

5G 地铁场景覆盖方案探讨

Discussion on 5G Coverage Scheme of Subway Scenarios

郭希蕊, 杨艳, 张涛 (中国联通研究院, 北京 100048)

Guo Xirui, Yang Yan, Zhang Tao (China Unicom Research Institute, Beijing 100048, China)

摘要:

地铁场景是运营商的重点口碑场景, 必定会成为 5G 网络覆盖的重点场景。但 5G 高频段的应用、高容量的需求、多 MIMO 的部署及隧道环境的特殊性给网络的部署带来了新的挑战。首先分析了 5G 地铁隧道覆盖的挑战, 然后对地铁隧道不同覆盖方案的验证结果进行了分析, 最后给出了地铁不同场景的覆盖方案以及隧道场景的切换方案。

关键词:

漏缆; 传输损耗; 耦合损耗; 干扰; 隧道覆盖

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2021.03.010

文章编号: 1007-3043(2021)03-0046-04

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

Subway scene is the key word-of-mouth scene for operators, which will certainly become the key scene of 5G network coverage. However, the application of 5G high frequency band, the requirement of high capacity, the deployment of multiple MIMO and the particularity of tunnel environment bring new challenges to the network deployment. Firstly, the challenge of 5G subway tunnel coverage is analyzed, and then the verification results of different coverage schemes are analyzed. Finally, the coverage schemes of different scenes and the handover schemes of tunnel scenes are given.

Keywords:

Leaky cable; Transmission loss; Coupling loss; Interfere; Tunnel coverage

引用格式: 郭希蕊, 杨艳, 张涛. 5G 地铁场景覆盖方案探讨[J]. 邮电设计技术, 2021(3): 46-49.

1 概述

地铁是当前大型城市的首选公共交通工具, 环境复杂, 人流量大, 是运营商典型的室内数据热点场景, 也是用户口碑评价和业务体验的关键场景, 地铁将会成为 5G 初期网络覆盖的重点场景, 需要及时制定解决方案。地铁场景具有如下特点。

a) 城市轨道交通(地铁)多为封闭式环境, 轨道交通站台站厅、区间隧道内各种无线信号几乎均为盲区。

b) 无线信号在隧道场景中传播容易产生快衰落。

c) 地铁列车车体、站台两侧安全屏蔽门会对无线信号产生严重的屏蔽。

目前, 地铁隧道 2G/3G/4G 网络的覆盖主要采用 POI+13/8"漏缆方式, 一般布放 2 条漏缆, 可实现 3 家运营商 4G 2T2R MIMO 及 2G/3G 上下行分缆。但 5G 高频段的应用、高容量的需求、多 MIMO 的部署及隧道环境的特殊性给网络的部署带来了新的挑战, 本文主要针对地铁隧道覆盖方案进行深入研究。

2 5G 地铁隧道覆盖的挑战

5G 地铁隧道覆盖将面临高频段漏缆支持能力、

收稿日期: 2020-12-24

MIMO通道数、多系统干扰等问题。

2.1 高频段漏缆支持能力

泄漏电缆是一类特殊的同轴电缆, 与同轴电缆具备一样的同轴结构, 所以也受到同轴电缆截止频率的制约, 只能传播频率在截止频率以下的TEM波。同轴电缆的截止频率为:

$$f_c = \frac{2c}{\pi \sqrt{\epsilon_e}(D + d)} \quad (1)$$

式中:

c ——光速, $c = 3 \times 10^8$ m/s

ϵ_e ——电缆的等效介电常数

D 和 d ——外导体内径和内导体外径

按式(1)计算, 13/8"的最高频段只能支持到2.7 GHz, 不支持3.5 GHz频段, 但是5/4"及以下规格截止频率都超过3.6 GHz, 传输损耗较大。不同型号泄露电缆在不同频段的百米损耗如表1所示。

表1 泄露电缆在不同频段的百米损耗(单位: dB/100 m)

漏缆型号	900 MHz	1.8 GHz	2.1 GHz	3.5 GHz	5 GHz
13/8"	2.3	3.8	4.6	-	-
5/4"	2.8	4.5	5.2	9.7	-
7/8"	4.2	6.8	7.8	10.9	13.4
3/4"	5.2	8.2	9.3	13.4	16.5
1/2"	7.8	11.9	13.7	19.7	24.1

