

中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊; RCCSE中国准核心期刊; 日本科学技术振兴机构数据库 (JST) 收录期刊; EBSCO学术数据库收录期刊; 中国核心期刊 (遴选) 数据库收录期刊; 中国学术期刊 (光盘版) 全文收录期刊; 中文科技期刊数据库 (全文版) 收录期刊; 中国学术期刊影响因子年报统计源期刊; 超星期刊域出版平台全文收录

铁路通信信号工程技术

Railway Signalling & Communication Engineering

中国铁道学会通信信号分会指定期刊

主办单位: 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 2023. **2** 第20卷 总第146期

CRSC
北京全路通信信号研究设计院集团有限公司

DCZD-TI型道岔转换 智能诊断系统

New Upgrade 2.0
智慧赋能 全新升级2.0

广告

铁路通信信号工程技术

RAILWAY SIGNALLING & COMMUNICATION ENGINEERING

主管单位 Administrated by:

中国铁路通信信号集团有限公司 China Railway Signal & Communication Group Co., Ltd.

主办单位 Sponsored by:

北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 CRSC Research & Design Institute Group Co., Ltd.

主编 Editor in Chief:

徐宗奇 Xu Zongqi

执行主编 Executive Editor:

李智宇 Li Zhiyu

编辑部主任 Director of Editorial Office:

李照敬 Li Zhaojing

责任编辑 Editor in Charge:

王丹丹, 陈超, 贯一琦 Wang Dandan, Chen Chao, Guan Yiqi

网络编辑 Web Editor:

赵月 Zhao Yue

英文编辑 English Editor:

黄双宁 Huang Shuangning

编辑出版 Edited and Published by:

《铁路通信信号工程技术》编辑部 Editorial Office of *Railway Signalling & Communication Engineering*

地址 Address

北京市丰台科技园汽车博物馆南路1号院 Block No.1, Qichebowuguan Nanlu, Fengtai Science Park, Fengtai District, Beijing, China

邮编: 100070 Postcode: 100070

邮箱: rsce@crscd.com.cn E-mail: rsce@crscd.com.cn

网址: <https://rsce.crscd.com.cn> URL: <https://rsce.crscd.com.cn>

编辑电话 Edition Tel:

010-51865951; 010-51865957 010-51865951; 010-51865957

广告电话 Advertisement Tel:

(010)-53110618 (010)-53110618

邮发代号: 80-532 Distribution Code: 80-532

中国标准连续出版物号 China Standard Serial Number:

ISSN 1673-4440 ISSN 1673-4440
CN 11-5423/U CN 11-5423/U

国际标准连续出版物号 International Standard Serial Number:

ISSN 1673-4440 ISSN 1673-4440

广告代理 Advertising Agency:

北京今日中铁广告有限责任公司 Beijing Jinrizhongtie Advertising Co., Ltd.

印刷 Printed by:

北京联合互通彩色印刷有限公司 Beijing Lianhehutong Print Co., Ltd.

广告发布登记 Advertising License No.

京丰市工商登字 20170003 号 BFGSG 20170003

定价: 10.00 元/期 Price: ¥10 Yuan Per Copy



月刊 Monthly

第20卷第2期总第146期 Vol.20 No.2 S.No.146

出版: 2023年2月25日 Published on: 2/25/2023

创刊: 2004年 First Issue: 2004

高级顾问: 倪光南院士

刘尚合院士

陈维江院士

Senior Consultants:

Ni Guangnan: Member, Chinese Academy of Engineering

Liu Shanghe: Member, Chinese Academy of Engineering

Chen Weijiang: Member, Chinese Academy of Sciences

主任委员: 张啸林

委员: (按姓氏笔画排序)

马丽兰 王兴中 尹福康 石先明 邢毅
刘岭 刘朝英 江明 杨岗 肖培龙
何涛 张苑 张志辉 张晓莉 罗松
周宪宝 赵晓东 钟章队 姜永富 徐中伟
徐宗奇 郭进 唐涛 曹玉 覃燕

本刊入选数据库:

中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊;

RCCSE 中国准核心学术期刊;

日本科学技术振兴机构数据库 (JST) 收录期刊;

EBSCO 学术数据库收录期刊;

中国核心期刊 (遴选) 数据库收录期刊;

中国学术期刊 (光盘版) 全文收录期刊;

中文科技期刊数据库 (全文版) 收录期刊;

中国学术期刊影响因子年报统计源期刊;

超星期刊域出版平台全文收录



<https://rsce.crscd.com.cn>

扫码打开期刊官网,

阅读、下载本刊内容

声明: 1. 本刊对发表的文章拥有出版电子版、网络版版权, 并拥有与其他网站交换信息的权利。本刊支付的稿酬已包含以上费用。若作者不同意自己的稿件以上述或其他形式被引用, 请事先声明, 否则视为同意。

2. 本刊文章版权所有, 未经书面许可, 不得以任何形式转载。

铁路通信信号工程技术 目 次

技术创新

信号技术

基于情景推理的列车运行图调整方法	乔永涛, 孙 猷	1-6
应用图像识别技术开发联锁自动测试工具的研究	孙志科	7-12
铁路信号系统室内智能试验仪的研制	蒋先进, 范建伟, 蒋准申, 韩志鹏	13-17
ZPW-2000A预叠加电码化机车信号载频切换电路设计	李亚兰	18-21
铁路专用芯片服务器端可重用开发环境的研究	马 盼, 林子明	22-26
宁启铁路电码化设计方案研究及应用	卿文杰	27-32

通信及信息技术

铁路5G网络边缘计算技术研究	葛伟涛	33-36
复杂艰险山区铁路应急通信系统探讨	李 雷, 余 超	37-41
高速铁路复杂线路区段GSM-R系统方案设计与网络优化	张 健, 朱啸豪, 王伟力	42-48
支持电路域与分组域的车载通信技术研究	谢和欢	49-57
铁路无线通信系统数据加密策略	李童瑶, 王啸阳	58-61
铁路客站视频监控前端的设置方法与技术展望	赵一颖, 姜志威	62-67
论MSP保护环业务开通要求	夏 炎	68-72

城轨交通

城轨信号系统智能运维信息采集方案	周 欢	73-78
微服务架构在有轨电车控制系统的应用	王宏明, 宁 博, 金 云, 聂 超	79-82
基于信息融合的城市轨道交通站内信息服务	付保明, 李舜康, 张 宁, 陆海亭, 汪 林	83-88
轨道交通改造工程漏泄电缆敷设方案	陈尔超, 王喜军, 杨立新, 武少峰	89-94
张吉怀高铁沙堤所设置临时限速引起列车制动问题的探讨	方明亮	95-100
动车组进站掉码问题分析及改进措施	何 涛, 李建锋, 张晓东	101-106

技术交流

国外信息

Teltronic 公司将会为墨西哥地铁1号线提供车载设备 (72)	釜山-蔚山“一小时生活区”的郊区和轻轨投资协议 (78)	氢燃料列车将在魁北克进行演示 (94)	加强行业合作: UIC和欧洲铁路网签署谅解备忘录 (封三)	阿尔斯通获得捷克ETCS合同 (封三)
------------------------------------	------------------------------	---------------------	-------------------------------	---------------------

Railway Signalling & Communication Engineering

CONTENTS

Technological Innovation

Signalling Technology

Train Working Diagram Adjustment Method Based on Scenario Inference	Qiao Yongtao, Sun You	1-6
Research on Development of Interlocking Automatic Test Tool Using Image Recognition Technology	Sun Zhike	7-12
Development of Indoor Intelligent Tester for Railway Signaling System	Jiang Xianjin, Fan Jianwei, Jiang Huaishen, Han Zhipeng	13-17
Design of Carrier Frequency Switching Circuit of Cab Signal for ZPW-2000A Overlap Coding in Advance	Li Yalan	18-21
Research on Server-side Reusable Development Environment of Railway ASIC	Ma Pan, Lin Ziming	22-26
Research on Nanjing-Qidong Railway Coding Design Scheme	Qing Wenjie	27-32

Communication & Information Technologies

Research on Edge Computing Technology of Railway 5G Network	Ge Weitao	33-36
Discussion on Emergency Communication System of Railway in Complicated and Dangerous Mountainous Area	Li Lei, Yu Chao	37-41
Scheme Design and Network Optimization of GSM-R System in Complex Line Section of High Speed Railway	Zhang Jian, Zhu Xiaohao, Wang Weili	42-48
Research on Onboard Communication Technology Supporting Both Circuit Switching Domain and Packet Switching Domain	Xie Hehuan	49-57
Data Encryption Strategy of Railway Wireless Communication System	Li Tongyao, Wang Xiaoyang	58-61
Setting Method and Technical Prospect of Video Monitoring Front End at Railway Passenger Station	Zhao Yiyi, Jiang Zhiwei	62-67
MSP Protection Ring Service Opening Requirements	Xia Yan	68-72

Urban Rail Transit

Research on Information Acquisition Scheme of Intelligent Operation and Maintenance for Urban Rail Signaling System	Zhou Huan	73-78
Application of Microservice Architecture in Tram Control System	Wang Hongming, Ning Bo, Jin Yun, Nie Chao	79-82
Passenger Service of Urban Rail Transit Station Based on Information Fusion	Fu Baoming, Li Shunkang, Zhang Ning, Lu Haiting, Wang Lin	83-88
Research on Leakage Cable Laying Scheme in Rail Transit Modification Project	Chen Erchao, Wang Xijun, Yang Lixin, Wu Shaofeng	89-94

Technological Exchange

Discussion on Problem of Train Braking Caused by Temporary Speed Limit Set at Shadisuo Station of Zhangjiajie-Jishou-Huaihua High-speed Railway	Fang Mingliang	95-100
Problem Analysis of Code Missing and Improvement Measures When EMU Entering Stations	He Tao, Li Jianfeng, Zhang Xiaodong	101-106

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.02.001

基于情景推理的列车运行图调整方法

乔永涛^{1, 2}, 孙猷^{1, 2}

(1. 卡斯柯信号有限公司, 上海 200071;

2. 上海市铁路智能调度指挥系统工程研究中心, 上海 200071)

摘要: 列车运行计划调整具有实效性强、调度人员要求高、调整策略优化指标多、动态性强、建模要求高等特点, 因此, 列车运行计划的快速优化存在一定难度。提出一种基于情景推理的列车运行计划调整方法, 以较少的时间实现对一段时间内列车运行计划的快速优化调整。通过广铁武广三台高铁数据仿真结果说明该方法在对列车运行计划调整方面具有时效性和实用性。对于提高调度人员工作效率和减轻劳动强度方面有较大帮助。

关键词: 列车运行计划调整; 运行图; 情景推理

中图分类号: U284.59

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)02-0001-06

Train Working Diagram Adjustment Method Based on Scenario Inference

Qiao Yongtao^{1, 2}, Sun You^{1, 2}

(1. CASCO Signal Ltd., Shanghai 200071, China)

(2. Shanghai Engineering Research Center of Railway Intelligent Dispatching Command System, Shanghai 200071, China)

Abstract: Train scheduling adjustment has the characteristics of strong effectiveness, high requirements of dispatchers, many optimization indexes, strong dynamics and high modeling requirements, which makes it difficult to optimize train scheduling quickly and effectively. This paper presents a train operation adjustment method based on scenario inference, which realizes the rapid optimization and adjustment of train operation by inferring the trains in the scenario with the minimum operation time. Through the data simulation of Wuhan-Guangzhou high speed railway, the results show that this method has certain timeliness and accuracy in the train operation adjustment. It is of great help to improve the work efficiency of dispatchers and reduce labor intensity.

