



一种降低城区网格道路 5G 重叠覆盖率的新方法

张叶江¹, 陈捷², 刘毅¹, 李行政³, 李福秧¹, 胡坚¹

(1. 中国移动通信集团云南有限公司, 云南 昆明 650041;

2. 红河职业技术学院, 云南 红河 661199;

3. 中国移动通信集团设计院有限公司, 北京 100080)

摘要: 目前, 城区网格道路场景 5G 网络进入了精细化运维的新阶段, 其主要矛盾也由整体覆盖不足转变为部分路段重叠覆盖严重。5G 重叠覆盖会对用户的上网和语音等基本业务造成较大的影响。传统道路重叠覆盖优化存在标准不统一、问题常反复、工作效率低等痛点问题。提出了重叠覆盖贡献度的概念, 基于专家经验制定了重叠覆盖根因定位分析流程算法, 并开发了重叠覆盖问题优化 IT 平台。实践证明, 该方法能有效降低城区网格道路的 5G 重叠覆盖率, 帮助企业节省网络优化费用, 真正实现降本增效。

关键词: 城区网格道路; 5G 网络; 重叠覆盖; 重叠覆盖度; 客户感知; 干扰模型

中图分类号: TN929.5

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2024011

A new method for reducing 5G overlapping coverage of urban grid roads

ZHANG Yejiang¹, CHEN Jie², LIU Yi¹, LI Xingzheng³, LI Fuyang¹, HU Jian¹

1. China Mobile Communications Group Yunnan Co., Ltd., Kunming 650041, China

2. Honghe Vocational and Technical College, Honghe 661199, China

3. China Mobile Communications Group Design Institute Co., Ltd., Beijing 100080, China

Abstract: The 5G network for urban grid road scenes has entered a new stage of refined operation and maintenance. The main contradiction has also shifted from insufficient coverage to severe overlapping coverage of some road sections. 5G overlapping coverage will have a significant impact on users' basic services such as internet access and voice. The optimization of traditional road overlapping coverage has many problems, such as inconsistent standards, recurring problems, and low work efficiency. The concept of overlapping coverage contribution was proposed, and an algorithm for root cause analysis of overlapping coverage was designed based on expert experience. An IT platform for optimizing overlapping coverage problems was also developed. The practice has proven that this method can effectively reduce the 5G overlapping coverage rate of urban grid roads, help enterprises save network optimization costs, and truly achieve the goal of cost reduction and efficiency increase.

Key words: urban grid road, 5G network, overlapping coverage, overlapping coverage degree, customer perception, interference model

收稿日期: 2023-08-14; 修回日期: 2023-11-17

通信作者: 胡坚, hujian@yn.chinamobile.com

基金项目: 云南省教育厅科学研究基金资助项目 (No.2023J2110)

Foundation Item: Scientific Research Fund of Yunnan Provincial Department of Education (No.2023J2110)



0 引言

2019年6月6日,工业和信息化部正式向4家电信运营商发放5G商用牌照,这标志着中国正式进入5G商用元年,5G网络也进入了大规模建设时期^[1]。经过4年多的规划建设,目前中国移动城区网格5G网络基础覆盖已基本完成,城区5G网络也进入了“现网存量优化为主、新增补点建设为辅”的精细化运维阶段。作为移动通信用户最重要的使用场景之一,城区网格道路的主要矛盾也从整体覆盖不足转变为局部区域重叠覆盖严重。道路重叠覆盖严重,会导致网页打不开、视频不流畅、通话质量差等现象,严重影响客户感知^[2-3]。因此,如何降低城区网格道路5G重叠覆盖率,成为一项重要的课题。

1 重叠覆盖对客户感知的影响

1.1 重叠覆盖定义

中国移动城区5G网络主要采用2 515~2 615 MHz共100 MHz进行同频组网^[4-6]。主城区网格道路基站密度较大,站间距仅300 m左右。除宏基站信号覆盖外,部分路段还存在微基站覆盖和室分基站(含室内分布基站和室外分布基站,下同)外泄信号覆盖。在某些路段上,同一个用户设备(user equipment, UE)可能接收一个主服

务小区(server cell)和多个相邻同频小区(neighbor cell)的射频信号。重叠覆盖原理示意图如图1所示,UE在经过路段AB时,除了收到主服务小区的信号外,还收到周边5个相邻同频小区的信号覆盖。此时,相邻同频小区的信号会对主服务小区信号形成同频干扰。对于一张结构合理性能优越的移动无线网络,不仅要规避弱覆盖、覆盖空洞等情况,还需要减少信号重叠覆盖对网络性能造成的影响。为了后续研究便利,首先明确下面几个相关概念的定义。

