

深圳都市圈城际铁路调度通信系统研究

徐 磊

(深圳铁路投资建设集团有限公司, 518026, 深圳//工程师)

摘 要 建设一个一体化调度指挥的通信系统,是当前深圳都市圈城际铁路建设的重点工作。在分析国家铁路和地铁调度通信系统方案及特点的基础上,结合深圳都市圈城际铁路网的建设运营规划,从通信系统建设应用角度分析了深圳都市圈城际铁路网的建设需求,提出基于业务与承载分离原则构建其调度通信系统。即:采用仅支持数据功能的 LTE-M(城市轨道交通车地综合通信系统)作为无线通信承载系统,采用基于关键业务通信机制的 MCX(MCPTT(关键语音)、MCData(关键数据)和 MCVideo(关键视频)的统称)方案作为调度通信业务系统,以满足深圳都市圈城际铁路线间互联互通和自主运营的要求。

关键词 深圳都市圈;城际铁路;调度通信系统;一体化调度指挥

中图分类号 U284.5

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.11.007

Research on Intercity Railway Dispatching Communication System in Shenzhen Metropolitan Area

XU Lei

Abstract Development of an integrated dispatching communication system is the current key work for intercity railway project construction in Shenzhen metropolitan area. Through a comparative analysis of the schemes and characteristics of national railway communication system and metro dispatching communication system, then based on the construction and operation planning of intercity railway network in Shenzhen metropolitan area, the construction requirements of this network is analyzed from communication system construction and application perspective. Based on this, a dispatching communication system construction based on the separation of service from bearer is proposed. The system will use LTE-M (long-term evolution for metro) that only supports data function as the wireless communication bearer system, and use MCX, including MCPTT (mission critical push to talk), MCData (mission critical data) and MCVideo (mission critical video) based on the key service communication mechanism as the dispatching service system, so as to meet the requirements of interop-

eration and independent operation between intercity railway lines in Shenzhen metropolitan area.

Key words Shenzhen metropolitan area; intercity railway; dispatching communication system; integrated dispatching

Author's address Shenzhen Railway Investment and Construction Group Co., Ltd., 518026, Shenzhen, China

1 深圳都市圈城际铁路网规划及其特点

1.1 粤港澳大湾区城际铁路网整体规划情况

2020年,国家发展和改革委员会批复了发改基础[2020]1238号《关于粤港澳大湾区城际铁路建设规划的批复》。该批复明确提出:“提升粤港澳大湾区(以下简称“大湾区”)城际交通供给质量,服务粤港澳大湾区建设,打造轨道上的大湾区;近期(2025年)大湾区铁路网络运营及在建里程达到4 700 km,全面覆盖大湾区中心城市、节点城市和广州、深圳等重点都市圈;远期(2035年),大湾区铁路网络运营及在建里程达到5 700 km,覆盖100%县级以上城市。”因此,建设都市圈城际铁路网已成为大湾区新时期轨道交通建设的重点任务。

1.2 深圳都市圈城际铁路的特点

依据规划,大湾区城际铁路网建设需以“公交化运营、一体化管理、一站式服务”为目标,在此基础上加强对广东省城际铁路技术标准体系的总体研究和专题研究。与依据国家铁路局《城际铁路设计规范》建设的既有珠江三角洲(以下简称“珠三角”)城际铁路不同,深圳都市圈城际铁路具有“高峰时段客流量大、经过主要城区且地下站多、客运需求变化大”等特点。为了节约项目投资,提升线路运营的灵活性,贴合公交化运营的目标,深圳都市圈城际铁路在信号、通信等系统设备的选型方案上无法照搬国家铁路(以下简称“国铁”)的相关系列标准。

另一方面,基于行车组织的要求,深圳都市圈

城际铁路需实现网络化过轨运营的功能。为保证各线路间可贯通运营,各线路通信系统的构成、制式与功能需保持一致。与地铁线网内各线路通信自成系统不同,深圳都市圈城际铁路通信系统设计要从线网层面出发,整体考虑各线路的配置和功能,以实现全线网一体化运营。此外,深圳都市圈城际铁路计划由城市轨道交通企业负责其运营管理业务,因此在调度通信系统的设计上应尽量满足运营的灵活性和自主性要求。

