

地铁民用通信的 5G 覆盖解决网络研究

李益锋, 金超, 陶昕

(华信咨询设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310026)

摘要: 地铁具有无线传播环境复杂、移动用户集中和数据业务需求大等特点, 成为 5G 网络重点覆盖的区域。结合 5G 网络特性, 对地铁站厅/站台、隧道的无线传播环境特点和覆盖要求进行分析, 并针对新建和既有地铁联众场景提出 5G 覆盖解决方案。

关键词: 地铁; 移动通信; 5G 网络; 通道数; 传播环境

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.200584

中文引用格式: 李益锋, 金超, 陶昕. 地铁民用通信的 5G 覆盖解决网络研究[J]. 电子技术应用, 2020, 46(8): 26-32.

英文引用格式: Li Yifeng, Jin Chao, Tao Xin. Research on 5G coverage solution network of subway civil communication[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(8): 26-32.

Research on 5G coverage solution network of subway civil communication

Li Yifeng, Jin Chao, Tao Xin

(Huaxin Consulting Design & Research Institute Co., Ltd., Hangzhou 310026, China)

Abstract: Characterized by complex wireless communication environment, concentrated mobile users and large demand for data services, subway has become the key area covered by 5G network. Combined with 5G network characteristics, this paper analyzes the characteristics and coverage requirements of the wireless communication environment of subway hall/platform and tunnel, and proposes 5G coverage solutions for the newly built and existing subway joint scene.

Key words: subway; mobile communication; 5G network; number of channels; communication environment

0 引言

移动通信作为人们日常生活中必不可少的组成部分, 在地铁的建设中, 民用通信系统的覆盖也变得越来越重要。它不仅使各个运营商的无线网络覆盖得到进一步的提升, 从而提升用户感知度; 还使旅客充分地感受到轨道交通高品质的服务, 从而得到旅客的认可。

随着科技的发展, 人们对移动数据流量的需求变得越来越大, 地铁作为人们日常生活中重要的交通工具, 为了提升移动数据流量, 5G 网络的覆盖变得必不可少。

5G 作为“新基建”的一个重要组成部分, 网络覆盖建设在大力进行中。地铁作为人们日常生活的一个重要场景, 5G 网络需要对其区域进行覆盖, 包括站厅、站台、隧道等区域。本文通过对地铁场景、网络覆盖特性、频段覆盖的局限性分析, 对地铁的 5G 网络覆盖提出有效的建设方式。

第五代移动通信技术(5G)包括时分双工(Time Division Duplexing, TDD)和频分双工(Frequency Division Duplexing, FDD)两种制式, 为了提高传输速率, 5G 会采用 Massive MIMO 技术(大规模天线技术, 亦称为 Large Scale MIMO)。原 4G 网络采用的多输入多输出(Multi-input

Multi-output, MIMO)技术, 其天线基本是 2 通道、4 通道或 8 通道, 而 Massive MIMO 技术通道数可以达到 64/128/256 个。

室内由于环境受限, 一般 5G 网络的覆盖会采用 4 通道的覆盖方式, 在设备安装条件进一步受限的情况下, 会采用 2 通道, 甚至是 1 通道的覆盖方式。5G 网络覆盖的主要频段为 2.6 GHz、3.5 GHz 等, 这些频段的覆盖能力对比于前几代的移动通信的频段, 覆盖能力进一步降低, 特别是 3.5 GHz, 且地铁的室内场景复杂, 给 5G 网络的建设造成比较大的难度。本文将从地铁各类场景特性进行分析, 讨论 5G 网络覆盖的可建设性。

1 民用通信在地铁覆盖中的特性

1.1 地铁场景特点

地铁一般包括两部分: 列车隧道和候车站厅/站台, 如图 1 所示。具体地铁场景的特点详见参考文献[1]。

通过分析场景特性, 地铁覆盖有如下特点:

(1) 分布式系统不能重复建设, 同时需要考虑多运营商多系统共存。故地铁一般需要引入多个通信系统, 需考虑多系统合路。

(2) 地铁除了出口处不会受到外部信号的干扰, 因此



图1 地铁场景示意图

在不同厂家基站区域建设地铁覆盖的插花组网难度较小。

(3)地铁场景主要由站台和隧道构成,与室外信号隔离好,干扰少。

(4)站台比较空旷,电波传播基本是自由空间模式,损耗较小。

(5)隧道是窄长形结构,隧道截面直径大约在5 m~6 m左右。

(6)地铁客流量大,尤其在上下班高峰期,对语音和数据业务都有很大需求,因此系统容量需求也大。

1.2 地铁覆盖的技术特点

由地铁场景的特点决定,地铁覆盖方案一般有以下技术特点:

