

地铁全场景 5G 网络 共建共享跨代组网方案研究


Research on Cross Generation Networking Scheme of 5G Network
Co-construction and Sharing Strategy in Whole Subway Scene

王 蕾, 曾 伟, 只 璐 (中国联通北京分公司, 北京市 100038)
Wang Lei, Zeng Wei, Zhi Lu (China Unicom Beijing Branch, Beijing 100038, China)

摘 要:

伴随 5G 市场全面启动, 地铁场景采取共建共享的 5G 建设方案, 能够充分释放各种资源能力, 实现 5G 网络对地铁高效低成本覆盖。首先, 通过实验测试, 验证当前主流覆盖技术在本方案中可行、可靠, 且数字室分、传统宽频室分等主要技术满足 5G 地铁覆盖要求。随后给出了共建共享模式下采用这些技术手段的地铁跨代组网覆盖方案, 并给出相应的设计要求及标准。方案为提升地铁用户感知、打造 5G 精品网络、打通新型智慧城市地下交通空间提供强有力支撑。

关键词:

5G; 地铁; 共建共享; 跨代组网
doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2021.11.010
文章编号: 1007-3043(2021)11-0048-08
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:

With the full launch of 5G market, the adoption of co-construction and sharing strategy of 5G networking in subway scene can effectively release various resources, and realize the efficient and low-cost coverage of 5G network in the subway. Firstly, the current major coverage technologies is verified to be feasible and reliable in this scheme through experimental results, and the main technologies such as the Digital Distributed Antenna System and the wider frequency Distributed Antenna System technologies can meet the requirements of 5G subway coverage. Secondly, it gives the coverage scheme of subway cross generation network with these technical means under the co-construction and sharing mode, and puts forward the corresponding design requirements and standards. The scheme provides effective support for improving the user perception of subway, building 5G boutique network and connecting underground traffic space of smart city.

Keywords:

5G; Subway; Co-construction and sharing; Cross generation networking

引用格式: 王蕾, 曾伟, 只璐. 地铁全场景 5G 网络共建共享跨代组网方案研究[J]. 邮电设计技术, 2021(11): 48-55.

1 概述

5G 的全面成熟并投入市场运营, 已经迎来了民用通信技术的跨时代大发展。为了更好地整合资源, 共建共享是必然选择。共建共享模式已经成为未来无线网络建设的重要举措, 也为下一步 5G 网络建设提出新的课题。针对当前地铁新、旧线路特点, 以 5G 网络覆盖标准为依据, 以现有 5G 网络覆盖技术为手段, 通

过计算、试验突破现有 4G 网络限制, 打造地铁精品 5G 网络。2020 年北京市将有多条新建线路全面实现 2G、3G、4G、5G 网络跨代覆盖, 既有线路 5G 能力升级改造也将全面铺开, 本文主要探讨满足新线建设高标准要求及突破老旧线路资源限制的方式方法。

2 5G 网络技术特点

5G 网络已经进入爆发式增长阶段。然而, 面对新的技术架构、新的频率、新的标准要求等等, 目前 5G 网络覆盖还存在很大的探讨空间。

收稿日期: 2021-09-27

2.1 非独立组网(NSA)及独立组网(SA)模式

为实现 4G 网络向 5G 网络的平滑过渡,5G 标准定义了 NSA 及 SA 2 种组网模式。由于前期各运营商已签约大量 NSA 用户,当前 5G 网络建设需要综合考虑 NSA 组网需求,保证 4G/5G 网络的协同覆盖能力。

2.2 语音承载

目前各运营商主流语音承载系统及方式各异,有的仍以 2G 为主采取双网双待的方式,有的以 3G 承载采用系统回落的方式。但随着 5G 时代的到来,运营商都在不遗余力向 4G 网络 VoLTE 转变。初期 5G 网络的语音将主要采取回落 VoLTE 的方式,必须采取多系统跨代的同覆盖方式,未来将逐步进化为 VoNR 技术方案(见图 1)。

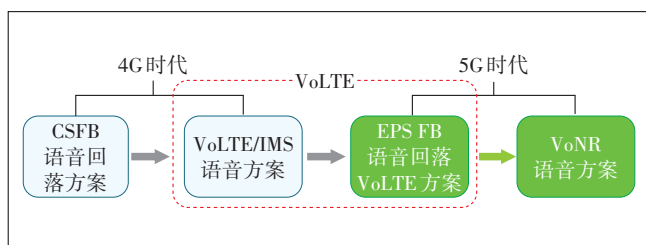


图 1 5G 网络的语音技术继承

2.3 新 5G 网络频段

在 5G 网络 sub6G 标准下,我国 5G 的主流频段为 3.3~3.6 GHz 及 2.6 GHz 频段。相较现有的 2G、3G、4G 网络的 800~2 300 MHz 频段,频率跨度大,覆盖标准高。为实现 800~3 600 MHz 的宽频覆盖,在覆盖技术手段及设计规划标准等各方面均需要全面地改革创新。

3 地铁场景跨代组网难点

地铁场景下必须安装室内分布系统进行覆盖,除了使用传统分布系统覆盖站台、站厅、工作区、换乘通道等区域,还需要泄漏电缆覆盖隧道区间。为了达到覆盖要求满足各系统设计标准,需兼顾以下多方面因素。

