

# 高铁LTE专网多频组网优化

Research on Multiband Network Optimization Strategy  
of High Speed Railway LTE Private Network

## 策略研究

赵洪伟<sup>1</sup>, 李 玲<sup>2</sup> (1. 中国移动通信集团河北有限公司邯郸分公司, 河北 邯郸 056000; 2. 邯郸学院软件学院, 河北 邯郸 056003)  
Zhao Hongwei<sup>1</sup>, Li Ling<sup>2</sup> (1. China Mobile Communications Group Hebei Co., Ltd. Handan Branch, Handan 056000, China; 2. School of Software, Handan College, Handan 056000, China)

### 摘要:

针对高铁LTE专网用户数量不断攀升、传统单F网络覆盖无法满足用户需求、高铁用户的速率感知变差的问题,提出从F+D双层组网、VoLTE语音分层、公网用户迁出、高铁用户迁回、高铁下行多普勒频移优化、高铁FDD融合组网等多方面联合对高铁LTE专网进行优化,对满足未来高铁用户群的业务增长需求、提升高铁用户群的LTE网络速率感知具有一定的借鉴与指导意义。

### 关键词:

高铁; LTE专网; 多频组网; FDD; 优化  
doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2019.03.010  
中图分类号: TN929.5  
文献标识码: A  
文章编号: 1007-3043(2019)03-0046-06

### Abstract:

For the problems of constantly rising of high speed railway private network's users, traditional single F band is not able to satisfy user needs, and users' rate perception becomes worse, it proposes that high speed railway private network could be optimized by using F+D double networking, layering between VoLTE and data service, public network users moving out, private network users moving back, downlink doppler shift optimization and FDD blending networking and other aspects jointly. It is useful and instructive to satisfy the growing needs of future high-speed rail users and enhance the LTE network rate perception of high-speed rail users.

### Keywords:

High-speed railway; LTE network; Multi-band network; FDD; Optimization

引用格式: 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(3): 46-51.

## 0 引言

高铁LTE专网主要用于对高铁线路进行覆盖,目标用户群体为高铁乘客<sup>[1]</sup>。高铁LTE专网建设初期,高铁运行车次较少,且4G用户数量较少,采用单F频段进行组网即可满足数据业务覆盖及容量的需求<sup>[2]</sup>。但随着4G用户的快速增长及选择高铁出行人群的增多,单F组网的容量受限问题愈加突显,用户速率感知变差。

根据2016年1—6月份京广高铁某段沿线小区

RRC连接最大用户数变化情况,高铁用户增长率在6%左右,且2016年6月份小区RRC连接最大用户数已达到400左右,已严重影响了客户感知<sup>[3]</sup>。为此,本文从提升客户速率感知的角度出发,提出进行TDD制式F+D双频段组网优化并叠加FDD制式进行融合组网优化的策略。

## 1 高铁F+D双频段组网优化

高铁4G网络建设初期,4G用户相对较少,单F频段升级建设相对快速,部署方便,初期投资成本低,并且能够很好地发挥F频段的覆盖优势,保证高铁线路的连续覆盖。但是随着高铁用户的增加,单F频段组

收稿日期: 2019-02-16

网已无法满足日益增长的用户需求。为此,提出采用F+D双频组网<sup>[4]</sup>方式解决高铁容量问题,新增D频段频谱宽,扩展性较强,而且后续扩容只需要软件升级即可,比较便捷,可以满足用户数量的长期增长需求,同时能够极大地分担F频段的用户,使业务达到均衡,提升高铁用户的吞吐率。下文对双频网主要优化措施进行说明。