(1)隧道狭长,车体对于信号阻挡较为严重,须进行沿隧道横截面的覆盖方式。通常采用泄漏电缆覆盖,场强分布均匀、可控性高、频段宽、多系统兼容性好。

(2)地铁是高级公共建筑物,业主是政府或地铁公司,需要一次性考虑多系统的覆盖,一次进场施工完毕。

(3)为了避免多系统合路时系统之间的干扰,降低合路器的隔离度和互调指标的要求,通常采用收发分缆方式覆盖。

(4)地铁覆盖容量需求大,通常采用RRU或有源室分作为信号源。

(5)地铁是公共骨干交通工具,只有深夜很短的时间检修设备,对设备可靠性、维护性要求高。尽量在站台安装需要维护的设备,在隧道中安装设备时要求快速完成检修和维护。

(6)地铁出口与地面室外网络需要设置良好的切换区域。

2 5G网络在地铁覆盖中的实现^[2]

2.1 地铁覆盖的整体思路

考虑到全国许多大中城市都已经开通了地铁运营,民用通信也对已经开通的地铁内部进行了覆盖,然而绝大部分已开通地铁到目前为止并无5G网络的覆盖,因此地铁5G网络的覆盖可以分为既有地铁的5G覆盖及新建地铁的5G覆盖。

2.1.1 新建地铁

新建地铁的民用通信系统工程一般是由铁塔公司统一建设,为三家运营商提供相应制式的接入端口,并提供输入信号功率等规格指标。

各运营商的信源信号(不同制式、不同频段的信号)经多系统接入合路平台(POI)合路后,再经过天馈分布系统将能量传播出去,完成对地下站厅、站台及隧道的覆盖。

站台、站厅则有两种方式覆盖:(1)各个运营商的所以网络制式采用POI合路后通过馈线及室分天线覆盖,具体网络拓扑示意图如图2所示;(2)各个运营商的2G/3G/4G网络采用传统的分布系统,5G网络采用有

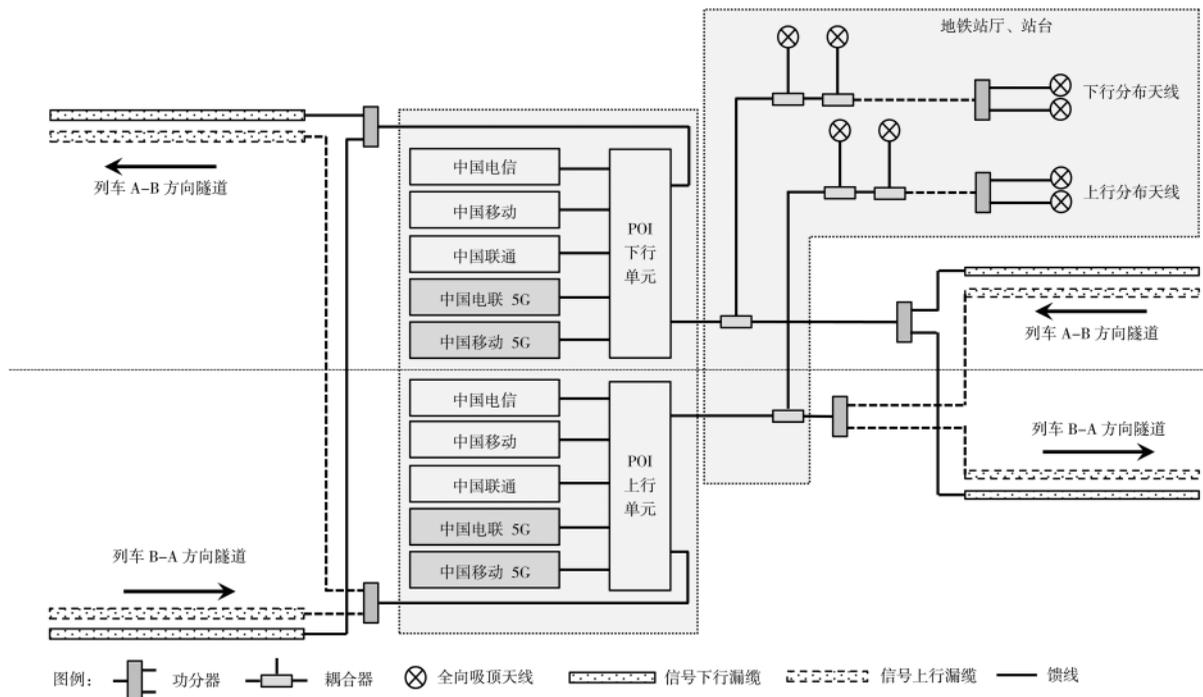


图2 地铁覆盖方案总体思路拓扑图

5G 网络规划技术 5G Network Planning Technology

源室分的方式覆盖,具体站厅/站台网络拓扑示意图如图3所示。

隧道内使用泄漏电缆覆盖,根据地铁隧道内部提供的空间大小,可以选择单缆、双缆、三缆、四缆几种方式,如图4所示。

单缆方案:由 POI 及一根 5/4 漏缆组成,投资最省,考虑到干扰原因,不能将所有网络频段及制式接入;无法体现 4G、5G 多通道的数据增益。

双缆方案:主流方案,由 POI 及两根 5/4 漏缆组成,投资经济,可以接入所有网络频段及制式;4G、5G 可以达到双通道效果,无法体现 5G 四通道的数据增益。