2 深圳都市圈城际铁路调度通信系统选型方案分析

调度通信系统作为铁路通信网中最为重要的专用通信应用系统,为列车行车提供了重要的安全保障。该系统在国铁和地铁领域有着不同的系统设计方案。一般来说,调度通信系统可以分为无线调度通信系统和有线调度通信系统两部分,这两部分分别负责调度员和列车司机、调度员和车站值班员的语音调度业务。另外,国铁在无线调度通信系统和有线调度通信系统间开发了系统接口,简化了调度员和值班员的操作步骤。

2.1 国铁调度通信系统方案

现有珠三角城际铁路采用国铁成熟的 GSM-R(铁路数字移动通信)系统方案。珠三角既有城际线路的基站接入中国铁路广州局集团有限公司的 GSM-R 核心网设备,实现了既有城际铁路线的无线通信网络功能(包括列车控制数据传输通道和无线调度通信)。GSM-R 工作在 900 MHz 频段,经过多年在国铁网的应用,其系统成熟性、方案稳定性和互联互通性良好,但仍有如下不足:①系统带宽小,可承载的业务量少;②传输速率低,无法提供图像、视频等多媒体数据;③技术架构老化,采用基于电路域交换的通信系统,业务支持能力与扩展能力均较差。另外,随着移动通信技术的快速发展和产业升级,GSM-R 将面临设备维护和技术支持的困境。

为克服上述不足,中国国家铁路集团有限公司(以下简称“国铁集团”)近年来大力开展对新一代铁路移动通信系统的研究,并对 LTE(长期演进)、5G(第五代移动通信技术)等新技术在铁路行业的应用及铁路调度通信业务的实现等方面做了大量的研发和试验。以 5G-R(铁路 5G 专用移动通信)系统为例,该技术采用 5G 宽带移动通信网络作为基础承载网络,运用了 3GPP(第三代合作伙伴计

划)推出的基于关键业务通信机制的 MCX 方案。其中,MCX 是 MCPTT(关键语音)、MCData(关键数据)和 MCVideo(关键视频)3 个业务的统称。MCX 方案基于 IMS(互联网多媒体子系统)架构,综合了大带宽、低延迟、易于大规模建网等优点,实现了组管理、位置管理、组通信,以及数据传输、视频通信等功能,适用于执行关键业务的场景,可满足集群通信的业务需求。国铁集团新一代的铁路移动通信系统采用业务与承载分离的架构,支持多种通信制式,MCX 方案属于 3GPP 标准,对 GSM-R 的兼容性好,互联互通能力强。

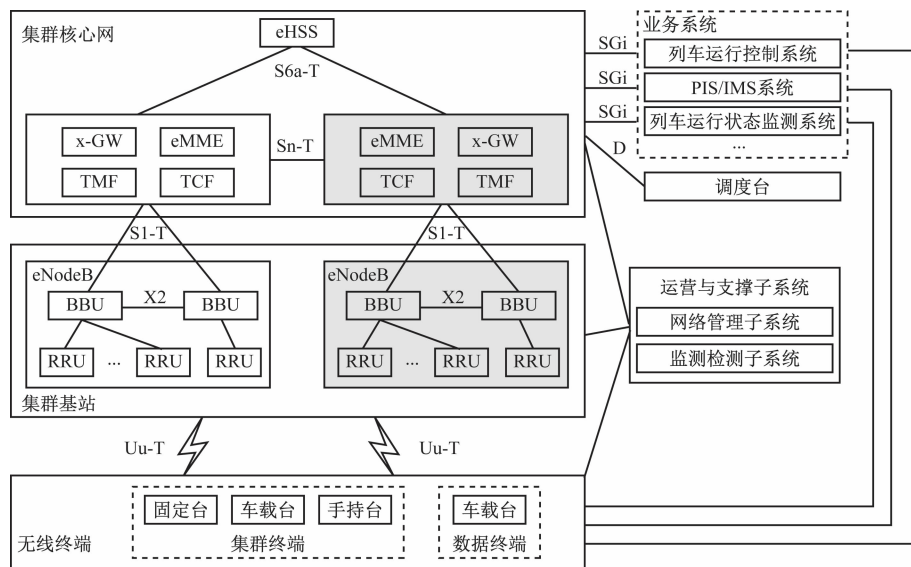
但是,由于深圳都市圈城际铁路部分线路采用 CBTC(基于通信的列车控制)制式的列车控制系统,上述的 GSM-R 或 5G-R 系统并不适用于深圳都市圈城际铁路的相应线路。另外,由于深圳都市圈城际铁路的运营单位与国铁不同,从运营自主性的角度,深圳都市圈城际铁路也需要采用独立的无线通信系统和调度系统。

