



5G 远端干扰管理功能研究与智能网络优化

汪汀岚¹, 高峰¹, 吕沛锦², 吴泰然¹, 李文丽¹

(1. 中国移动通信集团设计院有限公司, 北京 100080;
2. 中国移动通信集团云南有限公司, 云南 昆明 650228)

摘要:为了对抗大气波导干扰对 5G 网络的影响, 3GPP 定义了远端干扰管理(remote interference management, RIM)的相关功能。基于此功能, 研究了大气波导标识号(set identity document, SetID)与基站标识号(the next generation node B identity document, gNBID)的自动化映射方案, 实现了 SetID 在不同大气波导干扰区域的复用, 实现了效率与唯一性的中和。分析基站远端干扰测量数据, 总结了大气波导干扰智能定位与识别方法, 并且实现了施扰源基站的智能网络优化流程。为 5G 大气波导干扰的靶向治理提供了有效的操作方案, 解决大气波导干扰对 5G 行业发展的制约。

关键词: 5G RIM; 网络智能优化; 智能定位; 干扰规避

中图分类号: TN929.5

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2023243

5G remote interference management function research and network intelligent optimization

WANG Tinglan¹, GAO Feng¹, LYU Peijin², WU Tairan¹, LI Wenli¹

1. China Mobile Group Design Institute Co., Ltd., Beijing 100080, China
2. Yunnan Branch of China Mobile Communications Group Co., Ltd., Kunming 650228, China

Abstract: To mitigate the impact of tropospheric radio-duct interference on 5G network, 3GPP has defined functionalities for remote interference management. Based on this functionality, an automated scheme for SetID and gNBID was developed, enabling the reuse of SetID in different tropospheric radio-duct interference regions, striking a balance between efficiency and uniqueness. By analyzing remote interference measurement data from base stations, an intelligent localization and identification method for tropospheric radio-duct interference was summarized. An intelligent network optimization process for identifying the aggressor base stations was created and successfully validated in the network. An effective operational plan was provided for management of 5G tropospheric radio-duct interference, alleviating the constraints on the development of the 5G industry caused by the interference.

Key words: 5G RIM, network intelligent optimization, intelligent localization, interference avoidance



0 引言

当海域或农村平原区域出现大气波导效应时,5G 基站信号可以在波导层中发生超远距离传播,远端基站的下行时隙发射信号落入近端基站上行接收时隙中,造成时分双工(time-division duplex, TDD)系统的交叉链路干扰^[1-2]。沿海港口或农村平原区域的 5G 基站间存在极为复杂的互干扰关系,干扰严重时,大面积 5G 小区的受干扰底噪可能会抬升 30 dB,对网络性能造成极大的影响。

“农业生产”“智慧港口”等 5G 典型应用场景,对 5G 网络有低时延、大带宽、高可靠的严格要求,例如,自动化码头的大型特种作业设备的通信系统,需要保障在传输过程中,控制信息与多路视频信息的高效性及可靠性。频繁出现的 5G 大气波导干扰问题,使网络时延、速率、接入等指标骤然劣化^[3-4]。在一线生产中,能否有效地控制并高效地解决 5G 大气波导干扰问题,是保障 5G 网络得以稳定应用的关键。

1 大气波导干扰形成机理

大气波导效应主要是由于近地层的电磁波传播时,传播轨迹弯曲向地面。若折射率超过了地球表面曲率,则部分电磁波就会陷获在具有一定厚度的大气波导层内,其传播过程中能量损耗较小,就会导致超远距离传播现象的发生。大气波导层内传播示意图如图 1 所示。

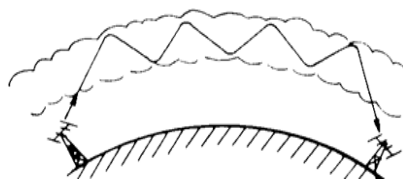


图 1 大气波导层内传播示意图

大气波导形成条件中,主要受湿度与温度的影响。当近地位置温度较低,温度 T 随高度增加时,就会形成一个逆温层,若水汽密度 e_w 随高度上升形成大气湿度锐减层时,大气折射系数超过地球表面曲率,就会发生大气波导现象^[5-8],其表达式如下:

$$N = (n-1) \times 10^6 = \frac{77.6}{T} \left(P + \frac{4810e_w}{T} \right) = 77.6 \frac{P}{T} + 3.73 \times 10^5 \frac{e_w}{T^2} \quad (1)$$