Keywords: adjustment of train operation plan; Train Working Diagram (TWD); scenario inference

1 概述

列车运行图是铁路运输调度指挥的核心内容, 是铁路行车组织工作的基础^[1]。而列车运行调度是指在列车运行工作中, 因各种因素和突发事件的影响, 使得列车运行的实际状态偏离预定值, 需要不

收稿日期: 2022-02-28; 修回日期: 2023-02-06

基金项目: 中国国家铁路集团有限公司重大课题项目 (K2021X001)

第一作者: 乔永涛 (1979—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 列车运行图编排优化, 邮箱: qiaoyongtao@casco.com.cn.

断对列车运行计划进行调整,以尽可能小的代价,尽快恢复列车的有序运行状态^[2]。

传统的列车运行计划调整手段为人工调整^[3],但人工调整的手段效率较低,且较大程度依赖于调度员的知识熟练程度和业务能力,表现为调整结果不一致。因此以各种算法为主体的调整方案受到了一定关注。文献[4-6]以统筹学方法为原理,以股道占用、列车运行晚点最小等作为调整目标,建立了数学模型实现了对运行图的优化。但这些方法在求解大规模列车运行图仍存在一定困难。文献[7]采用了遗传算法进行列车运行调整,可以较好地模拟列车运行调整过程。然而遗传算法本身存在一些问题,如收敛速度较慢、易出现早熟等,不易获得最优结果。文献[8]采用了禁忌搜索算法,考虑了较为全面的优化策略进行调整。然而这些模型变量多,建模过程复杂,当优化目标存在动态变化时,难以得到较好效果。文献[9]采用了粗糙集的方法解决列车运行调整系统中信息难以获取和表达的问题。但对于不同调度区段不同的决策规则难以适用,因此通用性不强。

本文提出一种基于情景推理的列车运行调整方法,该方法的应用场景是列车在运行中遭遇突发情况需要封锁或限速时,给调度员提供一种根据调度规则快速调整运行图的方法。充分考虑各调度区段调度员的决策规则。算法以站场图上列车与车站的位置变化为步进单元,快速推理出列车调整中每一状态下的合理状态从而得到优化的调整结果。

2 情景推理原理

本节将介绍情景推理的原理部分,从算法中应用的名词解释、步进条件、算法流程和结果应用4部分进行阐述。

2.1 名词解释

情景限制:分为线路限制和故障限制。线路限制是指车站股道数目、咽喉接发能力、股道有无站台、站台接车编组限制和有无上水吸污设备等车站条件。故障限制是指接触网停电、异物侵线、区间

红光带、道岔故障、风/雨/雪天气和列车故障等异常条件。在情景推理过程中,将上述限制条件归纳为股道可用限制、咽喉可用限制、区间可用限制和降速限制等。

当前车次:指某一时刻,正在线路上运行的车次,包括站内车次和区间车次。

等待车次:指某一时刻,等待接入本区段的车次和本区段内等待始发的车次。

路网:指按照调度区段内车站行车方向,以车站为顶点,区间行车方向为边的有向图。

情景:指特定路网中,在某一时刻 T 情景限制条件下,当前车次和等待车次组成的集合。每一个情景都对应一个具体时刻。

调整开始时间:指调度员设置的开始调整时刻。

调整结束时间:指调度员设置的结束调整时刻。

调整时长:指调整开始时间至调整结束时间的时间长度。

初始情景:指当前时刻的情景,作为情景推理的基础开始情景。

结束情景:指调整结束这一时刻的情景,用于判断情景推理结束。

2.2 步进条件

每一步的情景推理过程都是基于上一情景展开的,推理开始即为初始情景 S_0 ,推理成功时则流转至下一情景 S_1 。以 \rightarrow 表示流通过程,一个完整的情景推理流程可表示为 $S_0 \rightarrow S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow \dots \rightarrow S_n$ 。如果 S_n 是结束情景,那么推理结束。

S_i 到 S_{i+1} 的推理过程说明如下。

在列车运行图上,调度员人工调整运行线实际上就是重新安排列车在每个车站的到发时间,所以情景推理算法就以列车到达点和出发点的变化作为推理步进条件。下面以车次A与车站B的进/出站情况来阐述步进条件。

针对单个车次的步进条件分析如表1所示,而实际推理过程中情景是当前车次和等待车次集合构成的。因此整个情景的步进条件选取是以距离当前时间最近的单个车次步进条件操作为依据。在 S_i 中

表1 步进条件
Tab. 1 Step condition table

步进条件	S_i	S_{i+1}	到发点
进站	车次 A 位于 B 站站内或站外区间	1) 车次 A 在 B 站站内后续出站 2) 车次 A 在 B 站站内车次终到	S_{i+1} 的情景时间即为到点
出站	1) 车次 A 在 B 站站内等待出发 2) 车次 A 在 B 站站内等待始发	车次 A 发车到 B 站站外区间	S_{i+1} 的情景时间即为发点

存在集合 $T_1=\{t_{11}, t_{12} \dots t_{1m}\}$, 表示 m 个车次, 它们分别在时刻 $t_{11}, t_{12} \dots t_{1m}$ 进站。存在集合 $T_2=\{t_{21}, t_{22} \dots t_{2n}\}$, 表示有 n 个车次, 它们分别在时刻 $t_{21}, t_{22} \dots t_{2n}$ 出站。区间中有多个车次的情况下, 区间中车次要依次进站。综上可知有 $m+n$ 种从 S_i 推理至 S_{i+1} 的步进方案, 但最优的步进方案即为集合 T_1, T_2 中时间最小的一种, 此时最小时间记为 t 。而实际上这个最优方案能否推理成功受到情景限制的影响。如果步进方案和情景限制不冲突, 那么便可以从情景 S_i 推理出 S_{i+1} , S_{i+1} 的情景时间即为 S_i 的情景时间加 t 。

若由于情景限制, 导致 S_i 不能推出 S_{i+1} , 此时进行情景回退, 回退至与 S_i 情景操作同一车次的上一情景 S_k , 针对 S_k 进行操作处理。例如在 S_i 情景到 S_{i+1} 情景推理方案是车次进站, 如果 S_i 情景中该进站车站的股道已经被其他车次占用或者可用股道被封锁时, 那么 S_i 就不能推出 S_{i+1} 。此时推理失败的原因是 S_k 往 S_i 推理时车次出站过早。解决方法是在 S_k 车站将车次扣停一定时间, 该时间由 S_{i+1} 最早股道空闲时间 t_i 减去 S_i 的情景时间和该车次区间运行时分计算出, 将该时间命名为 Δt 。此时情景回退至 S_k , 同时将车次扣停时间增加 Δt , 重新进行推理。

2.3 算法流程

算法的调整时间范围是需要调度员确定的。如果本次调整指定的调整时间范围为 $[T_s, T_e]$, 其中 T_s 是调整开始时间, T_e 是设定的调整结束时间, 那么算法本次仅调整该时间范围内的列车。算法的输入是当前时刻下的调监表示和列车运行图, 调监表示用于获取路网中所有当前车次的实时状态, 列车运行图用于获取等待车次与结果应用。

2.3.1 构造初始情景 S_0

初始情景即为当前时刻的情景。初始情景 S_0 包括以下元素: 初始情景时间、当前车次、等待车次、情景限制和路网。当前时刻即为初始情景时间, 路网可以从配置文件中获取, 下面着重说明初始情景的其他 3 个要素如何构造。

启动调整这一时刻的调监画面如图 1 所示。从调监服务器可以获取这一时刻在路网上运行的车次位置及方向, 将它们保存下来并整理之后就是初始当前车次。另外从调监服务器可以获取到区段停电或封锁、道岔故障或封锁、股道停电或封锁、限速区段及限速值等信息, 将以上信息整理之后将形成情景限制的第一部分。

启动调整这一时刻的运行图画面如图 2 所示。从运行图服务器可以获取到这一时刻 (图 2 中用蓝竖线表示) 之后等待接入路网或者始发到路网的车次所在的车站及先后顺序, 将它们保存并整理之后就是初始情景等待车次。另外从运行图服务器可以获取到区段中调度员绘制的封锁, 限速慢行和接触网停电符号等信息, 将以上信息整理之后将形成情景限制的第二部分。

将以上两部分信息进行合并后, 即得到了完整的情景限制条件, 初始情景至此构造完毕。

2.3.2 基于情景栈的算法流程

2.3.1 节中已经构造好了初始情景 S_0 , 为了便于推理, 本节引入情景栈这一概念。情景栈是由情景构成的栈结构, 用于保存情景元素。情景推理时算法按照推理顺序将每一个推理成功的情景压入栈中保存, 在进行情景推理时, 取出栈顶元素。具体流程如图 3 所示。算法流程如下。

