



700 MHz 频段 5G 网络广播电视系统干扰问题研究

吕沛锦, 陆贇, 杨晓康, 杨丹, 尹以雁, 郭正义

(中国移动通信集团云南有限公司, 云南 昆明 650228)

摘要: 在 700 MHz 频段 5G 网络运营中存在广播电视系统的同频干扰风险, 严重影响网络性能。从广播电视系统的频率配置出发, 首先, 探讨了 700 MHz 频段 5G 网络受广播电视系统干扰的原理; 然后, 分析广播电视系统干扰特点, 并针对这些特点提出了基于频域信息的广播电视系统干扰识别算法; 最后, 对算法识别的准确性进行测试验证, 实现通过干扰识别支撑干扰优化、规避的目标。

关键词: 700 MHz 频段; 同频干扰; 干扰识别

中图分类号: TN929.5

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2022274

Research on broadcast and TV system interference of 700 MHz band in 5G network

LYU Peijin, LU Yun, YANG Xiaokang, YANG Dan, YIN Yiyan, GUO Zhengyi

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

Abstract: There is a risk of co-channel interference from broadcast TV systems in the operation of 5G networks in the 700 MHz band, which seriously affects the network performance. Firstly, from the frequency configuration of broadcast TV system, the principle of interference by broadcast TV system in 5G network in 700 MHz band was discussed. Then, the interference characteristics of broadcast TV system were analyzed, and the interference identification algorithm of broadcast TV system based on frequency domain information was proposed for these characteristics. Finally, the accuracy of the algorithm identification was tested and verified to achieve the goal of interference optimization and avoidance through interference identification.

Key words: 700 MHz band, co-channel interference, interference identification

0 引言

2021 年 1 月, 中国移动通信集团有限公司发布公告表示, 其与中国广播电视网络有限公司已签署 5G 共建共享合作框架协议, 拉开了我国 700 MHz 频段 5G 网络中国移动与中国广电共建

共享的序幕。700 MHz 频段为 1 GHz 以下的“黄金频谱”, 具有覆盖范围广、穿透能力强等优势, 为 5G 网络在农村区域的广域覆盖、在密集城区的深度覆盖提供了低成本、高效能的解决方案, 并可在一定程度上加速中国移动 VoNR 业务的商用进程^[1-8]。

前期中国广电将 700 MHz 频段主要用于数字广播电视业务, 电台发射功率高、信号传播距离远。在 700 MHz 频段 5G 网络建设初期, 由于中国广电 700 MHz 频段清频需要一定的时间周期, 未清频的 700 MHz 频段电台将对 700 MHz 频段 5G 网络造成较强的同频干扰问题。尤其是上行干扰问题, 将对小区覆盖范围内的所有终端造成影响, 使接通、保持、切换性能恶化, 前期 4G 网络抗干扰性能测试结果显示: 当小区平均干扰功率在 -107 dBm/180 kHz 时, 相比于 -112 dBm/180 kHz, 上行用户平均体验速率下降约 34%, 下行用户平均体验速率下降约 22%, 上行 MOS 质差占比提升 0.53%; 当干扰功率大于 -90 dBm/180 kHz 时, 相比于 -112 dBm/180 kHz, 无线接通率恶化 0.81%、无线掉线率增加 0.1%。

本文从干扰产生的根本原因出发, 提出了一种 700 MHz 频段广播电视系统干扰识别算法, 通过测试证明该算法可快速、精准识别广播电视系统干扰问题, 并有效支撑干扰规避措施的实施。

