# 5G远端干扰原理研究及优化实践

Research and Practice of 5G Remote Interference Optimization

# 钱祖良,肖 亚(中国电信股份有限公司浙江分公司,浙江嘉兴 314000)

Qian Zuliang, Xiao Ya (China Telecom Corporation Limited Zhejiang Branch, Jiaxing 314000, China)

#### 摘 要:

目前我国C-band主流频段的5G网络皆采用TDD模式,与FDD模式不同的是, 若TDD基站下行信号传播时延超过GAP长度,落入其他基站上行接收窗口,则 会产生远端干扰,严重影响上行业务质量。针对5G远端干扰,目前业内主流优 化方案分为修改系统时隙结构、受扰端干扰抑制及干扰源自主降扰3类。分别 论述了以上3类方案的技术原理,并通过实际优化实践对比了其效果。

#### 关键词:

5G;远端干扰管理;网络优化 doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2024.07.010 文章编号:1007-3043(2024)07-0052-04 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:

At present, the 5G networks of C-band in China adopts TDD mode. Unlike FDD mode, if the downlink signal propagation delay of TDD base stations exceeds the GAP length and falls into the uplink receiving window of other base stations, it will generate remote interference, seriously affecting the quality of uplink services. In view of 5G remote interference, the current mainstream optimization solutions in the industry are divided into three categories: modification of the time slot structure, interference suppression at the victim site, and independent interference reduction at the interference sources. The technical principles of the above three types of schemes are discussed separately, and their effects are compared through practical optimization practices.

#### Keywords:

5G; Remote interference management; Network optimization

引用格式:钱祖良,肖亚.5G远端干扰原理研究及优化实践[J].邮电设计技术,2024(7):52-55.

## 0 引言

目前,由于eMBB提出的大带宽要求,5G网络Cband 的主流部署模式为 TDD 模式。与 LTE 时代 TDD 系统类似,5G TDD系统也存在着远端干扰问题<sup>[1]</sup>。其 主要原因为远端基站的下行信号经数十或数百千米 的超远距离传输,信号传播时延超过GAP长度,落入 近端基站上行接收窗内,造成严重的上行干扰。远端

干扰的发生原因主要有超高站诱发、天馈不合理及大 气波导等。针对远端干扰问题,目前业内主流的优化 思路分为2类:施扰站主动降扰和受扰站被动规避。 3GPP TS 38.866 R16 版本中规定的 RIM 框架方案即属 于施扰站主动降扰的一种。在无线网络中,由于基站 和终端间上下行功率不平衡的存在,5G网络仍然是一 个上行业务受限的网络。针对远端干扰的优化研究 与实践将提升网络上行覆盖性能,降低网络覆盖建设 成本,在提高无线网络部署效益方面具有相当重要的 价值。

收稿日期:2024-05-16

## 1 技术原理

#### 1.1 远端干扰简介

在最初5G TDD系统的时隙结构中,协议设计了 GP(Guard Period)进行上、下行时隙的隔离,避免上下 行信号间互相干扰。但是,当干扰站下行传播时延过 长时(见图1),干扰源gNodeB的信号远距离传输至受 干扰gNodeB,当传输时间超过GP时,干扰源gNodeB 的下行信号在受干扰gNodeB的上行时隙被接收,干扰 了受干扰gNodeB的上行接收,产生远端同频干扰。在 5G信道系统中,用于上行信道质量估计、上行调度乃 至上行波束管理的SRS信道被放置于S子帧最后6个 符号中的连续1、2或4个符号。因此远端干扰最明显 的现象为受扰站对终端SRS信号的接收能力下降,错 误估计或无法估计终端上行信道质量,网络上行质量 大幅受损,无线业务掉线率显著升高。





在各类远端干扰原因中,大气波导导致的远端干扰最为常见同时也最为严重。大气波导是由于特定 气象、地理等原因,携带无线信号的电磁波传播时如 同在波导中传播一样,传播损耗很小,可以绕过地平 面实现超远距离传输<sup>[2]</sup>。在5G的时隙结构设计中,上 下行时隙一般由2~4个子帧进行隔离,其对应的GAP 保护距离为21.4~42.8 km,而大气波导发生时,无线电 信号可传播超过100 km。经研究统计,我国大气波导 现象常发生于诸如华北、华东平原的平坦区域和东 部、南部沿海区域,涉及省份众多,影响面积非常大。