### 1.1 参数策略优化

#### 1.1.1 邻区策略

采用“日”字形邻区配置,以提升高铁4G用户群感知为目的,简化高铁邻区关系,提高邻区测量精确性和可靠性<sup>[5]</sup>,如图1所示。

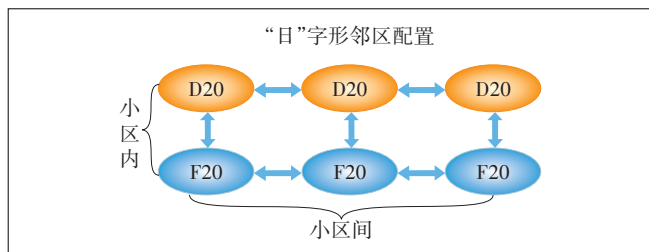


图1 邻区配置策略示意图

- a) 小区内:F和D小区添加双向邻区关系,开启负载均衡切换。
- b) 小区间:F小区添加双向邻区关系,开启基于覆盖的A3切换。
- c) 小区间:D小区添加双向邻区关系,开启基于覆盖的A3切换。
- d) 小区间:F和D小区互不添加邻区关系。
- e) 高铁站:公网候车室室分与专网F+D添加双向邻区确保入口唯一性。

#### 1.1.2 参数策略

通过定性研究,确定地(市)间及地(市)内专网衔接的切换事件类型,通过海量测试数据和网管数据定量分析,对切换及负载均衡参数科学定标。如图2所示。

- a) 小区内:F和D采用基于覆盖异频A4切换。
- b) 小区间:F和F小区、D和D小区采用基于覆盖

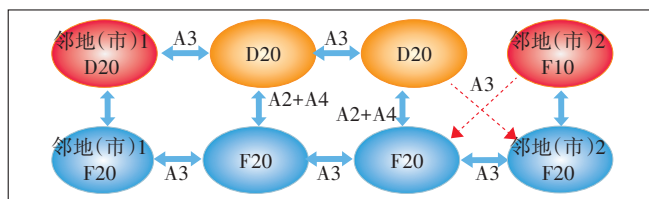


图2 邻区切换策略

同频A3切换。

c) 省内地(市)间:F和F小区、D和D小区采用基于覆盖同频A3切换。

d) 省际地(市)间:均采用基于覆盖的异频A3切换。

### 1.2 网络新特性应用

#### 1.2.1 高速用户迁回

利用高铁用户在公网切换频度快的特点,基于切换的频度对公网中的高速用户与低速用户进行区分,使高速用户重定向回到专网小区,从而提升高铁专网用户体验。具体见图3。

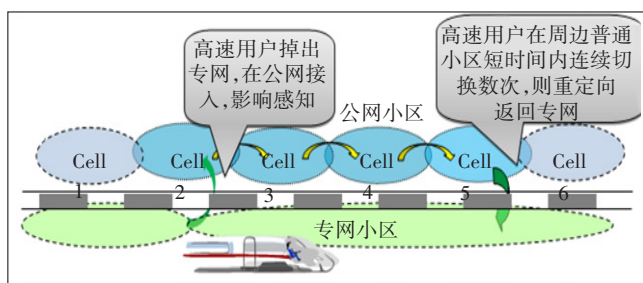


图3 高速用户迁回特性示意图

#### 1.2.2 低速用户迁出

高铁专网中,基于多普勒频移识别出UE的移动速度。对于专网中的高速用户,在专网驻留;而对于专网中的低速用户,需要切换回公网,从而降低高铁专网小区负荷。具体见图4。

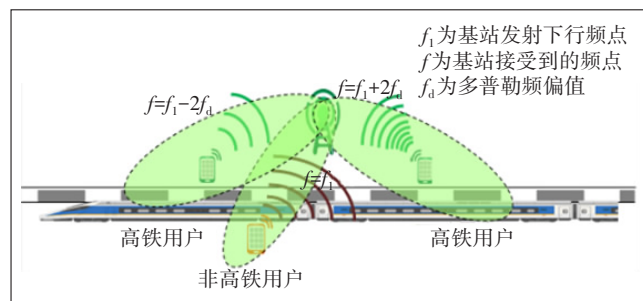


图4 低速用户迁出特性示意图

#### 1.2.3 下行纠偏特性

基站在发送数据时,根据每个物理小区收到的上行多普勒频偏量<sup>[6]</sup>,对下行数据进行一定的预纠偏,从而减少边缘区域用户的频偏量,进而提升这类用户的下行速率。