3.1 地铁场景环境复杂跨代覆盖设计困难

地铁场景下 5G 网络移动性管理设计问题突出。保证用户高速、低速模式下的网络切换更需要加强边缘覆盖设计,并提升网络优化难度。

同时 5G 网络的特殊 NSA、SA 架构模式,尽量保证 4G/5G 同小区覆盖,压缩 5G 锚点小区数量,减少切换,提升 NSA 架构 5G 网络质量(见图 2)。

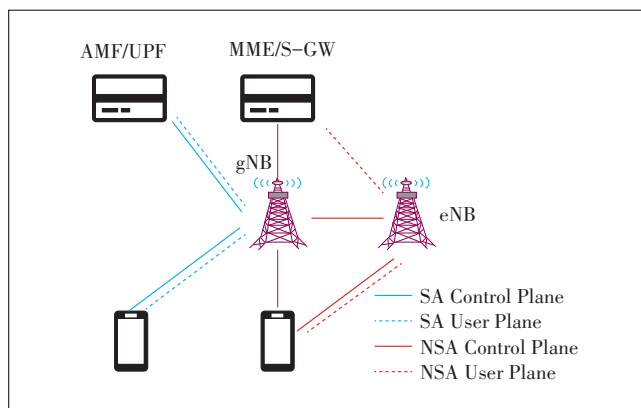


图 2 NSA/SA 双模架构示意

3.2 地铁场景容量问题突出

以北京市为例,忙站进站量均超过 10 000 人次。各站点 4G 网络忙时无线 PRB 资源利用率均超过 90%,导致忙时 4G 网络用户平均速率低于 5 Mbit/s。因此要解决地铁无线网络容量问题,必须留有足够的扩容空间。

5G 网络扩容可以利用共建共享策略模式。

a) 提升 2.4~3.6 GHz 频段的利用率。

b) 进行设备选型时,充分考虑支持 300 MHz 带宽,即 3.3~3.6 GHz。

c) 合理规划 UL2100 及 NR2100 系统的过渡衔接。

北京市地铁繁忙站点数据统计如图 3 所示。

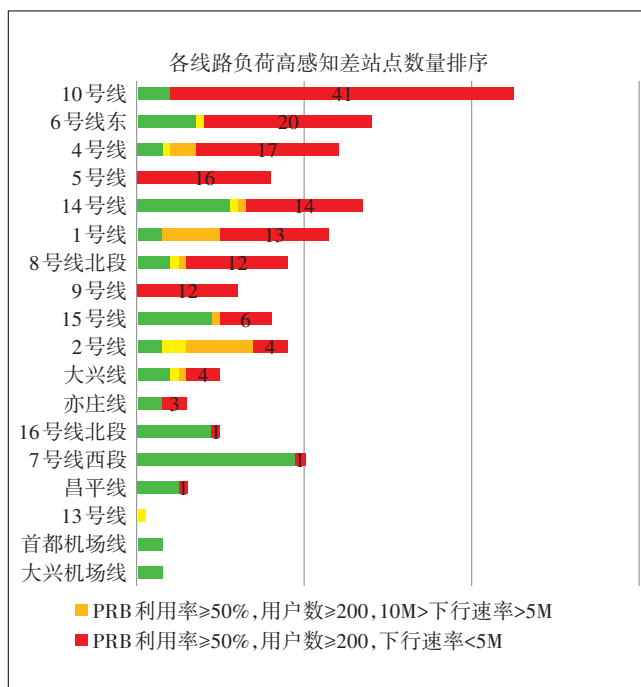


图 3 北京市负荷高感知差站点数

3.3 地铁场景干扰严重

目前室分系统的2条支路,按照原设计规范,普遍分为上行支路、下行支路。上行支路主要接通 GSM、WCDMA、FDD LTE 等系统的上行频段,下行支路接通以上系统下行频段。而 TDD LTE 及 NR 频段则开通双通道,或者接入下行支路、甚至上行支路。

地铁场景下,主要的干扰来自于 TDD 频段的下行强信号互调干扰其他系统的上行弱信号,如 TDD 系统 F 频段 1 900 MHz 干扰 WCDMA 及 FDD 2 100 MHz 频段上行。多数线路受干扰影响,底噪抬升 20 dB 以上,导致语音质量明显下降,用户投诉居高不下。

5G 系统加入之后,5G 新频段,特别是 2 600 MHz 的大频段,将会引入互调干扰。表 1 和表 2 给出了互调干扰的计算分析结果。

表 1 移动频段 2 系统间三阶互调干扰

系统①	系统②	2f1-f2	2f1-f2	2f2-f1	2f2-f1	受干扰频段/MHz	干扰带宽/MHz
中国电信 3.5 GHz	中国移动 2.6 GHz	4 125	4 485	1 530	1 950	L1800 U2100	20/5
中国移动 2.6 GHz	中国联通 WCDMA	2 890	3 220	1 585	1 765	L1800	20
中国移动 2.6 GHz	中国联通 LTE2100	2 860	3 210	1 605	1 825	L1800	20
中国移动 2.6 GHz	中国联通 3.5 GHz	1 430	1 850	4 325	4 685	L1800	20
中国移动 F 频段	移动 F 频段	1 840	1 960	-	-	UL2100	15

