

# 浅析高铁场景下5G无线网络规划

廖丽君

上海邮电设计咨询研究院有限公司 上海 200092

**摘要:** 本文主要探讨了高铁场景下5G无线网络规划问题。首先分析了5G高铁覆盖中普遍存在的难点, 然后从站点参数规划、天线选型、PRACH规划、TAC规划、HyperCell组网等方面, 提出了5G高铁组网规划策略。最后针对隧道、高架桥、高铁站台及候车大厅等特殊场景, 给出了相应的5G网络覆盖策略。

**关键词:** 5G; 高铁; 网络规划; 覆盖策略

引言: 随着移动互联网的普及和高速铁路的快速发展, 高铁用户对移动办公、在线娱乐等需求日益增加, 对通信质量的要求也越来越高。5G作为新一代移动通信技术, 具有高速率、低时延、大连接等优势, 能够满足高铁场景下的通信需求。高铁覆盖是5G部署的重要基础场景之一, 在高铁中为乘客提供理想的通信感知对运营商提升品牌竞争力和增强高端用户粘合度至关重要。因此, 对高铁场景下5G无线网络规划问题进行研究, 为高速铁路部署高质量的5G网络, 具有重要的现实意义和实用价值。

## 1 5G 高铁覆盖难点分析

5G技术正逐步应用于高铁领域, 然而在高铁覆盖中普遍存在三大难点: 车厢穿透损耗大、多普勒频移、频繁切换。

### 1.1 车厢穿透损耗

车厢穿透损耗是指信号在穿过高铁车厢时所遭遇的能量损耗。高铁列车采用封闭式的车厢设计, 车体由不锈钢、合金等金属材料组成, 相对于普通列车, 高铁列车车厢的电波穿透损耗要高得多, 而且5G高频段信号的穿透能力相对较弱, 因此在信号传输过程中会发生较大的能量损耗。这导致了车厢内部的覆盖受限、信号质量较差, 从而影响了乘客在车厢内使用5G网络的体验。另外, 高铁网络通常沿着铁路做带状覆盖, 信号从基站到车厢的入射角较小, 车厢的穿透损耗更大。车厢穿透损耗对整体覆盖范围也会造成影响。

### 1.2 多普勒频移

多普勒效应是指由于发射机和接收机的相对运动,

接收机接收到的信号频率会发生偏移, 两者互相接近时接收频率变高, 两者互相远离时接收频率变低。多普勒效应所引起的频移称为多普勒频移。工作频率越高、移动速度越快, 多普勒频移就越大。以5G主力的3.5GHz频段为例, 时速350km/h的高铁列车的上行多普勒频移可高于2kHz。如果不能有效校正高速移动下的多普勒频移, 接收机的解调性能就会严重恶化。因此, 在高频段、列车高速移动下如何克服多普勒频移是5G高铁覆盖中的一大挑战。

### 1.3 频繁切换

高速移动环境下带来的另一个不可忽略的问题是频繁切换。高铁沿线基站的单站覆盖范围较小, 列车在高速行驶状态下, 穿越单站覆盖所需的时间非常短。为保持通信的连续性, 需将通信链路从一个基站小区信道转换到另一个基站小区信道。因此, 用户在使用移动网络时会产生频繁的小区切换和重选, 容易出现切换失败、脱网等问题, 导致接入不稳定, 严重影响用户体验。

减少小区间切换是提升高铁用户体验的关键, 建议合理规划重叠覆盖区域和参数设置, 同时采用小区合并减少小区间切换次数, 提高网络性能及可靠性, 有效保障用户感知。

## 2 5G 高铁组网规划策略

### 2.1 站点参数规划

在直线铁轨路段, “之”字形布站方式为最佳, 相邻站点交错分布在轨道的两侧, 有助于改善切换区域, 有利于均衡车厢内两侧的信号强度。在“( )”形弯道铁轨路段, 站点要选在弯道的内侧, 提高入射角, 保证覆盖的均衡性。

高铁规划中的天线挂高为天线相对于轨面的垂直高度, 建议在15-20m为宜, 同时应保证天线与轨面视通。如果站轨距远, 挂高可以在此基础上再增高一点。

高铁规划中, 穿透损耗与信号的入射角密切相关,

**通讯作者:** 廖丽君, 出生年月: 1982年2月, 民族: 汉, 性别: 女, 籍贯: 江西, 单位: 上海邮电设计咨询研究院有限公司, 职位: 设计师, 职称: 工程师, 学历: 硕士研究生, 邮编: 200092, 研究方向: 移动通信网络规划、设计、优化。

当信号垂直入射时穿透损耗最小,随着入射角的减小,车厢穿透损耗增加幅度增大。当入射角在20度以内,列车穿透损耗增加幅度明显加快,当小于10度时,穿透损耗基本呈指数增长。为了避免过小的入射角,站轨距一般建议为100-200米。在方位角的设置中,一般建议保证信号入射角不低于20度。

