



一种提升城区网格道路 5G 覆盖率的新方法

张叶江¹, 陈捷², 胡坚¹, 杨晓康¹, 陆贇¹, 梁腾³

(1. 中国移动通信集团云南有限公司无线优化中心, 云南 昆明 650041;

2. 红河职业技术学院, 云南 红河 661199;

3. 云南交通职业技术学院, 云南 昆明 650500)

摘要: 城区网格道路是移动通信用户重要的使用场景。与其他用户静止场景相比, 道路上 UE 移动性导致客户感知相对较差。传统城区网格道路测试优化存在整治不彻底、优化效率低、工单重复派、工作无重点等痛点。提出了一种提升城区网格道路 5G 覆盖率的新方法, 引入测试问题圆域的概念, 实现了零星测试问题点的有效聚合, 并用“聚合度”“重复度”定量标识测试问题优先级; 通过测试问题圆域“理想方位角”和“合适小区”的计算, 提出了测试问题最优覆盖小区的计算方法, 可有效输出问题圆域的优化方案。所提方法已在现网部署, 有效支撑了全网城区网格道路测试优化工作, 5G 覆盖率由 89.95% 提升到 98.86%, 应用效果较好。

关键词: 网格道路; 5G 覆盖率; 问题圆域; 合适小区; 理想方位角; 最优小区

中图分类号: TN929.5

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2022299

A new method to improve 5G coverage of urban grid roads

ZHANG Yejiang¹, CHEN Jie², HU Jian¹, YANG Xiaokang¹, LU Yun¹, LIANG Teng³

1. Wireless Optimization Center of China Mobile Communication Group Yunnan Co., Ltd., Kunming 650041, China

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

3. Yunnan Communications Vocational and Technical College, Kunming 650500, China

Abstract: Urban grid road is an important use scenario for mobile communication users. Compared with other static scenes, UE mobility on the road leads to relatively poor customer perception. The traditional urban grid road test optimization has some pain points, such as incomplete regulation, low optimization efficiency, repeated work orders, no focus and so on. A new method to improve 5G coverage of urban grid roads was proposed. The proposed method introduces the concept of problem circle, realizes the effective aggregation of sporadic test problem points, and uses “aggregation degree” and “repetition degree” to quantitatively identify the priority of test problems. By introducing the concepts of “ideal azimuth” and “appropriate cell”, the method of the optimal coverage cell of the problem circle was proposed, which can effectively output the optimization scheme of the problem circle. This method has been deployed in the current network and effectively supports the test and optimization of urban grid roads. The 5G coverage rate has increased from 89.95% to 98.86%.

Key words: grid road, 5G coverage rate, problem circle, appropriate cell, ideal azimuth, optimal cell

收稿日期: 2022-05-26; 修回日期: 2022-12-19

通信作者: 梁腾, 13888990971@139.com

0 引言

城区网格道路是移动通信网络中的重要场景。与其他用户静止场景相比,城区网格道路上的用户具有移动性,具体表现为在城区道路上用户以 20~60 km/h 的中等速度移动,在部分按高速公路标准设计的路段上,其移动速度可以达到 120 km/h,此时用户设备 (user equipment, UE) 会随着用户的移动而移动。由于移动通信网络是按蜂窝结构设计的,UE 会在不同的基站小区间发生切换^[1]。当部分路段 5G 弱覆盖时,UE 可能出现切换失败的现象,导致城区网格道路的客户感知一般低于其他场景^[2]。因此,如何提升城区网格道路的 5G 覆盖率,就成为一名重要的研究课题。

本文基于城区网格道路优化现状,提出了一种提升 5G 覆盖率的新方法。该方法实现了弱覆盖问题路段的聚合,并基于最新的测试日志对往期问题路段是否解决进行自动判断,对于反复出现问题的路段提升其优先级进行重点督办;方法还实现了弱覆盖问题路段和周边小区在距离和方位角上的精准匹配,能有效识别并输出弱覆盖问题路段的解决方案,有利于快速解决弱覆盖问题,提升城区网格道路 5G 覆盖率。

1 城区网格道路 5G 覆盖优化现状分析

无线网络覆盖质量主要取决于基站位置分布、小区方位角设计、小区发射功率及切换参数等因素^[3-4]。其中,基站位置分布和小区方位角设计可以称为网络覆盖的“硬因素”,而小区发射功率和切换参数可以称为网络覆盖的“软因素”。据统计,无线网络覆盖的 80% 以上的问题都可以通过优化基站布局或小区方位角解决,而小区发射功率、切换参数等可以作为网络覆盖提升的补充手段,因此无线网络优化工作中有“以天馈调整为主,以参数调整为辅”的说法^[5]。为提升城区

网格道路 5G 覆盖质量,中国移动省公司会按月组织城区网格例行测试优化。具体实施时,地市分公司按网格测试规范完成测试后,测试 log 自动回传到自动路测平台,自动路测平台对测试 log 进行指标解析,并输出测试问题路段,而问题路段中最重要的类型就是弱覆盖。省公司会通过工单管理平台将弱覆盖路段工单派发至地市公司,由地市公司进行优化整治,并上传复测报告证明该问题路段已解决。地市公司提交质检后,由省公司通过人工审核测试报告判断是否解决,如果解决则该工单归档,如果没有则驳回分公司进行二次处理。

