



高密度居民区移动网络覆盖优化与用户感知提升研究

祝亦凡

(中国电信股份有限公司上海分公司移动互联网部, 上海 200001)

摘要: 为解决高密度居民区移动网络覆盖及用户感知问题, 以鑫峰苑为例, 通过实施一系列网络优化措施, 显著提升了网络覆盖质量和用户满意度。重点分析了信道质量指示 (CQI) 与用户感知之间的关系, 并提出了针对性的优化策略。

关键词: 高密度居民区; 移动网络覆盖; 用户感知; CQI 分析

中图分类号: TP393

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2025086

0 引言

随着移动互联网的快速发展, 高密度居民区对网络覆盖和质量的要求日益提高。然而, 由于建筑物密集、楼层高、用户众多等因素, 这些区域的网络覆盖和用户感知往往面临挑战。城市住宅区根据楼宇分布、高度、建筑结构大致分为6种住宅场景, 上海电信分别对以下6种场景进行针对性规划、建设及优化。

- 高层板楼。建筑长度明显大于宽度, 一般分为长走廊及单元式拼接。南北通透, 楼层在10层及以上, 宽度一般不过20 m, 楼间距在40~100 m。小区内建筑布局多样, 部分楼宇底层为裙楼。
- 城中村。低层建筑物密集, 楼层一般在2~10层之间, 砖混结构。排列布局不规则, 楼间距小, 楼宇间道路狭窄。
- 高层塔楼。由若干户环绕电梯形成的楼房平面, 长宽度大致相同。一般同层住户在6户以上, 人口密集度比板楼高。

电梯与走道在楼宇中央区域, 宽度一般超过30 m。

- 别墅区。由成片单体住宅楼组成, 以2~3层楼宇为主, 单个房间面积大且纵深较长。区域内楼宇排列相对整齐, 别墅区楼间距一般较大。区域内绿化较好。
- 多层住宅。一般为10层以下住宅, 砖墙结构, 楼房分布规则, 密度相对较高。楼间距较小, 在20~30 m之间。单体宽度一般不超过15 m, 一般无电梯及地下车库。
- 高低混合住宅区。同时含多层住宅、高层住宅、别墅的部分或同时存在。楼宇分布较复杂, 高层建筑一般分布在小区周围, 低层建筑分布在小区的中央。

本文将以高低混合住宅区——鑫峰苑为例, 探讨如何通过优化移动网络覆盖提升用户感知。

1 案例背景

1.1 鑫峰苑概述

鑫峰苑为分类中的高低混合住宅区, 位置处



外环外，西邻嘉闵高架，东靠沪金高速，地铁5号线从小区东侧南北向通过。其正西侧毗邻上海航天城及上海卫星研究所等国家重点科研机构。小区总占地面积达160 000 m²，总建筑面积达279 000 m²，居民区共123幢楼宇，住户约2 730户，为2 000户以上大型居民小区。该住宅区面积大、楼层高、户数多、楼间距密，在该小区居住生活的高精尖、政企工作者众多，测算该区域ARPU值处闵行区前列，优先级高。但该区域投诉量大，时有政企或VIP投诉产生，具体投诉内容为信号弱，电话无法呼叫，下载速率慢，游戏卡顿及扫码时延高。结合原因及位置分析近半年的29单申投：多数申投集中于住宅区深度弱覆盖位置，用户投诉TOP实际原因分别为信号弱及数据业务感知差。现场查勘该居民区共123幢楼宇，其中14层的高层板楼位于中及北部。被东西南三向6层的多层楼宇包围。多层住宅及高层板楼间距小且存在高低差别，低层易被高层遮挡导致弱覆盖，同时存在地下车库，暂无信号覆盖。导致该区域用户对无线网络满意度较低。

1.2 问题分析

住宅区楼宇人口多，体量大，住宅楼宇占全部楼宇的70%以上，用户业务流量占比高，居民区基站流量占比高于Wi-Fi，仍为承载主力。密集型居民区宏基站日均4G/5G单站流量可超过300 GB，住宅区内视频、游戏、网页浏览等数据业务多，场景内用户对信号覆盖与体验感知敏感度较其余场景更高，需要同时关注覆盖与体验。住宅区内暂无电信现网小区覆盖或小区内宏基站，且周边合围宏基站高度较矮。联通创新型居民区扇区只覆盖个别区域，无法解决住宅整体覆盖，同时无5G设备，导致住宅区内4G/5G覆盖存在明显短板。竞对运营商周边站址与电联相同，但竞对运营商于小区内部存有4G/5G小区覆盖。