步骤 1: 构造初始化情景 S_0 , 将构造出来的 S_0 压入情景栈。

步骤 2: 弹出情景栈顶的元素, 假设将其命名为 S 。

步骤 3: 如果 S 是结束情景, 那么结束推理; 如果 S 不是结束情景, 执行步骤 4。

步骤 4: 由情景 S 推理出 S_1 , 如果上次推理失

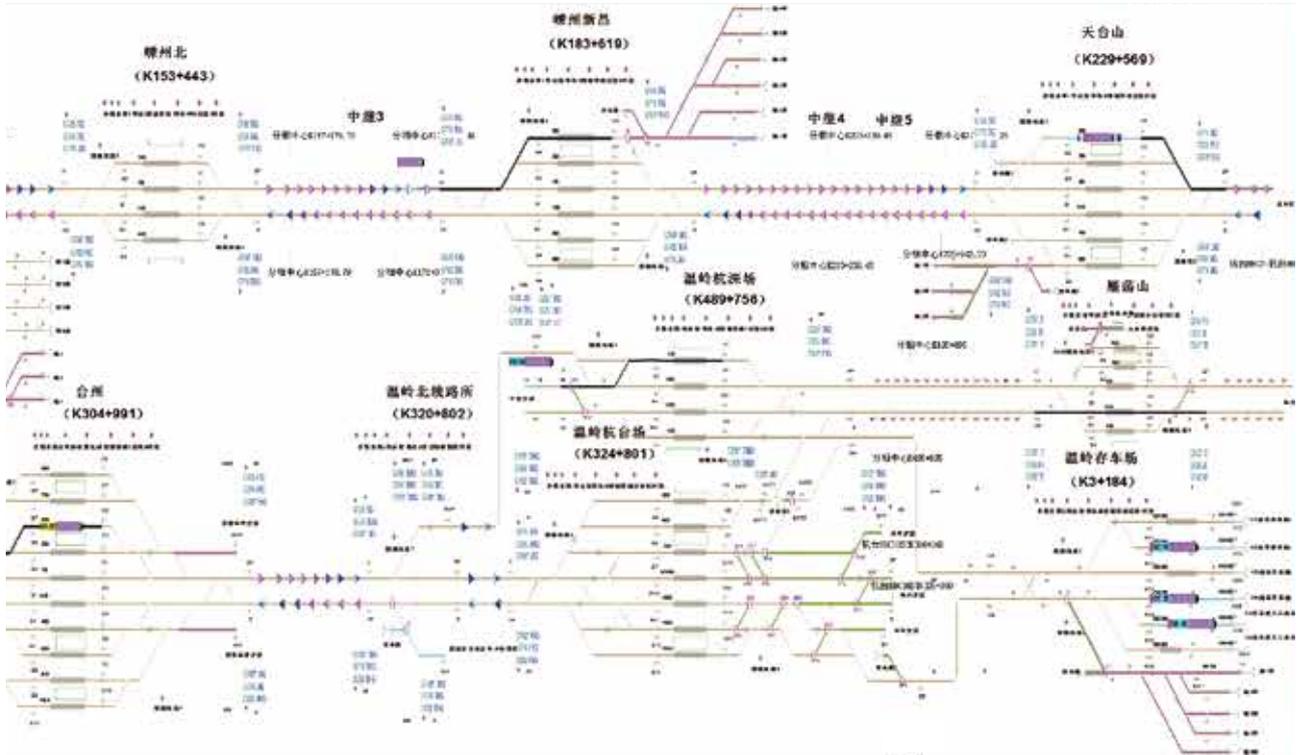


图1 启动调整时刻调监画面
Fig.1 Monitoring screen image at startup adjustment time

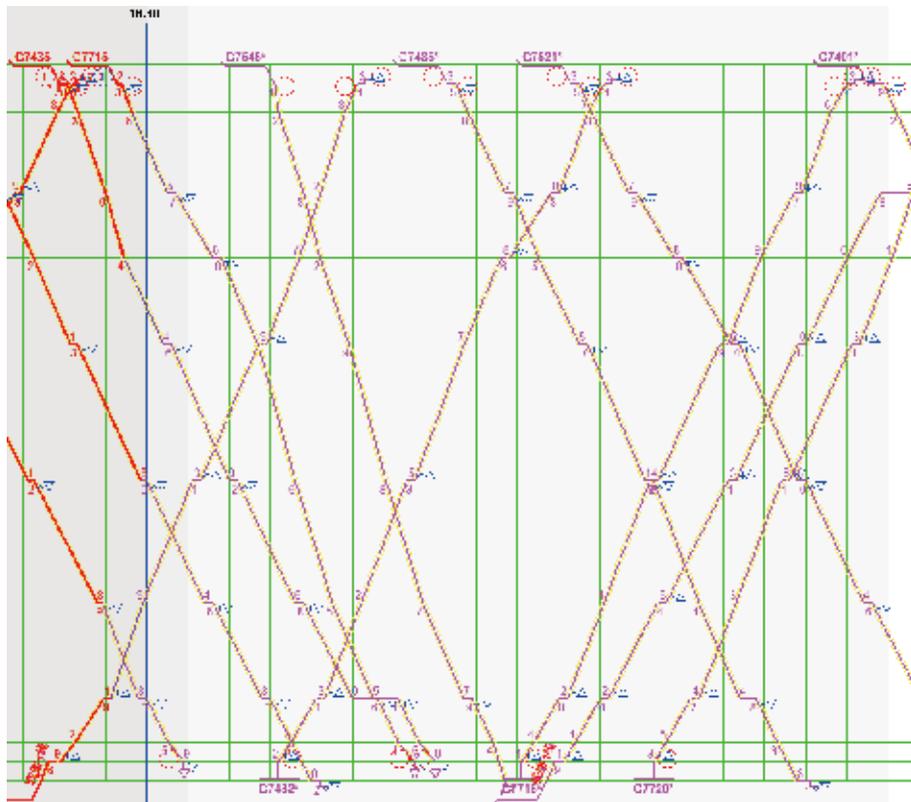


图2 启动调整时刻运行图画面
Fig.2 TWD screen image at startup adjustment time

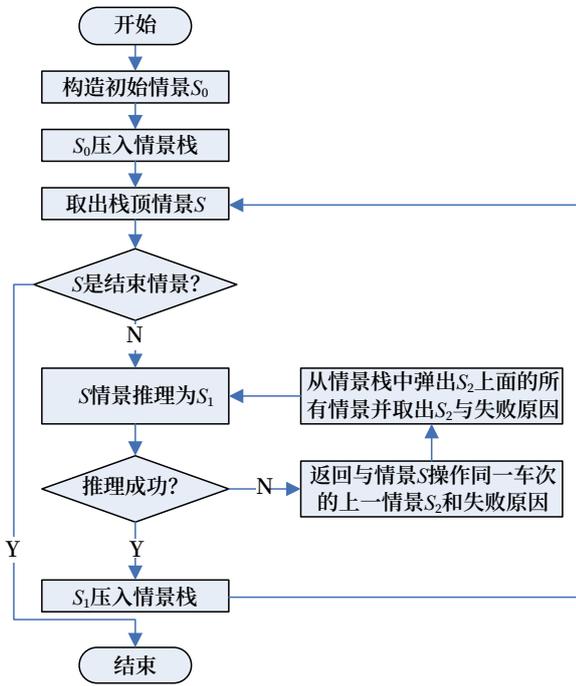


图3 算法流程
Fig.3 Algorithm flow chart

败，需要在推理时考虑推理失败原因。

步骤5：S如果推理出S₁成功，那么将S₁压入情景栈，跳至步骤2。S如果无法推理出S₁，即推理失败，此时返回导致情景发生推理失败的原因与情景S操作同一车次的上一情景S₂。在栈中弹出该情景以上全部情景，并重新以解决推理失败原因的

方案进行情景推理，跳至步骤2。

2.4 结果应用

经过上述情景推理调整过程，即得到一组有序情景集合 {S₁, S₂...S_n}。这个情景集合对应的情景时间为 T₁, T₂...T_n，即为每个推理车次于特定站的到点或发点。将以上推理得出的到发点赋值到车次对应的运行线上就完成了情景推理的结果应用。

3 结果与分析

武广三台铺画封锁符号时的列车运行如图4所示。蓝色轴线代表当前时间线，红色轴线代表调整范围开始时刻，黑色轴线代表调整范围结束时刻。在此时调整范围内，存在约100趟列车。封锁符号铺画于郴州西站至乐昌东区间，封锁时长为1h。

经过本文算法调整后，武广三台的列车运行如图5所示，调整后的列车运行线在封锁符号期间避开封锁区间。且后方站的列车发点均未早于封锁结束时间，各列车之间的发点也满足列车追踪间隔。

4 总结

本文提出的基于情景推理的列车运行计划调整方法计算速度较快，实用性较强，可以在一定程度上解决目前调度台在遇到恶劣天气、设备故障等情

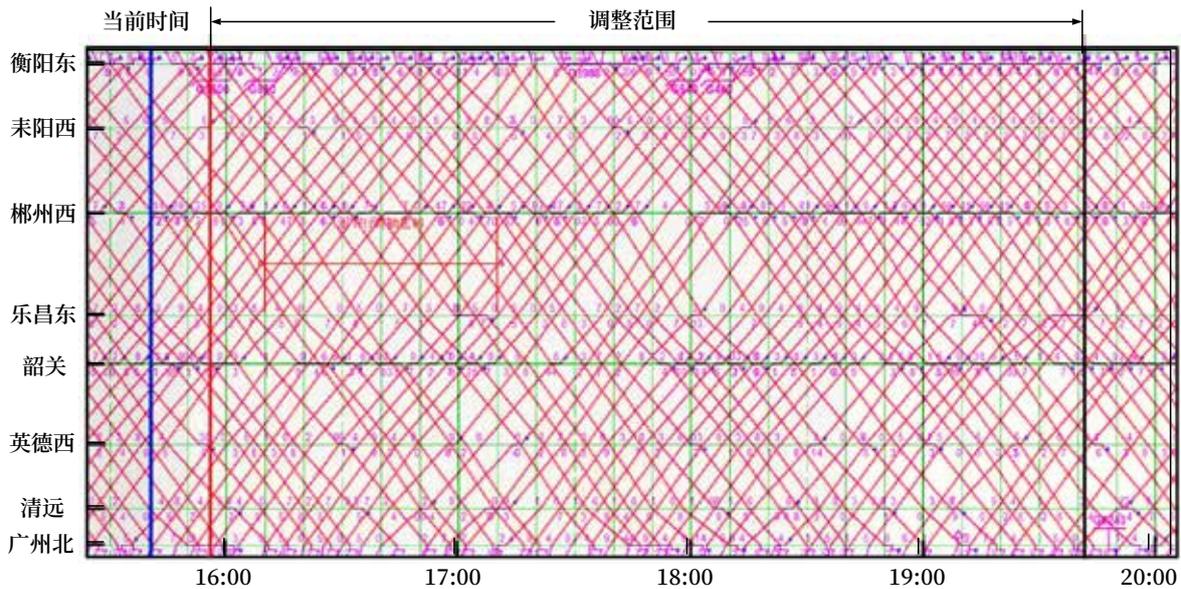


图4 武广三台铺画封锁符号时的列车运行
Fig.4 Santai (Wuhan-Guangzhou railway) TWD when plotting blocking symbol