但在实际执行时,上述工作流程会存在若干弊端。首先,地市公司为了解决 A 路段弱覆盖问题,会把周边小区天线覆盖方向扳向 A 处,此时 A 处弱覆盖解决了,但是周边路段又增加了弱覆盖问题,出现“拆东墙补西墙”的现象,对本就有限的优化资源形成巨大浪费。其次,优化人员往往先通过测试 log 分析软件,人工对弱覆盖路段进行初步分析,然后逐个上站进行天面排查后再确定调整方案,工作效率极低^[6]。再次,传统的基于密度的聚类 (density-based spatial clustering of applications with noise, DBSCAN) 算法和 K 均值聚类算法 (K -means clustering algorithm, K -means) 等地理位置聚类算法未考虑道路的曲线特征,其分析方法在城区网格道路优化中并不适用。最后,部分路段出现问题频次高,且连续多个月反复出现,本应成为优化重点区域,但没有好的指标和工具进行评价,导致优化整治无差别对待,部分问题路段长期未解决。因此,迫切需要寻找一种新方法以有效提升城区网格道路的 5G 网络覆盖率。

本文提出了一种提升城区网格道路 5G 覆盖率的新方法,总体优化算法架构如图 1 所示。该方法首先以半径 R 为基准对原始网格测试问题点进行聚合,得到问题圆域清单,并通过聚合度及



重复度筛选出需要优先整治的问题圆域清单。然后基于现网宏基站小区工参，依次计算出最近距离小区、合适距离小区，从合适小区中计算出理想方位角，并基于合适小区的实际方位角得出最优小区。找到最优小区后，结合其与问题圆域的距离和方位角关系，输出对应的优化方案。

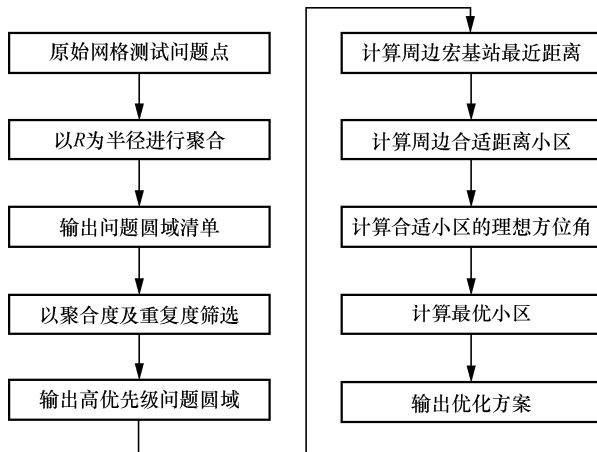


图1 总体优化算法架构

2 弱覆盖问题路段聚合算法

2.1 弱覆盖问题路段聚合思路

城区网格道路 log 采样点轨迹是曲线，从某个问题点到其周边问题点连线的方位角可能是 0° 到 360° 之间的任意值，总可以用一个圆将这些点圈起来，形成一个“问题圆域” (problem circle)。具体设计时，以第一个问题点的经度、纬度为圆心，以半径 R (如 100 m) 为聚合半径画问题圆域。当周边问题点在该问题圆域内时 (含边界)，圆心及周边问题点均标记为已运算，并聚合到该问题圆域内，直到所有的问题点都轮询完毕，该问题圆域就形成一张问题工单。然后选择下一个未参与过运算的问题点，重复上面的步骤，直到所有的问题点都参与过一次运算，就实现了所有问题点在问题圆域内的聚合。

问题圆域原理示意图如图 2 所示， P_1 作为第

一个点， P_2 、 P_3 与 P_1 距离在聚合半径 ($R=100\text{ m}$) 以内，则 P_1 、 P_2 、 P_3 聚合为一个问题圆域，并生成一张问题工单， P_1 、 P_2 、 P_3 均标记为“已聚合”，避免后续重复计算；其他问题点 P_4 、 P_5 、 \dots 、 P_N 与 P_1 的经度、纬度距离都大于聚合半径 R ，需要聚合到其他新增的问题圆域中。如此，将多个地理位置相邻的零星问题点聚合为一个问题圆域，以问题圆域为单位派单，把解决问题点转变为解决问题圆域，能有效降低工单数量，节省网络优化费用。

