



700 MHz 频段在 5G 网络优化中的应用研究

张叶江, 孙磊, 尹以雁, 杨晓康, 胡坚

(中国移动通信集团云南有限公司, 云南 昆明 650228)

摘要: 700 MHz 频段具有频率低、绕射能力强、覆盖效果好等优点, 中国移动与中国广电已明确将基于 700 MHz 频段资源开展 5G 网络共建共享。首先从理论上分析了 700 MHz 频段的覆盖优势, 然后通过 700 MHz 5G 站点的连片道路覆盖测试、居民楼覆盖性能测试以及定点容量性能测试等试点, 为后续 700 MHz 5G 网络建设及优化提供了数据支撑。可以从主动规避 700 MHz 广电频率干扰、充分发挥高低频组网方案优势、积极探索多频段协同优化策略等方面, 最大程度地释放 700 MHz 黄金频谱的价值, 持续提升 5G 无线网络质量。

关键词: 700 MHz 频段; 5G 网络; 无线干扰; 高低频组网; 协同优化

中图分类号: TN929.5

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2022083

Research on the application of 700 MHz frequency band in 5G network optimization

ZHANG Yejiang, SUN Lei, YIN Yiyang, YANG Xiaokang, HU Jian

China Mobile Communications Group Yunnan Co., Ltd., Kunming 650228, China

Abstract: The 700 MHz frequency band has the advantages of low frequency, strong diffraction ability, and good coverage effect. China Mobile and China Radio and Television had made it clear that they would jointly build and share 5G networks based on 700 MHz frequency band resources. Firstly, the coverage advantages of 700 MHz frequency band were analyzed theoretically, and then the pilot projects such as 700 MHz 5G station continuous road coverage test, residential building coverage performance test and fixed-point capacity performance test provided data support for the subsequent 700 MHz 5G network construction and optimization. It could release the value of 700 MHz gold spectrum to the greatest extent and continuously improve the quality of 5G wireless network from the aspects of actively avoiding 700 MHz radio and television frequency interference, giving full play to the advantages of high and low frequency networking schemes, and actively exploring multi band collaborative optimization strategies.

Key words: 700 MHz frequency band, 5G network, wireless interference, high and low frequency networking, collaborative optimization

0 引言

2019年6月,工业和信息化部(简称工信部)正式向中国移动等4家企业发放了5G商用牌照^[1]。2019年9月,中国电信和中国联通宣布共建共享5G接入网,预计5年内双方可各节省2 000亿元的资本开支,且开启5G载波聚合后峰值速率可达2.5 Gbit/s,远超中国移动1.3 Gbit/s的峰值速率,因而中国移动在保持网络领先及市场竞争方面面临着巨大压力^[2]。为此,中国移动积极与中国广电合作,并于2021年9月确认中国移动将先行承担700 MHz频段5G网络的建设费用及网络优化费用,中国广电则按双方基于公平合理协商的条款支付网络使用费^[3]。至此,中国移动与中国广电围绕700 MHz频段的5G网络建设将全面提速,而700 MHz频段在5G网络优化中的应用研究也显得更加重要。

1 700 MHz 频段优势分析

1.1 中国5G可使用频段资源

根据3GPP的协议规定,5G网络可以使用的主要频段包括FR1频段和FR2频段,FR1频段的频率范围是450 MHz~6 GHz(即Sub-6 GHz频段),FR2频段的频率范围是24.25~52.6 GHz(即毫米波(mmWave))^[4]。其中,FR1具有频率低、绕射能力强、覆盖效果好等优点,是当前5G的主

