

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.06.013

市域铁路5G无线通信应用方案研究

熊栋宇

(中铁二院华东勘察设计有限责任公司, 杭州 310004)

摘要: 针对市域铁路无线通信存在制式种类多样、系统孤立、维护升级复杂、智慧化需求多的难题, 总结市域铁路各类场景业务应用需求, 分析 5G 无线覆盖性能指标, 深入探讨 5G 网络对业务融合承载、应急通信和智慧化应用的独特优势。最后, 结合行业应用特点, 探讨可行的商业合作方式, 并从终端、接入网、承载网、核心网的角度, 给出 5G 公网专用的总体架构方案和后期的运营维护标准。

关键词: 5G; 融合通信; 应急通信; 市域铁路

中图分类号: U285.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)06-0065-06

Research on 5G Wireless Communication Application Scheme for Suburban Railway

Xiong Dongyu

(CREEC East China Survey and Design Co., Ltd., Hangzhou 310004, China)

Abstract: In view of the problems in suburban railway wireless communication, such as various types of systems, isolated systems, complex maintenance and upgrading, and multiple intelligent requirements, this paper summarizes the application requirements of various scenarios of suburban railway, analyzes the performance indicators of 5G wireless coverage, and deeply discusses the unique advantages of 5G networks in service integration, emergency communication and intelligent applications. Finally, combined with the characteristics of the industry application, the feasible business cooperation mode is discussed. From the perspective of terminal, access network, bearer network and core network, the general architecture scheme and operation and maintenance standards for 5G public network are given.

Keywords: 5G; integrated communication; emergency communication; suburban railway

收稿日期: 2022-12-07; 修回日期: 2023-05-10

基金项目: 中铁二院华东勘察设计有限责任公司重点科研项目 (2022-KY-02)

作者简介: 熊栋宇 (1981—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 轨道交通的通信和智能化信息技术, 邮箱: xiong_505@163.com。

1 现状分析

市域铁路作为新型轨道交通系统, 为中心城区、周边新城、乡镇组团之间提供公交通勤、大运量、快速便捷的交通服务, 具有线路长、站间距大、地下高架共存、列车速度快 (120 ~ 160 km/h)、存

在与其他线路换乘（或接轨）、与城镇商业圈融合发展的特点。无线通信系统作为市域铁路的重要设备系统，为乘客、运营人员、警务人员等提供音、视频及数据的移动通信服务，同时为设施、设备的运营、运维信息提供无线传输通道服务。现有市域铁路的无线通信系统制式多样，且存在几个方面不足。

- 1) 免许可频段的无线通信系统容易受到外界的干扰。
- 2) 区间系统设备多、运维工作量大、安全隐患点多，同时有限的隧道空间不利于后期升级改造。
- 3) 市域铁路速度快，Wi-Fi 系统制式在吞吐量、切换稳定性及安全性方面性能下降明显。
- 4) 承载业务的无线网多样化，缺乏统一融合通信，难以实现应急通信，不能做到地下与地上、站段与周边的业务融合发展。

2 市域铁路的无线业务需求分析

无线通信网络主要应用于移动通信服务、应急通信以及不利于有线通信布线等情景。结合市域铁路的应用场景，无线通信业务需求主要包含以下几种类别。

- 1) 列车运行与控制类：包括信号基于通信的列车自动控制系统（CBTC）、车辆重要状态信息。
- 2) 调度指挥类：包括音、视频无线调度。
- 3) 车载信息类：包括车载乘客信息系统（PIS）、车载运营信息、车载视频、车载智能运维等。
- 4) 物联感知类：包括巡检机器人、单兵设备、增强现实（AR）终端、智慧工地、应急安防和物联感知终端等。
- 5) 旅客服务类：包括客服机器人、客服终端、站内定位与导航等。

考虑无线小区的特性，无线通信业务需求统计按 1 个小区的标准进行统计。基本业务需求统计主要参考相关规范和白皮书，并结合成都和杭州实际工程应用需求进行更新，具体如表 1 所示。

