



研究与开发

5G 大气波导干扰分析与测试

宋心刚¹, 李行政¹, 赵志民², 王砚¹

(1. 中国移动通信集团设计院有限公司, 北京 100080;
2. 中国移动通信集团广西有限公司, 广西 南宁 530022)

摘要: 时分双工 (time division duplexing, TDD) 组网的 5G 系统面临大气波导效应造成的远端干扰问题。首先, 介绍了中国移动 2.6 GHz 频段 5G 系统面临的大气波导干扰风险和现状, 总结了 2.6 GHz 频段 5G 大气波导干扰时频域干扰特征; 然后, 对 5G 大气波导干扰测试结果进行了验证分析, 包括不同帧偏置、不同业务负载、施/受扰小区不同天线倾角配置下的大气波导干扰影响分析; 最后, 通过结果对比得出指导 2.6 GHz 频段 5G 大气波导优化方案的建议。

关键词: 2.6 GHz; 5G; 大气波导干扰; 帧偏置; 业务负载; 天线倾角

中图分类号: TN929.5

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2022006

Analysis and testing on the interference due to atmospheric duct of 5G

SONG Xingang¹, LI Xingzheng¹, ZHAO Zhimin², WANG Yan¹

1. China Mobile Communications Group Design Institute Co., Ltd., Beijing 100080, China
2. Guangxi Branch of China Mobile Communications Group Co., Ltd., Nanning 530022, China

Abstract: 5G (time division duplexing, TDD) system will be effected by the interference from 5G system due to atmospheric duct. The risk and current situation of 5G system in 2.6 GHz band were introduced and the interference characteristics of 5G interference due to atmospheric duct were summarized. Then based on the interference test results of the interference from 5G system due to atmospheric duct, the interference due to atmospheric duct influences under different frame offset, different service load and different antenna dip configuration were analyzed. Finally, the suggestions for the optimization of 5G interference due to atmospheric duct in 2.6 GHz band were obtained.

Key words: 2.6 GHz, 5G, interference due to atmospheric duct, frame offset, service load, antenna dip

0 引言

目前我国 5G 商用已全面展开, 5G 网络规模不断扩大。2.6 GHz 频段作为中国移动 5G 室外覆

盖主要频段, 面临的大气波导干扰^[1]风险也愈发严重。大气波导干扰是由“大气波导效应”导致的 TDD 制式网络特有的系统内干扰。“大气波导效应”是一种在特定气象、地理条件下发生的自

收稿日期: 2021-05-31; 修回日期: 2021-12-10

通信作者: 宋心刚, songxingang@cmdi.chinamobile.com

然现象。在大气边界层尤其是在近地层传播的电磁波,受大气折射的影响,其传播轨迹弯向地面,当折射曲率超过地球表面曲率时,电磁波部分会被陷获在一定厚度的大气薄层内,就像电磁波在金属波导管中传播一样,这种现象称为电磁波的大气波导传播^[2]。无线信号在大气波导中传播损耗可近似等于自由空间传播损耗,形成超远距离传播导致对远端同频组网站的干扰。

在 TD-LTE 网络时期就已开展对大气波导干扰问题的研究。目前针对 TD-LTE 系统的大气波导干扰问题,主要基于中国移动 TD-LTE 大气波导干扰定位与优化平台^[2],通过上行符号监测基站在特殊子帧下行符号中发送的 20 bit 特征序列识别和定位远端干扰源站点,实现大气波导干扰通路的定位。然后根据站点参数、天面配置情况等对干扰源基站采取调整特殊时隙配比增大保护距离(由 10:2:2 调整为 3:9:2)、降低小区特定参考信号(cell-specific reference signal, CRS)发射功率、压降天线倾角等方式抑制干扰。

在 2.6 GHz 频段,5G 网络建设前期存在 D1、D2 频段与 TD-LTE 系统同频部署的问题,因此在发生大气波导效应时,5G 站点可能同时面临远端 5G 系统和 4G 系统的大气波导干扰问题。目前在河南、江苏、河北、广西、上海等省(区市)已

发现 5G 大气波导干扰问题,需开展 5G 大气波导干扰问题研究,探索 5G 大气波导优化方案,指导 5G 大气波导干扰分析与优化工作。

1 5G 大气波导干扰分析

1.1 5G 子帧配置与保护距离分析

2.6 GHz 频段是中国移动 TD-LTE 系统的主要部署频段之一,因此 5G 系统部署时需要考虑与 TD-LTE 系统的共存,避免交叉时隙干扰。目前中国移动 5G 子载波带宽 SCS 配置为 30 kHz,考虑与 2.6 GHz 频段 TD-LTE 实现帧头对齐,5G 采用 3 ms 帧偏置,5 ms 帧结构上下行配置为 2:8 (DDDDDD DSUU),特殊时隙配置为 6:4:4。中国移动 5G 子帧配置如图 1 所示。