在我国的 TDD 制式系统中,采用上下行同频传输方案,基站间的上行与下行信号间是通过上下行时隙保护间隔(guard period, GP)配置实现干扰的规避。由于信号在大气波导层内传播的损耗很低,即使经过 GP 的保护距离后,远端基站的下行信号仍然具备较强的功率。同时,信号传送距离变远会增加传播时延,导致远端基站功率较强的下行信号落入近端基站的上行子帧中,这就会抬升近端基站底噪,导致有用信号被淹没,引起近端基站产生严重的同频干扰问题。我国 TDD 系统大气波导干扰机理示意图如图 2 所示。

1.1 我国大气波导干扰区域特征

大气波导影响通信信号主要有蒸发波导和表面波导两种类型,具体如下。

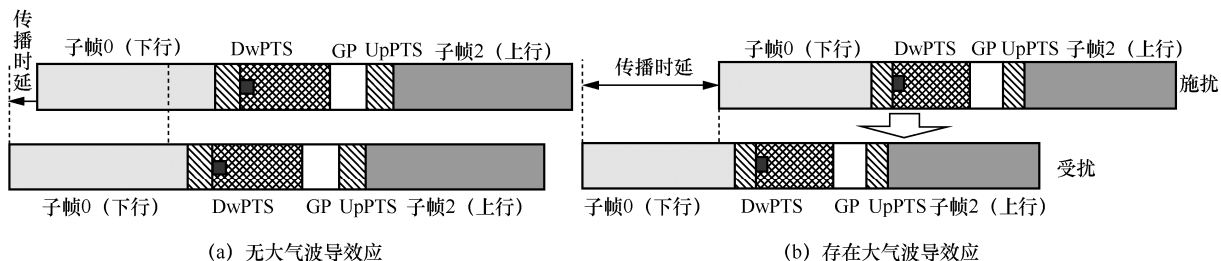


图 2 我国 TDD 系统大气波导干扰机理示意图

(1) 蒸发波导是指在夏季的炎热海面, 无风时海面水汽蒸发, 导致近海位置大气湿度随高度锐减所形成的的大气波导层。

(2) 表面波导是指在晴朗夏季夜晚的地平面, 地面降温导致地面与上层空气降温速率不同, 在底层逆温层所形成的的大气波导层。雨过天晴时, 也存在类似逆温层所形成的的大气波导层。

在中国地域上, 此问题主要在沿海及农村频发, 集中在 4—10 月的夜间, 特别是渤海湾、北部湾沿海地区受影响极其严重。大气波导问题导致多数站点存在超远干扰问题, 仅通过设备功能无法有效规避, 需要建立干扰集中智能化管理机制, 实现大气波导干扰的跨省自动化协同优化。

1.2 5G 网络大气波导干扰频域特征

大气波导情况发生时, 5G 通信信号在大气波导通路中传播损耗较小, 超远传播的同频下行信号时延会超出系统配置的 GP, 造成大气波导干扰。2.6 GHz 干扰信号主要来自以下 4 种情况。

(1) 4G D 频段重耕后与 5G 重叠的频段为 D1 (2 575~2 595 MHz) 和 D2 (2 595~2 615 MHz)。由于 4G 高铁场景及其隔离带主要是使用 D1 与 D2 进行组网规划, 在退频过程中规划较为复杂,

仍存在无法重耕的情况。4G D 频段与 5G 频段重叠示意图如图 3 所示。

(2) 5G 主同步信号超远传播导致大气波导干扰。广播信号与同步信号会连续占用 20 个物理资源模块 (physical resource block, PRB) 资源, 当出现超远距离传播时, 远端 5G 基站信号会对近端基站产生大气波导影响。

(3) 5G 中 SIB1 消息超远传播导致大气波导干扰。在初始 BWP 中, SIB1 消息占用前 50 个连续的 PRB, 当出现超远距离传播时, 远端 5G 基站信号会对近端基站产生大气波导影响。

