

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2022.07.013

城市轨道交通5G公网融合组网方案研究

杨 琪, 冯敬然, 周 敏, 葛伟涛, 李珉璇

(中国铁路设计集团有限公司, 天津 300308)

摘要:从城市轨道交通无线承载业务需求出发, 介绍当前城轨主要无线承载业务并展望面向未来的宽带无线业务需求; 结合运营商 5G 网络能力及主要核心技术, 对城轨 5G 公网融合的 5 种组网方案进行比选: 主要包括城轨完全利用运营商 5G 网络设备, 结合切片及边缘计算技术建设虚拟专网; 城轨与运营商共享 5G 基站, 独立建设小型核心网、城轨利用运营商 5G 核心网、无线网, 独立建设 UPF、MEC 以及城轨租赁运营商频率、自建网等, 并对各方案的优缺点进行比选分析。

关键词:城市轨道交通; 5G; 公网融合; 切片技术; 边缘计算; 组网方案

中图分类号: U285.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2022)07-0063-07

Research on 5G Public-Private Network Convergence Scheme for Urban Rail Transit

Yang Qi, Feng Jingran, Zhou Min, Ge Weitao, Li Minxuan

(China Railway Design Corporation, Tianjin 300308, China)

Abstract: Based on the demands for wireless bearing services of urban rail transportation, the main wireless bearing services of urban rail are introduced and the demand for broadband wireless services for the future is envisioned. The main options to meet these demands include establishing a virtual private network by slicing and MEC and utilizing the 5G network equipment of operators; sharing 5G base stations with operators and building a small core network independently; using operators' 5G core networks and wireless networks and providing UPF and MEC independently; leasing operators' frequencies and providing a self-built network. The advantages and disadvantages of each of the scheme above are compared and analyzed.

Keywords: urban rail transit; 5G; public-private network convergence; slicing technique; MEC; networking scheme

收稿日期: 2021-11-30; 修回日期: 2022-05-05

基金项目: 中国铁路设计集团有限公司重点课题项目 (2020YY240811)

第一作者: 杨琪 (1977—), 女, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路专用无线通信, 邮箱: yangqi@crdc.com。

随着国内城市轨道交通的蓬勃发展, 实现智能列车运行自动化、智慧乘客服务便捷化、智能运维安全感知化、智能网络管理高效化等轨道交通智慧化目标, 成为当前城轨创新、发展的目标。以“万物互联”为主要特征的第五代移动通信

信 (5th Generation Mobile Communication Technology, 5G) 技术, 具有带宽更大、时延更低、多接入、可靠性高等优点, 可为城市轨道交通智慧化提供更好的平台。

1 城市轨道交通无线通信系统承载业务需求分析

城轨生产类无线承载业务主要包括车-地间数据传输, 安全性要求较高。其余运营维护类业务及旅客服务类业务安全性要求较低。

1.1 生产类车地窄带业务

列车自动控制业务主要依据行车计划组织行车, 依照特定闭塞方式指挥列车正点安全运输。传输速率上/下行不小于 512 kbit/s。

列车运行状态监测业务主要功能是实时监测和诊断列车的运行状态并进行综合分析和预警, 提供网络化维保和应急处置支持。最大传输速率 104 kbit/s。

无线列车调度通信业务主要功能是为行车调度、防灾、维修等移动用户之间提供安全、迅速的语音通信手段。每路语音传输速率约 32 kbit/s。

列车紧急文本业务主要功能是将地面乘客信息系统 (Passenger Information System, PIS) 服务器紧急文本信息传送至车载 PIS 终端。最大传输速率 10 kbit/s。

以上业务要求非常高的可靠性。

1.2 生产类车地宽带业务

视频监控 (Closed-Circuit Television, CCTV) 业务主要功能是将列车内 (驾驶室、车厢等) 的视频监控图像传输到地面控制中心, 进行集中监控。

