



工程与应用

高铁场景网络质量和用户感知提升方法

梁松柏, 郭颖悟, 李新卫

(中国联合网络通信有限公司河南省分公司, 河南 郑州 450008)

摘要: 针对高铁场景移动网络质量提升难度大、常规方法收效差的问题, 探索了一种针对交通干线, 特别是高铁场景移动通信用户感知提升的方法论体系。提出了“覆盖有主、重选合理、切换有序”的交通干线切换链优化核心思想; 总结了“先覆盖控制, 后参数优化, 再特性加载”的三层实践结构模型; 采用了拉线图方式关联空闲态、业务态测试数据以及基站工程参数, 发现覆盖问题路段和小区, 覆盖优化后匹配高速移动场景时延参数, 加载业务质量和感知特性的方法, 实现高铁网络质量和用户感知大幅提升。该方法从原理分析入手, 经过实践应用, “标本兼治”解决网络问题, 并可快速推广和复制。

关键词: 切换链; 覆盖有主; 重选合理; 切换有序; 拉线图; 标本兼治

中图分类号: TN914

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2021045

Network quality and user perception improvement of high-speed rail scene

LIANG Songbai, GUO Yingwu, LI Xinwei

Henan Branch of China United Network Communication Co., Ltd., Zhengzhou 450008, China

Abstract: In view of the difficulty in improving the quality of mobile network in high-speed railway scenes and the poor efficiency of conventional methods, a methodology system for improving the perception of mobile communication users was explored in traffic trunk lines, especially in high-speed railway scenes. The methodology system was based on handover chain optimization with the core idea of “primary covering, reasonable reselection and orderly switching”. It adopted a three-layer theoretical structure include covering control firstly, then parameter optimization, and feature loading last. It used idle state and service state data pull graph correlation to determine problem road sections and cells, match the delay parameters of high-speed mobile scenes, load service quality and perception characteristics, and greatly improved the high-speed railway network quality and user perception. This method started from the principle analysis, with practical application, it could effectively solve the network problems, which could be fully extended to other linear scenes.

Key words: handover chain, primary coverage, reasonable reselection, orderly switching, drawing diagram, solving root causes

1 引言

高铁已成为我国最大规模的人口流动承载工具,最大限度提升高铁用户业务体验和感知成为运营商塑造网络口碑的一大挑战。中部某省为“米”字型高铁汇集区。该省成立专项组,每完成一条高铁专网覆盖,都按照集团技术规范 and 标准要求,采用路测加后台分析方法发现问题,以及采取多 RRU 小区合并解决频繁切换、多载波加低速用户迁出解决容量等一系列高铁网络特性功能提升用户感知。自京广高铁开通至今,6 年时间内下发 14 000 条问题调整工单,累计投入优化费用 1 200 多万元,京广等关键线路 SINR ≥ 0 的比例仅为 83.9% 左右,无法从根本上解决 SINR 差、VoLTE 掉话、上网慢、用户体验差、投诉多等问题。

本文以高铁用户质量和业务感知提升为目标,旨在构建一套干线优化理论体系,并提出与该理论匹配的、可变现的简单操作方法,解决现有干线质量提升无系统性解决方案以及效果有限的困境,供运营商在所有交通干线场景快速复制和推广。

2 优化原理

2.1 理论分析

造成高铁 SINR 差、VoLTE 掉话多、感知频繁被人诟病的原因有很多,排除故障告警、断站等运维因素,现有方法仅着眼于掉话、切换失败、单个 SINR 差等表象问题;或依赖加载某项功能特性改善一类的问题;实际效果事倍功半。其根本原因是,问题根因定位不准,缺乏基于根因的体系化方法,具体为覆盖控制不合理、干扰导致数据无法正常解调、容量厚度不够。要彻底解决以上问题,需从其原理着手,并解决实施顺序。

高铁网络和大网类似,需要优化解决覆盖、质量和容量问题,最终实现用户感知提升。

(1) 移动网覆盖,指终端接收到的网络信号

电平值高于某种基本业务的信号解调门限,是为终端提供基本网络质量的第一位因素。反之则为弱覆盖或无覆盖。

(2) 移动网质量,主要针对网络或终端的接收机灵敏,接收机灵敏度包含接收信号的解调门限 SNR,是指定的误码率下的信噪比。

$$\text{接收机灵敏度 } S = (10\lg(KTB) + NF) + \text{LOSS} + \text{解调门限} \quad (1)$$

其中, K 是玻尔兹曼常数, T 是绝对温度, B 是带宽, NF 是系统噪声系数(一般为常数 3~4 dB)。 $KTB = -174$ dBm; 解调门限是基带最低解调信噪比,是第二位的因素。

