

面向城际铁路直通运行的区域轨道交通 电子地图数据管理方案*

黄苏苏^{1,2} 李 刚¹ 李 克¹ 杜 萌¹

(1. 中国铁道科学研究院集团有限公司通信信号研究所, 100081, 北京; 2. 北京交通大学电子信息工程学院, 100044, 北京)

摘 要 [目的] 在新一轮都市圈轨道交通一体化建设中, 通过发展列车直通运行来缩短旅客转运时间, 跨制式的城际铁路直通运行需要实施高效的列车运行调度管理, 不同线路电子地图基础数据的统一管理是关键。[方法] 基于区域内多制式线路电子地图数据统一管理的实际需求, 调研 CBTC (基于通信的列车控制) 和 CTCS (中国列车运行控制系统) 的电子地图应用现状, 对比分析不同制式信号系统电子地图的信息内容、获取方式及传输媒介的差异, 提出一种基于区域中心、局管平台、本地工作站三级架构的区域轨道交通线路数据管理系统, 并详细介绍了该系统的数据存放结构、数据下载方式和平台软件特征。[结果及结论] 建立统一的管理区域内不同线路电子地图基础数据系统, 能够更好地服务于区域轨道交通数据综合、资源共享、管控一体的发展, 保障区域轨道交通一体化联动指挥, 形成多层次综合交通体系, 助力大城市群区域轨道交通一体化高质量发展。

关键词 轨道交通; 互联互通; 直通运行; 电子地图; 数据管理

中图分类号 P283.7: U239.5

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.01.038

Regional Rail Transit Electronic Map Data Management Scheme for Intercity Railway Through-operation

HUANG Susu^{1,2}, LI Gang¹, LI Ke¹, DU Meng¹

(1. Signal and Communication Research Institute of China Academy of Railway Sciences Group Co., Ltd., 100081, Beijing, China; 2. School of Electronic and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, 100044, Beijing, China)

Abstract [Objective] In the new round of metro politan rail transit integration construction, enhancing train through-operation is crucial for reducing passenger interchange time. Cross-system intercity railway through-operation requires efficient train operation and scheduling management, and unified management of electronic map basic data for different lines is

the key. [Method] Based on the practical demand for unified management of regional multi-system line electronic map data, the current application status of electronic maps in CBTC (communication-based train control) and CTCS (China train control system) systems is investigated. The differences in information content, acquisition methods, and transmission media of electronic maps for different signaling systems are comparatively analyzed. A regional rail transit line data management system based on a three-tier architecture comprising a regional center, local control platforms, and local workstations is proposed. Additionally, the data storage structure, data downloading method, and platform software features of the system are detailed. [Result & Conclusion] Establishing a unified management system for electronic map basic data of different lines within a region can better serve the comprehensive development of regional rail transit data synthesis, resource sharing, and management-control integration, which ensures integrated linkage command of regional rail transit, forms a multi-tiered comprehensive transportation system, and facilitates the high-quality development of regional rail transit integration in megapolitan areas.

Key words rail transit; interoperability; through-operation; electronic map; data management

随着区域轨道交通建设的不断延伸, 在新一轮都市圈城际铁路项目建设中, 为了提高轨道交通网络的整体运输效率, 不再推荐乘客通过站内换乘的方式衔接不同线路, 转而大力发展列车直通运行的模式以进一步缩短旅客转运时间。直通运行是一种旅客运输概念, 指列车根据规定的时刻表在不同的线路、网络、运营商所提供的基础设施之间行驶, 行驶过程中乘客可在车上停留而不下车。直通运行的旅客运输模式可以共用部分基础设施, 盘活利用既有线路资源, 减少新建线路, 节约工程投资, 还

* 国家自然科学基金项目(52172323); 中国铁道科学研究院基金课题(2020YJ133); 北京市丰台轨道交通联合基金重点项目(L211004)

能完善都市圈轨道交通网络的整体功能规划。但在实施过程中,互联互通需要多专业技术的统一或兼容,对需要直通运行线路的基础设施、车辆、牵引供电、信号等各专业都提出了较高的要求^[1]。国铁干线网络内跨路局的直通运行常有,城市轨道交通线路的互联互通也在逐渐完善,但国铁线路与城市轨道交通线路跨制式的直通运行目前还没有开通的案例,需要进一步研究。

