option4 的需求并不明显。

表 1 国内运营商 5G 和 4G 网络典型单载波配置下的用户峰值和体验速率

系统	网络配置	终端配置	用户峰值速率/(Mbit·s ⁻¹)		用户体验速率/(Mbit·s ⁻¹)	
			下行	上行	下行	上行
5G	NR 700 MHz (FDD, 2×30 MHz)	1T2R	350	175	100	60
	NR 2.1 GHz (FDD, 2×40 MHz)	1T4R	465	230	220	75
	NR 2.6 GHz (TDD, 100 MHz)	2T4R	1 700	250	1 200	300
	NR 3.5 GHz (TDD, 100 MHz)	2T4R	1 450	375	1 000	450
	FDD 1 800 MHz (2×20 MHz)	1T2R	150	75	50	30
4G	FDD 800 MHz/900 MHz (2×10 MHz)	1T2R	75	37	25	15
	TD-LTE F 频段 (20 MHz)	1T2R	110	15	40	7

表 2 Option4 用户峰值速率及对应增益

对比项	FDD 2×20 MHz				FDD 2×10 MHz				TDD 20 MHz			
	下行		上行		下行		上行		下行		上行	
	速率/ (Mbit·s ⁻¹)	增益	速率/ (Mbit·s ⁻¹)	增益	速率/ (Mbit·s ⁻¹)	增益	速率/ (Mbit·s ⁻¹)	增益	速率/ (Mbit·s ⁻¹)	增益	速率/ (Mbit·s ⁻¹)	增益
NR 700 MHz	500	43%	250	43%	425	21%	212	21%	460	31%	190	9%
NR 2.1 GHz	615	32%	305	33%	540	16%	267	16%	575	24%	245	7%
NR 2.6 GHz	1 850	9%	325	30%	1 775	4%	287	15%	1 810	6%	265	6%
NR 3.5 GHz	1 600	10%	450	20%	1 525	5%	412	10%	1 560	8%	390	4%

表 3 Option4 用户体验速率及对应增益

对比项	FDD 2×20 MHz				FDD 2×10 MHz				TDD 20 MHz			
	下行		上行		下行		上行		下行		上行	
	速率/ (Mbit·s ⁻¹)	增益	速率/ (Mbit·s ⁻¹)	增益	速率/ (Mbit·s ⁻¹)	增益	速率/ (Mbit·s ⁻¹)	增益	速率/ (Mbit·s ⁻¹)	增益	速率/ (Mbit·s ⁻¹)	增益
NR 700 MHz	150	50%	90	50%	125	25%	75	25%	140	40%	67	12%
NR 2.1 GHz	270	23%	105	40%	245	11%	90	20%	260	18%	82	9%
NR 2.6 GHz	1 250	4%	330	10%	1 225	2%	315	5%	1 240	3%	307	2%
NR 3.5 GHz	1 050	5%	480	7%	1 025	2%	465	3%	1 040	4%	457	2%

TD-LTE 上行时隙占比低, 作为 4G 辅节点时, 上行峰值速率及体验速率增益基本小于 10%。

对于 4G 辅节点的选择, 同等条件下建议优先使用 FDD, 可获得相对较大增益且上下行较为均衡。另外, 实际应用中双连接存在一定的分流效率损失^[16], 整体性能增益会略有下降。

2.2 覆盖能力

如前所述, Option2 是 Option4 部署的前提, 用户首先需要接入 5G 锚点站, 然后通过添加 4G 辅节点方式实现 Option4 双连接, 因此, Option4 不会对 5G 网络原有覆盖产生影响, 且会受限于 5G 锚点站覆盖范围^[17]。

但是 Option4 的可激活范围小于 5G 锚点站范围, 原因是 Option4 的激活需要用户设备 (user equipment, UE) 上行双发, UE 发射功率需要分配到 4G 和 5G 两条链路, 处于 Option4 状态下的 UE 上行覆盖范围相比 Option2 收缩 3 dB, 导致约 30% 的 5G 小区边缘用户由于覆盖受限无法激活 Option4。