2.2 地铁调度通信系统方案

我国地铁线路的无线通信系统和调度系统大多采用 TETRA(泛欧集群无线电)和 LTE-M(城市轨道交通车地综合通信系统)。TETRA 工作在 800 MHz 频段,主要用于提供无线语音调度功能,在地铁、公安等领域有着非常成熟的工程应用经验。但由于 TETRA 属于窄带通信系统,业务承载能力较低,且 TETRA 多使用各厂家私有协议,不同线路 TETRA 的互联互通能力较差,因此,目前 TETRA 已逐渐被 LTE-M 替代。

LTE-M 是针对城市轨道交通综合业务承载需求的 TD-LTE(时分-长期演进)系统,在保证 CBTC 车地信息传输的基础上,可同时承载集群调度、列车运行状态监测、视频监控、乘客信息等运营及安全业务。其中,LTE-M 系统的集群调度业务主要运用中国通信标准化协会发起的 B-TrunC(宽带集群通信)方案。支持集群调度及数据功能的 LTE-M 主要基于 3GPP R9 版本的 LTE 技术,在保持标准的接口协议栈结构基础上,对物理层、MAC(介质访问控制)层、RRC(无线资源控制)层进行了修改,并新增了部分下行逻辑信道和下行传输信道。其系统架构图如图 1 所示。

LTE-M 是基于分组交换的宽带通信系统,其数据传输带宽和业务支持能力较窄带通信系统有了很大的提升。但对于集群调度业务而言,B-TrunC 方案在部分集群业务功能中嵌入了系统网元,这在



注：eHSS——演进的归属签约服务器；x-GW——S-GW（服务网关）与 P-GW（分组数据网关）的逻辑统称；eMME——演进的移动性管理实体；TMF——集群媒体功能体；TCF——集群控制功能体；eNodeB——演进的基站节点；BBU——基带处理单元；RRU——射频拉远单元；S6a-T——eHSS 与集群核心网之间的参考点；Sn-T——集群核心网和集群核心网之间的参考点；S1-T——集群基站和集群核心网之间的参考点；X2——eNodeB 和 eNodeB 之间的参考点；Uu-T——集群终端和集群基站之间的参考点；SGi——集群核心网和数据业务网之间的参考点；D——集群核心网和调度台之间的参考点；PIS——乘客信息系统。

图 1 支持集群调度及数据功能的 LTE-M 架构示意图

Fig. 1 Architecture diagram of LTE-M system supporting cluster dispatching and data transmission

提升网络支持集群调度业务能力的同时，也降低了业务与承载分离、支持多种通信制式的能力，因此，LTE-M 的网络互联互通能力相比 MCX 方案弱。

2.3 深圳都市圈城际铁路调度通信系统需求分析

综上所述，国铁和地铁领域的调度通信系统在制式、频段、结构和功能等方面均有较大的不同。目前，广东省已开通和在建城际铁路的通信系统多采用国铁 GSM-R 制式，而最新审批通过的城际铁路的通信系统则部分采用地铁 LTE-M 制式。为满足大湾区城际铁路一体化管理和跨线运营统一调度的要求，深圳都市圈城际铁路调度通信系统需具备较强的互联互通和兼容能力，以保证在 LTE-M 和 GSM-R 制式下跨线运营调度通信业务的互联互通，以及在 LTE-M 制式下不同线路间调度通信业务的互联互通。

