

大气波导干扰对5G NR的影响 预研和应对措施探讨

Research on Influence of Atmosphere Dust Interference on 5G NR
and Corresponding Solutions

许国平(中国联合网络通信集团有限公司,北京 100033)

Xu Guoping(China United Network Communications Group Co.,Ltd.,Beijing 100033,China)

摘要:

大气波导效应会对TDD移动通信系统产生较强干扰。首先分析了大气波导干扰的特征和识别方法,研究了大气波导对5G NR影响的关键因素。结合3GPP标准组织的工作进展,论述了几种典型的大气波导干扰消除技术框架和技术方案,给出了后续工作建议。

关键词:

5G; 大气波导; 干扰; 特殊时隙

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2019.08.008

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

文章编号:1007-3043(2019)08-0034-06

Abstract:

Atmospheric duct effect can produce strong interference to TDD mobile communication system. Firstly, the feature and related recognition methods of atmosphere dust interference are analyzed. Furthermore, the key factors affecting 5G NR in atmospheric duct are studied. Based on the introduction of related research of 3GPP, some frameworks and schemes of atmospheric duct interference cancellation are brought out. At last, some suggestions are given.

Keywords:

5G; Atmospheric duct; Interference; Special time slot

引用格式:许国平. 大气波导干扰对5G NR的影响预研和应对措施探讨[J]. 邮电设计技术,2019(8):34-39.

1 大气波导的成因

大气波导干扰实际上是远距离同频干扰,即在特定的气候、地形及温度环境下,电磁波能量在大气波导层结中的传播损耗衰减极小,对远端接收机所造成的干扰。大气波导现象使雷达有可能观测到数倍于正常探测距离处的目标,但是对于TD-LTE移动通信系统来说,则会造成较强的同频干扰。

从原理和实践情况看,大气波导干扰不会对FDD制式的2G、3G、4G系统产生影响,主要影响TDD系统。

TDD系统干扰形成的主要原因是施扰基站的下行信号传输超出了受扰基站上行信号的保护时隙,从而影响到受扰基站的上行接收,如图1所示。多个干扰源的信号在受扰基站信号叠加还会造成干扰电平增强。大气波导干扰传播距离甚至可以超过200 km,可能对TDD系统产生大面积干扰,严重时会将底噪抬升至-95 dBm,影响RRC建立成功率、eRAB建立成功率、VoLTE接通率、数据业务掉线率、VoLTE掉话率、切换成功率等KPI指标。