(1) 重叠覆盖度(overlapping coverage degree): 根据当前5G无线网优化工作要求,以服务小区参考信号接收功率(reference signal receiving power, RSRP)为基准,当服务小区RSRP>-96 dBm时,相邻同频小区RSRP-服务小区RSRP ≥ -6 dBm的邻区数量称为重叠覆盖度,记为 σ 。由定义可知, σ 是自然数。当某个采样点 $\sigma \geq 3$ 时,则称该采样点为重叠覆盖采样点。

(2) 重叠覆盖率(overlapping coverage rate): 设重叠覆盖率为 P ,记某路段测试采样点总数为 N ,重叠覆盖度 $\sigma \geq 3$ 的测试点数量为 M ,则重叠覆盖率为:

$$P = \frac{M}{N} \times 100\% \quad (1)$$

(3) 重叠覆盖路段(overlapping covered road

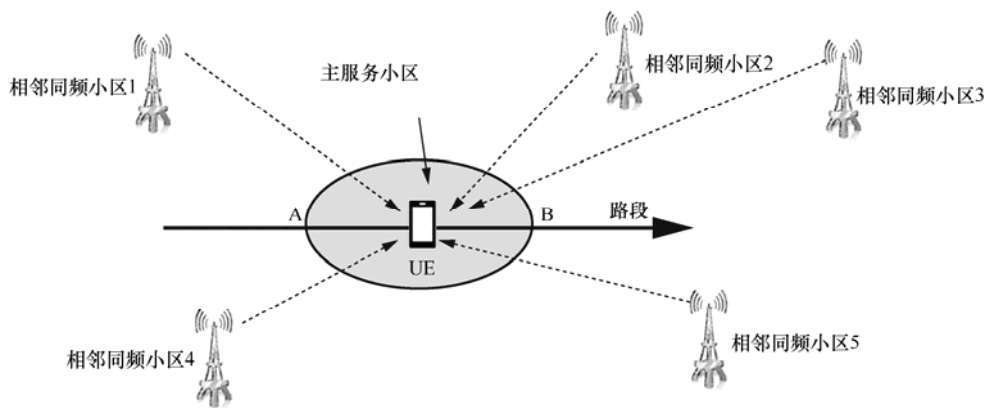


图1 重叠覆盖原理示意图

sections): 当某路段长度大于 50 m、问题采样数大于 50 个且重叠覆盖采样点比例大于或等于 50% 时, 则称此路段为重叠覆盖路段。需要补充的是, 重叠覆盖路段的定义可以结合 5G 网络的实际优化需要进行微调。

1.2 重叠覆盖对客户感知的影响

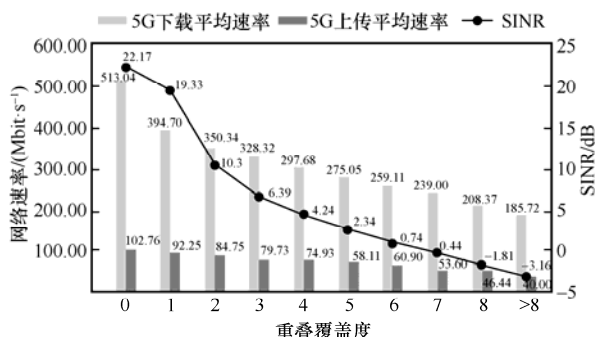
随机选取某省现网 22 个城区网格数据业务(含 FTP 下载和 FTP 上传)和 VoNR (voice over new radio) 语音业务的测试 log 进行统计分析。其中, FTP 下载共有采样点 422 224 个, FTP 上传业务共有采样点 408 556 个, VoNR 语音业务共有采样点 748 632 个。分别统计重叠覆盖度不同时对应的信号干扰噪声比 (singal to interference noise ratio, SINR) 及 5G 下载平均速率、5G 上传速率、VoNR 语音丢包率 3 个客户感知关键指标, 数据整理后得

到的重叠覆盖对客户感知的影响统计见表 1。由表 1 可知, 以重叠覆盖度为 0 为基准, 当重叠覆盖度为 8 时, 5G SINR 由 22.17 dB 下降至 -1.81 dB, 下载平均速率劣化比例 59.39%, 5G 上传平均速率劣化比例 54.80%, VoNR 语音平均丢包率为 132.20%。

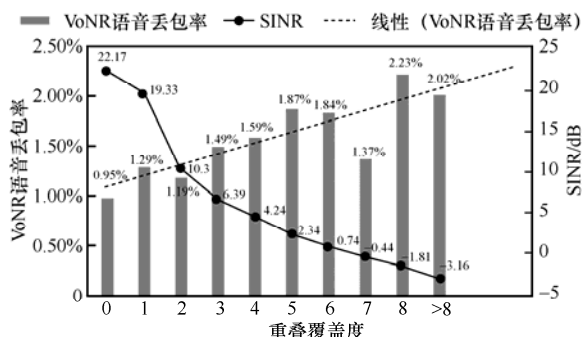
进一步通过表 1 做出重叠覆盖对客户感知的影响趋势, 如图 2 所示。由图 2 中的趋势线可知, 5G 重叠覆盖度越高, 5G SINR 越低, 5G 下载速率和 5G 上传速率就越低, VoNR 语音丢包率越高^[7]。众所周知, 5G 下载速率和 5G 上传速率越低, 意味着客户使用网页、视频、微信等上网业务的体验就会越差; VoNR 语音丢包率越高, 则往往意味着 VoNR 语音业务的平均意见得分 (mean opinion score, MOS) 值越低, 此时客户拨打电话时的感知会越差^[8-9]。