3 深圳都市圈城际铁路调度通信系统建议

3.1 建议方案

结合深圳都市圈城际铁路网络化的系统需求和自主运营的功能特点，根据工信部无〔2015〕65 号《工业和信息化部关于重新发布 1 785 ~ 1 805 MHz 频段无线接入系统频率使用事宜的通知》的相关要求，深圳都市圈城际铁路调度通信系统建议方

案为：利用 1 800 MHz 频段，采用仅支持数据功能的 LTE-M 作为无线通信承载系统，采用基于关键业务通信机制的 MCX 方案作为调度通信业务系统，并连通有线调度通信系统，以建设有线、无线统一的调度通信系统。其系统架构如图 2 所示。

LTE-M + MCX 调度通信系统具有如下优点：

1) 无线承载网络采用频段为 1 800 MHz 的仅支持数据功能的 LTE-M 系统，所有系统接口均采用 3GPP 标准接口，互联互通性好；LTE-M 为分组交换网络，业务支持能力高，能够承载列车控制、PIS 等轨道交通专用业务。这些业务在地铁工程实践中已有较多的应用。

2) 调度通信系统采用业务与承载相分离的架构。LTE-M 仅作为无线承载网络基础平台，提供无线数据传输链路和服务。此架构有利于跨平台的业务融合，支持后续无线通信系统的升级和改造。

3) 调度通信系统的核心模块关键业务系统采用 3GPP 的 MCX 标准。3GPP 是全球移动通信标准组织，MCX 标准的接口有着很好的互通性和接口开放性，且 MCX 标准在制定时已考虑了与 GSM-R 间的互通需求，能够很好地与有线调度通信系统及 GSM-R 实现互联互通。