乘客信息业务主要功能是将地面计算机系统内的视频或图像信息传输到车厢内车载显示终端播放。

车载广播业务是对车内乘客播放列车运行信息、在紧急情况下对车内乘客进行疏导。

以上视频宽带业务要求每路标清视频传输速率

不低于 1 Mbit/s, 每路高清视频传输速率不小于 4 Mbit/s。

1.3 运营维护类宽带通信业务

随着无线通信技术的发展, 未来城轨可以基于大带宽的无线承载网络平台, 开发许多智慧化、智能化的运营维护应用。

设备运营维护业务的主要功能是对轨道交通基础设施无线远程网管及控制。

视频监控的主要功能是将车站的应急通信视频摄像头、轨旁视频摄像头等, 在必要时通过 5G 通道连接至监控中心。

现场情况采集业务的主要功能是就地采集现场数据情况并实时传送至控制中心, 迅速应对各种突发事件。

远程运维指导业务的主要功能是通过 AR 智能眼镜, 结合视频会议模式, 使现场人员与远端专家团队沟通交互。

1.4 旅客服务类宽带通信业务

基于 5G 平台, 可以开发大量旅客服务类宽带通信业务, 提升旅客出行体验。

乘客服务: 可以通过 5G 网络为乘客提供路线查询、乘客购票、车行或出站资讯, 以及车站挤塞、商业及旅游信息等出行辅助服务。

5G 智能巡逻机器人: 可对乘客查询的应答、对站台站厅公共区域的巡逻值守等业务。

2 城市轨道交通5G公网融合组网方案分析

工业和信息化部在 2021 年出台的《工业互联网和物联网无线电频率使用指南》中并未给轨道交通分配独立的频段, 而是鼓励各行业优先使用运营商公网承载工业互联网和物联网业务。因此, 依托公众移动通信网络和频率资源搭建公网融合的 5G 城轨专网是短期内城轨的主流选择。但由于列控业务具有非常高的安全性需求, 其车地无线承载网络需要冗余备份以保证高度安全性, 故 LTE-M 系统在短期内仍是城轨首选的承载列控及行车调度的专用移动通信系统。5G 公网可承载 PIS、CCTV 等安全性稍低的宽带

车地业务，与 LTE-M 系统互为补充。

3 城轨完全利用运营商网络

3.1 采用软切片技术

城轨运营维护类及旅客服务等非生产类业务所需带宽大，终端主要分布于车站站台、站厅内，但对安全性要求低。因此，城轨可以完全共享运营商 5G 网络，运营商仅在城轨车站站台、站厅内提供 5G 覆盖。同时，在边缘云中设置集团客户专用的移动边缘计算（Mobile Edge Computing, MEC）服务器及用户面业务（User Plane Function, UPF）设备，

与城轨云平台互联，承载城轨用户面业务。

运营商 5G 无线网采用服务质量（Quality of Service, QoS）优先级保障逻辑软切片功能：即通过 5G 服务质量标识（5G QoS Identifier, 5QI）或切片标识 + 5QI 为城轨业务提供优于其他公网业务的服务质量，确保城轨业务的高服务等级。5G 承载网采用基于虚拟专网（Virtual Private Network, VPN）+ QoS 的软切片技术，即业务在使用 VPN 承载时，不同业务打上不同的 QoS 优先级标识，根据优先级的标识匹配相应的 QoS 策略，保证城轨业务带宽及服务量。城轨 5G 虚拟专网结构如图 1 所示。

