



专题：移动通信（5G）测试

城市场景 5G eMBB 网络速率提升研究与应用

周胜, 李天璞

(中国移动通信集团设计院有限公司, 北京 100080)

摘要: 在对城市 5G eMBB 网络遍历测试结果进行聚类分析的基础上, 将整个城市网络划分为不同场景, 通过数学建模研究不同场景下影响速率的关键要素, 并基于关联要素确定每个小区的性能提升重点。通过有针对性的优化, 可显著提升 5G eMBB 网络速率。该研究为城市 5G eMBB 网络部署后速率快速提升指引了方向, 对提升用户感知具有一定指导意义。同时, 提出的基于聚类的分析和优化方法也可应用于未来 5G SA 组网结构下 uRLLC 和 mMTC 等场景。

关键词: 5G eMBB; 速率提升; 城市场景

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2021038

Research and application of 5G eMBB network rate improvement based on urbans scenarios

ZHOU Sheng, LI Tianpu

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

Abstract: Clustering analysis was performed on the ergodic test data of the 5G eMBB network in the city. The entire urban network was divided into different scenarios. The key factors that affect the rate in different scenarios were studied through mathematical modeling, and the key points of performance improvement of each cell were determined based on the related factors. Through targeted optimization, 5G eMBB network speed can be significantly improved. This study provides a direction for the rapid improvement of the speed of urban 5G eMBB network after deployment, and has a certain guiding significance for improving user perception. At the same time, the clustering based analysis and optimization method proposed can also be applied to uRLLC and mMTC scenarios under 5G SA network in the future.

Key words: 5G eMBB, rate improvement, urban scenario

1 引言

2019 年 6 月 6 日工业和信息化部发放 5G 牌照, 我国正式进入 5G 时代。在 5G 网络建设初期,

各类业务尚未发展成熟, 用户及终端数量较少, 5G 网络主要以增强移动宽带 (enhanced mobile broadband, eMBB) 业务为主, 网络速率的快慢直接体现着网络服务能力的优劣, 也是无线网络