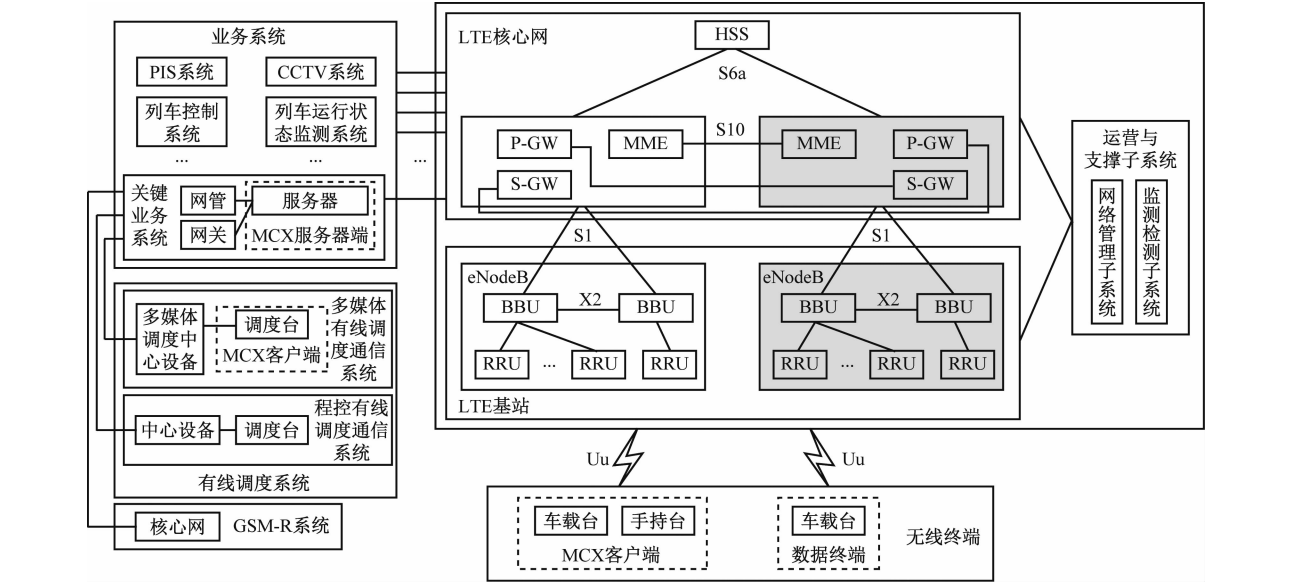


图 2 LTE-M + MCX 调度通信系统架构图

Fig. 2 Architecture diagram of LTE-M + MCX dispatching communication system

3.2 MCX 关键业务调度系统架构

基于本文提出的建议方案,MCX 关键业务调度系统是深圳都市圈城市轨道交通调度通信系统的核心模块,其系统架构如图 3 所示。

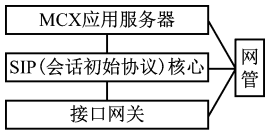


图 3 基于 MCX 方案的关键业务调度系统架构示意图

Fig. 3 Architecture diagram of key business dispatching system based on MCX scheme

1) MCX 应用服务器用于关键语音、数据、视频的管理与控制,应包含公共管理、用户数据库、MCX 业务应用、业务控制点等功能实体。其中:公共管理可实现关键业务的配置、群组、身份、密钥、位置、功能号、迁移等管理功能;用户数据库用于存储关键业务、用户配置文件等数据;MCX 业务应用可完成基于语音、数据、视频调度业务的控制和处理;业务控制点用于基于功能寻址和位置寻址的业务功能管理。

2) SIP 核心用于实现信令面 SIP 消息的注册、服务选择和路由功能等。

3) 接口网关用于实现协议转换、媒体转换、地址翻译等功能,并支持与 GSM-R、有线调度通信系

统的互联互通。

3.3 与大湾区城际铁路调度通信系统互联互通的建议

要实现大湾区城际铁路一体化管理和互联互通,大湾区城际铁路全网的调度统一指挥系统必不可少。深圳都市圈调度通信系统建设方案的选择,既要兼容既有珠三角城际铁路无线通信的 GSM-R 制式和有线通信的程控交换制式,也要满足国铁集团正在研发的新一代铁路调度通信制式。

此外,还需加强对包含大湾区城际铁路一体化调度指挥中心、广州都市圈城际铁路控制中心、深圳都市圈城际铁路控制中心在内的整个调度指挥网络构建方案的研究和设计。应结合各中心网络构建方案,尽快制定大湾区城际铁路全网的设备、用户编码规则和 IP(互联网协议)地址分配原则,并编制不同制式系统间的接口规范和操作原则。

4 结语

都市圈城际铁路建设已迎来快速发展时期。与既有的珠三角城际铁路不同,都市圈城际铁路线间的互联互通和兼容要求更高、更复杂。为实现都市圈轨道交通“四网融合”的目标,构建一套既能满足互联互通又能满足自主运营需求的调度通信系统,是城际铁路整体运营和管理的需要。本文提出