保护间隔(guard period, GP)长度占据 4 个正交频分复用(orthogonal frequency division multiplexing, OFDM)符号,每个 OFDM 符号持续时间为 0.035 7 ms,按理论计算每个符号可提供的保护距离约为 10.71 km,即特殊时隙配置为 6:4:4 时,GP 可提供的保护距离为 42.84 km^[3]。而由于 5G 在 6:4:4 特殊子帧配置下无法提供足够的保护距离,目前 2.6 GHz 频段大气波导干扰影响距离超过 200 km,面临大气波导干扰影响。

1.2 5G 大气波导干扰特征分析

通过对 TD-LTE 大气波导干扰问题的研究发现,当发生大气波导效应时,TD-LTE 网络的干扰

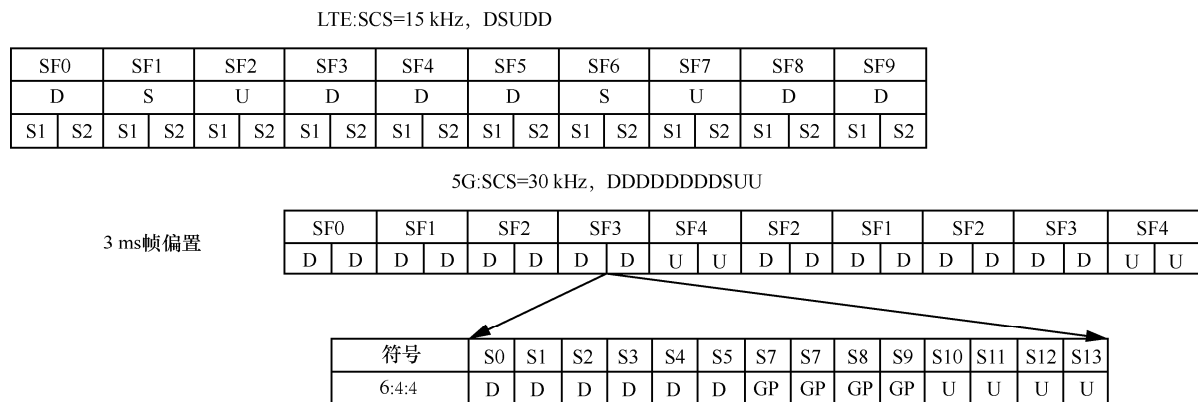


图 1 中国移动 5G 子帧配置



小区数量会在时间维度存在逐渐增加并在某个高峰时刻后突然大幅下降的特点,即 TD-LTE 网络干扰小区数量会在发生大气波导效应时随波导效应影响范围的扩大而逐渐增多,直至达到大气波导效应的最高峰时刻,然后随着大气波导效应的消失受扰小区大幅下降至平时正常干扰水平。此外,受大气波导干扰影响的小区会在时域符号维度存在受干扰功率呈斜坡下降的干扰特征^[2],即从上行导频时隙 (uplink pilot time slot, UpPTS) 开始受干扰,直至上行子帧的最后一个符号干扰逐渐减弱。目前 5G 小区干扰分析基于网管 PM 数据的“小区 RB 上行平均干扰电平 (PHY_ULMeanNL_PRB)”指标分析,该指标表征统计周期内各 PRB 底噪的平均值^[4]。5G 小区的干扰门限为-107 dBm (物理资源块级 (physical resource block, PRB)),因此目前对 5G 大气波导干扰的确定主要基于时间维度的干扰小区数量变化和符号级干扰功率变化趋势。

目前多地上报发现 5G 大气波导干扰问题。从时间维度看,发生大气波导干扰时,受扰小区数量急剧增加,呈现大面积受扰特点,与 TD-LTE 网络大气波导干扰时域特征一致。2021 年 2 月某地市发生大气波导干扰时,5G 受干扰小区数量变化趋势如图 2 所示,最多时新增 338 个受扰小区,平均新增 112 个。5G 受扰小区的数量随着大气波

导效应的形成而逐渐增加,随着大气波导效应的消除而恢复正常干扰水平,具有非常明显的时间特征。

从频率域看,发生大气波导效应时,5G 基站可能同时受到远端 TD-LTE 大气波导干扰和 5G 大气波导干扰影响。5G 大气波导干扰频域干扰特征如图 3 所示 (每条曲线代表一个受扰小区对应的频域干扰波形曲线)。