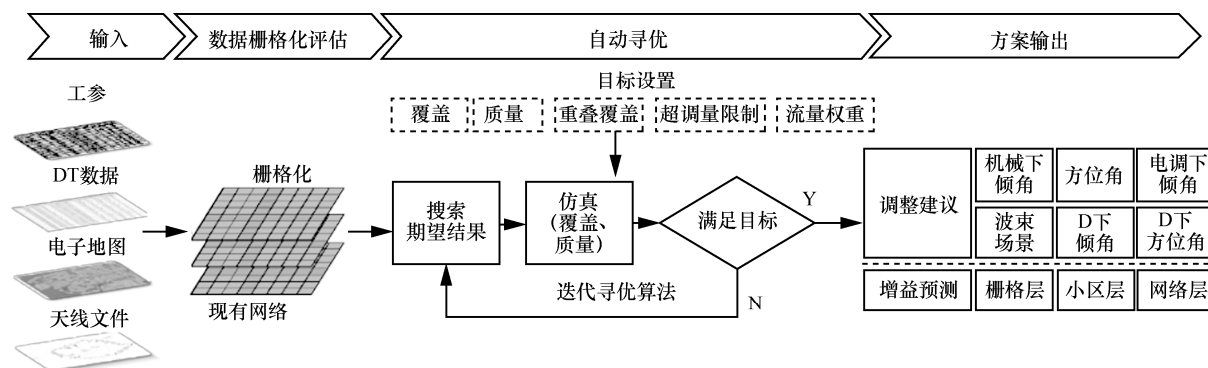


图1 小区广播波束 RF 参数和 Pattern 权值寻优流程

用户最重要的感知体验之一。因此，提升和保持无线网络速率处于高速和稳定的状态，是无线网络维护优化的主要目标。

2 5G eMBB 网络速率影响因素及分析方法

造成 5G eMBB 无线网络速率低、体验差的原因可以分为覆盖、质量、干扰、资源、RANK 共 5 种重要因素。

2.1 覆盖因素

覆盖是一切网络活动的基础，没有覆盖就没有网络活动可言。5G 网络通过波束成形与射频优化相结合进行覆盖控制，共有波束权值、扫描周期等 7 种因子 10 000 多种组合。在实际优化中，需要将 4G 和 5G 站点的工参、电子地图、DT/MDT/MR、天线方向图文件等数据进行融合及栅格化分析，基于自动寻优的迭代算法确定大规模 MIMO 小区广播波束最优 RF 参数和 Pattern 权值参数的最优组合。小区广播波束 RF 参数和 Pattern 权值寻优流程如图 1 所示。目前，通过此方案最高可以改善弱覆盖区域 20%。

2.2 质量因素

良好的网络质量才能保证网络活动的顺利和稳定开展。系统内信道传播质量越好，频谱效率越高，用户感知越好。在协议 3GPP TR38.214 中定义了调制与编码策略（modulation and coding scheme, MCS），每阶 MCS 对应一种码率，MCS 越高，码

率越大，传输效率就越高，用户实际体验到的吞吐率也越高。在 5G 网络中，gNodeB 基于基站的主动测量以及 UE 上报无线环境，通过 RANK 自适应等算法，确定最佳 MCS 等级，合理分配 PDSCH 及 PDCCH 资源，保障 UE 业务的传输效率和传输质量，MCS 选择过程如图 2 所示。

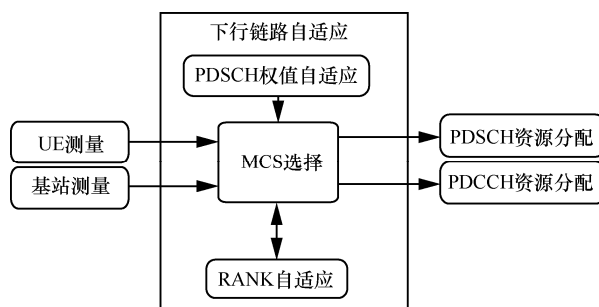


图2 MCS 选择过程

2.3 干扰因素

真实的无线环境中充满了复杂的噪声干扰，如外部阻断器、其他系统占用 5G 频段等。当无线接入小区存在干扰信号时，小区的上下行业务会受到影响，出现速率低的问题，严重时还会导致小区无法接入。在现网优化中，可通过卷积神经网络进行干扰训练，实现干扰判定和干扰预测，流程如图 3 所示。当处于训练态时，系统监测小区级干扰、RB 级干扰，采用卷积神经网络进行模型训练，获取干扰在时域、频域、空域上的特征表示；当处于运行态时，基于训练获取的干扰时域、频域、空域特征进行干扰判定和预测。