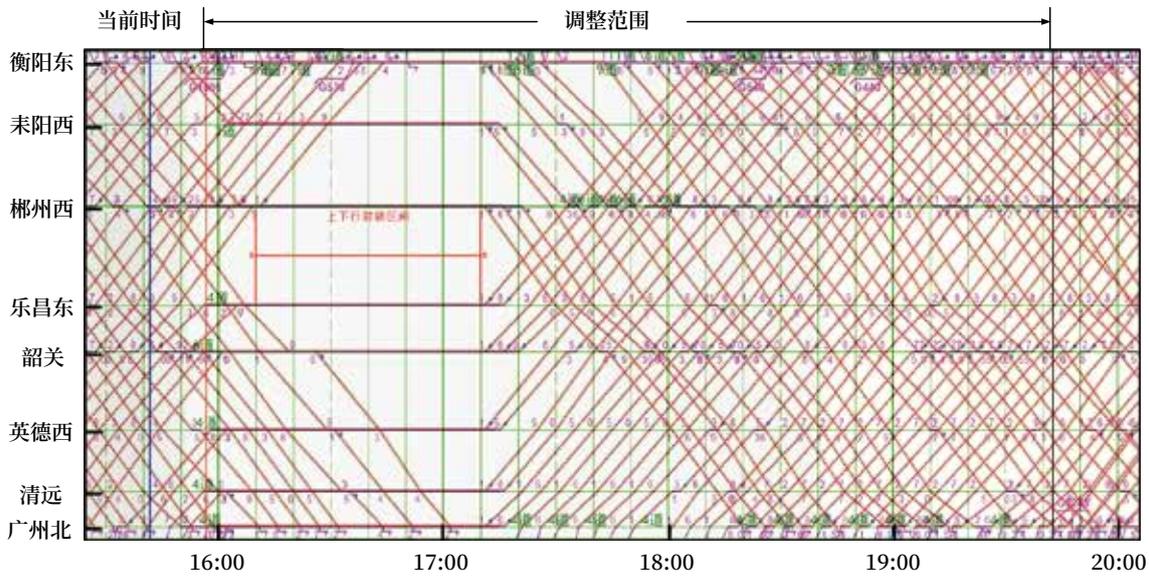


图5 武广三台经算法调整后的列车运行
Fig.5 Santai (Wuhan-Guangzhou railway) TWD after algorithm adjustment

况下大规模列车快速调度的问题。在算法设计过程中，充分考虑了各约束条件以及决策规则，规避了大量无需考虑的情景，使计划调整实时运算耗时急剧减小。应用结果表明，该算法在列车计划调度调整方面具有一定时效性与准确性，能够减轻调度员工作强度，提高故障处理效率。

参考文献

- [1] 于涛. 基于B/S结构的计算机编制列车运行图管理系统探讨[J]. 世界轨道交通, 2008(1): 44-45.
- [2] 李荣娜, 张喜. 基于免疫遗传算法的铁路列车运行调整研究[J]. 交通信息与安全, 2014, 32(2): 130-134.
Li Rongna, Zhang Xi. Train Operation Adjustment Based on Immune Genetic Algorithm[J]. Journal of Transport Information and Safety, 2014, 32(2): 130-134.
- [3] 闵鹏. 西门子信号系统的列车自动调整功能简介[J]. 铁道通信信号, 2012, 48(10): 43-45.
Min Peng. Introduction to Train Automatic Adjustment Function of Siemens Signaling System[J]. Railway Signalling & Communication, 2012, 48(10): 43-45.
- [4] Lee Y, Chen C Y. A Heuristic for the Train Pathing and Timetabling Problem[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2009, 43(8/9): 837-851.
- [5] Törnquist J, Persson J A. N-Tracked Railway Traffic re-Scheduling during Disturbances[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2007, 41(3): 342-362.
- [6] 江峰, 倪少权, 吕红霞. 基于拉格朗日松弛的高速铁路列车运行图新增运行线局部调整模型[J]. 交通运输系统工程与信息, 2018, 18(4): 163-170.
Jiang Feng, Ni Shaoquan, Lv Hongxia. A High-Speed Railway New-Added Train Timetable Partial Adjustment Model Based on Lagrangian Relaxation[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2018, 18(4): 163-170.
- [7] 王宏刚, 张琦, 王建英, 等. 基于遗传算法的高速铁路行车调整模型[J]. 中国铁道科学, 2006, 27(3): 96-100.

(下转 17页)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.02.002

应用图像识别技术 开发联锁自动测试工具的研究

孙志科

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

摘要: 为进一步提高计算机联锁系统测试效率, 需将控制显示界面的显示及操作功能纳入自动测试的覆盖范围。充分利用 Eggplant Functional 的图像识别技术并进行二次开发, 形成一套自动化测试工具软件, 可以自动识别控制显示界面上的信号机、道岔、轨道区段等各种图形元素的显示状态, 自动控制鼠标完成测试操作。在一次测试过程中同时完成对计算机联锁系统的控制显示界面、软件功能及工程数据的自动测试。该工具软件在计算机联锁系统集成项目中推广应用后, 显著提高测试效率及测试质量的稳定性。

关键词: 图像识别; 自动测试; 远程控制; 计算机联锁; Eggplant Functional; VNC

中图分类号: U284.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)02-0007-06

Research on Development of Interlocking Automatic Test Tool Using Image Recognition Technology

Sun Zhike

(CRSC Research & Design Institute Group Co., Ltd., Beijing 100070, China)

Abstract: In order to further improve the test efficiency of the computer interlocking system, the display and operation functions of the control display interface need to be included in the coverage of the automatic test. Eggplant Functional is a general automatic function test platform based on image recognition technology. The paper introduces the full use of the image recognition technology of Eggplant Functional to carry out secondary development for forming a set of automatic test tool software, which can automatically identify and control the display status of various graphic elements such as signal, switch and track section on the display interface, and automatically control the mouse to complete the test operation. Thus, the control display interface, software function and engineering data of the computer interlocking system can be automatically tested in one test process. After the

收稿日期: 2022-05-28; 修回日期: 2023-01-30

基金项目: 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司科研项目 (2300-K1190017.01)

发明专利: 2021 年国家发明专利 (CN202110245937.5、CN202110004180.0); 2022 年国家发明专利 (CN202210014391.7、CN202210001387.7)

作者简介: 孙志科 (1974—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 列车控制系统、计算机联锁、软件测试, 邮箱: sunzhike@crscd.com.cn.

application of the tool software in the computer interlocking system integration project, the test efficiency and the stability of test quality have been significantly improved.

Keywords: image recognition; automatic test; remote control; computer interlocking; Eggplant Functional; VNC

既有的自动化测试工具软件都只能对联锁软件进行自动化测试。而供应商向用户交付的是完整的计算机联锁（以下简称 CBI）系统，其中还包含操作显示界面软件（以下简称控显软件）。因此，要想进一步提升测试效率，就需要将控显软件包含到自动测试工具的覆盖范围以内，实现系统级的自动化测试。

为此，笔者经过充分的研究和比较，最终基于通用的自动化功能测试平台 Eggplant Functional 开发了一套自动测试工具软件 CBI_AS_PDT，实现了包括操作显示界面在内的 CBI 系统级的工程数据及相关功能的自动化测试。

1 Eggplant Functional平台简介

Eggplant Functional 平台是由英国 Testplant 公司开发的一套基于计算机图像识别及远程控制技术 (VNC) 的通用自动化功能测试平台。

Eggplant Functional 平台提供了丰富的基于模板匹配的图像识别功能接口，并且通过 VNC 工具软件实现图像捕捉及远程控制功能。该平台功能丰富，运行稳定，并且提供了实现自动化测试所需的各类常用基础功能，例如：Excel 及文本文件读写接口、数据库读写接口、邮件服务接口等。

Eggplant Functional 平台提供了一套自定义脚本语言 SenseTalk，以及配套的集成开发环境。SenseTalk 的语法接近英语自然语法，用户可以比较快速的开发出符合自身产品特点和业务需求的自动测试脚本。

2 测试环境组成

如图 1 所示，被测系统中运行被测车站的联锁软件、控显软件、模拟软件，以及远程控制工具软件 VNC，测试服务器中运行 Eggplant

Functional 平台及自动测试工具软件 CBI_AS_PDT，测试服务器与被测系统通过局域网连接。

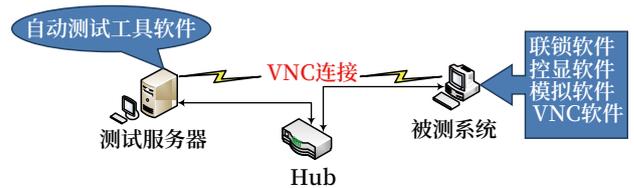


图1 基于Eggplant Functional的计算机联锁系统自动测试环境架构

Fig.1 Automatic test environment architecture for computer interlocking system based on Eggplant Functional

3 工作原理简介

根据 CBI 系统工程数据测试规范开发的若干个测试项执行脚本存放在 CBI_AS_PDT 的脚本库中。这些脚本按以下几个步骤完成对联锁系统的工程数据及相关功能的自动化测试。

