

5G 远端干扰优化应用

金 淼¹, 樊忠文²

(1. 华信咨询设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310052; 2. 华为技术有限公司, 浙江 杭州 310052)

摘 要: 远端干扰伴随 TDD 通信制式诞生就一直存在的特有干扰现象, 当前 5G 网络主力承载架构为 C-Band TDD 制式, 高频段干扰问题愈发严重。针对 5G 结构特性进行深入分析, 同时通过网络优化调整来有效规避当前远端干扰短板, 进而提升网络系统稳定性。最后, 丰富 5G 远端干扰实际优化手段, 为 TDD 网络质量提升提供研究方向。

关键词: 5G; 远端干扰; 干扰; 特殊时隙配比

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.211942

中文引用格式: 金淼, 樊忠文. 5G 远端干扰优化应用[J]. 电子技术应用, 2022, 48(10): 60-62, 68.

英文引用格式: Jin Miao, Fan Zhongwen. 5G remote interference optimization application [J]. Application of Electronic Technique, 2022, 48(10): 60-62, 68.

5G remote interference optimization application

Jin Miao¹, Fan Zhongwen²

(1. Huaxin Consulting Design Institute Co., Ltd., Hangzhou 310052, China;

2. Huawei Technology Co., Ltd., Hangzhou 310052, China)

Abstract: Remote interference has been a unique interference phenomenon since the birth of TDD communication system. At present, the main bearer architecture of 5G network is C-band TDD system, and the problem of high-frequency interference is becoming more and more serious. This paper makes an in-depth analysis on the characteristics of 5G structure, and effectively avoids the current remote interference short board through network optimization and adjustment, so as to improve the stability of the network system. At last, this paper enriches the practical optimization means of 5G remote interference, and provides research direction for improving the quality of TDD network.

Key words: 5G; remote interference; interference; special time slot ratio

0 引言

数字无线通信时代, 干扰因无线波特有属性而无可避免存在各类制式网络架构中, 而干扰对 5G 通信时代超大带宽(eMBB)、超低时延(uRLLC)、超大连接(mMTC)三大业务特性影响较为广泛。5G 频谱频范围主要分布于 2.6 GHz 和 3.5 GHz 附近, 通信带宽由于协议规定采用 TDD 网络制式提升频谱利用效率, 降低设备设计成本。无线干扰存在多种类型, 其中最不可控的类型属于外部干扰, 因其隐蔽性、突发性、无规律性备受各大网络运营商苦恼, 而传统外部干扰通过扫频、基站侧 FTT 检测、重大活动保障排查等手段能够快速定位。但是部分干扰源来自远端, 其定位精度、定位及时性都很差, 无法有效及时规避, 特别是当前 5G 横跨带宽较大, 受到远端干扰影响更加明显^[1]。

1 远端干扰现象原理

远端干扰(大气波导)现象为特定条件下气

象、地理条件下发生的自然现象。如图 1 所示, 由于对流层中存在逆温或水汽随高度急剧变小的层次, 在该层中电波形成超折射传播, 大部分电波辐射被限制在这一层内, 类似于在波导中传播。无线电磁波信号在远端干扰中传播损耗很小, 从而实现超远距离传播, 类似于无线电传播方式^[2]。

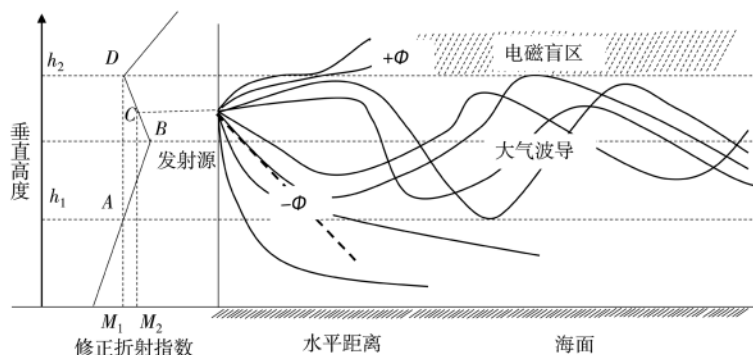


图 1 远端干扰示意图

2 远端干扰形成分类

2.1 远端干扰形成原理

大气波导的产生一般需要满足 3 个条件:(1)大气中存在局部稳定的特定气象条件区域;(2)在这个区域内空气密度在垂直方向分层,层与层之间存在明显的变化(冷热空气导致的密度差、水汽蒸发、雾、霾等),电波折射率垂直面发生连续变化;(3)当电波发射角度满足某一临界角度,且无线电波波长远小于波导厚度,则形成波导传播^[3]。

