


5G 近端上行时域干扰分析及 Analysis and Solution of 5G Uplink Time Domain Interference 解决方案研究

梁景舒, 吴钟德, 邱斌, 李土光, 谢绿禹(中国电信股份有限公司深圳分公司, 广东 深圳 518000)
Liang Jingshu, Wu Zhongde, Qiu Bin, Li Tuguang, Xie Luyu(China Telecom Shenzhen Branch, Shenzhen 518000, China)

摘要:

5G 有 TDD 和 FDD 2 种模式, 在 TDD 系统中, 普遍存在远端基站下行信号对近端基站上行信号的干扰的情况。通过近端上行时域干扰的判断方法, 分析得出出现网受干扰的小区占比及其对 5G 网络性能的影响。根据近端上行时域干扰产生的主要原因, 提出调整 S 时隙(Self-contained slot)符号比的解决方案。方案实施后有效提升站点的上行抗干扰能力, 同时上行速率、UE 上下文掉线率及 SA 接入成功率等网络性能得到明显提升。

关键词:

5G; 时隙符号比; 上行时域干扰; 网络性能
doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2023.03.011
文章编号: 1007-3043(2023)03-0058-05
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:

5G has two mode: TDD and FDD. In TDD system, the interference between the downlink signal of the remote base station and the uplink signal of the near base station is common. Through the judgment method of near end uplink time-domain interference, the proportion of cells with the interference and its impact on 5G network performance are analyzed. According to the main causes of near end uplink time domain interference, a solution to adjust the symbol ratio of self-contained slot is proposed. After the implementation of the scheme, the uplink anti-interference ability of the gNodeB is effectively improved, and the network performance such as uplink rate, UE context abnormal release rate and SA standalone access success rate are significantly improved.

Keywords:

5G; Slot symbol ratio; Uplink time-domain interference; Network performance

引用格式: 梁景舒, 吴钟德, 邱斌, 等. 5G 近端上行时域干扰分析及解决方案研究[J]. 邮电设计技术, 2023(3): 58-62.

1 概述

随着 5G 无线网络大规模建设的完成, 5G 网络性能优化问题凸显。目前国内 5G 具有 TDD 和 FDD 2 种模式, 而 TDD 系统由于其自身时分双工的特点, 普遍存在上行干扰的问题。随着 5G 用户的不断增加, 上行干扰带来的上行速率降低、UE 上下文掉线率提升及 SA 接入成功率降低等网络性能问题, 严重影响了用户的使用感知。

陈凯对 5G 干扰特征识别及解决方案^[1]有较为全

面的分析和研究, 韩文冬对 5G 基站上行干扰进行了分析工具的设计与实现^[2], 宋心刚等人对 5G NR 在 2.6 和 4.9 GHz 频段的上行干扰问题做了研究^[3-4], 在结合其他研究^[5-6]的基础上, 本文针对 5G TDD 系统内的时域干扰问题, 通过总结近端上行时域干扰的判断方法, 分析得出出现网受干扰的 5G 小区占比及其对 5G 网络性能的影响; 并提出将 S 时隙(Self-contained slot)的 DL、GP、UL 3 种符号比从 10:2:2 调整至 8:4:2 的解决方案。

2 远端对近端上行干扰原理

Sounding Reference Signal(SRS), 即通常说的上行

收稿日期: 2023-02-01

Sounding 信号, 或探测信号, 一般在上行时隙(UL Slot)中, 其主要用于:

a) 信道质量的估计, 从而用于上行调度、上行TA、上行波束管理等。

b) 上下行信道互易情况下, 利用信道对称性, 估计下行信道质量, 如下行SU/MU MIMO中的权值计算等。

如果SRS信号受到干扰, 会影响上下行信道质量估计、上行调度、波束管理、SRS权值的评估、下行RANK以及MCS选阶等, 会导致网络掉线率、速率等KPI指标的恶化。

如图1所示, 远端产生干扰的原因大致分为2种, 一种是因为近端基站B接收远端基站A下行信号能量过大的干扰, 包括地势落差大、远端基站过高、远端基站下行功率过大或者近端基站仰角过大等原因导致的干扰; 另一种是近端C接收到远端A远距离信号的时域干扰, 无线信号经过大气波导可以进行超远距离传播, 传播时间超过一定范围且信号仍达到一定强度, 就产生对上行信号的干扰。

