



高铁 4G 专网优化策略及方案

李宗璋¹, 石志同¹, 王玉玲², 袁鲲¹, 王治国¹, 张新超¹

(1. 中国移动通信集团山东有限公司, 山东 济南 250004;

2. 山东建筑大学, 山东 济南 250101)

摘要:随着 LTE 数据业务量的持续增长和 VoLTE 用户数的逐步增加, 用户对业务的感知需求也越来越高, 高铁专网优化面临诸多挑战。中国移动通信集团山东有限公司 (以下简称山东移动) 从高铁双层网部署、高铁 VoLTE 优化、公网专网交界协同优化、新功能发掘部署 4 个维度, 探索出一套契合高铁现网需求、可落地执行的解决方案。方案实施后, 高铁专网测试 VoLTE 覆盖率从 87.95% 提升至 91.66%, MOS 值由 3.6 提升到 4, MOS 大于 3.0 的占比由 89.61% 提升到 96.70%。

关键词: 高铁; LTE; VoLTE; 用户感知

中图分类号: TN929.53

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2016189

Optimization strategy and solution of 4G high-speed rail network

LI Zongzhang¹, SHI Zhitong¹, WANG Yuling², YUAN Kun¹, WANG Zhiguo¹, ZHANG Xinchao¹

1. China Mobile Group Shandong Co., Ltd., Jinan 250004, China

2. Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China

Abstract: With the development of LTE data and VoLTE services, subscribers pay more and more attention to network experience. LTE optimization faces many challenges. Therefore, China Mobile Shandong Corporation made a complete and feasibility solution, which met the requirement of high-speed scene optimization. There were four dimensions in this solution: double layers network deployment, VoLTE optimization of high-speed rail, coordinating optimization in the boundary of high-speed network and normal LTE network, and the exploration and deployment of new functions. After the implementation of the solution, VoLTE coverage rate increases from 87.95% to 91.66%, MOS value upgrades from 3.6 to 4, the ratio of MOS value greater than 3.0 risen from 89.61% to 96.70%.

Key words: high-speed rail, LTE, VoLTE, user perception

1 引言

随着 LTE 数据业务量的持续增长和 VoLTE (voice over LTE) 用户数的逐步增加, 用户对业务的感知需求也越来

越高, 特别是在高铁场景下, 由于车损大且高速运行, 高铁专网优化面临诸多挑战, 对当前优化工作提出了更高的要求。基于此, 中国移动通信集团山东有限公司 (以下简称山东移动) 从当前高铁 VoLTE 业务面临的主要问题和挑战

收稿日期: 2016-06-03; 修回日期: 2016-07-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 61503219)

Foundation Item: The National Natural Science Foundation of China (No. 61503219)



出发,积极探索契合高铁现网需求的 4G 网络优化策略,并最终形成可落地执行的解决方案。

2 主要挑战

(1) LTE 业务增长导致容量不足

随着 4G 网络建设的日趋完善,4G 用户越来越多,由此带来的业务增长使得 LTE 网络容量越发受到关注。尤其是在高铁场景下,由于大量用户短时间内同时处于一个相对封闭的环境中,LTE 网络更容易遭受到大话务的冲击,严重时甚至导致网络拥塞,对网络性能和用户感知造成很大的影响。

(2) 高铁 VoLTE 业务优化要求高

VoLTE 是将语音业务承载于 4G 网络上,可实现数据与语音业务在同一网络下的统一。VoLTE 技术为用户带来更低的接入时延,更高质量、更自然的音/视频通话效果。同时,由于 VoLTE 业务特点在传输时延、网络质量、用户感知等方面提出了更高的要求,需要在语音质量、网络覆盖、容量以及资源占用率等方面进行重点研究分析,探讨出切实可行的优化方法。

(3) 公专网协同优化难度大

高铁车体损耗大且高速运行会导致 LTE 网络覆盖差、切换重选频繁等诸多问题,高铁专网的建设应运而生。它属于封闭性连续覆盖专网,在很大程度上保证了 LTE 信号覆盖强度,降低了高铁高速移动带来的网络问题,但同时因为高铁会穿越市区、郊区、农村、站台等很多场景,这也直接导致了高铁专网和公网之间会产生交互,因此必须进行分场景的公专网协同优化,才能更好地保障网络的整体性能和质量。

3 优化策略

为了更好地解决目前高铁专网存在的技术难题,提升用户感知,山东移动从高铁双层网部署、高铁专网 VoLTE 优化、公专网交界协同优化、新功能发掘部署 4 个维度,探索出一套契合高铁现网需求的优化策略,具体如下。

3.1 高铁双层组网策略

高铁专网目前可采用的双层组网方式主要有两种,分别为 D+F 组网和 F1+F2 组网,前者适合沿线用户数较多或者站间距较小的地市,而后者则适合在 D 频段不连续的情况下,作为一个过渡方案。具体而言,D 频段比 F 频段的覆盖差,站间距需求较高,建议站间距在 600~700 m 内或者小区最大用户数超过 600 户的地市使用 D+F 组网,例如京沪高铁济南段;而 F2 频段与 F1 频段有着相近的覆盖水平,在沿线用户较少的时候可以作为一个过渡方案,建议小区最大用户数低于 600 户的地市使用 F1+F2 组网,例如青荣高铁威海段。两种高铁组网方式的优劣势比较如图 1 所示。