1.2 远端干扰优化原理

如图2所示,根据优化对象的不同,针对TDD系统 远端干扰的优化技术主要分为2类:施扰站主动降扰 和受扰站被动规避。其中受扰站被动规避目前应用 较为广泛,根据其实现原理,主要分为以下2类。

a)时隙结构重构。目前常用的且协议规定的时隙结构中,在7:3双周期配比下GP符号可配置为6个。其对应的传输保护距离为64.2 km,能够应对较大多数的远端干扰场景。然而,此方法也存在较明显的不足,针对保护距离以外的远端干扰,此技术方案无法规避。另外,该方案为结构性调整方案,需全网调整实施,否则将由于时隙不同步引发干扰。同时,由



图2 远端干扰优化技术分类

于 GP 在时域占用了更多的资源,下行业务峰值速率 将会受到全网性的影响。

b) SRS 信道迁移规避。即将 SRS 信道拖后部署 至后端无干扰的上行 S时隙,使得原本的受扰基站能 够在不受干扰的后续上行时隙接收终端发送的 SRS 参 考信号。该方案无需全网规模性部署,可灵活实施于 部分严重受扰基站。然而,此方案需要网络与终端共 同协商。同时因为 SRS 被延迟发送,上行时延将会增 大,部分时延敏感类业务将会受到影响。 由于受扰站被动规避策略存在着一定的弊端,针对5G TDD系统远端干扰问题,3GPP协议制定了被扰基站反馈,受扰基站主动GAP扩展的施扰站主动降扰方案,即远端干扰管理方案(Remote Interference Management,RIM)<sup>[3]</sup>。

如图3所示,3GPP RIM方案是一套干扰站监听受 扰站反馈后自主实施远端干扰缓解的反馈应答方案, 此方案具体流程如下。

a) 施扰站发送的下行信号被受扰站在特殊或上





行子帧被受扰站接收,导致受扰站系统内干扰。

b)被扰站持续发送 RIM-RS 1 信号,并开始监听 系统内 RS 信号。RIM-RS 信号是一个最大长度为 22 bit、固定带宽为 20 MHz 的在系统下行符号发送的 5G TDD 系统内站间通信信号。

c)网络内的施扰站在接收到 RIM-RS 1 信号后, 将对自身实施干扰缓解措施。此措施可以是自主功 降、自动电下倾调整和自动 GAP 拓展等。在完成自主 调整后,施扰站将会发送 RIM-RS 2 信号进行系统内 广播。

d)被扰站接收到 RIM-RS 信号后,将会再次检测 自身上行信道质量,如在定时器时间内上行信道质量 有所改善,将会停止 RIM-RS 1 信号的发送。若信道 质量仍未改善则将会持续发送 RIM-RS 1 信号。

e) 施扰站在定时器时间内如未接收到 RIM-RS 1 信号则会自动回退 c)中的自主干扰缓解动作,等待下一次循环流程。

RIM架构方案能够动态化地实现网络内施扰站自 我修正,精准且高效地实现远端干扰自主修复。符合 网络的 SON (self-organize-network)的智能化发展方 向。同时,由于 RIM RS 信号引入了码分算法<sup>[4]</sup>,网络 管理人员能够在被扰站实现干扰基站统计。统计结 果能够为进一步的网络优化提供数据支持。然而, RIM架构方案仍存在一定的不足。如干扰站与被扰站 间信号传输不互易,干扰站则无法接收到受扰站发出的RIM-RS1信号。

#### 2 远端干扰优化性能验证

基于第1章中所述的3类5GTDD系统远端干扰 优化技术原理,本章将讨论3类优化方案的实际优化 性能,并对各类方案进行对比。

此次研究选在大气波导发生时,选取同一省份相 邻地(市)且具有相近网络结构的各100个5G站点,分 别实施结构性时隙调整、SRS信道迁移和RIM自动化 GAP拓展3类网络优化方案,以5G无线连接掉线率、 用户上行平均感知速率等指标的优化前后7天的平均 值来衡量各方案的性能。

#### 2.1 时隙结构调整

权衡时域损失与上行干扰损失,将现网10:2:2的 时域结构修改为8:4:2,理论保护距离提升21.42 km, 理论最大下行时域损失为4.4%,最终优化结果如表1

表1 时隙结构修改效果

指标项	修改区域 变动	未修改区域变 动	相对变动
NR 掉线率/pp	-1.9	+0.54	-2.44
上行平均速率/(Mbit/s)	+3.5	-2.4	+5.9
下行平均速率/(Mbit/s)	+3.8	-1.4	+5.2
实际修改基站数	900	-	-

