

5G 大气波导干扰分析和 解决方案研究

Research on 5G Network Atmospheric Duct Interference Analysis and Solution

王雯芳^{1,2}, 林琳^{1,2}, 张德坤^{1,2} (1. 中兴通讯股份有限公司, 广东深圳 518055; 2. 移动网络和移动多媒体技术国家重点实验室, 广东深圳 518055)

Wang Wenfang^{1,2}, Lin Lin^{1,2}, Zhang Dekun^{1,2} (1. ZTE Corporation, Shenzhen 518055, China; 2. State Key Laboratory of Mobile Network and Mobile Multimedia Technology, Shenzhen 518055, China)

摘要:

随着5G基站和终端的逐步商用,以及用户数的增加,5G的干扰研究已经成为热点话题。介绍了5G TDD系统中常见的大气波导干扰的形成条件,着重分析了5G大气波导干扰的来源和特征,给出了5G大气波导干扰解决的整体方案流程,提炼出4个重要步骤:干扰识别、干扰缓解、干扰规避和干扰源定位,并对每个步骤中的具体解决措施进行了详细分析,为5G大气波导干扰解决提供参考。

关键词:

5G大气波导干扰;干扰识别;干扰缓解;干扰规避;干扰源定位

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2024.07.012

文章编号: 1007-3043(2024)07-0060-05

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

With the gradual commercial use of 5G base stations and terminals and the increase in the number of users, interference research on 5G has become a hot topic. The forming conditions of atmospheric duct interference in the 5G TDD system are introduced. The sources and features of atmospheric duct interference in the 5G TDD system are analyzed. The overall solution process of 5G atmospheric duct interference solution is given, and four important steps are extracted: Interference identification, interference mitigation, interference avoidance and interference source location. The specific solutions in each step are analyzed in detail to provide important guidance for 5G atmospheric duct interference solution.

Keywords:

5G atmospheric duct interference; Interference identification; Interference mitigation; Interference source location; Interference avoidance

引用格式: 王雯芳, 林琳, 张德坤. 5G大气波导干扰分析和解决方案研究[J]. 邮电设计技术, 2024(7): 60-64.

0 引言

在一定的气象条件下,在大气边界层尤其是在近地层中传播的电磁波,受大气折射的影响,其传播轨迹弯向地面,当曲率超过地球表面曲率时,电磁波会部分被陷获在一定厚度的大气薄层内,就像电磁波在金属导管中近似无损耗传播一样,这种现象称为电磁波的大气波导传播^[1]。大气波导传播示意如图1所示。