- 1) 通过 VNC 连接向控显及模拟软件发送操作命令。
- 2) 通过 VNC 连接将被测系统的显示内存完整映射至测试服务器，并实时提取被测信号设备的当前状态。
- 3) 根据 Excel 格式联锁表及测试规范的规定设定每一步测试操作的预期结果，将被测信号设备的当前图像与预期结果对应的标准图像进行比对，判定测试是否通过。
- 4) 将操作过程及测试结果实时显示在人机界面中，并记录至指定的测试表格中。

为了实现上述过程，需完成以下几项工作。

- 1) 在图 1 的被测系统中安装 VNC 工具软件。
- 2) 获得各类图形元素在控显界面上的坐标及属性信息，以便准确识别指定图形元素的当前状态。为此，CBI_AS_PDT 需读取并解析控显软件的数据配置文件，获得各类图形元素的坐标及属性信息（例如：信号机朝向、道岔的名称及位置等）。

3) 读取 Excel 格式的联锁表文件及参数配置文件, 提取其中的信息作为测试结果正确与否的判定依据。

4) 测试结束后, 将测试记录写入 Excel 表格中, 并发送至用户指定的邮箱。

CBI_AS_PDT 采用数据驱动测试的模式, 通过联锁表、参数配置表中的数据驱动测试脚本运行。测试工程师只需在参数配置表录入适当的参数(例如: 防护道岔名称、信号显示关系、被测车站的速度等级、信号机的常态显示等), 然后选择需要执行的测试脚本, 即可启动测试。

4 软件架构及功能模块设计

4.1 软件架构及工作流程

CBI_AS_PDT 工具软件的整体架构及执行流程如图 2 所示。

4.2 初始化模块

初始化模块主要完成以下功能。

- 1) 初始化全局数据结构, 例如定义各类信号设备的数据字典、存储设备的图形坐标及属性数据。
- 2) 读取配置文件, 获得被测软件存储路径等各类路径及参数配置信息。
- 3) 解析控显配置文件, 从中读取各类信号设

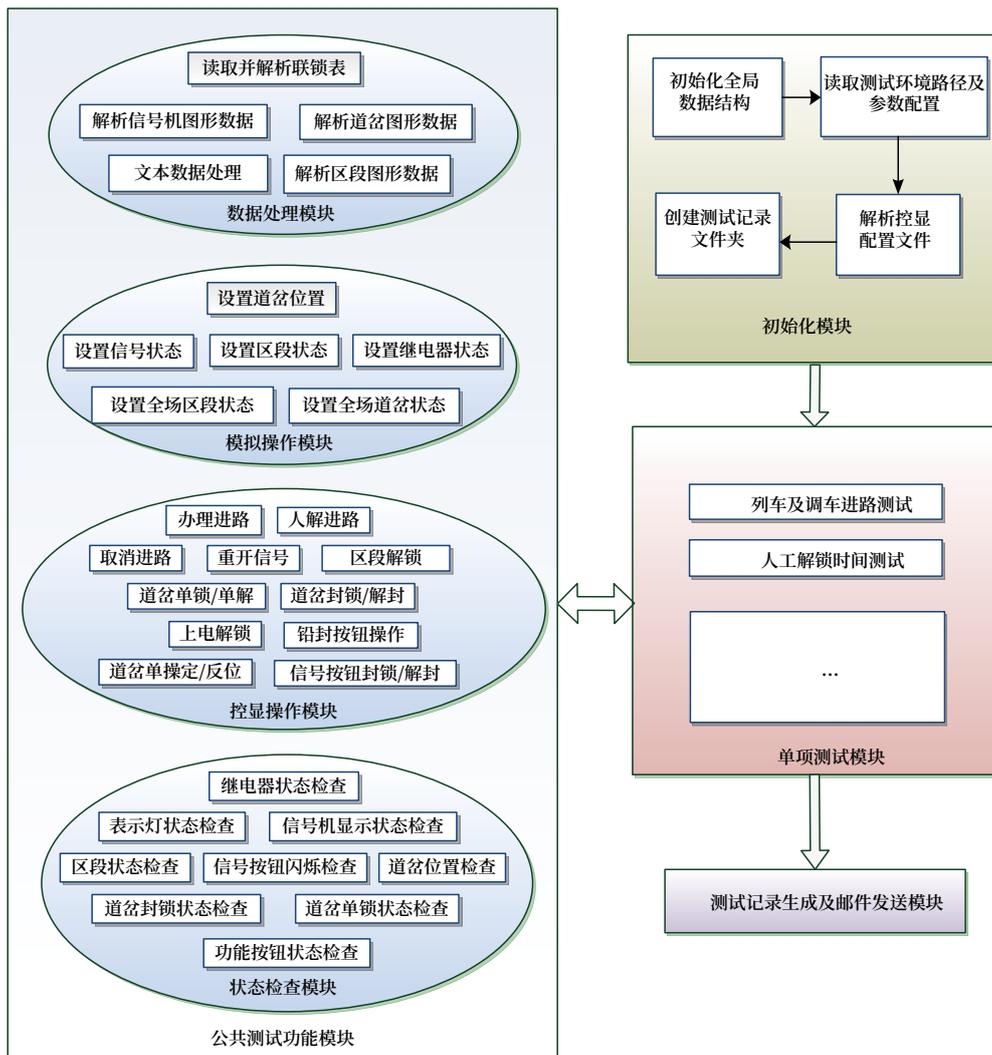


图2 CBI_AS_PDT工具软件的整体架构及执行流程
Fig.2 Overall architecture and execution process of CBI_AS_PDT tool software

备的图形坐标及属性数据，存入对应的全局数据结构。

4) 创建测试记录文件夹，用于保存自动生成的各类测试记录表格。

4.3 公共测试功能模块

本模块将各类测试项均需要使用的公共功能封装为标准接口，供各项测试业务脚本调用。本模块包含子模块如下。

4.3.1 数据处理模块

本模块负责处理各类外部文件提供的输入数据，主要有以下几种。

1) 读取并解析联锁表

联锁表文件为指定格式的 Excel 电子表格文件。CBI_AS_PDT 从联锁表中提取办理进路的按钮、信号显示、进路内道岔及区段等信息，作为测试结果的判定依据。

2) 文本数据处理

文本字符串的各类通用处理命令，主要包括：删除注释；删除隐含字符（如回车、Tab 等）；根据字符串中的“，”或空格字符将其分割转换为列表。

3) 解析信号机图形数据

从控显软件数据文件中解析信号机图形的坐标及属性数据，包括：朝向、高矮柱、信号机图形半径、信号机名称的坐标等。

4) 解析道岔图形数据

从控显软件数据文件中解析道岔图形的坐标及属性数据，包括：道岔的逻辑名称及显示名称、岔心点坐标、道岔所属区段的名称等。

5) 解析区段图形数据

从控显软件数据文件中解析道岔区段、无岔区段、股道图形的坐标及属性数据，包括：无岔区段和股道线段的起点及终点坐标、区段按钮的坐标等。

4.3.2 控显界面操作命令模块

本模块包含所有控显界面的操作命令脚本，主要包括：办理进路、取消进路、重开信号、人解进路、区段解锁、道岔单操等。对于铅封按钮操作命

令，操作脚本中需包含输入密码的操作过程。

在操作命令脚本中，在执行完成每一步操作后，会识别被操作对象的状态变化情况，确认操作生效后，再进行下一步操作，以便于在测试执行过程中更准确的定位缺陷。

例如，办理进路时，点击进路始端按钮后，会确认按钮是否开始闪烁，如果未闪烁，会给出错误提示信息；取消进路时，点击取消按钮后，首先检查“总取消”按钮是否变为“按下”状态，如果“总取消”按钮未变为“按下”状态，将给出错误提示信息。

4.3.3 模拟界面操作命令模块

DS6 系列 CBI 系统的工程数据测试主要在仿真环境下开展。因此，CBI_AS_PDT 需要能够识别并操作 I/O 接口模拟软件的界面。

本模块包括所有模拟界面的操作命令脚本，主要包括：设置道岔位置、设置信号状态、设置区段状态、设置继电器状态等。

4.3.4 信号设备状态检查模块

本模块包含识别各类信号设备显示状态的脚本命令，主要包括：信号机显示状态检查、区段状态检查、道岔位置检查、继电器状态检查等。

由于操作命令执行时间以及网络延迟等因素的影响，操作命令与状态检查命令之间需设置适当的延时，以保证能够在正确的时机识别被测对象的状态变化，避免误报。

对于信号机，在测试脚本中调用 Eggplant Functional 平台提供的库命令，实时截取控显界面待测信号机的显示图形，与基准图片库中的各种信号显示图片进行比对，找到相同的图片后，即可知道控显界面上待测信号机的实时显示。按钮状态、菜单选项的识别原理与信号机显示类似。

对于道岔和轨道区段，由于道岔位置 / 区段状态是通过道岔名称 / 区段线段的颜色来表示的，因此可以调用 Eggplant Functional 平台提供的库命令，实时识别道岔名称 / 轨道区段上的像素点颜色，即可知道道岔 / 轨道区段的实时位置 / 状态。

4.4 基准图片库

4.4.1 用途

为实现信号机、按钮、菜单选项等图形对象显示状态的自动识别，需预先截取上述图形元素各种状态的图片，添加标签后，存入基准图片库中各类图形对象的子库。

在测试脚本运行的过程中，根据测试步骤和预期结果的需要，从基准图片库中提取图片，与包含被测对象当前显示状态的实时截图进行比对，找到匹配一致的图片后，根据基准图片库中的图片标签信息，即可知道被测信号机、按钮、菜单选项的当前状态或显示。