以 NR 700 MHz 终端 (23 dBm) 为例, Option2 和 Option4 上行覆盖差异对比如图 2 所示。

为扩大 Option4 的激活范围, 建议推动 3GPP

相关标准^[18]定义的 NE-DC 状态下 LTE 和 NR 间的动态功率共享 (dynamic power sharing, DPS) 特性演进, 在小区边缘将终端功率优先分配给 5G 使用, 减少 Option4 与 Option2 间的覆盖差异。

2.3 语音及行业能力

针对语音这类小包业务^[19], 在 Option4 架构下可选择向 4G 分流, 完全由 5G 链路承载, 提供等同于 Option2 的新空口承载语音 (voice over new radio, VoNR) 体验。极端情况下, 若 5G Option2 网络面临高负荷问题, 通过升级 Option4 向 4G 分流部分数据流量, 可适当降低 5G 链路承载压力, 进而为 VoNR 释放更多资源, 在一定程度上提升语音业务体验。

由于 Option4 有完整的 NR+5GC 结构, 因此能够支持 5G 定义增强型移动宽带 (enhanced mobile broadband, eMBB)、URLLC 和 mMTC 场景中的全部应用, 具备行业要求的切片、超低时延、超高可靠等各项能力。具体来说, Option4 支持灵活帧结构、迷你时隙 (mini-slot)、上行免授权等 Option2 架构下的 URLLC 关键技术, 同样可实现 1 ms 空口双向时延要求; Option4 完全兼容现有的 NB-IoT 和 eMTC 等 mMTC 核心技术, 且

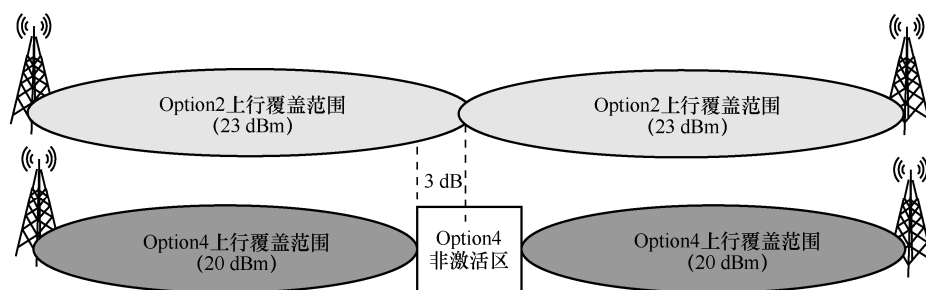


图 2 Option2 与 Option4 上行覆盖对比



支持后续 5G 低能力终端 (reduced capability, RedCap) 接入, 满足 5G 海量物联需求。

另外, 扩展现实 (extended reality, XR) 业务作为 5G 潜在的“杀手级”业务, 对速率和时延有较高的要求。基于前述分析, Option4 相比 Option2 速率更高、时延能力相同, 因此能够更好地支持 XR 业务。

2.4 终端及网络功耗

Option4 终端处于 NE-DC 激活状态时, 需要保持 LTE 和 NR 双发, 因此终端功耗相比 SA 更高。类比 Option3x EN-DC 激活状态下的终端功耗情况, 预计 NE-DC 终端功耗比 SA 状态下高约 20%^[20]。

但 Option4 可通过优化基于业务场景的 NE-DC 激活和去激活策略, 保证仅在中高流量场景按需激活 NE-DC, 在数据包传输结束后及时释放 4G 连接, 达到降低终端功耗的目的。按此策略评估, 在低流量业务场景中, 系统大概率不会激活 NE-DC, Option4 终端实际保持 NR 单连接状态, Option4 功耗等于 SA 功耗; 在中高流量业务场景中, NE-DC 被激活, Option4 瞬时功耗大于 SA 功耗, 但此时 Option4 的瞬时速率同样更高, 需要的传输时间减少, 若数据传输完后尽快释放 4G 连接, 实际功耗并未明显增加。

从网络角度分析, 由于 4G 和 5G 网络场景共存, 无论是否部署 Option4, 4G 网络均需要保持正常开通以承载现有的大量的 4G 存量业务和 5G 回落业务, Option4 将 4G 添加为辅节点后因分流增加的 4G 网络额外运行功耗和数据处理功耗基本可忽略。