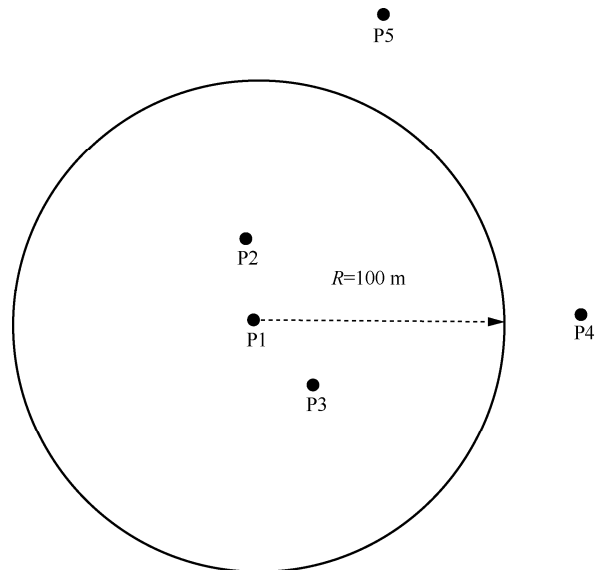


图2 问题圆域原理示意图

两个问题点之间的距离计算方法如下。

取数据库中问题点 P_1 的经度、纬度作为起点，其经度、纬度记为 $(\text{long}_1, \text{lat}_1)$ ，取问题点 P_2 的经度、纬度作为终点，其经度、纬度记为 $(\text{long}_2, \text{lat}_2)$ ，将 P_1 、 P_2 的经度、纬度均转换为弧度值，得到 $P_1(\text{long}_1 \times \pi / 180, \text{lat}_1 \times \pi / 180)$ 、 $P_2(\text{long}_2 \times \pi / 180, \text{lat}_2 \times \pi / 180)$ ，其中， π 为圆周率，则 P_1 、 P_2 间的经度、纬度距离 (Distance) 计算方法为：

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

其中， $\sin \alpha = \sin(\text{angle lat}_1) \times \sin(\text{angle lat}_2)$ ， $\cos \alpha =$

$\cos(\text{angle lat1}) \times \cos(\text{angle lat2}) \times \cos(\text{angle long2} - \text{angle long1})$, $\chi = \sin\alpha + \cos\alpha$ 。

2.2 聚合度与重复度

为解决“拆东墙补西墙”的痛点，本文方法不再将地市公司上传的测试报告作为问题解决的判决依据，而是将最新例行测试的完整 log 作为判决数据来源。当该问题圆域下个月没有重复出现问题时，该问题圆域标记为“一次解决”；该问题圆域连续两次都没有出现问题时，才标记为“永久解决”。如果该问题圆域下月重复出现问题，则应标记为“未解决”，且对问题出现次数进行迭加，并提升问题处理优先级。对于标记为“永久解决”的问题圆域，不再纳入后续轮询范围，若有新问题点产生，则重新生成新问题圆域。

与此同时，在问题圆域中引入了“聚合度”和“重复度”两个概念。其中，聚合度指同一问题圆域出现问题点的总次数，聚合度高表明该问题圆域出现过的弱覆盖问题点多，聚合度低表明该问题圆域出现的问题点少；重复度指同一问题圆域连续出现问题的月份数，重复度高表明该问题圆域出现问题的月份次数多，重复度低表明该问题圆域出现问题的月份次数少。“聚合度”和“重复度”两个指标可以有效地度量网格道路弱覆盖问题的严重程度，“聚合度”高或“重复度”高的路段，就是城区网格道路弱覆盖问题严重的区域，需要集中资源优先开展整治工作。

3 问题解决方案输出原理

城区无线网络主要由宏基站（含少量微基站，以下统称宏基站）和室分站点覆盖。其中，宏基站将蜂窝形状作为目标网络结构进行建设，是移动通信网络的基础，主要用于室外覆盖；而室分站点则用于增强底层深度覆盖，需要尽量避免室外信号外泄到城区道路上。因此，覆盖城区网格道路的是且应该是宏基站小区。因此，本文方法

在应用现网工参时，首先将室分站点小区剔除，仅保留宏基站小区作为后续分析的基础工参。

3.1 最小距离和合适距离计算

在网络优化工作中，往往希望用最近的基站对问题圆域进行覆盖，此时有一个“最小距离”，记为 d 。但离问题圆域最近基站的覆盖目标并不一定是网格道路，且其受限于方位角、挂高等参数甚至无法覆盖到。因此，覆盖该问题圆域的往往是周边其他“合适”的基站，此时有一个“合适距离”，记为 D 。在本文方法中，将所有的问题圆域分别记为 $P1 \sim PN$ ，所有的宏基站小区分别记为 $C1 \sim CN$ 。先取问题圆域 $P1$ ，计算其与其他所有宏基站小区的距离，找到一个最近的距离值 d ，设此时最近小区为 $C1$ ；再以 $C1$ 的经度、纬度为圆心，以 r 为半径（如 50 m）画圆，可将其称为“合适圆”，轮询计算出所有在合适圆内的小区，称为“合适小区”（包含 $C1$ ），并分别记录其与 $P1$ 的合适距离、数据库行号和方位角等信息。由几何知识容易知道， $D \leq d+r$ 。最近小区和合适小区计算原理示意图如图 3 所示，问题圆域 $P1$ 的所有“合适小区”为 $C1 \sim C9$ ，这 9 个小区在距离上都比较适中，都有可能作为问题圆域 $P1$ 的主覆盖小区。如此，轮询计算出所有问题点的合适距离、数据库行号和方位角等信息，作为后续“最优小区”的备选小区。