2 大气波导干扰的类型

根据实践经验,影响移动通信系统的大气波导干

收稿日期:2019-06-06

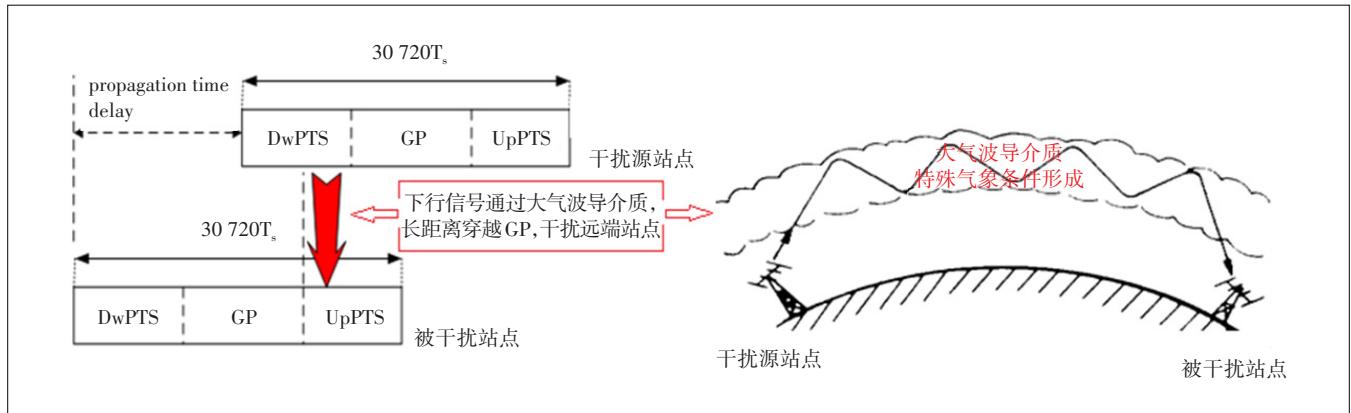


图1 TD-LTE系统大气波导干扰形成原因

扰的成因主要分为2种类型,海面蒸发波导与内陆表面波导。

2.1 海面蒸发波导

沿海地(市)主要受海面蒸发波导的影响。图2给出了处于环渤海区域的城市A和城市B所受到的该类型大气波导干扰的时间变化趋势:出现早,消退慢,持续时间长,全天均有可能存在。从前期实践情况看,该类型干扰主要集中在环渤海区域和琼州海峡周边区域。

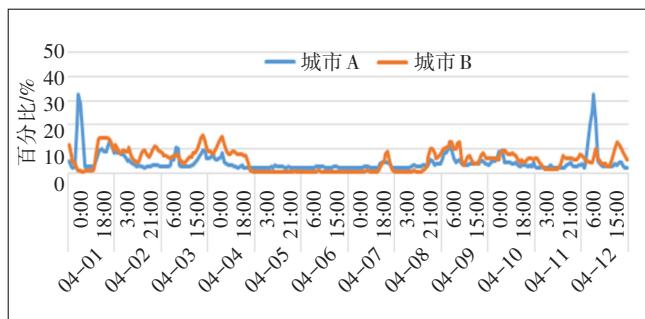


图2 海面蒸发波导影响规律

2.2 内陆表面波导

内陆地(市)主要受陆地表面波导影响。图3给出

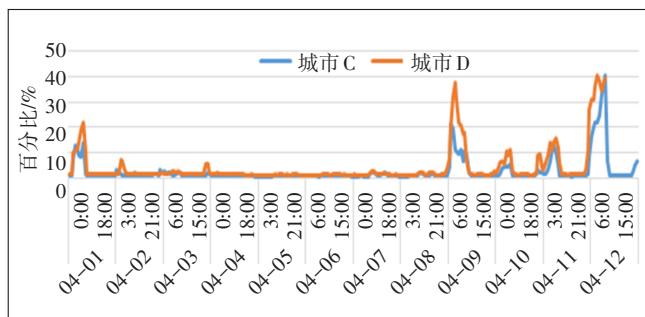


图3 内陆表面波导影响规律

了处于内陆区域的城市C和城市D所受的该类型大气波导干扰的时间变化趋势:出现快,消失快(夜间发生,早上08:00—09:00快速消失),干扰持续时间短,干扰范围大,干扰源范围广,幅度变化大。

3 大气波导干扰的特征和识别

大气波导干扰问题影响范围广,具有跨厂家、跨本地网、跨省的特点。

3.1 空间特性

受扰基站一般连片集中同时出现,而普通的系统内外干扰往往是独立的、离散化分布的。

从宏观角度看,大气波导干扰主要发生在华北/中/东平原、江汉平原、东北平原、海南岛沿岸、渤海湾沿岸。发生的场景一般属于平原农村或建筑物稀少的郊区和沿海地区。

从微观角度看,一般情况下,大气波导干扰具有明显的方向性,如图4所示,大气波导的干扰源来自西南方向。

3.2 频域特性

受扰基站的全部或大部分PRB的底噪同时抬升,而且空闲PRB的干扰强度与非空闲PRB相差不大。由于施扰基站主同步信号(PSS)及辅同步信号(SSS)的影响,受扰基站中间的PRB所受干扰可能较为严重。

3.3 时域特性

随着时间的变化,受干扰的区域和强度会发生变化。干扰多在凌晨出现,白天减弱并消失。从物理层的符号级别分析,虽然被干扰的符号数量不固定,每符号上的干扰大小不一致,但是大体上呈现递减趋势(见图5)。由于初期的技术方案无法直接识别施扰基