三缆方案:由 POI 及两根 5/4 漏缆和一根 13/8 漏缆组成,投资较大,可以接入所有网络频段及制式,抗干扰能力强;2G/3G 信号可以接入 13/8 漏缆,4G/5G 接入 5/4 漏缆,4G、5G 可以达到双通道效果,无法体现 5G 四通道的数据增益。

四缆方案:由 POI 及 4 根 5/4 漏缆组成,投资大,可以接入所有网络频段及制式,抗干扰能力很强;2G/3G 信号可以根据频段干扰情况上下行分离分别接入两根

漏缆,4G 信号根据频段干扰情况接入两根漏缆,达到双通道效果;5G 信号接入 4 根漏缆,达到四通道效果。

2.1.2 既有地铁

国内现有已经开通的地铁,民用通信基本实现全覆盖,覆盖的网络基本是 2G/3G/4G。5G 网络尚未在地铁内完成覆盖,如何在既有地铁里面实现 5G 网络的覆盖,是民用通信的一个难点,具体建设方式在本文后面章节介绍。

2.2 链路预算

2.2.1 链路预算模型

由于各类网络制式工作频段的差异,因此馈线对射频信号的衰减也不一致,并且它们的空间传播特性的不一致导致在各个天线口的输出功率的不一致。中国移动 5G 网络主要使用的频段是 2.6 GHz 频段,中国电信和中国联通 5G 网络主要使用的频段是 3.5 GHz 频段,在满足 3.5 GHz 频段覆盖需求的同时可以满足 2.6 GHz 频段的需求。本文的覆盖以 3.5 GHz 频段说明。

建筑物室内传播模式是受限的自由空间传播模式,表达式如下:

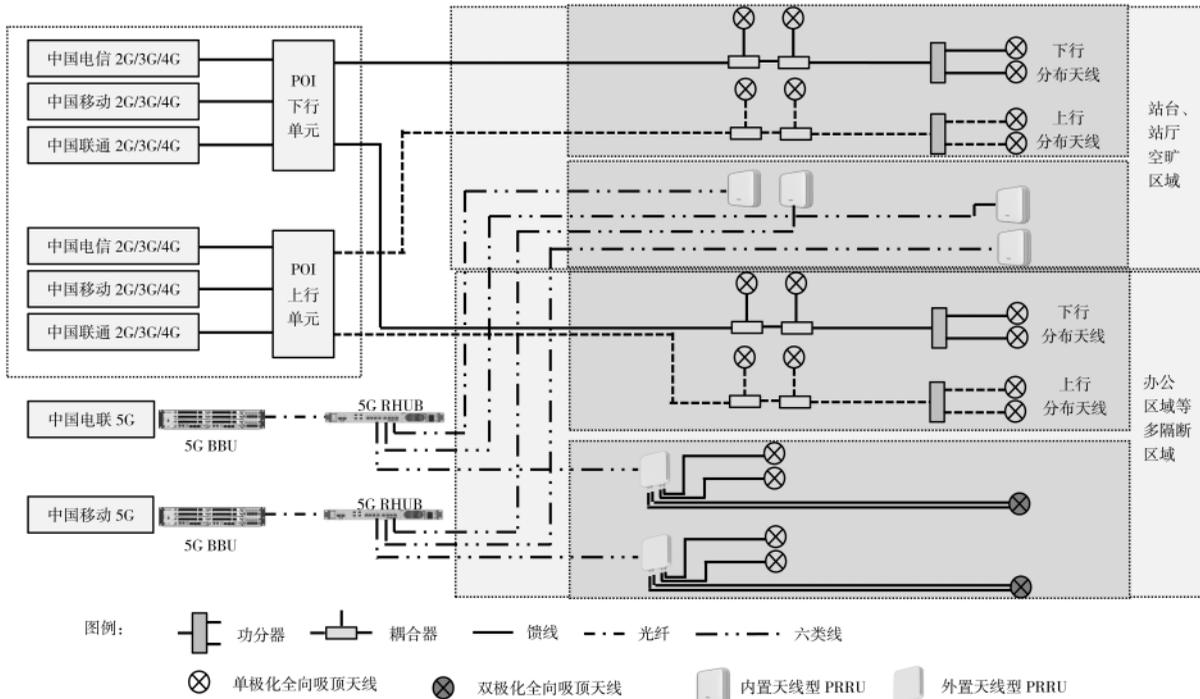


图3 地铁站厅站台覆盖总体思路拓扑图

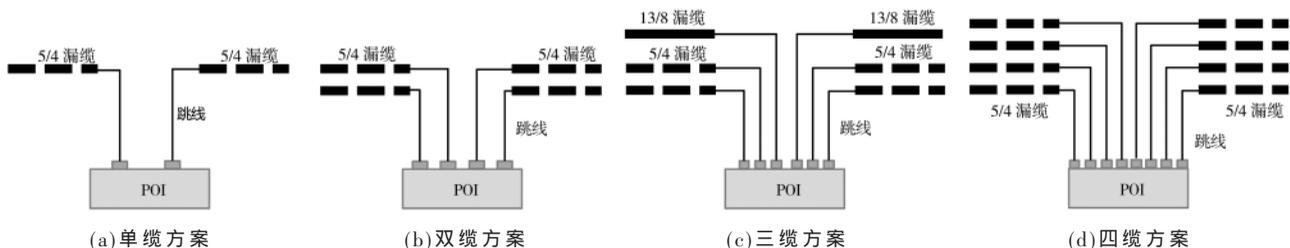


图4 地铁隧道漏缆布放总体思路拓扑图

$$PL(d) = PL(d_0) + 20 \log(d/d_0) + \beta d + FAF \quad (1)$$

$$PL(d_0) = 32.4 + 20 \log(d_0 \times 0.001) + 20 \log f \quad (2)$$

式中, d_0 为参考的近距离, 单位为 m; f 为工作频率, 单位为 MHz; $PL(d)$ 表示路径为 d 的总传输损耗值; $PL(d_0)$ 表示近地参考距离(通常 $d_0=1$ m)自由空间衰减值; β 表示路径损耗因子(0~1.6 dB/m); FAF 表示隔墙损耗(5 dB~20 dB)。

2.2.2 链路预算计算

根据外场测试, 3.5 GHz 频段比 1.8 GHz 的 4G 频段穿透损耗高 4~5 dB, 站厅、站台的室内分布系统网络链路预算可以根据这个参考值进行计算。

对于隧道的链路预算, 3.5 GHz 频段的穿透损耗主要来自车体损耗, 3.5 GHz 穿透损耗为 24 dB, 对隧道内的覆盖进行链路预算如表 1 所示。

根据链路预算, 指导地铁隧道的设计。

2.3 新建地铁

2.3.1 站厅/站台的覆盖^[3]

站厅/站台覆盖方式可以参考 2.1.1 节, 传统的分布系统覆盖站台/站厅需要采用满足 5G 网络的 3.5 GHz 频段的器件和天线。

5G 网络采用有源室分覆盖点位, 2G/3G/4G 采用传统的分布系统, 建议传统的分布系统也采用满足 5G 网络的 3.5 GHz 频段的器件和天线。

有源室分也称为 PRRU 分布系统, 主要由基带控制单元(BBU)、数据汇聚单元和射频拉远端单元(PRRU)组成, 如图 5 所示。

数据汇聚单元通过光纤接收 BBU 发送的下行基带数据, 经过分路处理后通过超 5 类线(6 类线或光电缆)传给 PRRU, 并将 PRRU 的上行基带数据经过一定的合路处理后向 BBU 发送。

微型射频拉远端(PRRU)发射通道通过超 5 类线(6 类线或光电缆)从数据汇聚单元接收基带信号后进行数模转换并调制到射频后通过天线发射。

数据汇聚单元采用 220 V 交流供电, 射频拉远端单元通过 5 类线(6 类线或光电缆)直接供电。

微型射频拉远端(PRRU)根据覆盖方式分为两类: 一类为放装型, 即天线集成在内; 另外一类为室分型, 即需要外接室分无源天线完成覆盖。

根据站台、站厅的场景特性及重要程度, 可以选择放装型的 PRRU 覆盖其空旷区域, 选择室分型, 外

表 1 隧道内 5G 网络 3.5 GHz 频段的链路预算

项目	值	注释
带宽/MHz	100	
基站单通道发射功率/W	60	P_t , 机顶输出功率
基站 RS 信道发射功率/dBm	12.6	P_m , 漏缆输入端注入功率
POI 损耗/dB	0	f_a , 按实际项目使用的 POI 取值
跳线和接头损耗/dB	0.5	f_b
基站发射端口至漏缆处总损耗/dB	0.5	$L_1=f_a+f_b$
阴影衰落余量/dB		L_2 , 默认同室外场景设置
车体穿透损耗/dB	24	L_3
泄露电缆耦合损耗/dB	66	L_4 , 根据实际项目使用的漏缆型号取值
终端距离漏缆的距离/m	4	D , D 为终端距离漏缆的距离, 单洞双轨取 8 m
宽度因子	6.02	$L_5, L_5=20 \log(D/2)$, 相对于 2 m 距离产生的空间损耗
人体损耗/dB	0	L_6 , 数据业务不考虑人体损耗, 取 0; 语音业务取 3 dB
车内边缘处覆盖场强要求/dBm	-110	$Pr(d)$
单边最大允许传播损耗/dB	26.08	$MAPL, MAPL=[P_m - (Pr(d) + L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6)]$
泄露电缆百米传输损耗/(dB/100 m)	9.8	S , 根据实际项目使用的漏缆型号取值
单边漏缆有效覆盖长度/m	266.1	$L = MAPL \times 100 / S$