通过分析可知，业务上行无线带宽需求是下行的 2~3 倍左右；业务发生的时间、区域不同，比

如：区间运维业务多为停运阶段，不占用运营时段小区带宽资源，同时 AR 远程指导业务发生在设备区，与客服类业务不在同一无线小区区域，基本可以独享基站无线网络资源。

3 5G无线覆盖与性能分析

2021 年工业和信息化部发布的《工业互联网和物联网无线电频率使用指南》中并没有为城轨和市域铁路分配专用的频段，而是鼓励工业互联网和物联网业务优先使用电信类运营商 5G 公网为主的承载。当前 3.0 GHz 以下黄金频段没有完整的大带宽、空闲的频段可用，因此，当前 5G 技术应用于市域铁路的主流选择是采用运营商公网切片方式承载专网业务。5G 网络切片可为不同类型业务提供不同的服务，分为服务质量（QoS）优先保障切片、资源块（RB）资源预留切片、载波隔离 3 种类型，为满足不同业务的可靠性需求和无线资源的动态分配，推荐市域铁路采用 RB 资源预留切片和 QoS 优先保障切片结合的方式。

市域铁路包括地下站、高架站、隧道区间、高架或地面区间、场段共 5 类区域场景。在地下站，5G 无线网络主要采用有源室分覆盖方案，由基带处理单元（BBU）、集线器（RHUB）、皮基站设备（pRRU）组成；高架站采用小型内置天线（RRU），采用宏微协同覆盖方案；隧道区间，5G 无线网络采用 BBU+RRU+漏缆覆盖方案；高架或地面区间线路采用铁塔有源天线单元（AAU）结合线路走向统筹部署，沿线可设小型内置天线（RRU）补强的覆盖方案，条件允许时公网也可共享专网的无线漏缆；场段区域采用铁塔+小型 RRU 协调覆盖方案。

5G 公网中低频段采用时分双工（TDD）模式，由于上行与下行时隙比为 3:7 或 2:8，从而使下行网络吞吐率远大于上行，而市域铁路业务流量需求主要集中在上行业务，因此，上行网络性能是市域铁路业务承载的瓶颈。根据合肥、杭州、南京轨道交通实测数据 100 MHz 频谱、时隙比 7:3 下，各场景信号覆盖良好情况下的网络性能实测测试如表 2 所示。

表1 市域铁路基本无线业务需求统计

Tab.1 Statistical table of basic wireless service demand of suburban railway

业务类别	业务应用	上行带宽 / (Mbit/s)	下行带宽 / (Mbit/s)	时延 / ms	业务区域	备注
列车运行 与控制	CBTC	1.024	1.024	150	区间、场段行车区域	涉及行车安全，按 2 列车考虑
	车辆重要状态信息	0.208	0.2	300		
调度 指挥类	音频信息	0.512	0.512	400	站段、区间全部区域	按 8 路音频通话，2 路视频考虑
	视频信息	2	2	400		
车载 信息类	车载 PIS		6	500	正线区间	
	车载运营信息		0.01	300	正线区间	
	车载视频	12		500	区间、场段行车区域	按 2 Mbit/s / 路考虑
	车载智能运维	13	4	300		
物联 感知类	巡检机器人 / 无人机	16	2	300	站段及行车区域	区间为停运时间段，车站为设备区
	单兵设备	4	4	400	站段及区间	按每单兵 2 Mbit/s
	智慧工地	40	18	400	工程建设期的地面、地下	含监控和相关物联感知
	应急安防	8	0.2	300	站段、区间	按 4 Mbit/s/ 路，区间为停运时
	AR 远程指导	25	8	20	站段、区间	区间为停运时，车站为设备区
	各类物联感知终端	2	1	300	站段、区间	
旅客 服务类	客服机器人	8	2	300	车站	按 1 台考虑
	客服终端	2	2	300	车站	
	站内定位与导航	1.6	1.6	300	车站	按 50 个用户需求考虑
合计	区间带宽合计（非运营时段）	55	15.2	含列调和列控信息		
	区间带宽合计（运营时段）	31	15.01			
	车站带宽合计	29.334	14.536	含列调、列控，不含 AR、智慧工地、巡检无人机 / 机器人		

表2 各类场景网络性能

Tab.2 Network performance in different scenarios

场景	频谱宽带 / MHz	基站	终端	平均时延 / ms	平均上行速 率 / (Mbit/s)	平均下行速 率 / (Mbit/s)	最小上行速 率 / (Mbit/s)	最小下行速 率 / (Mbit/s)
地下室分覆盖	100	4T4R	2T4R	≤ 15	120	450	60	190
高架半敞开覆盖	100	8T8R	2T4R	≤ 15	150	650	60	220
隧道漏缆覆盖	100	2T2R	2T4R	≤ 15	120	705	55	415
铁塔覆盖	100	64T64R	2T4R	≤ 15	100	445	35	199