用频谱。作为基础覆盖频段,FR1频段最大支持100 MHz的带宽,低于3 GHz的部分目前主要用于2G、3G和4G的部署,早期通过站址利旧的方式可实现5G网络的快速部署^[5]。为推动我国5G网络大规模建设,工信部已正式向各电信运营商分配了5G系统工作频段^[6]。值得注意的是,在工信部《关于调整700 MHz频段频率使用规划的通知》中确认将702~798 MHz频段频率用于移动通信系统^[7]。700 MHz无线频段被誉为移动通信的“黄金频谱”,引发业界广泛关注。目前,我国各电信运营商5G可使用频段资源统计见表1。

1.2 700 MHz 频段覆盖及容量性能分析

(1) 覆盖性能分析

自由空间损耗描述了电磁波在空气中传播时的能量损耗,电磁波在穿透任何介质的时候都会有损耗。自由空间损耗公式为:

$$L_s = 20 \lg f + 20 \lg d + 32.4 \quad (1)$$

其中, L_s 表示自由空间损耗, f 表示频率(单位为MHz), d 表示距离(单位为km)^[8]。由自由空间损耗公式可以推出,在距离一定的情况下,频率越低、损耗越小,频率越高、损耗越大。由式(1)容易计算得出,700 MHz自由空间损耗比2.6 GHz损耗小11.40 dB,比3.5 GHz损耗小13.98 dB,比4.9 GHz损耗小16.90 dB。根据现网试点数据,按照上行边缘速率为3 Mbit/s作为标准(3 Mbit/s能支持720P业务),700 MHz频

表1 我国各电信运营商5G可使用频段资源统计

运营商	上行/MHz	下行/MHz	带宽/MHz	5G 频段号	双工制式	备注
中国移动	2 515~2 675	2 515~2 675	160	N41	TDD	与4G共享
	4 800~4 900	4 800~4 900	100	N79	TDD	
中国电信	3 400~3 500	3 400~3 500	100	N78	TDD	中国电信与中国联通共建共享
中国联通	3 500~3 600	3 500~3 600	100	N78	TDD	
中国广电	703~748	758~803	45	N28	FDD	与中国移动共建共享
	4 900~4 960	4 900~4 960	60	N79	TDD	
中国电信/中国联通/中国广电	3 300~3 400	3 300~3 400	100	N78	TDD	3家运营商室内共享



段视距传播距离可达 6.2 km, 大概是 2.6 GHz 站点的 2 倍, 是 3.5 GHz 站点的 4 倍, 是 4.9 GHz 站点的 7 倍。众所周知, 电磁波的绕射能力是与频率高低相关的, 频率越低的电磁波的波长越长, 绕射能力也越强, 其穿透衰耗就越小, 在现实环境的传播距离就越远^[9]。根据测算, 使用 700 MHz 频段建成一张覆盖全国的 5G 网络只需 40 万座基站, 投资成本可下降 80%以上。

(2) 容量性能分析

700 MHz 站点在覆盖方面具有很大优势, 但其可用频率仅为 2×30 MHz (后续可能扩展至 2×45 MHz), 虽然远比国际上大多数国家的 2×10 MHz 或 2×20 MHz 带宽大^[10], 其用户平均吞吐量和峰值速率与 2.6 GHz 站点相比仍有较大差距。以峰值速率为例, 4T4R 700 MHz 站点单用户下行和上行峰值速率理论值分别为 350 Mbit/s 和 175 Mbit/s, 难以媲美 64T64R 2.6 GHz 站点的 1 700 Mbit/s 和 250 Mbit/s, 尤其是下行速率。因此, 700 MHz 在 5G 中适合作为广覆盖的基础网络, 但是不适合用作高速数据网络^[11]。如何让 700 MHz 频谱最大限度地发挥其优势, 弥补其短板, 成为一个重要课题。

2 现网 700 MHz 站点试点测试结果分析

本次外场试点通过 700 MHz 与 2.6 GHz 道路连片覆盖性能对比测试, 选取近、中、远 3 个室

内场景进行不同楼层 700 MHz 与 2.6 GHz 深度覆盖对比测试, 并选取一个室外站点进行 700 MHz 与 2.6 GHz 上下行定点速率对比测试, 旨在对 700 MHz 5G 站点的性能、关键技术进行摸底, 同时为 5G 产品选型、网络规划建设和参数配置优化等提供数据支撑, 为后续 700 MHz 5G 网络建设优化积累经验。