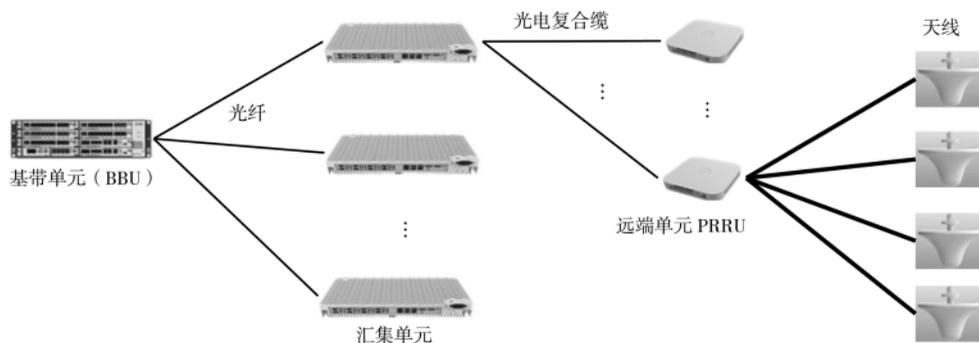


图 5 有源室分拓扑图

接室分天线覆盖其办公区及设备区,提升网络建设的性价比。

2.3.2 隧道覆盖

隧道覆盖需要采用泄露电缆,目前广泛使用的 13/8 英寸辐射型泄露电缆不支持 3.5 GHz 频段的 5G 网络,需要更换为支持 3.5 GHz 频段 5/4 英寸辐射型泄露电缆。采用 4×60 W 的 5G RRU,POI 则如图 6 所示,5G RRU 在末梢端和出口线路合路,可以避免 POI 的馈入损耗,参考 2.2.2 节链路预算计算,5G 网络单侧覆盖可以达到 266.1 m,基本能够满足目前广泛使用的 400 m 一个节点的建设模式。

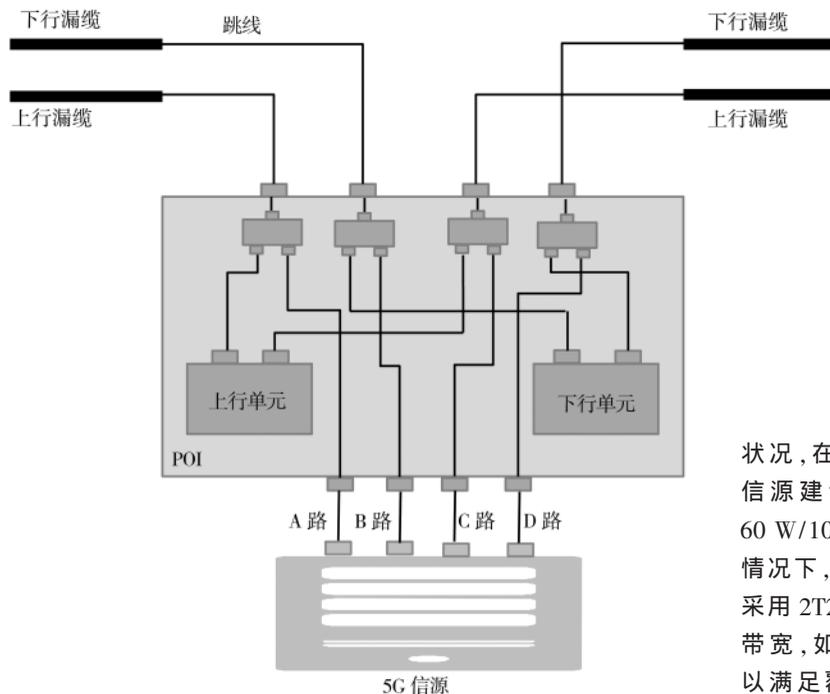


图 6 POI 内 5G 信号连接示意图

2.3.3 隧道覆盖的仿真

根据隧道覆盖的方案,以及 2.2 节链路预算,采用 5/4 英寸辐射型泄露电缆,4×60 W 的 5G RRU,对隧道进行覆盖仿真,如图 7 所示。

仿真采用一段 400 m 长的地下盾构区隧道,两端有 RRU 接入。从仿真结果分析,隧道覆盖效果非常好,列车区域的 SS RSRP 基本在 -110 dBm 以上,能够满足覆盖需求。

2.4 既有地铁的 5G 网络覆盖建设

2.4.1 既有地铁的 5G 建设方式

既有地铁的覆盖一般是 2G/3G/4G 网络,无论是站台/站厅的传统分布系统,还是隧道内的泄露电缆,皆不支持 3.5 GHz 频段的 5G 网络,若要改造,则需要更换 POI、室分器件、室分天线、漏缆等,而已建成地铁的民用通信改造可能性非常小。