从表1可以看出, 目前支持3.5 GHz的泄露电缆中, 5/4"漏缆的传输损耗最小, 现网存量13/8"漏缆受到截止频率的限制不支持3.5 GHz频段。

泄漏电缆有2个重要的指标: 传输损耗和耦合损耗。传输损耗是指沿漏缆长度方向上信号的损耗。耦合损耗是指通过开槽外导体从电缆散发出的电磁波在漏泄同轴电缆和中国移动接收机之间的路径损耗或信号衰减, 其计算公式为:

$$L_c = 10 \lg \left(\frac{P_r}{P_t} \right) \quad (2)$$

式中:

L_c ——耦合损耗(dB)

P_t ——漏泄电缆的发射功率(W)

P_r ——标准测试天线的接收功率(W)

耦合损耗一般用 α_{c95} 典型值来表征, 指95%接收概率, 即测得的局部耦合损耗95%小于该值。漏泄同轴电缆的综合损耗就是指传输衰减和耦合损耗的总和。表2给出了不同厂家的5/4"漏缆在3.5 GHz的综

表2 不同厂家不同型号漏缆的综合损耗

漏缆型号	厂家	传输损耗/(dB/100 m)	耦合损耗(95%)/dB	综合损耗/(dB/250 m)
5/4"	厂家A	12.50	66	97.25
	厂家B	9.84	66	90.60
	厂家C	11.54	72	100.85
	厂家D	9.64	71	95.10

合损耗。

从表2可以看出不同厂家生产的漏缆的传输损耗相差也较大, 后续需统一标准。目前了解到的5/4"漏缆在3.6 GHz损耗最小值为: 传输损耗为9.84 dB, 耦合损耗为66 dB。其在250 m处的综合损耗是91 dB。为减小漏缆的综合损耗, 业界厂家开发出低损耗泄露电缆, 经过测试发现其在250 m处的综合损耗为85 dB。

低损耗漏缆在定长区域内, 通过在漏缆上开制连续的、变化的槽孔, 使得从始端到末端, 耦合损耗逐渐减少, 传输损耗逐渐增加, 靠近信源段能量辐射得少, 更多的能量往远端传输, 在末端辐射出来, 使能量尽量均衡的分布在整条漏缆中。

低损耗漏泄电缆通信解决方案相比于传统漏缆覆盖方案有以下优点。

- 整体综合损耗降低6 dB, 可增加覆盖半径。
- 保证末端功率强度, 可提高末端信噪比。
- 加快末端信号衰耗程度, 可缩短小区切换耗时。
- 均衡全线覆盖场强, 可降低时延。

2.2 采用漏缆难以实现4×4 MIMO

考虑到5G终端是4收, 为保障5G系统大容量需求, 基站侧最低要求是4×4 MIMO, 隧道场景理论上通过部署4根漏缆可以实现4流, 使用MIMO技术时为避免漏缆之间的相互干扰, 两根漏缆之间的空间隔离不能低于0.5 m。当前泄露电缆敷设高度在(2.0 m, 3.0 m)间, 与地铁列车窗口中部齐高, 此高度正好与地铁车窗平行, 信号的穿透损耗最小; 因此多通道MIMO主要受到工程部署的限制(是否可以安装多根漏缆)。

2.3 多频段多制式带来系统干扰的挑战

室内分布系统使用的5G工作频段根据国家无线电管理部门的相关规定。运营商分配的5G工作频段如表3所示。

5G与2G/3G/4G制式合路, 存在严重的干扰问题, 连续大带宽产生的互调干扰带宽大, 增加高频系统后二阶、三阶、组合互调复杂, 干扰几率提升。虽然2.6

表3 运营商工作频段

工作频段/MHz	运营商	工作频段/MHz	运营商
2 515~2 675	中国移动	3 500~3 600	中国联通
3 300~3 400	中国电信、中国联通、广电	4 800~4 900	中国移动
3 400~3 500	中国电信	4 900~4 960	广电

GHz 和 3.5 GHz 采用的帧结构不同,但是在下行还有 5 个时隙是重复的,导致 2.6 GHz 频段 160 MHz 带宽和 3.5 GHz 频段 300 MHz 带宽组合产生的三阶互调对 1.8 GHz 和 2.1 GHz 的上行产生了全带宽的互调干扰。