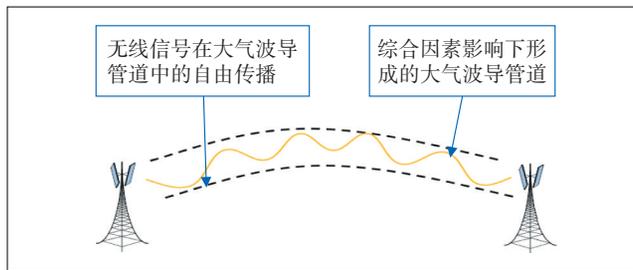


图1 大气波导传播示意

示。

5G中的时分双工(Time Division Duplex, TDD)模

收稿日期: 2024-05-20

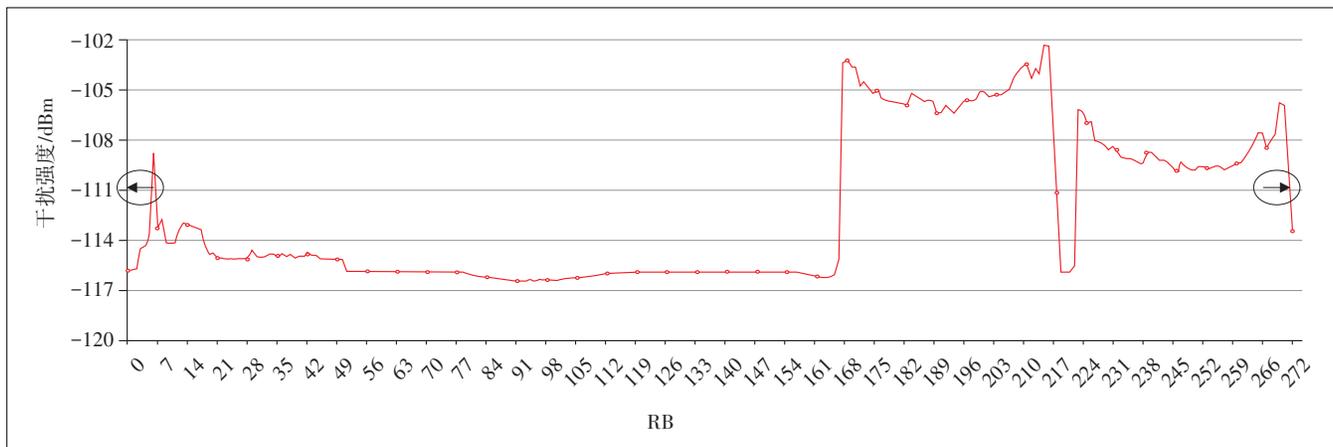


图3 LTE D1+D2对5G 2.6 GHz高频段40 MHz的干扰示意

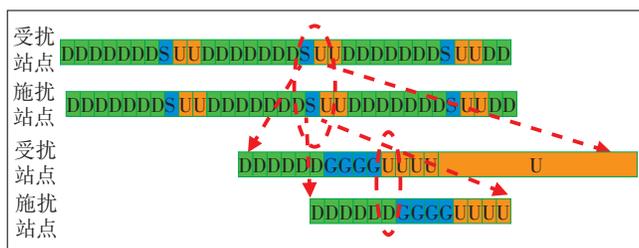


图4 中国移动2.6 GHz, 5 ms单周期帧结构干扰示意

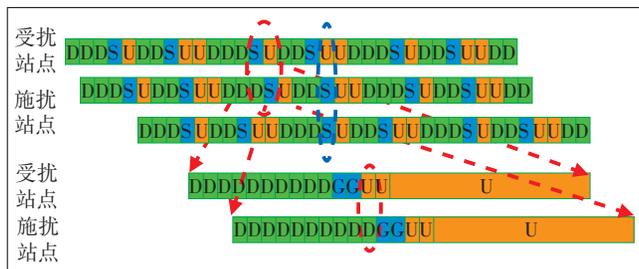


图5 电联3.5 GHz, 2.5 ms双周期帧结构干扰示意

3 5G大气波导干扰的特征

3.1 大气波导干扰的时间特征

干扰多发生在21:00到次日09:00之间(见图6)。

3.2 大气波导干扰的地域特征

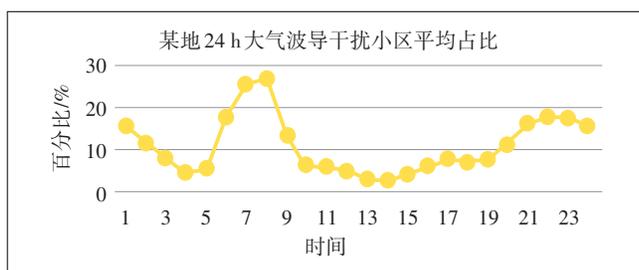


图6 某地6 896个小区2023年6月连续10天干扰占比示意

大气波导干扰经常出现在海洋大气环境中,在陆地上,由于地形的影响经常破坏边界层大气的水平均匀性,所以只有在平原地区的农村以及建筑物稀少的郊区、平坦荒芜地区或沙漠地区比较容易出现大气波导干扰。

3.3 大气波导干扰的空域特征

大气波导干扰具有一定的方向性。5G网络通用的三扇区组网,通常只有朝向施扰站点的1~2个扇区容易受到相对较重的大气波导干扰,而背向施扰站点的扇区受到的大气波导干扰较小。

3.4 大气波导干扰的时域特征

小区受大气波导干扰时,在受扰时隙上会产生“滚降”特性,即距离干扰源近的符号受扰最大,其余符号随受扰距离变大干扰依次降低。内陆区域因为是连续一圈一圈基站的叠加干扰,因此多为“平滑式”;而半岛、岛屿以及沿海城市由于是不连续的叠加干扰,因此多为不规则的“陡降式”。大气波导时域受扰特性如图7所示^[15]。