1 700 MHz 频段广播电视系统干扰问题

1.1 干扰机理

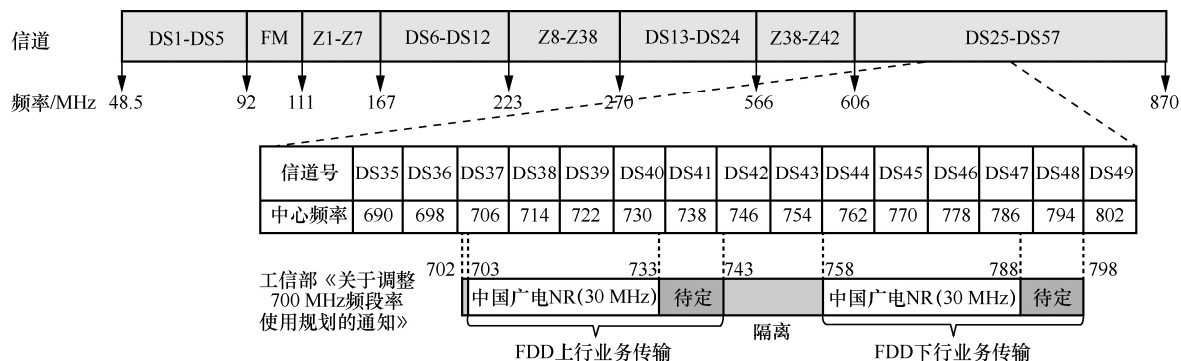
根据工业和信息化部 (简称工信部) 发布的《关于调整 700 MHz 频段频率使用规划的通知》, 将 703~743 MHz/758~798 MHz 频段规划

用于频分双工 (FDD) 工作方式的移动通信系统, 其中 703~743 MHz 频段主要用于 5G 上行业务传输, 758~788 MHz 频段主要用于 5G 下行业务传输, 但中国移动现阶段优先建设 703~733 MHz 频段用于 5G 上行业务传输, 700 MHz 频段频谱划分如图 1 所示。

在此之前, 中国广电主要将 700 MHz 频段应用于地面数字多媒体广播 (digital terrestrial multimedia broadcast, DTMB) 业务, 其信道带宽为 8 MHz, 为了规避同频干扰问题, 主要采用频分复用的方式进行塔台使用信道的规划。在 703~733 MHz 频段主要规划以下 4 个发射信道: DS37、DS38、DS39 以及 DS40, 分别对应 702~710 MHz 频段、710~718 MHz 频段、718~726 MHz 频段以及 726~734 MHz 频段。广播电视塔发射功率较高, 当 DS37~DS40 中一个或多个信道未清频时, 一定会对其覆盖范围内的 700 MHz 5G 网络造成严重的上行干扰, 影响受扰小区服务范围内所有用户的业务感知。

1.2 干扰指标

目前 4G/5G 网络干扰分析主要基于小区对上行底噪的测量值, 根据中国移动参数测量 (parameter measurement, PM) 数据标准规范, 可以通过网管系统对每个小区提取 15 min 粒度干扰测量数据, 用于干扰小区的筛选与干扰类型的识



信道相关注释: DS 为中国广电标准波段, FM 为调频广播波段, Z 为中国广电增补波段。

图 1 700 MHz 频段频谱划分



别^[9]。目前网管数据中底噪数据以 PRB 为单位提取,依据 3GPP 协议,可根据 5G 小区的带宽、子载波间隔确定小区的 PRB 总数 N ,即在频域维度可以提取相应小区 N 个 PRB 的底噪测量值。根据 3GPP TS 38.104 协议^[10],目前 700 MHz 频段 5G 网络 PRB 数量 N 与系统带宽及子载波间隔的关系见表 1。

由于 700 MHz 频段的带宽较少,目前中国移动使用的载波间隔主要配置为 15 kHz,主要使用的带宽为 5 MHz、10 MHz、20 MHz 和 30 MHz,因此对于 5 MHz 小区共有 25 个 PRB,对于 10 MHz 小区有 52 个 PRB,对于 20MHz 小区有 106 个 PRB,对于 30 MHz 小区有 160 个 PRB。

目前中国移动一般按照小区底噪值大于 -110 dBm/180 kHz 即认为是受干扰小区,因此对于具有 N 个 PRB 的小区,按照式 (1) 计算其干扰均值。

$$P_{\text{hour}} = 10 \lg \left[\frac{\left(\sum_{i=0}^{N-1} 10^{\frac{\text{PRB}_i}{10}} \right)}{N} \right] \quad (1)$$