表 2 共建共享运营商 3 系统间三阶互调干扰

系统①	系统②	三阶互调(-F1+F2+F3)		受干扰频段/MHz	带宽/MHz
		系统③-中国联通 L1800			
中国电信 3.5 GHz	中国电信 3.5 GHz	1 730	1 960	L1800/UL2100	35
中国联通 3.5 GHz	中国联通 3.5 GHz	1 730	1 960	L1800/UL2100	35

3.4 地铁场景需全面实施共建共享策略

为提高投资效率,有效利用频率资源,运营商间开展共建共享乃大势所趋。中国联通、中国电信的主要频率邻接,且频率间互调干扰较少,共建共享阻碍小。其中 WCDMA、L1800、L2100、NR 系统频率连续,且各频段差距不大,覆盖性能基本相同。因此相关运营商间的共建共享具备频率上的优势(见表 3)。

地铁线路的建设方案在规划设计过程中要针对共建共享进行合理优化,利用地铁环境内有限的资源跨代合路,保证 2G、3G、4G、5G 系统的覆盖性能。

表 3 共建共享主要频段(仅下行)(单位:MHz)

频段	C800	G900	L1800 (共享)	UL2100 (共享)	NR(共享)
中国联通	-	954~960	1 830~1 860	2 130~2 155	3 400~3 500
中国电信	865~860	-	1 860~1 880	2 110~2 130	3 500~3 600
共享	-	-	1 830~1 880	2 110~2 155	3 400~3 600

3.5 地铁场景存量室分系统合理使用

地铁内的存量资源,很难实施拆建,要合理利用现有资源实现 5G 覆盖。北京市地铁存量室分资源多,部分线路区间隧道至今仍未建设室分漏缆系统。因此,存量线路的 5G 网络覆盖,仅能以现有 800~2 600 MHz 的室分系统为基础,结合数字室分及 5G 翻频等手段,合理规划,实现 5G 网络全覆盖,最大限度保证 5G 网络指标,满足用户使用需求。

4 基于共建共享的跨代覆盖技术

5G 系统的跨代同覆盖及共建共享需求,需要全新的覆盖技术。目前,较流行的室内覆盖技术为新型数字室分系统、宽频室分系统及 5G 翻频手段。

4.1 新型数字室分系统

新型数字室分系统借鉴数字化的思想,对原有的传统室内分布系统 DAS 进行数字化演进,其具备网络性能强、组网灵活等特点。BBU+ RHUB+ pRRU 的方案如图 4 所示。

该方案能够较好地适配地铁站台、站厅等人流密集场所,其具备的多模优势,能够很好地解决共建共享及多系统共享。

目前,最新的数字室分系统支持的设备能力如表 4 所示。

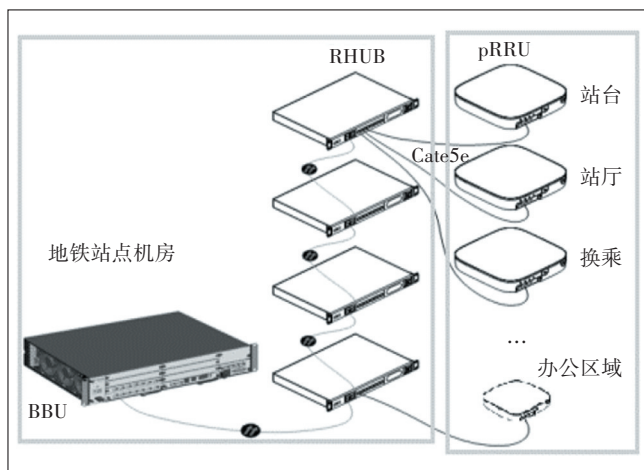


图 4 新型数字室分系统

表 4 新型数字室分 pRRU 能力

设备名称	数字室分 pRRU-内置天线
频段	1.8 GHz+2.1 GHz+3.5 GHz 4T
输出功率	2.1 GHz/1.8 GHz(2T2R):最大功率 2×100 mW
	3.5 GHz(4T4R):最大功率 4×250 mW
载波数	1.8 GHz:2L(2×20 MHz)
	2.1 GHz:4U/2L/2U2L(L2×20 MHz)
	3.5 GHz:2NR
	整模块: 4U/4L/2NB/2NR/ 2U+2L+2NR 4T4R/ 2L+2NR 200 MHz 4T4R/ 4U+5L+3NR 300 MHz 4T4R(后续型号)
传输	1光:10G/25G(后续型号)

根据以上数据,一套新型数字室分系统就能满足全部系统既节省资源又能够保证无线网络性能。但是在共建共享模式下,数字室分系统并不能开通全部频段,在典型共建共享 2L2100+2NR 需求模式下,单运营商性能如表 5 所示。

表 5 新型数字室分覆盖性能

测试系统	pRRU 间距/m	输出场强/dBm	边缘场强/dBm	峰值速率/(Mbit/s)	测试均速/(Mbit/s)	忙时用户速率预估/(Mbit/s)
LTE-1T 20 MHz	30	-10	-73	75	68	10~8
	35	-10	-75	75	65	10~5
NR-4T 100 MHz	30	-6	-75	1 200	920	150~80
	35	-6	-77.5	1 200	900	150~60

以上测试数据中忙时用户速率为经验计算所得,

计算依据为同时接入用户 RRC 平均数>100 时用户均值速率。数字室分能够满足共建共享网络覆盖需求,大大提高了组网灵活性,且 4G/5G 共享传输带宽技术的应用有效降低了 4G 传输成本。