图 3(a)中,5G 小区主要受到来自远端 D1/D2 频段的 TD-LTE 系统的大气波导干扰影响,干扰强度可达-90 dBm。D6 频段干扰底噪也有一定抬升,干扰强度相对较低,低于-101 dBm,说明远端存在少量中国联通 D6 频段 TD-LTE 的小区未退频对 5G 形成大气波导干扰影响。图 3(b)中,5G 大气波导干扰影响主要集中在工作频段的前端,经分析 5G 网络同步广播块 (synchronization signal/PBCH block, SSB) 信号位置为 6 312,转换成对应 PRB 为 15~35 个 PRB,因此受到远端 5G 大气波导干扰时频域干扰的典型特征是对应 SSB 信号位置干扰恶化,其强度比受到远端 TD-LTE 大气波导干扰影响稍弱,峰值在-100 dBm 附近。对比分析 4G/5G 空口信号特征可知,5G 基站侧取消了 TD-LTE 系统中持续发射的 CRS 信号,因此干扰源基站只在下行业务调度发送时才会对远端基站造成大气波导干扰影响。此外 5G

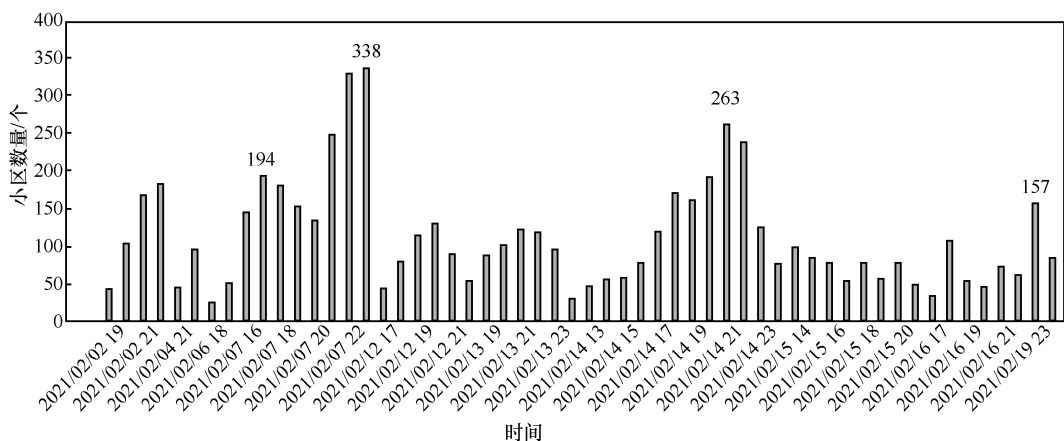


图2 2021年2月某地市发生大气波导干扰时5G受干扰小区数量变化趋势

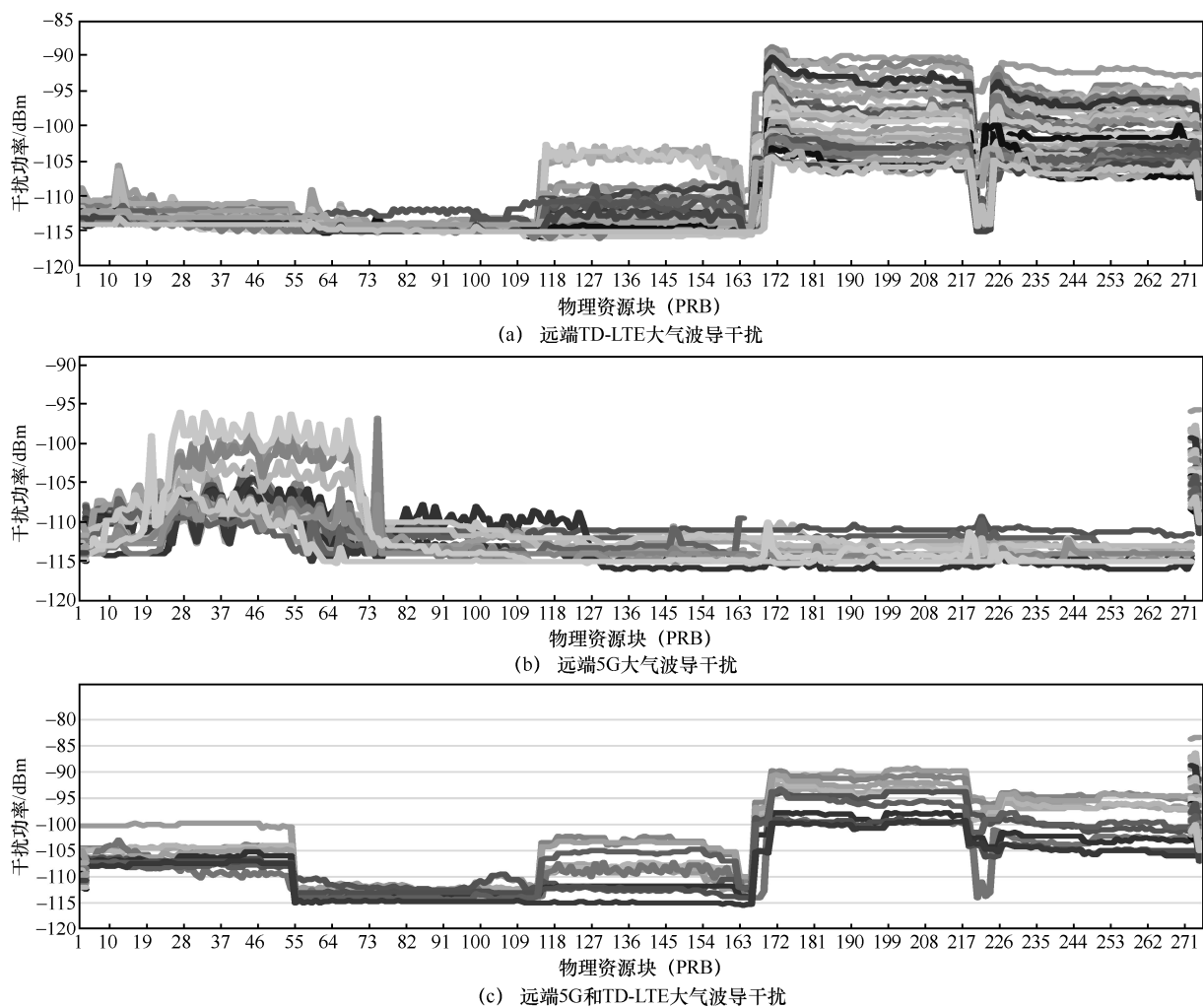


图3 5G 大气波导干扰频域干扰特征

网络规模也远小于 TD-LTE 网络规模, 因此单纯的 5G 系统产生的大气波导干扰强度低于 TD-LTE 系统产生的大气波导干扰强度。图 3 (c) 则证明了 5G 基站可能同时受到远端 5G 大气波导干扰和 TD-LTE 大气波导干扰。因此对于 5G 大气波导干扰的分析, 不仅要关注 5G 自身的大气波导干扰影响, 还需要关注未清频的远端 TD-LTE 系统的干扰影响, 持续推动相关频段的 TD-LTE 系统退网清频。

2 5G 大气波导干扰测试验证与分析

2.1 测试方案

在沿海某市, 选取相对孤立的未受到干扰的