3.2 高铁专网 VoLTE 优化策略

依据 VoLTE 业务特性可知,其对网络质量、时延等方面要求很高,直接关系到用户感知。基于此,山东移动根据业务类型将 VoLTE 业务优先承载到 F 频段上,实现业务分层。将 F 频段作为 VoLTE 专用层,主要吸收 VoLTE 业务,负荷达到一定门限之后开启连接态的均衡,实现同覆盖场景下 D+F 的业务均衡。同时将 D 频段作为容量层,主要吸收数据业务,开启基于业务的异频切换,使 D 频段上 $QCI=1/2$ 的 VoLTE 业务发起异频切换到 F 频段,高铁场景 D+F 异频互操作策略如图 2 所示。

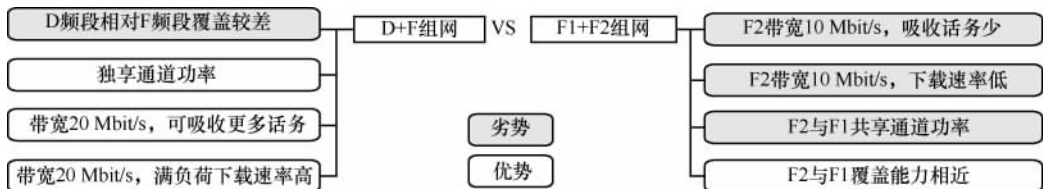


图 1 两种高铁组网方式优劣势比较

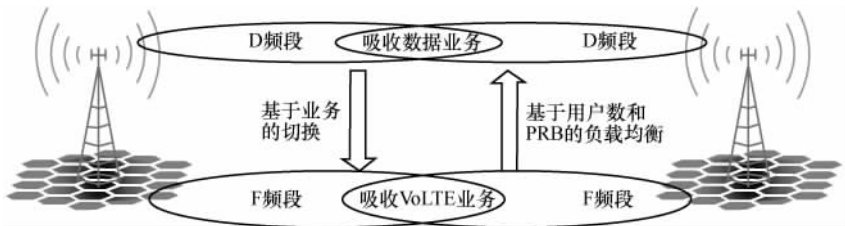


图 2 高铁场景 D+F 异频互操作策略示意

考虑到高铁沿线 VoLTE 业务的连续性, 山东移动重点采用了高铁沿线切换带优化策略和 eSRVCC 优化策略, 同时针对车站区域 VoLTE 业务迅猛增长的特点, 制定了相应大话务的优化策略, 以最大程度地保障用户 VoLTE 业务感知。

3.3 公网交界协同优化策略

由于高铁的运行可能会涉及城区、郊区、车站等多个场景, 高铁通信网络虽然作为一个专网建设, 但也不能完全独立存在, 而必须充分考虑到上述不同场景下专网与公网之间的交互, 进行公网协同优化, 否则将会直接影响网络整体性能和质量。

目前采用的协同优化策略主要为: 车站场景的公网协同优化, 即车站内采用室分覆盖小区+过渡小区覆盖的方式, 保证在候车厅内要乘坐高铁的用户都能够进入高铁专网; 公网异厂商优化策略, 即当异厂商 D+F 组网时, 需要对帧偏置设置, 否则会引起较大的 TDD 系统内干扰, 直接影响正常业务的使用; 另外还在公网交界地带使用同频干扰优化策略和增强版公网低速用户迁出策略。

3.4 新功能发掘部署策略

为了更好地提升 VoLTE 用户的体验感知, 在加强网络覆盖、改善网络质量的同时, 山东移动也积极地发掘能够提升 VoLTE 业务性能的新算法和功能。经过充分的研究验证, 目前可采用的新功能主要涉及以下 3 个方面: AMRC 编码自适应功能、下行预纠偏机制以及视频业务自适应调速功能。

4 解决方案

4.1 F+D 和 F1+F2 组网方案

针对高铁双层组网策略, 主要采取的方案有 D+F、F1+F2 两种, 针对这两种方案, 山东移动分别从覆盖、邻区、互操作方面进行了评估对比。

4.1.1 覆盖评估对比

(1) F 频段和 D 频段覆盖对比概况

通过对高铁 D+F 组网 RSRP 电平强度分析, F 频段、D 频段 RSRP 采样点占比对比情况如图 3 所示。D 频段 -100 dBm 以下的 RSRP 采样点占比较 F 频段高 16.25%, D 频段的覆盖明显不足, 如在 F 频段站点上开启 D 频段进行专网覆盖, 会造成 D 频段无法连续覆盖现象。

(2) F1 和 F2 频段覆盖对比概况

通过高铁 F1+F2 组网 RSRP 电平强度分析, F1、F2 频点 RSRP 采样点占比对比情况如图 4 所示。F2 频点 -100 dBm 以下的 RSRP 采样点占比较 F1 频点高 4.39%, 两频点覆盖能力差异较小, F2 频段的覆盖相对连续。