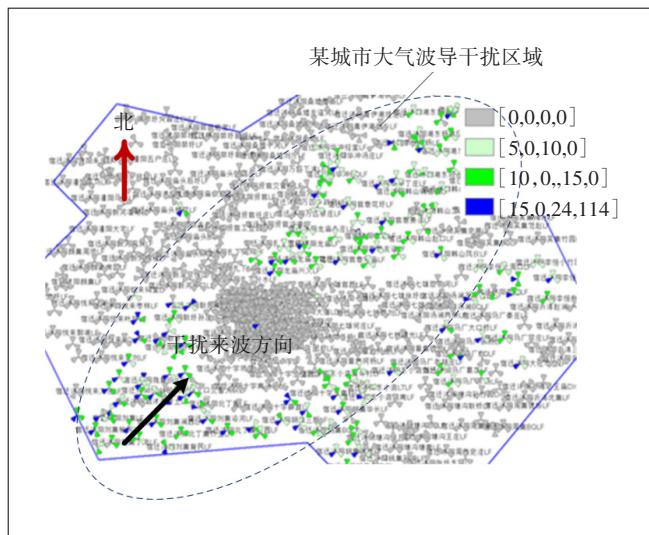


图4 大气波导干扰的方向性

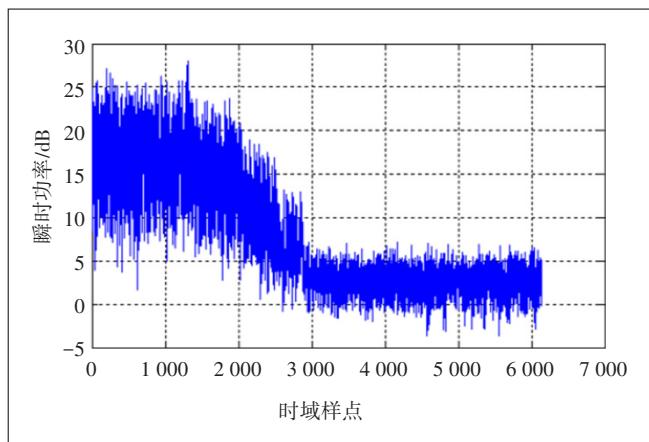


图5 大气波导干扰随符号时序递减趋势

站,只能结合受扰基站的方向估算干扰源大致位置。

4 大气波导对5G NR的影响分析

3.5 GHz NR类似TD-LTE系统,同样也是TDD收发双工、同频组网、上下行频率完全一致,“上下行收发转换”通过特殊时隙的GP进行隔离。从原理上看,5G NR也可能会出现与TD-LTE现网类似的大气波导干扰问题。

基于TD-LTE系统和5G NR系统的各自特性来分析,二者的大气波导问题还可能存在以下联系和区别。

4.1 地形的影响

根据前期TD-LTE部署经验,大气波导干扰主要发生在平原农村或建筑物稀少的郊区和沿海地区,城

区没有出现严重的大气波导干扰。起初大气波导干扰主要发生在1.9 GHz频段,即该时期郊区和农村区域TD-LTE业务的主要承载频段。后来随着2.6 GHz频段在郊区和农村区域的扩容,逐渐发现了该频段的大气波导干扰现象。

预计中国联通3.5 GHz的5G NR初期主要部署在城区,这时3.5 GHz频段上发生大气波导干扰的条件可以类比2.6 GHz频段上的TD-LTE系统,出现严重大气波导干扰的可能性小。若中后期无人机大规模应用,会要求基站波束上仰发射,此时城区3.5 GHz NR连续部署造成大气波导干扰的可能性会有所增加。

4.2 频率的影响

大气波导的信号传播发生在大气的对流层,损耗非常小,不能用自由空间传播模型来评估(不同于自由空间的20倍对数距离)。因此,根据3.5 GHz频段比1.9 GHz频段损耗大5.3 dB,得出5G NR比TD-LTE发生大气波导干扰的概率小的结论并不严谨。