经过对本地地形的勘察和对现网站点规划建设情况的分析, 发现能量过大造成的干扰小区占比较少; 而从后文的分析可知, 在晚忙时受超远距离传输产生时域干扰的小区占比超过60%。因此本文重点研究解决此类干扰问题。

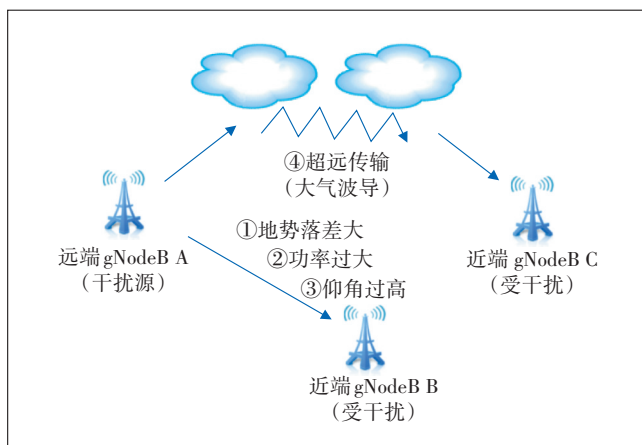


图1 远端基站对近端基站上行干扰原因示意图

在TDD系统的时隙结构中, 通过设置GP隔离上、下行时隙, 避免上下行信号间互相干扰。远端A(干扰源)的信号远距离传输至近端C(受干扰), 当传输时间超过GP的总时间时, 远端A的下行信号在近端C的上行时隙被接收, 此时对于近端C的上行产生干扰, 即远端同频干扰, 如图2所示。由于SRS包含在UL Slot中, 因此很容易对SRS的信号产生干扰。目前本地S时隙的D、GP、L 3种符号的配比为10:2:2。GP符号为2个, 按照1个时隙0.5 ms计算, 2个GP符号的时间可以确保21 km以内不受干扰。超过21 km开始有干扰, 并且当传输距离超过4个GP时间时(约42 km), 远端A站点的D符号完全被近端C所接收, 此时干扰非常严