2.1 试点环境

本次试点测试区域为省会城市主城区某区域, 其中 5G 700 MHz 站点共 4 个基站、13 个小区, 平均站间距为 800 m; 2.6 GHz 站点共 23 个基站、66 个小区, 平均站间距为 300 m。4 个 700 MHz 站点分别和 4 个 2.6 GHz 站点共站址, 共址站点主要信息见表 2。

2.2 试点结果分析

2.2.1 道路连片覆盖测试对比

700 MHz 和 2.6 GHz 基站开通后, 对该区域进行同车同路段拉网测试, 5G 700 MHz 与 2.6 GHz 覆盖性能测试对比见表 3。测试结果表明, 700 MHz 站点道路综合覆盖率为 96.59%, 2.6 GHz 综合覆盖率则为 97.49%, 两者基本相当, 但若注意到两者站点数和小区数差异, 可以看出 700 MHz 覆盖能力远超 2.6 GHz; 700 MHz 站点平均上传速率 87.06 Mbit/s, 平均下载速率 218.94 Mbit/s, 而 2.6 GHz 则分别为 121.97 Mbit/s 和 647.30 Mbit/s, 这说明

表 2 共址站点主要信息

基站名	小区号	频带	带宽/MHz	方位角	站高/m	机械倾角	电下倾
渔米之乡灯杆站 2-700 MHz-5HHQ	11/12/13	n28	30	70°/220°/330°	30	5°/5°/5°	0°
渔米之乡灯杆站 2-5HHQ	11/12/13	n41	100	60°/130°/240°	30	5°/5°/5°	6°/8°/5°
集成大厦-700 MHz-5HHQ	11/12/13/14	n28	30	30°/110°/200°/300°	47	7°/13°/10°/9°	0°
集成大厦-5HHQ	11/12/13	n41	100	30°/110°/250°	47	6°/6°/6°	12°/12°/12°
工众药房景观塔 700 MHz-5HHQ	11/12/13	n28	30	70°/200°/300°	30	3°/3°/3°	0°
工众药房景观塔-5HHQ	11/12/13	n41	100	50°/200°/300°	30	3°/3°/3°	9°/0°/6°
春苑小区水塔-700 MHz-5HHQ	11/12/13	n28	30	110°/240°/350°	36	6°/6°/6°	0°
春苑小区水塔-5HHQ	11/12/13	n41	100	110°/160°/350°	36	6°/7°/6°	9°/6°/6°

表 3 5G 700 MHz 与 2.6 GHz 覆盖性能测试对比

频段	综合覆盖率 (RSRP $\geq$ -93 dBm 且 SI5G $\geq$ -3 dB)	平均 RSRP/dBm	平均 SI5G/dB	下载 速率/(Mbit·s ⁻¹)	上传 速率/(Mbit·s ⁻¹)
700 MHz	96.59%	-72.73	7.19	218.94	87.06
2.6 GHz	97.49%	-74.74	14.45	647.30	121.97

700 MHz 站点与 2.6 GHz 站点的容量差距较大,尤其是下行容量。但平均 700 MHz 站点 SINR 为 7.19 dB,远低于 2.6 GHz 的 14.45 dB,主要是因为测试期间 700 MHz 的两个小区存在中国广电系统的干扰,这需要在 700 MHz 站点规划建设及优化中引起注意。