图 2 中, H 为波导顶高度, h_1 为陷获层顶高度, h_2 为基础层底高度, d 为波导厚度, d_1 为陷获层厚度, d_2 为基础层厚度, Δm 为波导强度。大气波导有 4 种类型,其中表面波导(Surface Duct)形成于地球表面,有 a 类和 b 类两类。蒸发波导(Evaporation Duct)是一种特殊类型的 a 类表面波导,常见于大面积的水面(海洋);b 类表面波导与抬升波导类似,只是基础层部分与地球表面相接;a 类表面波导需要借助地球表面进行全反射,因此在地形平坦(水面、沙漠、荒原等)区域传播较远,影响较大;抬升波导(Elevated Duct)物理位置比较高,一般在海拔 3 000 m 以下范围形成。电波在陷获层和基础层间传播,不受地形起伏影响,能传播非常远的距离,收/发天线都位于同一波导内部,电波传播损耗最小^[4]。

2.2 5G 远端干扰形成

5G 的大气波导干扰问题形成的原理与 LTE 相同,但是由于 5G 的帧结构和波束特性与 LTE 的存在差异,在实际业务场景下造成的干扰影响与 LTE 之间存在一定的差异性。在传统 5G 场景下,属于 TDD 制式,远端干扰主要是干扰源小区的信号在达到本干扰小区时出现了由于传播时延导致的时隙错位的情况,如图 3 所示的 5G 整体 Slot 错位的情况对比,干扰源小区的部分 D 的

符号位落在了被干扰小区的 GP 符号位和 U 符号位上,造成了干扰问题^[5]。

按照 5G 的符号长度,传播时延 1 个符号,传播距离大概是 10 km。5G C-band 频段,帧结构中单个 Slot 的长度为 0.5 ms。其中单符号传播距离= $0.5 \text{ ms}/14 \times C=0.0005 \text{ s}/14 \times 300\,000\,000 \text{ m/s}=10\,714 \text{ m}$ 。由于远端干扰的影响,不同的时隙配比下抵抗远端干扰的距离不一样,换言之只要 5G 上下保证 D 符号与 U 符号不错位,抵抗的距离越大,抗干扰能力越强。如表 1 所示,相比而言使用 10:2:2 时隙配比会导致出现的抗干扰的能力比较低,而采用 6:4:2 或者 8:4:2 配比则进一步提升抵抗距离。

表 1 5G 不同时隙配比下抗远端干扰距离

| 特殊时隙配比 | 抗远端干扰的距离/km | 理论容量损失/% |
|--------|-------------|----------|
| 11:1:2 | 11 | +2.22 |
| 10:2:2 | 21 | 基准值 |
| 9:3:2 | 32 | -2.22 |
| 8:4:2 | 43 | -4.44 |
| 7:5:2 | 54 | -6.67 |
| 6:6:2 | 64 | -8.89 |

3 5G 远端干扰优化手段

3.1 修改特殊时隙配比

相较于 4G LTE 网络而言,5G 帧结构较为特殊,能够按照实际网络需求进行上下行以及特殊时隙配比修改,从 11:1:2 修改到 6:6:2 来实现 GAP 符号错位,提升小区的抗干扰能力。一般而言,一个 GAP 符号干扰距离为 10.7 km,不同特殊时隙配比抗干扰的能力不一样,选择的特殊时隙配比越大,抗干扰能力越强,但是下行容量的损失也越大,进一步造成相关网络质量下降^[6]。而特殊时隙配比越小,抗干扰能力越弱,下行感知速率也