3 5G 地铁场景覆盖方案分析

地铁一般包含站厅、站台、地下区间隧道等区域。下面将对地铁不同场景的 5G 覆盖方案进行阐述。

3.1 站厅、站台以及地上部分覆盖方案

在 4G 时代,地铁站厅和站台大部分采用传统室分进行覆盖,由于现有无源器件不支持 3.5 GHz 频段,地铁站站厅、站台以及地铁人员工作区域的覆盖方案不能采用传统室分覆盖方案,建议采用数字化室分

备进行覆盖。

a) 对于已部署 4G DAS 系统场景,利旧 DAS 系统新增 5G 单模数字化室分设备或采用 4G/5G 多模数字化室分设备替代原 DAS 系统。

b) 对于已部署 4G 数字化室分设备场景,新增 5G 数字化室分设备。

c) 对于新建场景,新增 4G/5G 多模数字化室分设备。

地上部分采用室外宏站覆盖,同时做好地上与地下部分的切换配置与干扰控制。

3.2 地铁隧道覆盖方案

根据前文所述,5/4"漏缆支持 3.5 GHz 频段,漏缆在高频段的损耗有可能会增加 RRU 信源的数量,在地铁隧道里车辆行驶速度最高 80 km/h,隧道壁可安装设备,因此地铁隧道场景仍可采用漏缆方案进行覆盖,同时也可以考虑 RRU 加贴壁天线覆盖方案,这种方案工程实施相对容易。表 4 为某地铁隧道在 3.5 GHz 频段采用低损耗漏缆和贴壁天线的测试数据。

表4 3.5 GHz 频段采用低损耗漏缆和贴壁天线的测试数据

方案	站间距/m	小区覆盖半径 (45 m 切换带)/m	测试值			考虑 CPE 增益、人体损耗、POI 损耗预估值		
			下行边缘覆盖/ dBm	上行边缘速率/ (Mbit/s)	下行边缘速率/ (Mbit/s)	下行边缘覆盖 (dBm)	上行边缘速率/ (Mbit/s)	下行边缘速率/ (Mbit/s)
单漏缆	600	322.5	-91	16	150	-106	4	70
	500	272.5	-86	22	160	-100	13	100
双漏缆	600	322.5	-88	50	340	-103	10	200
	500	272.5	-83	55	345	-97	25	280
天线 4T4R	600	322.5	-93.7	12	156.6	-112	1.5	116
	500	272.5	-88.6	18	205.7	-107	5	178

实际测试过程中是采用 8T8R 8×30 W 的 RRU 信源直接连接漏缆或天线,终端采用 CPE 进行测试,而且实际测试过程中是在列车无人情况下进行测试的,因此相比实际商用环境,需要就以下因数进行修正。

a) CPE 天线增益为 4 dB,实际商用手机天线增益为-3到 0 dB。

b) 实际车辆运行,要考虑人体遮挡损耗,天线场景考虑 7 dB,漏缆场景 5 dB。

c) 漏缆场景考虑 POI 合路损耗为 5 dB。

通过修正后的测试结果可以发现,在站间距为 500 m 的情况下,采用漏缆方案和天线方案下行速率均能达到 100 Mbit/s 以上,上行速率在 5 Mbit/s 以上,SS-RSRP 在-105 dBm 左右,符合 5G 对边缘覆盖的指标要求。

因此,基于现网地铁隧道 500~600 m 站间距典型场景,3.5 GHz 频段的 NR 系统采用低损耗漏缆可与现网 4G 设备共点位覆盖。

表 5 是针对地铁隧道漏缆方案和天线方案两者之间的利弊分析。

地铁隧道场景分为存量场景和新建场景,下面将对这 2 种场景覆盖方案分别进行阐述。

3.2.1 存量隧道场景

隧道存量场景是指已经部署了 1 根或 2 根 13/8"漏缆,3 家运营商的 2G/3G/4G 通过 POI 均已经接入到漏缆,对于新增 5G 覆盖需求,有如下 2 种方案。