3.5 大气波导干扰的频域特征

小区受大气波导干扰时,通常表现为频域全带宽干扰抬升,但是如果施扰站下行空载,仅发送同步信号等,则受扰小区仅在这些特殊信号对应的频域位置上有干扰抬升。

4 5G大气波导干扰的解决方案

4.1 5G NR大气波导干扰解决方案的整体流程

4G大气波导干扰的解决多侧重于静态规避方案^[1,6,10],但是规避时间过长易造成上下行资源的浪费和传输效率的损失;也有文献提出缓解措施^[6-7,17],但

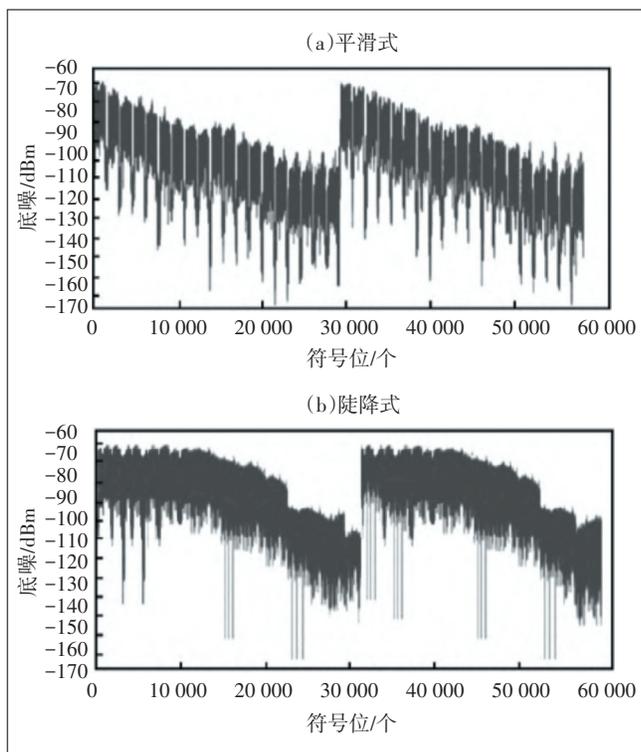


图7 大气波导干扰时域特征示意

是如果大气波导干扰识别不准确也会造成性能损失；另外，由于施扰侧和受扰侧不能交互信息，因此以上措施都不能根据大气波导干扰的变化而及时做出对应的调整，从而造成系统性能的损失。5G NR 3GPP R16协议新增了大气波导干扰管理的RIM-RS技术框架，其中关注度最高的是Framework-1（见图8），该框架基于基站之间空口信号RIM-RS的传输，实现受扰侧和施扰侧信息的及时交互，再结合受扰侧和施扰侧的干扰优化措施，达到自适应规避干扰的目的。

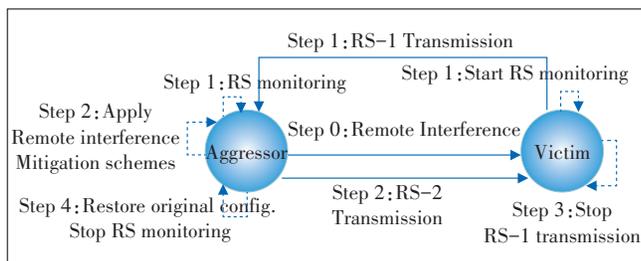


图8 5G NR大气波导干扰消除技术框架1(Framework-1)