4.3 Massive MIMO技术的影响

TD-LTE的小区参考信号(CRS)是全频谱、全时隙发射,接近10%的RE占用,而且使用的是宽垂直面的广播波束,下行持续发射的CRS是造成大气波导周期内持续存在的一个主要因素。从前期友商的实践经验来看,受扰基站更换高增益天线之后,在大气波导干扰期间,相比普通天线对于大气波导的抑制性能可提升2~3 dB。5G NR的关键技术包括Massive MIMO,该技术相对于普通天线来说,具有波束窄、方向性强等特点,其信噪比性能优于普通天线。NR的大部分业务信道有明确的波束赋型(垂直波瓣非常窄),上仰角的概率低(除了特殊场景应用);而广播信道虽然有较宽的垂直波瓣,但是发射的频域和时域占比较小。因此从天线角度考虑,5G NR抑制大气波导的条件较好,但是还有待后续天线功能的实现、完善,以及现网的效果验证。

4.4 帧格式的影响

4.4.1 干扰距离推算和GP的最大保护距离

针对TD-LTE系统的大气波导问题,友商在多省同步采取了调整特殊时隙的方案,即通过扩大GP保护符号、规避干扰。将多省的特殊时隙由9:3:2同步调整为3:9:2后,大气波导远端干扰发生频次和强度明显降低。

TDD系统的被干扰符号数和干扰距离(施扰站和受扰站之间的距离)计算公式如下:

干扰距离= $T \times c = [(被干扰的符号数/14)/1000] \times 3 \times 10^8 / 1000$ (km)

式中：

T ——被干扰的符号数对应的时长

c ——光速

如果被干扰的符号正好位于GP范围之内,那么系统的上行信号传输就不会受到干扰,因此GP的最大长度代表了系统此时最大的保护距离。如TD-LTE系统特殊时隙配比为3:9:2时,GP最大保护距离=[(9/14)/1000] $\times 3 \times 10^8 / 1000 = 192.9$ km,即TD-LTE系统在该时隙配比条件下,对大气波导的最大保护距离为192.9 km。

5G NR和TD-LTE的干扰距离计算方法以及一定时隙配比条件下GP的最大保护距离计算方法一致,唯一的差别是TD-LTE的时隙是1 ms,而5G NR的时隙采用0.5 ms(本文以5G采取30 kHz子载波带宽配置为例,在其他子载波带宽配置条件下,时隙要做相应的调整),所以相同时隙配比情况下,5G NR的最大保护距离减半。表1给出了TD-LTE系统和NR系统被干扰的符号数与干扰距离的关系。

表1 被干扰符号数与干扰距离的关系

| 被干扰的符号数 | TD-LTE 干扰距离/km | NR 干扰距离/km | 被干扰的符号数 | TD-LTE 干扰距离/km | NR 干扰距离/km |
|---------|----------------|------------|---------|----------------|------------|
| 1 | 21.4 | 10.7 | 6 | 128.6 | 64.3 |
| 2 | 42.9 | 21.4 | 7 | 150.0 | 75.0 |
| 3 | 64.3 | 32.6 | 8 | 171.4 | 85.7 |
| 4 | 85.7 | 41.9 | 9 | 192.9 | 96.4 |
| 5 | 107.1 | 53.6 | 10 | 214.3 | 107.1 |

4.4.2 5G NR 帧结构的考虑

对于5G NR,特殊时隙配比与2.5 ms单和2.5 ms双等帧格式没有特别的关系,2种帧格式可供选择的特殊时隙配比是一样的。从前述内容可以得到,5G NR中GP的每个符号可以提供的干扰保护距离是10.7 km,那么就容易得到每一种时隙配比条件下GP的最大保护距离,例如选择10:2:2的时隙配比,GP占用2个符号,可以规避最大21 km距离的大气波导干扰;而6:4:4的时隙配比,可以规避最大约42 km的大气波导干扰。

系统能够检测到的最大干扰距离大于GP的最大保护距离,这是因为如果大气波导干扰超越GP的保护影响到后续的上行符号时,系统一样可以进行干扰距离的检测。就这一点而言,2.5 ms单双周期的配置是