a) 推荐采用新建 2 路 5/4"漏缆方案。

(a) 中国电信和中国联通 3.5 GHz 承载在 5/4"漏缆上,中国移动 2.6 GHz 承载在原 13/8"漏缆上,均实现

表5 地铁隧道漏缆方案和天线方案两者之间的利弊分析

对比项目	5/4"漏缆方案	天线方案
配套成本	漏缆成本高	天线成本低
安装难度	存量地铁漏缆进场困难,卡具安装复杂,施工时间长,施工人员多;漏缆安装为传统方案,无需轨交公司许可	易进场,快速安装,时间短;但天线安装需轨交公司许可
干扰分析	5G通过POI与2G/3G/4G合路将引入更多的互调干扰;POI合路损耗5 dB左右	5G独立安装,无制式间和运营商间干扰,无POI合路损耗
用户感知	按照漏缆安装的数量,最多可达4流;漏缆信号分布均匀,在整个覆盖范围内信号强度平稳	近点3~4流,远点1~2流,平均感知达到2流以上;天线方案在车头和车尾感知较好,列车中间感知较差
站间距要求	推荐500或600 m,与4G同点位	推荐50或600 m,与4G同点位
关键约束	存量地铁无空间安装,施工难度大,若与2G/3G/4G共建将引入干扰,综合成本高,难度大	天线安装需要地铁公司许可,隧道转弯场景需要加密天线(射频馈线拉远)

2T2R。

(b) 原2G/3G/4G继续承载在13/8"漏缆上。

(c) 中国电信和中国联通2.1 GHz NR可承载在13/8"漏缆和5/4"漏缆上,实现4T4R。

b) 对于无法新增漏缆的场景,3.5 GHz可采用RRU+贴壁天线方案。

(a) 采用4T4R天线向隧道前后方向覆盖,3.5 GHz NR可实现4T4R。

(b) 中国移动2.6 GHz承载在原13/8"漏缆上,实现2T2R。

(c) 中国电信和中国联通2.1 GHz NR继续承载在13/8"漏缆上,实现2T2R。

(d) 隧道转弯处需要加密天线(射频馈线拉远)。

(e) 需地铁公司许可安装天线。

3.2.2 新建隧道场景

新建场景需要同时部署3家运营商的2G/3G/4G/5G系统,建议采用如下覆盖方案。

a) 新建4路5/4"漏缆方案。

(a) 3家运营商2G/3G/4G/5G全部采用5/4"漏缆方式。

(b) 3.5 GHz NR、2.6 GHz NR和2.1 GHz NR均可实现4T4R。

b) 新建2路5/4"漏缆和2路13/8"漏缆的方案。

(a) 3.5 GHz承载在5/4"漏缆上,实现2T2R,2.6 GHz承载在13/8"漏缆上,实现2T2R。

(b) 中国电信和中国联通2G/3G/4G承载在5/4"漏缆上,中国移动2G/3G/4G承载在13/8"漏缆上,此方案可以避免部分互调干扰。

c) 新建2路5/4"漏缆的方案。3家运营商所有系统都承载在2根5/4"漏缆上,均实现2T2R。

3.3 切换规划方案

列车出隧道的过程中,隧道内信号迅速减弱,隧道外信号迅速增强,两侧信号需要具有足够的重叠覆盖区,以达到顺利切换的目的,可在站台两端靠近隧道口位置部署数字化室分设备,向隧道内延伸覆盖20~30 m,构造列车进出站台切换带;对于采用封闭门的,建议采用漏缆贯穿站台区域方案,切换带设置在上下车区域。

同时隧道内列车经过2个小区交汇处时会发生信号切换,采用RRU小区合并技术,设置2个小区的切换带为45 m,可保证切换顺利进行。

4 结束语

地铁是运营商典型的室内数据热点场景,也是用户口碑评价和业务体验的关键场景,地铁将会成为5G初期网络覆盖的重点场景。运营商可根据本文所提出的方案在地铁场景快速部署5G。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 查昊,朱巧玉. 5G地铁覆盖解决方案探讨[J]. 中国电信快报:网络与通信,2019(5):21-24.
- [3] 胡昌桂. 5G技术在轨道交通内的应用探讨[C]//2017城市轨道交通关键技术论坛暨第26届地铁学术交流会. 2017.
- [4] 向霖. 5G地铁覆盖方案规划与实现[J]. 中国电信快报:网络与通信,2019.
- [5] 吕强,王萍萍. LTE地铁覆盖解决方案研究[J]. 中国电信技术,2016(4):21-23.

作者简介:

郭希蕊,毕业于重庆邮电大学,高级工程师,硕士,主要从事无线通信研究相关的工作;
杨艳,毕业于北京邮电大学,高级工程师,硕士,主要从事无线通信研究相关的工作;
张涛,毕业于北京邮电大学,高级工程师,硕士,主要从事无线通信技术相关的研究工作。