对于 4G 和 5G 网络,主要通过信号与干扰加噪声比(signal to interference plus noise ratio, SINR)衡量网络质量高低,并可和解调门限进行比较。

$$\text{SINR} = \text{Signal} / (\text{Interference} + \text{Noise}) \quad (2)$$

其中, Signal 为测量到的有用信号功率,主要测量的信号和信道包括 RS、PDSCH; Noise 为底噪,与具体测量带宽和接收机噪声系数有关,为式(1)中的 $10\lg(KTB) + NF$; Interference 为测量到的干扰信号的功率,包括本系统其他小区的干扰以及异系统的干扰:对于同频组网的 4G 和 5G 网络, Interference 信号可以简写为:

$$\text{Interference} = \sum \text{RSRP}_n \quad (3)$$

其中, RSRP_n 表示所有与服务小区同频的、邻区的信号强度之和。有用信号 Signal 为 -80 dBm,所有邻区信号和为 80 dBm 时,若不考虑本小区底噪,则该终端计算的小区 SINR 为 0;可见,邻区信号越与服务小区信号接近,影响越大。若 SINR 小于解调门限 SNR,则数据无法解调。

$$\text{SINR} \approx \text{RSRP} / \sum \text{RSRP}_n \quad (4)$$

(3) 移动网容量,受频率复用和同频干扰控制等因素影响较大,需要在网络覆盖和质量的基础上考虑。比如在 4G 和 5G 中,网络或终端采用 MCS 方式,与 SINR 映射的 CQI 密切相关。



CQI、MCS 与编码效率关系见表 1, 同样采用 64QAM 调度, CQI=10 和 CQI=12 编码效率提升 43%左右, 以现网 20 MHz 带宽的 L1800 网络来说, CQI 从 10 提升至 12, 容量提升幅度相当于建设一个 10 MHz 带宽的基站。质量控制是用户感知速率的保障基础。

覆盖电平高低影响业务基本保障门限; 邻区信号控制影响服务小区的 SINR; 而 SINR 高低又影响网络容量; 以上因素最终影响用户感知。

2.2 优化理论及实现方法

基于以上分析, 为控制手机在空闲态和连接态行为, 确保手机和基站能够正确解调出有用信号, 提出了交通干线“覆盖有主、重选合理、切换有序”的“切换链”优化理念。当网络信号在接收机最低接收门限之上时, 称为有效覆盖, 而一个基站覆盖范围与其规划设计目标相符, 称为覆盖有主; 重选合理, 确保移动用户在最合适的小区发起业务接入; 切换有序, 保障移动用户正在使用的业务在最合适的小区顺畅迁移。

为实现这个目标, 又提出 3 种交通干线的优化方法, 即“先覆盖控制提质量, 再参数优化稳质量, 再特性加载保感知”的三层实践优化模型, 并匹配如下实际操作方法, 实现高铁网络质量和

用户感知稳步快速提升。

2.2.1 第一步: 覆盖控制提质量

网络覆盖不合理、越区覆盖或覆盖不足, 都与覆盖有主相悖, 会导致终端在空闲态选择、重选以及接入网络时出现问题; 在业务态则会造成终端频繁切换或乒乓切换、切换不及时、切换过早等问题。为实现覆盖有主, 解决办法如下。

(1) 空闲态、业务态 DT, 采集重选、切换数据, 或采集 MDT 数据获取空闲态和业务态网络信息。

- 多终端多轮空闲态和业务态拉网测试获取数据。规避单一终端、单次拉网数据带来的随机性和突变性。
- 基于 MDT 的数据采集方式, 采集一定时间周期内, 该线路所经终端上报的 MR 数据, 反映网络性能。

(2) 基于拉线图的覆盖分析, 发现覆盖、重选、切换问题

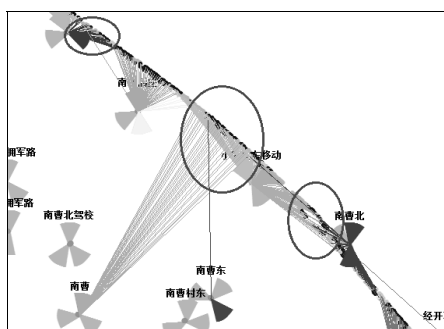
借助路测分析软件, 拉线关联分析功能, 将空闲态和链接态数据关联服务小区, 快速发现网络覆盖问题。如图 1 (b) 所示, 非专网基站南曹站越过其周边第一圈邻区, 成为覆盖该高铁路段的大网小区, 南曹基站为越区覆盖。