但新型室分系统投资大,后期维护成本高,只适合居住、商务等特定建筑的覆盖。

4.2 传统宽频室分系统

存量室分系统仅支持传统 2G、3G、4G 网络,频率范围 800~2 400 MHz,不支持 5G 的高频段。为了满足各系统覆盖要求,低投入满足跨代同覆盖的要求,就要设计生产新型宽频室分系统。

宽频室分系统,满足 800~3 700 MHz 的宽频需求,所有器件设备都要进行优化升级,包括 POI、合路器、耦合器、功分器等,器件指标要求如表 6 所示。

表 6 宽频室分系统主要器件指标

器件	频率/MHz	最大插损/dB	最小隔离/dB	最大驻波比	三阶互调/dBc	阻抗/ Ω	平均功率容量/W
12 频 POI	800~3 700	5.5	28	1.3	≤ -150	50	500
功分器		3.3	-	1.3	≤ -150	50	500
耦合器		2.3	23	1.3	≤ -160	50	500
电桥		3.6	25	1.3	≤ -150	50	500

为测试新型宽频室分系统性能,建设开通了专用测试站点。试验系统接入 WCDMA、LTE1800、LTE2100、NR3500、NR2600、LTE TDD E 等系统,频段及接入方式如图 5 所示。

以上系统借鉴运营商分缆(中国电信、中国联通

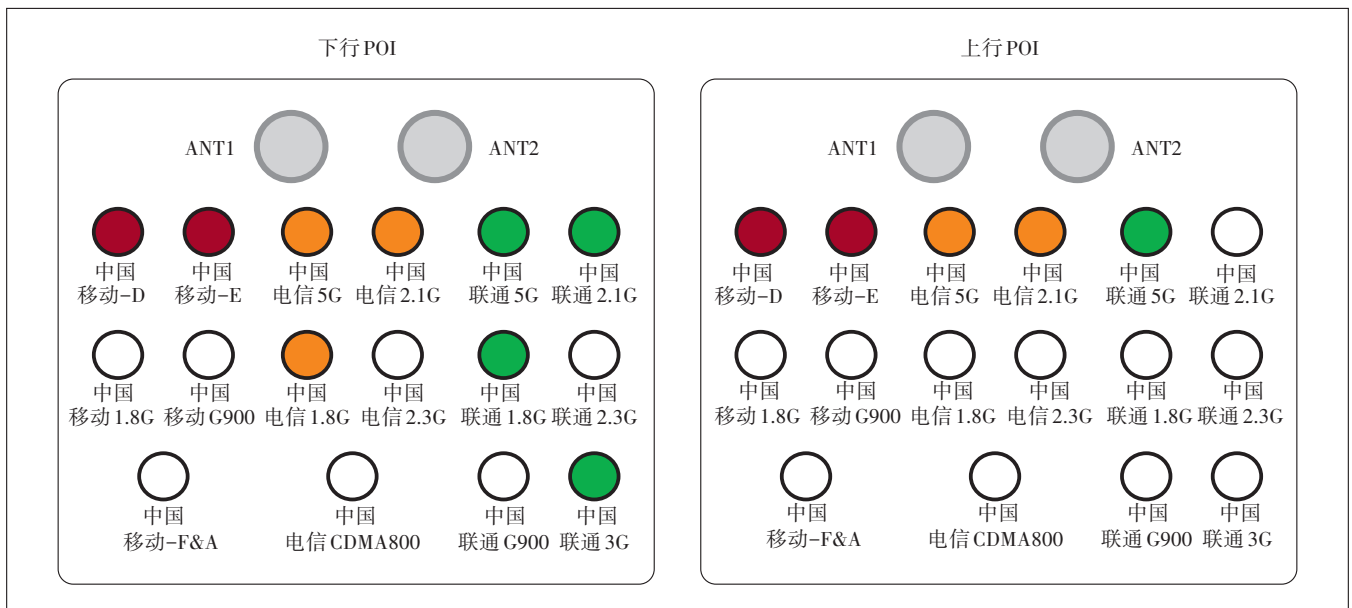


图 5 宽频室分系统试验接入系统示意

一路, 中国移动一路) 方案并按照共建共享要求设计实施, L1800 及 L2100 均为单运营商提供, 且共同尝试开启 3.4~3.6 GHz 的 5G 系统。经现场测试及后台监控验证, 传统宽频室分系统完全满足 3G、4G 网络的设计标准。5G NR3500 的覆盖指标能达到 700 Mbit/s。相应测试性能指标如表 7 所示。

表 7 宽频室分主要覆盖性能指标

系统	RSRP/ dBm	下载峰值/ (Mbit/s)	下载均值/ (Mbit/s)	上传均值/ (Mbit/s)	底噪/dB
NR 100 MHz	-85	725	560	110	-115
L1800 20 MHz	-73	73	70	59	-117
L2100 15 MHz	-72	54	53	45	-115

根据后台收集的底噪指标, 各系统 3G、4G、5G 网络的底噪指标基本保持稳定, 并能满足要求。因此 WCDMA、L1800、L2100、NR3500、NR2600 系统间互调干扰并不明显, 具备共建共享合路的能力, 且能保持各系统间的性能标准。