站台/站厅的 5G 覆盖则使用有源室分叠加覆盖,具体参考 2.3.1 节中的有源室分覆盖。

隧道覆盖在不更换原有漏缆的情况下有两种覆盖方式:(1)新增漏缆覆盖;(2)使用特型天线覆盖。

考虑到隧道内部的漏缆安装空间资源状况,在条件满足的情况下,可以新增两根 5/4 漏缆,信源建议采用 4T4R 的 5G RRU,每通道功率不小于 60 W/100 M 带宽,如图 8(b)所示;在空间资源有限的情况下,新增一根漏缆,位置在两根漏缆之间,信源建议采用 2T2R 的 5G RRU,每通道功率不小于 60 W/100 M 带宽,如图 8(a)所示;结合 2.2.2 节链路预算计算,可以满足覆盖要求。

在无法新增漏缆的情况下,可以考虑一种简便的

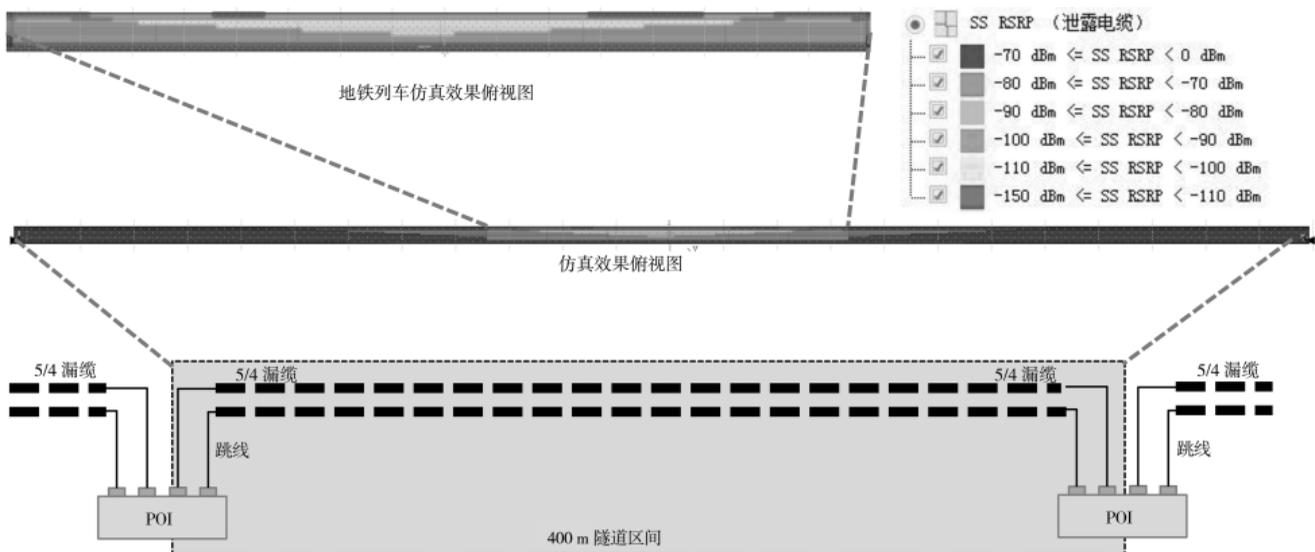


图 7 隧道漏缆覆盖仿真图

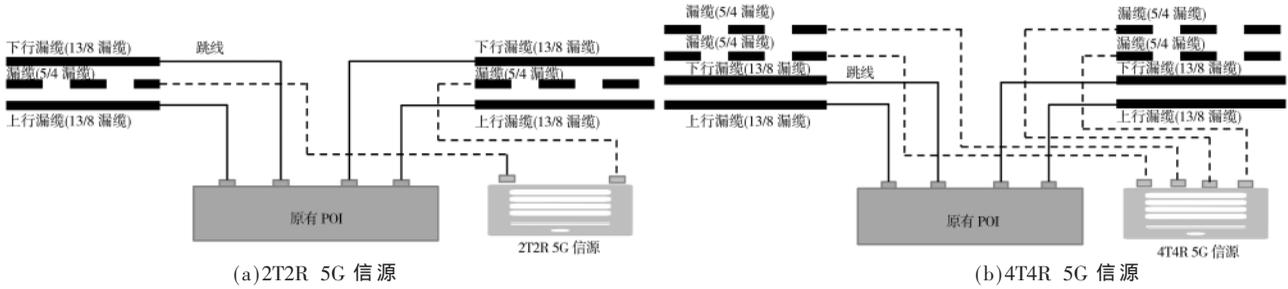


图 8 隧道内 5G RRU 连接示意图

方式,在每个节点处安装贴壁天线,从节点处向两侧覆盖,每个节点需安装 2 面贴壁天线,安装高度在两根漏缆中间最佳,信源建议采用 8TR 的 RRU,每 4TR 接一面贴壁天线,如图 9 所示。

