 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i5.5669

Research on Wireless Communication System Scheme for Four Network Integration of Urban Rail Transit

Jingli Jiao

CRSC Research & Design Institute Group Co., Ltd., Beijing, 100073, China

Abstract

In response to the requirements of building a strong transportation nation and the development strategy of 5G, and in accordance with the "Outline" of the 14th Five Year Plan and the "Notice of the Ministry of Industry and Information Technology on Accelerating the Development of 5G", China is actively strengthening the construction of new 5G infrastructure, fully leveraging the capabilities of 5G systems, while combining 5G technology to build a unified wireless communication solution for the four network integration of national railways and urban rail transit. This article analyzes the existing wireless communication system solutions for mainline railways, intercity railways, suburban railways, and urban rail transit, and ultimately proposes a solution for the four network fusion wireless communication system based on 5G technology, providing reference and inspiration for the wireless communication system solutions of the four network fusion lines in urban rail transit.

Keywords

Four network integration; 5G; Wireless communication system

城市轨道交通四网融合无线通信系统方案研究

焦景丽

北京全路通信信号研究设计院集团有限公司，中国 · 北京 100073

摘　要

为响应国家交通强国和5G发展战略要求，结合国家“十四五”规划《纲要》的四网融合以及《工信部关于推动5G加快发展的通知》，我国正在积极加强5G新型基础建设、充分发挥5G系统能力，同时结合5G技术构建国铁和城市轨道交通统一的四网融合无线通信方案。本文对干线铁路、城际铁路、市域郊铁路及城市轨道交通的既有无线通信系统方案进行剖析，最终形成基于5G技术的四网融合无线通信系统建议解决方案，为城市轨道交通四网融合线路无线通信系统方案提供参考和借鉴。

关键词

四网融合；5G；无线通信

1 引言

2019 年 9 月，中共中央、国务院发布的《交通强国建设纲要》中指出：要推进干线铁路、城际铁路、市域（郊）铁路与城市轨道交通的融合发展；2021 年 2 月，由中共中央、国务院印发的《国家综合立体交通网规划纲要》中，曾指出：推动干线铁路、城际铁路、市域（郊）铁路的融合发展建设，要做好与城市轨道交通衔接协调，构建运营管理和服务“一张网”，实现设施互联、票制互通、安检互认、信息共享、支付兼容；2021 年 3 月份，国务院办公厅转发国家发展改革委等单位的《关于进一步做好铁路规划建设工作意见》的通知中，也明确指出：要全面推进干线铁路、城际铁路、市域（郊）铁路和城市轨道交通的融合、资源共享、支付兼容。伴随着国家多个指导意见的出台以及随着城际铁路、市域（郊）铁路逐步进入大规模规划和发展的新阶段，轨道交通“四网融合”已成大势所趋。

【作者简介】焦景丽（1985–），山东东明县人，硕士，工程师，从事城市轨道交通通信系统研究。

2 既有无线通信技术制式及发展趋势

无线通信是实现轨道交通数字化、智能化、网络化的重要技术，应坚持全程全网集中统一管理的原则，推进“四网”通信系统互联互通，以便更好地服务于跨线列车运输指挥。目前“四网”使用的无线通信业务需求不同，技术制式多样，各种制式的无线通信技术在使用频率、业务容量、未来发展趋势等方面也各不相同，这给列车跨线运行的“四网融合”无线通信设计带来了挑战。因此，推进“四网融合”的首要任务是解决列车跨线运行时的无线通信系统的融合。

2.1 城市轨道交通既有无线通信技术制式及发展趋势

我国城市轨道交通无线通信技术经历了由窄带通信向宽带通信，模拟集群向数字集群再向宽带集群的发展。其中主要无线通信技术有 Tetra，WLAN，LTE-M 等。

TETRA 是欧洲电信标准协会推荐的标准，它基于

TDMA 将 25kHz 带宽分成 4 个信道， TETRA 系统是一种比较先进的无线数字集群标准。在我国城市轨道交通行业，TETRA 技术作为无线集群调度通信系统的主要技术之一，实现了多种功能。主要包括无线集群调度通信、短消息传送及少量数据传输等。但 TETRA 技术为窄带语音通信技术，无法支持视频通信等宽带语音业务。

无线局域网(WLAN)基于 IEEE 802.11 标准，技术成熟，标准和产业链完善，组网方式灵活。WLAN 的早期标准并不是为高速移动而设计，因此在高速移动环境下存在丢包、通信中断等问题。WLAN 设备厂家多采用私有协议，无法实现不同厂家间的互联互通。

LTE-M 系统采用 OFDM 等多种技术，全 IP 网络架构，移动速率高达 120km/h ~ 350km/h，在这样高的移动速率下移动终端仍能很好地保持与网络的连接。LTE-M 宽带无线数字集群通信系统是在 TD-LTE 基础上发展起来的，具有高速率、大带宽的优点。为了对车地无线进行整合，减少设备投资和维护管理，国内部分轨道交通线路采用 LTE-M 综合承载的方案，将 LTE 作为信号 CBTC、集群调度、PIS、视频监视无线业务的综合承载网。