表 1 重叠覆盖对客户感知的影响统计

重叠覆盖度	SINR/dB	5G 下载平均速率/(Mbit·s ⁻¹)	5G 下载平均速率劣化比例	5G 上传平均速率/(Mbit·s ⁻¹)	5G 上传平均速率劣化比例	VoNR 语音丢包率	VoNR 语音丢包率劣化比例
0	22.17	513.04	0	102.76	0	0.96%	0
1	19.33	394.70	23.07%	92.25	10.22%	1.29%	34.30%
2	10.3	350.34	31.71%	84.75	17.52%	1.19%	24.05%
3	6.39	328.32	36.01%	79.73	22.41%	1.49%	55.65%
4	4.24	297.68	41.98%	74.93	27.08%	1.59%	66.32%
5	2.34	275.05	46.39%	68.11	33.72%	1.87%	95.15%
6	0.74	259.11	49.50%	60.90	40.74%	1.84%	92.05%
7	-0.44	239.00	53.41%	53.56	47.87%	1.37%	43.30%
8	-1.81	208.37	59.39%	46.44	54.80%	2.23%	132.20%
>8	-3.16	185.72	63.80%	40.00	61.07%	2.02%	110.32%



(a) 重叠覆盖度对SINR与网络速率影响关联分析



(b) 重叠覆盖度对SINR与VoNR丢包率影响关联分析

图 2 重叠覆盖对客户感知的影响趋势



2 重叠覆盖优化现状

2.1 重叠覆盖原因分析

中国移动城区网格 5G 网络覆盖层主要以 2 515~2 615 MHz 共 100 MHz 进行同频组网。无线网络同频组网时,由于基站组网结构不够合理可能会导致重叠覆盖。组网结构不合理包含站址结构不合理、天面结构不合理和参数结构不合理三大类。其中,站址结构不合理指城区网格 5G 基站站间距过小(小于 300 m),同一路段有多个强信号覆盖,从而导致重叠覆盖;天面结构不合理包含 5G 基站天线挂高过高(超过 35 m)、同站小区方位角夹角过小(低于 30°)、下倾角(含机械下倾角和电子下倾角)设置过低(小于 3°);参数结构不合理方面,除了 4G 中小区功率配置过高、小区间切换参数配置不合理、邻区漏配等因素外,5G 城区宏基站的 64T64R 大规模多输入多输出(multiple-input multiple-output, MIMO)天线权值(含下倾角、方位角、水平波瓣宽度和垂直波瓣宽度)设置不当也会导致重叠覆盖。此外,建筑物阻挡导致信号反射或漫反射、室分基站信号外泄等,也可能导致城区网格道路重叠覆盖^[10-11]。

2.2 重叠覆盖优化现状

为降低城区网格道路 5G 重叠覆盖率,中国移动省公司会结合网络质量现状设置重叠覆盖率优化目标值,并按月以邮件形式通知各地市分公司开展城区网格道路测试优化工作。在这种模式中省公司负责盯结果,分公司负责管过程,但实践过程存在诸多弊端。对省公司而言,分公司的工作处于“黑盒状态”,难以有效管控,每个月最后阶段才知道分公司上报的测试结果,而且测试结果的真实性无法保证。对分公司来说,由于没有一个好的 IT 系统支撑,现场测试后需要人工进行指标解析、问题输出和问题整治。在问题输出和问题整治时,优化人员结合后台网管数据、资管工参数据、测试 log 数据、现场站点分布等信息,

凭个人经验对所有路段进行分析、整治,存在标准不统一、问题常反复、工作效率低等痛点问题。因此,迫切需要开发一种高效率的 IT 平台,以支撑省市公司开展城区网格道路重叠覆盖优化^[12]。

3 重叠覆盖问题根因分析算法

3.1 重叠覆盖干扰模型构建

在城区网格重叠覆盖路段中,假设 M 为重叠覆盖的采样点数量, C_j^M 表示在 M 个重叠覆盖的采样点中,小区 j 减去主服务小区电平差值大于 -6 dB 的采样点数量,则重叠覆盖的干扰矩阵 C 可由式(2)表示:

$$C = \begin{bmatrix} C_1^M & C_2^M & \dots & C_{j-1}^M & C_j^M \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中, j 为干扰小区数量,则每个干扰小区对该重叠覆盖路段的贡献度 C^M 矩阵可以表示为式(3):

$$C^M = \frac{C}{M} = \begin{bmatrix} \frac{C_1^M}{M} & \frac{C_2^M}{M} & \dots & \frac{C_{j-1}^M}{M} & \frac{C_j^M}{M} \end{bmatrix} \quad (3)$$