1 直通运行对不同制式信号系统的需求

当前我国的信号系统主要有 CTCS(中国列车运行控制系统)和 CBTC(基于通信的列车控制)两种不同的制式。CBTC 系统主要应用于城市轨道交通线路,列车时速低、追踪间隔小,运营组织灵活性高,通常是单条线路独立运营;CTCS 分为 0~4 级,覆盖了从客运到重载、低速到高速、市域郊到主干网等多种场景和不同需求,支持大范围内的互联互通运营。直通运行对信号系统的改造需求主要集中在 CTCS 与 CBTC 两种不同制式的衔接上。为应对这个需求,对于车载系统,可以多套共存;对于联锁系统和调度指挥系统等线路的轨旁设备,可以通过标准化接口来互相传递信息;但对线路的电子地图数据必须要进行统一管理,只有这样才能保证行车安全。

文献[2]描述了满足互联互通 CBTC 系统的通用电子地图的具体内容和实施方案。文献[3]针对灵活编组的互联互通信号系统,提出了电子地图整体设计和动态加载方法。文献[4]根据 CTCS-4 级列控系统电子地图数据文件的不同特点,提出了一种在车载设备 Flash 存储器中存取电子地图的管理方案。

2 轨道交通电子地图应用现状分析

电子地图作为描述线路基础数据信息的重要载体,是保障列车安全运行的重要基础数据。一般意义上,铁路电子地图主要包括地图索引信息文件、轨道地理信息文件、固定应用数据文件等。车载设备通过将电子地图信息和自身测速定位信息结合实现多源融合定位,根据行车许可生成的目标距离曲线监控列车运行。此外,高精度的轨道交通电子地图数据在工务养护、通信运营维护等方面也具有重要价值。

2.1 CBTC 电子地图应用现状

在城市轨道交通 CBTC 系统中,列车在车辆段

内通过人工加载或 WLAN(无线局域网)无线下载的方式加载所运行线路的基础信息。车载设备不但需要本地存储运行线路全部的电子地图数据,还通常由人工逐列对电子地图数据进行更新维护。这样做的优点是线路电子地图数据稳定、可靠性高、支持 ATO(列车自动运行)生成连续的控车曲线,缺点是电子地图数据不易维护、不易拓展。在面对大城市群城际铁路互联互通项目时,随着线路不断拓展,电子地图数据量越来越大,车载设备的存储容量难以满足存储运行线路全部电子地图的需求。

2.2 CTCS 各级系统电子地图应用现状

CTCS-0 和 CTCS-1 采用大储存的方式把所需的运行基础数据存储在列车的车载设备中。LKJ(列车运行监控记录装置)基础数据采用的是版本管理方式,相应版本号的基础数据通过专用数据转存器被导入 LKJ 设备,定期对其进行维护。这种车载基础数据的管理模式在技术条件有限的条件下被广泛应用,但近年来由于线路变更和运行图调整导致 LKJ 车载基础数据更改频繁,人工换装困难较多^[5]。

CTCS-2 是基于轨道电路传输信息的列车运行控制系统。CTCS-2 技术规范定义了应答器的设置规则及报文编制原则,同时规定了用于描述线路数据的用户信息包格式。一般情况下,CTCS-2 的线路基础数据是通过轨旁应答器逐段发送至车载设备,车地通信使用铁路信号安全协议。

CTCS-3 是基于无线传输信息并采用轨道电路检查列车占用的列车运行控制系统。由 RBC(无线闭塞中心)向列车发送行车许可范围内的静态速度区线、坡度信息、线路描述信息、应答器链接信息和临时限速信息。随着列车向前运行,RBC 的行车许可也不断向前延伸。RBC 能够提供最长 32 km 的列车运行信息和线路参数信息。

一般情况下,CTCS-3 的线路数据是由 RBC 逐段发送至车载设备,车地通信使用 GSM-R(铁路综合数字移动通信系统)无线网络。

CTCS-N(N 级 CTCS)中有一个更广泛的电子地图概念,包括轨道电子地图、站场数据、GNSS(全球卫星导航系统)信息等内容。CTCS-N 的电子地图由 TSRS(临时限速服务器)校核更新。列车发车前通过 GSM-R 网络从 TSRS 下载或校核线路电子地图。一般情况下,CTCS-N 的电子地图是由 TSRS 逐段发送至车载设备,车地通信使用 GSM-R 无线网络。