通过周边站点分布及现场测试情况，核查出

鑫峰苑内道路面与楼宇内4G/5G弱覆盖采样点占比较大，小区中庭区域RSRP<-110 dBm，部分楼宇存在5G下落4G的情况，判断该居民区深度覆盖不足。竞对运营商4G/5G覆盖除部分区域SINR较低外基本正常。

2 提优与验证

针对鑫峰苑存在的弱覆盖，高投诉等问题，采用“先优后建、先宏再微”的方案。

聚焦宏基站及联通创新型居民区扇区，采取了提升功率、RF优化、天馈SSB波束调整、调整切换门限等方式尝试优化，但因涉及站点分布、高度、位置等原因，无法有效解决住宅区内弱覆盖，故仍须通过规划建设解决网络问题。

2.1 规建提优方案

2.1.1 小区中心宏基站/周边宏基站合围评估

由于该居民区面积大，中心区域楼间距小且排列密，无法通过中心宏基站解决整体覆盖，且居民征询拒绝。现存联通天馈使用的为排气管天线，原共有5栋高层楼宇存有天馈，后被居民不断闹拆，现只剩单一扇区；判断不具备小区中心建设宏基站条件。

现场勘查小区周边区域的住宅区、商业楼宇高度均较低，新建点位挂高不足；同时周边宏基站高度均在20 m以下。判断周边新建站点与存量站点无法完成对该居民区进行有效合围。

2.1.2 居民区现场评估

考虑居民区体量及竞对运营商设备为整体覆盖，同时为新增5G覆盖之缘故，需求对小区进行整体4G/5G覆盖。与设计院勘察后确定优先方案为：高层板楼及多层住宅楼的6~7层外墙面安装MRRU进行小区整体覆盖。

2.1.3 小区覆盖/微站精准滴灌

根据规划情况现场实施，现场实际开通NR 3.5 GHz+LTE 2.1 GHz小区各23个。（物业及居委会坚持先行试点4个点位使用外墙MRRU作为对

比看效果，其余 19 个点位物业表示先使用与移动相同的 MRRU+外置射灯天线外挂于楼顶(天线)。

2.2 建设后验证

通过现场测试，道路与楼宇覆盖对比建设前大幅提升，LTE 道路覆盖率由 68.77% 提升至 95.62%，楼宇覆盖率由 52.45% 提升至 95.12%；NR 道路覆盖率由 76.21% 提升至 96.77%，楼宇覆盖率由 61.44% 提升至 96.87%。楼道内建设前后指标对比见表 1。

2.3 建设后存量问题分析

建设完成后，已初步解决该居民区 4G/5G 网络覆盖“从无到有”的问题。但通过对投诉用户回访与测试，发现部分区域依旧存在视频播放卡顿、下载速率慢、扫码时延高等问题，还需要对该居民区进行针对性细致优化。

针对用户反映与实测的视频播放卡顿、下载速率慢、扫码时延高进行剖析，梳理以下可能因素。

- 网络负荷：网络负荷高，单用户可用的资源少，信道资源不足导致业务变慢。
- 信号质量：在小区覆盖边缘或者在信号误码率高的场景，用户信号质量差，业务传输过程中需要使用低阶调制、多次校验或重传，业务传输效率低。
- 干扰：由系统外或系统内造成的干扰，影响业务正常传输数据，造成用户感知下降。
- 站点故障：当基站发生故障时，可能会对网络的性能和稳定产生影响，包括信号覆盖范围、切换成功率、数据传输速度等方面，具体的影响因素取决于故障

的类型和严重程度。

确认鑫峰苑周边覆盖小区均无影响业务告警后，通过以下维度对存量问题进行分析：负荷分析、上行覆盖分析、干扰分析、吞吐率分析、下行覆盖质量分析。

- 负荷情况核查：核查主覆盖小区 4G/5G 负荷情况，主覆盖小区 4G/5G 负荷情况均正常，无超高负荷情况。
- 上行覆盖核查：核查主覆盖小区上行覆盖情况，主覆盖小区 4G/5G 上行覆盖指标均正常。
- 干扰情况核查：核查主覆盖小区干扰噪声情况，主覆盖小区 4G/5G 底噪情况均正常。
- 上下行吞吐率核查：核查主覆盖小区吞吐率情况，主覆盖小区 4G/5G 下行 MCS 指标较低。
- 下行覆盖质量核查：核查主覆盖小区 CQI 优良比情况，主覆盖小区 4G/5G CQI 优良比指标差，均已低于 90%