由此可见，5G 无线网完全满足市域铁路车站下行业务（14.536 Mbit/s）和运营时段区间下行业务（15.01 Mbit/s）的带宽与时延需求；满足市域铁路车站上行业务（29.334 Mbit/s）和运营时段区间上行业务（31 Mbit/s）的带宽和时延需求；实际工程应用中，上行网络带宽资源还可以通过增加收发天线或漏缆数、载波聚合、超级上行、超密组网、多模多通道等多种方式进一步提升上行网络资源。

4 5G无线网对市域铁路业务综合承载探讨

列车运行与控制类业务密切关系到行车运营安全，主要涉及到站段和行车区间内的区域，对无线网络的安全性、可靠性要求非常高，优选专用频率、独立组网的方案，比如：采用 1 785 ~ 1 805 MHz 专用频段的 LTE-M 技术；若市域铁路与城际铁路接轨，则应选用同城际铁路相兼容的无线制式。

针对调度指挥、车载信息、旅客服务、物联感知类的业务，当前承载此类业务的无线通信制式种类分散、孤立、智慧化业务接入需求不断增多、维护升级复杂，需要一种能够保障不同业务的融合通信制式，实现市域铁路的高质量发展。5G 公网专用可实现市域铁路业务的融合通信，有利于业务快速应用和部署，并可支持应急通信。下面从不同的场景角度对业务承载进行探讨。

1) 融合通信场景

5G 通信网络能构建业务、区域和人的通信融合共存，实现全方位的信息生态系统。5G 融合通信体现在两个方面：其一为区域的融合，实现市域铁路地上、地下一张网，换乘线路间、站段与周边商业一张网，业务应用不受制于常规物理管理边界和无线制式的影响，仅需在核心网完成数据路径和安全策略配置即可实现业务流的打通与汇聚，打破了区域通信局限性，很好的助力站城商业圈融合、提升商业价值。其二为业务的融合，实现音频、视频、位置、数据等信息的一张网承载与同步，乘客业务与市域铁路服务业务一张网泛在承载，通过各类业务的同步关联、综合数据在管理平台和终端的整合应用，助力市域铁路智慧化发展，进一步降低运营管理成本、提升运营运维效率、提高运营指挥精确性等。比如：在突发大客流或其他异常事件情况下，可以结合线路甚至线网的人员、物资的位置和力量分布情况，就近调配，实现快速响应，精确布置。

2) 移动、应急通信场景

在日常运营情况下，通过移动终端设备为工作人员提供的音视频通话、移动票务处理、移动维修管理与处置、巡检自动记录、远程维修指导、人员定位管理等多种服务，并可替代传统公务电话系统、半自动售票机（BOM）等，提高工作效率。

在车站、区间发生灾害情况下，工作人员可快速布置单兵设备、无人机、移动监控与广播等设备，实现地下与地面的应急通信救援。乘客可通过终端应用程序（APP）结合定位信息向乘客服务中心进行报警和音、视频求助，替代区间轨旁电话，作为

车载或车站求助电话的补充，同时，指挥中心工作人员也可远程向待救援区域的人员手机 APP 主动发起弹窗提示服务，实现第一时间救援引导。当自然灾害、停电等引起基站设备无法正常工作，导致通信中断时，5G 终端可进行节点到节点（D2D）通信，即邻近的两个移动终端间能够不经过基站直接通信，同时用户可以通过一跳或多跳 D2D 通信连接到无线网络覆盖区域内的移动终端，借助该终端连接到无线网络，为求助与救援提供应急通信保障。

3) 智慧化应用场景

5G 网络与物联网、云计算、人工智能（AI）等技术深度融合，是市域铁路智慧化应用的最后 100 m 延伸，为工程建设、站段人性化运营服务与管理，线路的各类设施、设备的智能运维带来了全新的发展，贴合市域铁路的数字化转型。以工地智慧化管理为例，通过 5G 通信网络，将地上、地下工地现场的各种施工场景、施工人员行为、灾害风险、音视频图像和位置信息等实时上传到监控管理中心，实现远程操作、远程巡查、远程 AR 指导、实时分析和风险预警等智慧业务应用，有利于统筹管控质量、进度与风险，提升管控效率，能够提供辅助应急决策。