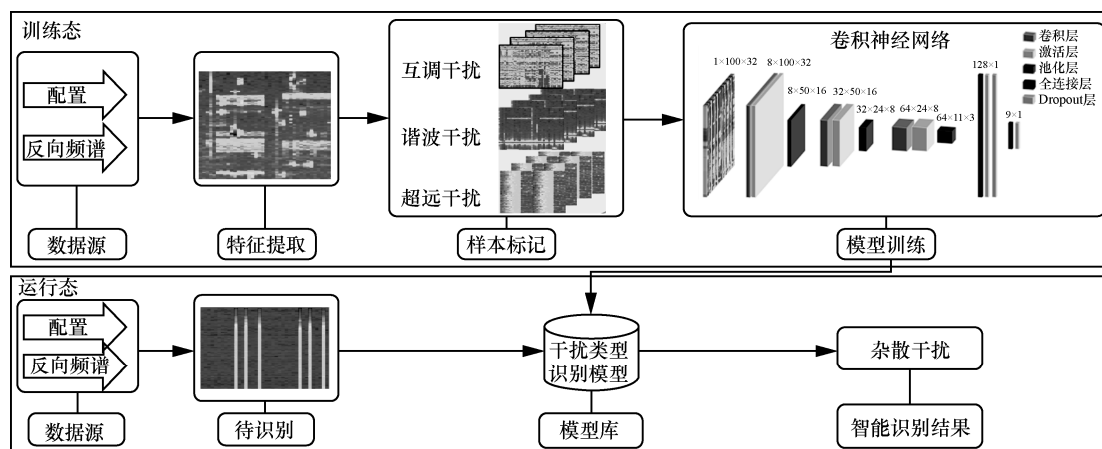


图3 干扰判定和预测流程

2.4 资源因素

一个感知良好的网络需要有足够的资源供用户使用,合理的资源分配可以增加用户速率和用户容量。在5G网络中,下行每秒调度次数和下行每slot调度RB数是保障下行速率的两个关键资源因素。针对下行调度次数不足,需要从调度异常排查、控制面问题、空口残留误码、上层来包不足等方面进行分析;对于RB数不足问题,需要从用户调度、异常告警排查、PDCP/RLC/MAC层排查等方面进行。资源调度排查内容如图4所示。只有对资源调度问题进行分段定界,调整更

适合5G网络的拥塞算法,才能提升资源利用率。

2.5 RANK因素

RANK表示空分复用流数,一般情况下,吞吐率同RANK呈正比关系,RANK越大,吞吐率越大。RANK受无线环境多径、终端/AAU天线、信道相关性等因素影响较大。在5G网络中,RANK对用户速率的影响可达到百兆级别,可基于传播路径仿真生成MIMO信道矩阵,通过信道相关性评估得到MIMO信道矩阵特征值,采用深度学习预测模型预测高精度栅格RANK值。RANK仿真预测流程如图5所示。