两个 5G NR 小区, 两小区站间距 700 m, 天面正对形成对打, 且测试站点天面可满足各种工程参数调整需求, 两小区未反开 3D-MIMO 4G 小区, 即两小区只开通了 5G 网络, 未开通 4G 网络。测试过程中首先暂时关闭周边 D1/D2 频段的 TD-LTE 小区, 避免 5G 小区受到 D 频 TD-LTE 干扰影响测试结果, 并且将测试安排在晚上 4G/5G 用户数较少的时段。

5G 网络基本参数配置见表 1。

5G 大气波导干扰测试思路是通过调整两个 5G 小区的相对帧偏置、业务负载、天线倾角等配置, 模拟测试不同距离、不同业务负载、施受



表 1 5G 网络基本参数配置

测试要求	参数配置
NR 频率/MHz	2 515~2 615
NR 发射功率/dBm	小区 1: 33.9; 小区 2: 34.9 (200W)
SSB 子载波间隔/kHz	30
NR 帧结构	5 ms 帧结构: DDDDD DDSUU
特殊时隙配比	6:4:4
帧对齐	按照测试项调整小区 2 的帧偏置
SSB 波束配置	8 波束, 固定位置, 水平方向
PBCH 周期/ms	20
天线通道数	64

扰小区不同天线倾角配置时受到的大气波导干扰影响, 验证 5G NR 基站受到大气波导干扰时的时、频域干扰特征, 分析 5G 大气波导干扰与网络参数配置的关系, 为 5G NR 大气波导干扰的识别、规避和优化提供技术依据。

2.2 不同帧偏置测试结果分析

不同帧偏置下大气波导干扰测试通过对干扰源小区的帧对齐时刻进行不同符号数的迟滞, 模拟 5G 大气波导干扰效果, 以掌握 5G NR 小区(空载)在不同帧偏置下即(模拟) 5G NR 小区受到不同距离的 NR 小区大气波导干扰时的干扰影响程度和干扰时频域特征。

不同帧偏置配置下的测试结果如图 4 所示, 在 5G 干扰源小区空载时, 5G 大气波导干扰影

响强度较低; 但随着滞后符号增多, 受扰小区的底噪有一定抬升, 说明随着受到干扰的符号增多, 5G 大气波导干扰影响逐渐增强。5G 大气波导干扰的频域特征与迟滞符号数量无关, 与图 3 (b) SSB 信号对应位置干扰恶化特征一致, 即 5G 大气波导干扰的频域特征与远端 5G 小区的业务负载、频域调度算法、SSB 信号配置等因素相关。