4.3 宽频漏缆技术

在地铁场景下, 区间隧道的覆盖解决方案, 包括定向天线覆盖及漏缆覆盖。而漏缆覆盖方案以其覆盖均匀、性能好为最优。然而, 存量民用漏缆并不支持 3.5 GHz 频段, 为解决隧道 5G 覆盖问题, 定制研发了新型宽频漏缆。新型漏缆支持 1 700~3 700 MHz 频段, 能够有效解决共建共享模式下跨代区间隧道的同覆盖问题。宽频漏缆的电气性能指标表 8 所示。

根据以上数据计算, 在断点间隔 400 m, 信源设备单口输出功率为 80 W 的情况下, SSB-RSRP 为 14 dBm, POI 插损为 5 dB, 则 200 m 中间点 5G 边缘场强为 -75 dBm, 车内为 -90 dBm。为验证其性能实施现场测试, 测试新型宽频漏缆主要覆盖指标如图 6 所示。

以上测试环境为单向隧道, 普通地铁车体内正常速度运行, 行驶中测试。本次单边单漏缆测试结果显

表 8 5/4"低损耗漏泄电缆电气性能

项目	频率	要求
内导体直流电阻/(Ω/km)	-	1.9
外导体直流电阻/(Ω/km)	-	3
最大电压驻波比	-	1.3~1.4
综合损耗 (单边 200 m)/dB	1 700~1 800	78
	1 900~2 200	80
	2 400~3 400	82
	3 400~3 600	84

示, 单边距离 300 m 以内覆盖能保持在 -90 dBm 以上, 下行速率为 200 Mbit/s 左右, 上行速率仅有 25 Mbit/s 左右。受终端发射功率影响, 在长距离情况下, 上行效果不佳, 这也成为 5G 共建共享隧道覆盖设计的瓶颈。基于 5G 上行受限, 建议设置断点间隔在 400 m 左右, 双通道 50 Mbit/s 的上行边缘速率, 普通用户终端的单天线、单通道也能达到 30 Mbit/s 上行边缘速率。

4.4 5G 应用 NR2100 技术

根据当前 5G 系统的标准规范, 受终端设备发射功率小的因素影响, 5G 网络的上行速率较低, 易受干扰。同时存量室分系统, 不支持 3.5 GHz 频段, 升级投资大、收效低。因此利用现有的 2 100 MHz 频段开通 5G 网络是必然选择。

NR2100 系统既能够弥补 NR3500 系统上行功率不足导致的上行低速率问题, 又能利用现网大量的存量室分, 在地铁场景实现低成本的 5G 网络覆盖。然而, NR2100 系统仍存在频率资源有限, 速率偏低及易受干扰等问题。

因此, NR2100 适合低密度场景, 且需严格运营商分缆, 排除 F 频段对于 NR2100 上行干扰。在地铁场景内, NR2100 翻频技术, 适合老旧线路隧道区间的 5G 网络覆盖, 既能解决老旧线路隧道设备断点间距较大的问题, 又能有效降低投资规模。随着 5G 的到来, 4G 网络容量难免降低, LTE2100 的低效频率也能通过 NR2100 技术得到充分利用。

5 地铁共建共享方案及设计指标

地铁场景按照不同功能, 可划分为公共区、工作区、隧道。公共区包括站台、站厅、换乘通道及出入口。由于各自不同结构特性, 需要采用各异的覆盖策略。

5.1 公共区域覆盖方案

公共区及工作区结构特性近似, 可以共同规划。公共区是地铁站最为繁忙的区域, 尤其在早、晚高峰期北京部分忙站人流量 1~3 万人次/h, 4G 网络同时在线人数超出最高 1 200 个 License 限制导致部分用户不能接入, PRB 无线资源利用率超过 95%, 用户平均速率低于 3 Mbit/s。