其中, PRB_i 标识为该 PRB 对应的受干扰功率,单位为 dBm。按照中国移动目前干扰判断的标准,当某小区 P_{hour} 的值超过 -110 dBm/180 kHz 时,即认为该小区为受扰小区,需要基于各 PRB 的详细信息开展干扰类型识别,支撑后续的干扰定位与优化工作。

2 700 MHz 频段广播电视系统干扰识别算法

根据广播电视系统信道规划,对 700 MHz 频

段 5G 网络上行 703~733 MHz 频段造成干扰的主要是 DS37、DS38、DS39、DS40 这 4 个信道,每个信道为 8 MHz,而实际有用信号占用约 7 MHz,两端各有约 0.5 MHz 为频率保护带。因此,本文认为广播电视系统干扰有以下几方面的特点:

① 通信频段的中心频点固定;② 相邻通道中心频点间隔 8 MHz;③ 有用信号实际使用带宽约为 7 MHz,两边各有部分保护带;④ 在一个信道内,有用信号对各 PRB 的干扰功率相近,但在保护频带内干扰信号功率较低。针对以上 4 个特点,本文基于受干扰小区底噪测量数据,对 700 MHz 频段 5G 网络的广播电视系统干扰进行识别,首先根据特点①和②,筛选 700 MHz 频段广播电视系统干扰的主要干扰 PRB 与保护带边缘 PRB,广播电视系统干扰 PRB 及保护带边缘 PRB 示意图如图 2 所示,然后基于这些 PRB 的实际位置,提出干扰识别算法。

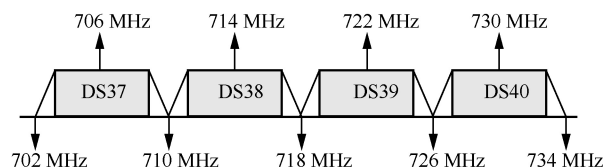


图 2 广播电视系统干扰 PRB 及保护带边缘 PRB 示意图

2.1 关键 PRB 位置信息计算

目前 700 MHz 频段 5G 网络使用的子载波间隔为 15 kHz,每个 PRB 的带宽为 0.18 MHz,根据 3GPP TS 38.104 协议^[10],绝对频率 f 对应的 PRB 位置 N_f 为:

$$N_f = \left\lfloor \frac{f - 703 \text{ MHz} - f_{\text{iso}}}{0.18 \text{ MHz}} \right\rfloor \quad (2)$$

表 1 PRB 数量 N 与系统带宽及子载波间隔的关系

子载波间隔	带宽					
	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	25 MHz	30 MHz
15 kHz	25	52	79	106	133	160
30 kHz	11	24	38	51	65	78
60 kHz	N.A	11	18	24	31	38

表 2 700 MHz 频段关键频率 PRB 位置对照

中心频点/MHz	702	706	710	714	718	722	726	730	734
对应 PRB 位置 (30 MHz 带宽配置)	—	13	35	57	80	102	124	146	—

其中, f 代表要计算的绝对频点位置, f_{iso} 为隔离频段带宽, 根据表 1 可知采用 30 MHz 带宽配置时共有 160 个 PRB, 每个 PRB 占用 0.18 MHz, 得到 $f_{\text{iso}}=0.6$ MHz, $\lfloor \cdot \rfloor$ 为向下取整操作, PRB 初始位置编号默认为 0。根据式(2)可计算 700 MHz 频段关键频率对应的 PRB 位置, 700 MHz 频段关键频率 PRB 位置对照见表 2。

按照广播电视信道有用信号占用带宽为 7 MHz 计算, 当 700 MHz 频段 5G 小区受广播电视系统干扰时, 广播信道中心频点对应的 PRB 两边应各有约 18 个 PRB 受到相近功率等级的干扰。

2.2 干扰识别算法与验证

本文结合 700 MHz 频段广播电视系统对 5G 小区上行干扰的关键 PRB 的位置信息及广播电视系统干扰信号的特点, 针对不同信道的广播电视系统干扰提出识别算法。