2.4 多维度核查结论

(1) 针对该居民区现网无线覆盖、站点分布及 MR 覆盖率等情况，判断现鑫峰苑内 4G/5G 覆盖基本正常，不存在结构性缺站等覆盖类问题。

(2) 聚焦现场实地测试，居民区内道路面覆盖与感知基本正常，但进入单元楼道后，4G/5G 覆盖与感知出现明显下降。

(3) 通过网管确认鑫峰苑周边覆盖小区均无影响业务告警，观察该居民区主覆盖小区暂无负荷与干扰问题。性能指标中 CQI 优良比、下行平均 MCS 与小区下行吞吐率低初步判断用户感知

表 1 楼道内建设前后指标对比

楼道内	LTE			NR		
	RSRP/dBm	SINR/dB	DL THP	SS RSRP/dBm	SS SINR/dB	DL THP
建设后	-95.15	5.87	18.18	-94.76	5.29	208.7
建设前	-105.79	-0.55	3.59	-102.37	3.24	66.16



较差原因与CQI、下行平均MCS强相关。

2.4.1 CQI重点分析

信道质量指示 (CQI) 是无线信道通信质量的测量标准, 一个高值的CQI是反映当前信道质量的一项重要指标, 也可反映用户感知的好坏。根据LTE规范, 信道质量指标 $CQI \geq 7$ 是采纳16QAM高阶调制模式, $CQI \geq 10$ 是采纳64QAM高阶调制模式。使UE占用高效的编码方式, 获得更高的下行速率。目前中国电信集团采用 $CQI \geq 7$ 的比例来衡量网络覆盖水平。

CQI本质上反映了当前的信道质量, SINR也是反映网络质量的一个重要的参数, 那么CQI的上报值和SINR到底有什么关系? 在UE接收机的灵敏度、MIMO传输模式和无线链路特性等相同的情况下, 通过大量测试整理得出CQI与下行SINR值大致对应关系见表2。

表2 CQI与下行SINR对应关系

CQI对应码率表(36213-870) 7.2.4 Table7.2.3-1				
CQI index	调制方式	code rate x1024	效率	Blcr=0.1, SINR/dB
0		—		≤ -5.98
1	QPSK	78	0.152 3	-5.98
2	QPSK	120	0.234 4	-4.56
3	QPSK	193	0.377	-2.87
4	QPSK	308	0.601 6	-1.1
5	QPSK	449	0.877	0.8
6	QPSK	602	1.175 8	2.65
7	16QAM	378	1.476 6	4.67
8	16QAM	490	1.914 1	6.54
9	16QAM	616	2.406 3	8.45
10	64QAM	466	2.730 5	10.52
11	64QAM	567	3.322 3	12.31
12	64QAM	666	3.902 3	14.62
13	64QAM	772	4.523 4	16.57
14	64QAM	873	5.115 2	18.65
15	64QAM	948	5.5547	>22.7

基站根据上报的CQI来决定下行PDSCH的MCS。CQI值越大, 所采用的编码调制编码方式越高, 编码效率越高。因此所提供的下行峰值速率越高。CQI值越大, 信道的相关性越小, 可能采用空分复用, 即双流传输, 下行峰值速率比单流传输接近翻倍。CQI值越小, 基站下行调制编码方式采用QPSK, 编码效率降低, 下行峰值速率就降低。因此UE用户上报的CQI指标既反映了网络无线信号覆盖质量, 又反映了下行信道编码的效率。

2.4.2 CQI优化手段

(1) 基础优化。告警故障处理、干扰分析处理、邻区优化、PCI近距离复用、MOD3核查。完善基础优化可减少因网络结构问题造成的网络质差。

(2) RF优化。结合TA分布、MR数据和测试基础数据, 判断是否存在弱覆盖、过覆盖、重叠覆盖等问题。通过调整天线的高度、方位角、下倾角、站址搬迁、新建站等方式来解决弱覆盖、过覆盖、重叠覆盖等问题。