4.1.2 邻区规划策略对比

高铁邻区规划整体策略是以相邻、同频邻区配置为基础, 添加同覆盖和相邻异频的邻区; 配置公网背向高铁小区的异频邻区, 并合理添加公网小区入黑名单, 防止公网终端误入高铁专网拖死。

(1) D+F 邻区规划

D+F 组网模式下, F 频段需添加 D 频段两侧邻区和本站同覆盖的 D 频段邻区, D 频段也需要配置 F 频段两侧邻

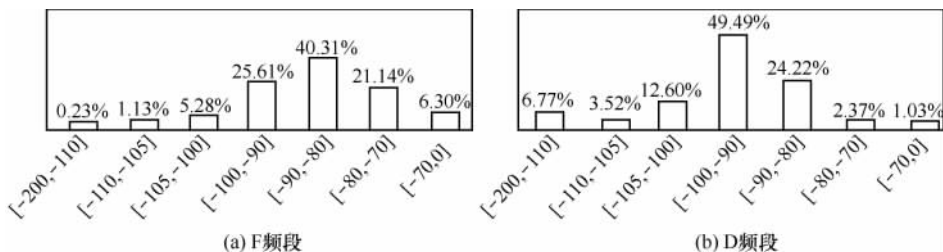


图3 高铁 F、D 频段 RSRP 采样点占比对比情况

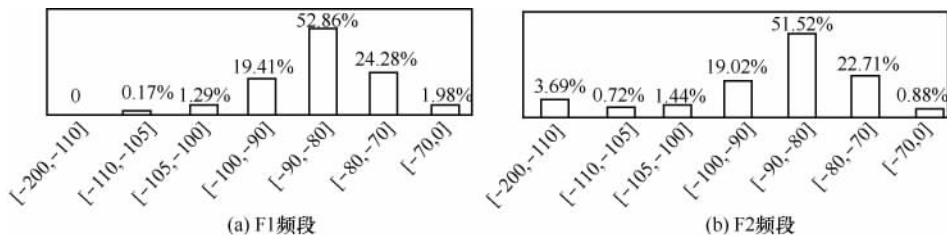


图4 高铁 F1、F2 频段 RSRP 采样点占比对比情况



区和本站同覆盖的 D 频段邻区,从而保证用户在 D 频段或者 F 频段覆盖较差的位置可以及时切换至另外一个覆盖较好的异频邻区,F 频段、D 频段间异频邻区配置要求如图 5 所示。

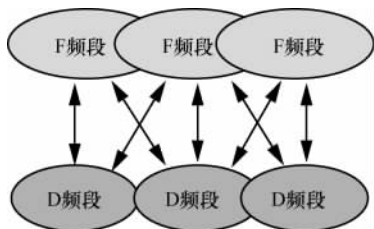


图 5 F、D 频段间异频邻区配置要求示意

(2) F1+F2 邻区规划

F1+F2 组网模式下, F1 频段需添加本站同覆盖和两侧的 F2 频段邻区, F2 频段需添加本站同覆盖和两侧的 F1 频段邻区,从而保证用户在 F1 频段或者 F2 频段覆盖较差的点可以及时切换至另外一个覆盖较好的异频邻区, F1、F2 频段异频邻区配置要求如图 6 所示。

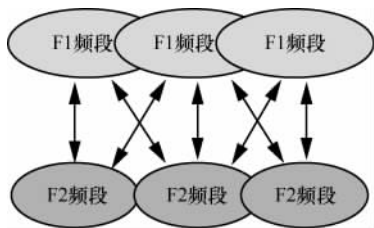


图 6 F1、F2 频段间异频邻区配置要求示意

4.1.3 互操作策略对比

在 D+F、F1+F2 的异频互操作策略方面,主要是通过合理配置空闲态重选和连接态切换参数,从而确保高铁用户的良好体验。

(1) 空闲态重选策略

D+F 组网: D 频段的优先级高于 F 频段,在 D 频段和 F 频段同覆盖的区域,优先重选到 D 频段,如图 7 所示。通过重选来部分实现用户数和业务的均衡; D 频段边缘用户信号变差时可以及时重选到信号较好的 F 频段。

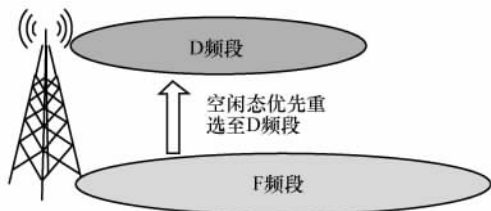


图 7 F 频段优先重选到 D 频段

F1+F2 组网: F2 频段优先级高于 F1,在 F1 和 F2 同覆盖的区域,优先重选到 F2 频段,如图 8 所示。通过重选来部分实现用户数均衡,从而减轻 F1 频段驻留压力; F2 频段边缘用户信号变差时,可以及时重选到信号较好的 F1 频段。