5 5G无线网在市域铁路的应用方案

5.1 5G公网专用的商业应用模式

市域铁路的无线通信网络基本采用自建自维方式。当采用运营商 5G 公网专用方案时，则市域铁路公司需要每年支付一定的网络租费，因此 5G 网络运营商只有合理取费，才符合两家单位的核心利益。从无线网络全生命周期投资的角度，可采用无线频谱资源占比分享的商业合作方式，即考虑全生命周期的 5G 网络租赁服务费替换传统一张自建自维无线网络的方式，如此，5G 公网与市域铁路才能互惠互利和长远发展。

5.2 5G公网专用总体应用方案

市域铁路业务对 5G 网络的速率、时延、可靠性、网络的可用性和安全性都需要确定的服务级别

协议（SLA）指标要求，需要分解业务需求并匹配相应的网络配置，达到 SLA 指标的要求。为保证系统高可用性和安全性，需要从接入网、承载网、核心网等综合考虑构建全流程保障系统，最终实现不同业务的不同需求。

为保障用户业务数据不出场、低时延等需求，核心网用户平面功能（UPF）网元需要下沉到市域铁路的控制中心，对线路本地数据进行分流和分流处理，实现数据传输、处理，结果反馈终结于市域铁路内部，同时，下沉的核心网 UPF 应冗余部署，并做好分区分域的网络隔离。承载网传输采用冗余链路、环网部署方案来提高链路可靠性，业务通道采用虚拟专用网络（VPN）隔离、灵活以太网技术（FlexE）的接口隔离方案。

接入网重点在现场可桥接异构的网络，包含 5G+ 车载接入单元（TAU）、5G+ 窄带物联网（NB IoT）、5G+ 无线终端接入设备（CPE）、5G+ 蓝牙 / 超宽带（UWB）定位、5G+ 毫米波等应用。具体而言，5G+TAU 满足集群调度、车辆各类状态信息、车载视频、车载 PIS、智能运维等各类信息高带宽、高可靠、实时的通信需求。5G+NB IoT 为各类工务设施、机电设备等的状态、告警、控制信息提供高可靠传输，解决现场布线难题。5G+CPE 为无人机、机器人和视频终端等提供音视频、数据等信息大带宽回传。5G+ 蓝牙 /UWB 高精度定位解决人员定位与导航、设备定位、跟踪和远程控制。5G+ 毫米波可保障重点区域覆盖和上行传输需求。市域铁路 5G 公网专用的总体架构如图 1 所示。