3 Option4 操作复杂度

Option4 由于引入双连接, 网络适配、邻区规划、移动性管理等各种规划和后期优化的复杂程度有所提高, 同时还要求 4G 站点升级调度算法, 按需保证 4G/5G 用户性能。相关方面的具体影响如下。

网络适配: Option4 双连接仅支持同厂商, 但当前运营商 4G/5G 网络在相当一部分地区采用异

厂商方式建设^[21], Option4 规划实施前需要更详细的网络评估。

邻区规划: 由于不同功能对邻区的要求不一样, Option4 无法直接复用现有的 4G/5G 互操作、CA 等邻区列表^[22], 需要基于现有列表配置每个邻区中的参数设置和筛选原则以激活 Option4 功能, 或为 Option4 单独设置邻区。

移动性管理: 需要规划当 Option4 终端处于不同状态下的 4G/5G/Option4 网络驻留策略。另外, 连接态移动性算法需要考虑锚点改变、辅节点改变、锚点/辅节点同时改变等不同移动性场景^[23], 其复杂程度和后期网络优化要求较高。

4G 基站调度算法升级: 4G 基站需要基于承载区分 4G/5G 用户, 根据运营商市场策略采用差异化调度机制。当前 4G 用户渗透率最高, 且 4G 仍是数据业务的主力承载网络, 因此调度算法以优先保证 4G 用户体验为主; 后期随着 5G 用户渗透率和 5G 网络流量占比提升, 调度算法应及时适配 5G 用户体验。

但是 Option4 建设投资较小, 主要以软件升级许可证 (license) 为主, 无须新增硬件和工程改造, 预估单站投资仅 0.9 万元, 同时可充分利用现网 4G 资源保护原有网络投资。受此优势吸引, 德国电信联合英国电信等国际运营商, 以下一代移动网络 (Next Generation Mobile Networks, NGMN) 联盟的名义于 2021 年 2 月发布了《5G Option4 需求白皮书》^[24], 积极推进 Option4 的试点验证工作, 预计在 2 年内带动产业链成熟。

4 Option4 部署建议

我国运营商已经实现了全球领先的 5G SA 组网, 具备了 Option4 部署基础。从长远来看, 只要有专用于 4G 的频谱, Option4 就持续具备提升 5G SA 性能的价值。另外, Option4 还减轻了 4G 频谱重耕的压力, 从而能在更长时间内保证存量 4G 用户体验。因此, 建议运营商能够尽快明确 Option4 部署场景, 积极引导产业发展。

4.1 部署场景

综合考虑 Option4 性能增益、操作难度、投资效益等因素,同时结合国内运营商 4G/5G 网络覆盖现状和未来 5G 建设规划情况,建议在农村场景推动 Option4 部署,主要原因有以下 3 点。

(1) 根据运营商规划,城区 5G 网络至少实现双层网覆盖,且频谱资源丰富,5G 网络自身能力较强,部署 Option4 意义不大。以中国移动为例,城区 5G 网络将实现 2.6 GHz (100 MHz) + 700 MHz (2×30 MHz) 基础覆盖,热点区域甚至开通 2.6 GHz 第二载波 (60 MHz) 或叠加 4.9 GHz (100 MHz) 提高网络厚度,Option4 能够提升的性能的增益远低于 10%。中国电信和中国联通情况类似,城区 5G 网络具备 3.5 GHz (200 MHz) + 2.1 GHz (2×40 MHz) 的基础^[25]。

(2) 农村主要为 5G 薄网,Option4 可以以较低投资显著提升 5G 用户体验。中国移动已明确在农村以 700 MHz 提供打底覆盖,Option4 的部署能够带来 30%~40% 的峰值速率增益。国家当前正在推进边远地区的 5G 异网漫游工作^[26],若后期中国电信和中国联通在农村成功共享 5G 700 MHz,Option4 作为低成本扩容手段,部署的必要性和应用价值将会更高。即使中国电信和中国联通在农村单独建设 5G 2.1 GHz,部署 Option4 后也可获得 20% 以上的性能增益。

(3) 农村 4G 和 5G 网络均比较简单,Option4 的部署不会明显提高网络操作复杂度。各运营商在农村基本维持以单层网为主的 4G 和 5G 网络,Option4 邻区规划和移动性管理等网络配置工作难度较低。