2.2.2 覆盖性能测试对比

700 MHz 和 2.6 GHz 基站开通后,选取集成大厦 700 MHz 及共址的 2.6 GHz 站点作为目标测试基站。在该基站 1 小区正西覆盖方向,选取近、中、远 3 个室内居民区场景进行不同楼层 700 MHz 与 2.6 GHz 的室内覆盖性能对比测试,测试距离分别为 150 m、340 m 和 600 m,5G 700 MHz 与 2.6 GHz 深度覆盖测试对比见表 4。测试结果表明,室外站覆盖室内时 700 MHz 比 2.6 GHz 的平均 RSRP 好 18~24 dB,比 2.6 GHz 可多穿至少一堵普通承重墙。另外,当与基站距离为 600 m 时,2.6 GHz 站点已处于脱网状态,而 700 MHz 站点 RSRP 仍保持在 -100 dBm 以上,下载速率超过 50 Mbit/s,上传速率超过 3 Mbit/s,720P 视频业务仍可正常进行。测试结果说明 700 MHz 站点的覆盖能力远超 2.6 GHz 站点。

2.2.3 容量性能测试对比

选择渔米之乡灯杆站作为测试站点,700 MHz 和 2.6 GHz 站点 2 小区的主打方向 220°,机械下倾角 5°,功率 240 W (满功率),无线无高层建筑遮挡。其中,700 MHz 站点为上下各 30 MHz 带宽,采用 4T4R 天线、2.6 GHz 站点为 100 MHz 带宽,采用 64T64R 天线。测试时采用单用户测试,700 MHz 站点的上下行峰值速率分别为 184 Mbit/s 和 330 Mbit/s,远低于 2.6 GHz 站点的 227 Mbit/s

和 1 571 Mbit/s。由此可见,受限干频点带宽不足(仅为 30 MHz),700 MHz 站点容量性能劣于 2.6 GHz 站点。

3 700 MHz 部署存在的挑战及应用建议

从 700 MHz 频段理论及实测数据分析可知,700 MHz 在广度覆盖及深度覆盖能力方面远超现网的 2.6 GHz 主力建设频段,但是在网络容量方面有所不足。如何充分发挥 700 MHz 基站的覆盖能力,并设法弥补其容量短板,是后续 5G 网络优化的重要基础。建议通过主动规避 700 MHz 频段的广电频率干扰、充分发挥高低频组网方案优势、积极探索多频段协同优化策略等措施,加快 700 MHz 频段的网络建设进度,持续提升 5G 网络质量。

3.1 主动规避 700 MHz 广电频率干扰

根据摸底数据统计,地面数字电视 DS37/~DS 48 频道(即 702~798 MHz 频段)在全国存在约 6 000 个广播台站,且不同城市的频率不固定,使用较分散。不同的城市干扰频段范围不一致,上行干扰多于下行干扰,上行普遍存在 1~3 个广电频道干扰。其中,上行频段(703~733 MHz)接收信号强度大于 -105 dBm/200 kHz 的采样点比例为 20.96%,下行频段(758~788 MHz)接收信号强度大于 -105 dBm/200 kHz 的采样点比例为 22.29%,隔离频段(733~758 MHz)接收信号强度大于 -105 dBm/200 kHz 的采样点比例为 22.41%。中国广电 700 MHz 移频招标项目 2021 年 7 月 27 日才结束,预计未来需 1~2 年才能完成全部移频工作,在此期间 700 MHz 频段的网络性能将受不同程度的影响^[12]。