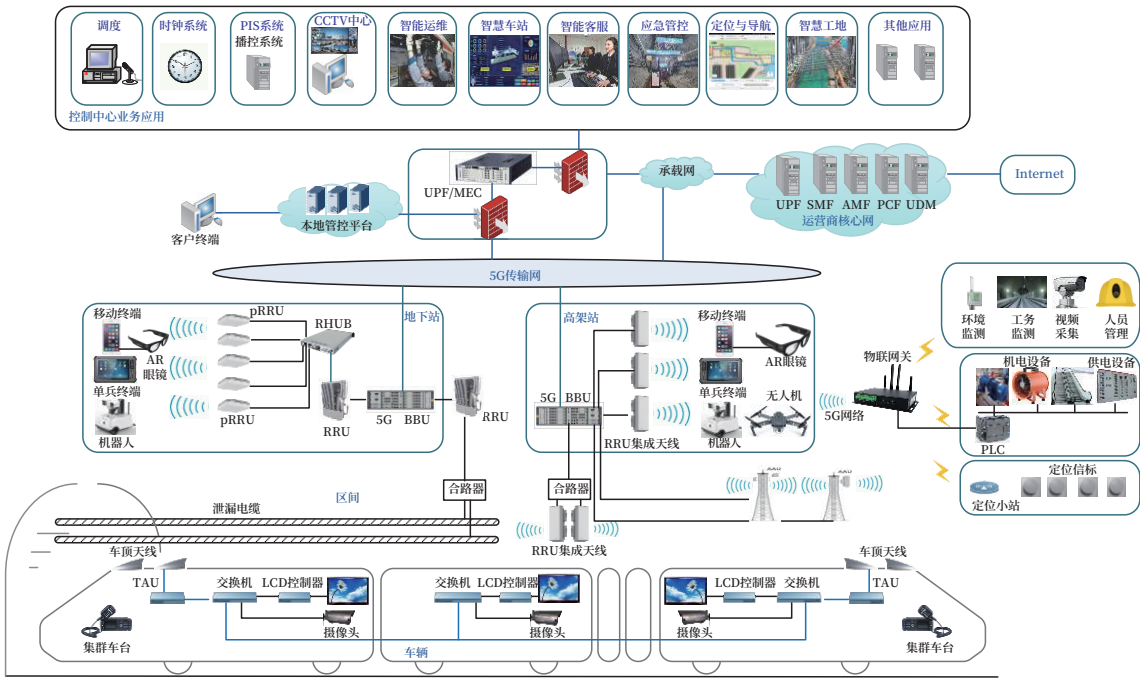


图1 5G公网专用总体架构
Fig.1 Overall architecture for 5G public network

为了降低 5G 网络故障对市域铁路运营影响，市域铁路对 5G 无线网的运维服务标准还存在行业的特殊需求。首先，市域铁路线路内需要本地化无线网 SLA 保障实现故障预警、网络诊断、自动化处理、快速响应和闭环优化处理。其次，市域铁路运营公司还存在对网络的自主监控和对终端自主管理，

实现网络可视可管，及时了解业务运行状态和运营状况，保障在应急情况下，实现运营、运维管理的统一指挥、统一部署。

6 结语

5G 无线网是构建全方位的信息生态系统底座，

对加速市域铁路的智慧化业务发展和数字化转型,促进 5G 的行业深度应用具有重要意义。本文结合市域铁路业务需求、无线通信的痛点、5G 无线网承载市域铁路业务优势和应用方案进行研究,希望能抛砖引玉,为市域铁路可持续、智能化、智慧化发展提供一种无线融合通信的解决方案。

参考文献

- [1] 汪时中. 市域(郊)铁路规划设计若干关键问题的分析与思考[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(4): 10-16.
Wang Shizhong. Analysis and Reflection of some Key Issues on the Planning and Design of Urban (Suburban) Railways[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(4): 10-16.
- [2] 燕强. 城市轨道交通无线通信网络的融合及其方案应用[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(4): 107-111.
Yan Qiang. Integration and Scheme Application of Urban Rail Transit Wireless Communication Network[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(4): 107-111.
- [3] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通车地综合通信系统(LTE-M)总体规范第1部分: 系统需求: T/CAMET 04005.1-2018[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.
- [4] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通车地综合通信系统(LTE-M)总体规范第3部分: 综合承载信息分类与要求: T/CAMET 04005.3-2018[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.
- [5] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通车地综合通信系统(LTE-M)接口规范第3部分: 集群业务功能和接口: T/CAMET 04006.3-2018[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.
- [6] 杨琪, 冯敬然, 周敏, 等. 城市轨道交通 5G 公网融合组网方案研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(7): 63-69.
Yang Qi, Feng Jingran, Zhou Min, et al. Research on 5G Public-Private Network Convergence Scheme for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(7): 63-69.
- [7] 李斌. 铁路 5G 专网应用需求研究及部署方案[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(11): 42-46.
Li Bin. Application Requirement and Deployment Scheme of Railway 5G Private Network[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(11): 42-46.
- [8] 汪丁鼎, 许光斌, 丁巍. 5G 无线网络技术与规划设计[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2019.

本期广告企业简介

焦作铁路电缆有限责任公司

国内轨道交通电线电缆核心供应商之一。五十多年生产经历。主要产品: 信号电缆、贯通地线、漏泄同轴电缆、射频电缆、长途对称通信电缆、27.5 kV 电气化铁路电缆、35 kV 高压电缆、直流电缆、低压电力电缆、控制电缆、电线。

焦作铁路电缆有限责任公司

地址: 中国河南省焦作市站前路 8 号

电话: 0391-2632323

网址: <http://thjl.crsc.cn>

Jiaozuo Railway Cable Co., Ltd

Address: No.8 Zhanqian Road, Jiaozuo, Henan Province, P.R.China

Phone: +86-391-2632323

Website: <http://thjl.crsc.cn>

(详见封三)