公共区域的设计核心要保证容量。在共建共享模式下, 综合考虑成本因素建议采用新型数字室分为主, 新型宽频传统室分覆盖为补充的混合覆盖方案(见图 7)。

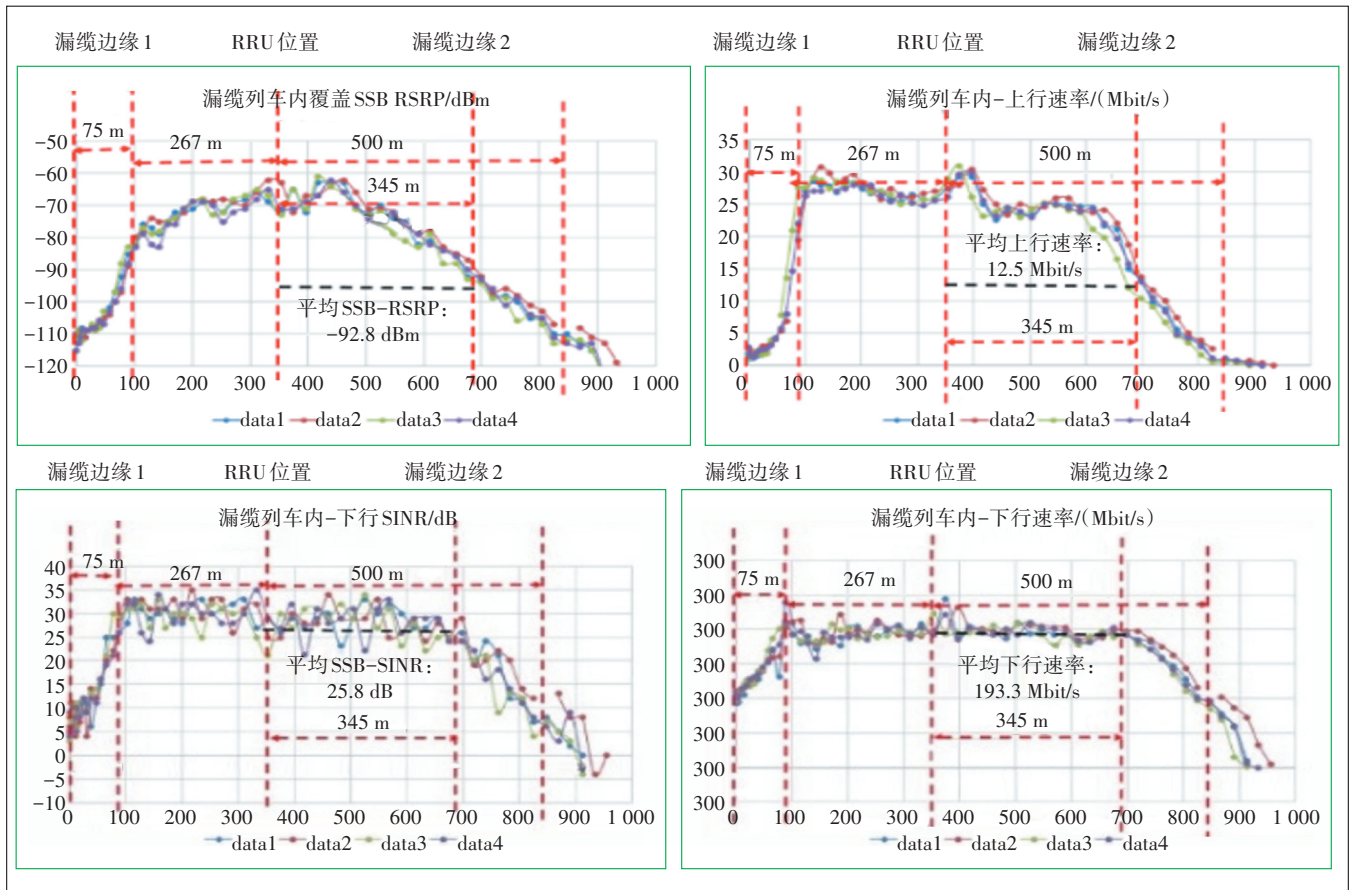


图6 宽频漏缆测试性能

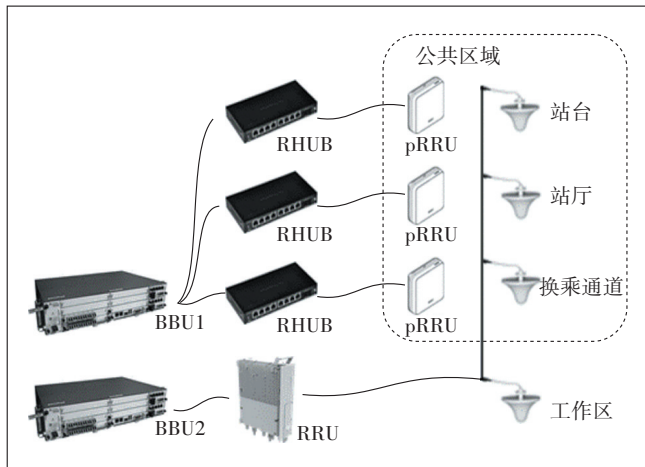


图7 公共区域及工作区覆盖方案示意

5.1.1 数字室分保证容量

由于新型数字室分同时支持的系统及频段有限,前期仅支持2U+2L+2NR的配置,不能保证所有频段开启。在共建共享的模式下,建议新型数字室分开通模式如表9所示。

数字室分的优势如下。

表9 新型数字室分开通频段

运营商	系统频段	各频段带宽
中国联通	4G:1.8 GHz+2.1 GHz	1.8 GHz:10 MHz(视设备能力) 2.1 GHz:20 MHz
	5G:3.5 GHz	3.5 GHz:100 MHz(可共享)
中国电信	4G:2.1 GHz	2.1 GHz:20 MHz
	5G:3.5 GHz	3.5 GHz:100 MHz(可共享)

a) 性能优势明显:可4G、5G网络同点位覆盖,小区划分更为灵活,同厅台可划分多小区提升容量,覆盖强对遮挡车体等穿透性好,pRRU配置灵活可定制覆盖细节。

b) 效费比的优势:基站单条10 Gbit/s传输可以4G、5G多系统共享,有效降低传输成本,pRRU单头端多系统覆盖既节省设备投资,又减少安装位置资源。

5.1.2 宽频室分补充覆盖

宽频传统室分作为基础覆盖,保证公共区域、工作区覆盖。其接入的频段包括900 MHz、CDMA800、WCDMA等低容量系统。此外为了有效减轻数字室分的投资压力,充分利用隧道、工作区等传统室分基础