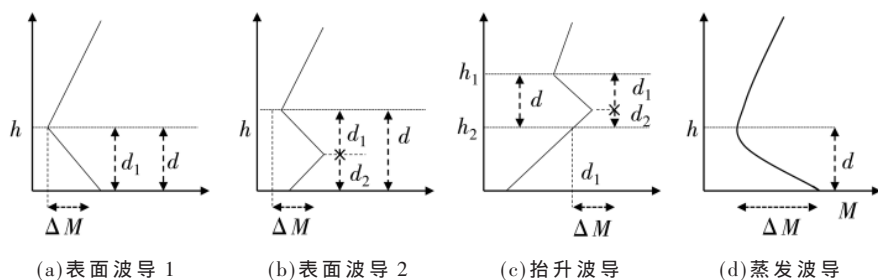


图 2 大气波导类型

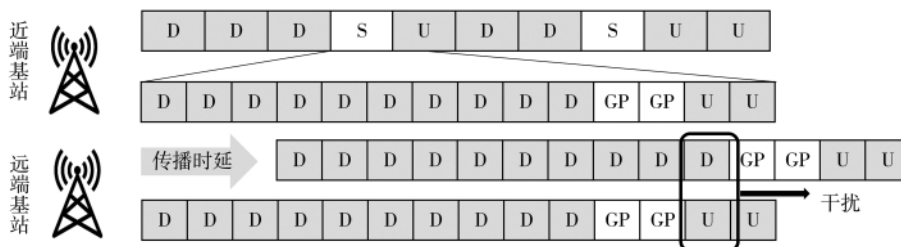


图 3 5G 远端干扰形成原理

越低, SRS 干扰与单用户感知距离的关系如图 4 所示。根据实际场景的数据分析, 在海岛场景下, 5G 2.6 GHz 频段受到的大气波导干扰, 最远干扰距离达到了 150 km 以上(最远干扰源在符号 13 上), 而考虑严重干扰区域, 则在 30~100 km 范围内会形成连片干扰(干扰源分布在符号 6~11 上), 且干扰强度处于中心点位最高两边递减趋势, 因此根据干扰强弱梯度合理规划时隙配比能够有效避免区域处于最强干扰范围内, 且有效保证下行容量。

3.2 通过远端干扰识别优化

通过实施远端干扰管理特性来识别远端干扰小区, 并针对远端干扰源小区进行下行 Slot 发射的控制来降低对干扰源小区的影响。通过基站侧当干扰时增加 GP 符号, 当干扰减少时减少 GP 符号。同样可以通过时隙 0 和时隙 1 关断, 理论保护距离增加至 556 km, 但是下行速率降幅较大。通过这 3 个符号(1 个 GP 符号和 2 个 U 符号)位上面的干扰程度的差异性, 可以判断是否出现了大气波导干扰问题, 一般当 GP 符号的干扰大幅抬升, 但是后面 2 个符号的干扰无明显变化时, 可以判断出现了大气波导干扰问题^[7]。当前 5G 通信基站一般为 AAU 有源设备, 具备大气波导干扰检测的方式, 可以主动发起大气波导干扰检测, 根据小区特征序列识别干扰源小区, 通过自动增加 S 帧中 GP 符号数量, 以缓解大气波导干扰影响。

3.3 RF 规划优化降低 SRS 干扰

针对大量干扰源小区, 通过结合无线电磁波传输特性以及基站设备发射波球形特性分析发现, 90% 以上的干扰源小区都集中在站高 30 m 及以上、下倾角 8° 及以下的小区。如图 5 所示, 结合理论分析, 基站在实现覆盖连续的情况下, 干扰源分布站点的基站高度和基站总下倾角呈现一定线性关系, 结合线性曲线分布来看, 站高