## 2.2 天线选择

高铁覆盖中根据不同覆盖场景、站轨距及站间距,选取合适型号的天线来保证覆盖质量。一般站轨距较大及铁路拐角区域采用65°水平宽波束高增益天线,站轨距偏小时采用33°水平窄波束天线。高铁覆盖场景为线性覆盖,高铁线路上的信号是天线方向图在线型道路上的投影,由于方向角和下倾角的存在,天线方向图在线型道路上可能存在水平零点或垂直零点,所以传统的高铁覆盖容易出现塔下黑的现象。

针对高铁场景,波束赋形天线可以在水平和垂直方向赋形,以弥补零点带来的覆盖空洞,弥补塔下黑的问题。综合考虑成本、技术成熟度等因素,5G高铁可采用8T8R波束赋形天线,由4列天线振子组成,水平有8个通道,可以实现±30°的扫描范围,基本可满足各类站点对水平波束宽度的需求<sup>[1]</sup>。

## 2.3 PRACH规划

高铁场景下,终端高速移动,较大的多普勒频移会破坏ZC序列不同循环移位之间的正交性,从而前导解码产生误码的概率增大。因此5G PRACH格式设计中,针对不同的根序列索引,通过限制集来限制使用某些循环移位,从而规避这个问题。R15标准在限制集TypeA的基础上引入新的限制集TypeB,被用于超高速场景。

5G NR支持两种长度的PRACH,短序列PRACH和长序列PRACH。短序列PRACH仅支持非限制集,长序列PRACH支持非限制集、限制集TypeA和TypeB。

对于长序列PRACH,支持Format0-3共四种格式,Format1和Format2分别适用于超远距离覆盖场景和增强覆盖场景,不建议用于高铁覆盖。Format3的子载波间隔是5kHz,大于Format0的1.25kHz,更适用于高速移动场景<sup>[2]</sup>。

## 2.4 TAC规划

TAC(Tracking Area Code)是5G网络中的一个关键参数,用于标识不同的跟踪区域。跟踪区规划与网络寻呼性能密切相关,合理的跟踪区规划能够均衡寻呼负荷和TAU信令开销,有效控制系统信令负荷。

在进行5G高铁网络规划时,需要充分考虑高铁的运行轨迹和速度,高铁沿线的地理环境和人口密度,以及不同地区的网络需求和覆盖要求。通过合理规划TAC的分

配和使用,可以提高5G高铁网络的覆盖、容量和性能,满足高铁乘客在不同场景下的通信需求。

高铁若采用专网建设,建议一个地市采用一个TAC,减少TAU;若采用公网建设,则TA规划原则和宏网络保持一致。对于公网建设高铁网络,若高铁沿线在农村低话务区域,可以考虑在一个地市对同一条高铁规划专用TAC,提升TAU更新成功率和高铁用户寻呼成功率。但如果高铁通过城区和县城区域,则不建议这么规划,因为这会导致高铁沿线用户频繁TAU更新,影响网络寻呼性能。

在实际网络运营中,随着网络的不断发展和优化,TAC的划分可能需要进行调整和变更。同时,随着5G技术的不断演进和应用,TAC的划分规则也会不断进行优化和调整,以适应新的网络需求和技术发展。

## 2.5 小区合并与HyperCell组网方案

高铁沿线基站单个小区的覆盖半径较小,但高铁列车的行驶速度却非常快,这样就会造成终端接入的小区快速变更,业务切换频繁,极大地降低网络的性能,影响用户体验。在4G网络高铁覆盖时,针对这种情况,一般是采用小区合并技术,通过多RRU联合,将多个相邻小区合并,形成一个较大的逻辑小区,用户终端在同一个逻辑小区的不同RRU覆盖范围下移动时,不会发生切换。但是多个小区合并为一个小区后,共享无线资源,导致容量损失,合并的小区数越多,容量损失越多。针对这种情况,在5G阶段建议通过HyperCell组网方案解决,在小区合并的同时,考虑网络容量损失的问题。

在高铁覆盖场景中,5G网络采用HyperCell组网技术,将多个物理小区(TRP)合并为一个逻辑小区,用户终端在不同TRP之间移动,不需要进行切换,不感知小区边界,从而可以提高高速移动用户体验<sup>[3]</sup>。5G采用HyperCell技术小区合并后,广播信道共小区,形成一个逻辑小区,而其业务信道TRP可独立调度,因此容量无损,有效保障用户感知。HyperCell组网技术最大支持12个小区合并为一个HyperCell。

## 3 高铁特殊场景 5G 网络覆盖策略

### 3.1 隧道场景

高铁在隧道场景下的5G网络覆盖是一个不可回避的难题,用于高铁隧道场景的5G信号覆盖方式主要有:泄漏电缆覆盖、漏泄波导管覆盖和特型天线覆盖。

泄漏电缆是一种利用同轴电缆外导体上的开缝辐射或接收电磁波,从而与外部空间进行无线通信的传输媒介,主要应用于闭域空间的无线通信<sup>[4]</sup>。隧道覆盖中常用的泄漏电缆型号有13/8漏缆和5/4漏缆,它们的理论截