从图8可以看出，5G大气波导干扰解决方案的整体流程如下。

a) 受扰侧识别到大气波导干扰，并发送RS-1，同时启动RS-2检测，为了进一步提升受扰侧的性能还可以启动干扰缓解措施。

b) 施扰侧检测到RS-1，并据此启动干扰规避措施，同时发送RS-2。

c) 受扰侧检测到RS-2，则继续发送RS-1，同时检测干扰强度。如果未检测到RS-2并且干扰强度低于一定水平，则认为大气波导干扰消失，停止发送RS-1，并停止干扰缓解措施，恢复到之前的网络配置状态。

d) 施扰侧如果持续检测到RS-1，则保持干扰规避状态，如果未检测到RS-1，则停止干扰规避并恢复到之前的网络配置状态。

从以上流程可以总结出5G大气波导干扰解决的4个重要步骤：干扰识别、干扰缓解、干扰规避以及干扰源定位，下面对这4个步骤进行详细分析。

4.2 大气波导干扰识别

由于大气波导干扰并非一直都有，因此受扰侧需要通过干扰测量来识别是否存在干扰，并根据干扰的强度和干扰的符号个数来预判干扰的影响并给出对应的优化措施。

文献[18]提出当最后一个GP功率 >-107 dBm时，认为发生了大气波导干扰，但是该方法仅做一个符号的判断易受邻区干扰的影响造成误判，因此建议当GP符号出现高干扰且后面U子帧的符号干扰逐渐减弱时，即符合所述的“滚降”特性时，才判断为发生了大气波导干扰，该方法对4G/5G都适用。

4.3 大气波导干扰缓解

当受扰侧识别出受到大气波导干扰时，通过对UpPTS符号和上行U子帧每个符号的干扰测量可获得干扰的强度和干扰的符号个数，5G可以进一步结合RS-2检测强度和符号位置，提高干扰程度判断的准确性，并据此采取一定的缓解措施提升系统性能。

a) 接入阶段和业务阶段参数调整^[6-7]，提高Msg1和Msg3目标功率值，增大Msg1传输次数和功率步长，对Msg3采用保守调度等；提升上行PUSCH/PUCCH/SRS信道的功控目标值。

b) 解调优化^[17]，基站根据干扰特征优化信道估计算法，提升解调性能。

除此之外，还可以采用如下措施。

a) SRS迁移，将SRS资源从UpPTS迁移到U子帧，以降低SRS符号的干扰，提升SRS测量性能。

b) Slot级AMC，AMC采用Slot级AMC，以降低受干扰Slot对未受干扰Slot上行AMC的影响，提升上行整体流量。

c) 5G资源配置更灵活，还可以配置PUSCH为

Type B, 保证 PUSCH DMRS 配置到符号 0 以便能测到大气波导干扰, 从而更好地进行上行干扰消除, 提升解调性能; 或者直接配置 TypeB 的起始符号为非零值, 避开 U slot 前几个受干扰的符号进行调度。

以上所述的缓解措施, 除最后一种仅适用于 5G 外, 其余措施对 4G/5G 都适用。

4.4 大气波导干扰规避

4G 由于没有 RS 序列, 施扰侧只能根据自身受大气波导干扰的程度来采取一定的静态规避措施^[6,10,17,19], 而 5G 施扰侧可以根据检测到的 RS-1 来获得对受扰侧干扰的强度和时延, 启动精确的干扰规避措施, 以期在尽可能保证本小区下行性能的情况下, 降低对大气波导受扰小区的干扰。

a) 符号回退, 包括部分符号或时隙不调度、调整特殊子帧配比、GP 符号自适应等, 目的都是为了通过增大 GP 保护间隔, 规避一定距离内的干扰。

b) 降低天线挂高, 调整天线俯仰角和移频等。

除此之外, 还可以采用如下措施。

a) 功率回退, 降低下行数据符号的功率。

b) 波束调整, 对施扰符号的波束不发送, 或者调整要发送的波束方向。

如上所述的规避措施, 除最后一种仅适用于 5G 外, 其余措施对 4G/5G 都适用。

4.5 大气波导干扰源定位

为了定位出干扰源, 对 4G 网络, 中国移动提出了特征序列, 但是仅能在施扰侧发送, 且不适用于对其他厂家的干扰源定位^[10,17], 而 5G 基于受扰侧和施扰侧相互发送的 RS 序列可以实现异厂家间干扰源的精准定位。由于 4G/5G 干扰源定位所依赖的序列不同, 因此 2.1 节中当 5G 受到 4G 干扰时无法进行干扰源定位。