在式(3)中,任意小区 j 的重叠覆盖贡献度 $\frac{C_j^M}{M}$ 满足 $0 \leq \frac{C_j^M}{M} \leq 1$,所有小区重叠覆盖贡献度之和可以大于 1。在进行重叠覆盖路段优化时,优先选择贡献度高的邻区进行调整优化,以提升网络优化工作效率。

3.2 重叠覆盖根因分析数据源

在重叠覆盖问题点分析中,工程师需要获取每个重叠覆盖问题样本点的无线基本信息,重叠覆盖路段优化所需数据源见表 2,其中的小区包含主服务小区和相邻同频小区。结合表 2 中的路测数据、小区工参数据及后台网管配置数据,可以查询到小区发射功率、天线挂高、下倾角、方位角以及天线权值信息,并计算出问题点与周边小区的距离、与天线主瓣的夹角等信息^[13]。

3.3 天线夹角及物理距离计算

(1) 天线夹角计算方法

以小区经度、纬度 O (Long₀, Lat₀) 为起点,沿重叠覆盖路段中心经纬度方向画射线,则射线

表 2 重叠覆盖路段优化所需数据源

指标名称	来源
重叠覆盖样本点经度	路测数据
重叠覆盖样本点纬度	路测数据
小区 RSRP	路测数据
小区 PCI	路测数据
小区 ARFCN	路测数据
小区名称	路测数据
小区 CGI	路测数据
小区天线挂高	根据 CGI 查工参
小区方位角	根据 CGI 查工参
小区下倾角	根据 CGI 查工参
小区发射功率	根据 CGI 查后台网管系统
小区天线权值-下倾角	根据 CGI 查后台网管系统
小区天线权值-方位角	根据 CGI 查后台网管系统
小区天线权值-水平波瓣宽度	根据 CGI 查后台网管系统
问题路段中心经度、纬度与小区天线夹角	通过计算得到
问题路段中心经度、纬度与小区物理距离	通过计算得到

方向就是重叠覆盖路段的方位角（记为 α ），其与小区天线主瓣方向的夹角即为天线夹角。以小区经度、纬度 O 为原点构建平面直角坐标系，设 C_j ($\text{Long}_j, \text{Lat}_j$) 为该坐标系下的一个重叠覆盖路段中心经纬度，其中 j 取值为 1、2、3、4，分别以 $C1$ 、 $C2$ 、 $C3$ 、 $C4$ 为原点也构建平面直角坐标系，重叠覆盖路段方位角计算原理如图 3 所示。令 $\delta x = \text{Long}_j - \text{Long}_0$, $\delta y = \text{Lat}_j - \text{Lat}_0$ 。

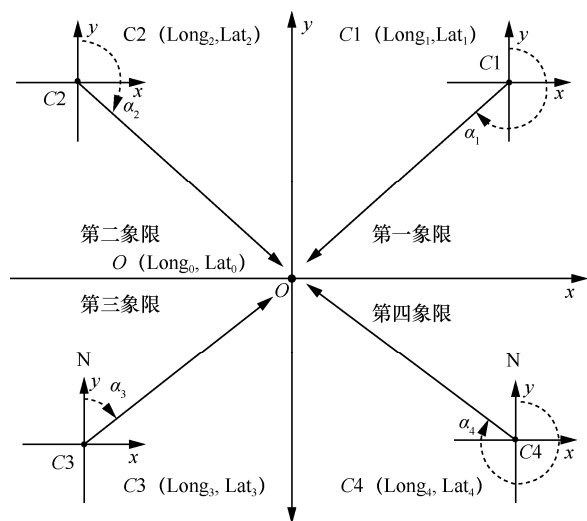


图 3 重叠覆盖路段方位角计算原理

根据三角函数知识可知，重叠覆盖路段方位角 α 计算方法如式 (4) 所示：

$$\alpha = \begin{cases} 0, \delta x = 0 \text{ 且 } \delta y > 0 \\ 180^\circ, \delta x = 0 \text{ 且 } \delta y < 0 \\ (3/2 \times \pi - \arctan(\delta y / \delta x)) \times 180 / \pi, \delta x > 0 \text{ 且 } \delta y > 0 \\ (1/2 \times \pi - \arctan(\delta y / \delta x)) \times 180 / \pi, \delta x < 0 \text{ 且 } \delta y > 0 \\ (1/2 \times \pi - \arctan(\delta y / \delta x)) \times 180 / \pi, \delta x < 0 \text{ 且 } \delta y < 0 \\ (3/2 \times \pi - \arctan(\delta y / \delta x)) \times 180 / \pi, \delta x > 0 \text{ 且 } \delta y < 0 \end{cases} \quad (4)$$