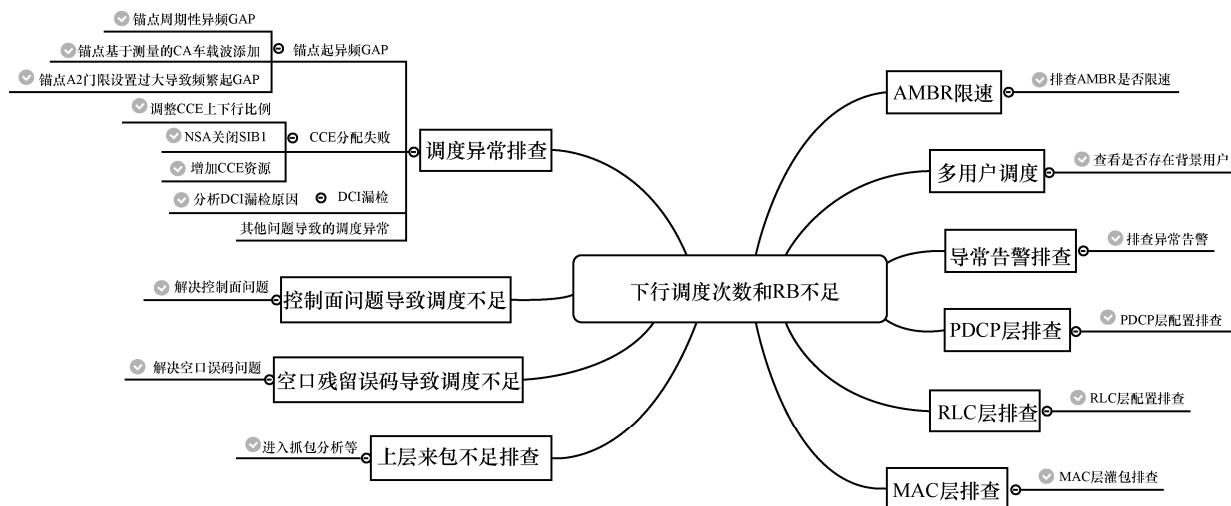


图4 资源调度排查

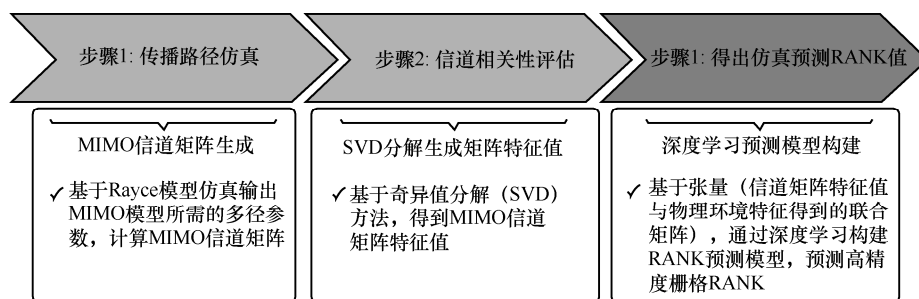


图 5 RANK 仿真预测流程

3 5G eMBB 网络速率提升

城市场景中，遍历测试（driving test，DT）是进行网络速率评估分析的主要方法。DT 可获得各个采样点的覆盖、干扰等优化相关事件，也可以获得用户吞吐率等用户感知数据。针对各个采样点测试数据进行聚类分析，通过数学建模确定影响每个小区网络速率的主要因素，并实施不同的速率提升方案。在实际优化中，经过多次测试

分析和方案实施的循环迭代，可以获得良好的 5G eMBB 网络速率。整体工作流程如图 6 所示。

3.1 测试数据获取

遍历性测试可以获得丰富的网络性能指标信息，包括采样点 PCI、速率、RSRP 电平值、SINR 值、MCS 值、CQI 值、iBLER 值、干扰值、调度值、RANK 值等。