4.2 推进建议

产业层面,建议运营商明确释放 Option4 商用目标和详细推进计划,列入企业标准/行业标准等技术规范,对产业链形成明确的牵引作用。由于主流网络设备和终端芯片产业支持力度较弱,后续需要采用多种手段加大推动力度,如考虑纳入功能可选包以及设置集采加分项等,提升积极性,指引产

业尽快完成技术选型和产品开发。以白皮书、研究报告、企业标准/行业标准等成果为载体,借助多个产业合作平台进行专题攻关,形成产业合力,扩大市场规模。

技术层面,聚焦 Option4 较为突出的终端功耗高和操作复杂问题,优化 NE-DC 节能算法和辅节点激活/去激活策略,研究邻区辅载波自动配置、参数自优化等网络“自智”技术方案^[27],确保 Option4 技术既“能用”,又“好用”。

5 结束语

Option4 作为潜在的低成本 5G 性能增强技术,既有其技术优势,也有一定的负面影响。本文围绕 Option4 技术开展了较为全面的分析,并结合运营商 5G 网络的覆盖现状和后续规划,明确了 Option4 在农村场景的应用价值。建议运营商后续加强对产业界 Option4 技术和产品的引导,为 Option4 的商用做好相关储备。

参考文献:

- [1] 3GPP. 5G architecture options-full set: RP 161266[R]. 2016.
- [2] 徐山. 4G/5G 协同组网规划与优化探究[J]. 中国新通信, 2021, 23(11): 125-126.
XU S. 4G/5G collaborative networking planning and optimization[J]. China New Telecommunications, 2021, 23(11): 125-126.
- [3] 王幼秀. 5G 建网初期 NSA 组网架构浅析[J]. 信息通信, 2020, 33(7): 180-181.
WANG Y X. A brief analysis of the NSA network architecture in early 5G[J]. Information & Communications, 2020, 33(7): 180-181.
- [4] 邓安达, 高松涛, 程日涛, 等. 5G NSA 组网技术方案研究[J]. 移动通信, 2019, 43(6): 16-20, 30.
DENG A D, GAO S T, CHENG R T, et al. Study on 5G NSA networking scheme[J]. Mobile Communications, 2019, 43(6): 16-20, 30.
- [5] 康宏建. 5G 网络架构演进建议方案[J]. 电信技术, 2019(7): 66-68, 71.
KANG H J. Proposed solutions for 5G network architecture evolution[J]. Telecommunications Technology, 2019(7): 66-68, 71.
- [6] 冯征. 面向应用的 5G 核心网组网关键技术研究[J]. 移动通信, 2019, 43(6): 2-9.
FENG Z. Research on key technology of application oriented 5G core networking[J]. Mobile Communications, 2019, 43(6): 2-9.
- [7] 郝猛凯. 简述 5G 网络中 SA 和 NSA 组网的区别[J]. 名城绘, 2020(10): 1.