其中， α 向上取整^[14]。

设小区工参方位角为 β ，则重叠覆盖路段方位角 α 与小区工参方位角 β 的夹角 ω 如式 (5) 所示，即：

$$\omega = \begin{cases} \max \alpha, \beta - \min(\alpha, \beta) | \alpha, \beta | \leq 180 \\ 360 - \max \alpha, \beta + \min(\alpha, \beta) | \alpha, \beta > 180 \end{cases} \quad (5)$$

(2) 物理距离计算方法

设重叠覆盖问题路段的中心为点 $P1$ 且其经纬度为 ($\text{Long}_1, \text{Lat}_1$)，小区 C 的中心为点 $P2$ 且其经纬度为 ($\text{Long}_2, \text{Lat}_2$)，则 $P1$ 、 $P2$ 的距离 (Distance) 可通过式 (6) 求出^[15-16]。



$$\text{Distance} = 6368.16 \times 1000 \times \left(\arctan \left(-\chi / (-\chi^2 + 1) \right) + 2 \times \arctan 1 \right) \quad (6)$$

其中, $\sin \alpha = \sin(\text{angle Lat}_1) \times \sin(\text{angle Lat}_2)$, $\cos \alpha = \cos(\text{angle Lat}_1) \times \cos(\text{angle Lat}_2) \times \cos(\text{angle Long}_2 - \text{angle Long}_1)$, $\chi = \sin \alpha + \cos \alpha$ 。

3.4 重叠覆盖问题根因分析算法

项目组结合专家优化经验, 提出了重叠覆盖根因定位分析算法, 如图 4 所示。该算法根据测试 log 数据计算出重叠覆盖路段的重叠覆盖贡献度, 结合后台网管和资管工参数据, 对于重叠覆盖贡献度高的小区可自动关联判断每个邻区造成重叠覆盖的原因, 并智能输出优化建议, 指导现场优化人员开展重叠覆盖问题路段优化, 解决了传统问题整治时需要人工逐一分析效率低下的痛点。

(1) 当重叠覆盖贡献度超过 60% 的小区数为

0 或大于 3 时, 优化方案输出规则如下。

- 当服务小区的平均电平值小于 -75 dBm 时, 判断为主服务小区功率较低, 可考虑增大服务小区的发射功率。
- 当服务小区的平均电平值大于或等于 -75 dBm 时, 判断为邻区信号强, 可考虑对主要的干扰源邻区覆盖方向进行优化, 包括调整天线方位角、天线权值-方位角、天线权值-水平波瓣宽度等参数。