表 1 CQI、MCS 与编码效率关系

CQI	调制技术	编码率 $\times 1\ 024$	效率
0	out of range		
1	QPSK	78	0.152 3
2	QPSK	120	0.234 4
3	QPSK	193	0.377 0
4	QPSK	308	0.601 6
5	QPSK	449	0.877 0
6	QPSK	602	1.175 8
7	16QAM	378	1.476 6
8	16QAM	490	1.914 1
9	16QAM	616	2.406 3
10	64QAM	466	2.730 5
11	64QAM	567	3.322 3
12	64QAM	666	3.902 3
13	64QAM	772	4.523 4
14	64QAM	873	5.115 2
15	64QAM	948	5.554 7



(a) 某城区道路网络覆盖拉线示意图



(b) 某高铁网络覆盖拉线示意图

图1 不同线型场景网络覆盖拉线图举例

同理,基于MDT数据的分析软件也支持以上空闲态和链接态的覆盖分析。但需注意选取具有高精度经纬度的MRO数据。

通过多终端测试数据的经纬度偏移设置对比分析,可快速发现空闲态和业务态的网络覆盖不一致问题。4个终端拉网测试数据在经纬度一定偏移的基础上形成的采样点覆盖图如图2所示。

在永城芒山赵楼东电信(高铁)F388附近,几乎4个终端在该路段出现相邻两个小区互相深度交叉覆盖的问题,说明该路段铁定存在问题。同时不同终端在该路段两个小区间存在4次切换问题,是典型的覆盖不合理导致的频繁切换和乒乓切换问题。

越区覆盖的标准在业内暂无定论。但如果以移动无线网络规划建设为目的,就能得到很好的标准。做网络规划时,经常会对网络进行补盲;基于视距传播原理,补盲站一定要建设在补盲中心区域高点,解决该区域网络覆盖问题。其核心思想是:补盲站是解决该盲区的覆盖问题。反之,若该补盲站覆盖至其他非规划区域,即意味其对该区域原有基站造成干扰。