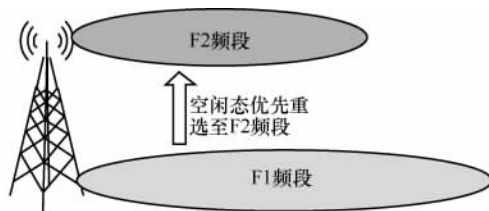


图 8 F1 频段优先重选到 F2 频段

(2) 连接态切换策略

D+F 组网: F→D 采用 A4 事件,需降低 F 频段的 A2 门限(-109 dBm 左右),避免 F 频段覆盖良好的情况下,从 F 频段向 D 频段的切换,同时对 D 频段的电平要求要适当高些,避免从 D 频段乒乓切回 F 频段; D→F 采用 A3 事件, D 频段的 A2 门限尽量低(-112 dBm 左右),延长让用户驻留在 D 频段的时间,同时也能够在 D 频段不连续的时候,返回 F 频段,如图 9 所示。因高铁速度较快, D 频段的 A2 门限设置需根据用户数进行适当的修正,防止用户积压在切换带导致指标下降。

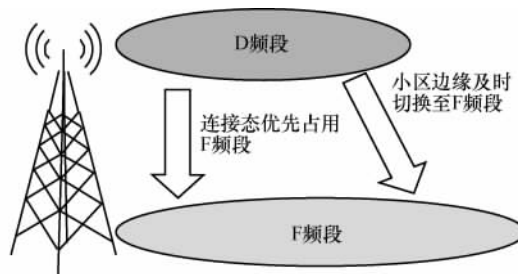


图 9 F、D 频段间异频切换策略

F1+F2 组网: F2→F1 采用 A3 事件, F2 频段的 A2 门限(-98 dBm 左右),连接态优先占用 F1; F1→F2 采用 A3 事件, F1 的 A2 门限尽量低(-103 dBm 左右),延长业务态用户驻留在 F1 频段的时间,并且能够在 F1 不连续的时候,切换到 F2 频段,如图 10 所示。因高铁速度较快, F1 的 A2 门限设置需根据用户数进行适当的修正,防止用户积压在切换带,导致指标下降。

4.2 高铁 VoLTE 业务的优化方案

4.2.1 基于 VoLTE 业务的异频切换方案

该方案的主要目的是根据业务类型将 VoLTE 业务优

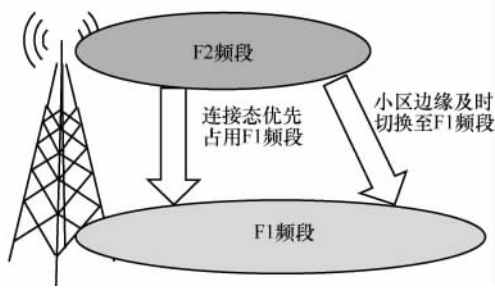


图 10 F1、F2 频段间异频切换策略

先承载到 F1 频段上,实现业务分层,从而有效提升 VoLTE 用户在高铁上的感知。

4.2.2 VoLTE 切换带优化方案

合理的重叠覆盖区域规划是实现 VoLTE 业务连续的基础,重叠覆盖区域过小,在切换带会出现弱覆盖,导致切换失败;过大会导致干扰增加,影响 VoLTE 用户业务感知。

(1)切换带规划原则

考虑单次切换时,重叠距离=2×(电平迟滞对应距离+切换触发时间对应距离+切换执行距离)。根据计算验证,高铁小区重叠覆盖距离建议在 300 m,如图 11 所示。

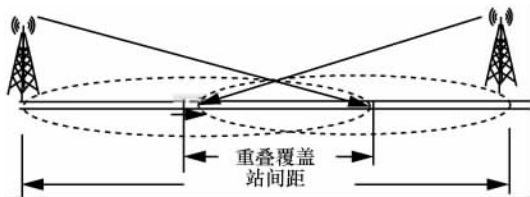


图 11 高铁切换带规划原则

(2)切换带优化研究

通过多轮数据分析,如图 12 所示,在 RSRP 低于 -110 dBm 的情况下,切换带 SINR 值较非切换带 SINR 值低 7 dB;在 RSRP 高于 -95 dBm 的情况下,切换带 SINR 值比非切换带 SINR 值小 4 dB。