2.3 不同业务负载测试结果分析

不同业务负载配置下大气波导干扰测试通过调整干扰源小区的加扰比例和帧偏置(迟滞符号数), 模拟不同业务负载情况下的大气波导干扰效果。不同业务负载配置下的测试结果如图 5 所示, 单个邻区的业务加载对邻区的干扰影响与未加载时的系统基础底噪基本一致, 干扰影响可忽略。当发生大气波导干扰时, 受扰端的干扰强度与干扰端小区业务负载(加扰程度)正相关, 业务负载越重, 大气波导干扰强度越大。当干扰端业务负载较重时, 受扰段的频域干扰特征呈现出整体抬升的特点, 说明 5G 大气波导干扰频域特征与远端 5G 小区的业务负载、频域调度算法有关。

2.4 施扰小区不同天线倾角测试结果分析

施扰小区不同天线倾角配置下大气波导干扰测试是通过调整远端干扰源小区的天线倾角, 模拟不同天线倾角配置的干扰源小区产生

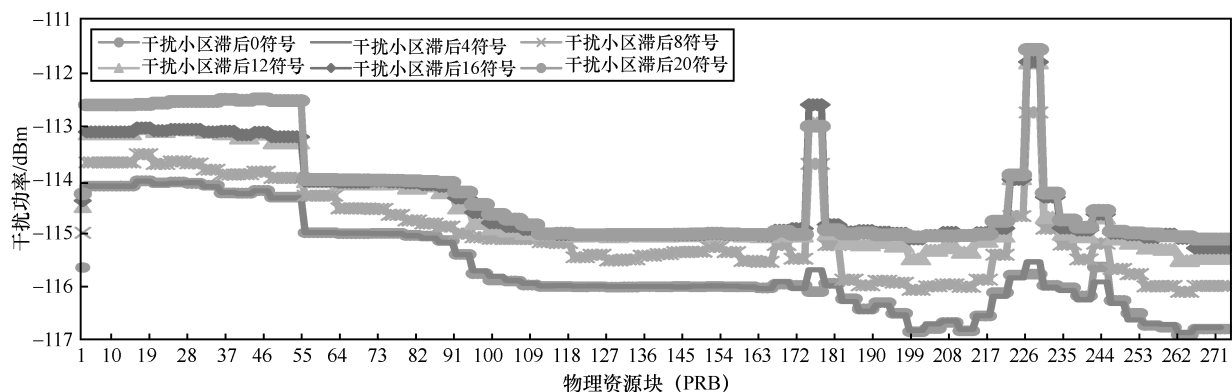
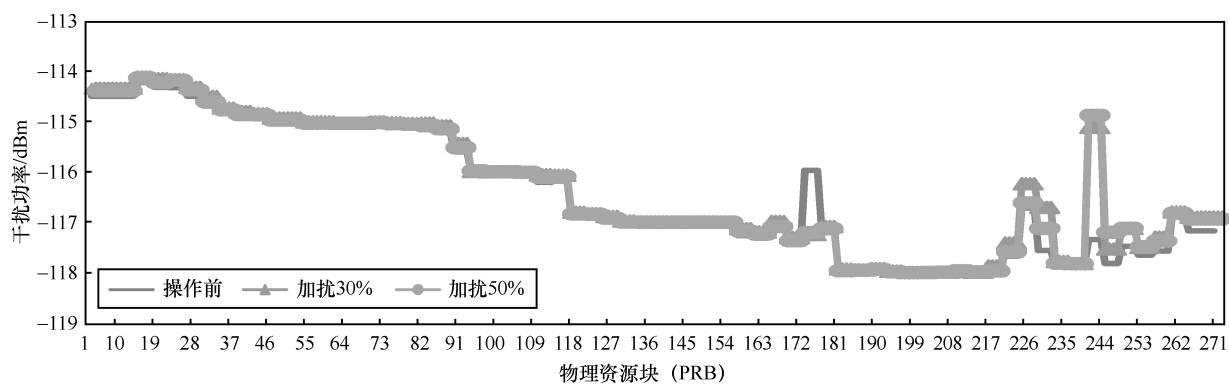
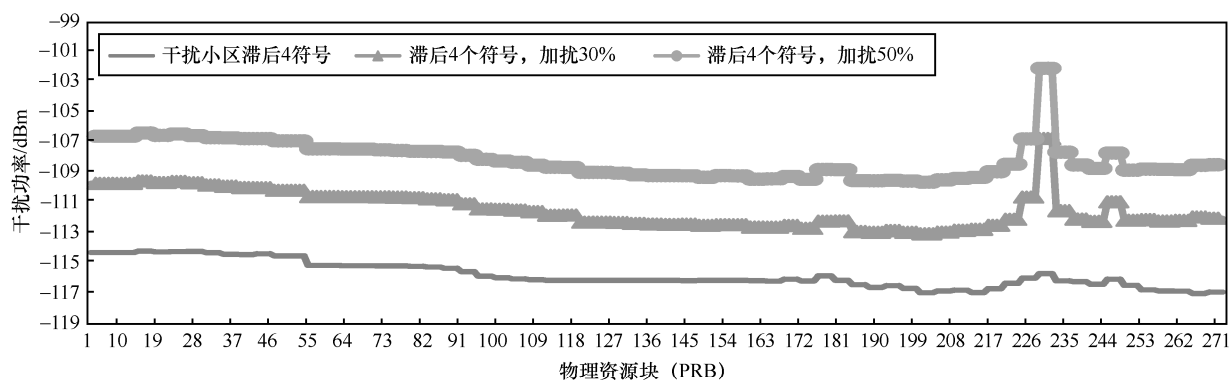