多普勒频移计算方法如下:

$$f_d = \frac{f}{c} \times v \times \cos \theta$$

式中:

- $v$ ——车速
- $c$ ——光速
- $f$ ——工作频率

多普勒频偏与终端距离关系如图5所示。

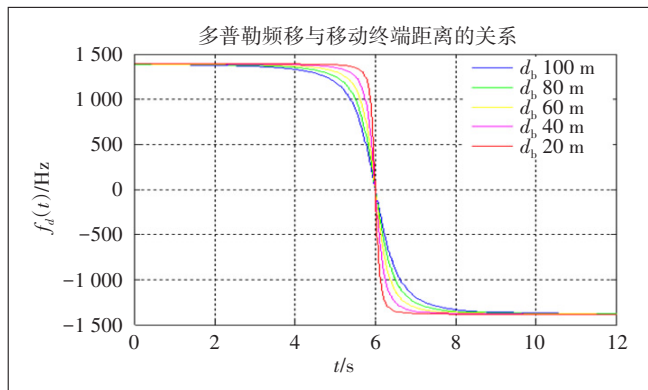


图5 多普勒频偏与终端距离关系

高铁用户处于抱杆中心位置时,终端会同时跟踪来自2个扇区设备的正负2个频偏,导致纠偏失灵,影响终端下行速率。

目前已有厂家对下行预纠偏算法进行了进一步的改进,目的为解决小区内相邻抱杆间对下行链路产生正负频偏的问题,在相邻小区间的切换带区域不做下行预纠偏。小站间距场景重叠覆盖严重,会出现切换带区域下行预纠偏非预期生效问题。针对小站间距场景的特性,优化了下行预纠偏算法,保障切换类指标平稳正常。

#### 1.2.4 上行空分复用

高铁场景上行空分功能主要通过空间复用<sup>[7]</sup>的方式(见图6),使满足隔离度要求的用户使用相同的上行时频资源,从而提升高负载场景下的小区上行吞吐量和用户上行感知速率。

#### 1.2.5 功控与切换优化

针对高铁场景移动速度快,信号波动大,历史解

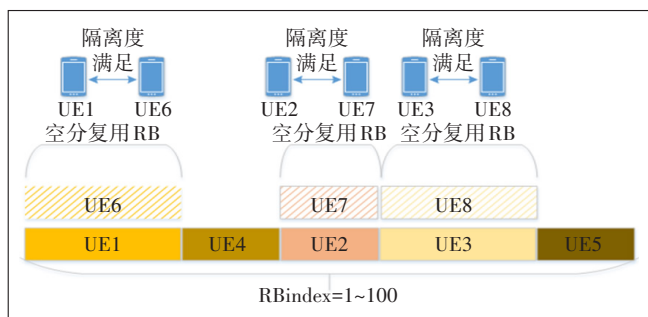


图6 上行空分复用示意图

调信息可参考度低等特征,优化调度功控策略,尽量参考当前信号,减少受历史信息的影响,抬升UE发射功率,抬升选阶,维持适中的初始块误码率(IBLER——Initial Block Error Rate)水平,获取上行实际频谱效率以及上行感知速率的提升。

切换优化:高速小区判断在高铁经过切换带时,通过限制切换源小区和目标小区的部分上下行子帧调度,抑制切换带干扰,缓解因切换失败、无线链路失败导致重建次数多的问题。

#### 1.2.6 速度识别调度

高速小区内根据每秒测量UE上行信号的多普勒频移并估算用户移动速度,区分高速用户和低速用户,通过提升高速用户的Non-GBR初传调度优先级并降低低速用户的Non-GBR初传调度优先级,实现高速用户优先调度功能。

### 1.3 精细射频优化

重叠覆盖带:合理重叠覆盖是实现业务连续的基础,重叠覆盖区域过小会导致切换失败,过大则会增加干扰和乒乓切换,因此合理的重叠覆盖优化在RF优化中尤为重要。

理论计算:重叠距离=2×(切换迟滞对应距离+切换测量距离(128 ms)+切换执行时间(100 ms)),在高铁场景下,建议根据站间距合理设置重叠覆盖带。

天线入射角:不同的入射角对应的穿透损耗不同,实际测试表明随着入射角变小,穿透损耗不断增加,因此合理的天馈方位角是保证良好覆盖的基础,在优化中,尽可能地让天线近点覆盖,减小信号衰减,在高铁场景下,建议根据站间距及站轨距合理设置天线入射角度。