2.4.2 既有地铁的贴壁天线仿真

根据 2.2.1 节链路预算模型,对隧道内覆盖链路预算的取值如表 2 所示。

根据隧道贴壁天线覆盖的方案进行链路预算,其覆盖能力如图 10 所示,曲线从上至下分别代表第 1~第 6 节车厢。列车在隧道内运行时,第 1~4 节车厢 SS RSRP 均在 -110 dBm,基本能够满足覆盖要求,第 5~6 节车厢则由反方向的贴壁天线覆盖,同样能满足覆盖要求。根据如图 11 所示仿真结果显示也验证了此点。

考虑到地铁实际情况,当列车内的乘客增加时,人

体损耗会提升,贴壁天线的覆盖效果会相应下降。但是在隧道内无法增加漏缆的情况下,使用贴壁天线,基本可以满足覆盖要求。

3 结论

地铁的内部环境复杂多变,如何有效地部署 5G 网络,需要根据具体场景灵活使用网络覆盖的各种手段,达到网络覆盖的效果及目标,提升网络建设的性价比。

参考文献

- [1] 马彦波,赵敏,李益锋.LTE MIMO 2×2 技术在地铁民用通信覆盖中的实现[J].轨道交通装备与技术,2017(2): 24-26.
- [2] 朱元德.5G 室分发展趋势及方案设计[J].通信电源技术,2018,35(10): 169-170.
- [3] 马颖.分布式皮基站在 5G 室内覆盖中的应用与挑战[J].

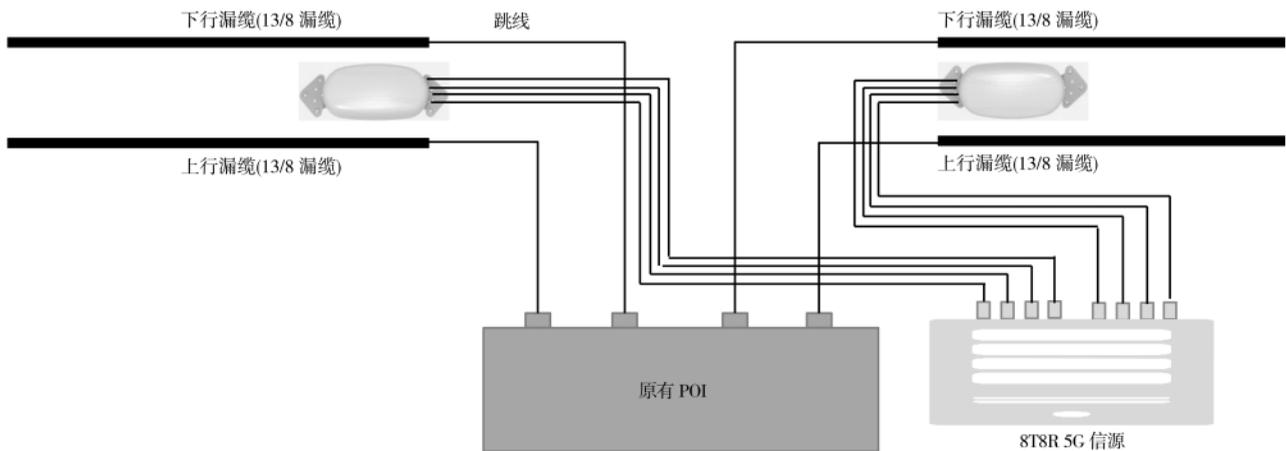


图 9 贴壁天线隧道内安装位置示意图

表 2 隧道内铁壁天线链路预算的取值

参数	信源 (3.5 GHz)	注释
基站单通道发射功率/W	30	P_t , 机顶输出功率,采用 8×30 W 的 5G RRU
基站 RS 信道发射功率/dBm	9.6	P_m , 漏缆输入端注入功率
天线增益/dBi	14	Gain, 贴壁天线增益
跳线和接头损耗/dB	0.5	f_a
天线口输出功率	23.1	$L_1, L_1 = P_m + \text{Gain} - f_a$
衰减常量/dB	32.4	
1 m 处的自由空间衰减/dB	43.28	$PL(d_0), PL(d_0) = 32.4 + 20\log(d_0 \times 0.001) + 20\log f$
车体穿透损耗/dB	24	f_b
路径损耗因子/(dB/m)	0.2	β