(1) DS37 信道

针对 DS37 广播电视信道, 中心频点为 706 MHz, 对应 5G 小区 PRB₁₃ 的位置; 下边带 F_l 为 702 MHz, 与 5G 上行 703~733 MHz 的使用频带无交集; 上边带 F_h 为 710 MHz, 对应 5G 小区 PRB₃₅ 的位置。当 5G 小区受干扰时, 可根据式(3)判断该小区是否受 DS37 广播电视系统干扰。

$$\begin{cases} \frac{\sum_{i=0}^{31} (\text{PRB}_i - E_{\text{DS37}})^2}{32} < \text{Thr}_1 \\ \text{PRB}_j - \text{PRB}_{35} > \text{Thr}_2, \forall j \in [0, 31] \end{cases} \quad (3)$$

其中, E_{DS37} 为 PRB₀ 至 PRB₃₁ 中所有 PRB 干扰绝对功率的平均值。

(2) DS38 信道

针对 DS38 广播电视信道, 中心频点为 714 MHz, 对应 5G 小区 PRB₅₇ 的位置; 下边带 F_l 为 710 MHz,

对应 5G 小区 PRB₃₅ 的位置; 上边带 F_h 为 718 MHz, 对应 5G 小区 PRB₈₀ 的位置。

当 5G 小区受干扰时, 可以基于以下方法判断该小区是否受到 DS38 广播电视系统干扰。

$$\begin{cases} \frac{\sum_{i=39}^{75} (\text{PRB}_i - E_{\text{DS38}})^2}{37} < \text{Thr}_1 \\ \text{PRB}_j - \text{PRB}_{35} > \text{Thr}_2 \text{ 且} \\ \text{PRB}_j - \text{PRB}_{80} > \text{Thr}_2, \forall j \in [39, 75] \end{cases} \quad (4)$$

其中, E_{DS38} 为 PRB₃₉ 至 PRB₇₅ 中所有 PRB 干扰绝对功率的平均值。

(3) DS39 信道

针对 DS39 广播电视信道, 中心频点为 722 MHz, 对应 5G 小区 PRB₁₀₂ 的位置; 下边带 F_l 为 718 MHz, 对应 5G 小区 PRB₈₀ 的位置; 上边带 F_h 为 726 MHz, 对应 5G 小区 PRB₁₂₄ 的位置。

当 5G 小区受干扰时, 可根据式(5)判断该小区是否受到 DS39 广播电视系统干扰。

$$\begin{cases} \frac{\sum_{i=84}^{120} (\text{PRB}_i - E_{\text{DS39}})^2}{37} < \text{Thr}_1 \\ \text{PRB}_j - \text{PRB}_{80} > \text{Thr}_2 \text{ 且} \\ \text{PRB}_j - \text{PRB}_{124} > \text{Thr}_2, \forall j \in [84, 120] \end{cases} \quad (5)$$

其中, E_{DS39} 为 PRB₈₄ 至 PRB₁₂₀ 中所有 PRB 干扰绝对功率的平均值。

(4) DS40 信道

针对 DS40 广播电视信道, 中心频点为 730 MHz, 对应 5G 小区 PRB₁₄₆ 的位置; 下边带 F_l 为 726 MHz, 对应 5G 小区 PRB₁₂₄ 的位置; 上边带 F_h 为 734 MHz, 与 5G 上行 703~733 MHz 的使用频带无交集。

当 5G 小区受干扰时, 可根据式(6)判断该小区是否受到 DS40 广播电视系统干扰。



$$\begin{cases} \frac{\sum_{i=128}^{159} (\text{PRB}_i - E_{\text{DS40}})^2}{32} < \text{Thr}_1 \\ \text{PRB}_j - \text{PRB}_{124} > \text{Thr}_2, \forall j \in [128, 159] \end{cases} \quad (6)$$

其中, E_{DS40} 为 PRB_{128} 至 PRB_{159} 中所有 PRB 干扰绝对功率的平均值。

为了验证本文所提广播电视系统干扰识别算法的准确性, 基于某省已定位干扰源的 700 MHz 频段 5G 受扰小区进行验证, 提取小区的 PRB 级上行干扰测量数据。本次算法准确性测试一共选择 1 200 个 700 MHz 频段受干扰的 5G 小区, 分布在不同的地市, 其中 DS37 广播电视系统干扰、DS38 广播电视系统干扰、DS39 广播电视系统干扰以及 DS40 广播电视系统干扰小区各 200 个, 其余 400 个小区为非广播电视系统干扰的 5G 小区。典型算法识别广播电视系统干扰小区频域波形如图 3 所示。