伴随着《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》的发布，城市轨道交通行业各类智慧应用进入快速发展阶段，对于无线网络的需求也越来越高。传统的 TETRA、WLAN 等系统已经无法满足智慧城轨发展的需要，严重限制了各种智慧应用的落地与实施。

2020 年，南京地铁联合通号院、铁四院、联通和华为公司在马群车辆基地打造全国首个 5G+ 智慧轨道示范项目，开展全场景、新架构、全业务、边缘云测试和应用部署。5G 公专网是基于运营商 5G 公网，利用网络切片技术，通过提供专门的网络能力，进而承载城市轨道交通中的语音、数据等多种业务，覆盖城市轨道交通全场景，实现 5G 公网专用的网络。

5G 公专网通过在城市轨道交通侧设置边缘计算节点，来实现城市轨道交通业务不出线路，避免流量迂回。5G 公专网由 5G 核心网、5G 专用边缘计算节点、无线接入网、5G 专用用户设备等组成，5G 公专网典型架构图如图 1 所示：

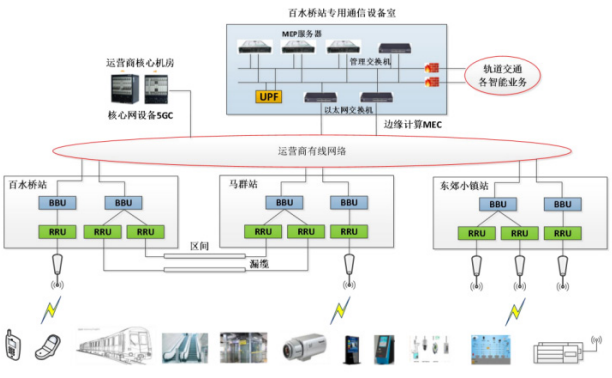

图 1 5G 公专网典型架构

但是由于城市轨道交通行业没有频率资源，只能租用运营商网络。

2.2 干线铁路、城际铁路、市域郊铁路既有无线通信技术制式及发展趋势

GSM-R 系统是专门为铁路通信设计的专用数字移动通信系统。GSM-R 能够为铁路专用调度通信提供无线列调、编组调车通信、应急通信等语音功能，也是列车自动控制、检测信息的数据传输通道，还可提供列车自动寻址与旅客服务。在中国铁路的频段为上行 885-889MHz，下行方向为 930-934MHz。

随着铁路数字化改造的进行，对无线带宽大带宽的需求日益突出，基于 2G 技术构建的 GSM-R 系统已无法满足现代铁路的发展需求，中国铁路积极推进建设 5G 网络等新型基础设施，在 5G 技术基础上结合铁路应用需求，创新研发的新一代铁路专用移动通信技术体系，适应铁路智能化发展需要。5G-R 是基于 2100 MHz 的铁路 5G 专用移动通信。

5G-R 系统由核心网、接入网、用户终端设备、运营与支撑系统等设备组成。核心网由全路共用设备、局核心网设备、边缘计算节点设备组成；无线接入网由基站、天线、漏缆等组成，基站由宏覆盖基站和本地覆盖基站组成；用户设备分为终端设备、业务终端和 SIM 卡。运营与支撑系统包括网络管理、网络切片管理、网络数据管理、终端数据管理等设备单元； 应用接口 / 接入管理设备分为全路共用设备和局集团公司设备两种类型： 1) 全路共用设备包括 5G-GROS、一级 CMP 和一级 RMS-I；2) 局集团公司设备包括 5G-GRIS、二级 CMP 和二级 RMS-I。

5G-R 的集群通信采用基于 3GPP R16 标准的 MC 技术，5G-R 核心网设置 MC 设备负责集群业务的处理，MC 设备包括 SIP core、接口网关、MC 应用服务、网管等，架构如图 2 所示。MC 设备支持铁路宽带集群通信业务功能，能够与移动终端设备、5GC（5G 核心网）设备、5G-IN（5G 智能网）设备、其他 MC 设备、铁路多媒体调度通信系统、GSM-R 系统、有线调度通信系统等实现互联互通。通过 MC 设备，5G-R 可以与其他通信系统互联，提供有线无线融合的调度通信业务。

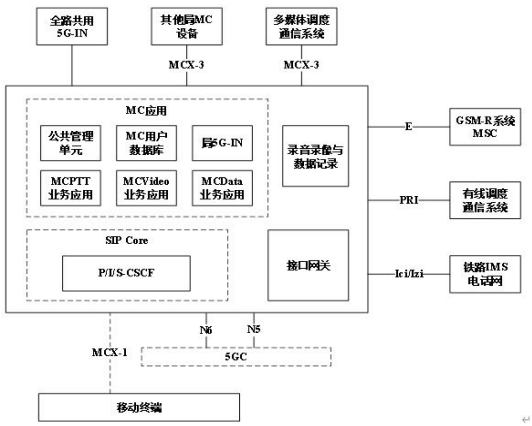

图 2 5G–R MC 设备系统架构

3 城市轨道交通四网融合无线通信技术制式方案研究

列车跨线运行,需要统筹规划、构建一体化的运营服务。因此在列车跨线运行至不同线路时，无线通信系统需承载与行车相关的调度通信及列车控制信息的传送。这既是列车跨线运行的“四网融合”发展需求的重要前提，同时也是城市轨道交通四网融合无线通信设计时应重点考虑的内容。