有区别的,2.5 ms双的第2个周期上行的时隙较多,因此能够在更多的上行符号上检测到更远距离的干扰信号,即能够识别更远的施扰基站。例如,在6:4:4的时隙配比下,2.5 ms双的第1周期共22个符号可以检测远端235 km以内施扰基站,第2个周期36个符号可以检测远端380 km以内施扰站点。

5 5G NR 大气波导干扰的应对措施

5.1 5G NR 大气波导干扰消除的技术框架

为了将大气波导干扰消除功能改进为自适应的过程,减少人工排查,3GPP正在针对5G NR开展基于参考信号的大气波导远端干扰检测与规避的研究工作(3GPP TR 38.866 V16.1.0)。3GPP预计于2020年的R16冻结相关标准,目前待讨论的问题包括参考信号设计、频分发送、冲突解决、带宽部分重叠解决等。

3GPP所设计的架构分为集中式和分布式2种,集中式架构依赖于发挥统一调度作用的网元节点,能够收集施扰和受扰基站的信息。在大气波导发生时,产生并实施正确的干扰规避策略。分布式架构下,施扰和受扰基站两两之间直接交互信息,实施既定的干扰规避算法。所设计的技术框架主要为以下3种。

a) Framework-0。它是一种集中式的架构。该架构需要统一的网管系统(OAM)进行调度,基站检测到大气波导干扰后,可以周期性上报大气波导干扰检测结果信息,远端干扰规避完全由OAM配置决定。该种方案系统建设和调度复杂,时间上难以满足现网大气波导干扰高度动态的处理要求。

b) Framework-1(见图6)。它是一种基于基站之间空口信号传输而实现自适应干扰规避的框架,结构较为简单。受扰和施扰基站之间能够交互的信息有限,但是由于其对网络改动的要求比较低,目前看是较好的选择。Framework-1与友商TD-LTE现网的方案较为相似,根据之前现网验证结果,能够满足现网要求。

c) Framework-2.1。它是一种空口和Backhaul混合的自适应规避干扰框架,需要Backhaul传递施扰站和受扰站信息,对Backhaul冲击较大且协议需要增加基站与核心网之间的信令流程,预计对现网改动较大,方案实施的代价和难度较大,不推荐。Framework-2.2相比Framework-2.1,增加了受扰站的反馈机制,方案实施的代价和难度更大。

这3种方案是并列的,不需要同时支持,运营商和

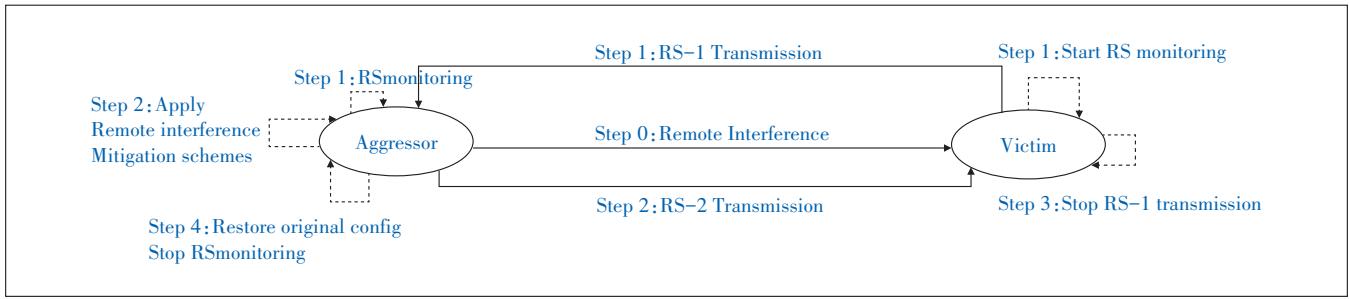


图6 5G NR大气波导干扰消除技术框架1(Framework-1)