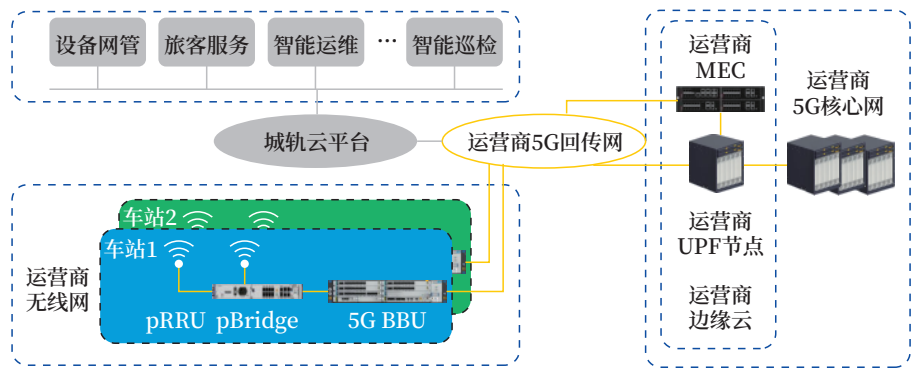


图1 软切片方案
Fig.1 Soft slicing scheme

本方案中，城轨所有数据流都必须连接至运营商 UPF 再返回城轨云平台与各业务服务器进行通信，因此网络往返时延（Round-Trip Time, RTT）较大。但此方案城轨不需要新设任何 5G 设备，运营商也不需要隧道内进行 5G 覆盖，故双方投入成本都最低。

软切片方案中，公网其他高优先级用户会对城轨业务有一定影响，故不建议采用该方案承载城轨生产类业务。

3.2 采用硬切片技术

为承载城轨宽带车地生产类业务，运营商 5G 网除覆盖城轨车站内，还需要在隧道内布设 5G 漏泄同轴电缆及基站，在高架区间沿线及车辆段内的公网 5G 弱场区补设 5G 基站及天线，保证城轨列车 5G 信号覆盖良好，同时切换区符合城轨列车高速运行下的切换时长要求。由于车地宽带生产类业务所

需带宽较大，故本方案可将 MEC 下沉到本地，即与 5G 基带处理单元（Building Base Band Unit, BBU）同址设置 MEC 服务器，直接与城轨云平台相连接，以减少业务时延，同时也可避免大量业务对 5G 回传网通道的占用。

为保证城轨宽带车地生产类业务的安全，运营商 5G 网络需采用逻辑硬切片技术。

无线采用资源块（Resource Block, RB）预留切片，即将一个小区的 RB 资源分配给多个切片使用，并为每个切片或每个切片组分配不同的物理资源块（Physical Resource Block, PRB）资源份额，基站调度器根据份额进行资源调度。该方案保证一个切片（组）的资源紧缺不会影响另外一个切片（组）的业务质量，从而达到比软切片更稳定的资源隔离度。采用硬切片方案的城轨虚拟专网结构如图 2 所示。