4.4.2 基准图片制作要点

为缩短图片匹配的时间，基准图片库中存储的图片尺寸与测试过程中实时截取的图片尺寸的比值应尽量接近 1，并且两者的绝对尺寸应尽量小。

例如，调车信号机蓝灯显示的基准图如图 3 所示，如图 4 所示的黄色矩形框为实时截图区域，仅比调车信号机的图形略大。



图3 调车信号机基准图片
Fig.3 Reference pictures of shunting signal

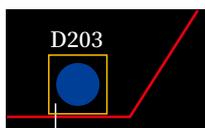


图4 调车信号机的实时截图区域
Fig.4 Real time screenshot area of shunting signal

对于 USU 等闪光信号显示，在控显界面上是由两种图形交替显示形成的。因此，在制作基准图片时，也需要截取两张不同的图片，并在测试脚本中识别这两张图片是否交替显示。USU 显示的两张基准图片如图 5 所示。其中，左侧的图片与列车信号机的 UU 显示共用。

4.5 测试项执行脚本

根据被测数据所实现的功能，CBI 工程数据测试划分为若干个不同的测试项。为了减少因引入自



图5 朝向右侧的列车信号机USU显示的基准图片
Fig.5 Reference picture of USU aspect of train signal that facing the right

动测试工具对既有工作模式和习惯的影响，CBI_AS_PDT 原则上按照既有的测试项开发对应的测试脚本，在此基础上对部分测试流程和逻辑相近的项目合并至同一个脚本中实现。例如：将列车进路及调车进路的测试合并在一个脚本中实现。

目前已有十几个测试项执行脚本正式投入工程应用，主要包括：1) 列车及调车进路测试；2) 组合列车进路显示关系测试；3) 接近区段延长测试；4) 人工解锁时间及出站信号机红灯灯丝测试；5) 四线制方向电路接口测试；6) 延续进路测试；7) 中间出岔测试。

为尽量提高 CBI_AS_PDT 的可用性，在开发测试项执行脚本时重点考虑了以下因素。

- 1) 适用于不同规模和类型的车站，不需要测试工程师根据特定车站修改脚本中的测试逻辑。
- 2) 每一步测试操作均检查被测对象的状态是否符合预期。在测试结果不符合预期时，给出完整、准确的错误现象描述，以便相关人员在测试结束后进行缺陷定位和分析。
- 3) 具备常见故障的自动处理逻辑，以便测试能够继续进行。
- 4) 具备至少 24 h 的连续运行能力，以满足大站的测试需求。

5 应用范围及限制条件

目前，CBI_AS_PDT 仅适用于人机操作界面符合中国国家铁路集团有限公司企业标准《车站计算机联锁操作显示规范》(TJ/DW 188-2016) 的 DS6 系列 CBI 系统。

在使用 CBI_AS_PDT 之前，首先需要对控显界面的显示正确性进行人工检查，确认控显界面的站场图形显示内容与被测车站的信号平面布置图一致。

CBI_AS_PDT 适用于联锁表格式符合《铁路信号联锁图表编制原则》(TB/T 1123-92) 或《计算机联锁车站联锁图表编制原则》(QC/R 654-2018) 要求的车站, 并且需将纸质联锁表转换为 Excel 表格文件。不具备 Excel 格式电子联锁表的车站, 或者联锁表格式不符合上述两个标准要求的车站, 无法执行与进路相关的自动测试, 但可以执行其他与进路无关的测试项, 例如: 道岔单锁及单解测试等。

6 结束语

笔者开发的 CBI_AS_PDT 工具软件, 经过了严格的测试及大量车站的试用, 并通过了由独立第三方进行的 T2 类工具软件安全评估, 已经正式应用在计算机联锁产品集成项目的工程数据测试业务中, 完成了 200 余个车站的测试任务, 在提高测试效率, 保持测试质量的稳定性方面取得了显著成效。

参考文献

- [1] 任芳. 基于传统测试经验的计算机联锁自动测试脚本设计研究 [J]. 铁道通信信号, 2022, 58(4): 6-10, 15.
Ren Fang. Design and Research of Automatic Test Script of Computer Interlocking Based on Traditional Test Experience[J]. Railway Signalling & Communication, 2022, 58(4): 6-10, 15.
- [2] 徐登科, 姚亚平, 齐志华, 等. 基于需求建模的联锁软件自动化测试技术的研究与实现 [J]. 铁道通信信号, 2013, 49(8): 21-24.
Xu Dengke, Yao Yaping, Qi Zhihua, et al. Study and Realization of Interlocking Software Automatic Testing Based on Requirement Modeling[J]. Railway Signalling & Communication, 2013, 49(8): 21-24.
- [3] 闵锐. 联锁软件进路控制功能自动测试方法研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2018.
- [4] 宋西欣, 郁文斌. 铁路信号产品自动化测试探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(9): 94-100.
Song Xixin, Yu Wenbin. Discussion on Automatic Tests of Railway Signal Products[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(9): 94-100.
- [5] 臧志丹, 张羽, 秘慧杰. 一种高铁 CTC 进路数据自动测试方法的设计与实现 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(3): 44-48.
Zang Zhidan, Zhang Yu, Bei Huijie. Design and Implementation of Automatic Test Method for High-Speed Railway CTC Route Data[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(3): 44-48.
- [6] 洪玲娇, 李卫娟. 计算机联锁与 TCC 接口自动化测试的研究和设计 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(10): 24-29.
Hong Lingjiao, Li Weijuan. Research and Design of Automatic Test for CBI-TCC Interface[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(10): 24-29.
- [7] 朱明玲, 刘锦峰, 陈晓轩. 计算机联锁处理子系统的自动化测试平台及其应用 [J]. 铁道通信信号, 2017, 53(9): 11-13.
Zhu Mingling, Liu Jinfeng, Chen Xiaoxuan. Automatic Test Platform for Computer Interlocking Processing Subsystem and Its Application[J]. Railway Signalling & Communication, 2017, 53(9): 11-13.
- [8] 徐曼, 李志均. iLOCK 型计算机联锁系统的自动化测试设计 [J]. 电子世界, 2021(8): 200-201.
- [9] 李文涛. 计算机联锁系统自动测试系统研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(1): 1-5.
Li Wentao. Research on Computer Interlocking Automatic Testing System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(1): 1-5.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.02.003

铁路信号系统室内智能试验仪的研制

蒋先进, 范建伟, 蒋淮申, 韩志鹏

(中铁电气化局集团有限公司, 北京 100036)

摘要: 铁路信号系统室内智能试验仪是一个集智能、多功能、使用方便的工程现场系统试验设备。对铁路信号系统室内智能试验仪的研制进行简要介绍, 通过人机界面(HMI)能方便、快捷的进行站场搭建, 直观显示站场设备的运行状态, 能够仿真目前国内铁路/城市轨道交通主要制式的信号系统各类轨道电路、信号机、道岔、按钮等被控设备, 并可在HMI上控制/采集相关被控设备状态和信息反馈。

关键词: 信号系统; 室内; 智能试验

中图分类号: U284

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)02-0013-05

Development of Indoor Intelligent Tester for Railway Signaling System

Jiang Xianjin, Fan Jianwei, Jiang Huaishen, Han Zhipeng

(China Railway Electrification Bureau (Group) Co., Ltd., Beijing 100036, China)

Abstract: The indoor intelligent test platform of railway signaling system is an intelligent, multi-functional and convenient engineering field system test equipment. Through the human-machine interface (HMI), the station & yard can be built conveniently and quickly, the operation status of station & yard equipment can be displayed intuitively. It can simulate all kinds of track circuits, signals, switches, buttons and other controlled equipment of the signaling system of the main systems of domestic railway/urban rail transit, and can control/collect the status information feedback of relevant controlled equipment on HMI.

Keywords: railway signaling system; indoor; intelligent test

1 现状

信号系统是铁路(地铁)线路中非常重要的控制系统, 其对系统试验的完整性、安全性及设备安装

精度等要求较高, 信号调试质量的好坏将直接影响整个系统是否能够安全可靠的运行。以往在每条线路的联锁集中站系统联动试验前, 均需在信号设备室内加工一套现场临时试验盘(由板材、按钮、灯泡、线缆等材料制作而成), 模拟轨道电路、信号机、道岔、站台门、扣车、紧急关闭等各种设备状态, 用以测试联锁、ATP、ATO等子系统的基本功能。受现场条件所限和每个设备集中站站场结构布置不一致因素影响, 临时试验盘存在制作周期较长、无法通用、

收稿日期: 2021-12-27; 修回日期: 2022-12-29

基金项目: 中铁电气化局集团有限公司科技研究开发计划项目(2019-21)

第一作者: 蒋先进(1963—), 男, 正高级工程师, 本科, 主要研究方向: 轨道交通信号领域施工调试技术研究, 邮箱: 479298809@qq.com。

功能简单、故障率高等缺陷，严重制约室内模拟试验的顺利进行，且资源浪费较大。为此，中铁电气化局集团有限公司组织研发了能够覆盖目前国内各主流信号制式的智能试验仪。该试验仪为分布式结构，按轨道电路、信号机、道岔、接口柜等不同用途进行模块化设计，各模块可独立工作，也可以任意组合工作。

2 系统架构

为充分满足信号系统模拟试验的需求，试验仪按功能分区分布式架构进行设计，共分为上位机人机交互控制软件、信号机功能模块、道岔功能模块、接口柜（驱动和采集）功能模块、轨道电路功能模块、综合模块、路由模块等 7 个功能分区模块，各功能模块可根据不同站场需要增减，自由灵活的组建网络，保证试验工作的快速、准确、高效。系统架构如图 1 所示。

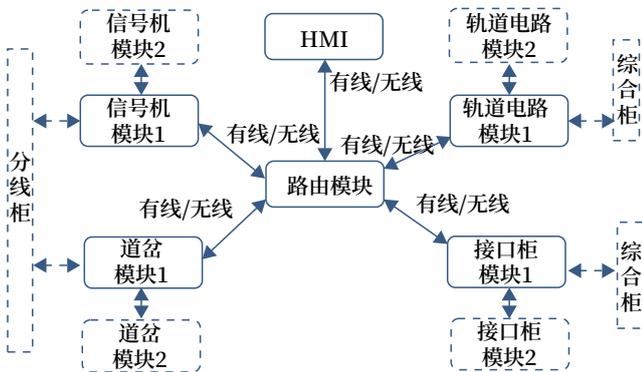


图1 试验仪系统架构
Fig.1 System architecture of tester

功能分区模块就近设置于分线柜 / 综合柜 / 接口柜，与机柜端口相连接，通过无线 Wi-Fi 或网线在路由模块进行信息集成，HMI 人机交互界面反馈道岔、信号机等接口设备的实时状态，仿真控制轨道电路和其他驱动继电器的吸起和落下，检测驱动与采集回路配线正确性和设备工作状况。系统电源采用信号设备室最方便采用的直流 24 V 作为工作电源。