因此,一般以目标基站与其周边第一圈非基站邻区覆盖范围为基准,合理覆盖范围应该为目

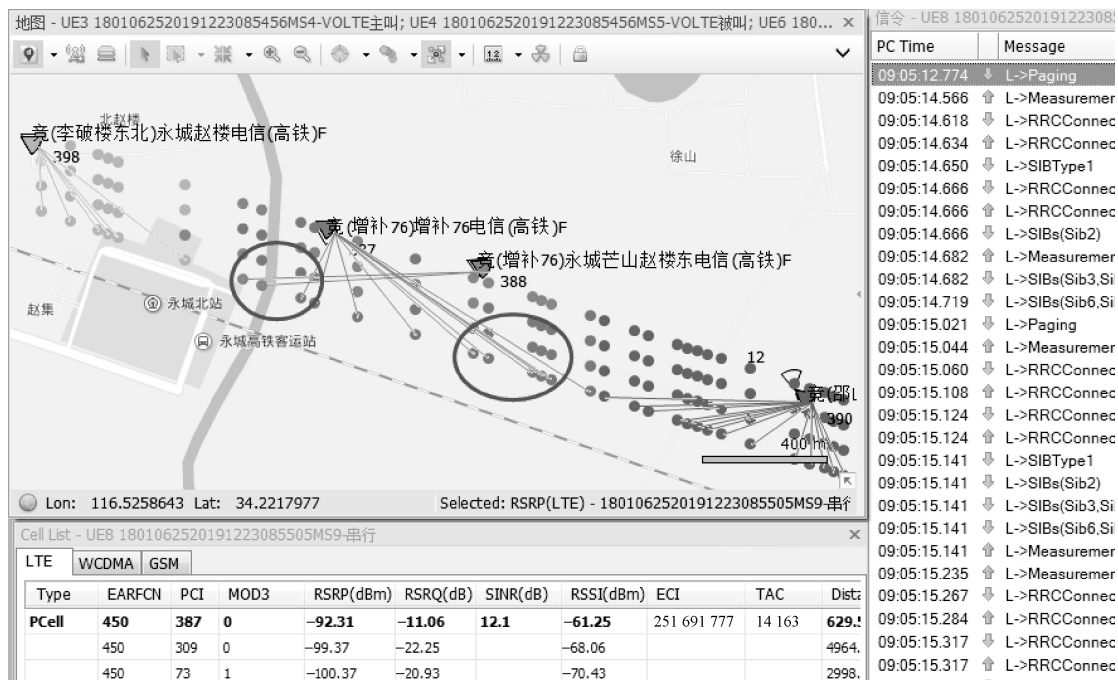


图2 4个终端高铁同一路段覆盖情况



标基站覆盖距离不超过与其第一圈邻区的 $2/3$ 的距离为好。但无线电波传播存在波动性,实际上这个标准比较苛刻且难以实现。因此可以定义为目标基站覆盖范围不能超过其非共站第一圈邻区为优。这也就是拉线图发现网络覆盖问题的理论依据。

以上问题的解决手段:建议天馈调整控制覆盖。降功率、优参数等手段都是治标不治本的权宜之计。通过天馈调整,确保网络有比较好的覆盖结构,为网络质量的保障打下基础。

优化前后的覆盖情况对比如图 3 所示,小毛庄西南(高铁)F 附近与葛埠口乡徐庄村(高铁)

北小区覆盖不合理导致重叠交叉覆盖,电平值相差 2 dB 内,引起同频强干扰质差, SINR 为 3.299 dB,无法保证业务质量。通过天馈调整覆盖后, SINR 提升至 9.899 dB, SINR 提升近 13 dB。

2.2.2 第二步:参数优化稳质量

(1) 常规参数优化

覆盖控制到位后,还需根据交通线快速移动特性对重选、切换、邻区参数以及定时器等做有别于大网的调整和优化,进一步保障覆盖控制效果,确保终端按照网络策略在既定基站或小区之间有序移动,实现重选合理和切换有序的目的。高铁场景部分可优化参数见表 2。

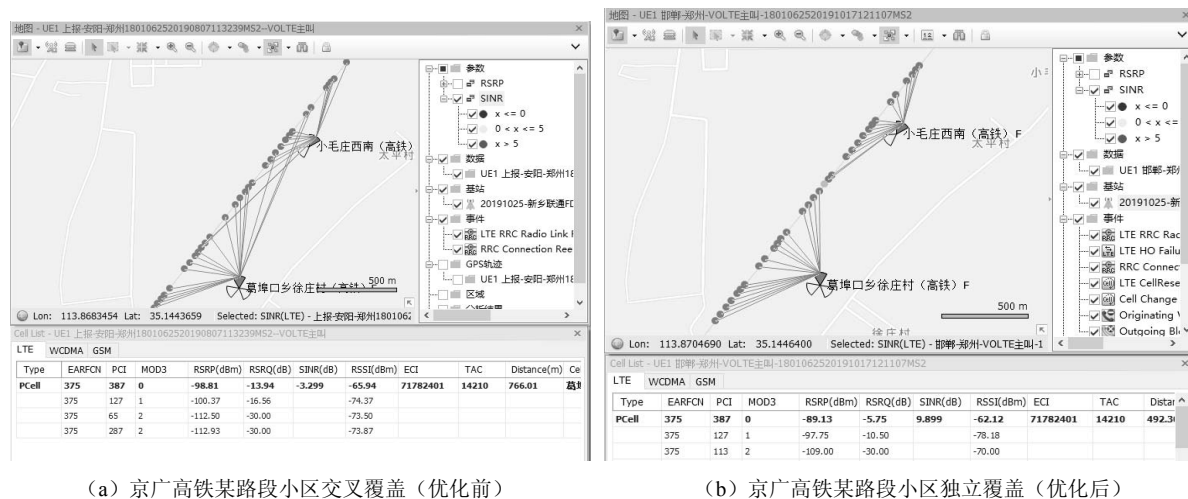


图 3 优化前后的覆盖情况对比

表 2 高铁场景部分可优化参数

分类	可优化参数	分类	可优化参数
重选参数优化	频内小区重选判决定时器时长/s	接入定时器	T300/UE 等待 RRC 连接响应的定时器长度(T300)/ms
	服务小区重选迟滞/dB		T302/UE 等待 RRC 连接重试请求的定时器(T302)/s
切换参数优化	测量时的 RSRP 层 3 滤波系数	保持定时器	N310/UE 接收下行失步指示的最大个数(N310_UE)/个
	A3 事件偏移		T310/UE 监测无线链路失败的定时器(T310_UE)/ms
	事件发生到上报的时间差	重建定时器	T311/UE 监测无线链路失败转入空闲状态的定时器(T311_UE)/ms
邻区配置优化	邻区层数:配置 3 层,不超过 5 层		T301/UE 等待 RRC 重建响应的定时器长度(T301)/ms
	邻区 CIO	切换定时器	T304/UE 等待切换成功的定时器(T304)/ms
	邻区 Qoffset		