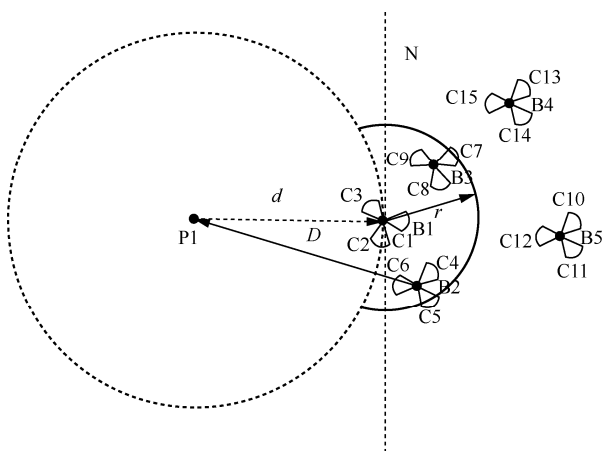


图3 最近小区和合适小区计算原理示意图



3.2 理想方位角计算

对于一个测试问题圆域，假设一个小区的天线主瓣方向正对其圆心进行覆盖，此时小区方位角称为小区覆盖该问题圆域的“理想方位角”。宏基站小区的方位角越接近理想方位角，覆盖效果越好。下面给出问题圆域的理想方位角计算方法。以问题圆域的圆心 $O(\text{long}0, \text{lat}0)$ 为原点构建平面直角坐标系，设 $C_n(\text{long}n, \text{lat}n)$ 为该坐标系下的一个小区经度、纬度，其中 n 取值为 1,2,3,4，分别以 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 为原点也构建平面直角坐标系，理想方位角计算原理示意图如图 4 所示。令 $\delta x = \text{long}n - \text{long}0$, $\delta y = \text{lat}n - \text{lat}0$ ，记理想方位角为 α 。则根据三角函数知识可知^[7-8]如下。

(1) 当 $\delta x = 0$ 时，说明小区的经度、纬度在 y 轴上，需要继续判断是在 x 轴上方还是下方。如果 $\delta y > 0$ ，说明小区在 x 轴上方，此时 $\alpha = 180^\circ$ ；如

果 $\delta y < 0$ ，说明小区在 x 轴下方，此时 $\alpha = 0^\circ$ 。

(2) 当 $\delta x \neq 0$ 时，说明小区不在 y 轴上，此时分 4 个象限分别计算理想方位角，计算式分别如下。

- 当 $\delta x > 0$ 且 $\delta y > 0$ 时，小区在问题点坐标系的第一象限，反过来问题点在小区坐标系的第三象限，此时 $\alpha = (3/2 \times \pi - \arctan(\delta y / \delta x)) \times 180 / \pi$ ，由于现网工参为整数，因此 α 应向上取整（下同）。
- 当 $\delta x < 0$ 且 $\delta y > 0$ 时，小区在问题点坐标系的第二象限，反过来问题点在小区坐标系的第四象限，此时 $\alpha = (1/2 \times \pi - \arctan(\delta y / \delta x)) \times 180 / \pi$ 。
- 当 $\delta x < 0$ 且 $\delta y < 0$ 时，小区在问题点坐标系的第三象限，反过来问题点在小区坐标系的第一象限，此时 $\alpha = (1/2 \times \pi - \arctan(\delta y / \delta x)) \times 180 / \pi$ 。