厂商可以协商选择一种架构,从目前来看Framework-0更合适。

5.2 5G NR大气波导干扰消除技术方案

如前文所述,大气波导受到气候、地形等环境影响,有较大突发性和随机性。大气波导发生时,施扰基站和受扰基站需要进行临时优化调整。随着时间的变化,大气波导效应可能又逐渐消失,此时,系统必须能够及时将相关调整恢复,确保系统的容量和效率。

友商的特殊时隙配比调整方案简单且有效,结合精确定位施扰基站,及时调整时隙结构,合理降低干扰,响应速度快而且成本较低。但时隙调整后,下行容量会有一定损失,如特殊时隙配比可设为3:9:2,相比10:2:2时隙配比,下行容量损失约为16%。但该种方案实施时,受扰基站覆盖范围能够保持不变,因此该方案适用于用户负荷较少的广域场景。

根据前文所述5G NR大气波导问题的相关特征和5G的技术特性,解决该类型干扰问题的具体思路有以下几种,需要根据基站所处的环境不同、业务量以及覆盖情况进行合理选择。

5.2.1 频域方案

频域调整方案实施较为简单、成本低、反应速度快。可以在施扰站和受扰站,或者两端同时应用。频域方案一般不会影响覆盖,但是对系统容量有影响。

a) 受扰基站可以停止调度受到强烈干扰的RB,这个方法不需要修改技术规范。

b) 基于受扰基站的测量反馈,施扰基站可以在产生干扰的频带上保持静默。

c) 施扰基站的下行和受扰基站的上行可静态或者半静态的配置为频域正交,甚至直接考虑配置在不重叠的连续带宽上。该种方法频谱效率损失较大,目前5G是在3.5 GHz频段上连续100 MHz部署,不利于实施分频调度,一般不建议使用。

5.2.2 空域方案

空域方案可以在施扰、受扰或者两端实施。

a) 降低施扰基站天线高度,这是一种静态方案,会牺牲覆盖能力。

b) 可以考虑在施扰端预定义若干种与干扰程度相关联的天线下倾角下压模式,施扰基站按照模式要求降低下倾角,这样会牺牲覆盖能力。该方案反应速度快,但在电调天线可见可控的条件下才能实现,成本较高。而且只适用于用户负荷较多,且距离基站较远用户较少的场景。

c) 在5G Massive MIMO技术体制下,施扰基站在邻近GP的资源上调度干扰效应最低的波束方向,可以通过大气波导干扰的互易性来判断哪些波束方向是合适的。受扰基站可以通过实施波束零陷或者波束选择,压制干扰。

5.2.3 时域方案

时域方案实施比较灵活,可以在施扰、受扰或者两端实施。

a) 施扰端停止调度产生干扰的下行符号,但是施扰端必须精确知道受扰端到底有多少符号受到了干扰。这对受扰端的信息反馈要求较高。

b) 受扰端停止调度受到干扰的上行符号,这样会降低上行吞吐量,但是这种方法不需要修改技术标准。

c) 施扰端和受扰端可以静态或者动态调整上下行保护间隔的长度,规避干扰,而且这种设置往往需要同步调整施扰和受扰基站周围若干基站的特殊子帧配比,主要是为了防止区域性的干扰。GP设置过长会导致大量基站的下行吞吐量受损。

5.2.4 功率域方案

功率域的技术方案可以考虑降低施扰基站的发射功率,或者提升受扰基站的上行发射功率。降低施扰基站在导致干扰的符号位置的下行发射功率,但是

这样会影响基站的覆盖,而且是否真正减少了对受扰基站的影响还有待确认。提高受扰基站终端发射功率的目的是提高解调信噪比,进而改善解调性能,但会对邻近基站产生干扰,抬升终端的功率消耗。

6 总结和建议

第5.2节所述的大部分技术手段并不需要3GPP层面的技术创新,基本上都是现有技术的灵活应用。由于跨区域之间异厂家设备部署的可能性比较大,不论是哪一种架构,异厂家设备的协同是必不可少的。因此中国联通应当尽早对方案进行研究和确定,在集采设备时做出统一规定,由主设备商具体实现,并支持免费升级自适应的大气波干扰规避。