高铁场景与大网部分参数对比实例见表 3。

(2) 载波功率调整

下行功率富余能给单用户提供更多的功率资源, 支撑更高的速率。因此 20 MHz 带宽载波功率可由 20 W 调整为 30 W 或者更高, 主要用于解决 100 m 内弱覆盖或小区功率拥塞问题。

该策略执行后, 某高铁路段实地验证, 整体下行感知速率由 16.98 Mbit/s 提升至 18.99 Mbit/s, 低于 10 MHz 带宽小区占比由于 12.76% 下降至 1.85%。20 MHz 带宽载波下行感知速率由 22 Mbit/s 提升至 27 Mbit/s。

2.2.3 第三步: 特性加载保感知

终端移动速度快产生的多普勒频偏, 可以采用纠偏技术降低频偏影响; 因公网用户占用专网小区, 影响小区承载容量, 应用低速用户迁出功能将公网用户迁出高铁专网; 在低速小区开启高速返回功能, 可将高铁用户迁回至专网小区。120 km 下非高铁其他干线场景, 因用户高速移动特性、用户集中度不明显, 则可忽略此步骤。

(1) 多普勒频移补偿

当列车驶向基站, 合成频率增加, 波长变短; 当列车驶出基站时, 合成频率减小, 波长变长;

以列车经过基站轴线频偏为 0, 可计算得出具体频偏, 见表 4。

开启频率补偿功能, 修正上行频率偏移, 确保基站接收机具有更好的解调性能, 实地验证上行用户速率提升 6% 左右。下行频率纠偏补偿, 主要靠终端支持能力实现, 目前, 高通芯片终端对频移补偿纠错能力为 -1 000~500 Hz, 500~1 000 Hz。另外, 部分设备厂商可根据上行频偏反馈, 进行下行预纠偏补偿, 实地验证用户速率增益为 6%~8%。

(2) 高速用户优先调度

算法实现的原理: 首先, 对高铁专网终端, 通过基带测速功能判决高低速用户, 并在速度状态跳变时上报给高层。高层对速度状态发生跳变的 NGBR 业务进行 QoS 优先级的重配置, 完成重配之后将重配信息下发给基带执行。其次, 基带实时按照业务的 QoS 配置, 进行 QoS 排序, 当出现高速终端时, 高速终端的 NGBR 业务承载调度优先级会比低速驻留用户要高, 调度的流量以及 RB 数明显高于低速终端。

算法实现的前提: 在保证高速用户和低速用户最低 QoS 需求的基础上 (即满足 GBR 业务承载的 GBR 速率和 Non-GBR 承载的 MinBR (下行))

表 3 高铁场景与大网部分参数对比实例

分类	优化参数举例	高铁设置值	大网值
切换参数优化	测量时的 RSRP 层 3 滤波系数	3	4
	A3 事件偏移	1 dB	3 dB
	事件发生到上报的时间差	128 ms	320 ms
重选参数优化	频内小区重选判决定时器时长	0	1 s
	服务小区重选迟滞	1 dB	4 dB

表 4 高铁场景不同时速下的频偏情况

移动速度/ (km·h ⁻¹)	1 800 MHz		2 100 MHz	
	下行频偏 (终端侧) /Hz	上行频偏 (基站侧) /Hz	下行频偏 (终端侧) /Hz	上行频偏 (基站侧) /Hz
250	-417~417	-834~834	-486~486	-972~972
300	-500~500	-1 000~1 000	-583~583	-1 166~1 166
350	-583~583	-1 166~1 166	-680.5~680.5	-1 361~1 361



/PBR（上行）要求），将剩余资源绝对优先分配给高速用户。

由于要求保障低速用户最低 QoS 需求，意味着不能采取 ARP 中的强制方式。即不能使能抢占能力（pre-emptioncapability）和被抢占能力（pre-emptionvulnerability）两个参数。