表4 5G 700 MHz 与 2.6 GHz 深度覆盖测试对比

楼层	平均 RSRP/dBm		平均 SI5G/dB		下载速率/(Mbit·s ⁻¹)		上传速率/(Mbit·s ⁻¹)	
	700 MHz	2.6 GHz	700 MHz	2.6 GHz	700 MHz	2.6 GHz	700 MHz	2.6 GHz
1 楼	-83.35	-101.5	4.13	9.18	191.56	372.45	45.9	10.33
3 楼	-80.64	-98.54	2.49	9.55	202.26	490.18	62.85	42.85
6 楼	-78.08	-89.72	4.71	8.07	216.3	715.07	64.53	93.55
1 楼	-93.03	-112.2	7.39	0.37	66.99	123.03	11.76	5.71
3 楼	-90.01	-108.9	6.17	-0.25	71	128.89	20.06	11.84
6 楼	-87.64	-106.5	8.2	0.66	74.97	161.51	22.08	17.47
1 楼	-98.03	脱网	3.15	脱网	59.56	脱网	3.83	脱网
3 楼	-89.54	脱网	2.25	脱网	68.83	脱网	9.4	脱网
6 楼	-84.08	脱网	4.85	脱网	101.16	脱网	16.11	脱网

表5 700 MHz 与 2.6 GHz 定点测试峰值速率

站点	站高/m	方位角	机械倾角	功率/W	带宽 /MHz	下载速率 / (Mbit·s ⁻¹)	上传速率 / (Mbit·s ⁻¹)	测试终端
渔米之乡灯杆站-700 MHz	22	220°	5°	240	30	330	184	Mate40pro
渔米之乡灯杆站-2.6 GHz	20	220°	5°	240	100	1571	227	Mate40pro

因此,建议对 700 MHz 频段 SSB(synchronization signal and PBCH (physical boardcast channe) block) 频点进行灵活配置,将下行 30 MHz 分为 8 MHz+8 MHz+8 MHz+6 MHz,共计 4 段,每段可设置一个 SSB 频点候选位置,其中心频点分别为 763.25 MHz、770.45 MHz、778.85 MHz 和 782.45 MHz。SSB 中心频点具体设置原则如下。

- 700 MHz 频段的 SSB 频点配置以地市为单位,本地网统一 SSB 频点的配置。
- 对于无 700 MHz 干扰影响的城市,SSB 中心频点建议配置在 763.25 MHz。
- 对于存在 700 MHz 干扰影响的城市,通过扫频确认干扰频道,SSB 中心频点配置在 4 段中可做业务频段(RSRP 每 RB 低于 -100 dB)中的最低段,即一个小区内全频段选择 4 个候选 SSB 频点位置之一配置 1 个 SSB。

针对广电强干扰频谱位置,禁用强干扰带宽,

按不同带宽开通基站,灵活开启 15 MHz /20 MHz /30 MHz 带宽,上下行速率验收标准等比例调整。同时,还可以通过 RB 级频选调度策略,降低干扰影响^[13]。

3.2 充分发挥高低频组网方案优势

仿真结果显示,在 2.6 GHz 基站上以 2:1 的比例叠加 700 MHz 后,99.7% (较纯 2.6 GHz 基站提升 5.15%) 的楼宇浅层区域可满足室内基本覆盖 (达 1 Mbit/s 速率的栅格占比≥95%,下同),81.99% (较纯 2.6 GHz 基站提升 31.01%) 的楼宇整体可满足室内基本覆盖。参考 4G 组网经验,5G 也可充分利用高低频分层组网方案,以发挥各频段优势,获得最佳运营效果^[10]。具体部署建议如下。

- 700 MHz 频段具有广度覆盖及深度覆盖能力强的优势,可以作为城区及农村场景中 5G 连续覆盖的基础网络,还可作为未来 5G 超清视话 (voice over new radio, VoNR) 的基础网络^[14]。

- 对于密集城区、县城及部分发达乡镇等高容量场景, 2.6 GHz 频段具有大带宽优势, 可用 2.6 GHz 宏基站作为容量承载主力频段; 对于机场、医院、高校等超高容量场景, 还可以补充 2.6 GHz 室分站点以提升大网容量, 部分垂直行业应用场景还可以按需建设 4.9 GHz 室分站点。
- 各频段切换策略方面, 一是基于覆盖的切换策略下 2.6 GHz 频段或者 700 MHz 频段作为 5G 打底覆盖层, 用户在小区边缘情况下基于覆盖切换, 5G 信号差时切换回 4G; 二是基于频率优先级的切换, 5G 用户在中近点基于优先级切换至 4.9 GHz 或 2.6 GHz 频段, 使容量在高优先的频率承载^[15]。