3 模块工作原理及功能

3.1 信号机模块

3.1.1 模块结构及原理

信号机模块结构如图 2 所示。

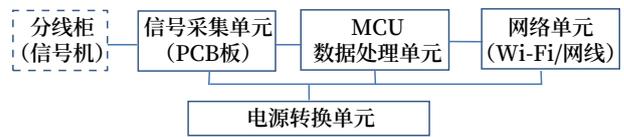


图2 信号机模块结构
Fig.2 Structure of signal module

1) MCU 数据处理单元：通过单片机群组的多个 I/O 口进行信号机各点位的信号采集。

2) 信号采集单元：兼容国铁信号机 220 V / 地铁 110 V 工作电压，采集信号机灯位点灯模拟信号，经采样、光电耦合隔离后转换为单片机可接受的 5 V I/O 数字信号。

3) 电源转换单元：外部输入电源直流 24 V 或交流 220 V，提供 MCU 等各单元工作电源。

4) 网络单元：使用 Wi-Fi / 网线进行数据通讯，保证信号机模块与平台主机能够正常无线 / 有线网络连接。

3.1.2 模块功能

信号机模块设置在分线柜，在信号采集单元内置元件可以仿真室外信号机点灯回路，针对国铁 / 地铁信号机各灯位显示状态进行实时采集，回路电流调整在 120 ~ 150 mA 之间，满足灯丝继电器工作要求，并将采集数据传递给上位机。

3.2 道岔模块

道岔模块结构如图 3 所示。不同点在于此模块内置二极管等道岔转辙机外部表示回路仿真模块，采集道岔表示电路经 BD1-7 变压输出的交流 110 V 模拟信号，转换为单片机可接受的 5 V I/O 数字信号，经 MCU 数据处理单元处理后回传上位机，实现道岔表示状态的实时显示。

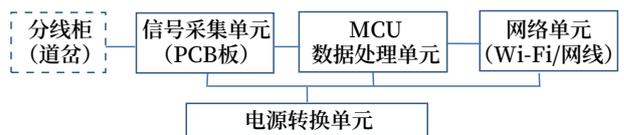


图3 道岔模块架构
Fig.3 Architecture of switch module

3.3 轨道电路模块

轨道电路模块结构如图 4 所示。针对铁路 / 城

市轨道交通线路中 ZPW-2000A 型无绝缘轨道电路、25 Hz 相敏轨道电路、单轨条式 50 Hz 相敏单轨条轨道电路等各种制式的轨道电路，信号驱动单元能够完成轨道占用 / 出清状态进行实时驱动控制，并与上位机命令绑定、单点驱动、状态保持等功能。以 ZPW-2000A 无绝缘轨道电路为例，现场试验是在综合柜轨道电路的发送端和接收端之间接入，通过命令控制回路的通断仿真列车在轨道上的占用和出清，利用上位机的编程功能，可方便的对多个轨道电路进行逻辑控制，实现列车在进路上的自动连续运行仿真控制。

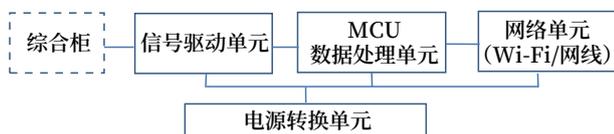


图4 轨道电路模块架构
Fig.4 Architecture of track circuit module

3.4 接口柜模块

接口柜模块结构如图 5 所示，信号驱动、采集单元能够模拟联锁计算机实现对接口柜连接的继电器驱动和状态采集功能，实现信号机 LXJ、LJ、UJ、ZXJ、YXJ、DXJ 及道岔 DCJ、FCJ、SJ 等不同继电器吸起 / 落下驱动控制，采集相关继电器接点状态并回传上位机进行实时显示，可高效完成室内接口柜相关回路的试验验证工作。

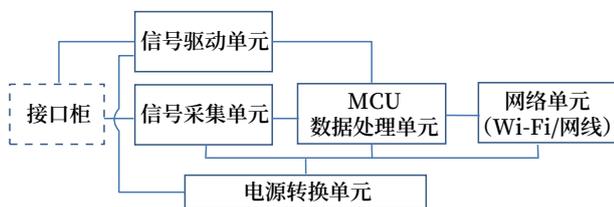


图5 接口柜模块架构
Fig.5 Architecture of interface cabinet module

信号驱动单元对应接口柜驱动 32 位计算机插头，32 位接口有两种命令输出方式：一种是 1-16 左右布局的 24 V 成组输出方式，如图 6 所示，另一种是 1-2 上下布局的 24 V 成组输出方式。地铁较多采用左右布局，国铁较多采用上下布局方式，试

验模块按 1-2 一组的上下布局进行设计，对于左右成组的线路，试验时模块本身无需改动，将输出线缆另一端的插头顺序改变即可实现两种设计思路的通用化。

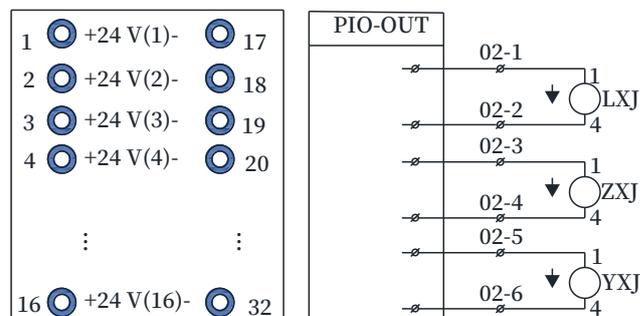


图6 信号点位分布及驱动原理
Fig.6 Signal point distribution and driving schematic diagram

信号采集单元对应接口柜 32 位采集计算机插头，采集电源有内部输出共线逻辑回路检查、外部输入共线逻辑回路检查两种方式，如图 7 所示，模块统一设计为外部送电检查，逻辑回线单独设置，按实际配置使用。1 个驱动插头对应 2 个采集插头，目的是对联锁 A 机、联锁 B 机采集回路实现一次性试验验证。

3.5 路由模块

路由模块结构如图 8 所示。主要功能是采集汇总各模块的信息，与上位机进行通信，平台主机与其他功能模块间通信以 Wi-Fi 为主，距离较远时采用网线通信，采用网线 + 电源线（网线电源综合线）的方式实现通信连接和功能模块供电。

各功能模块除了通过路由模块供电外，也可就近在机柜上取 24 V 供电。

3.6 道岔动作检测模块

本系统设计有道岔动作检测模块，在联锁模拟试验完成后，将三相交流电检测模块置于分线柜道岔回路，试验道岔动作回路时可检测动作回路的三相电源电压、相序，提示道岔动作定 / 反位信息，确保室内道岔所有回路试验正确性、完整性。

3.7 HMI 上位机软件

软件功能如下所示。

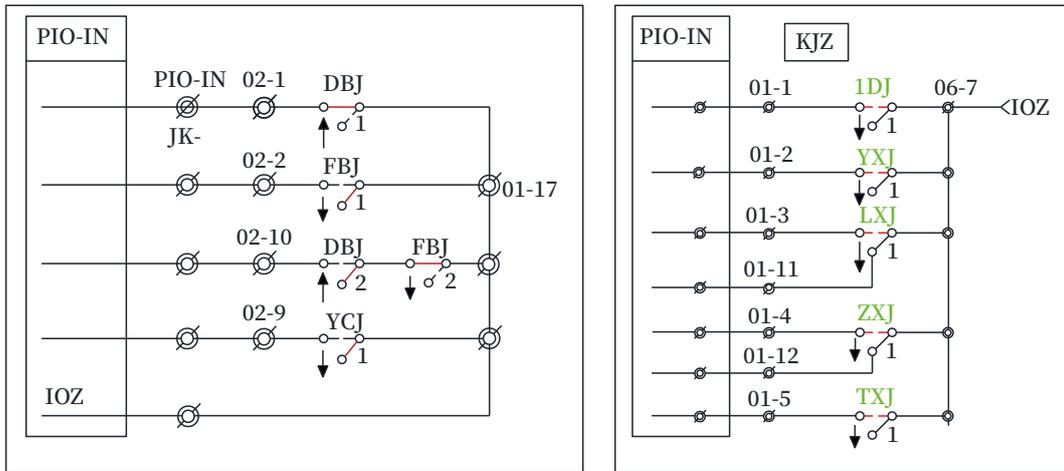


图7 信号采集示意

Fig.7 Schematic diagram of signal acquisition

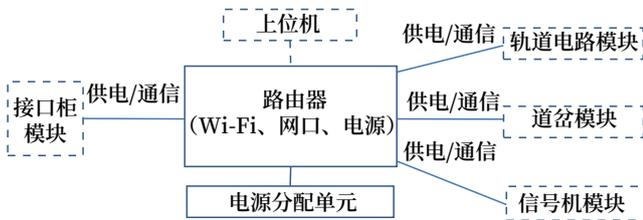


图8 路由模块架构

Fig.8 Architecture of routing module

1) 用户管理：用户分为管理员和用户两种类型，管理员拥有增、删、改、查用户信息和管理线路、联锁区等板块的权限；用户仅拥有联锁区管理、数据、日志等板块权限。

2) 通讯管理：通过 TCP/IP 通讯协议，动态赋值 IP 地址和端口号，连接平台主机，实时展示通讯连接状态，以及连接失败代号和原因。

3) 线路管理：增、删、改、查本地数据库中线路信息，线路信息由线路名称、规格制式、地理位置、全长公里、车站数量等相关信息。

4) 联锁区管理：联锁区与线路为 $N:1$ 对应关系，通过信驱采 HMI 对联锁区信号设备进行绘制，将预制信号设备通过拖、拉、拽方式，快速布局、绘制信号联锁模拟实验界面。各信号设备能够进行自定义调整，如：信号机设置色灯数量、颜色等。