（3）低速用户迁出

原理为列车高速运动会导致接收端接收的信号频率发生变化，根据多普勒频移，反向求出列车速度，做低速用户判决，然后通过切换手段将低速公网用户“赶出”高铁专网。

假设高铁由 1 650 和 375 频点双频组网，由 1 506 频点（与高铁专网共站址）桥接公网 1 650 和 375 频点，如图 4 所示。

相关策略举例如下。

- 高铁专网，高铁 375 载波和 1 650 载波采用平行组网，切换启动门限-114 dBm，重选启动门限-116 dBm。
- 低迁策略：高铁 375 载波和 1650 载波单向低迁至 1506 大网载波，设置 1 506 载波为低优先级，高铁 375 载波和 1 650 载波内部为同优先级。低速用户低迁至 1 506 载波，高速用户驻留在 1 650 载波或 375 载波，当覆盖和质量不满足需求时，高速用户优先驻留高铁 1 650 载波或 375 载波。1506 载波不配置通往共站的高铁 1 650 载波和 375 载波邻区。
- 低迁载波出口：异频切换启动门限设置为 -109 dBm，重选启动门限设置为 -116 dBm，

与大网 1 650 载波和 375 载波做双向重选和切换。

综上所述，执行以上 3 步举措，即可实现“覆盖有主、重选合理、切换有序”的优化目标。

3 应用效果

该系统方法论先后在郑徐高铁开封段、京广高铁新乡段进行全面推广应用。徐兰高铁开封段里程 60 km，4G 专网小区 66 个。京广高铁新乡段里程 80 km，4G 专网小区 119 个。累计调整大、专网 4G 小区天线 289 个，完成覆盖及切换带优化，实现公专网覆盖分离，半年时间内高铁网络质量稳步快速提升。

（1）覆盖控制优化网络结构，提升网络质量，SINR>0 的比例由 83.89%提升至 92.90%，提升绝对值达 10%。与之匹配的 CQI 质差小区从最初的 33%降低至 3.35%，如图 5 所示。

（2）参数功能适配最优，挖掘网络潜能。通过参数核查和最优适配，20 MHz 带宽载波的功率由 20 W 提升至 30 W，下行感知速率提升 7 Mbit/s。前台测试指标 MOS 均值由 3.37 提升至 3.87，MOS>3.0 的占比由 73.74%提升至 93.33%。

（3）用户感知速率提升明显。用户速率从最初的 10 Mbit/s 提升至 20 Mbit/s 以上，低于 5 Mbit/s 小区占比由 24.76%下降至 0，处于全省前列，如图 6 所示。

该系统方法论（前两步）还成功应用于某省 18 个地市城区 120 km 以下慢速道路场景，取得良好效果。经过优化，4G 用户感知速率均值提升

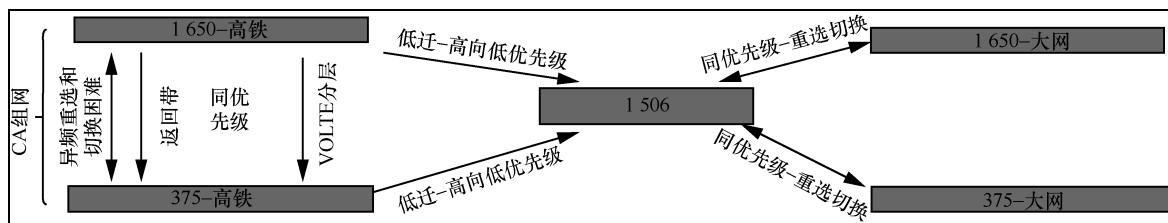


图 4 公网、高铁专网组网

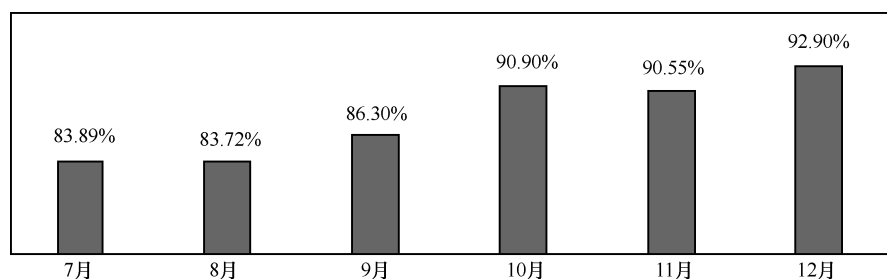


图5 SINR改善趋势 (SNR ≥ 0 dB 的比例)