### 1.4 VoLTE语音优化

#### 1.4.1 VoLTE用户优先接入

预留一定资源,在小区接入规格受限时优先接入VoLTE用户,从而保证人流密集场景的语音业务体验<sup>[8]</sup>。

基站通过预留一定的用户数资源,在小区接入用户数规格受限时,对预留规格内接入的用户进行判断,如果用户接入几秒后建立QCI1承载,则判断为语音用户,保持接入,并可以剔除一个数据用户(可选);否则判断为数据用户,释放该用户。

#### 1.4.2 语音用户 SINR 校正算法 IBLER 目标值

由于高铁专网为专网专用,基站均分布在铁路两边,且站间距有较严格的规划要求,故用户距离基站



较近,近点用户较多,而语音用户 SINR 校正算法 IBLER 目标值表示非 TTI Bundling 状态的语音用户动态调度的 SINR 校正算法 IBLER 目标值。该参数设置越大,则 SINR 的调整量也随之增大,选择的 MCS 也会更大。如果上行 IBLER 目标值设置较小,会导致 VoLTE 用户的上行 MCS 选择较小的方式,近点语音用户信道质量好,VoLTE 上行丢包率降低(语音质量较好);中、远点语音用户信道质量相对较差,同时包的上行 RLC 分段增多,VoLTE 上行丢包率抬升(语音质量降低);反之则会产生相反的效果。鉴于高铁用户距离基站较近(站轨距 75~150 m,信道距离 100~450 m),信道质量好,因此将该值调小有利于提升语音质量。

#### 1.4.3 CCE 上下行比例优化

高铁场景用户移动速度快,信号穿损高,信号不稳定,半静态调度以及 DRX 等不适宜在高铁场景下开启,且高铁场景突发瞬时话务量高,对 CCE 调度提出了不同的要求。

个别场景存在丢包现象,分析发现是 3/8 子帧的上行 CCE 拥塞导致上行调度不及时,引起丢包,TDD 配比 2,协议仅支持 3/8 子帧进行上行调度指示,上行控制信道相对下行容易受限,因此修改上下行 CCE 比例为 10 比 1,提升上行 CCE 资源占比。调整后,上行 CCE 分配成功率由 89% 提升至 97%。