(4) 5G 下行数据有用信号超远传播, 导致受到大气波导干扰的近端站点, 其频域全频段阻塞干扰引起整体 PRB 抬升。

2 5G 大气波导干扰智能识别与定位

2.1 3GPP RIM 技术

5G 时代, 3GPP 针对 5G 新空口 (new radio, NR) 远端干扰管理开展专项研究, 2020 年 6 月确定了 Release 16 版本。中国移动采用标准中的 RIM Framework-1 框架^[9-10], RIM Framework-1 框架示意图如图 4 所示。框架支持施扰方和受扰方之间

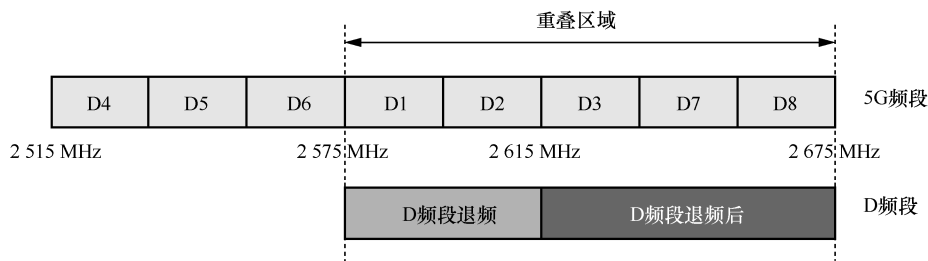


图3 4G D 频段与 5G 频段重叠示意图

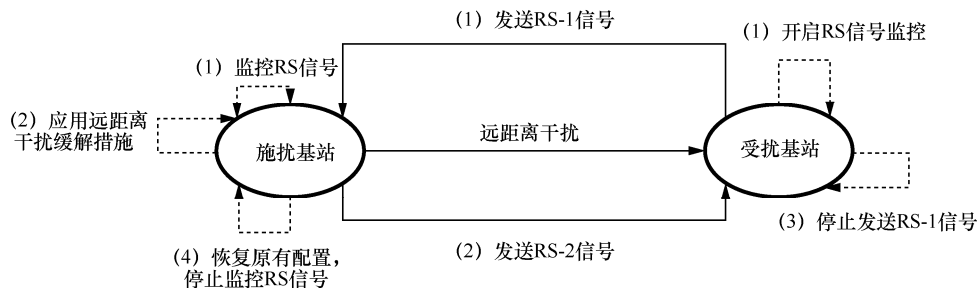


图4 RIM Framework-1 框架示意图



通过 RIM-RS 识别干扰存在, 目的是在识别到干扰时, 及时触发干扰缓解措施。

具体技术方案描述如下。

发生大气波导干扰, 存在施扰站点与受扰站点通路。

(1) 受扰基站检测到自身接收信号存在底噪抬升及斜坡特性后, 开启 RS 信号监控, 开始发送 RS-1 信号。施扰基站根据中控台信息开启 RS 信号监控。

(2) 当施扰基站检测到 RS-1 信号后, 开启自适应干扰缓解调整措施, 并发送 RS-2 信号。

(3) 若受扰基站能收到 RS-2 信号, 则代表自身仍然受到施扰基站干扰, 此时受扰基站继续发送 RS-1 信号。若在限定周期内, 受扰基站未再收到 RS-2 信号且底噪恢复, 则说明大气波导通路已消失, 受扰基站将停止 RS-1 信号的发送。

(4) 施扰基站若持续收到 RS-1 信号则继续缓解措施, 若未收到则开始恢复原有配置。

2.2 大气波导自动化映射方案

在 3GPP RIM 技术中, 将基站传输自身标志的序列码定义为 RIM 特征序列。为了减少 RIM 特征序列的数量, 建议采用一个片区基站共用同一序列的方式, 该方案虽然可以减少 RIM 序列的数量, 但若无法独立编码, 就会造成无法精准定位大气波导施扰站点的问题。经研究, 笔者梳理出了中国移动大气波导干扰的关联省份, 考虑传输的时间成本, 设定应用的 RIM 特征序列为大气波导标识号 (set identity document, SetID) 采用 20 bit 配置方案, 并基于中国移动基站标识号 (the next generation node B identity document, gNBID) 资源分配方案, 完成 SetID 与 gNBID 的自动化映射方案, 实现了 SetID 在不同大气波导干扰区域的复用, 为 5G 大气波导干扰的智能精准定位奠定了基础。具体方案如下。