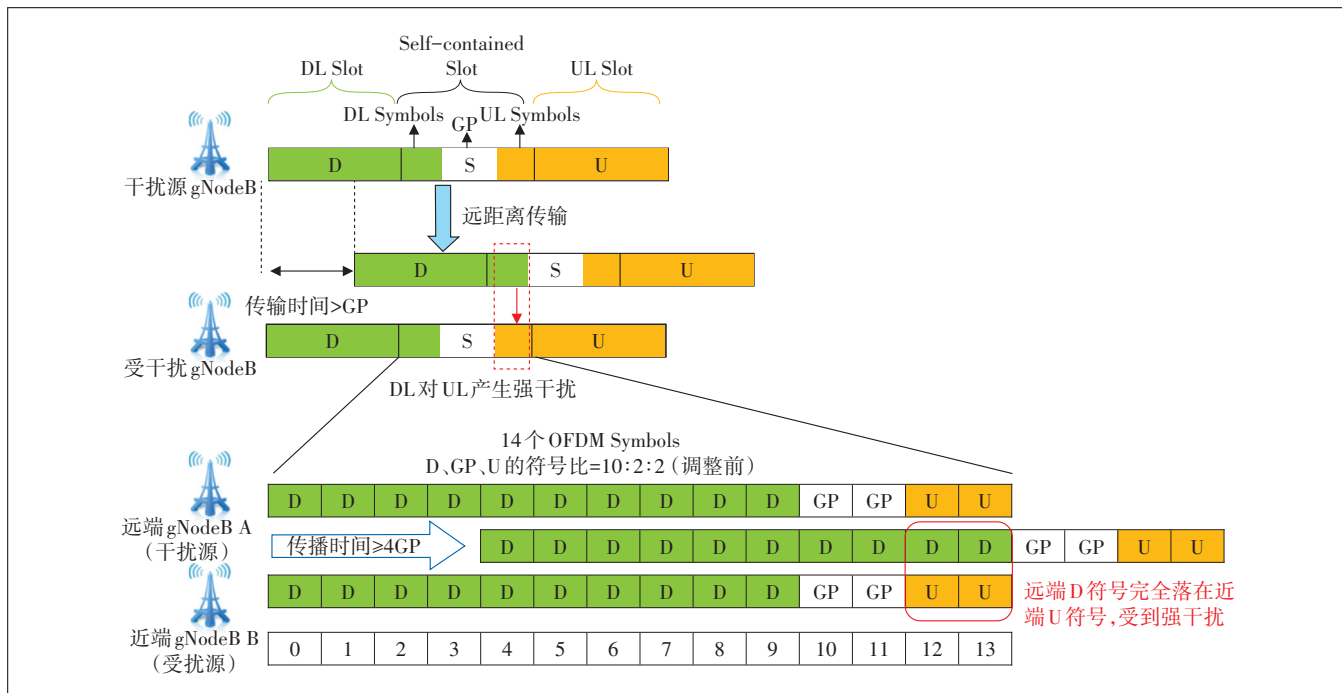


图2 传输时间过长导致上行干扰示意图

重。

3 干扰判断方法及现网分析

3.1 近端上行时域干扰的判断方法

本文采取SUU 3个时隙上不同符号的3个典型的时统指标来进行网络级时域上的干扰判断, 分别如下:

- a) N.GAP.LastSymbol.Pwr: 最后一个GP符号上的功率。
- b) N.UL.NI.Avg: 采集上行Slot符号6上的功率。
- c) N.UL.Last.Symbol13.Pwr: 上行Slot最后一个U

符号上的功率。

通过对某小区反向频谱扫描分析发现, 从符号11开始即最后一个GP(A点), 此时A点干扰强度最大约在-100 dBm, 符号12和13均存在D符号对U符号的干扰, 随着传输距离增大, 衰减增大, 干扰降低, 降至约-107 dBm; 包含B点的UL时隙中, 此时远端和近端的时隙同时为U符号, 信号干扰约保持在-107 dBm; 接收的干扰信号强度持续下降, 约达到-110 dBm。SUU 3个时隙符号内收到的干扰信号强度如图3所示。