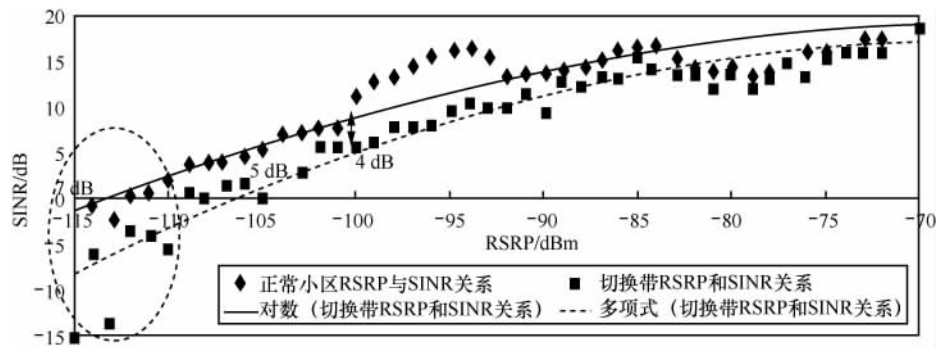


图 12 高铁切换带 RSRP、SINR 曲线

同时通过分析发现,切换带重叠覆盖区域过大,重叠区域会出现干扰,导致 MOS 值低;切换带重叠覆盖区域过小,切换期间会出现弱覆盖问题。

4.2.3 eSRVCC 优化方案

(1)eSRVCC 场景介绍

如图 13 所示,eSRVCC 是指当 VoLTE 业务从 LTE 覆盖区域移动到无 LTE 覆盖区域,将语音业务从 LTE 切换到 2G/3G 网络,该功能是保障高铁 VoLTE 用户在高铁专网弱覆盖区域(缺站、站点故障)业务连续的重要手段。通过合理配置 LTE 小区到 GSM 的邻区,能够有效避免 VoLTE 用户业务掉话,提升用户感知。eSRVCC 后,用户通过终端自主 FR(fast return,快速回退)、2G→4G 重选或者网络 FR 返回 LTE 网络。

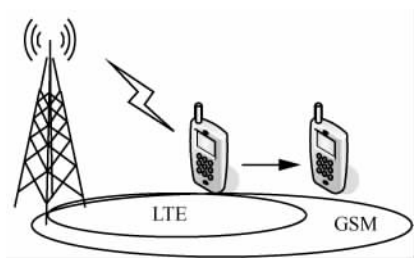


图 13 eSRVCC 示意

(2)eSRVCC 优化关键点

首先确保 LTE 侧和 GSM 侧相关开关都已打开,高铁 LTE 专网小区配置 GSM 专网小区为邻区,配置时不仅要配置同站 2G 小区,还需配置周围的 2G 专网小区,并保证 GSM 小区信息的准确性,如图 14 所示。由于高铁车速较快,快衰落场景也较多,在 LTE 覆盖较差的路段,适当减少异系统 A1/A2 事件时间迟滞,并提升 GERAN 切换 B2 RSRP 门限,让 eSRVCC 及时发生,避免切换不及时而导致的掉话,进而影响用户通话感知。

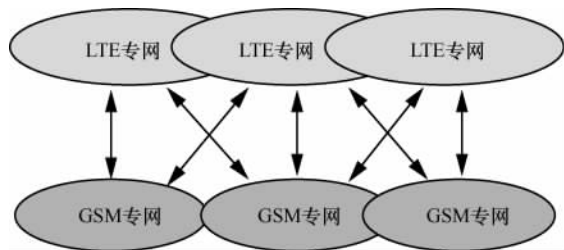


图 14 eSRVCC 邻区配置原则

4.2.4 车站大话务 VoLTE 优化方案

随着 VoLTE 业务逐步的推广,在高铁车站发现 VoLTE 业务上行分组丢失严重的现象,其主要原因为基站开启 DRX 长时间无调度、上行 CCE 资源不足等,已通过关闭 QCI 1 (QoS class identifier, QoS 等级标识,其中,QCI 1 专门承载 VoLTE 业务)的 DRX 开关和增加上行 CCE 预留资源解决。

(1) 基站开启 DRX 长时间无调度

当终端上报 BSR 不为 0 时,需基站主动调度,但实际未调度。分析发现,BSR 320 ms 定时器超时后才会重新发送 SR 请求基站资源,而此时终端已进入 DRX 态。已通过关闭 QCI 1 的 DRX 开关来规避。

(2) 上行 CCE 资源不足

针对车站小区上行分组丢失率高的问题,分析基站侧数据,发现存在连续的上行调度失败,失败原因为上行 CCE 资源不足,可通过图 15 所示步骤解决此类问题。

4.2.5 基于 VoLTE 的用户感知提升方案

(1) AMRC 编码自适应算法

在连续覆盖的情况下,VoLTE 的 MOS 值较为稳定,但在隧道、逻辑站间切换带时随着信号衰减,VoLTE 的 MOS 值在小区边缘明显下降,如图 16 所示。可在高铁场景部署

AMRC 自适应编码功能,改善切换带、隧道等信号较弱区域的语音感知。

语音速率控制特性根据上行信道质量和语音质量,对上行语音业务进行 AMR-NB /AMRWB 速率调整。当上行信道质量和语音质量较好时采用高语音编码速率,进一步提升语音质量;较差时采用低语音编码速率,降低上行分组丢失率,提升上行语音覆盖。

(2) 下行预纠偏机制

多普勒频移一直影响着高速移动场景下的移动通信系统。假设上下行频率都为 f_0 ,从图 17 可知,当 UE 远离基站时候会产生一个 $-f_d$ 的频偏,即 UE 的工作频率为 $f_0 - f_d$,因此上行发射频率为 $f_0 - f_d$ 。在上行接收端,由于 UE 远离基站带来 $-f_d$ 的频偏,可知此时基站接收到的频率为 $(f_0 - f_d) - f_d = f_0 - 2f_d$ 。