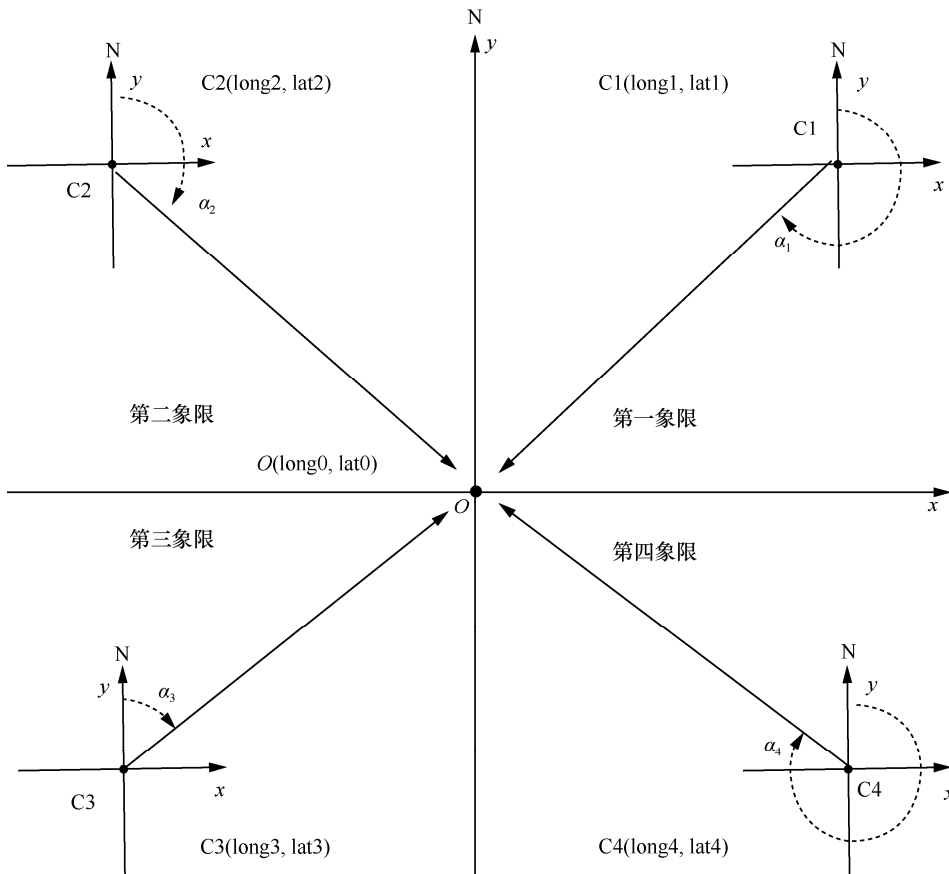


图 4 理想方位角计算原理示意图

- 当 $\delta x > 0$ 且 $\delta y < 0$ 时, 小区在问题点坐标系的第四象限, 反过来问题点在小区坐标系的第二象限, 此时 $\alpha = (3/2 \times \pi - \arctan(\delta y / \delta x)) \times 180 / \pi$ 。

3.3 最优小区计算

对于一个测试问题圆域的所有“合适小区”中, 总有一个小区的理想方位角 α 与实际方位角 β 之间的夹角 γ 最小, 这个小区就是该问题圆域的最优覆盖小区, 简称“最优小区”。最优小区应同时满足距离适中且夹角 γ 最小两个条件。最优小区计算原理示意图如图 5 所示, 问题圆域 P1 的合适小区为 C1~C9, 分别计算 P1 和 C1~C9 的理想方位角 α_n , 并用理想方位角 α_n 与该小区的实际方位角 β_n 作差, 取其绝对值 $gap = |\alpha_n - \beta_n|$ 。当 $gap > 180^\circ$ 且 $\alpha_n > \beta_n$ 时, 理想方位角和实际方位角之间的夹角 $\gamma_n = 360^\circ - \alpha_n + \beta_n$; 当 $gap > 180^\circ$ 且 $\alpha_n < \beta_n$ 时, $\gamma_n = 360^\circ + \alpha_n - \beta_n$; 否则, $\gamma_n = |\alpha_n - \beta_n|$ 。当 γ_n 最小时, 得到此时的小区 C_n 为最优小区, α_n 为最优理想方位角, β_n 为最优方位角。

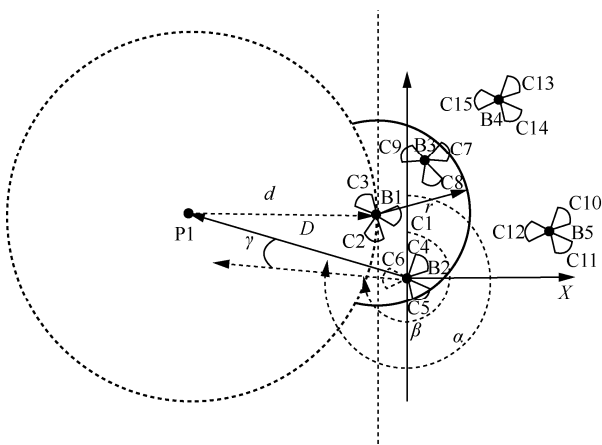


图 5 最优小区计算原理示意图

4 现网实施效果分析

4.1 现网测试数据统计

取全网城区网格道路 2 169 个问题圆域进行分析, 现网测试问题点数据分析统计见表 1, 其中, 夹角表示问题圆域理想方位角和最优小区方位角

之间的夹角, 距离表示问题圆域圆心和最优小区经度、纬度之间的距离。城区网格宏基站天线水平波瓣角一般为 65° , 站间距约为 $300\text{ m}^{[9]}$ 。由表 1 可知如下。

(1) 距离小于 300 m 时, 夹角在 $[0^\circ, 30^\circ)$ 范围内的问题圆域占比为 60.40% , 此部分问题圆域在最优小区的主波瓣覆盖范围内, 可通过重选或切换参数调整解决; 夹角在 $[30^\circ, 65^\circ)$ 范围内的问题圆域占比为 20.97% , 此部分问题圆域建议通过现场适当微调天线方位角并辅以后台参数优化解决; 夹角在 65° 以上的问题圆域建议通过天馈整改、共址新增扇区解决, 必要时可以建设微基站增强覆盖^[10-11]。