所示。

#### 2.2 SRS信道迁移

SRS信道迁移的实现方式为将其中特殊时隙中的 SRS信道迁移至周期中最后1个上行时隙的最后2个 符号。另外一个特殊时隙中的SRS留于上行高负荷时 使用。最终优化结果如表2所示。

表2	SRS信道迁移效果
----	-----------

指标项	修改区域 变动	未修改区域变 动	相对变动
NR 掉线率/pp	-1.2	+0.65	-1.85
上行平均速率/(Mbit/s)	+2.1	-1.2	+3.3
下行平均速率/(Mbit/s)	+7.5	+1.4	+6.1
实际修改基站数	240	-	-

#### 2.3 RIM协议方案

在试点区域部署基于GAP自动拓展的RIM协议 方案。受扰站在接收到RIM-RS1后将向PDSCH信道 方向拓展7个符号。受扰站与被扰站的检查定时器皆 设置为15 min。最终优化结果如表3所示。

指标项	修改区域 变动	未修改区域变 动	相对变动
NR 掉线率/pp	-1.4	+0.60	-2
上行平均速率/(Mbit/s)	+2.5	-1.1	+3.6
下行平均速率/(Mbit/s)	+8.9	+0.1	+8.8
实际修改基站数	900	-	-

表3 RIM部署效果

经比对基站日志,实际仅有22个基站被网络自动 识别为干扰基站,并自动下发过干扰缓解措施。

#### 2.4 小结

如表4所示,3类方案在优化效果、优化对象和部 署难度上存在着明显差异性。时隙结构调整虽牺牲 了一定下行时域资源,但由于NR网络掉线率的下降, 全网整体下行速率的下降并不明显。SRS信道迁移在 速率提升方面表现相对一般,但其部署难度在3类中 最低,且不会带来系统内的额外开销与干扰。RIM协 议方案实现了施扰站的针对性自动化调整,各项优化 性能在对比中均有不错的表现。

修改方案	掉线率优化	主要速率优化	部署难度
时隙结构调整	高	上、下行速率	大
SRS信道迁移	低	上、下行速率	低等
RIM协议方案	中等	上、下行速率	中等

#### 3 结束语

本研究对5G TDD系统中远端干扰及相应优化技 术方案的原理进行了讨论与实践部署测试,并重点论 述了3GPP 提出的 RIM 远端干扰优化方案的技术架 构。整体而言,RIM方案在实地部署中表现出较为均 衡的优化性能,其提供的重点干扰站点清单也为后续 进行传统 RF 优化提供了数据支撑。远端干扰优化在 以TDD 时分系统为主的5G NR 网络中具有更加重要 的实际意义与价值。通过降低系统内上行信道的干 扰,边缘5G 用户将会拥有更加良好的无线网络使用体 验。通过拓展5G 的上行覆盖边缘,在不新建站点的情 况下,整体网络容量也能够有所提升。因此,远端干扰 优化也具备较大的社会效益价值。

本文对目前业内主要的5G远端干扰网络优化技 术方案进行理论研究与实践对比,总结归纳出了各类 方案的性能与部署难度。与此同时,RIM方案在我国 仍处于试验拓展阶段,从原理上分析,该方案具备明 显的规模效应。随着通信技术和端网协同的不断深 化,SRS信道迁移、时隙结构调整,甚至其他调制解调 技术也将为受扰站的干扰规避提供更多的网络优化 手段。

#### 参考文献:

- [1] SANGUINETTI L, MOUSTAKAS A L, DEBBAH M. Interference management in 5G reverse TDD HetNets with wireless backhaul: a large system analysis[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2015, 33(6):1187-1200.
- [2] 张玉生,郭相明,赵强,等.大气波导的研究现状与思考[J].电波 科学学报,2020,35(6):813-831.
- [3] 柯颋,吴丹,张静文,等.5G移动通信系统远端基站干扰解决方案 研究[J].信息通信技术,2019,13(4):44-50.
- [4] PERALTA E, LEVANEN T, MÄENPÄÄ M, et al. Remote interference management in 5G new Radio: methods and performance [J]. EURASIP journal on wireless communications and networking, 2021, 2021(1):45.

#### 作者简介:

钱祖良,毕业于华东师范大学,高级 工程师,硕士,主要从事电信技术应 用研究与运营管理工作;肖亚,毕业 于浙江大学,高级工程师,学士,主要 从事移动通信规划与优化工作。