从方案实时性、复杂度、系统效率和干扰规避效果综合考虑,有以下建议:当大气波导发生时,设备要有检测干扰属性、干扰程度和确定干扰源的能力,受扰站基于干扰功率特征初步判断是否存在大气波导干扰,若受扰,则开始在特殊时段发送并检测特征序列。按照干扰的严重程度和干扰的消除难度逐级提升规避技术的强度,在干扰规避效果和系统能力牺牲方面做到较好的平衡。

a) 优先考虑受扰侧被动规避缓解,但一般大气波导干扰具有互易性,在必要时,启动施扰侧和受扰侧的联合规避,比如在施扰和受扰侧,从时频两域基于RB进行调度规避。

b) 如果上述规避效果不佳,可考虑在施扰侧设置下行符号静默进行规避,还可考虑综合应用功率回退等其他技术方案。进一步还可考虑在两端同时调整时段隙结构。

c) 施扰和受扰站(互易性情况下)连续一段时间检测不到特征序列且干扰功率小于门限则认为大气波导消除,退出规避流程。

参考文献:

- [1] Release 16, Study on remote interference management for NR: 3GPP TR 38.866[S/OL].[2019-03-26]. ftp://3gpp.org.
- [2] 姚展予,赵柏林. 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.
- [3] 陈森,金岩华. 大气波导对TD-LTE无线通信产生干扰问题的分析[J]. 无线互联科技,2018(1):16-17.
- [4] 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,2018,507(5):31-35.
- [5] 姚克宇. TD-LTE系统大气波导远端干扰解决方案研究[J]. 移动通信,2016,40(16):36-41.
- [6] 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,2017,41(20):21-26.
- [7] 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,2018,139(2):23-28.
- [8] 邵茗. 天线在降低TD-LTE系统大气波导干扰中的运用[J]. 盐城工学院学报(自然科学版),2017,30(3):54-57.
- [9] 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.
- [10] 杨波. 大气波导通信技术对TD-LTE产生的干扰及优化方案研究[J]. 数字技术与应用,2018(1):18-20.
- [11] 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,2017,30(10):73-78.
- [12] 张育红,姜军君,王迎军. TD-LTE远端同频干扰解决方案研究[J]. 移动通信,2016,40(4):68-72.
- [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,2018,250(7):77-81.
- [14] 吴浩. TD-LTE网络主要干扰分析与解决规避[J]. 广东通信技术,2017,37(9):55-59.
- [15] 王迪,张丽杰,谢存智,等. 大气波导对LTE系统内的远端同频干扰分析[J]. 通讯世界,2016(10):37-38.
- [16] 任香凝. 大气波导传播现象研究及通信应用设想[J]. 无线电通信技术,2014,40(6):24-28.
- [17] 林伟,察豪,史建伟,等. 浅谈海上大气波导形成及其测量预报技术[J]. 微计算机信息,2006,22(4):156-158.
- [18] 唐志波. 大气波导对LTE系统的干扰及预防策略[J]. 信息通信,2018,190(10):212-213.
- [19] 刘成国,蔺发军,潘中伟,等. 大气波导环境数据库及其应用[J]. 电波科学学报,2002,17(1):35-37.
- [20] 张兴民. 5G移动通信技术中毫米波降雨衰落特性研究[D]. 西安:西安电子科技大学, 2018.
- [21] 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):40-45.
- [22] 魏泽华. 中心完成超短波频段远程接收实验研究工作[J]. 中国无线电,2018,280(12):3-3.
- [23] 华志超. 大气波导对TD-LTE网络的影响以及监控优化方法 [C]//面向5G的LTE网络创新研讨会(2017)论文集. 2017.
- [24] 章永崎. 一种大气波导干扰智能优化系统[J]. 信息通信, 2018, 187(7):261-262.
- [25] 张涛,贾永超,唐行斌. 大气波导干扰解决方法研究[J]. 山东通信技术, 2016, 36(4):5-9.

作者简介:

许国平,高级工程师,博士,主要从事网络优化工作。