2.3 对比分析

多种制式信号系统电子地图的信息内容、获取方式及传输媒介对比如表 1 所示。

要统一管理不同制式信号系统的电子地图需要解决以下问题：

- 1) 不同厂商的同制式信号系统,因产品架构不同而导致电子地图数据描述方式和文件格式各不相同,无法完全统一。如各厂商 CBTC 系统中的电子地图存在差异,无法直接转换。
- 2) 不同制式的信号系统电子地图包含信息内容不同,无法使用同一个数据包。如:CBTC 电子地图需要包含站台门开关顺序信息,LKJ 的基础数据

需要包含轨道电路载频转换点信息,CTCS-4 电子地图需要包含 GNSS 的轨道地理信息。不同制式信号系统对电子地图数据的精度需求也不同。

- 3) 不同制式信号系统的电子地图获取方式不同,无法完全统一。如:CBTC 和 LKJ 都是采用车载本地存储电子地图,CTCS-2 采用应答器分段传输,CTCS-3 采用 RBC 分段传输,CTCS-4 采用 TSRS 分段传输。
- 4) 轨道交通行业发展的新需求促使信号系统不断升级,对电子地图数据的需求也会不断增加。如 FAO(全自动运行)系统在电子地图中需要包含支持自动过分相功能的分项区信息。

表 1 多种制式信号系统电子地图相关信息对比
Tab.1 Comparison of electronic map relevant information of signaling systems with various formats

系统	闭塞方式	轨旁设备	信息内容	获取方式	传输媒介
CBTC	移动闭塞	计轴、应答器	线路数据、轨道区段数据、轨旁设备数据、安全通信协议栈	人工加载	数据转存器导入
CTCS-0 CTCS-1	固定闭塞	轨道电路、应答器	工务、电务、运输、机务、供电、信息 6 类基础信息	人工加载或 WLAN 无线加载	数据转存器导入或 WLAN 无线加载
CTCS-2	固定闭塞	轨道电路、应答器	地面应答器编号、至出站点的链接信息、接车进路线路参数、目标距离、线路坡度、线路限速、信号机类型、轨道电路载频信息等	应答器逐段发送至车载	RSSP(铁路信号安全协议)
CTCS-3	准移动闭塞	轨道电路、应答器	静态速度区线、坡度信息、线路描述信息、应答器链接信息等	RBC 逐段发送至车载	GSM-R 无线通信网络
CTCS-N	移动闭塞	应答器	索引文件、轨道地理信息、固定应用数据	TSRS 逐段发送至车载	GSM-R 无线通信网络

3 适用于多制式列车直通运行的电子地图数据管理方案

为了促进互联互通,实现不同制式的轨道交通信号系统高效率地网络化运行,本文提出一种区域中心、局管平台、本地工作站三级架构的区域轨道交通线路数据管理系统。在路网指挥中心以轨道地理信息为基础建立区域线路数据管理中心,利用计算机、信息集成等手段,为轨道交通线路基础信息数据生产体系总体规划和高效利用提供技术保障。

3.1 数据存放结构

区域轨道交通线路数据管理系统将区域内的多条线路的电子地图基础数据进行集中管理,按不同的运营单位进行划分,每个运营单位的基础数据再按照线路或者一定的原则划分为若干个相对独立的数据块,数据块中详细描述该线路区段的电子地图基础数据。如图 1 所示,区域内的电子地图管

理平台分为三层架构,在区域控制中心设置区域线路数据管理中心,在不同运营单位管理范围内设置局管线路数据平台,每条线路设置本地的线路数据工作站。

各线路/区段负责维护各自范围内的线路基础数据,对区域内的电子地图基础数据集中管理。既可以将区域内跨局管的不同线路的基础数据编译到一个电子地图文件中,也可以选择只编译本线路(或本局管的几条线路)的数据到一个电子地图文件中。编译生成的线路电子地图基础数据在该列车所属局管单位的局管数据平台进行存放,每个局管的数据版本相对独立。

区域线路数据管理中心的功能主要包括:存储区域内全局的线路基础信息数据库;完成区域内跨局运行列车的电子地图数据下载和校验功能;对区域内电子地图有关的图形和属性信息进行展示、查询、检索,并进行一定程度的数据分析和统计处理。