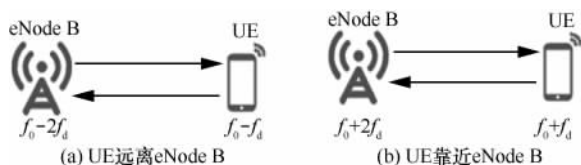


图 17 多普勒频偏示意

同理,UE 接近基站时候会产生一个 f_d 的频偏,基站接收到频率为 $f_0 + 2f_d$ 。因为多普勒频移的存在,导致基站和手机相干解调性能降低。

在小区合并下不同扇区的交叠重合区域如图 18 所示,UE 接收到的两个扇区信号间存在一正一反两个较大频偏,从而影响终端解调,导致终端性能下降。下行预纠偏方案开启后,基站根据小区上行频偏量,对两相邻扇区下行数据分别进行一定程度的预纠偏,从而减少抱杆间用户的频偏量,进而提升这类用户的下行速率和用户体验。

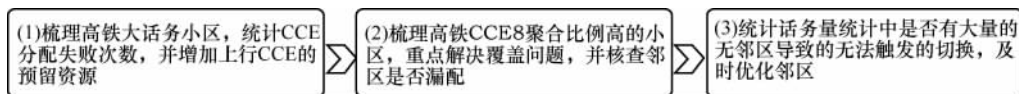


图 15 上行 CCE 资源不足问题处理步骤

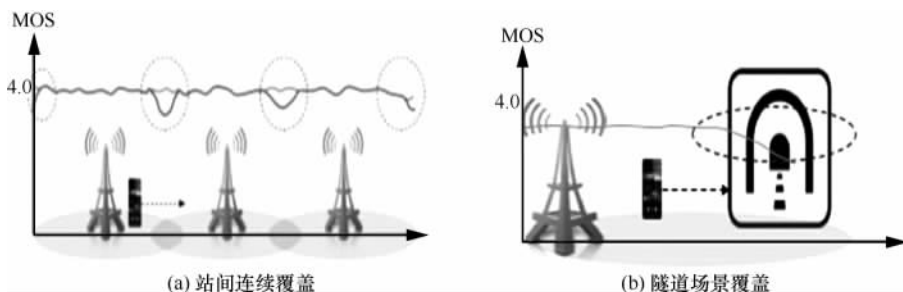


图 16 高铁 AMRC 适用场景

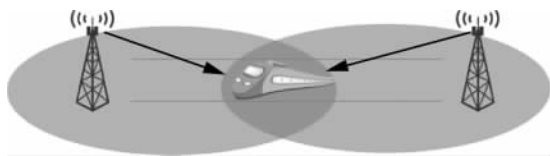


图 18 下行预纠偏方案应用场景

(3) 视频业务自适应调速

如图 19 所示, 视频业务自适应调速方案是借助核心网或第三方业务感知设备, 对视频业务或下载业务进行分类识别, 将识别结果通过用户报文的 DSCP 携带, eNode B 解析用户报文的 DSCP, 并根据配置的业务类型 (视频业务、下载业务或其他业务) 对视频或下载业务做相应的 QoS 保障。

4.3 公网协同优化方案

4.3.1 车站场景的公网协同方案

室分小区覆盖小区为覆盖火车站室分 (候车厅、售票厅等) 的主要小区, 大部分用户占用该小区, 因此应该保证其容量能够满足车站用户需求。

过渡小区即室分用户进入专网的过渡小区, 可以覆盖部分室分区域 (候车厅), 但是必须保证候车厅用户进入高铁列车时占用该过渡小区, 从而进入高铁专网。

4.3.2 公网异厂商优化方案

如图 20 所示, 由于 TD-LTE (以下简称 TDL) 需要与 TD-SCDMA (以下简称 TDS) 系统对齐, 因此需在 TDL 侧设置帧偏置, 随着公网和专网多载波的开启, 不可避免在站

台等区域存在部分同频的情况, 公网同频需要对齐帧偏置设置, 否则会引起较大的 TDD 系统内干扰, 直接影响正常业务使用。对于 TDD 系统而言, 为了避免上下行的交叉干扰, 各厂商各制式的 TDD 系统基于 GPS 时钟实现时钟同步。通过沿线全部核查, 排除因帧对齐导致的干扰问题。

4.3.3 公网专网交界同频干扰核查方案

前期 3 条高铁沿线已针对 F 频段进行了频点隔离带, 即替换周边 F 频段为 D 频段, 但随着第 2 频点扩容和公网新建站的增多, 需进一步开展公网的同频干扰核查。

以京沪高铁济南段为例, 公网对专网的同频干扰核查结果如图 21 所示。

基站 LFZ016243H_ 长清长湾距离高铁最近为 2.5 km, 占用频点为 38 400 个, 与高铁同频。现高铁 F1 频段 3 km 内同频小区为 45 个, 牵涉 19 个基站; D2 频段按相同方法核查, D2 频段高铁沿线 3 km 内同频小区为 161 个, 牵涉 117 个基站。

4.3.4 增强版公网低速用户迁出方案

如图 22 所示, 当高铁专用网络穿过城市或郊区时, 为了让高速专用网络不被公网用户占用, 需要将进入高铁专用网络的非 VoLTE 低速用户、公网用户迁出到公网中。前期版本的效果不明显, 通过修改迁出周期和增大迁出用户数, 有效降低了小区负荷压力。