止频率约为2.8 GHz和3.6 GHz。也就是说, 13/8漏缆仅支持中国移动2.6GHz的5G频段, 而中国电信和中国联通3.5GHz的5G频段信号无法在13/8漏缆中传输, 需要考虑用5/4漏缆来支持接入。但传统的5/4漏缆在3.5 GHz高频段的百米传输损耗很大, 容易出现弱覆盖情况。因此, 传统的5/4泄漏电缆不能完全解决高铁隧道的5G覆盖, 研发新型泄漏电缆, 降低泄漏电缆整体损耗很有必要。

与泄漏电缆类似, 漏泄波导管也是通过开具的裂缝向外辐射或接收信号, 但漏泄波导管传输的是超高频电磁波, 传输损耗极小, 频带也更宽。在高频段或对损耗要求很高的长隧道覆盖可以考虑采用漏泄波导管, 它的覆盖方式与泄漏电缆相同。但是, 目前的漏泄波导管稳定性不够, 受周边环境影响大, 而且它的制作工艺复杂, 成本比普通泄漏电缆要高得多, 若大规模使用, 需投入大量建设成本。因此, 目前不建议大规模使用漏泄波导管进行5G高铁隧道覆盖。

特型天线覆盖方案是指采用八木天线或对数周期天线在隧道口或隧道内对列车进行定向覆盖。特型天线覆盖方式设计灵活, 施工简单, 投资较低, 但这种覆盖方式需要重点考虑安装条件、安全性以及稳定性。

综上, 高铁隧道不同场景下, 5G覆盖方案有所不同。直线型短距离隧道或隧道口建议使用特型天线覆盖; 中长隧道或弯曲隧道采用单一的覆盖方式可能达不到满意的效果, 可以考虑使用RRU、泄漏电缆和特型天线相结合的方式进行覆盖; 连续且距离较近的隧道之间的覆盖, 可以在隧道与隧道之间布放特型天线<sup>[5]</sup>。

### 3.2 高架桥场景

高架桥是高速铁路中常见的特殊场景。高架桥的位置较高, 两侧多为农田、江河等空旷的农村环境, 传播环境相对简单, 建议根据现网条件并结合周边地理环境, 因地制宜选择最适合的方式进行覆盖。

如果高架桥的两侧为郊区、农田, 具备宏站建站条件, 可以新建或利用一定高度的宏站进行覆盖。如果高架桥两边为江河、楼宇, 无法进行宏站建设, 可以采用

在高架桥上新建分布式基站的组网方式来覆盖。

### 3.3 高铁站台及候车大厅场景

高铁站台有开放型站台和封闭型站台两种。开放型站台只有顶棚遮挡, 整个区域相对开放, 可采用附近的无遮挡宏站来做覆盖。列车进出站台速度较慢, 因此不用考虑多普勒效应, 但人流量比较大, 建议采用64T64R Massive MIMO设备, 其空分能力强, 支持用户多, 可以为高铁站台提供完善的覆盖。封闭型站台两侧有金属罩, 周边宏站信号被遮挡, 无法较好地覆盖站台和停站高铁, 对于此类站台宜采用在站台上增加信源完成覆盖。

高铁候车大厅室内面积大, 整体空间较为封闭, 用户密度大, 容量需求高, 是典型的高流量区域。在候车大厅的5G网络规划中, 建议使用数字化室内分布系统(如Lampsite或Qcell)进行覆盖, 具有易部署、易维护、平滑扩容等优势。

结语: 无论是观看高清视频、在线娱乐、实时通讯还是大型文件传输, 在高铁5G通信网络覆盖范围内都能够获得更流畅、更快速的体验, 从而提升了出行的舒适度和便利性。5G高铁网络的覆盖不仅改善了乘客的通信体验, 提升了高铁的安全运营水平, 还为交通信息化发展提供了强大的支撑。随着5G技术的不断发展和应用, 相信未来高铁通信网络的覆盖能力将会得到进一步提升, 为人们的出行生活带来更多的便利和安全保障。

### 参考文献

- [1]董佳,曹景阳,王桂珍,邓伟.基于天线波束形态设计的5G高铁沿线覆盖方案[J].移动通信,2022,46(03):62-66.
- [2]张建国,吕译桁,万新华.高铁5G NR参数配置方法[J].移动通信,2020,44(05):2-6.
- [3]冯晓洁,密恺,崔超.基于高铁 Hyper Cell功能参数研究[J].山东通信技术,2020,40(03):30-31.
- [4]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(8):26-29.
- [5]蒲玲玲,杨柳,刘恒,李帅.高速铁路隧道场景下的5G通信覆盖方案分析[J].四川建筑,2022,42(03):126-130.