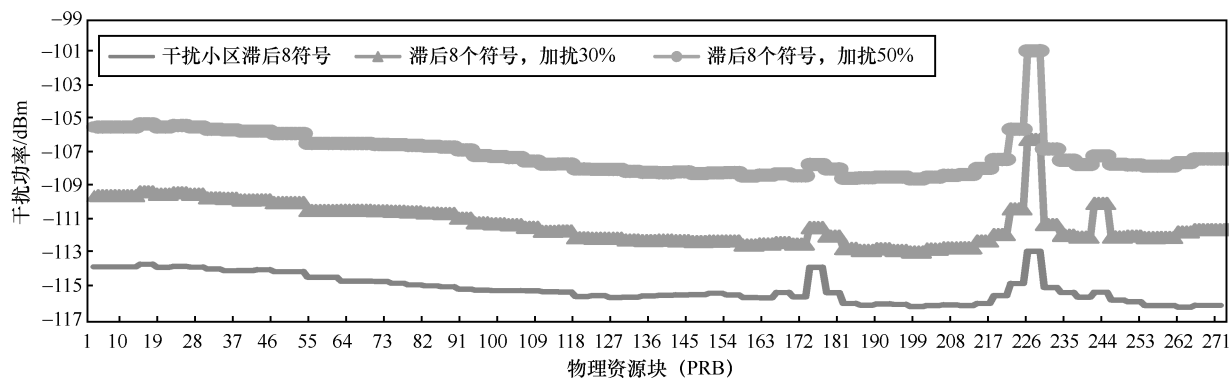
图 4 不同帧偏置配置下的测试结果



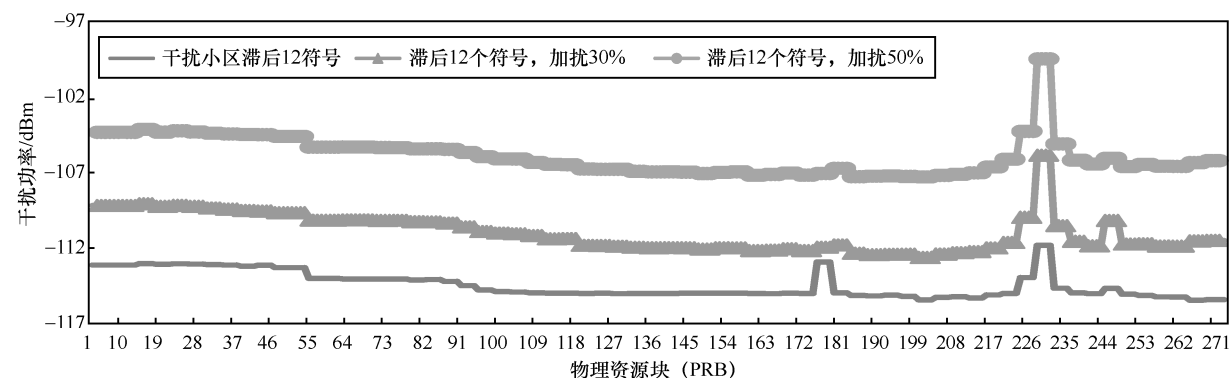
(a) 受扰小区



(b) 受扰小区: 滞后4个符号



(c) 受扰小区: 滞后8个符号



(d) 受扰小区: 滞后12个符号

图5 不同业务负载配置下的测试结果



的大气波导干扰效果,目的是掌握 5G NR 小区不同天线倾角配置对大气波导干扰强度的影响,指导 5G 大气波导干扰优化。测试时施扰小区帧偏置相对受扰小区滞后 12 个符号时间($12 \times 0.5/14 \text{ ms}$),且下行 50%加扰。测试中,远端干扰源小区天线倾角的修改通过后台远程调整该小区电子倾角。施扰小区不同天线倾角配置下的测试结果如图 6 所示,当下倾角从 0° 调整为 12° 时,受扰小区的干扰强度均有一定程度的降低,说明压降干扰端小区的天线倾角对大气波导干扰有一定抑制作用。但是从测试结果也可以看到,由于 PRB255~PRB258 受不明干扰,对测试结果有一定影响,建议后续测试采用现场调整天线物理倾角的方式予以验证。