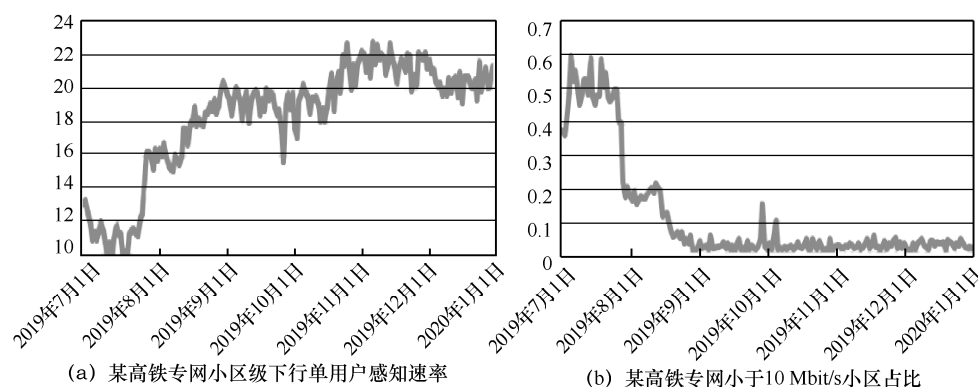


图6 高铁小区用户感知速率及低速小区占比

7 Mbit/s, SINR 均值从 15 dB 提升至 17 dB, 远超集团达标线。

4 结束语

本文针对现有高铁网络质量提升存在的问题, 探索并提出了以“覆盖有主、重选合理、切换有序”为核心思想的切换链优化理论, 并匹配了“先覆盖控制、后参数优化, 再特性加载”的三层优化实践模型, 形成了高铁网络质量提升系统方法。该方法体系在郑徐、京广高铁进行实际应用, 取得理想效果。该方法简单易学, 可“标本兼治”解决交通干线网络质量问题, 且易于快速推广和复制至全国所有交通道路场景。

参考文献:

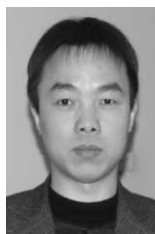
- [1] 李建蕊. 提升高铁 LTE 网络质量的研究 [J]. 信息技术与信息化, 2018, 43(10): 144-146.
LI J R. Research on improving the quality of high-speed rail LTE network [J]. Information Technology and Informatization, 2018, 43(10): 144-146.
- [2] 梁松柏, 李文生, 魏宁, 等. 高铁 WCDMA 双载波专网实现及策

- 略部署研究 [J]. 电信科学, 2014, 30(4): 162-166, 172.
LIANG S B, LI W S, WEI N, et al. Research on implementation and strategy deployment of high-speed railway WCDMA dual carrier private network [J]. Telecommunications Science, 2014, 30(4): 162-166, 172.
- [3] 梁松柏, 魏宁, 韩广平. 利用后台实时跟踪及多载波解决全覆盖高铁网络质量 [J]. 中兴通讯技术, 2014, 20(3): 44-47.
LIANG S B, WEI N, HAN G P. Using backstage real-time tracking and multicarrier to solving full coverage high-speed railway network quality [J]. ZTE Communications, 2014, 20(3): 44-47.
- [4] 李文生, 李馨春, 梁松柏. 基于传播模型和天线方向图高铁覆盖问题研究 [J]. 移动通信, 2014, 38(18): 18-22.
LI W S, LI X C, LIANG S B. Research on high-speed rail coverage based on propagation model and antenna direction pattern [J]. Mobile Communications, 2014, 38(18): 18-22.
- [5] 王有为. WCDMA 特殊场景覆盖规划与优化 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2011.
WANG Y W. Coverage planning and optimization of WCDMA special scenes [M]. Beijing: Posts and Telecom Press, 2011.
- [6] 谢益溪. 无线电波传播原理与应用 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.
XIE Y X. Radio wave propagation principle and application [M]. Beijing: Posts and Telecom Press, 2008.
- [7] 郭军伟. 高速移动列车无线组网方案 [J]. 中兴通讯技术, 2010, 16(2), 53-55.
GUO J W. Wireless networking scheme for high-speed mobile train [J].