(2) 距离大于 300 m 时, 此类问题圆域一般在靠近城郊区域, 夹角在 $[0^\circ, 30^\circ)$ 的可适当通过提升有源天线单元 (active antenna unit, AAU) 发射功率解决, 夹角在 $[30^\circ, 65^\circ)$ 的可适当通过调整小区方位角并提升 AAU 发射功率解决, 上调功率后无法解决或夹角大于 65° 的可新增站点解决^[12-13]。

4.2 现网部署效果

某省已按照上述原理进行系统部署, 对城区网格测试问题点进行聚合, 并同时在派单时提供最优小区信息^[14]。该平台包含 3 个部分, 第一部分是自动路测平台, 主要是向 5G 小背包等测试工具下发测试计划, 接收自动回传的测试 log; 第二部分是智能测试分析平台, 主要功能是同步获取自动路测平台的测试 log 文件, 对 log 文件解析后生成指标报表, 完成测试问题点聚合, 并同步判断往期问题圆域是否解决, 并将问题解决情况及新增的问题工单推送到网优平台; 第三部分是网优平台, 该平台是无线网络优化生产平台, 主要实现问题工单在省市公司间的流转, 完成网格道路测试问题圆域的跟进闭环。中国移动云南公司网格测试优化系统架构如图 6 所示。

自 2021 年部署该系统以来, 城区网格长期难以解决的问题得到有效根治, 问题重复出现路段占比由 14.35% 降低至 6.63% , 全省城区网格道路



表 1 现网测试问题点数据分析统计

夹角	距离/m											
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
5°	1.89%	6.78%	11.94%	15.08%	17.10%	18.03%	18.53%	18.72%	18.76%	18.81%	18.81%	18.81%
10°	3.04%	11.34%	19.82%	25.63%	29.23%	30.80%	31.72%	32.23%	32.41%	32.46%	32.46%	32.46%
15°	3.78%	14.75%	25.50%	33.20%	37.57%	39.70%	40.85%	41.59%	41.77%	41.82%	41.82%	41.82%
20°	4.61%	17.93%	30.94%	39.97%	45.27%	47.72%	48.87%	49.65%	49.84%	50.02%	50.02%	50.02%
25°	5.16%	20.70%	36.38%	46.75%	52.42%	55.09%	56.48%	57.25%	57.49%	57.68%	57.68%	57.68%
30°	5.62%	22.68%	39.70%	51.13%	57.22%	60.40%	61.96%	62.89%	63.16%	63.35%	63.35%	63.35%
35°	6.22%	24.67%	42.83%	55.46%	62.15%	65.61%	67.22%	68.19%	68.56%	68.74%	68.74%	68.74%
40°	6.78%	26.56%	45.92%	59.20%	66.30%	69.85%	71.55%	72.52%	72.89%	73.08%	73.08%	73.08%
45°	7.10%	27.71%	47.99%	62.01%	69.34%	73.08%	74.87%	75.89%	76.26%	76.44%	76.49%	76.49%
50°	7.51%	28.77%	49.79%	64.36%	72.15%	75.93%	77.73%	78.75%	79.11%	79.30%	79.35%	79.35%
55°	7.75%	29.28%	51.31%	66.11%	74.04%	77.92%	79.81%	80.82%	81.19%	81.37%	81.42%	81.42%
60°	7.93%	30.20%	52.79%	67.73%	75.70%	79.71%	81.60%	82.62%	82.99%	83.22%	83.26%	83.26%
65°	8.11%	30.94%	53.80%	69.06%	77.22%	81.37%	83.40%	84.46%	84.88%	85.11%	85.15%	85.15%
70°	8.21%	31.54%	54.96%	70.40%	78.70%	82.94%	84.97%	86.03%	86.45%	86.68%	86.72%	86.72%
75°	8.34%	31.95%	55.83%	71.46%	79.81%	84.05%	86.08%	87.14%	87.60%	87.83%	87.87%	87.87%
80°	8.58%	32.50%	56.52%	72.29%	80.73%	84.97%	87.00%	88.06%	88.52%	88.75%	88.80%	88.80%