另外, 天馈建设方案应统筹多方面因素, 力争一步到位。考虑当前业界多频段耦合天线技术已十分成熟, 可结合实际商用场景引入 444 和 4 448 两大类多频天线, 从而可以分场景实现 700 MHz 在不增加天面的情况下融入现网。其中, 444 天线为 4 端口支持 700 MHz, 4 端口支持 900 MHz, 4 端口支持 1 800 MHz; 4 448 天线则为 4 端口支持 700 MHz, 4 端口支持 900 MHz, 4 端口支持 1 800 MHz, 8 端口支持 FA 频段。在共天面场景, 融合后原则上物理参数继承 LTE 主力覆盖层的频段设置, 将融合天面的机械方位角、下倾角纳入验收流程, 确保 LTE 覆盖层方位角、机械倾角以及电子倾角保持不变。通过在 5G 宏基站天面建设中采用多频多端口天线进行天面整合, 一方面可以避免新增抱杆, 控制租金上涨, 同时也能避免反复天面改造对网络造成的影响, 保障好用户感知^[16]。

3.3 积极探索多频段协同优化策略

首先是要做好 700 MHz 与现有 4G/5G 网络协同及业务感知优化。4G 网络目前仍然是中国移动流量主力承载网络, 2.6 GHz 5G 站点正大规模地入网, 导致现网 4G/5G 网络结构异常复杂。要通过试

点, 研究 700 MHz 与 900 MHz/1 800 MHz/FA/D/E 及 2.6 GHz 5G 优先级配置策略, 结合频段特征定位, 设置各频段互操作策略及相关参数配置方案, 确保用户优先驻留在 5G 网络中, 在提升 5G 网络资源利用率的同时, 逐步降低 4G 网络负荷。5G 引入了频谱效率、设备能力, 结合传统 PRB 利用率、用户数等指标, 可在 2.6 GHz 和 700 MHz 基站间基于 Xn 接口进行信令交互, 实现小区间负荷均衡。同时, 要做好 5G 语音及数据等基础业务的感知优化, 700 MHz 网络 EPS-FB 语音业务采用切换或重定向方案回落 4G, 语音结束后通过快速返回 (fast return, FR) 功能返回 5G, 策略与现网 2.6 GHz 网络保持一致; 2.6 GHz 网络覆盖好时占用 2.6 GHz, 2.6 GHz 网络变差但 700 MHz 网络覆盖好时切换至 700 MHz, 没有 5G 信号时可切换或重选 4G 网络。

同时, 还要积极引入载波聚合 (carrier aggregation, CA)、补充上行 (supplementary uplink, SUL)、智简载波 (smart carrier) 和协作多点 (coordinated multi point, CoMP) 等增强技术^[17]。其中, CA 可应用于频段内两载波 (如 2.6 GHz 内 160 MHz 双载波) 和频段间双载波 (如 700 MHz+2.6 GHz) 场景^[18]; SUL 一般上行使用 700 MHz+2.6 GHz 两载波、下行使用 2.6 GHz 频段内两载波, 可充分利用 SUL 上下行解耦优势提升网络性能; 智简载波技术方案基于 2.6 GHz 频段共 160 MHz 带宽, 通过 40 MHz 灵活共享实现双 100 MHz 智简载波, 可提升 60 MHz 小区用户体验速率 50% 以上, 而且可以通过交叠 40 MHz 资源动态调度, 实现快速、高效的负载均衡, 并减少由于负载均衡导致的信令开销^[19]; CoMP 技术使用两个小区协同服务于重叠覆盖区域的用户, 下行同时发送数据、终端侧合并, 上行同时接收数据、基站侧合并, 通过小区间协同获得合并增益并降低干扰, 理论分析小区边缘用户速率可提升 20%~30% 或更多^[20]。