通过A、B、C 3点的反向频谱扫描分析, 结合现网

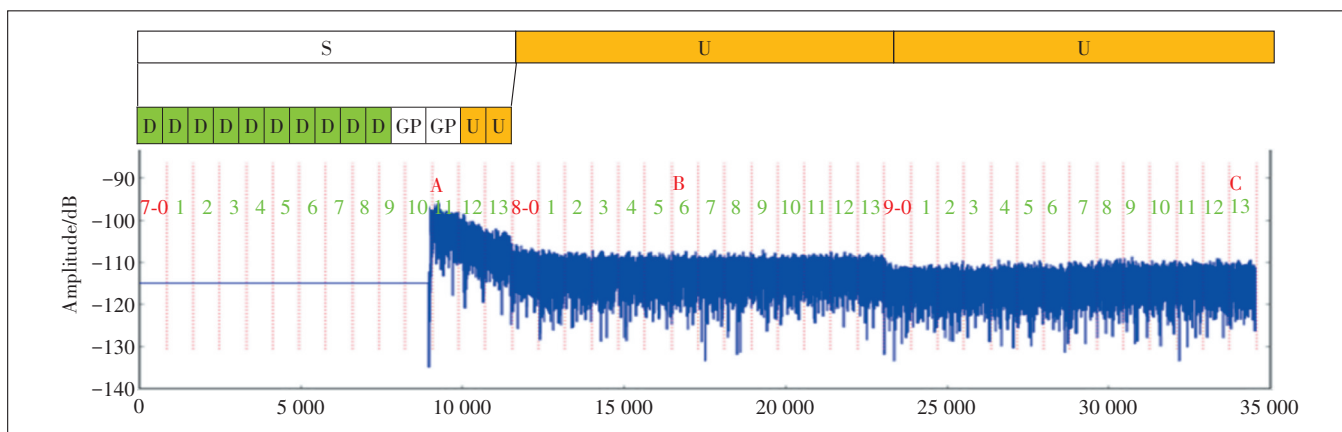


图3 SUU 3个时隙收到的干扰信号强度示意图

的经验值, 近似认为同时满足以下3个条件, 即判断为存在较强的近端上行时域干扰。条件1: 干扰阈值, 在S时隙的A点即最后一个GP上的功率值(N.GAP.LastSymbol.Pwr)大于-107 dBm, 该点即存在较强的干扰。按照自由空间传播模型-弗里斯传输公式(空中损耗 $L = -32.44 - 20\lg(d) - 20\lg(f)$, d 为距离, 单位为km, f 为频率, 单位为MHz), 1个符号传播距离约为10.7 km, 计算10 km增加的衰减约为3.5 dB。通常干扰超过-110 dBm时, 已开始产生明显影响; 本文认为最后一个GP符号上的功率为-107 dBm时, 第1个U符号收到的干扰约-110 dBm; 条件2: 斜坡判断, A点与B点差值大于5 dB, 表征在“整个SUU的上行符号区间”的前半段存在斜坡; 条件3: C点与B点之差的绝对值小于或等于1 dB, 认为“整个SUU的上行符号区间”后半段坡度较小, 干扰减少, 后半段符号接收的干扰强度较低且处于平坡, 对上行信号影响较低。本文归纳为“SUU时隙近端上行时域干扰3点判断法”, 如表1所示。

3.2 现网干扰分析

表1 SUU时隙近端上行时域干扰3点判断法条件表

序号	判断条件	主要作用	判断式
条件1	干扰阈值	GP存在干扰的阈值判断	$N.GAP.LastSymbol.Pwr > -107 \text{ dBm}$ (可根据实际影响情况适当调整门限)
条件2	斜坡判断	SUU前半段存在斜坡	$N.GAP.LastSymbol.Pwr - N.UL.NI.Avg > 5 \text{ dB}$
条件3	平坡判断	SUU后半段坡度较小	$Abs(N.UL.NI.Avg - N.UL.Last.Symbol13.Pwr) \leq 1 \text{ dB}$

3.2.1 干扰判断

全网超过干扰阈值的小区占比: 由上述分析, S时隙最后一个GP符号上的功率为-107 dBm时, 第一个SRS符号收到的干扰约-110 dBm。采集全网晚忙时(每天22:00—23:00)最后一个GP符号功率数据, 高于-107 dBm小区占比约60%, 具体情况如表2所示,

表2 最后一个GP符号功率>-107 dBm的小区数占比

序号	时间	占比/%
1	2021-06-11—2021-06-17	59.50
2	2021-06-18—2021-06-24	61.30
3	2021-07-08—2021-07-14	63.10

可见GP存在干扰。从地理分布图也可看出,小区的位置较为均匀地分布在全市范围内。按照全天平均,每小时约有51%的小区最后一个GP符号功率大于-107 dBm。

坡度判断:通过上面2021-06-11—2021-07-14的数据分析,可知GP最后一个符号干扰确实存在,且功率高于-107 dBm的小区占比较高。同理,采集2021-07-08—2021-07-24每天晚忙时全网小区N.UL.NI.Avg和N.UL.Last.Symbol13.Pwr的值,并根据上述条件2和条件3进行计算,得出符合条件的小区占比情况如图4所示,由图4可知:

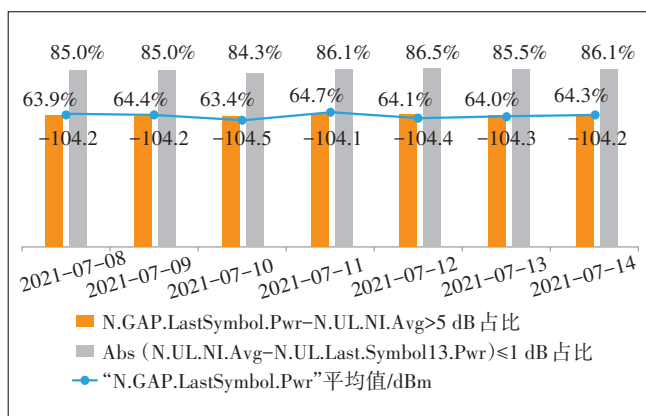


图4 近端上行时域干扰判断(2021-07-08—2021-07-24)

a) 斜坡判断,前半段存在斜坡:N.GAP.LastSymbol.Pwr-N.UL.NI.Avg>5 dB 占比每天均超过60%,即多数小区在“整个SUU的上行符号区间”的前半段存在斜坡。

b) 平坡判断,后半段不存在斜坡:Abs(N.UL.NI.Avg-N.UL.Last.Symbol13.Pwr)≤1 dB 占比超过80%,即多数小区在“整个SUU的上行符号区间”后半段坡度较小。

c) 从图4还可以看出,该时间段内GP最后一个符号的功率的平均值均超过-107 dBm,再次验证干扰存在。

通过以上干扰判断,则说明上行远端时隙干扰普遍存在,进一步计算得出,同时满足3个条件的小区占比约为52%。

3.2.2 对网络性能影响

根据晚忙时最后一个GP符号的不同功率值区间,统计相应小区上行速率、UE上下文掉线率及SA接入成功率等网络性能如图5所示。可以看到随着晚忙时最后一个GP符号功率增大,用户上行感知速率下降、