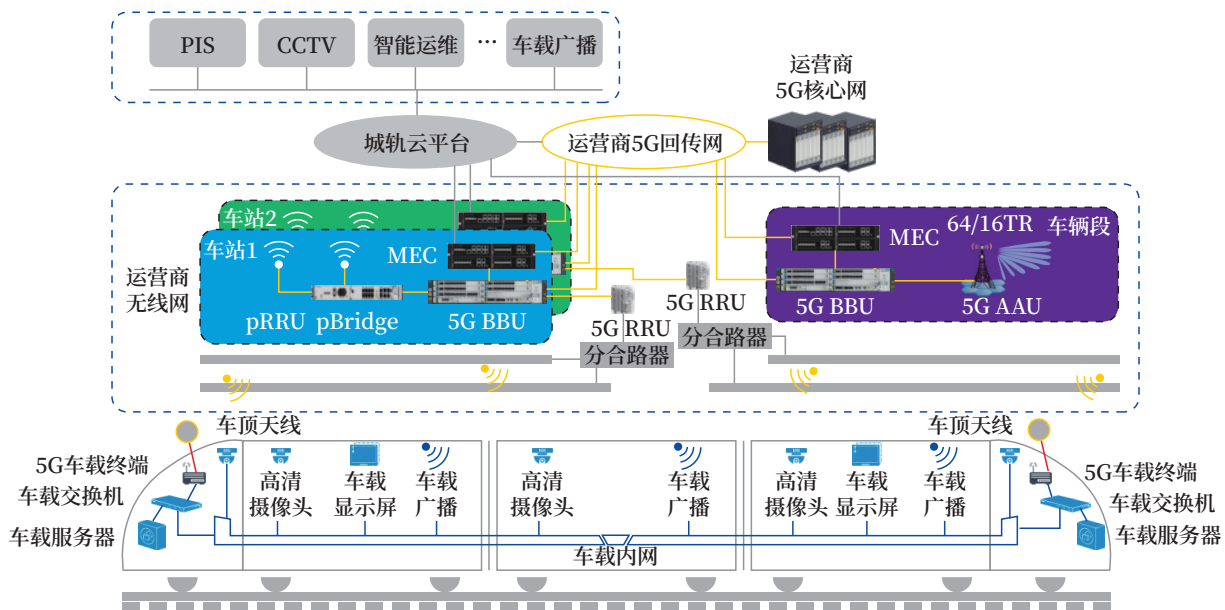


图2 硬切片方案
Fig.2 Hard slicing scheme

5G 承载网使用以太物理端口做切片，并配置独立的传输资源，每个切片使用不同的物理端口实现隔离。也可将灵活以太网（Flexible Ethernet, Flex-E）物理端口划分为不同的时隙，根据需求将 N 个时隙划分到 1 个子通道中切分为不同带宽的 Flex-E 子接口，形成 Flex-E 子通道。每个子通道是 1 个切片，承载不同的业务，切片之间用 Flex-E 子通道硬隔离。

硬切片方案的安全性高于软切片方案，但固定占用公网资源，网络租用成本也较高。

城轨完全利用运营商网络，用户数据写入运营商核心网、运营数据都须至运营商边缘云转回，存在数据安全风险。网络管控及设备维护均在运营商侧，城轨业务安全性取决于运营商故障响应时间。

4 城轨5G网络与公网混合组网

要保证城轨用户信息及运营信息的安全，城轨可考虑自建核心网，利用运营商的公网 5G 无线设备混合组网。

4.1 使用运营商5G网络，自建UPF及MEC网元

城轨共享运营商的无线网和核心网，同时在

本地部署城轨专用核心网用户面设备。UPF 下沉至本地，信令等控制面业务（Control Plane Function, CPF）由运营商核心网完成。在运营商 5G 无线网 BBU 处部署边缘计算节点 MEC 服务器，使城轨用户面业务应用能够实现本地化部署，降低任务时延、减少公网回传带宽需求。

该方案城轨用户信息仍需存储在运营商核心网，存在一定数据安全和隐私保护风险。

城轨自建 UPF 节点与 MCE，与运营商混合组网结构如图 3 所示。

4.2 城轨自建专用小型化5G核心网，共享运营商无线网

独立建设的城轨核心网保证地铁用户数据保存在本地，私密性好。同时，本地核心网与云平台互连，城轨业务的任务时延小，同时又能减少公网回传带宽需求及对公网 5G 核心网资源的占用。无线网和承载网的硬切片技术保障了城轨应用的安全性。本方案的缺点是 5G 基站设备需由运营商维护，因此故障响应时间不可控。