4 结束语

4G 时代受限于 2.6 GHz 频段较高的特点, 中国移动在 4G 城区深度覆盖及农村广覆盖方面不占优势。与中国广电基于 700 MHz 频段的 5G 网络共建共享, 将大大提升中国移动 5G 网络建设进度, 并大幅降低在城区室分建设及农村广覆盖方面的投资和维护成本。与此同时, 中国移动也需要加强 700 MHz 频段与其他 5G 频段的协同优化, 不断引入新技术、新功能, 才能持续提升 5G 网络质量, 为 5G 新基建战略增砖添瓦, 在 5G 万物互联时代再立潮头。

参考文献:

- [1] 左晨, 李娜. 四大运营商共织一张 5G 网[N]. 湖北日报, 2022-05-07(003).
ZUO C, LI N. The four telecom operators share a single 5G network[N]. Hubei Daily, 2022-05-07(003).
- [2] 孟月, 梅雅鑫. 2019 年度 ICT 行业十大新闻[J]. 通信世界, 2019(35): 9-11.
MENG Y, MEI Y X. Top 10 ICT industry news of 2019[J]. Communications World, 2019(35): 9-11.
- [3] 吕建杰. 加快“有线+5G”一体化发展 开拓智慧广电网络新蓝海[J]. 广播电视网络, 2021, 28(1): 7-11.
LYU J J. Accelerate the integrated development of "wired +5G" and open up a new blue ocean of smart radio and television networks[J]. Radio & Television Network, 2021, 28(1): 7-11.
- [4] 曹丽芳, 江天明, 邓伟, 等. 5G 频段间协同技术[J]. 电信科学, 2021, 37(8): 148-154.
CAO L F, JIANG T M, DENG W, et al. 5G inter-band cooperation technology[J]. Telecommunications Science, 2021, 37(8): 148-154.
- [5] 崔新凯, 李豪, 高向川, 等. 2.6 GHz 下的 5G NR 覆盖能力分析[J]. 电信科学, 2019, 35(8): 104-110.
CUI X K, LI H, GAO X C, et al. Analysis of 5G NR coverage capability at 2.6 GHz[J]. Telecommunications Science, 2019, 35(8): 104-110.
- [6] 曹倩, 王海玲. 5G/B5G 移动通信网络频谱资源分配研究[J]. 通信技术, 2020, 53(8): 1918-1922.
CAO Q, WANG H L. Spectrum resource allocation in 5G/B5G mobile communication network[J]. Communications Technology, 2020, 53(8): 1918-1922.
- [7] 颜军. 700 MHz 5G 网络覆盖能力分析[J]. 江苏通信, 2021, 37(5): 10-15, 19.
YAN J. Analysis of 700 MHz 5G network coverage capability[J]. Jiangsu Communication, 2021, 37(5): 10-15, 19.
- [8] 毕健有, 王浩年, 周巍. 700 MHz 网络建设方案分析[J]. 中国新通信, 2022, 24(5): 31-33.
BI J Y, WANG H N, ZHOU W. Analysis of 700 MHz network construction scheme [J]. China New Telecommunications, 2022, 24(5): 31-33.
- [9] 张叶江, 杨晓康, 张婧, 等. Massive MIMO 技术在 5G 网络优化中的应用研究[J]. 数字通信世界, 2021(8): 3-4, 13.
ZHANG Y J, YANG X K, ZHANG J, et al. Research on the application of massive MIMO technology in 5G network optimization[J]. Digital Communication World, 2021(8): 3-4, 13.
- [10] 靳昊. 700 MHz 特性与商用部署探讨[J]. 中国新通信, 2020, 22(19): 47-48.
JIN H. 700 MHz features and commercial deployment[J]. China New Telecommunications, 2020, 22(19): 47-48.
- [11] 付红军. 700 MHz 黄金频段与广电 5G 网络[J]. 现代电视技术, 2020(6): 138-140.