(3) 功率调整。核查小区功率, 合理配置RS功率, 保障有效覆盖、提升SINR和CQI。避免RS功率过小, 无法有效满足网络覆盖需求与RS功率过大导致的基站功率余量不够, 造成业务调度时部分PRB不分配, 系统带宽变小的情况。

(4) 切换参数。通过延迟触发或磁滞门限的控制, 尽量使服务小区的变化能及时跟上最好小区的变化; 在快衰落场景下, 快速触发服务小区变更。同时应注意规避频繁的服务小区变更, 造成出现CQI较好, 但却因服务小区变更过于频繁导致的吞吐率掉底现象。

(5) DRX功能。DRX打开, 导致终端进入休眠期, 会增加SR虚警落入休眠期的概率。SR虚警会导致基站周期性检测CQI, 但实际上UE并没有上报任何CQI, 因此eNodeB会检测到一

个在 CQI 0~15 范围内的随机值。可通过关闭 DRX 功能优化调整。

(6) TM 模式。TM4 模式适用于信道条件较好的场合，用于提供高的数据率传输，在信道条件越好的情况下，采用的调制方式越高阶，从而调度的 CQI 也就越高阶。但影响高速小区感知速率，建议仅对局部低速移动小区进行优化。

2.5 优化提优方案

结合后台指标与现场情况，通过以下 3 个维度：天馈整改、小区合并、参数调整进行前后台联动优化。

2.5.1 天馈整改

经过与物业再次沟通，由于居民区楼间距过小，19 个楼顶射灯天线挂高过高，无法有效保障中低层用户网络覆盖。覆盖效果不如 4 个试点的 6~7 层外墙小板状天线；考虑用户感知需求问题，需要调整天线挂高，将其余天线从楼顶移位至外墙。整改示意图如图 1 所示。

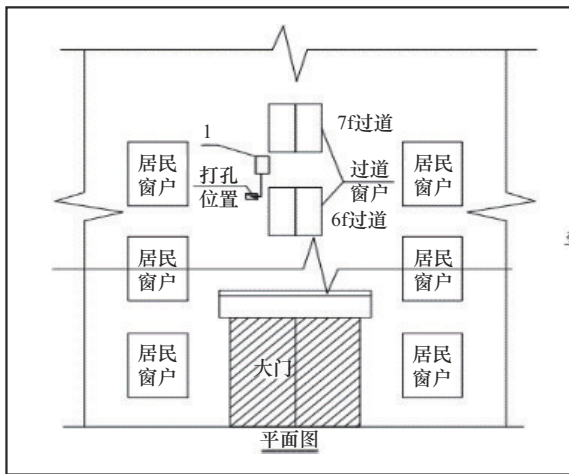


图1 整改示意图

2.5.2 小区合并

对鑫峰苑内 23 个小区进行话务统计，合并部分低业务小区，在不影响负荷与覆盖的情况下，减小鑫峰苑内同频小区数，降低该居民区场景内的重叠覆盖与模三干扰，增强信道质量。合并后鑫峰苑内 LTE 与 NR 小区数由各 23 个，变更为各

19 个。合并小区对应关系见表 3。

表3 合并小区对应关系

天线/设备安装位置	ENB-CI	GNB-CI	备注
36 号 4 层	73074-132	5844565-131	合并
38 号 4 层	73074-133	5844565-132	
40 号 4 层	73074-136	5844565-135	合并
42 号 4 层	73074-137	5844565-136	
56 号 4 层	731110-132	5842942-131	合并
75 号 4 层	731110-134	5842942-133	
69 号 4 层	731110-133	5842942-132	合并
84 号 4 层	731110-137	5842942-9	

2.5.3 参数调整

针对合并后鑫峰苑内 4G/5G 小区进行参数调整，进一步优化该居民区内 UE 上报 CQI。

(1) 功率调整。控制部分小区功率，减少邻小区间干扰与覆盖范围，确保覆盖无明显外溢造成的小区拥塞影响感知与指标。

(2) 异频覆盖。对部分重叠覆盖区域较大，且无法通过天馈与功率调整有效改善的区域进行小区频点翻频，将 LTE 小区下行频点由 1850 翻频至 1650，NR 小区频点由 627264 翻频至 633984，保障小区带宽不变的情况下，形成异频覆盖，消除 MRRU 间及与宏基站的重叠影响。