算法识别准确性测试验证结果表明: 800 个受干扰的 5G 小区中, 可正确识别出广播电视系统干扰信道的小区共计 683 个, 广播电视系统干扰的检测成功概率在 85% 以上, 因此可以达到通过后台 PRB 数据分析快速识别广播电视系统干扰的小区, 从而指导广播电视系统干扰的优化工作, 提升一线优化工作效率; 400 个非广播电视系统干扰的 5G

小区中, 算法错误识别为广播电视系统干扰的小区共计 29 个, 错检概率为 7% 左右, 其中 DS37 广播电视系统干扰和 DS40 广播电视系统干扰识别算法中由于约束条件相对 DS38 或 DS39 较少, 因此非广播电视系统干扰更易错检为 DS37 广播电视系统干扰或 DS40 广播电视系统干扰, 因此实际应用中应加强对识别为 DS37 广播电视系统干扰或 DS40 广播电视系统干扰 5G 小区的核查工作。

2.3 干扰规避方案建议

干扰类型识别是干扰源定位与优化的基础。与其他外部干扰需要进行外部干扰源排查、定位不同, 广播电视系统干扰的干扰源位置可通过与广电沟通协调获取, 在中国广电 703~733 MHz 频段清频前, 应通过干扰规避手段降低影响, 保证网络质量。在广播电视系统干扰及干扰信道识别的基础上, 可通过干扰信道对应 PRB 禁用、控制信道干扰避让等方案尽量降低干扰影响。

700 MHz 频段 5G 小区的上行初始 BWP 可以选择配置在上行 703~733 MHz 频段的前 20 MHz 频段, 即 703~723 MHz 频段, 其中包括公共 PUCCH、专用 PUCCH 及 PRACH, 主要存在 DS37、DS38 及 DS39 信道的广播电视系统干扰风险。当存在广播电视系统干扰时, 可开启基站上