FU H J. 700 MHz golden frequency band and radio 5G network [J]. Advanced Television Engineering, 2020(6): 138-140.
- [12] 邵迪, 张晖. 广电 700 MHz 5G 网络架构及业务发展策略研究[J]. 大众标准化, 2022(6): 135-137.
SHAO D, ZHANG H. Research on 700 MHz 5G network architecture and business development strategy [J]. Popular Standardization, 2022(6): 135-137.
- [13] 田文静. 浅谈 700 MHz 对移动 5G 带来的机遇和挑战[J]. 电信工程技术与标准化, 2021, 34(3): 20-23.
TIAN W J. A brief review of the opportunities and challenges of 700 MHz to 5G network of China Mobile[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2021, 34(3): 20-23.
- [14] 胡小兵, 刘腾. 700 MHz 频段 5G 共建共享策略及方案研究[J]. 邮电设计技术, 2021(4): 66-72.
HU X B, LIU T. Research on 5G co-construction and sharing strategy and scheme of 700 MHz band[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2021(4): 66-72.
- [15] 杨光, 陈锦浩. 5G 移动通信系统的传播模型研究[J]. 移动通信, 2018, 42(10): 28-33.
YANG G, CHEN J H. Research on propagation model for 5G mobile communication systems[J]. Mobile Communications, 2018, 42(10): 28-33.
- [16] 邓安达, 李浩, 程日涛, 等. 5G 2.6 GHz 与 700 MHz 频段基站天线建设策略[J]. 移动通信, 2021, 45(2): 29-32.
DENG A D, LI H, CHENG R T, et al. Construction strategy of 5G base station antenna in 2.6 GHz and 700 MHz band[J]. Mobile Communications, 2021, 45(2): 29-32.
- [17] 胡煜华, 王鑫炎, 李贝. 5G 网络上行覆盖增强研究[J]. 电信科学, 2021, 37(7): 134-141.
HU Y H, WANG X Y, LI B. Research on uplink coverage enhancement of 5G network[J]. Telecommunications Science, 2021, 37(7): 134-141.
- [18] 黄智瀛, 白锡添, 杜安静. 5G 双频组网策略研究与应用[J]. 电信工程技术与标准化, 2021, 34(5): 45-48.
HUANG Z Y, BAI X T, DU A J. Research and application on 5G multi-frequency networking strategy[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2021, 34(5): 45-48.
- [19] 徐霞艳, 张宏莉. 5G 小数据传输增强技术[J]. 移动通信, 2022, 46(2): 32-37.

XU X Y, ZHANG H L. 5G small data transmission enhancement[J]. Mobile Communications, 2022, 46(2): 32-37.

[20] 胡春雷, 侯佳. VoNR 无线覆盖能力研究[J]. 移动通信, 2022, 46(3): 73-79.

HU C L, HOU J. Research on VoNR wireless coverage capability[J]. Mobile Communications, 2022, 46(3): 73-79.



尹以雁(1984-), 男, 现就职于中国移动通信集团云南有限公司, 主要研究方向为4G/5G无线网络优化。

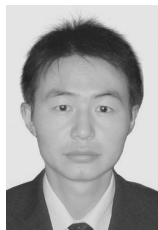
[作者简介]



张叶江(1989-), 男, 中国移动通信集团云南有限公司工程师, 主要研究方向为4G/5G无线网络优化。



杨晓康(1976-), 男, 现就职于中国移动通信集团云南有限公司, 主要研究方向为4G/5G无线网络优化。



孙磊(1982-), 男, 现就职于中国移动通信集团云南有限公司, 主要研究方向为4G/5G无线网络优化。



胡坚(1977-), 男, 中国移动通信集团云南有限公司高级工程师, 主要研究方向为4G/5G无线网络优化。