- ZTE Communications, 2010, 16(2), 53-55.
- [8] 梁松柏. 天线最佳方向角的定位方法及装置: CN106993299[P]. 2017-07-28.
- LIANG S B. Positioning method and device for optimal direction angle of antenna: CN106993299[P]. 2017-07-28.
- [9] 梁松柏, 李钢, 郑宇红, 等. 小区优化方法、装置、设备和存储介质: CN110461005A [P]. 2019-11-15.
- LIANG S B, LI G, ZHENG Y H, et al. Cell optimization methods, devices, devices and storage media: CN110461005A [P]. 2019-11-15.
- [10] 梁松柏, 刘亚柯, 曹治娇, 等. 一种越区覆盖的判断方法、装置: CN110012486A[P]. 2019-07-12.
- LIANG S B, LIU Y K, CAO Z J, et al. A judging method and device for cross-zone coverage: CN110012486A[P]. 2019-07-12.
- [11] 刘峰, 张国栋. 高铁沿线 LTE FDD 网络覆盖规划研究[J]. 数字通信世界, 2015, 11(8), 328-330.
- LIU F, ZHANG G D. Research on LTE FDD network coverage planning along high-speed railway [J]. Digital Communication World, 2015, 11(8), 328-330.
- [12] 李泰, 李焱. 高速铁路场景移动通信系统切换研究综述[J]. 通信技术, 2015, 48(5), 566-572.
- LI T, LI Y. Overview of mobile communication system handover in high-speed railway scenarios [J]. Communications Technology, 2015, 48(5): 566-572.
- [13] 方旭明, 崔亚平, 闫莉, 等. 高速铁路移动通信系统关键技术的演进与发展[J]. 电子与信息学报, 2015, 22(6), 15.
- FANG X M, CUI Y P, YAN L, et al. Evolution and development of key technologies of high speed railway mobile communication system [J]. Journal of Electronics and Information Technology, 2015, 22(6): 15.
- [14] 唐艳超. LTE 高铁覆盖解决方案研究[J]. 邮电设计技术, 2014, 57(12): 20-23.
- TANG Y C. Research on LTE high-speed rail coverage solution [J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2014, 57(12): 20-23.
- [15] 王安义, 孙伟强. 铁路 TD-LTE 专网系统解决方案[J]. 铁道标准设计, 2014, 58(2): 94-97, 138.
- WANG A Y, SUN W Q. Solution of railway TD-LTE private network system [J]. Railway Standard Design, 2014, 58(2): 94-97, 138.
- [16] 张荣涛. 浅析 5G 无线网络在高铁场景中的规划与优化[J]. 数字技术与应用, 2020, 38(1): 17-19.
- ZHANG R T. Analysis on the planning and optimization of 5G wireless network in high-speed railway scenes [J]. Digital Technology and Application, 2020, 38(1): 17-19.
- [17] 王科. 基于用户调度策略的高铁网络优化[J]. 江苏工程职业技术学院学报, 2020, 20(2): 1-4.
- WANG K. High-speed railway network optimization based on user scheduling strategy [J]. Journal of Jiangsu College of Engineering and Technology, 2020, 20(2): 1-4.
- [18] 梁晓燕. 4G 网络高铁覆盖关键技术与优化体系[J]. 通信电源技术, 2020, 37(15): 277-279, 282.
- LIANG X Y. Key technology and optimization system of 4G network high-speed rail coverage [J]. Telecom Power Technology, 2020, 37(15): 277-279, 282.
- [19] 赵洪伟, 李玲. 高铁 LTE 专网多频组网优化策略研究[J]. 邮电设计技术, 2019, 62(3): 46-51.
- ZHAO H W, LI L. Research on multi-frequency network optimization strategy of high-speed railway LTE private network [J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2019, 62(3): 46-51.
- [20] 潘翔, 张涛, 李福昌. 高铁隧道场景的 5G 覆盖方案研究[J]. 邮电设计技术, 2019, 62(8): 26-29.
- PAN X, ZHANG T, LI F C. Research on 5G coverage scheme of high-speed railway tunnel scenario[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2019, 62(8): 26-29.

[作者简介]



梁松柏 (1975—), 男, 中国联合网络通信有限公司河南省分公司高级工程师, 主要从事无线网络优化工作。

郭颖悟 (1970—), 男, 中国联合网络通信有限公司河南省分公司高级工程师, 主要从事无线网络优化工作。

李新卫 (1979—), 男, 中国联合网络通信有限公司河南省分公司工程师, 主要从事无线网络优化工作。