伴随着《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》和《中国城市轨道交通绿色城轨发展行动方案》的发布，城市轨道交通行业各类智慧化、绿色化的应用进入快速发展阶段，对于无线通信网络的需求越来越高。5G 技术具有大带宽、低时延的特性，可以为城市轨道交通提供所需的无线通信带宽，成为城市轨道交通车地综合通信系统的有效补充。

3.1 城市轨道交通四网融合无线通信系统方案分析

目前在城市轨道交通中应用的集群调度通信有 MC 集群、TETRA 数字集群、B-TrunC（宽带集群通信）。由于 3GPP MC 标准支持 5G，对采用 5G 制式的城市轨道交通、市域（郊）铁路都可提供集群调度功能，也具备与干线铁路、城际铁路、市域郊铁路未来演进到 5G-R 的良好的互联互通性。

目前，城市轨道交通 5G 公专网应用已经趋向于成熟，随着铁路 5G-R 频段批复工作的推进，构建基于 5G-R 频段的城市轨道交通 5G 专网无线通信系统方案是实现四网融合的关键方案之一。

目前城市轨道交通行业 5G 技术的应用主要是通过租用运营商的网络，建设 5G 公专网，通过这个理念，随着铁路 5G-R 技术的推进，城市轨道交通可以通过租用铁路 5G-R，利用 MC 支持宽带集群通信业务并能和其他有线通信系统互联互通的功能，实现干线铁路、城际铁路、市域（郊）铁路和城市轨道交通无线通信系统的互联互通。

3.2 城市轨道交通四网融合无线通信系统设计原则

无线通信作为交通运输和调度指挥的重要通信手段之一，在进行无线通信设计时，需遵循以下基本原则：

①坚持全程全网集中统一管理的原则开展顶层设计，推进“四网”通信系统互联互通。网络架构应适配跨线运行调度指挥体系和本线运维管理体制。

②无线电使用频率应符合国家和地方无线电管理的有关规定。

③系统制式应优先满足列车运行控制、调度通信等关键业务需要,按照本线为主、跨线延伸、分层部署、终端兼容、网间互通的原则选择适合的无线通信系统制式。

④无线通信系统的互联互通方案应结合运营需求和维护管理情况确定，并根据需要，与相关通信系统、应用业务系统进行互联。

⑤应结合无线通信技术现状和演进趋势，在基础设施、设备兼容性、 互联互通接口等方面为轨道交通领域下一代通信技术的应用预留条件。

⑥根据区域铁路总体规划要求、相关铁路无线通信业务需求和运营维护管理需求，从应用业务互通、移动通信网络互联、移动终端适配等方面考 虑通信业务或系统的互联互通设计。

⑦有跨线运行关系的线路采用不同制式的移动通信系统时，在跨线运行区段应优先采用基于车载无线通信设备适配地面无线通信系统，特殊情况 下可采用基于地面无线通信系统适配车载无线通信设备的方式实现互联互通，在列车跨线运营接轨站区需要进行不同制式的移动通信系统信号重叠覆盖，满足业务互通和切换的需要。当采用基于车载设备适配地面无线通信系统的方式时， 跨线运行的列车车载无线通信设备同时支持多种制式的移动通信系统。

4 总结与展望

工信部已经向中国国家铁路集团有限公司批复以 5G 技术为基础的铁路新一代移动通信系统（5G-R）试验频率，支持国家铁路开展 5G-R 系统外场的相关技术试验，继续推动铁路通信事业向更高质量发展。5G-R 拟使用频段是 2100MHz，工业和信息化部表示，下一步将会同铁路主管部门继续合作，做好铁路中长期无线电频率使用规划及落实工作，不断优化调整铁路无线电频率资源的配置，截至目前，5G-R 的频率尚未得到批复，需要持续关注。

目前城市轨道交通通过租用运营商的 5G 公网组建 5G 公专网，那么将来能否通过租用国铁 5G-R 来承载城市轨道交通无线调度业务也是一个需要持续关注的问题。

参考文献

[1] 裴顺鑫,孙舒淼. 5G+南京地铁创新探索[J].城市轨道交通,2020(9):24-27.

[2] 何涛,党选丽.城市轨道交通5G公专网建设思路探讨[J].现代城市轨道交通,2021(12):85-90.

[3] 李辉,张新波.公专融合5G车地无线通信系统[J].光通信研究,2021(03):72-78.

[4] 周宇晖,铁路5G专网系统架构和组网技术研究,[J]中国铁路,2024(5):46-48.