3.2 数据聚类分析

层次聚类的合并算法对所有数据点中最为相

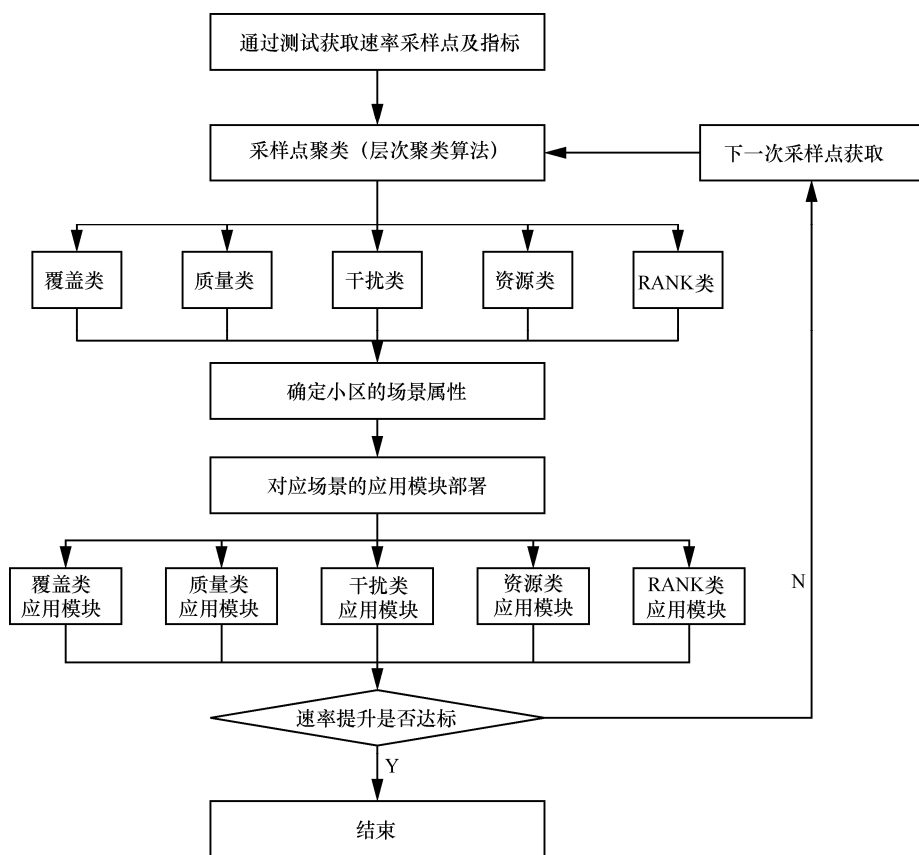


图 6 整体工作流程

似的两个数据点进行组合,将距离最近的两个数据点或类别进行组合,反复迭代这一过程,直至生成聚类树。这类算法非常适合进行遍历性测试这种可以获得海量、多维度数据的分析。本文采用 DIANA 层次聚类算法进行测试数据层次聚类。首先将所有的原始数据初始化到一个簇中,然后根据最邻近的最大欧氏距离等原则进行簇分类,直到到达用户指定的簇数目或者两个簇之间的距离超过了某个阈值,针对每个低速率小区最终可得到覆盖、质量、干扰、RANK 及资源等聚类结果,如图 7 所示。

3.3 优化方案

通过对影响速率因素进行建模,可确定每个服务小区的主要速率影响因素。在网优化中,可对每个小区的主要影响因素实施有针对性的优化方案,并通过不断的测试和方案完善循环迭代,最终达到网络速率提升的目标。本文总结了覆盖优化、质量优化、干扰判定和预测、资源优化和 RANK 优化共 5 类速率影响因素的优化方案。

3.3.1 覆盖优化

覆盖优化首先明确小区的物理覆盖场景,在此基础上主要通过调整天线的波束宽度、总波束数量及水平和垂直波束数量等进行优化。根据对 5G 网络优化初步探索及 4G 网络优化经验积累,本文总结了物理场景划分及天线参数配置,见表 1。具体优化建议如下。

- 一般情况下,推荐配置为场景 DEFAULT,

适合典型三扇区组网。

- 当水平覆盖要求比较高时,推荐场景 S1、S6、S12,远点可以获得更高的波束增益,提升远点覆盖。
- 当小区边缘存在固定干扰源时,可以考虑场景 SCENARIO_2、SCENARIO_3、SCENARIO_7、SCENARIO_8、SCENARIO_13,缩小水平覆盖范围,避开干扰。
- 当只有孤立建筑时,推荐场景 SCENARIO_4、SCENARIO_5、SCENARIO_9、SCENARIO_10、SCENARIO_11、SCENARIO_14、SCENARIO_15、SCENARIO_16,可获得水平面覆盖较小。
- 当只有低层楼宇时,可以从场景 SCENARIO_1~SCENARIO_5 中选择。
- 当存在中层楼宇时,可以从场景 SCENARIO_6~SCENARIO_11 中选择。
- 当存在高层楼宇时,可以从场景 SCENARIO_12~SCENARIO_16 中选择。

3.3.2 质量优化

在无线网络中,调制与编码策略是影响网络质量的重要因素。因此质量优化的主要内容是进行 MCS 优化。根据对 5G 网络遍历测试的 MCS 数据分析可知,当前存在的主要问题为 MCS 波动大、升阶慢、CQI 上报低等。针对上述问题可开