(1) 考虑现阶段 5G 基站规模、RIM 自动回退的时效性等因素, 5G RIM 功能 SetID 采用 20 bit 的配置方案。

(2) 在 gNBID 向 SetID 映射时, 5G 基站 gNBID 为 $X_1X_2X_3X_4X_5X_6$, 其中 X_1X_2 的 8 bit 二进制小区 ID 高两位编码, X_1X_2 至 A 的映射关系见表 1, 建议按表 1 自动化映射为 4 位二进制 A , $X_3X_4X_5X_6$ 共 16 bit 编码保持不变, 映射 20 bit 的 SetID 为 $AX_3X_4X_5X_6$ 。对受大气波导影响的 21 省进行映射配置, 根据省份基站数量分配对应映射数量。

基于 5G 基站 gNBID 与 SetID 的映射关系, 实现大气波导干扰片区 SetID 的复用, 全网配置后可以有效消除大气波导干扰区域内 SetID 的混淆问题, 实现干扰源精准解析, 确定干扰通路及干扰程度。

3 5G 大气波导干扰智能优化

在干扰源智能精准定位的基础上, 完成干扰通路确认, 通过受扰站点反馈数据分析后的结果, 自动筛选出干扰影响严重的“恶霸施扰基站”, 由于调整施扰基站是一种“利他行为”, 对施扰基站本身存在一定的资源损失。通过建立全网实时智能工单的形式, 开展省间大气波导施扰基站的精准优化, 有效打破“本位主义”思想, 实现跨省大气波导干扰问题实时智能协同优化^[11-12]。跨省智能优化方案如图 5 所示。

5G 大气波导干扰智能优化方法主要从施扰基站及受扰基站两方面进行优化方案的实施^[13-15]。

(1) 从施扰基站角度来看, 可以从时域、空域两个维度进行施扰基站的优化。具体方案如下。

- 时域优化: 根据通路定位划定大气波导互易性区域, 调整特殊子帧配比, 或关断施扰站点部分下行子帧, 从而扩大保护距离, 避免相互影响。可以开启设备远端干扰自适应规避功能, 实现调度方案的自动适配及干扰消除后的自动回退。
- 空域优化: 针对“恶霸施扰基站”开展精细化调整措施, 包括增加下倾角、更换高性能天线、降低基站功率, 使施扰站点脱

表 1 X_1X_2 至 A 的映射关系

省份	X_1X_2 (二进制)	小区 ID 高两位	A (十进制)	A (二进制)
省 1	00010111	00	6	0110
省 2	00001111	00	8	1000
省 2	00010101	00	4	0100
省 3	11000001	00	2	0010
省 3	11000000	00	1	0001
省 4	01000000	00	0	0000
省 5	00010010	00	3	0011
省 6	00010000	00	0	0000
省 7	01010000	00	1	0001
省 8	00010011	00	1	0001
省 9	01100000	00	2	0010
省 10	00100110	00	0	0000
省 11	00110100	00	6	0110
省 12	10100000	00	5	0101
省 13	10000000	00	3	0011
省 14	01110000	00	2	0010
省 15	00010110	00	5	0101
省 16	00100111	00	7	0111
省 7	00110001	00	2	0010
省 18	10010000	00	0	0000
省 18	10010001	00	1	0001
省 18	10001111	00	2	0010
省 19	00110010	00	3	0011
省 20	00100010	00	0	0000
省 21	10110000	00	0	0000

离大气波导通路，或降低通路中信号的强度，以便消减对受扰基站的影响。与 4G 对比，5G NR 通过天线垂直多波束技术的强大优化，可按照设定的步长自动调节下倾角，并在干扰消除后自动回退配置。

(2) 从受扰基站角度来看，主要是从受干扰判定、程度判别、实施优化及回退 4 个步骤开展优化工作，具体方案如下。

- 受干扰判定：通过 RIM 检测机制，从接收的特征序列解析结果、斜坡特性、干扰周期、干扰量级、干扰区域等维度可精准判定基站受到大气波导干扰影响。

- 程度判别：通过受扰底噪强度、关键指标受影响情况等维度确定受干扰程度，匹配对应优化策略。
- 实施优化：受干扰较轻时，可以通过调整受扰频段小区重选优先级，减少用户接入。或者，可以通过调整信道参考信号位置，将其挪移到非受扰符号位，以增强其性能。若受扰情况较严重，则可将受扰小区迁移到 F 频段或 700 MHz 频段，避免受大气波导通路影响。同时，调整同覆盖 700 MHz 小区向 2.6 GHz 小区互操作，以避免小区间的乒乓切换。