局管线路数据平台的功能主要包括:收集本单

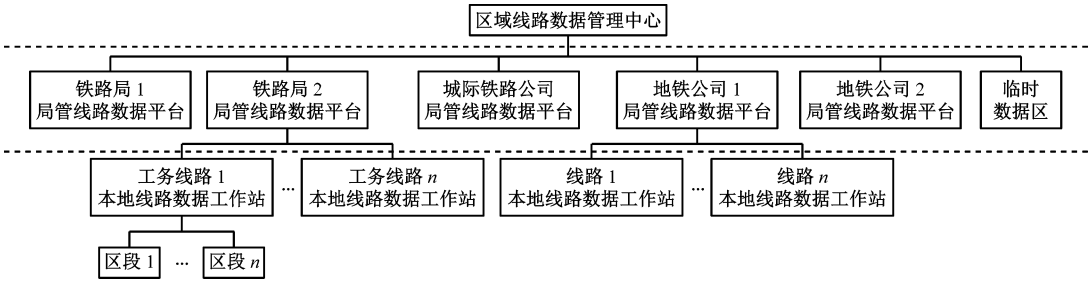


图 1 区域轨道交通线路数据管理系统架构

Fig. 1 Architecture of regional rail transit line data management platform system

位运营范围内的线路基础信息,并发送给上级数据管理中心;完成局管范围内跨线运行列车的电子地图下载和校验功能;对局管范围内电子地图有关的图形和属性信息进行展示、查询、检索及数据分析处理。

本地线路数据工作站的功能主要包括:对本线路基础信息数据库进行管理,并发送给上级数据平台校验;下载和校验本线列车电子地图。

3.2 数据下载

优先考虑在段内、车辆基地下载或更新车载基础线路数据,其次可以在线路上跨区域的转换轨和折返点位置通过无线方式获取地面设备所发送的前方线路电子地图数据,另外还可以通过车站附近的应答器传输前方线路基础数据。区域轨道交通线路数据管理系统提供人工换装数据、无线更新、应答器传输三种基础线路数据下载更新方式,如图 2 所示。三种基础线路数据下载更新方式可以根据实际需求进行选择。

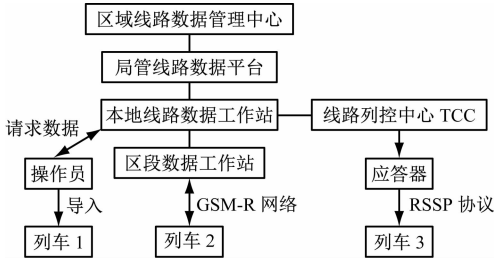


图 2 三种基础线路数据下载更新方式示意图

Fig. 2 Diagram of three kinds of line basic data download and update methods

3.2.1 人工下载

当列车需要采用人工换装车载电子地图基础数据时,需要人工向上级电子地图管理平台提出申请,根据上级电子地图管理平台统一制定的换装计划更新列车电子地图数据,如图 3 所示。被请求的上级管理平台记录详细的换装计划信息,包括:人

工换装时间、地点和操作人员,换装的机车,换装前车载电子地图软件版本信息,换装后电子地图软件版本信息,等等。

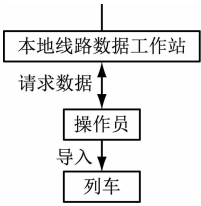


图 3 人工加载线路基础数据流程示意图

Fig. 3 Process diagram of manual loading line basic data

3.2.2 无线传输

当列车需要通过无线方式更新电子地图时,车载设备向地面相应级别的线路数据管理设备进行入网注册,然后进行车地无线传输连接。注册和链接完成后,列车向相应的线路数据管理设备请求更新数据,如图 4 所示。只在本线运行的列车与本线的线路数据工作站(或者区段数据工作站)连接;需要跨线运行的列车与局管线路数据平台连接;需要跨运营单位运行的列车与局管线路数据平台连接,由局管平台再向区域中心请求数据。