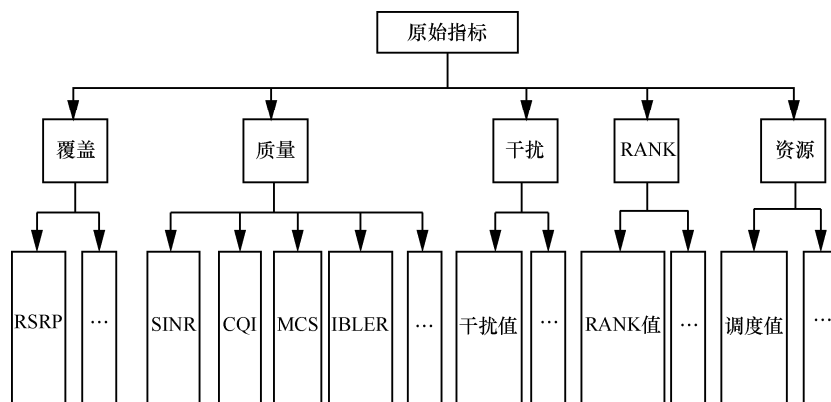


图 7 原始指标聚类分析



展针对性的分析和优化，具体如下。

(1) MCS 波动大。配置 1 个附加 DMRS，降低误码率；CSI、SRS 周期配置为 5 ms，极致短周期提升高速性能；打开 CQI 跳变限幅开关，抑制 MCS 波动。

(2) MCS 升阶慢。信道较好时，加大 AMC 固定步长值，加快 MCS 提升速度；切换后爬升慢，调整切换后 CQI 外环初值，增加初始 MCS。

(3) CQI 上报偏低。RSRP 差，优化覆盖；SINR 差，NR 小区间的干扰，配置宽波束，优化重叠覆盖；SINR 差，外部干扰，排查干扰源。

3.3.3 干扰判定和预测

5G 网络主要存在 4G 对 5G NR 的同频干扰、5G NR 同频干扰、大气波导干扰等。出于容量考虑，4G 网络将沿用原有的频率使用方式，即使用 D 频段的 2 575~2 595 MHz、2 595~2 615 MHz、

2 615~2 635 MHz 3 个载波，这样在 4G 与 5G 网络的交叠覆盖区域，4G 系统 2 575~2 595 MHz、2 595~2 615 MHz 频段的载波将对 5G 系统造成同频干扰影响。对于此类干扰问题，应首先定位主要的干扰源 4G 同频小区，对干扰源小区进行清频，以保障 5G NR 的业务质量。5G NR 同频干扰可通过业务信道 PRB 随机化、切换参数优化及精细化功率调整等方式进行规避。TD-LTE 大气波导干扰信号主要来源于干扰源小区天线上旁瓣的功率泄露，由于 5G NR 采用了大规模 MIMO 技术，可以在水平方向及垂直方向形成波束。因此 5G NR 中大规模 MIMO 的垂直波束是一个潜在干扰风险点，在实际部署应用中建议尽量减少垂直波束的使用，避免成为强大气波导干扰源。

3.3.4 资源优化

通过端到端的排查对下行调度次数和 RB 不

表 1 波束调整评测

波束场景参数	水平 3 dB 波宽	垂直 3 dB 波宽	总波束个数	水平波束	垂直波束	匹配物理场景
DEFAULT	105	6	8	8	0	一般场景，普通三扇区组网
SCENARIO_1	110	6	8	8	0	水平覆盖需求场景，低层楼宇
SCENARIO_2	90	6	6	6	0	边缘干扰场景，低层楼宇
SCENARIO_3	65	6	4	4	0	边缘干扰场景，低层楼宇
SCENARIO_4	45	6	4	4	0	孤立建筑场景，低层楼宇
SCENARIO_5	25	6	4	4	0	孤立建筑场景，低层楼宇
SCENARIO_6	110	12	8	7	1	水平覆盖需求场景，中层楼宇
SCENARIO_7	90	12	6	5	1	边缘干扰场景，中层楼宇
SCENARIO_8	65	12	4	3	1	边缘干扰场景，中层楼宇
SCENARIO_9	45	12	4	3	1	孤立建筑场景，中层楼宇
SCENARIO_10	25	12	4	3	1	孤立建筑场景，中层楼宇
SCENARIO_11	15	12	2	1	1	孤立建筑场景，中层楼宇
SCENARIO_12	110	25	8	6	2	水平覆盖需求场景，高层楼宇
SCENARIO_13	65	25	4	2	2	边缘干扰场景，高层楼宇
SCENARIO_14	45	25	4	2	2	孤立建筑场景，高层楼宇
SCENARIO_15	25	25	4	2	2	孤立建筑场景，高层楼宇
SCENARIO_16	15	25	2	0	2	孤立建筑场景，高层楼宇