城轨自建专用核心网与公网混合组网结构如图 4 所示。

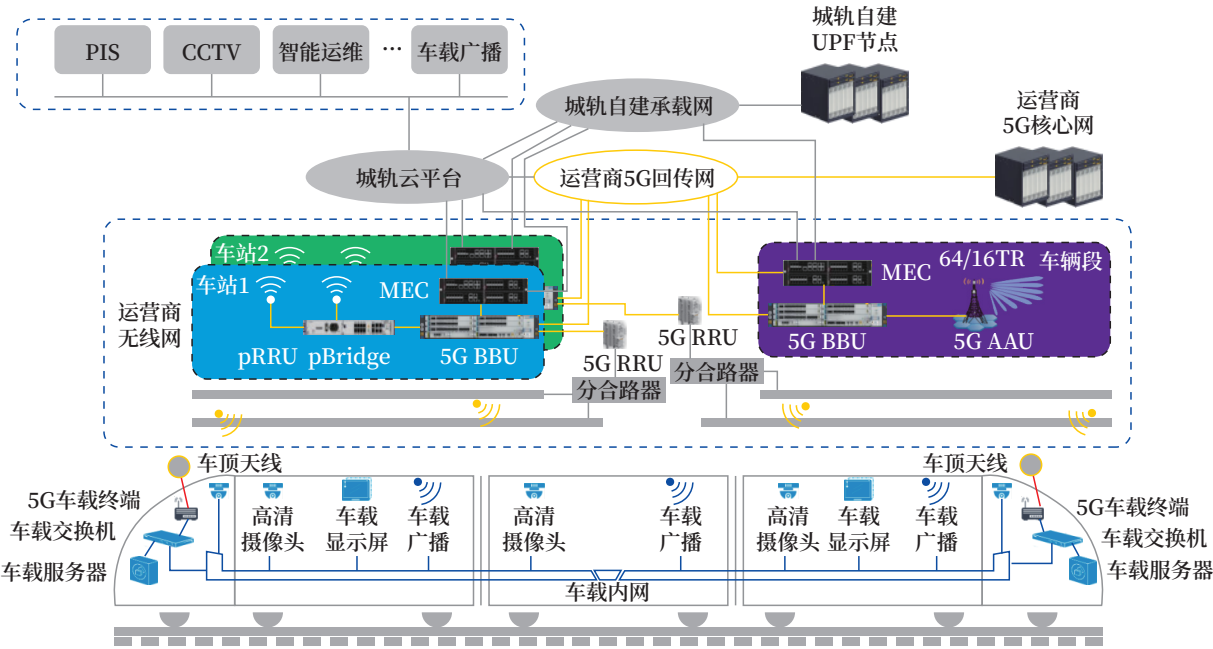


图3 城轨自建UPF节点与MCE, 与运营商混合组网结构示意图
Fig.3 Schematic diagram of the structure of a hybrid network combining operators' networks and self-built UPF nodes and MCE of urban rail transit

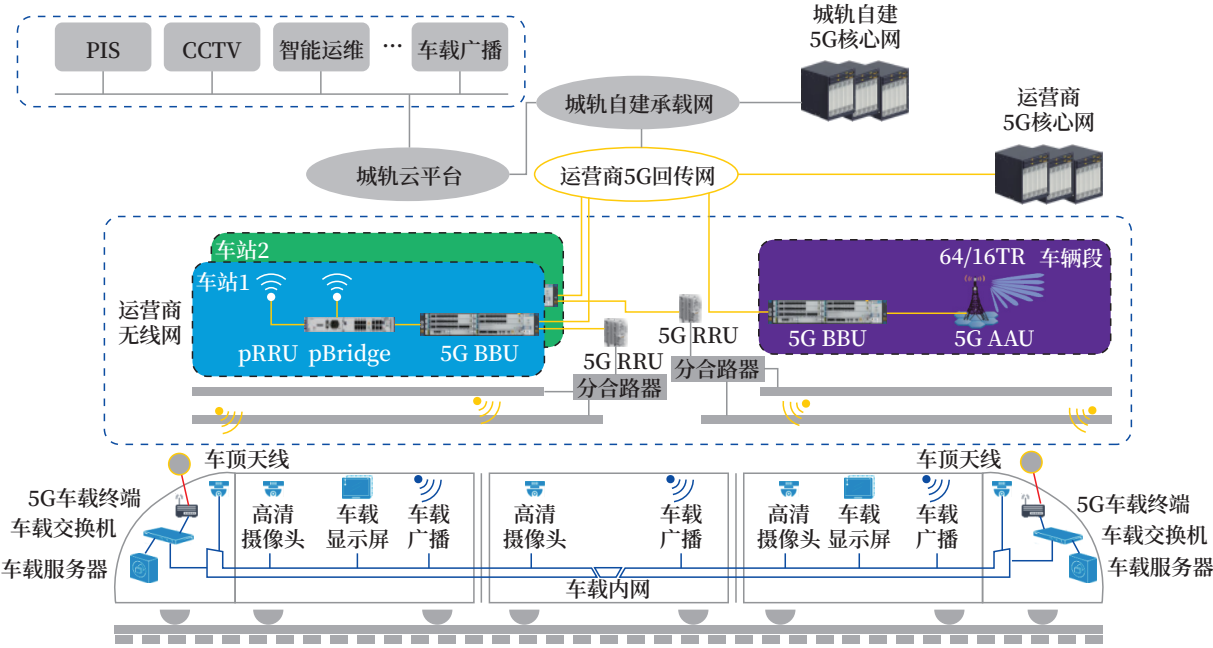


图4 城轨自建专用核心网与公网混合组网结构示意图
Fig.4 Schematic diagram of the structure of a hybrid network combining the public network and a self-built private core network of urban rail transit