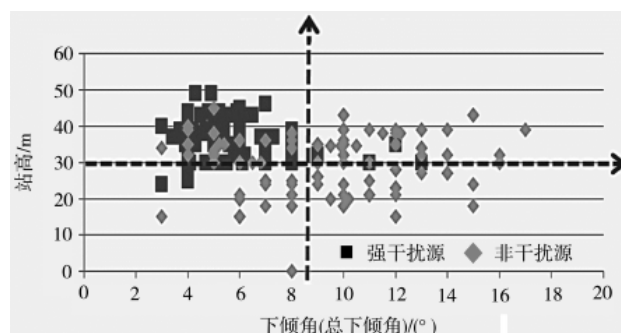


图5 干扰源小区站点分布特性(倾角与干扰源分布)

越高, 下倾角越大^[8]。如图 6 所示, 站间距超过 500 m 的区域, 站高大于 30 m 的站点下倾角理应至少 8° 以上, 通过全网压低下倾角可以有效减少强干扰源。尤其是高站的影响最大, 但是同时会对覆盖有所牺牲。结合调整优化强干扰下功控参数、基站发射功率优化等手段调整优化重叠覆盖区域, 同时抬升终端发射功率来提升终端接入能力, 共同降低干扰强度。农村区域的大量高塔站、高功率站点需要适当降低无线信号在波导层内的传播能

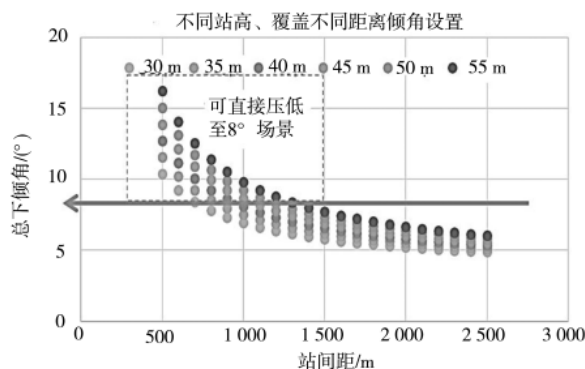
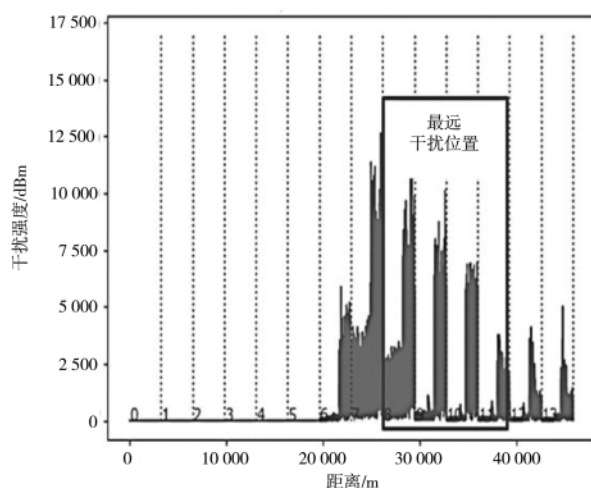
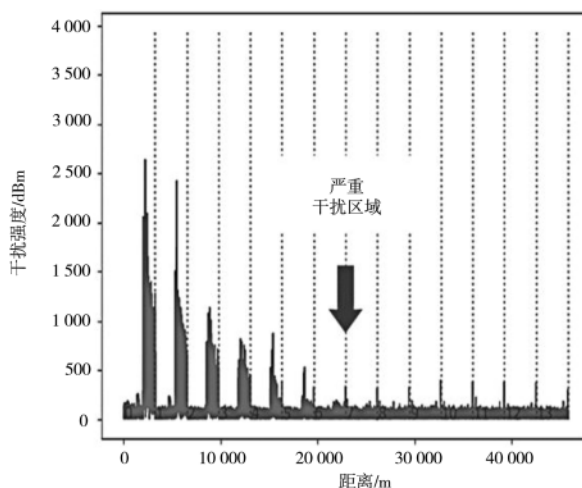


图6 干扰源小区站点分布特性(站间距与挂高关联分布)



(a) Frame=6, Slot=17



(b) Frame=6, Slot=18

图4 10:2:2 时隙配比下干扰距离

(下转第 68 页)