#### 1.4.4 基于站间距的 eSRVCC 分场景精确优化

eSRVCC 的触发过程<sup>[9]</sup>主要分 3 个步骤:异系统测量启动(A2)、触发 B2 测量报告、网络侧下发切换执行命令,如图 7 所示。

由于高铁用户处于高速移动中,在执行以上 3 个动作的过程中,用户接收到的 RSRP 值可能已经快速衰减。实际切换电平与 B2 切换触发电平相比已经减

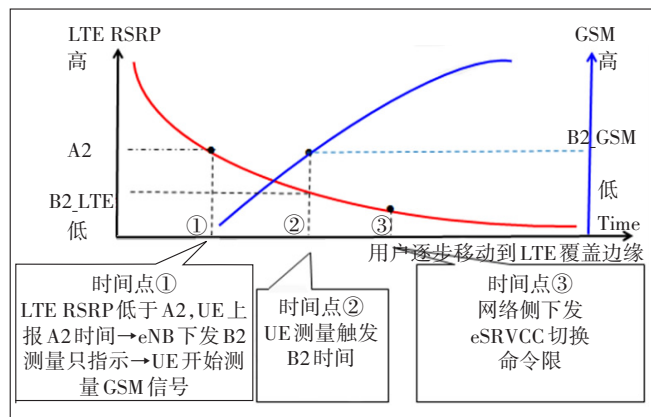


图7 eSRVCC 触发过程

小,因此在进行 eSRVCC 门限设置时要考虑一定的门限提前量,抵御信号衰减带来的不良影响。

以 eSRVCC 的切换门限为 -117 dBm 为例(如图 8 所示),向前回溯一个切换时延(经验值 900 ms),以 260 km/h 车速为例,900 ms 行驶路程 60 m,在高铁快衰场景下折合约 2 dB 信号衰减,则切换门限可以设置为 -115 dBm。再向前回溯测量同步时延(包括 GSM 信号测量(理论值 400 ms)、GSM 小区同步(经验值 100 ms)以及本区信号测量时间迟滞(128 ms)),在高铁快衰场景下折合约 1.8 dB 信道衰减,则启测门限可以设置为 -113 dBm,考虑到理论计算偏理想,实际信号波动下,可能需要预留时间等待信号达到门限,需要给出一定的门限值预留,所以启测门限高于 -113 dBm。

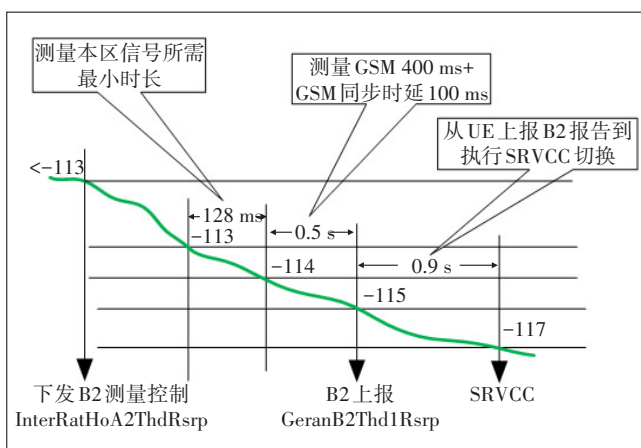


图8 eSRVCC 切换示例

#### 1.4.5 语音优先调度策略

对于业务负荷较高的线路,建议优先调度语音。调度优先级顺序为:控制信令>VoIP 业务的 BSR 和 SR 调度>数据业务的 SR 调度>数据业务的 BSR 调度。在数据和语音混合业务重载场景下,语音业务能够优先被调度,从而保障语音质量。

## 2 高铁 FDD 叠加组网策略

参照高铁专网建设先进线路经验(如京沪高铁),为进一步保证高铁覆盖及容量,高铁多制式、多频组网成为当前趋势。根据移动网络现状,对 DCS1800 进行 10 MHz 退频,可用作 FDD 规划建设。使用 1.8 GHz 进行 FDD 建设相对于当前 1.9 及 2.6 GHz TDD 组网,可进一步提升覆盖及上行感知。

### 2.1 高铁 FDD 组网优势

#### 2.1.1 覆盖距离

在满足各业务连续覆盖需求的情况下, FDD使用1.8 GHz频段进行LTE组网, 覆盖距离约为700 m; 2.6 GHz频段组网覆盖距离约为470 m。1.8 GHz频段覆盖距离约为2.6 GHz频段的1.5倍。

### 2.1.2 穿透损耗

高铁车厢采用全封闭制造, 车厢穿透损耗大。相同高铁车型, 因频段较低, FDD 1.8 GHz频段相对TDD 2.6 GHz穿透损耗小, 车内信号覆盖更好, 其车内覆盖电平可优于2.6 GHz频段约8 dB。

### 2.1.3 多普勒频偏

列车运行速度越快, 多普勒频偏量越大(见表1)。高铁列车运行速度一般达到350 km/h, 多普勒效应明显, FDD 1.8 GHz频段相对于TDD 1.9/2.6 GHz多普勒频偏较小, 尤其相对于2.6 GHz频段, 上行频率偏移约为2.6 GHz的70%。

表1 高铁速度与频偏量间关系

上行最大多普勒频偏			
速度/(km/h)	1 800 MHz频段/ Hz	1 900 MHz频段/ Hz	2 600 MHz频段/ Hz
200	667	703	963
250	833	880	1 204
300	1 000	1 055	1 444
350	1 167	1 231	1 685
450	1 500	1 583	2 167