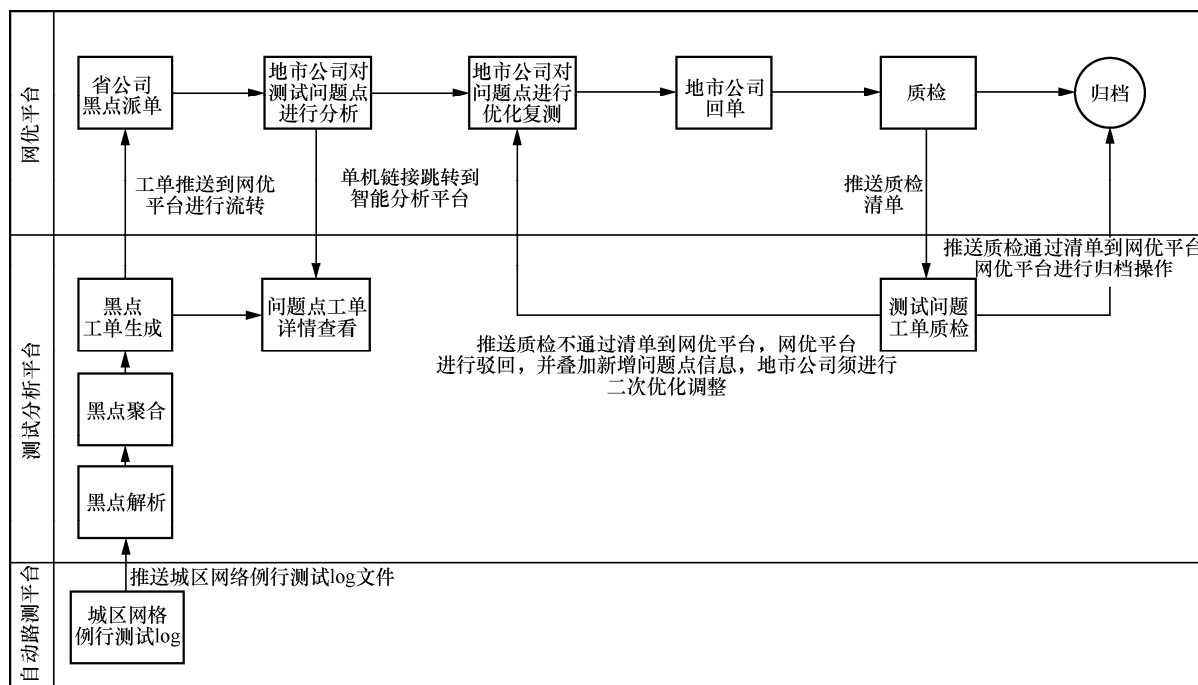


图 6 中国移动云南公司网格测试优化系统架构

覆盖率(按 SB RSRP ≥ -93 且 SSB SINR ≥ -3 统计)均值由 89.95%提升到 98.86%，改善幅度达 8.91%。与此同时，累计将 12 134 个路测问题聚

合为 8 725 张问题工单，工单压降幅度达 28.09%，节省优化成本 102.27 万元，真正实现了企业降本增效。项目成效统计见表 2。

表2 项目成效统计

地市	问题点聚合节省费用				问题重复出现占比			网格道路 5G 覆盖率		
	聚合前 工单/张	聚合后 工单/张	降幅	节省费用 /万元	实施前	实施后	改善比例	实施前	实施后	改善比例
全省	12 134	8 725	28.09%	102.27	14.35%	6.63%	-7.72%	89.95%	98.86%	8.91%
版纳	406	288	29.06%	3.54	13.86%	6.78%	-7.08%	97.96%	99.20%	1.24%
保山	244	166	28.59%	1.74	4.26%	8.33%	4.07%	87.56%	99.45%	11.89%
楚雄	768	571	25.65%	5.91	15.71%	6.84%	-8.87%	95.89%	99.20%	3.31%
大理	822	560	31.87%	7.86	10.74%	5.44%	-5.30%	82.78%	98.92%	16.15%
德宏	91	86	5.49%	0.15	11.39%	0	-11.39%	90.05%	99.68%	9.63%
迪庆	144	102	29.17%	1.26	7.69%	0	-7.69%	87.17%	99.51%	12.34%
红河	976	752	22.95%	6.72	12.08%	1.08%	-11%	89.65%	99.30%	9.65%
昆明	3 830	2 667	30.37%	34.89	16.75%	8.19%	-8.56%	93.50%	98.77%	5.27%
丽江	342	256	25.15%	2.58	9.68%	9.43%	-0.25%	95.54%	99.06%	3.53%
临沧	539	406	24.68%	3.99	3.60%	4.90%	1.30%	74.09%	99.12%	25.02%
怒江	107	80	25.23%	0.81	12.70%	11.76%	-0.94%	70.46%	97.73%	27.27%
普洱	432	347	19.68%	2.55	10.68%	0	-10.68%	97.36%	99.28%	1.92%
曲靖	1 302	976	25.04%	9.78	24.92%	6.95%	-17.97%	89.29%	98.86%	9.58%
文山	811	491	39.46%	9.6	9.95%	11.11%	1.16%	88.35%	98.96%	10.61%
玉溪	774	571	26.23%	6.09	10.35%	7.62%	-2.72%	95.57%	97.33%	1.76%
邵通	566	406	28.27%	4.8	16.53%	9.76%	-6.77%	94.08%	97.37%	3.29%

5 结束语

本文方法实现了零星问题点到问题圆域的有效聚合,能快速实现问题圆域最优小区的精准匹配,在稳步提升城区网格道路 5G 覆盖率的同时降低了优化成本,提升了城区网格道路场景的用户感知。该方法的问题聚合算法和问题解决方案算法也可用于客户投诉、语音问题等其他网络优化工作。后续将引入切换参数、功率参数、海拔高度等“软因素”,以提升该方法的有效性及其完备性^[15]。

参考文献:

[1] 黄劲安, 梁广智, 陆俊超, 等. 5G 超密集异构网络的上行性能提升方案[J]. 移动通信, 2018, 42(10): 52-57.
HUANG J N, LIANG G Z, LU J C, et al. Uplink performance improvement scheme for 5G ultra-dense heterogeneous networks[J]. Mobile Communications, 2018, 42(10): 52-57.