2.5 受扰小区不同天线倾角测试结果分析

受扰小区不同天线倾角配置下大气波导干扰测试是通过调整受干扰小区的天线倾角,模拟不同天线倾角配置的受扰小区接收到的大气波导干扰效果,目的是掌握 5G NR 小区不同天线倾角配置对大气波导干扰强度的影响,指导 5G 大气波导干扰优化。测试时施扰小区帧偏置相对受扰小区滞后 12 个符号时间($12 \times 0.5/14 \text{ ms}$),且下行 50%加扰。

测试中,受扰小区的天线倾角修改通过后台远程调整该小区电子倾角。受扰小区不同天线倾角配置下的测试结果如图 7 所示,当下倾角从 0° 调整为 9° 时,受扰小区的干扰强度未有明显变化;而当下倾角调整为 12° 时,受

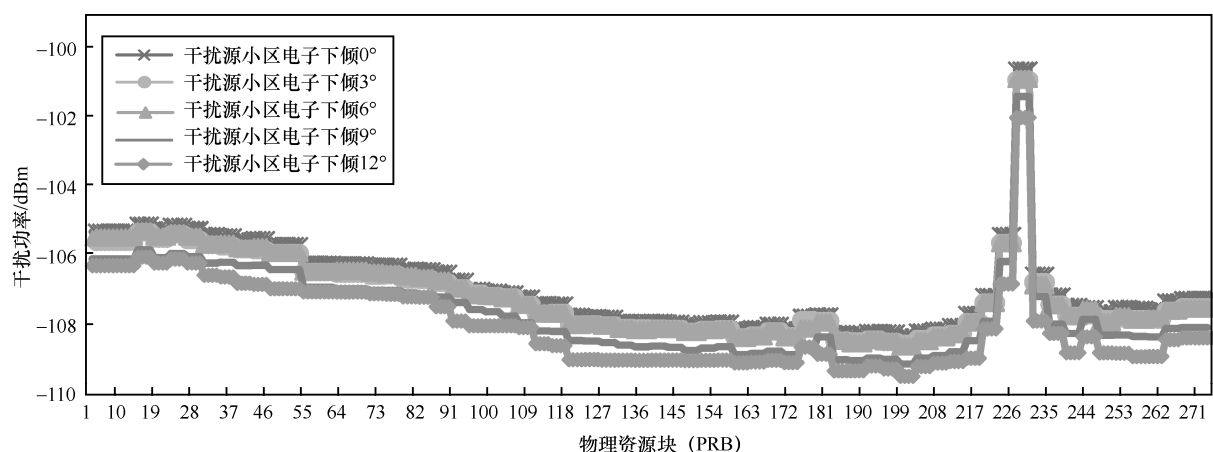


图 6 施扰小区不同天线倾角配置下的测试结果

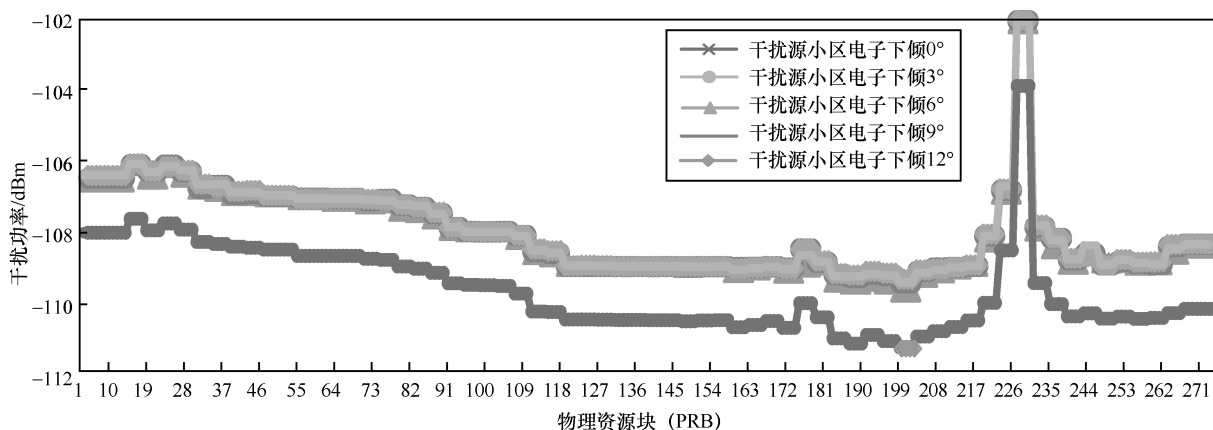


图 7 受扰小区不同天线倾角配置下的测试结果

扰小区的干扰强度有明显下降,说明受扰端小区天线倾角只有压降到一定程度时才能降低远端大气波导干扰影响。

3 5G 大气波导干扰优化建议

3.1 TD-LTE 大气波导干扰优化建议

由于5G系统在2.6 GHz频段采用100 MHz带宽部署,与现有TD-LTE系统有40 MHz频率重叠,因此5G系统的大气波导干扰不仅有远端5G系统的影响,同时也会受到远端未退频TD-LTE系统的干扰。从已发生的5G大气波导干扰案例来看,目前TD-LTE系统的部署规模大、业务负载高,因此发生大气波导效应时,远端D1/D2频段TD-LTE系统的干扰强度要高于远端5G系统的干扰强度。而且D6频段上还存在少量中国联通TD-LTE系统的大气波导干扰。因此需要持续推动中国联通D6和中国移动D1/D2频段TD-LTE系统的退网清频工作,降低TD-LTE系统对5G的干扰影响。同时,在发生大气波导干扰时,可通过中国移动TD-LTE大气波导干扰定位与优化平台^[2]定位干扰源基站,对干扰源基站采取调整特殊时隙配比增大保护距离(由10:2:2调整为3:9:2)、降低CRS发射功率、压降天线倾角等方式抑制干扰。

3.2 5G 大气波导干扰优化建议

3GPP根据TD-LTE系统的大气波导干扰优化经验,在5G协议中引入了远端干扰管理^[5](remote interference management, RIM)功能,已于2020年6月完成R16版本的最终确定,目前各设备厂商正在积极推进基于3GPP协议在各自5G基站设备上开发实现RIM功能。因此未来5G大气波导干扰可通过开启设备级的RIM功能进行实时干扰检测、规避、回退等优化操作,规避和抑制5G大气波导干扰影响。目前可采取以下优化措施减轻5G大气波导干扰影响。

(1) 调整特殊时隙符号配置,采用GP符号多的时隙配比(如6:18:4),增大保护距离。

(2) 通过降低远端干扰源小区的发射功率来抑制5G大气波导干扰。

(3) 通过压降远端干扰源小区和近端受扰小区的天线倾角进行干扰规避。

(4) 通过大规模MIMO取值优化,将S子帧前的下行时隙调度给下倾波束用户,抑制大气波导干扰的同时避免小区容量损失。

4 结束语

本文基于5G子帧配置、5G大气波导干扰案例和模拟测试结果,分析了5G大气波导干扰的保护距离、干扰时频域特征和帧偏置/业务负载/天线倾角等因素对5G大气波导干扰的影响,明确了5G大气波导干扰特征,给出了5G大气波导干扰优化建议。在当前大气波导效应频发的季节,需要积极关注并及时采取相关优化方案规避抑制5G大气波导干扰影响,保障5G网络性能,确保中国移动5G网络质量竞对领先。