### 2.1.4 上行感知

FDD相对于TDD可以提供更好的上行速率体验。因FDD与TDD制式差异, 同为20 MHz带宽情况下, FDD上行速率比TDD(上下行子帧2:2配置)高约5 Mbit/s, 相对于TDD(上下行子帧1:3配置)高约15 Mbit/s。

### 2.1.5 公网干扰

高铁FDD使用1.8 GHz频段进行组网, 因其无线频率资源为原GSM 1.8 GHz频段, 在使用过程中需对沿线GSM 1.8 GHz站点进行退频, 保证无线资源的纯净。高铁沿线3 km内逐步清退GSM 1.8 GHz频段, 后期高铁FDD 1.8 GHz频段受公网干扰将会越来越小。

## 2.4 高铁FDD与TDD协同优化

在FDD与TDD联合组网的情况下, 主要通过以下4个方面工作进行优化。

### 2.4.1 覆盖优化

#### 2.4.1.1 RSRP优化

根据测试结果, 建议终端测量到的RSRP保持在

-95 dBm以上, 这样可以保证有较好的覆盖性能。为达到此目的, 需要通过以下几方面来保障信号强度。

a) 频率选择: 覆盖高铁时尽可能推荐客户使用低频段覆盖, 要尽可能避免2.6 GHz频段直接采用宏网络覆盖的方式来覆盖高铁。

b) 站址选择: 两边“之”字形布站, 基站距离铁轨距离要适中(建议75~150 m), 保证基站与终端之间存在直射径, 这样可以提供更好的RSRP和解调性能。

c) 站高: 站高尽量高一点, 便于提供好的覆盖, 但也要根据站间距进行合理控制, 避免越区覆盖严重问题。

d) 天线增益: 建议选择33°窄波束高增益天线, 为获得高RSRP提供条件。

e) 方位角: 方位角沿着铁轨方向打, 要保证信号入射角大于10°。

f) 下倾角: 根据站高合理设置下倾角, 保证天线主瓣方向能覆盖到车厢高度。

g) 发射功率: 根据实际情况选择RRU型号(型号确定后LTE的总功率也即确定)以及导频功率, 为提供高RSRP做准备。

h) 建筑物遮挡: 尽量避免覆盖高铁的小区被建筑物或者森林等遮挡。

在优化RSRP时建议参照上述影响因素, 朝着有利于高铁覆盖的方向去优化。

### 2.4.1.2 SINR优化

SINR是保证吞吐率性能的关键因素, 在实际优化时要尽可能提供高的SINR, 可采用的手段建议如下:

a) 采用链型覆盖: 高铁小区采用链型覆盖, 小区之间间隔较远, 干扰比较低。

b) 降低大网对高铁网络的干扰: 在铁路附近的LTE站点, 要合理设置RF参数, 避免与高铁小区覆盖区域发生较大面积交叠, 以降低干扰。

c) 优化高铁网络的RF参数: 高铁上行干扰相对较小, 优化站高、方位角、下倾角等RF参数可以较好地优化SINR。

d) 合理规划PCI: 通过PCI MOD 3错开, 降低导频之间的干扰。

e) 弱覆盖: 避免因RSRP较弱而导致SINR也较差的现象出现。

通过上述手段, 基本上可以解决SINR低带来的性能影响。

### 2.4.2 FDD与TDD互操作策略

邻区配置:公专网除站点、边界外,不配置邻区。

规划策略:FDD做容量层,优先吸收用户负载,FDD频点优先级高于TDD频点。

基于覆盖的切换策略:优先进行频段内的覆盖切换,然后进行频段间的覆盖切换。

MLB策略:TDD专网2 600 MHz、1 900 MHz和FDD专网1 800 MHz开启单向用户数异频MLB。

### 2.4.3 互操作参数实施方案

系统间互操作:由于FDD终端支持程度低于TDD,配置同优先级,FDD话务吸收能力有限。因此建议配置FDD高优先级,FDD 10 MHz小区和TDD 20 MHz小区最大用户数比例约1:2,可有效吸收FDD话务。异频切换、重选策略如表2所示。