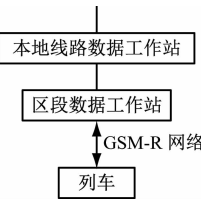


图 4 无线加载线路基础数据流程示意图

Fig. 4 Process diagram of wireless loading line basic data

3.2.3 应答器传输

当列车需要通过应答器传输线路基础数据时,列车按计划通过车载应答器传输模块与地面的应答器通信,接收地面应答器提供的基础数据信息,车载保存更新数据的相关记录,如图 5 所示。线路

列车控制中心统一管理本线的应答器。

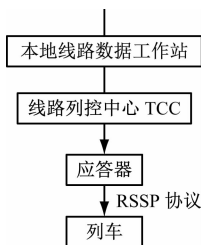


图5 应答器加载线路基础数据流程示意图

Fig. 5 Process diagram of balise loading line basic data

3.3 系统平台功能

区域轨道交通线路数据管理系统支持 C/S(客户端/服务端)结构,能够将相关任务合理分配到客户端和服务端。系统平台能够支持分布式数据管理,保障数据存取的一致性和完备性,能够提供有效的数据存储、访问、管理功能。同时,系统平台还能提供易操作的数据编辑工具及与其他显示系统的转换工具,能够生成符合标准的轨道交通线网地图。

4 结语

在区域轨道交通一体化建设的过程中,为了尽可能减少不同制式的列车共线运行、跨线运行时车载基础数据换装的复杂度及工作量,提高获取线路基础数据的自动化水平,需要对线路基础数据进行统一管理。本文基于区域内多制式线路电子地图数据统一管理的实际需求,调研了 CBTC 和 CTCS 系统的电子地图应用现状,对比分析了不同制式信号系统电子地图信息内容、管理方式、获取方式的差异,提出了一种基于区域中心、局管平台、本地工作站三级架构的区域轨道交通线路数据管理系统,并详细介绍了该系统的数据存放结构、数据下载方式和平台软件特征。旨在更好地服务于区域轨道交通数据综合、资源共享、管控一体的发展,保障区域轨道交通一体化联动指挥,形成多层次的综合交

通体系,助力大城市群区域轨道交通一体化高质量发展。

参考文献

- [1] 李松峰. 城市群多层次轨道交通衔接模式研究[D]. 北京: 北京大学, 2016.
LI Songfeng. Study on the connection mode of multi-level rail transit in urban agglomeration[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2016.
- [2] 乐梅, 王伟, 刘桂宏. 面向互联互通 CBTC 系统的公有电子地图设计方法[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(9): 195.
LE Mei, WANG Wei, LIU Guihong. Design of public electronic map for interconnection-oriented CBTC system[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(9): 195.
- [3] 方兴, 常鸣, 吕新军. 基于灵活编组的互联互通车载电子地图设计及动态加载[J]. 铁道通信信号, 2020, 56(10): 75.
FANG Xing, CHANG Ming, LYU Xinjun. Design and dynamic loading of interconnected vehicle electronic map based on flexible grouping[J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56(10): 75.
- [4] 王飞, 岳林, 赵晓宇, 等. CTCS-4 级列控车载设备电子地图 FLASH 存取管理方案[J]. 中国铁路, 2022(1): 69.
WANG Fei, YUE Lin, ZHAO Xiaoyu, et al. Access management of electronic maps in FLASH memory of CTCS-4 onboard equipment[J]. China Railway, 2022(1): 69.
- [5] 叶永华. 关于 LKJ 车载基础数据换装方案的探讨[J]. 铁路通信信号工程技术, 2016, 13(4): 98.
YE Yonghua. Discussion on the LKJ on-board basic data reloading scheme[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2016, 13(4): 98.

• 收稿日期: 2022-11-28 修回日期: 2023-03-30 出版日期: 2024-01-10
Received: 2022-11-28 Revised: 2023-03-30 Published: 2024-01-10
• 第一作者: 黄苏苏, 助理研究员, 10120289@bjtu.edu.cn
通信作者: 李刚, 研究员, 10120289@bjtu.edu.cn
• ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

敬请关注《城市轨道交通研究》微信视频号

《城市轨道交通研究》微信视频号聚焦轨道交通行业内的热点问题、焦点问题, 以及新技术、新成果, 邀请相关专业领域内的专家学者及高级管理人员以视频方式解读和评述, 是您及时获知行业资讯、深度了解轨道交通各专业领域的最佳平台。您还可以通过该平台查阅往期论文、查询稿件进度、开具论文录用通知书。敬请关注。