足等资源调度问题进行分段和定界,包括 AMBR 限速排查、多用户调度排查、异常告警排查、PDCP/RLC 参数排查、TCP 排查等手段确定 Grant/s 和 RB/slot 低的原因是空口调度异常还是上游来包不足,通过打开 PDCCH/CSI 等信号 RateMatch 功能,提升 PDSCH 占用的 RE 资源解决 RB 使用数目较少的问题,具体优化方法如下。

- 使用 RB 小于 260 个处理。合理配置切换参数,规避乒乓切换导致 RB 调度长期不满;控制 AAU 温度,防止高温降额调度;关闭 SIB1 节省调度开销;使用 SSB 宽波束提高增益。
- 数据信道 RE 资源提升。采用 DMRS Type2 配置,节省资源开销;打开 PDCCH RateMatch 功能,提升资源增益。

3.3.5 RANK 优化

由于更高的流数将引入更高的流间干扰,从而导致按照码字计算的 MCS 变低,因此,RANK 优化的目标是在误码收敛的前提下,寻求最优的 RANK×MCS。根据对 5G 网络遍历测试数据分析

可知,5G 网络中经常出现 RANK 变化大、RANK 抬升慢、RANK 高但 MCS 低或者 RANK 低但 MCS 高等问题。现网优化可采取的具体手段如下。

- 切换后 RANK 变化大。优化切换门限,确保 UE 驻留在 RANK 高小区。
- 切换后 RANK 抬升慢。提升切换后 RANK 门限。
- MCS 高,RANK 低。调整天线方向角和下倾角,增加反射;提升 SRS P0,提高 SRS 权值精准性;增加非天选 RANK 自适应方案。

4 5G eMBB 网络速率提升方法应用

选择西部某城市的 5G 网络进行上述优化策略和方法的落地与验证。该城市多山多水多桥梁,道路蜿蜒崎岖。山上山下,桥上桥下,层次落差明显,无线环境复杂、优化难度大。采用本文提出的方法优化后,核心城区网格平均测试速率由 654 Mbit/s 提升至 873 Mbit/s,提升幅度 33.49%,整体速率以及综合性能水平得到大幅提升。部署前后的各类型小区占比见表 2,路测速率分布对比如图 8 所示。

表 2 应用模块部署前后对比分析

类别	NR 小区总数	平均速率/(Mbit·s ⁻¹)	覆盖类小区数	质量类小区数	干扰类小区数	资源类小区数	RANK 类小区数
部署前	521	654	67	28	15	27	29
部署后	521	873	11	5	2	3	2
增幅	—	33.49%	-84%	-82%	-87%	-89%	-93%