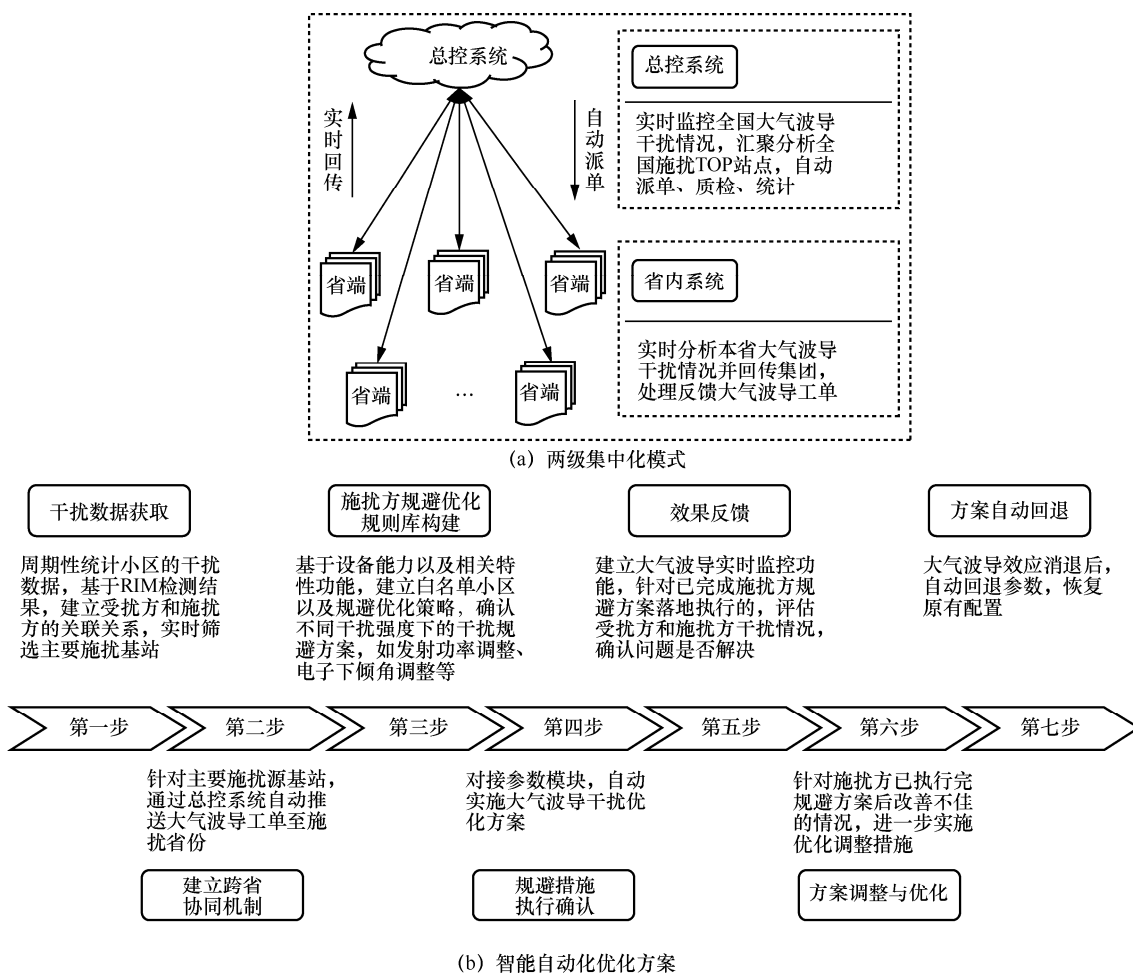


图5 跨省智能优化方案

- 回退：当受干扰判定小区已脱离大气波导影响后，实施小区优化措施回退。

4 5G 行业应用拓展实例

在港口城市 5G 行业应用拓展中，发现大量 5G 小区存在严重的大气波导干扰问题，导致速率、时延等指标劣化严重，甚至造成网络无法正常应用的情况。

4.1 智能应用拓展实例一

(1) 5G 基础支撑网

以 5G 网络为基础支撑，共规划建立 97 处 5G 站点对港口进行 5G 网络全覆盖，实现智慧港口管理、港机远控、智能理货和无人水平运输。但在青岛港项目运维过程中，5G 基站经常受大气波导