(3) 切换参数调整。调整鑫峰苑 MRRU 异频切换策略与门限，LTE 小区由异频 A4 事件调整为异频 A3 事件，NR 小区异频 A5 事件调整为 A3 事件；并个性化调整基于 A3 事件的异频 A1/A2 门限，保障鑫峰苑内用户不受小区翻频影响造成的不及时切换问题。

(4) DRX 功能。关闭居民区内主覆盖小区 DRX 功能，确保该居民区内指标与用户感知不受 DRX 功能影响。

(5) 特性参数调整

- 开启鑫峰苑内 MRRU 频选开关，对于小区内满足频选条件的用户，下行调度使用 UE 上报的子带 CQI，从而提升用户



的频谱效率。

- 开启鑫峰苑内 MRRU 及涉及宏基站的 CQI 可靠度优化开关，在干扰场景下可识别出更多的误检 CQI，并使用历史 CQI 值填充。
- 归一化 PDSCH 功率偏置，计算 PDSCH 相对于导频的功率偏置，增大该参数，目的为提升终端单码字或双码字 CQI 上报值，提升 Rank2 比例。
- 修改 CSI 周期，控制 MRRU 的周期 CSI-RS 的下发周期。
- 修改功率控制偏置，用于设置空口 RRC CONN RECFG 信令中用于 CSI-RS 信道测量的信元 powerControlOffset 取值的基准值。
- 修改物理下行共享信道汇聚功率偏置最大值，用于设置 PDSCH 功率汇聚算法的 PDSCH 功率相对于基准功率的功率偏置最大值。

3 提优成效

3.1 用户感知提升

优化方案实施调整后，居民区主控站点无新增告警，无线性能指标无劣化。后台观察该居民区主控小区指标，LTE 与 NR 系统 CQI 优良比、下行平均 MCS、用户平均吞吐率均已得到提升。4G 体验速率由 17.73 Mbit/s 提升至 25.95 Mbit/s，5G 体验速率由 209.55 Mbit/s 提升至 227.55 Mbit/s。

3.2 无线覆盖提升

针对提优前测试的 DT 及楼道内 CQT 进行复测验证，RSRP 及 SINR 和速率均得到提升。

(1) 室外 4G 平均 RSRP 从 -83.42 dBm 提升至 -76.14 dBm；4G 平均 SINR 从 16.11 dB 提升至 19.24 dB。楼宇内 4G 平均 RSRP 从 -95.15 dBm 提升

至 -91.41 dBm；4G 平均 SINR 从 5.86 dB 提升至 8.89 dB；下行速率从 18.17 Mbit/s 提升至 25.23 Mbit/s。

(2) 室外 5G 平均 SS-RSRP 从 -75.17 dBm 提升至 -69.39 dBm；5G 平均 SS-SINR 从 14.01 dB 提升至 21.17 dB。楼宇内 5G 平均 SS-RSRP 从 -94.76 dBm 提升至 -89.66 dBm；5G 平均 SS-SINR 从 5.288 dB 提升至 9.48 dB；下行速率从 208.47 Mbit/s 提升至 290.57 Mbit/s。

3.3 投诉压降

提优方案实施后，用户申告及投诉已由 2023 年 29 单压降至 2024 年 3 单，投诉用户由 2023 年 12 位，压降至 2024 年 1 位，质差类投诉已大幅下降。

4 结束语

高密度居民区小区人口多，体量大，业务流量占比高，场景用户对信号覆盖与体验感知敏感度高。对不同类型住宅类型的个性化覆盖建设方案，使用“周边宏基站合围+小区分布精准滴灌+前后台联合调优”的规建优方案取得了用户感知提升、无线覆盖提升、投诉大幅压降的成效。本文从居民区网络覆盖需求与用户感知问题入手，结合现场测试排查、无线指标分析、系统参数核查，进行多维度分析，精细化定位居民区感知差的问题，以 CQI 为切口，解决高密度居民区内无线网络覆盖和感知问题，实现覆盖好、体验佳的高质量网络目标。

参考文献：

- [1] 王旭, 董建亭. 关于提升 CQI 优良比的研究与实践[C]//内蒙古通信学会 2019 年优秀论文集. 呼和浩特, 2019: 117-127.
- [2] 张春旭, 熊国君, 陈钟. LTE 网络关于 CQI 优化研究[J]. 通信技术, 2019(3): 19-23.

[作者简介]

祝亦凡 (1996-), 男, 现就职于中国电信股份有限公司上海分公司移动互联网部, 主要研究方向为无线网络。