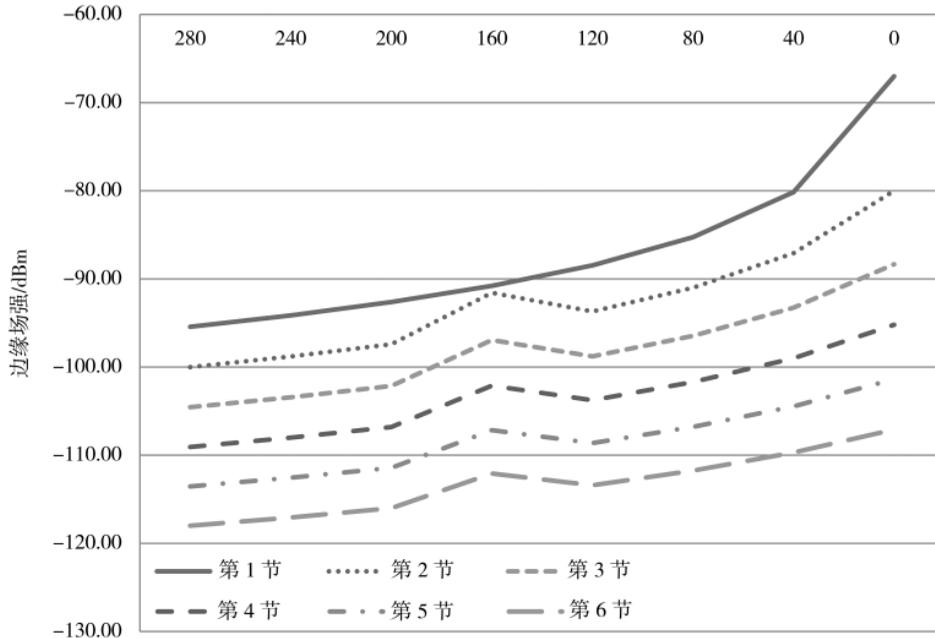


图 10 列车车厢的边缘场强(横坐标表示天线与列车头之间的距离)

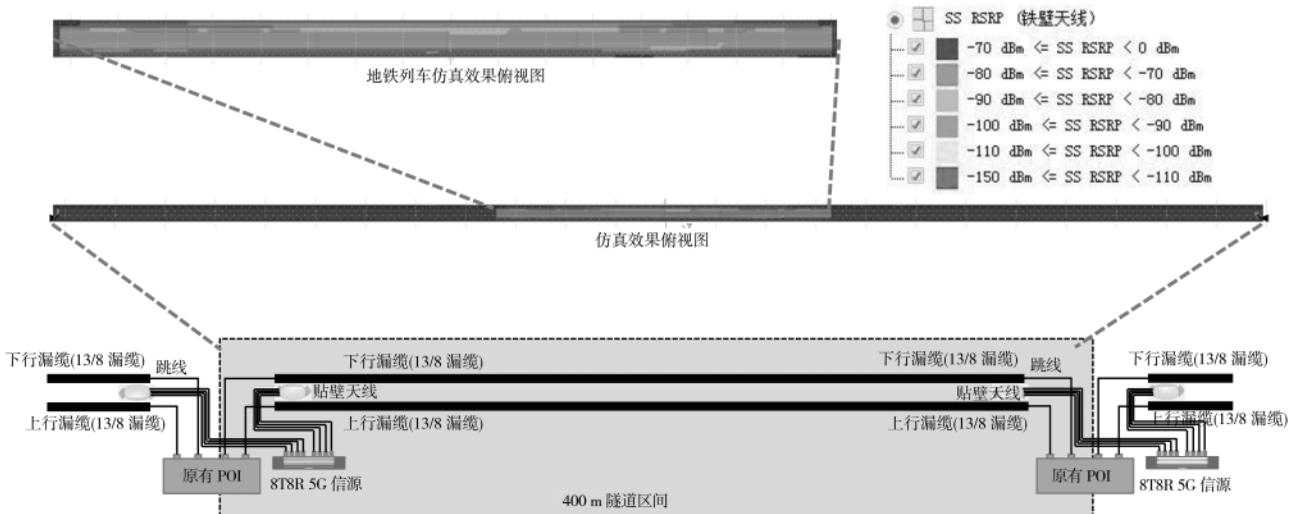


图 11 隧道贴壁覆盖仿真图

通信世界, 2018(20): 44-45.

(收稿日期: 2020-06-29)

作者简介:

李益锋(1977-), 男, 本科, 高级工程师, 主要研究方向: 无线通信咨询、规划、设计。

(上接第 25 页)

- [2] 王乐, 汪况伦, 程日涛. 4G 网络扩容规划及后评估体系研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2018(1): 6-9.
- [3] 李洲, 黄圣红. 基于流量不限量套餐开通后的小区扩容算法分析[J]. 电信工程技术与标准化, 2018(8): 51-55.
- [4] 徐永杰, 杨健, 张华铎. “不限流量”套餐对运营商 4G 网络的影响及应对策略[J]. 电子技术, 2019(5): 49-52. (收稿日期: 2020-06-29)

金超(1978-), 男, 本科, 高级工程师, 主要研究方向: 无线通信咨询、规划、设计。

陶昕(1988-), 女, 本科, 工程师, 主要研究方向: 无线通信室内覆盖规划、设计。

作者简介:

王永森(1982-), 男, 本科, 工程师, 主要研究方向: 移动通信网络规划优化。

金超(1978-), 通信作者, 男, 本科, 高级工程师, 主要研究方向: 移动通信网络规划设计, E-mail: jinchao.hx@china-ccs.cn.

韩雷(1987-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向: 移动通信网络规划设计。

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所