干扰影响导致港口存在视频卡顿现象。

(2) 5G 智慧工厂

在 5G 智慧工厂项目中，工作人员希望通过大带宽、高稳定性、低时延的 5G 园区专网，解决工厂面临的信息化程度低、监控不稳定、单兵作战设备时延高的问题，厂区的数字化转型得以实现。在园区实现 5G 全覆盖站点建设，支持 5G 防爆工具巡检、5G 移动视频监控、5G 单兵作战等能力。厂区处于大气波导干扰严重区域，导致大气波导干扰发生时，现场上行速率骤降无法支撑正常生产应用。

为降低 5G 大气波导干扰影响，引入智能网络优化流程后，港口 5G 网络感知质量明显提升，视频卡顿月均频次下降 92%，上行速率提升 0.9 倍，

现场视频业务顺畅,单兵业务反应敏捷。创新应用拓展前后效果对比如图6所示。

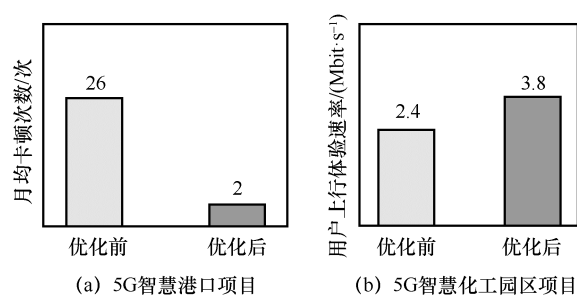


图6 创新应用拓展前后效果对比

4.2 应用拓展实例二

钢铁集团基地围绕“5G+AI+云计算”开展5G远控天车、5G无人巡检、5G+AI智能质检等应用,为全国5G钢铁行业树立新标杆,推动5G终端模组在钢铁行业发展。经统计,为支持项目稳定开展,需要为每台5G远控天车安装5个400万像素AI智能高清摄像机,所以,项目对5G上行速率的稳定、高速有极高的要求。但是,由于基地位于北部湾沿海的大气波导气候区域,5G基站受大气波导干扰影响严重,传输无法达到应用需求,项目执行难以平稳推进。

在引入智能网络优化流程后,基地内站点的大气波导干扰影响得到了有效缓解,为项目的成功交付奠定了基础,同时也带动了个人用户的增量价值。应用核算效果如下。

(1) 质量效益

经统计,引入此应用的5G小区,其掉话率从0.19%降低至0.02%,接通率从98.75%提升到99.64%,有效保障了项目小区的5G上行速率,确保了项目的成功交付。

(2) 经济效益

此项目已创收超过600万元。省内5G网络完成全覆盖后,将与钢铁集团有限公司达成业务使用合作意向,拓展5G套餐用户数4万余人,预计每年创造4000万元的信息化收入。

(3) 社会效益

实施钢铁企业5G智慧工厂建设项目,可提

升产品质量稳定性,按每吨创效5元计算,在年产900万吨的情况下,每年可创效4500万元。同时,项目应用中吨钢综合能耗可降低1 kgce/t,年度减少1120万元支出。与此同时,提高智能化水平每年可减少人工成本1000万元。

5 结束语

5G智慧港口及5G智慧产业园区属于典型的流程生产行业,在持续不断的生产过程中,如何保障复杂环境下大量信息及时传递十分关键。在垂直行业信息化系统的智能化改造中,网络新技术的超高可靠性与超低时延,使得厂区内可实现数据的超高速上传与下载,并且能对设备实施精准化操控和真正实现人与机器的分离。5G RIM自动化映射方案与智能优化流程可以有效地解决大气波导干扰问题,可实现同时段、大范围、大批量的智能优化受扰小区及施扰源基站,为5G网络的实时性和大带宽提供有力保障。在大气波导干扰区域内的5G行业应用智能优化流程时,对接系统无须改造和升级,具备通用性强、见效快、成本低等优势,可以有效解决大气波导干扰对5G行业发展的制约。