(2) 若不满足 (1) 中的条件, 则针对重叠覆盖路段重叠覆盖贡献度高的小区 C, 优化方案输出规则如下。

- 重叠覆盖路段采样点中服务小区电平 RSRP 减去小区 C 电平 RSRP 值小于 0 的占比高于 30% 时, 则该重叠覆盖路段疑似

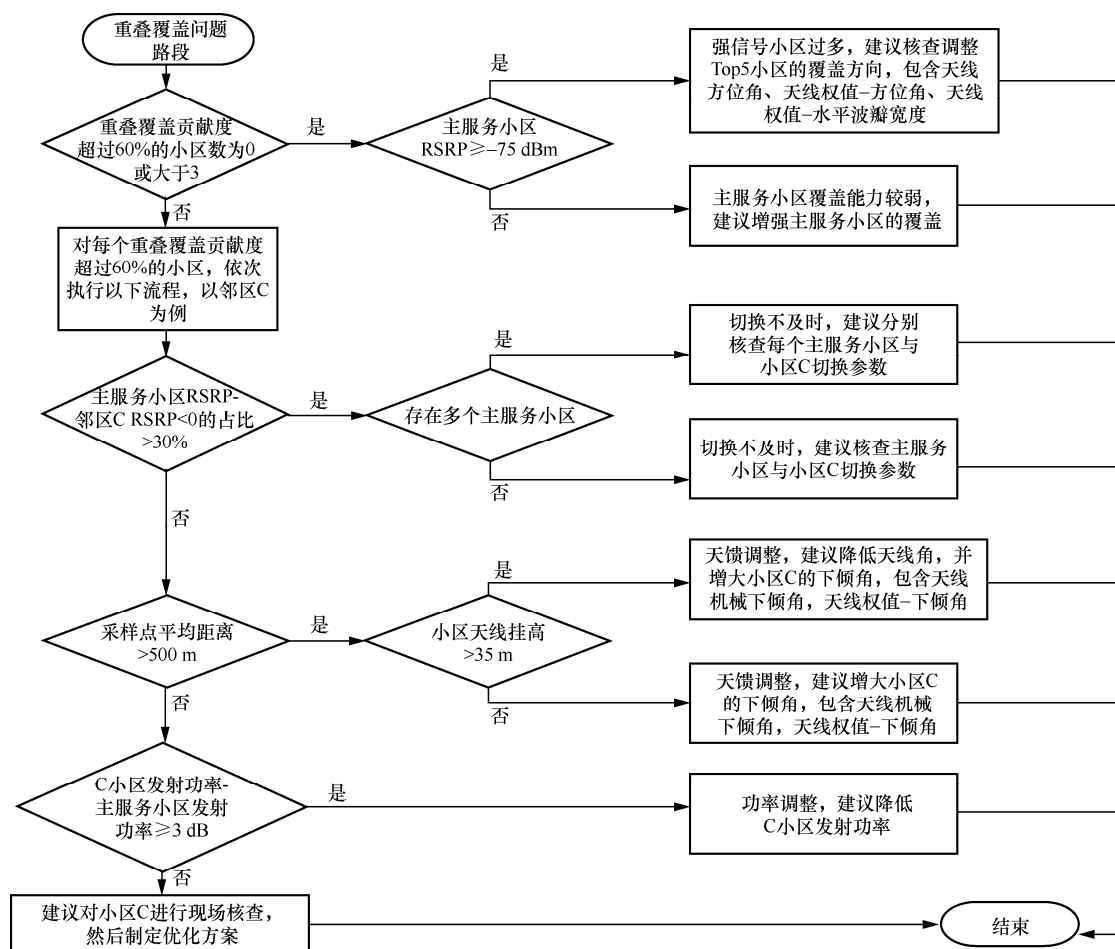


图 4 重叠覆盖根因定位分析算法

存在切换不及时的问题,建议重点核查主服务小区与重叠覆盖贡献度高的小区间的切换参数配置,核查是否有邻区漏配或切换迟滞设置过大等问题。

- 当重叠覆盖采样点距离小区 C 的平均距离大于 500 m 时,则认为小区 C 存在越区覆盖问题,建议增大小区 C 的天线下倾角(优先调整机械下倾角,其次天线权值-下倾角,下同),以缩小其覆盖范围。
- 当小区 C 天线挂高大于 35 m 时,则认为小区 C 为超高站,需要对该小区的天面进行整治,可考虑降低小区 C 的天线挂高或增大下倾角,从而收缩其覆盖范围。
- 当小区 C 平均电平值减去主服务小区平均电平值大于 3 dB 时,则认为该路段存在多个小区的强覆盖,建议降低小区 C 的发射功率值。

4 现网平台部署效果

4.1 现网平台部署架构

当前,中国移动某省公司已开发部署了城区

网格道路重叠覆盖问题优化 IT 系统,其架构如图 5 所示。该系统解析测试 log 后可自动输出问题点,并通过地理聚合算法将原始问题点聚合为问题路段,然后通过工单系统流转至地市分公司进行整治。分公司整治完成并复测后,系统可对复测 log 进行解析实现问题路段自动质检。如此,实现了问题分析、问题质检的标准化和自动化,大大提高了问题分析和质检的工作效率。

4.2 项目效果分析

该系统自部署以来,累计将 5 907 个重叠覆盖问题点聚合为 2 055 张问题路段工单,累计为企业节省网络优化费用 115.56 万元。与此同时,该省 5G 城区网格道路重叠覆盖率从 7.47% 下降至 3.56%,5G 下载速率从 473.39 Mbit/s 提升到 617.53 Mbit/s,5G 上传速率从 77.49 Mbit/s 提升到 108.93 Mbit/s,VoNR 丢包率从 1.31%下降至 0.43%,城区网格道路重叠覆盖情况得到根本性转变,项目成效统计见表 3。