5 城轨自建5G独立专网

若城轨用户需要用 5G 承载列控、列调等高安全性的业务，则需自建完全独立的 5G 专用网络，包括完整的 5G 核心网、承载网及无线网等。必要

时需建设完整的 A、B 两层 5G 网络并互为热备，以保证列控信息的安全性、可靠性。自建网络由城轨独立运营，故障响应时间有保障；地铁用户数据保存在本地，私密性好，安全性高；本地核心网与云平台互连，任务时延小。

运营商可划分独立频段给城轨，或城轨使用非授权频段（如 5.8 GHz、60 GHz 毫米波）。

该方案缺点是初期建网投资高，维护费用高，

且 5.8 GHz 以上频点不受保护，易受干扰；频段过高无法使用漏缆，隧道内覆盖困难。

城轨自建独立专网结构如图 5 所示。

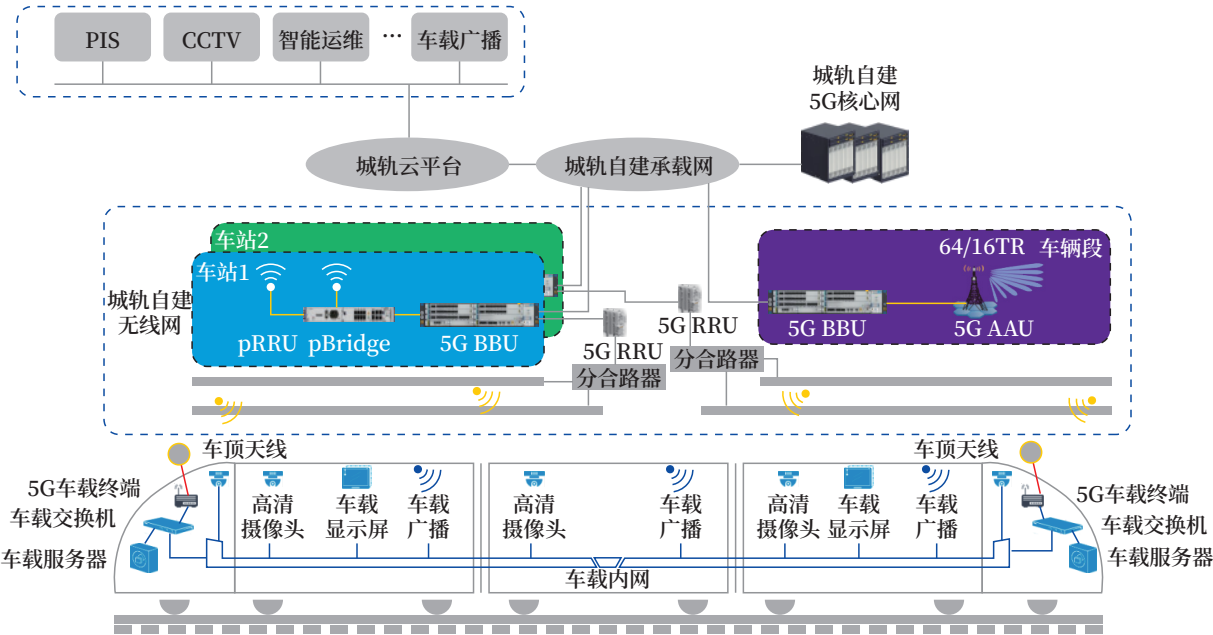


图5 城轨自建独立专网结构示意图

Fig.5 Schematic diagram of the structure of a self-built independent private network of urban rail transit