4.4 优化效果展示

山东移动 4G 专网优化策略及方案在高铁双层网应用

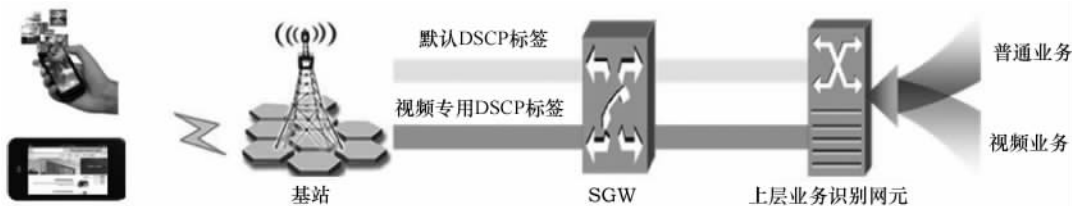


图 19 视频业务自适应调速方案示意

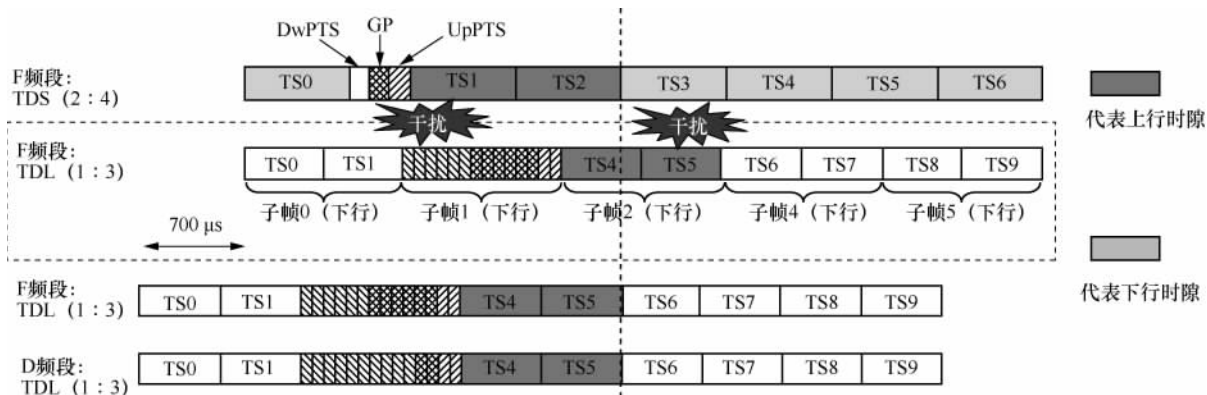


图 20 TDS 与 TDL 系统共存帧偏置要求

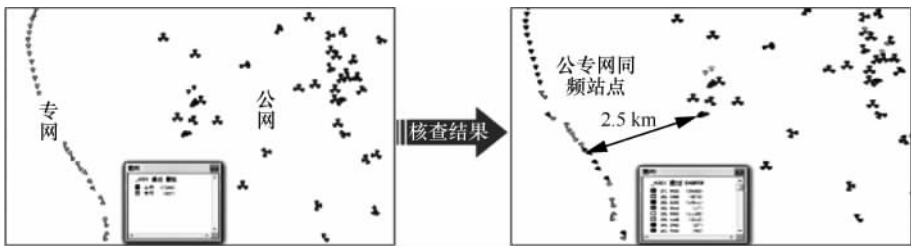


图 21 京沪高铁公网同频干扰核查情况



图 22 公网低速用户迁出方案示意

后效果明显:D频段占用比例从10.72%下降至0.25%,VoLTE覆盖率从87.95%提升至91.66%,MOS值由3.6提升到4,MOS值大于3.0占比由89.61%升到96.70%,提升7.09%,如图23所示。