参考文献:

- [1] 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, 1138.
YANG C, GUO L X, LI H Q, et al. Study the propagation characteristic of radio wave in atmospheric duct[J]. Journal of Xidian University (Natural Science), 2009, 36(6): 1097-1102, 1138.
- [2] 康士峰,张玉生,王红光. 对流层大气波导[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
KANG S F, ZHANG Y S, WANG H G. Atmospheric duct in the troposphere[M]. Beijing: Science Press, 2014.
- [3] 唐海川,王华,李云波. 黄海部分海域大气波导分布规律及其成因[J]. 海洋技术, 2008(1): 115-117, 128.
TANG H C, WANG H, LI Y B. Atmospheric duct distribution feature and origin in the partial sea area of Yellow Sea[J]. Ocean Technology, 2008(1): 115-117, 128.
- [4] 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.
- SONG Y Z, LIU L. Detect the ocean atmosphere environment and the atmosphere wave-guide by use of GPS[J]. Ship Electronic Engineering, 2010, 30(7): 153-155.
- [5] 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). 北京: 人民邮电出版社, 2020: 511-515.
- LI X Z, ZHOU S, ZUO Y M, et al. Analysis of interference dueto atmospheric duct of 5G network in 2.6 GHz band[C]// Proceedings of China Institute of Communications Conference 2020 (CICC 2020). Beijing: Posts& Telecom Press, 2020: 511-515.
- [6] 赵小龙. 电磁波在大气波导环境中的传播特性及其应用研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2008: 13-14.
- ZHAO X L. Study on propagation characteristics and application of electromagnetic wave in atmospheric wave guide environment[D]. Xi'an: Xidian University, 2008: 13-14.
- [7] 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): 185-191.
- ZHANG Y, WU S H. Analysis of the types and characteristics of atmospheric duct propagation[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2009, 24(1): 185-191.
- [8] 官莉, 顾松山, 火焰, 等. 大气波导形成条件及传播路径模拟[J]. 南京气象学院学报, 2003(5): 631-637.
- GUAN L, GU S S, HUO Y, et al. Necessary conditions for forming duct propagation and simulation of electromagnetic wave propagation[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2003(5): 631-637.
- [9] 3GPP. Base station (BS) radio transmission and reception: TS 38.104 v17.3.0[S]. 2019.
- [10] 3GPP. Study on remote interference management for NR: TR 38.866 v16.1.0[S]. 2019.
- [11] 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.
- [12] 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.
- WANG T L, ZHANG D C, LI X Z, et al. Automatic LTE interference diagnosis platform based on modular architecture[J]. Digital Communication World, 2020(11): 5-8.
- [13] 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, 38(4): 130-137.
- WANG T L, LI X Z, ZUO Y M, et al. Analysis and avoidance method of 5G atmospheric duct interference[J]. Telecommunications Science, 2022, 38(4): 130-137.
- [14] 王国梁, 赵康成. TD-LTE 系统的大气波导干扰与防治[J]. 山东通信技术, 2016, 36(4): 10-13.
- WANG G L, ZHAO K C. Atmospheric waveguide interference and its prevention in TD-LTE system[J]. Shangdong Communication Technology, 2016, 36(4): 10-13.
- [15] 刘毅, 牛海涛, 张振刚, 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.
- LIU Y, NIU H T, ZHANG Z G, et al. Investigation on interference resulting from TD-LTE atmospheric duct effect[J]. Mobile Communications, 2017, 41(5): 36-40.

[作者简介]



汪汀岚(1989-)女, 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通信和干扰优化等。



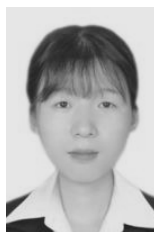
高峰(1975-)男, 中国移动通信集团设计院有限公司正高级工程师, 主要研究方向为基站天线、电磁兼容和网优系统研发等。



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和网络结构管理。



吴泰然(1991-)男, 现就职于中国移动通信集团设计院有限公司, 主要研究方向为无线通信。



李文丽(1996-)女, 现就职于中国移动通信集团设计院有限公司, 主要研究方向为无线通信和 D2D 通信等。