设施开通 4G 单频段及工作区的 5G 系统。传统宽频室分系统开启的频段如表 10 所示。

传统宽频室分系统具备稳定性高、维护方便、后续扩容升级简单,且单位面积投资小的优势。

表 10 传统室分系统接入系统及频段

设备选型		RRU 5502 双频		RRU 5262
覆盖区域		公共区域(4G)	工作区及隧道(4G)	工作区及隧道(5G)
开通 频段	中国联通	U2100(2×5 MHz)+L1800(20 MHz)	U2100(2×5 MHz)+L1800(20 MHz)+L/NR2100(储备能力)	NR3500(100 MHz)
	中国电信	CD MHz A800+L1800(20 MHz)	CD MHz A800+L1800(20 MHz)+L/NR2100(储备能力)	NR3500(100 MHz)
传输带宽		3G:100 MHz 4G:300 MHz		10GE×1

根据以上方案,在 5GNR 共享双频段、4G 全独立载波及点位间隔 30 m 限制下,能达到如表 11 所示主要性能指标。

表 11 公共区域及工作区预计指标

系统	位置	边缘场强/dBm	下行速率/(Mbit/s)	上行速率/(Mbit/s)	忙时用户速率预估 100RRC/(Mbit/s)
LTE	公共区域	-70	75	60	25~15
	工作区	-80	75	60	10~6
NR	公共区域	-75	2 000	100	300~150
	工作区	-85	1 200	100	200~100

5.2 区间隧道覆盖方案

根据区间隧道圆洞状的建筑构造,建议采用宽频漏缆覆盖。由于不能使用数字室分系统规避合路干扰,需实施严格的运营商分缆方案。共建共享的友商各频段经验证不存在明显的互调干扰,故可以共享漏缆建设,其他运营商独自使用剩余漏缆资源。根据该漏缆的前期测评结果,建议采用 4 缆方案,2 根宽频 5/4"漏缆用于共建共享;2 根 13/8"漏缆用于其他运营商。受漏缆性能限制,13/8"漏缆还需接通 CDMA800 系统。其系统连接如图 8 所示。

根据上文数据,要达到理想的设计指标,需要严

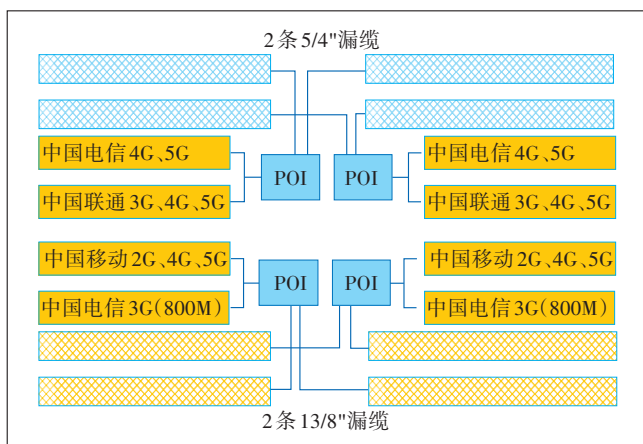


图 8 新建线路漏缆连接示意图

格限制隧道断点间距及漏缆布置位置,建议断点单边距离不超过 200 m,双边距离不超过 400 m,4 漏缆在隧道纵切面的位置交错摆放,保证双通道漏缆 0.5 m 的隔离间距,降低相关性,保证 MIMO 效果。相应的规划示意图如图 9 和图 10 所示。

根据前期试验测试及方案的规划目标、基础性性能,预期达到的网络性能如表 12 所示。

5.3 既有线路升级方案

对于既有线路设计方案,可以借鉴相应技术,以基础设施为基础、现有技术为手段,结合 4G 网络扩容

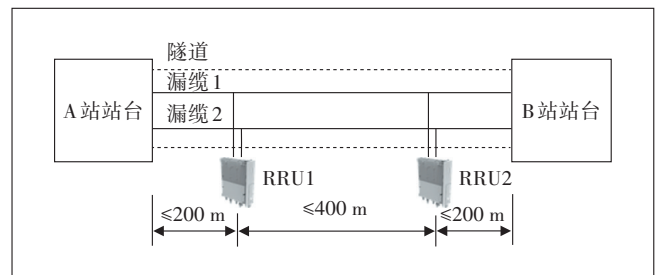


图 9 隧道断点设置示意

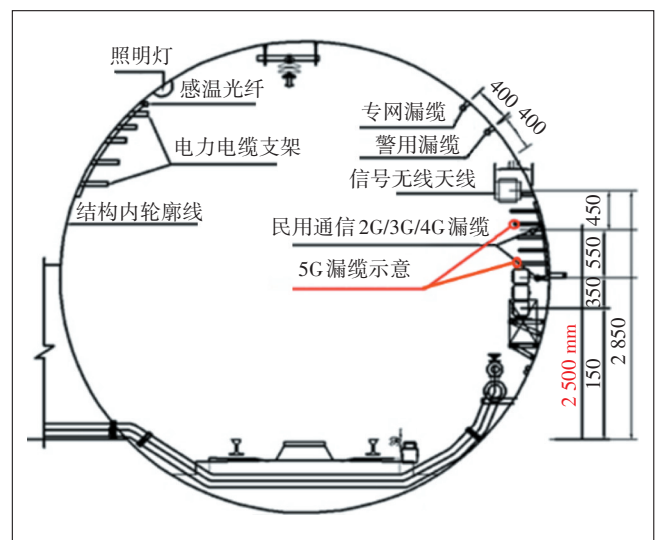


图 10 隧道漏缆铺设示意

表 12 新建线路区间隧道预计指标

系统	位置	边缘场强/dBm	下行速率/(Mbit/s)	上行速率/(Mbit/s)	忙时用户速率预估 100RRC/(Mbit/s)
LTE	隧道	-85	60	45	10~6
NR	隧道	-90	1 000	50(单通)	150~80