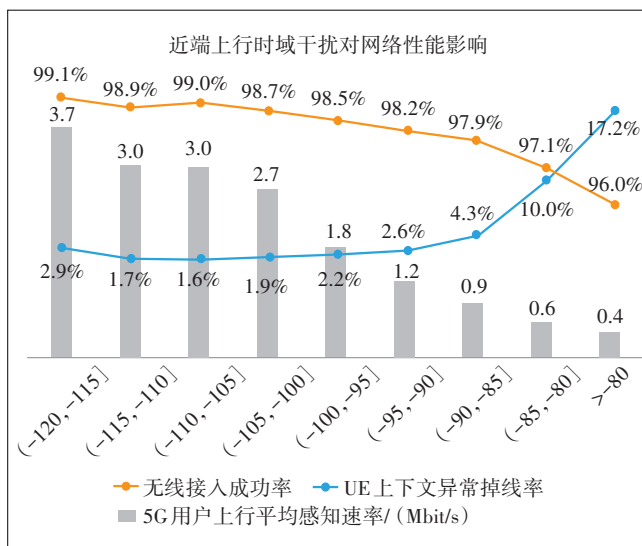


图5 最后一个GP符号的不同功率值区间网络性能变化图

UE上下文掉线率上升以及SA接入成功率降低。小区性能指标逐步下滑,说明上行干扰对现网性能影响较大。

4 解决方案及效果

4.1 解决方案

根据前面分析,近端C站的上行信号受到强干扰,主要是远端A站下行信号传输距离超过了2个GP符号的保护距离,所以可以通过增加GP符号来增强抗远端干扰的能力。调整方案把S时隙的D、GP、U 3种符号配比从10:2:2修改为8:4:2,理论上即可消除远端的下行信号干扰,如图6所示。

4.2 实施效果

对全网小区S时隙的符号比结构进行调整,调整后接近90%的小区S时隙最后一个GP符号接收的功率均有所降低,干扰强度得到改善。干扰改善不同区间的小区占比如表3所示,进一步统计,最后一个GP符号上的功率大于-107 dBm的小区数占比,按照天级统计由调整前51%下降至18%,按晚忙时统计由调整前63%下降至32%。

方案实施后,网络性能得到明显提升。针对最后一个GP符号功率的不同干扰改善区间,按照天级小时平均和按照晚忙时统计,上行速率、SA接入成功率及UE上下文掉线率得到较好提升,具体如图7和图8所示。从图7和图8可以看出,在晚忙时,不同的干扰改善区间UE上下文异常掉线率分别下降0.26、0.21、0.18个百分点,SA无线接入成功率分别提升0.21、0.12、

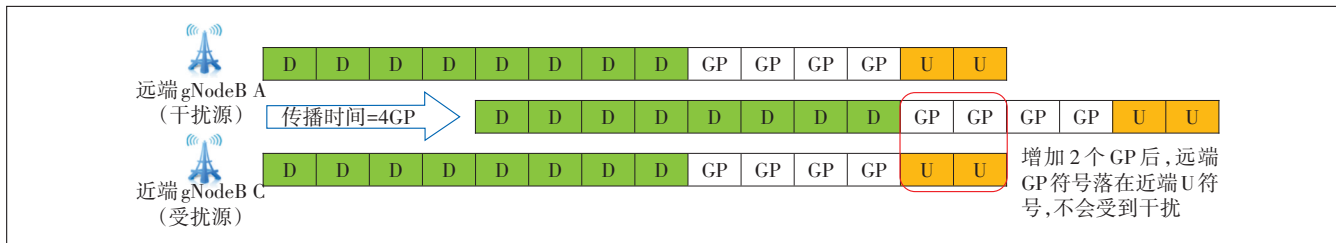


图6 调整时隙符号配比后干扰消除示意图

表3 干扰改善不同区间的小区占比表

序号	干扰改善区间/dB	占比/%
1	[10, +∞)	3.88
2	[5, 10)	30.18
3	(0, 5)	54.96
4	(-∞, 0]	10.98
总计		100.00