[2] 冯贵兰, 李正楠, 周文刚. 大数据分析技术在网络领域中的研究综述[J]. 计算机科学, 2019, 46(6): 1-20.
FENG G L, LI Z N, ZHOU W G. Research on application of big data analytics in network[J]. Computer Science, 2019, 46(6): 1-20.

[3] 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.

[4] 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.

[5] 付道繁. 5G 异构组网技术工程实施探讨[J]. 电信快报, 2019(3): 6-9, 20.
FU D F. Discussion on the implementation of heterogeneous networking technology in 5G[J]. Telecommunications Information, 2019(3): 6-9, 20.

[6] 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. Wireless network optimization based on NETMAX [J]. China New Telecommunications, 2022, 24(4): 32-34.

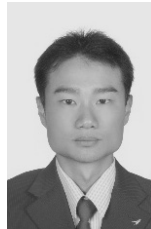


- [7] 陈捷. 一种批量测算目标区域 4G 覆盖小区的方法[J]. 移动通信, 2021, 45(6): 114-119.
CHEN J. A method of batch calculation of 4G coverage cells in target areas[J]. Mobile Communications, 2021, 45(6): 114-119.
- [8] 朱格苗, 徐慧, 王计斌, 等. 基于用户数据实现天线方位角纠偏的方法[J]. 江苏通信, 2020, 36(3): 49-52, 64.
ZHU G M, XU H, WANG J B, et al. A method of antenna azimuth correction based on user data [J]. Jiangsu Communication, 2020, 36(3): 49-52, 64.
- [9] 张叶江, 孙磊, 尹以雁, 等. 700 MHz 频段在 5G 网络优化中的应用研究[J]. 电信科学, 2022, 38(6): 156-163.
ZHANG Y J, SUN L, YIN Y Y, et al. Research on the application of 700 MHz frequency band in 5G network optimization[J]. Telecommunications Science, 2022, 38(6): 156-163.
- [10] 宋春涛, 高洁, 张恒. 基于邻区切换的网络结构合理性考量方法[J]. 邮电设计技术, 2014(9): 45-48.
SONG C T, GAO J, ZHANG H. A method of network evaluation based on SHO[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2014(9): 45-48.
- [11] 卜斌龙, 林学进, 孙全有. 5G 宏网天线覆盖解决方案及现网融合技术[J]. 移动通信, 2019, 43(4): 21-24, 42.
BU B L, LIN X J, SUN Q Y. Antenna solution to 5G macro network coverage and multi-network integration[J]. Mobile Communications, 2019, 43(4): 21-24, 42.
- [12] 杨丹, 张婧, 吕沛锦, 等. 基于现网挖潜的 4G/5G 低成本无线覆盖方案[J]. 电信科学, 2021, 37(9): 168-174.
YANG D, ZHANG J, LYU P J, et al. 4G/5G low-cost wireless coverage scheme based on tapping the potential of existing networks[J]. Telecommunications Science, 2021, 37(9): 168-174.
- [13] 余勇昌, 张典, 丁明玲. 5G 时代 4G/5G 共天馈面解决方案[J]. 电信科学, 2021, 37(4): 140-150.
YU Y C, ZHANG D, DING M L. Solution of common antenna of 4G/5G in 5G era[J]. Telecommunications Science, 2021, 37(4): 140-150.
- [14] 葛强. 基于大数据分析的天馈工参核查及校准方法[J]. 信息通信, 2019, 32(6): 251-252.
GE Q. A method of verification and calibration for antenna engineering parameter based on big data analysis [J]. Information & Communications, 2019, 32(6): 251-252.
- [15] 赵明峰, 冯涛, 宋勇, 等. 地貌特征差异对 TD-LTE 网络性能的影响[C]//中国通信学会信息通信网络技术委员会 2015 年年会论文集. [出版地: 出版者不详], 2015: 19-26.
ZHAO M F, FENG T, SONG Y. Effects of different geomorphic features on TD-LTE network performance [C]//Proceedings of the 2015 Annual Meeting of the Information and Communication Network Technical Committee of the Chinese Communications Society. [S.l.:s.n.], 2015: 19-26.

[作者简介]



张叶江 (1989-), 男, 中国移动通信集团云南有限公司无线优化中心工程师, 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。



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



杨晓康 (1976-), 男, 中国移动通信集团云南有限公司无线优化中心工程师, 主要研究方向为 4G/5G 无线网络优化。



陆贇 (1988-), 男, 中国移动通信集团云南有限公司无线优化中心工程师, 主要研究方向为 4G/5G 无线网络优化。

梁腾 (1985-), 男, 云南交通职业技术学院高级工程师、教研室主任, 主要研究方向为通信技术、职业教育等。