- HAO M K. Briefly description of the difference between 5G SA and NSA[J]. City Stories, 2020(10): 1.
- [8] 刘雁. 5G 核心网的建设与演进[J]. 邮电设计技术, 2018(11): 23-28.
- LIU Y. Constrution and evolution strategy for 5G core network[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2018(11): 23-28.
- [9] 3GPP. User equipment (UE) radio transmission and reception: TS 38.101 V17.3.0[S]. 2021.
- [10] 3GPP. Derivation of test tolerances and measurement uncertainty for user equipment (UE) conformance test cases: TR 38.903 V16.9.0[S]. 2021.
- [11] 3GPP. Xn signalling transport: TS 38.422 V16.0.0[S]. 2020.
- [12] 3GPP. Radio transmission and reception: TS 38.521 V16.5.0[S]. 2021.
- [13] 3GPP. User equipment (UE) radio access capabilities: TS 38.306 V16.6.0[S]. 2021.
- [14] 刘英男, 张涛, 王伟. 5G NR 载波聚合部署方案研究[J]. 邮电设计技术, 2021(4): 50-53.
- LIU Y N, ZHANG T, WANG W. Research on 5G NR carrier aggregation deployment strategy[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2021(4): 50-53.
- [15] 龚艳萍. 5G 上行增强技术的比较浅析[J]. 电信科学, 2020, 36(S1): 62-65.
- GONG Y P. A comparative analysis of 5G uplink enhancement technology[J]. Telecommunications Science, 2020, 36(S1): 62-65.
- [16] 谢慧芝. NSA 架构分流模式[J]. 电子技术与软件工程, 2019(21): 3-4.
- XIE H Z. The offload mode under NSA architecture[J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2019(21): 3-4.
- [17] 薛晓宇. 5G NSA 组网下锚点站的选择策略优化[J]. 移动通信, 2020, 44(5): 52-55.
- XUE X Y. Optimization of anchor point selection in 5G NSA network[J]. Mobile Communications, 2020, 44(5): 52-55.
- [18] 3GPP. Physical layer procedures for control: TS 38.213 V16.7.0[S]. 2021.
- [19] 钟橙, 陆烽, 钱力. 5G 核心网语音解决方案探析[J]. 数据通信, 2018(5): 9-12.
- ZHONG C, LU F, QIAN L. Analysis of voice solution for 5G core network[J]. Data Communications, 2018(5): 9-12.
- [20] JOSE P. UE performance in a 5G multi-connectivity UDN city scenario[D]. Lorraine: University of Lorraine, 2019.
- [21] 路冬星, 张书铭, 杨旭, 等. 面向 4G/5G 异厂家插花组网的感知提升方案研究[J]. 通信电源技术, 2021, 38(1): 245-248.
- LU D X, ZHANG S M, YANG X, et al. Research on perception improvement scheme for 4G/5G flower arrangement network of different manufacturers[J]. Telecom Power Technology, 2021, 38(1): 245-248.
- [22] 夏宝平. 4G 与 5G 协同互操作优化综述[J]. 电脑知识与技术, 2021, 17(27): 68-69, 74.
- XIA B P. An overview of 4G and 5G collaborative interoperability optimization[J]. Computer Knowledge and Technology, 2021, 17(27): 68-69, 74.
- [23] 张炎俊, 刘璐. NSA 部署初期的移动性管理优化策略[J]. 电信工程技术与标准化, 2019, 32(7): 52-55.
- ZHANG Y J, LIU L. Mobility management optimization in the early stage of NSA deployment[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2019, 32(7): 52-55.
- [24] RAIMUND W, PETER S. Option 4 as a 5G SA complement[EB]. 2021.
- [25] 康宏建. 携手推进创新技术 NR 2.1G 全面落地[J]. 中国电信业, 2021(9): 18-21.
- KANG H J. Work together to promote the full implementation of innovative technology of NR 2.1G[J]. China Telecommunications Trade, 2021(9): 18-21.
- [26] 李成, 牛海鹏, 刘念. 5G 网络互联互通方案及监管问题研究[J]. 信息通信技术与政策, 2020(12): 11-14.
- LI C, NIU H P, LIU N. Research on 5G network interconnection plan and regulation issues[J]. Information and Communications Technology and Policy, 2020(12): 11-14.
- [27] 张阳, 苏翰, 耿鲁静, 等. 5G 邻区配置自动化系统实现[J]. 电信工程技术与标准化, 2021, 34(9): 78-83.
- ZHANG Y, SU H, GENG L J, et al. Implementation of 5G neighbor automatic addition system[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2021, 34(9): 78-83.

[作者简介]



高松涛 (1987-), 男, 中国移动通信集团设计院有限公司高级工程师, 主要研究方向为无线网络关键技术、网络组网技术、网络规划技术等。



马向辰 (1971-), 男, 中国移动通信集团设计院有限公司教授级高级工程师, 主要研究方向为无线网络规划、网络演进、关键技术等。



于一鸣 (1994-), 男, 中国移动通信集团设计院有限公司工程师, 主要研究方向为无线网络规划技术、前沿组网技术等。



潘都 (1994-), 女, 中国移动通信集团设计院有限公司助理咨询设计师, 主要研究方向为 5G 空口新技术、特殊场景解决方案、5G 行业网组网技术与应用等。