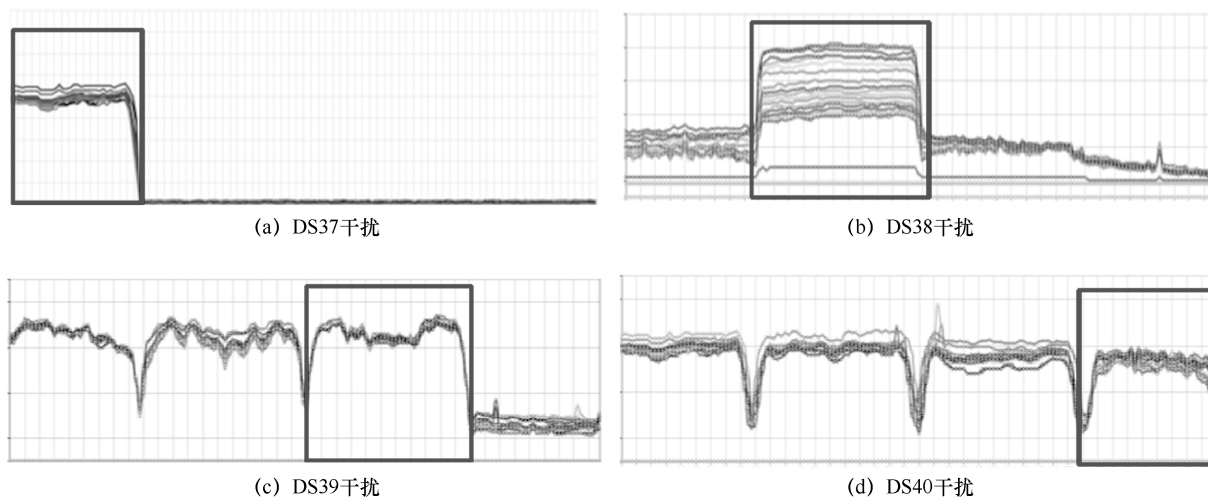


图3 算法识别广播电视系统干扰小区频域波形

行控制信道干扰避让功能,调整初始 BWP 起始位置或专用 PUCCH 和 PRACH 位置以规避干扰影响,保障用户接入性能。在上行业务传输过程中,可以依据算法识别的 700 MHz 频段干扰的信道(DS37~DS40),降低干扰信道对应 PRB 的调度优先级或直接禁用,从而保障 5G 用户感知。干扰规避方案示意图如图 4 所示,当 700 MHz 频段 5G 小区干扰类型识别为广播电视系统干扰时(干扰信道为 DS37),可将该小区初始 BWP 起始位置配置 PRB₃₅,保证用户的接入性能,同时将该小区 PRB₀~PRB₃₄ 设置为禁用,即不允许在上述 PRB 调度业务。

为了验证 700 MHz 干扰规避方案的性能,在现网中选择 15 个物理站点开展干扰规避功能验证,这些站点主要存在 DS39 广播电视系统干扰问题。与干扰规避功能开启前相比:干扰规避功能开启后试点区域 5G 小区 RRC 连接平均用户数达到 61 个,比修改前 1 日增加近 20 个;5G 流量增长 3.63 GB,涨幅达到 36%;5G 分流比从 3.3%增长至 4.46%,增长 1.16%,干扰规避方案应用效果见表 3。同时,测试区域无线接通率、无线掉线率、系统内切换成功率等指标均在正常范围内波动,通过测试充分证明了 700 MHz 干扰规避方案的有效性。

3 结束语

700 MHz 频段 5G 网络建设为农村广域覆盖、密集城区室内深度覆盖提供了切实可行的解决方案,将进一步加大 5G 技术在千行百业中的应用范围。本文针对目前 700 MHz 频段 5G 网络受到未清频广播电视系统干扰问题,提出相应的干扰识别准则,可以快速、准确识别受广播电视系统干扰的 700 MHz 频段 5G 小区,更好地支撑广播电视系统干扰规避方案的制定,从而降低干扰对网络性能的影响,保障用户感知。

参考文献:

- [1] 张宏宇,李聪,陈春. 广电 700 MHz 5G 网络浅层覆盖方案探讨[J]. 通信技术, 2021, 54(1): 87-95.
ZHANG H Y, LI C, CHEN C. Discussion on shallow coverage scheme of broadcasting and television 700 MHz 5G network[J]. Communications Technology, 2021, 54(1): 87-95.
- [2] 胡刚,冯志强,杨柳. 700M NR 覆盖能力分析[C]//5G 网络创新研讨会(2020)论文集. 2020: 184-188.
HU G, FENG Z Q, YANG L. Analysis of coverage capacity of 700M NR[C]//5G Network Innovation Conference Papers Collection(2020). 2020:184-188.
- [3] 范培全,魏爱玲,张冬晨,等. 700 MHz 频段 5G 网络性能分析与建设方案建议[J]. 电信科学, 2022, 38(5): 158-164.

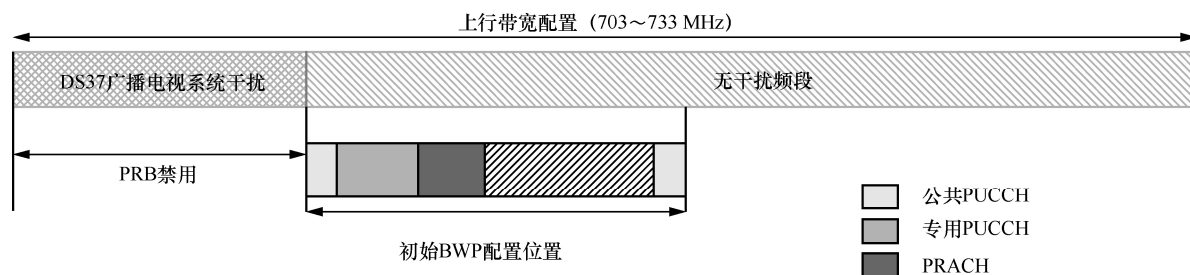


图 4 干扰规避方案示意图

表 3 干扰规避方案应用效果

开始时间	RRC 连接平均 连接用户数/个	RRC 连接最大 连接用户数/个	CQI 优良率	4G 总流量/GB	5G 总流量/GB	5G 分流比
干扰规避 功能开启前	45.682 2	168	96.94%	292.25	9.98	3.30%
干扰规避 功能开启后	61.501 7	199	97.44%	291.70	13.61	4.46%