参考文献:

- [1] 宋心刚, 张冬晨, 李行政, 等. 5G NR上行干扰问题研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2020, 33(3): 79-87.
SONG X G, ZHANG D C, LI X Z, et al. Research on uplink interference of 5G NR[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2020, 33(3): 79-87.
- [2] 陈涛, 李行政, 韩云波, 等. 大气波导干扰定位与优化平台技术研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2018, 31(7): 72-76.
CHEN T, LI X Z, HAN Y B, et al. Research on atmospheric duct interference location and optimization platform[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2018, 31(7): 72-76.
- [3] 李行政, 周胜, 左怡民, 等. 2.6 GHz频段5G网络大气波导干扰问题分析[C]//2020中国信息通信大会(CICC 2020)论文集. 成都, 2020: 522-526.
LI X Z, ZHOU S, ZUO Y M, et al. Analysis of interference due to atmospheric duct of 5G network in 2.6 GHz band[C]//Proceedings of CICC 2020:522-526.
- [4] 宋心刚, 张冬晨, 李行政, 等. 2.6GHz频段5G上行干扰分析与识别研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2021, 34(4): 74-81.
SONG X G, ZHANG D C, LI X Z, et al. Research on interference analyzing and recognition of 5G in 2.6 GHz[J]. Telecom



Engineering Technics and Standardization, 2021, 34(4): 74-81.

- [5] 3GPP. Study on remote interference management for NR v16.1.0[S]. 2019.

[作者简介]



宋心刚（1988-），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4G/5G无线网络优化、4G/5G干扰优化方法、工具平台设计研发等。

李行政（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4G/5G无线网络优化、4G/5G干扰优化方法、工具平台设计研发等。

赵志民（1978-），男，中国移动通信集团广西有限公司高级工程师，主要研究方向为NR/LTE/GSM网络优化、干扰整治等。

王砚（1985-），男，现就职于中国移动通信集团设计院有限公司，主要研究方向为网络优化的相关技术及市场动态研究分析等。