6 组网方式比较

城市轨道交通 5G 公网各融合组网方案的优缺点比较，如表 1 所示。

由于 5G 的网络分布式架构能够提供灵活多样的组网方案、MEC 技术也能保证城轨应用的安全

与高效，故城轨 5G 公网融合的网络平台，其组网方案可根据具体业务需求，综合评估安全性与建网投资、维护费用等，灵活选择。

7 目前城轨5G应用现状

当前国内各城市轨道交通集团都在积极研究

表1 城轨5G组网方案比较
Tab.1 Comparison of 5G networking schemes for urban rail transit

5G 公网共享的资源类型	虚拟专网		混合组网		独立建网
	软切片	硬切片	使用运营商 5G 网络，自建 UPF 及 MEC 网元	自建专用小型化 5G 核心网，共享基站	城轨专网
安全性	较低	较低	中	较高	高
用户数据隐私	低	低	中	高	高
故障响应时间	低	低	中	较高	高
频率资源及系统容量	高	高	高	高	低
承载业务	维护类业务 服务类业务	生产类车地宽带业务 维护类业务 服务类业务	生产类车地宽带业务 维护类业务 服务类业务	生产类车地宽带业务 维护类业务 服务类业务	生产类车地宽带业务 维护类业务 服务类业务 双网冗余时可承载行调类业务
成本分析	低	较低	中	较高	高

5G 公专网在城轨中的应用技术, 相继发布了 5G 应用白皮书。各公网运营商也都积极推进 5G 网络在地铁中的覆盖: 如成都地铁 10 号线在太平园站布署了公网 5G 室内分布系统; 大连地铁 1 号线大连北站为乘客提供基于公网 5G 通道的无线局域网 (Wireless Fidelity, Wi-Fi) 信号, 郑州地铁 5 号线及京港地铁 16 号线北段也已全线实现 5G 公网覆盖。以上案例都为 5G 公专网在城轨的应用创造良好的条件。

在此基础上, 杭州地铁在钱江路站展示 5G 智能货柜、5G+AR 地铁全息教学、5G 巡检机器人等多项应用; 深圳地铁 11 号线实现了国内首例公网 5G 承载 CCTV 系统应用, 列车上共 40 个高清摄像头的监控视频、设备监测等高达 25 G 的车载数据, 在 150 s 内通过设置在列车上和车站站台的 5G 传输设备完成自动传输。

8 总结

当前, 国家 5G 频率全部授权给公网运营商, 中国移动拥有两段共 260 MHz 频段, 中国电信、中国联通及广电各拥有 100 MHz 频段, 资源丰富。同时, 5G 网络拥有灵活高效的切片技术、边缘计算技术等, 能够保证运营商为城市轨道交通提供安全高效的定制化网络服务; 因此, 城轨可根据自身需求, 结合公网资源及 5G 先进技术量身订制, 搭建高带宽、高安全性、高传输质量的公专融合的 5G 混合专网。

本文对城轨 5G 公专网融合的各种可行方案进行分析比选, 为未来城轨 5G 公专网融合建设规划提供参考, 为建设智慧城轨提供技术支撑, 助力城市轨道交通高质量发展。

参考文献

[1] 周晓勤. 城轨交通 智慧先行 《中国城市轨道交通

通智慧城轨发展纲要》发布词 [J]. 城市轨道交通, 2020 (4): 30-31.

[2] 董炜, 周云. 5G 通信技术在城市轨道交通视频监控系統中的应用 [J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23 (S2): 153-155.

Dong Wei, Zhou Yun. Application of 5G Communication Technology in Urban Rail Transit Video Monitoring System[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(S2): 153-155.

[3] 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.

[4] 高翔. 5G 移动通信技术在城市轨道交通车地无线通信系統中的应用 [J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21 (S2): 61-64.

Gao Xiang. Application of 5G Mobile Communication Technology in Urban Rail Transit Vehicle-Ground Wireless Communication System[J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(S2): 61-64.

[5] 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.

[6] 李雪, 许扬. 5G-R 信令组网方案研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17 (10): 33-36.

Li Xue, Xu Yang. Research on 5G-R Signaling Networking Scheme[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(10): 33-36.