- FAN P Q, WEI A L, ZHANG D C, et al. Performance analysis and construction scheme proposal of 5G network at 700 MHz band[J]. Telecommunications Science, 2022, 38(5): 158-164.
- [4] 高雪蕊, 麻卫东, 郑鹏思. 基于 700 MHz 频段构建国家公共安全 5G 服务网络可行性分析[J]. 有线电视技术, 2019, 26(11): 76-78, 82.
- GAO X S, MA W D, ZHENG P S. Feasibility analysis of building national public security 5G service network based on 700MHz band[J]. CATV Technology, 2019, 26(11): 76-78, 82.
- [5] 陈靛. 中国广电 700 MHz 频段 5G 覆盖初步研究[J]. 广播电视网络, 2020, 27(8): 27-29.
- CHEN L. Preliminary study on 5G coverage in 700 MHz band of China Broadnet[J]. Radio & Television Network, 2020, 27(8): 27-29.
- [6] 陈力, 潘协威, 魏镜西. 中国移动 5G 700M 规划建设方案浅析[J]. 中国新通信, 2021, 23(16): 29-30.
- CHEN L, PAN X W, WEI J X. Brief analysis on the planning and construction for 700M band of 5G by China Mobile[J]. China New Telecommunications, 2021, 23(16): 29-30.
- [7] 诸葛一鸣, 冯光, 刘敬刚, 等. 中国广电 700M 频段 5G 近海覆盖项目实践[J]. 广播与电视技术, 2021, 48(1): 35-38.
- ZHUGE Y M, FENG G, LIU J G, et al. Practice of 5G offshore coverage project with 700M band by China broadcasting network[J]. Radio & TV Broadcast Engineering, 2021, 48(1): 35-38.
- [8] 颜军. 700M 5G 网络覆盖能力分析[J]. 江苏通信, 2021, 37(5): 10-15, 19.
- YAN J. Analysis of network coverage capability of 5G network at 700M band [J]. Jiangsu Communication, 2021, 37(5): 10-15, 19.
- [9] 李行政, 张冬晨, 姚文闻, 等. 一种 TD-LTE 系统上行干扰三维分析方法[J]. 电信工程技术与标准化, 2016, 29(6): 88-92.
- LI X Z, ZHANG D C, YAO W W, et al. Three-dimension uplink interference analysis method for TD-LTE system[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2016, 29(6): 88-92.
- [10] 3GPP. Base station (BS) radio transmission and reception(Relase 15): TS 38.104 V15.5.0[S]. 2019.

[作者简介]



吕沛锦 (1991-), 女, 中国移动通信集团云南有限公司工程师, 主要研究方向为无线网络优化、网络结构管理。



陆贽 (1988-), 男, 中国移动通信集团云南有限公司工程师, 主要研究方向为无线网络优化、端到端业务质量提升。



杨晓康 (1976-), 男, 中国移动通信集团云南有限公司无线优化中级技术专家, 2021 年入选中国移动通信集团“十百千”专家库, 主要研究方向为无线网络优化、5G 行业应用。



杨丹 (1986-), 男, 中国移动通信集团云南有限公司工程师, 主要研究方向为无线网络优化、网络规划管理。

尹以雁 (1984-), 男, 中国移动通信集团云南有限公司工程师, 主要研究方向为无线网络优化、网络规划管理。

郭正义 (1970-), 男, 中国移动通信集团云南有限公司工程师, 主要研究方向为通信动环设备管理、网络优化、网络结构管理。