VoLTE SINR从12.37提升至14.55,改善占比为17.62%;高干扰采样点占比从5.72%到3.61%,改善占比

为36.89%,如图24所示。

VoLTE全程呼叫成功率从96.33%提升98.91%,eSRVCC切换成功率从97.86%提升至99.67%,如图25所示。

增强低速用户迁出算法开启后,高铁小区峰值用户数从300个降低到180个,降低了高铁小区的负荷压力,如图26所示。

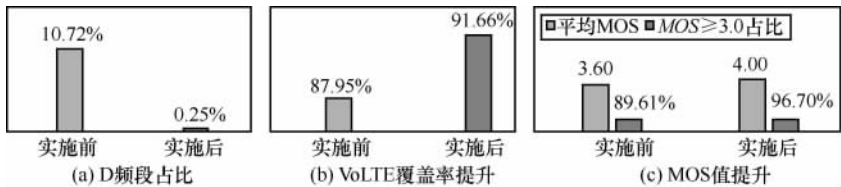


图 23 VoLTE 覆盖率、MOS 值提升情况

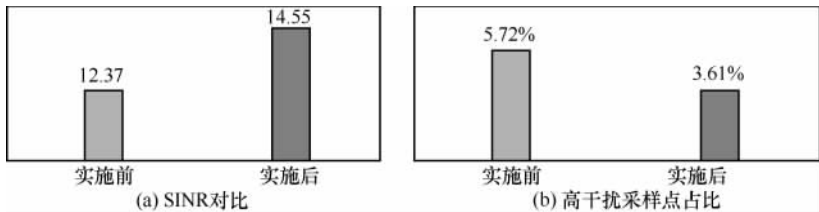


图 24 VoLTE SINR 及高干扰采样点占比提升情况

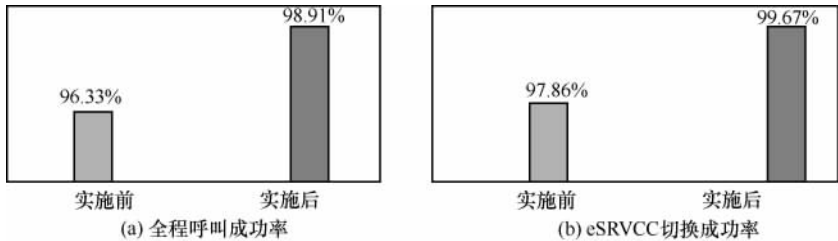


图 25 VoLTE 全程呼叫成功率及 eSRVCC 切换成功率提升情况

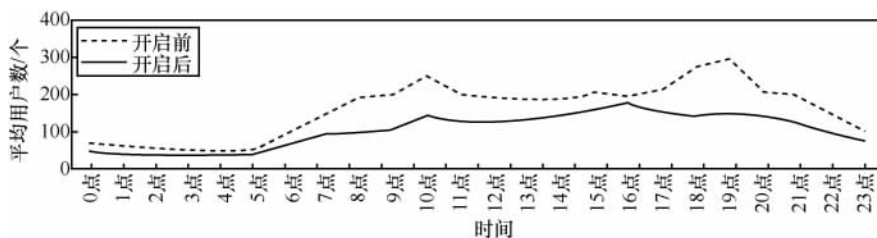


图 26 低速迁出开启前后小区内用户数变化情况

5 结束语

山东移动基于现有山东高铁 LTE 网络现状,从高铁双层网部署、高铁 VoLTE 优化、公专网交界协同优化、新功能发掘部署 4 个维度,积极探索,开拓出创新,总结出一套契合高铁现网需求的优化方案。在现网落地后,也取得了良好的效果,覆盖率、SINR 等基础指标以及 VoLTE MOS 值等业务感知指标均有明显提升。与此同时,随着高速铁路的快速建设和 4G 终端尤其是 VoLTE 终端的快速普及,高铁将面临更为严峻的覆盖与容量形势,后续需从多层网覆盖演进、频点使用策略、全业务分层探索、容量需求保障等多个维度,进一步探索高铁优化方案。

参考文献:

- [1] 高成岗. 高铁专网优化经验及建议 [J]. 中国新通信, 2015(5): 46-46.
- GAO C G. Experience and recommendations of high-speed rail private network optimization [J]. China New Telecommunications, 2015(5): 46.
- [2] 王世魁. 如何构建高铁场景下最佳 TD-LTE 组网方案 [J]. 通信世界, 2014(25): 40-41.
- WANG S K. How to build the best TD-LTE networking solution at the high-speed scene [J]. Communications World, 2014(25): 40-41.
- [3] 王明君. TD-LTE 高铁专网优化方法研究 [J]. 移动技术, 2014(19): 67-71.
- WANG M J. Research on optimization method of TD-LTE high-speed private network [J]. Mobile Communications, 2014(19): 67-71.
- [4] 朱青. 高铁用户感知提升方法研究与实践 [J]. 电信技术, 2013(8): 20-24.
- ZHU Q. Research and practice of high-speed rail to enhance the user perception [J]. Telecommunications Technology, 2013(8): 20-24.
- [5] 3GPP. Radio resource control (RRC) (release10): TS36.331[S]. 2012.
- [6] 3GPP. S1 application protocol (S1AP) (release10): TS36.413[S]. 2011.
- [7] 3GPP. Architecture description (release10): TS23.401[S]. 2011.
- [8] 3GPP. Core network protocols (release10): TS24.008[S]. 2011.
- [9] 3GPP. Non-access-stratum (NAS) protocol for evolved packet system (EPS) (release10): TS24.301[S]. 2011.

[作者简介]



李宗璋(1990-),男,现就职于中国移动通信集团山东有限公司,主要负责集中测试分析、交通干线优化等工作。



石志同(1982-),男,现就职于中国移动通信集团山东有限公司,主要负责 2G/3G/4G 网络优化工作。



王玉玲(1982-),女,博士,现就职于山东建筑大学,主要研究方向为污染探测、信号处理、无线网络。

袁鲲(1983-),男,现就职于中国移动通信集团山东有限公司,主要负责集中测试分析、交通干线优化等工作。

王治国(1978-),男,中国移动通信集团山东有限公司网络部室经理,主要负责无线优化管理工作。

张新超(1986-),男,现就职于中国移动通信集团山东有限公司,主要负责网络质量管理、电信大数据分析等工作。