表2 异频切换、重选策略

切换重选	重选优先级	异频异系统测量门限	异频切换参数		
TDD	5	3	A1-108	A2-113	A4-98
FDD	6	3	A1-108	A2-113	A4-98

负载均衡配置如下:

a) 日常配置:TDD小区-FDD小区均衡优先级7,TDD小区-TDD小区均衡优先级5,连接态/空闲态负载均衡门限50。

b) 节假日配置:TDD小区-FDD小区均衡优先级7,TDD小区-TDD小区均衡优先级5,连接态/空闲态负载均衡门限100,可以避免用户数过多导致FDD小区超忙。

负载均衡门限设置如表3所示。

表3 负载均衡门限设置

负载均衡	是否允许	优先级	负载均衡门限	负载均衡门限
			(日常)	(节假日)
F-FDD	允许	7	连接/空闲态 50	连接/空闲态 100
D-FDD	允许	7	连接/空闲态 50	连接/空闲态 100
F-D	允许	5	连接/空闲态 50	连接/空闲态 100
D-F	不允许			

### 2.4.4 邻区添加原则

a) TDD增加车站出入口FDD小区的邻区,按现有TDD加TDD高铁的邻区配置。

b) TDD增加本站小区与FDD本站小区之间的邻区,使用A2+A4切换策略配置。

c) TDD增加本站小区与FDD上、下游站的邻区关系,使用A2+A4切换策略配置。

d) FDD增加新建小区与本站TDD所有频点邻区。

e) FDD增加新建小区与上、下游站的邻区关系,

使用A2+A5切换策略配置。

f) FDD增加新建小区与车站出入口TDD小区的切换关系,使用A2+A5切换策略配置。

基于以上协同优化工作,基本可实现TDD+FDD双制式下高铁专网的平稳运行,在实际运行过程中还需要根据各项网管、路测指标进行优化策略调整,使网络运行达到最佳状态。

## 3 结束语

针对高铁LTE专网容量受限的问题,本文对高铁由F单频组网到多频组网的必然演进进行了说明,重点对多频组网方式及优化策略进行研究、论证。一方面对当前F+D双频组网参数策略、网络新特性应用、精细射频优化、VoLTE语音优化进行了分析说明,另一方面对未来高铁TDD+FDD融合组网优化策略进行了展望。最终,通过多制式、多频段组网策略解决容量及覆盖受限问题,进一步提升高铁用户感知,为后续高铁专网建设、优化提供良好的理论和实践依据。

### 参考文献:

- [1] 樊学宝,何春霞. 高铁LTE网络覆盖研究[J]. 移动通信,2016,40(1):84-90.
- [2] 赵洪伟,刘海朝. 基于双频段组网及CA覆盖下改进PF算法的高速铁路TD-LTE专网优化[J]. 铁道学报,2017,39(12):58-66.
- [3] 黄小光,汪伟,徐辉,等. 面向业务感知的4G网络容量保障标准研究[J]. 电信技术,2017(2):43-46.
- [4] 熊宙实,王群勇,岑曙炜,等. TD-LTE D频段和F频段对比测试分析[J]. 电信技术,2012(7):30-33.
- [5] 张长青. TD-LTE小区切换技术分析和建议[J]. 移动通信,2013,37(2):45-52.
- [6] 刘航. 多经信道环境下LTE及LTE-A系统中的多普勒频偏估计[D]. 北京:北京邮电大学,2015.
- [7] 方晖. TD-LTE系统中的MIMO空分复用技术研究[D]. 南京:南京邮电大学,2013.
- [8] 周峰,许正锋,罗俊. VoLTE业务与技术实现方案的研究与分析[J]. 电信科学,2013,29(2):31-35.
- [9] 晋晶晶,杨兴红. VoLTE网络的eSRVCC切换优化方法[J]. 电信工程技术与标准化,2016,29(9):63-66.

### 作者简介:

赵洪伟,毕业于中南大学,工程师,硕士,主要从事无线网络规划、优化工作;李玲,毕业于天津大学,硕士,助教,主要从事移动通信网络相关教学与科研工作。