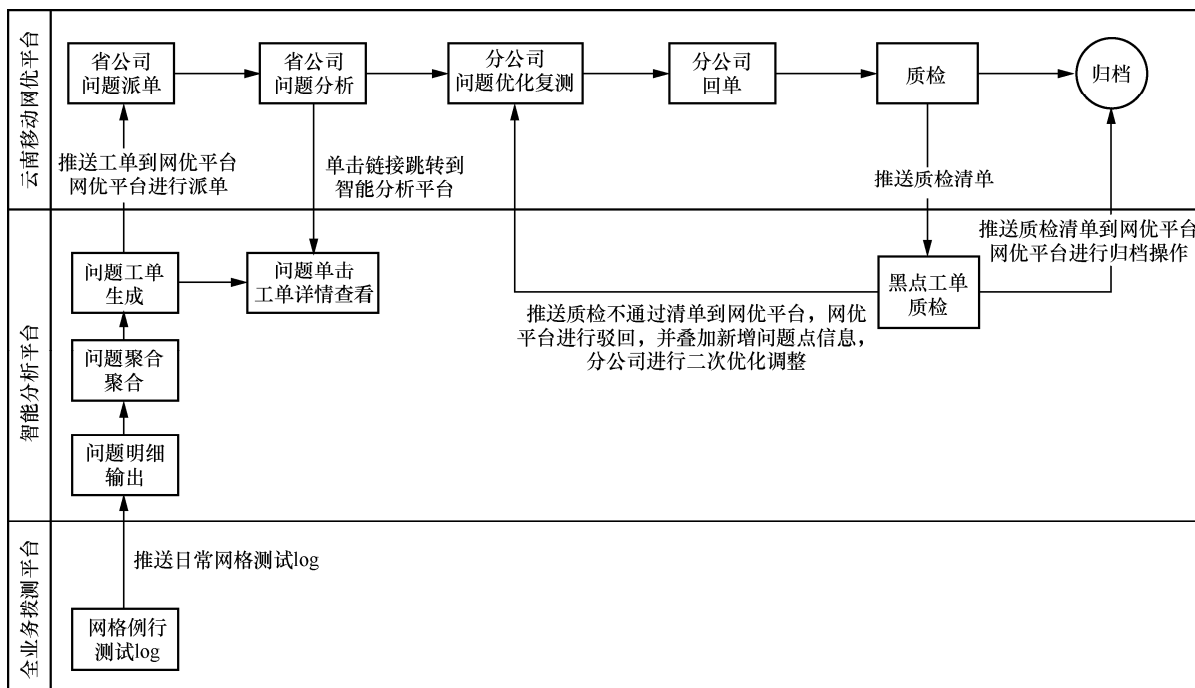


图 5 重叠覆盖问题优化 IT 系统架构



表 3 项目成效统计

评价维度	优化工单/张	优化费用/万元	5G 重叠覆盖率	5G SINR/dB	5G 下载速率/ (Mbit·s ⁻¹)	5G 上传速率/ (Mbit·s ⁻¹)	VoNR 语音 丢包率
实施前	5 907	177.21	7.47%	12.17	473.39	77.49	1.31%
实施后	2 055	61.65	3.56%	17.83	617.53	108.93	0.43%
改善值	3 852	115.56	3.91%	5.66	144.14	31.44	0.88%

5 结束语

本文基于城区网格道路 5G 重叠覆盖优化中存在的痛点问题,提出了重叠覆盖度的概念以定量分析找出引起重叠覆盖的关键同频小区,并基于专家经验制定了重叠覆盖根因定位分析流程算法。实践证明,该方法能有效降低城区网格道路 5G 重叠覆盖率,帮助企业节省网络优化费用。鉴于不同的 RSRP 大小对网络性能影响不同,后续将对不同电平的采样点赋予不同的加权系数,以反映出干扰强弱对 SINR 和网络吞吐率的影响,使重叠覆盖主干扰小区判断更精准,持续降低 5G 网络重叠覆盖率,为客户提供一张能用、够用、好用的 5G 精品网络。

参考文献:

- [1] 张三保, 陈晨, 张志学. 举国体制演进如何推动关键技术升级? : 中国 3G 到 5G 标准的案例研究[J]. 经济管理, 2022, 44(9): 27-46.
ZHANG S B, CHEN C, ZHANG Z X. How does the evolution of the nationwide system prompt the upgrading of key Technologies? Cases of China from 3G to 5G[J]. Business Management Journal, 2022, 44(9): 27-46.
- [2] 李斌杰, 耿鲁静, 张斌, 等. 5G 重叠覆盖对网络性能影响的研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2022, 35(11): 51-54.
LI B J, GENG L J, ZHANG B, et al. Research of overlap effect on 5G network performance[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2022, 35(11): 51-54.
- [3] 方芳, 赵贝贝, 任文璋, 等. 5G 无线网络中重叠覆盖问题优化研究[J]. 网络空间安全, 2021, 12(Z6): 49-52.
FANG F, ZHAO B B, REN W Z, et al. Optimization of overlapping coverage in 5G wireless networks[J]. Cyberspace Security, 2021, 12 (Z6): 49-52.
- [4] 张叶江, 尹以雁, 张婧, 等. 5G 网络 700M 频率干扰优化方案

研究[C]//5G 网络创新研讨会(2022)论文集. [S.l.:s.n.], 2022: 297-302.

ZHANG Y J, YIN Y Y, ZHANG J, et al. Research on the optimization scheme of 700M frequency interference in 5G networks [C]//Proceedings of the 5G Network Innovation Seminar (2022). [S.l.:s.n.], 2022: 297-302.