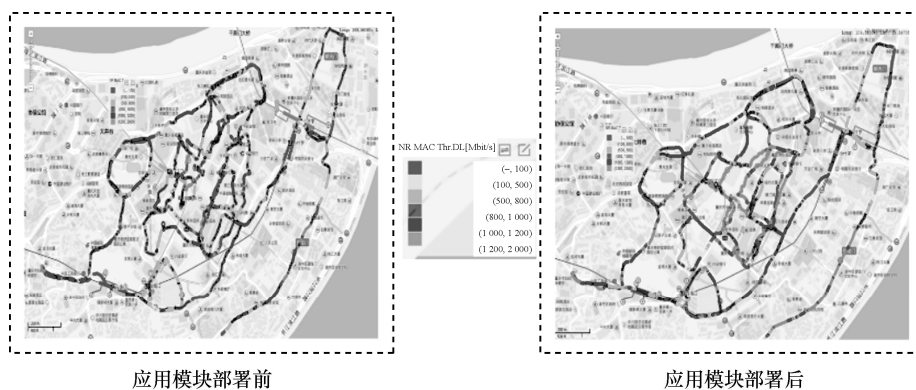


图 8 应用模块部署前后速率分布对比



5 结束语

本文借助聚类分析算法，对 5G 网络遍历测试数据进行分析，定位了影响 5G eMBB 网络速率的关键因素，给出具体优化指导建议。现网应用实践表明，所提优化方法可以有效提升网络速率。对于 mMTC 和 uRLLC 网络亦可采用本文提出的分析方法，快速区分问题场景属性，并有针对性进行优化，以达到快速提升 uRLLC、mMTC 网络业务质量目标。因此本文研究方案对于 uRLLC 和 mMTC 场景下基于不同业务需求的业务质量优化具有一定的指导意义。同时，由于 5G 网络优化还处在不断探索和经验积累的过程中，本文提出的优化建议也将随着对于 5G 网络优化认识的不断深入而逐渐完善。

参考文献：

- [1] 刘晓峰, 孙韶辉, 杜忠达, 等. 5G 无线系统设计与国际标准[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2019.
LIU X F, SUN S H, DU Z D, et al. 5G wireless system design and international standard[M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2019.
- [2] 3GPP. Measurement capabilities for NR: TS38. 214 V15.5. 0[S]. 2019.
- [3] CHRISTOFER L. 5G networks planning, design and optimization[M]. USA: Academic Press, 2018.
- [4] 刘剑飞, 何利平, 陶颖, 等. 大规模 MIMO 系统中低复杂度的码本搜索方法[J]. 通信学报, 2019, 40(1), 79-86.
LIU J F, HE L P, TAO Y, et al. Low complexity codebook search method in massive MIMO system[J]. Journal on Communications, 2019, 40(1): 79-86.
- [5] 桂冠, 王禹, 黄浩. 基于深度学习的物理层无线通信技术: 机遇与挑战[J]. 通信学报, 2019, 40(2): 19-23
GUI G, WANG Y, HUANG H. Deep learning based physical layer wireless communication techniques: opportunities and challenges[J]. Journal on Communications, 2019, 40(2): 19-23.
- [6] 张传福, 赵立英, 张宇, 等. 5G 移动通信系统及关键技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2018.
ZHANG C F, ZHAO L Y, ZHANG Y, et al. 5G mobile communication system and key technology[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2018.
- [7] 朱龙昶, 纪晓东, 张欣然, 等. 5G 增强移动宽带关键技术性能研究[J]. 电信科学, 2020, 6(1): 41-48.
ZHU L C, JI X D, ZHANG X R, et al. Performance evaluation on key techniques for 5G enhanced mobile broadband[J]. Telecommunications Science, 2020, 36(1): 41-48.
- [8] 刘晓龙, 魏贵明, 张翔, 等. 5G 大规模天线基站的性能评估与测试[J]. 电信科学, 2020, 36(6): 154-165.
LIU X L, WEI G M, ZHANG X, et al. Performance emulation and test for 5G massive MIMO base station[J]. Telecommunications Science, 2020, 36(6): 154-165.
- [9] 潘毅, 李晖晖, 曾磊. 5G 室内场景多通道联合收发技术性能与关键问题[J]. 电信科学, 2020, 36(7): 168-174.
PAN Y, LI H H, ZENG L. Performance and key issues of 5G multi-channel joint transceiver technology[J]. Telecommunications Science, 2020, 36(7): 168-174.

[作者简介]



周胜（1976—），男，博士，中国移动通信集团设计院有限公司网络优化研发部总经理、教授级高级工程师，主要研究方向为移动通信网络管理与优化。



李天璞（1974—），男，中国移动通信集团设计院有限公司网络优化研发部工程师，主要研究方向为无线网络规划与优化。