方案实施。其中公共区域采用数字新型室分方案,同步扩容4G网络并实现5G网络覆盖。既有线路的扩容

升级应尽量减少对传统室分系统的改动。首先采用定向天线在隧道口位置尽量弥补5G覆盖,后续实现2100翻频后,在隧道实施NR2100系统覆盖,共享友商间2 100 MHz频率。既有线路共建共享覆盖方案如表13所示。

根据以上方案地铁线路未来计划达到的网络指标如表14所示。

表 13 既有线路共建共享覆盖方案

室分类型	传统室分			新型室分	
设备选型	RRU 5502 双频			-	pRRU 5961G/H
覆盖区域	公共区域(4G)		工作区及隧道(4G)	工作区及隧道(5G)	公共区域(4G+5G)
开通频段	中国联通	U2100(2×5 MHz)+L1800(20 MHz)		NR2100(50 MHz)	NR3500(100 MHz)+L2100(20 MHz)
	中国电信	CDMA800+L1800(20 MHz)		NR2100(50 MHz)	NR3500(100 MHz)+L2100(20 MHz)
传输带宽	2G:2 MHz 3G:100 MHz 4G:300 MHz			10GE×1	10GE×1

表 14 既有线路升级扩容预计指标

系统	位置	边缘场强/dBm	下行速率/(Mbit/s)	上行速率/(Mbit/s)	忙时用户速率预估 100RRC/(Mbit/s)
LTE	公共区域	-70	75	60	25~15
	工作区	-80	75	60	10~6
	隧道	-85	60	45	10~6
NR	公共区域	-75	2 000	100	300~150
	工作区	-85	1 200	100	200~100
	隧道	-80	200	100	35~20

6 结束语

本文探讨的基于共建共享的跨代覆盖方案,充分利用共建共享优势,有效提升了地铁覆盖效果,降本增效。为了平衡并解决跨代覆盖下新老线路差别、互调干扰、容量受限等问题,给出了可行的方案。既能够满足地铁用户上网需求,又能有效减少投资,预计节约成本1万元/站/月。地铁场景下基于共建共享的跨代无线网络覆盖打通了城市立体空间的高速连接,服务于未来智慧城市建设。

参考文献:

[1] RAPPAPORT T S, SUN S, MAYZUS R, et al. Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular: It Will Work! [J]. IEEE Access, 2013(1): 335-349.

[2] LI S, XU L D, ZHAO S. 5G Internet of Things: A survey [J]. Journal of Industrial Information Integration, 2018(10): 1-9.

[3] 杨光. NSA和SA:既是架构选项也是不同5G启动思路的体现 [J]. 通信世界, 2018(2): 44-45.

[4] 3GPP. Study on new radio (NR) access technology physical layer as-

pects: 3GPP TR 38.802[S/OL]. [2021-11-09]. [ftp://ftp.3gpp.org/Specs/](http://ftp.3gpp.org/Specs/).

[5] PARKVALL S, DAHLMAN E, FURUSKAR A, et al. NR: The New 5G Radio Access Technology [J]. IEEE Communications Standards Magazine, 2017, 1(4): 24-30.

[6] POIKSELKA', MIKKKA. Voice over LTE (VoLTE) [M]// Radio Protocols for LTE and LTE-Advanced. John Wiley & Sons, Ltd, 2012.

[7] 徐德平,程日涛,张新程. VoLTE关键技术及部署策略研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2014(2): 75-79.

[8] 沈嘉. 3GPP长期演进(LTE)技术原理与系统设计[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.

[9] 吕强,王萍萍. LTE地铁覆盖解决方案研究[J]. 电信技术, 2016(4): 21-23.

[10] 赵云峰. 北京地铁4G网络建设方案探讨[J]. 互联网天地, 2016(1): 51-56.

[11] 孙小兵. LampSite室内覆盖解决方案研究[J]. 邮电设计技术, 2015(9): 26-30.

[12] 高光辉,李勇,卫钰,等. DAS系统在5G室分建设中的融合与发展[J]. 电信工程技术与标准化, 2019(10).

[13] 王思宇,张春旺,马宝华,等. 5G室分演进方案研究[C]//5G网络创新研讨会(2018)论文集. 2018.

[14] 田亚斌. LTE大容量场景保障方案研究[J]. 无线互联科技, 2017(7): 106-107.

[15] 熊金州,卢锦君,苏德强. LTE互调干扰分析和处理[C]//2014LTE网络创新研讨会论文集. 2014.

作者简介:

王蕾,毕业于清华大学,工程师,硕士,主要从事室内无线网络建设规划及优化设计工作;曾伟,毕业于南京邮电学院,高级工程师,硕士,主要从事北京市重点场景建设规划及优化方案设计工作;只璐,毕业于北京交通大学,工程师,硕士,主要从事无线网络系统优化工作。