5 结束语

本文介绍了大气波导干扰的形成条件, 结合 5G 协议帧结构和外场数据, 分析了 5G 大气波导干扰的来源和特征, 给出了 5G 大气波导干扰解决的整体方案流程, 从中提炼出干扰识别、干扰缓解、干扰规避和干扰源定位 4 个重要步骤, 并详细分析了每个步骤中的具体解决措施, 为 5G 大气波导干扰的解决提供参考。

后续将继续基于 5G 大气波导干扰管理的 RIM-RS 技术框架对 5G 大气波导干扰解决方案进行深入研究, 比如利用 RIM-RS 的远近效应和重复等扩展功能, 进一步提升干扰检测的距离范围以及干扰源定位的

准确性; 还需要从大气波导预测、受扰站自优化等方面着手, 积极开展研究; 同时在现网进行各种优化方案的大规模验证, 并基于测试结果对优化方案进行改进, 探索其他优化方案。

参考文献:

- [1] 王磊, 陈锐, 赵飞龙, 等. 5G 网络大气波导干扰研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2019, 11(32): 23-26.
- [2] 赵飞龙. 5G 大气波导干扰形成条件及其规避方法研究[J]. 电波科学学报, 2021, 36(1): 109-115 + 126.
- [3] 刘毅, 牛海涛, 张震刚, 等. TD-LTE 大气波导效应导致干扰研究[J]. 移动通信, 2017, 41(5): 36-40.
- [4] 张瑜, 吴少华. 大气波导传播类型及特性分析[J]. 电波科学学报, 2009, 24(1): 185-190.
- [5] 孙天宇, 周婷, 杨旸. TD-LTE 网络中大气波导干扰的分析与预测[J]. 中兴通讯技术, 2018, 24(2): 19-24.
- [6] 吕芳迪, 郭宝. TD-LTE 干扰优化中对大气波导的监测与规避[J]. 电信工程技术与标准化, 2016(11): 35-39.
- [7] 张力伟, 梁纪兴, 秘俊杰. 大气波导干扰及解决方案[J]. 电信工程技术与标准化, 2017(10): 73-78.
- [8] 3GPP. Study on remote interference management for NR; TR 38.866 V16.1.0[S/OL]. [2024-04-24]. <http://3gpp.org/Specs/>.
- [9] 姚展予, 赵柏林, 李万彪, 等. 大气波导特征分析及其对电磁波传播的影响[J]. 气象学报, 2000, 58(5): 605-616.
- [10] 仇勇, 郑英, 魏志刚, 等. TDD 系统大气波导干扰研究与应对[J]. 电信工程技术与标准化, 2018, 9(31): 40-45.
- [11] 宋玉珍, 刘炼. 利用 GPS 探测海洋大气环境和大气波导[J]. 舰船电子工程, 2010, 30(7): 153-155.
- [12] 杨超, 郭立新, 李宏强, 等. 大气波导中电波传播特性的研究[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版), 2009, 36(6): 1097-1102.
- [13] 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.
- [14] 汪汀岚, 张冬晨, 李行政, 等. 基于模块化架构搭建 LTE 干扰自动诊断平台[J]. 数字通信世界, 2020(11): 5-8.
- [15] 汪汀岚, 李行政, 左怡民, 等. 5G 大气波导干扰分析及规避方法研究[J]. 电信科学, 2022, 4: 130-137.
- [16] 郭建光, 赵亚锋, 刘旸, 等. 5G 网络中的大气波导研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2021, 284(34): 57-60.
- [17] 张龙, 邓伟, 江天明, 等. TD-LTE 大气波导干扰传播规律及优化方案研究[J]. 移动通信, 2017(20): 16-21.
- [18] 李玉洁. 5G 远端干扰分析与解决方案研究[J]. 电信科学, 2022(6): 164-171.
- [19] 田桂宾, 李梅, 韩卫国. 降低大气波导对 TD-LTE 影响方法的研究[J]. 邮电设计技术, 2018(5): 25-29.

作者简介:

王雯芳, 硕士, 主要从事无线通信方面的研究工作; 林琳, 硕士, 主要从事无线通信方面的研究工作; 张德坤, 硕士, 主要从事无线通信方面的研究工作。