在深圳都市圈城际铁路网采用仅支持数据功能的 LTE-M 无线通信承载网络 + MCX 关键业务调度通信系统方案,该方案业务与承载分离,既可以满足现有频率资源条件下调度通信系统的建设和运营,满足互联互通的运营要求,又能支持无线承载网络的通用性,为未来专用无线通信网络的升级提供可能。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 关于粤港澳大湾区城际铁路建设规划的批复(发改基础[2020]1238号)[EB/OL]. (2020-08-03)[2022-03-05]. https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202008/t20200804_1235524.html.
National Development and Reform Commission of the People's Republic of China. Reply on the construction plan of intercity railway in Guangdong-Hong Kong-Macao Great Bay Area (FGJC[2020] No. 1238)[EB/OL]. (2020-08-03)[2022-03-05]. https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202008/t20200804_1235524.html.
- [2] 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2部分:总体架构及系统功能:T/CAM-ET 04005.2—2018[S]. 北京:中国铁道出版社,2018:8.
China Association of Metros. Long term evolution for metro (LTE-M) Generic specification—part 2: general system architecture and function specification; T/CAMET 04005.2—2018[S]. Beijing: China Railway Publishing House Co., Ltd., 2018:8.
- [3] 郭强亮,李辉,闫晓宇,等. 基于关键业务通信机制的铁路智能调度通信技术研究[J]. 铁道标准设计,2021(8):144.
GUO Qiangliang, LI Hui, YAN Xiaoyu, et al. Research on intelligent railway dispatching communication technology based on mission critical services [J]. Railway Standard Design, 2021(8):144.
- [4] 龚晓猷. LTE 与有线调度通信系统互联互通的研究与实现[J]. 铁路通信信号工程技术,2020(9):39.
GONG Xiaoyou. Research and implementation of interoperability between LTE and wired dispatching communication system [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020(9):39.
- [5] 李春铎,郭强亮,蒯伟. LTE-R 宽带移动通信系统调度通信技术方研究[J]. 铁道通信信号,2019(11):16.
LI Chunduo, GUO Qiangliang, LI Wei. Research of LTE-R broadband mobile communication system dispatching technology [J]. Railway Signalling & Communication, 2019(11):16.
- [6] 李春铎,李辉,蒯伟. 铁路 LTE-R 网络 MCPTT 的应用研究[J]. 铁道标准设计,2019(6):164.
LI Chunduo, LI Hui, LI Wei. Application research on MCPTT in railway LTE-R network [J]. Railway Standard Design, 2019(6):164.
- [7] 黄靖茹. LTE-R 架构与组网关键技术的研究[D]. 北京:北京交通大学,2019.
HUANG Jingru. Research on key technologies of architecture and networking in the scenario of long term evolution for railway (LTE-R) [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2019.

(收稿日期:2022-03-14)

(上接第 26 页)

势,构筑城市轨道交通与国家铁路的联系层,助力推动轨道交通“四网融合”,有效解决目前都市圈轨道交通建设的瓶颈问题。

参考文献

- [1] 张丽,高金港. 都市圈轨道交通制式选择影响因素分析[J]. 现代城市轨道交通,2021(10):23.
ZHANG Li, GAO Jin'gang. Analysis on influencing factors of metropolitan rail transit system selection [J]. Modern Urban Rail Transit, 2021(10):23.
- [2] 李得伟,李若怡,兰贞. 巴黎 RER 线现状分析及对我国市域轨道交通发展的启示[J]. 都市快轨交通,2017(5):134.
LI Dewei, LI Ruoyi, LAN Zhen. Introduction of RER Line in Paris and enlightenment to the development of regional rail transit in China [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2017(5):134.
- [3] 贺鹏. 东京轨道交通直通运营特征分析及启示[J]. 都市快轨交通,2021(5):155.
HE Peng. Characteristics of rail transit through operation in Tokyo and their implications for China [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2021(5):155.
- [4] 汤莲花,徐行方. 国外典型都市圈市域铁路发展及启示[J]. 中国铁路,2018(9):107.
TANG Lianhua, XU Xingfang. Development of suburban railways in typical metropolitan circles outside China [J]. China Railway, 2018(9):107.
- [5] 曾小清,赵时旻, M. Matsumoto. 日本轨道交通列车运行控制系统[J]. 城市轨道交通研究,2007(4):57.
ZEGN Xiaoqing, ZHAO Shimin, M. Matsumoto. Introduction of train operation control system in Japan [J]. Urban Mass Transit, 2007(4):57.
- [6] 宗晶. 国外三大城市轨道交通模式研究[J]. 交通标准化,2011(17):73.
ZONG Jing. Rail transit modes of three cities at abroad [J]. Transportation Standardization, 2011(17):73.
- [7] 江捷,宋家骅,邵源. 大都市圈轨道交通快线布局比较及其启示[J]. 城市轨道交通研究,2017(1):6.
JIANG Jie, SONG Jiahua, SHAO Yuan. Comparative study of the layout patterns of regional transit network in metropolitan area [J]. Urban Mass Transit, 2017(1):6.

(收稿日期:2022-03-14)