- Kerberos 扩展协议及其形式化分析[J].信息安全, 2020, 20(12): 91-97.
- [8] SINISA T, MILICA K, MIHALJEVIC M J. Analysis and correction of the attack against the LPN-problem based authentication protocols[J]. Mathematics, 2021, 9(5): 573-574.
- [9] KOSTRIKOV I, NAIR A, LEVINE S. Offline reinforcement learning with implicit Q-learning[J]. arXiv preprint arXiv: 2110.06169, 2021.
- [10] 张书钦, 李凯江, 张露, 等. 基于 Q-learning 机制的攻击图生成技术研究[J]. 电子科技, 2018, 31(10): 6-10.
- [11] 龚翔, 冯涛, 杜谨泽. 基于 CPN 的安全协议形式化建模及安全分析方法[J]. 通信学报, 2021, 42(9): 240-253.
- [12] 顾纯祥, 王焕孝, 郑永辉, 等. 基于 SAT 的安全协议惰性形式化分析方法[J]. 通信学报, 2014, 35(11): 117-125.
- [13] ZHUANG H, DONG K, QI Y, et al. Multi-destination path planning method research of mobile robots based on goal of passing through the fewest obstacles[J]. Applied Sciences, 2021, 11(16): 7378.
- [14] ROVIRA-SUGRANES A, AFGHAH F, QU J, et al. Fully-echoed Q-routing with simulated annealing inference for

flying adhoc networks[J]. IEEE Transactions on Network Science and Engineering, 2021, 8(3): 2223-2234.

- [15] CABUK U C, DALIKILIC G, DAGDEVIREN O. CoMAD: context-aware mutual authentication protocol for drone networks[J]. IEEE Access, 2021, 9: 78400-78414.
- [16] Lin Guichao, Zhu Lixue, Li Jinhui, et al. Collision-free path planning for a guava-harvesting robot based on recurrent deep reinforcement learning[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2021, 188: 106350.

(收稿日期: 2022-02-14)

作者简介:

吕乐乐(1997-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 漏洞挖掘、强化学习。

董伟(1986-), 通信作者, 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向: 计算机网络安全、渗透测试、工控信息安全检测, E-mail: keepersecuritys@163.com。

赵云飞(1969-), 男, 硕士, 教授级高工, 主要研究方向: 强化学习、工业控制系统信息安全、计算机网络安全。



扫码下载电子文档

(上接第 62 页)

量, 减小对远端基站的干扰强度, 通过对本端小区远程电调来实现对小区覆盖范围的收缩, 降低对远端小区的干扰, 实现对干扰源强度的抑制。

4 结论

5G 发展是当前主流趋势, 无线通信无法避免受到外部干扰, 大面积 5G 站点建设需要关注远端干扰带来的负面影响, 根据 5G 系统及大气波导干扰特点, 仍可借鉴 TD-LTE 大气波导应对经验制定相应的定位、规避措施。同时, 5G TDD 系统在实际部署场景中使用新技术来有效规避远端干扰, 如修改特殊子帧 GP 长度、调整时隙配比避开强干扰区域、优化超高站点等。

参考文献

- [1] 李常国, 李国强, 贺庆. 2.6GHz 频段 5G 大气波导干扰研究[J]. 山东通信技术, 2019, 39(4): 14-16.
- [2] 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, 9(8): 34-39.
- [3] 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, 31(9): 40-45.

- [4] 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, 12(10): 207-208.
- [5] 赵洪锋, 王超, 秘俊杰. TD-LTE 网络大气波导干扰研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2017, 30(9): 73-78.
- [6] 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): 35-39.
- [7] 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, 29(11): 1134-1139.
- [8] 周朋, 张海勇, 贺寅, 等. 大气波导在海上通信中的应用[J]. 电讯技术, 2014, 15(8): 84-88.

(收稿日期: 2021-07-14)

作者简介:

金淼(1972-), 男, 本科, 工程师, 主要研究方向: 无线通信网络的规划、设计、优化等。

樊忠文(1992-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 无线通信网络规划、优化等。



扫码下载电子文档

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所