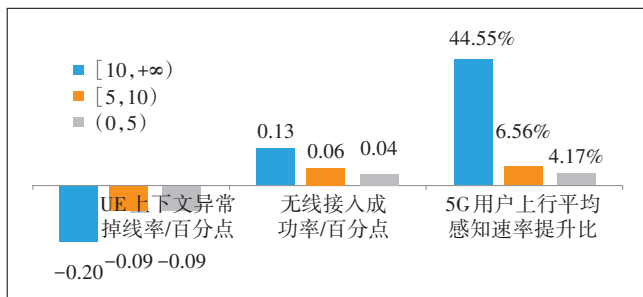


图7 调整S时隙符号比后不同改善区间网络性能提升 (全天小时平均)

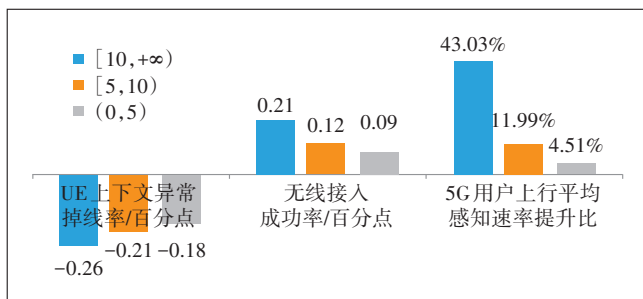


图8 调整S时隙符号比后不同改善区间网络性能提升 (晚忙时)

0.09个百分点;对于庞大的用户使用频次来说,这个改善效果是比较明显的,有效提升了5G用户感知。

5 结论与展望

本文分析了在5G系统内远端基站下行信号对近端基站上行干扰的原理,其中对在大气波导中超远距离传输造成的上行时域干扰进行了重点研究。总结

了SUU时隙近端上行时域干扰3点判断法,判断出全网约52%的小区存在上行远端干扰。通过分析该类干扰对全网性能的影响,提出了调整S时隙符号比的方案。全网实施后,站点的远端上行时域抗干扰能力得到有效提升,用户上行感知速率、UE上下文掉线率以及SA接入成功率等网络性能得到良好改善。但该方案也存在一定的问题和风险,首先由于方案只在本地区域实施,对其他地(市)边界处的站点可能产生阻塞干扰(强干扰会使接收机的非线性器件饱和,产生非线性失真),而且中国电信和中国联通正开展5G共建共享,因此建议中国电信和中国联通在全国区域进行统一调整;其次,由于在S时隙中给下行使用的符号少了,对下行速率会有一些影响。尽管目前影响较小,但随着5G应用对下行速率要求的不断增高,后续还需要进一步综合研究优化方案。

参考文献:

- [1] 陈凯. 5G干扰特征识别及解决方案研究[J]. 邮电设计技术, 2021(4):34-39.
- [2] 韩文冬. 5G基站上行干扰分析工具设计与实现[J]. 现代信息技术, 2021, 5(4):53-55, 59.
- [3] 宋心刚, 张冬晨, 李行政, 等. 2.6 GHz频段5G上行干扰分析与识别研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2021, 34(4):74-81.
- [4] 宋心刚, 张冬晨, 李行政, 等. 5G NR上行干扰问题研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2020, 33(3):79-87.
- [5] 周奕昕, 全诗文, 赵煜, 等. 5G网络大气波导干扰防范研究[J]. 江苏通信, 2020, 36(2):19-22.
- [6] 瞿水华, 彭海燕, 许乐飞, 等. 一种解决上行干扰的专属辅载波技术研究[J]. 广东通信技术, 2021, 41(11):72-75, 79.

作者简介:

梁景舒, 毕业于中山大学光学工程专业, 工程师, 主要从事5G无线网络共建共享等方面工作; 吴钟德, 毕业于南京邮电大学通信工程专业, 工程师, 主要从事5G无线网络系统优化工作; 邱斌, 毕业于北京邮电大学电子科学与技术专业, 工程师, 主要从事5G网络规划优化工作; 李土光, 毕业于中山大学通信工程专业, 工程师, 主要从事5G无线网络共建共享等方面工作; 谢绿禹, 毕业于中山大学自动控制专业, 高级工程师, 主要从事5G无线网络共建共享等方面管理工作。