- [5] 封陆游, 高骏远, 朱伟, 等. 中国移动 5G SA 系统内同频干扰分场景优化策略研究[J]. 江苏通信, 2021, 37(5): 4-6, 19.
FENG L Y, GAO J Y, ZHU W, et al. Research on optimization strategy of Co-frequency interference scenarios in China mobile 5G SA system[J]. Jiangsu Communication, 2021, 37(5):4-6, 19.
- [6] 严文发, 刘诗虎. 5G 无线网络规划方法研究[J]. 长江信息通信, 2021, 34(7): 171-173, 177.
YAN W F, LIU S H. Research on 5G wireless network planning method[J]. Changjiang Information & Communications, 2021, 34(7): 171-173, 177.
- [7] 李岑, 丁克琴. 第五代移动通信网络上行覆盖受限分析及解决方案研究[J]. 江苏通信, 2022, 38(4): 47-49.
LI C, DING K Q. Analysis and solution research on uplink coverage limitation of the fifth generation mobile communication network[J]. Jiangsu Communication, 2022, 38(4): 47-49.
- [8] 胡坚, 杨晓康, 司磊, 等. 基于端到端 KPI 的 VoLTE 语音 MOS 评估方案及应用[J]. 电信工程技术与标准化, 2023, 36(5): 58-64, 79.
HU J, YANG X K, SI L, et al. VoLTE speech MOS evaluation scheme and application based on end-to-end key performance indicators[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2023, 36(5): 58-64, 79.
- [9] 胡坚, 孙磊, 尹以雁, 等. 基于数据挖掘和地理可视化的 4G/5G 语音质量优化研究[J]. 电信科学, 2022, 38(10): 131-139.
HU J, SUN L, YIN Y Y, et al. Research on 4G/5G voice quality optimization based on data mining and geographic visualization[J]. Telecommunications Science, 2022, 38(10): 131-139.
- [10] 黄毅华, 陈秀敏, 陈相旭, 等. 5G 网络路测分析及应用[J]. 移动通信, 2021, 45(2): 119-123.
HUANG Y H, CHEN X M, CHEN X X, et al. Analysis and application of drive test for 5G network[J]. Mobile Communications, 2021, 45(2): 119-123.

- [11] 郭希蕊, 张涛, 张强, 等. 5G 室内外同频组网干扰解决方案[J]. 电信科学, 2022, 38(2): 139-148.

GUO X R, ZHANG T, ZHANG Q, et al. A solution for 5G indoor and outdoor co-frequency network interference[J]. Telecommunications Science, 2022, 38(2): 139-148.

- [12] 刘帝辰. 基于 NETMAX 的基站网络优化[J]. 中国新通信, 2022, 24 (4): 32-34.

LIU D C. Network optimization of base station based on NETMAX[J]. China New Telecommunications, 2022, 24 (4): 32-34.

- [13] 张子扬. 5G 异构网络中终端越区切换与接入算法研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2022.

ZHANG Z Y. Research on handoff and access algorithm of terminal in 5G heterogeneous network[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2022.

- [14] 陈捷. 4G 小区快速算法在疫情通信保障中的应用[J]. 电信工程技术与标准化, 2021, 34(11): 45-52.

CHEN J. Application of 4G cell fast algorithm in emergency communication during the crisis[J]. Telecom Engineering Techniques and Standardization, 2021, 34(11): 45-52.

- [15] 张叶江, 陈捷, 胡坚, 等. 一种提升城区网格道路 5G 覆盖率的新方法[J]. 电信科学, 2022, 38(12): 94-102.

ZHANG Y J, CHEN J, HU J, et al. A new method to improve 5G coverage of urban grid roads[J]. Telecommunications Science, 2022, 38(12): 94-102.

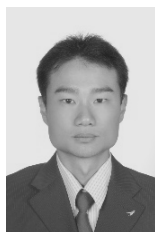
- [16] 陈捷. 一种批量测算目标区域 4G 覆盖小区的方法[J]. 移动通信, 2021, 45(6): 114-119.

CHEN J. A method of batch calculation of 4G coverage cells in target areas[J]. Mobile Communications, 2021, 45(6): 114-119.

[作者简介]



张叶江 (1989-), 男, 中国移动通信集团云南有限公司高级工程师, 主要研究方向为 4G/5G 无线网络优化。



陈捷 (1983-), 男, 红河职业技术学院高级工程师, 主要研究方向为移动通信。



刘毅 (1980-), 男, 中国移动通信集团云南有限公司工程师, 主要研究方向为客户感知提升和大数据挖掘分析。



李行政 (1987-), 男, 中国移动通信集团设计院有限公司高级工程师, 主要研究方向为 4G/5G 干扰优化方法、智能测试分析方法。



李福秧 (1995-), 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 4G/5G 无线网络优化。



胡坚 (1977-), 男, 中国移动通信集团云南有限公司高级工程师, 主要研究方向为 4G/5G 无线网络优化。