5) 数据统计：通过接收平台主机传递的所有接入信号设备实时状态，使用固定格式表格的形式，按照信号设备 - 序号的 ASC 顺序排序，实时展示信

号设备状态。

6) 试验日志：日志系统，以联锁区为单位记录信号联锁模拟试验的所有操作，记录内容不限于：联锁区、信号设备编号、信号设备类型、试验用户、试验时间、试验结果等信息。

7) 模拟运行：在站场 HMI 界面上，通过预设信号设备编号以及运行时间等相关信息，按照预设信息进行带驱动逻辑的命令集发送，用于动态模拟试验。

8) 驱动采集对比试验：在 HMI 界面上，接口柜模块的驱动和采集以 32 针插座为单位集中显示，可以进行单独驱动命令发送，外部继电器接点状态变化实时反应到界面上。

9) 系统驱动、采集状态变化到显示的时延小于 1 s，界面刷新无闪烁。

4 使用效果

信号系统室内智能试验仪截止到目前已经在重庆 4 号线、10 号线，深圳 2、8 号线和北京 16 号线、川南城际等线路进行了现场应用，通过与原有模拟试验盘从前期准备、站场制作、终端接配、调试实施、效果检查、资源利用等多个方面进行对比，在工效、周期、灵活性、可靠性等方面都处于完全优势，对调试进度、质量检查、效果验证、成本控制有了较大提升。

5 结束语

信号系统室内智能试验仪将先进的计算机控制技术、自动化技术应用到信号系统施工调试设备中,用先进的装备完成施工安装、调试等主要工序,实现高效率、高质量、高安全性的施工调试模式,大幅降低了信号系统的调试时间,用科技、创新思维引导信号系统调试装备往高精度、自动化、智能化方向发展,更好地推动了轨道交通行业信号系统调试技术的发展。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市轨道交通技术规范:GB 50490-2009[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2009.
- [2] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 轨道交通 城市轨道交通运营管理 和指令 / 控制系统 第 1 部分: 系统原理和基本概念:GB/T 32590.1-2016[S]. 北京:中国标准出版社, 2016.
- [3] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路信号设计规范:TB 10007-2017[S]. 北京:中国铁道出版社, 2017.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地铁设计规范:GB 50157-2013[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2014.
- [5] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 城市轨道交通信号系统通用技术条件:GB/T 12758-2004[S]. 北京:中国标准出版社, 2005.
- [6] 黄毅, 高京显. 地铁信号系统与其他专业接口分析[J]. 科技创新与应用, 2019(23): 67-68.
- [7] 梁晓玲. 福州地铁一号线信号系统 ATP 与 ATS 接口分析[J]. 中国新技术新产品, 2017(3): 28-29.
- [8] 曹然. 地铁信号系统设计验证的研究和应用[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(9): 86-89.
- Cao Ran. Application of Design Verification of Signal System for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(9): 86-89.
- [9] 张涛. 地铁信号系统的接口设计分析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2010, 7(1): 52-55.
- Zhang Tao. Analysis of Interface Design of Signal System for Metro[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2010, 7(1): 52-55.
- [10] 孙慧. 地铁信号系统与相关专业的接口分析[J]. 铁道通信信号, 2012, 48(5): 8-11.
- Sun Hui. Interface Analysis of Subway Signal System with other Related Systems[J]. Railway Signalling & Communication, 2012, 48(5): 8-11.
- *****
- (上接 6 页)
- Wang Honggang, Zhang Qi, Wang Jianying, et al. GA-Based Model of Train Operation Adjustment for High-Speed Railway[J]. China Railway Science, 2006, 27(3): 96-100.
- [8] 董守清, 王进勇, 闫海峰. 双线铁路列车运行调整的禁忌搜索算法[J]. 中国铁道科学, 2005, 26(4): 114-119.
- Dong Shouqing, Wang Jinyong, Yan Haifeng. Tabu Search for Train Operation Adjustment on Double-Track[J]. China Railway Science, 2005, 26(4): 114-119.
- [9] 钱名军, 宋建业. 基于粗糙集的列车运行调整方法研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2008, 8(4): 122-126.
- Qian Mingjun, Song Jianye. Train Operation Adjustment Based on Rough Set Theory[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2008, 8(4): 122-126.

ZPW-2000A预叠加电码化机车信号 载频切换电路设计

李亚兰

(杭州铁路设计院有限责任公司, 杭州 310004)

摘要: 对于采用 ZPW-2000A 预叠加电码化设备的车站, 列车进行上、下行线转线运行时, 需要司机利用开关进行机车信号载频人工切换, 通过对既有站电码化电路进行设计, 实现载频自动切换。解决单线双向自动闭塞区间接发车人工载频切换存在的操作频繁复杂、切换地点和时间不明确的问题。

关键词: 载频切换; 电码化; 自动闭塞

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)02-0018-04

Design of Carrier Frequency Switching Circuit of Cab Signal for ZPW-2000A Overlap Coding in Advance

Li Yalan

(Hangzhou Railway Design Institute Co., Ltd., Hangzhou 310004, China)

Abstract: For the stations with ZPW-2000A equipment for overlap coding in advance, when the train is running from the uplink line to the downlink line, it needs the driver to press the switch for changing the carrier frequency of cab signal manually. In this paper, by designing the code circuit of the existing station, the automatic switching of carrier frequency has been realized. It solves the problems of frequent and complex operation and unclear switching location and the vague time of manual switching carrier frequency for the single section with double-direction automatic blocking.

Keywords: carrier frequency switching; coding; automatic blocking system

1 概述

铁路作为新时代交通强国的骨干力量, 其运行效率及行车安全显得尤为重要, 机车信号主体化的概念也越来越具体。列车在自动闭塞区间运行时,

机车信号能够连续接收地面信号, 不间断的复示前方信号机的显示, 当列车进入车站站内时, 通过对轨道电路实施电码化设计使得机车信号连续。但是对于一些处在几条线路交叉点的车站, 会存在车站一端为复线自动闭塞区间, 另一端为单线双向自动闭塞区间的情况, 如图 1 所示, 车站 1 至车站 2 区间为复线自动闭塞区间, 车站 1 至车站 A 与车站 C 均为单线自动闭塞区间。此时复线区间可向任意一

收稿日期: 2022-09-14; 修回日期: 2023-01-14

作者简介: 李亚兰 (1988—), 女, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路信号, 邮箱: liyl@hztsjy.com。

条单线区间运行,即列车由上(下)行线转下(上)行线,采用ZPW-2000A预叠加电码化(以下简称开环电码化)设备的车站往往都是由司机利用开关进行人工载频切换。人工切换操作频率高且复杂,而且切换的时间和地点都由司机人工掌握,存在难掌握和不明确等问题。本文通过对车站1电码化电路的优化设计,实现载频自动切换。

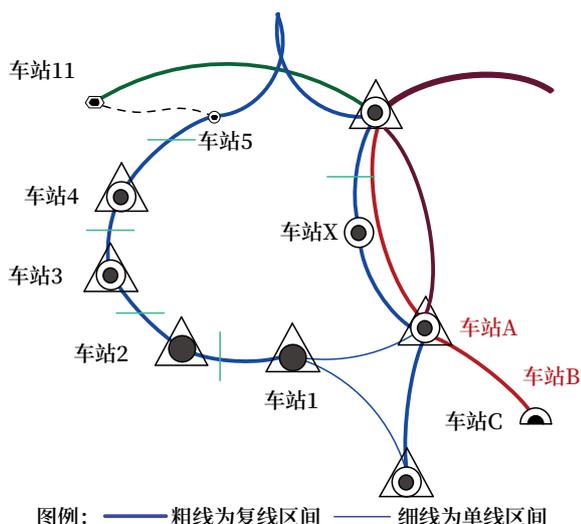


图1 示例车站
Fig.1 Example station

2 载频自动切换逻辑

预叠加电码化是目前应用比较广泛的电码化技术,“预”就是当列车占用某一区段时,其列车运行前方与该区段相邻的下一个区段也开始发码;“叠加”就是轨道电路信息与机车信号信息在传输通道内同时存在。电码化设备作为机车信号的地面设备,可通过优化电码化电路,实现机车信号上(下)、下(上)行线载频自动切换功能。机车信号设备载频切换的时机和原理如下。

当机车信号接收到 $1700-1 + 25.7 \text{ Hz}$ 时,机车信号则自动切换至仅接收 $1700-1 \text{ Hz}$ 载频。

当机车信号接收到 $2300-1 + 25.7 \text{ Hz}$ 时,机车信号则自动切换至仅接收 $2300-1 \text{ Hz}$ 载频。

当机车信号接收到 $2000-1 + 25.7 \text{ Hz}$ 时,机车信号则自动切换至仅接收 $2000-1 \text{ Hz}$ 载频。

当机车信号接收到 $2600-1 + 25.7 \text{ Hz}$ 时,机车信号则自动切换至仅接收 $2600-1 \text{ Hz}$ 载频。

当机车信号接收到 $1700-2 + 25.7 \text{ Hz}$ 或 $2300-2 + 25.7 \text{ Hz}$ 时,机车信号则自动切换至仅接收 $1700/2300 \text{ Hz}$ 载频。

当机车信号接收到 $2000-2 + 25.7 \text{ Hz}$ 或 $2600-2 + 25.7 \text{ Hz}$ 时,机车信号则自动切换至仅接收 $2000/2600 \text{ Hz}$ 载频。

根据《铁路车站电码化技术条件》(TB/T 2465-2010)对车站实施预叠加电码化的范围要求,机车信号载频自动切换功能的实现需根据车站电码化范围的不同,视情况具体分析设计。

3 开环电码化载频切换电路设计

本文以实际工程设计车站过渡版站型为例,如图2所示,对其开环电码化电路加以优化设计,实现载频自动切换。车站1下行进站信号机外方为复线自动闭塞区间,上行进站信号机外方为单线自动闭塞区间。当列车从下行线进入上行线(如图2中③、④、⑥路径)或从上行线进入下行线(如图2中①、②、⑤径路)时,机车信号载频需从下行(上行)载频切换到上行(下行)载频。机车信号载频自动切换需在电码化电路中设置转频继电器(ZPJ),利用ZPJ和低频转频信息,对电码化电路进行优化设计实现载频自动切换。

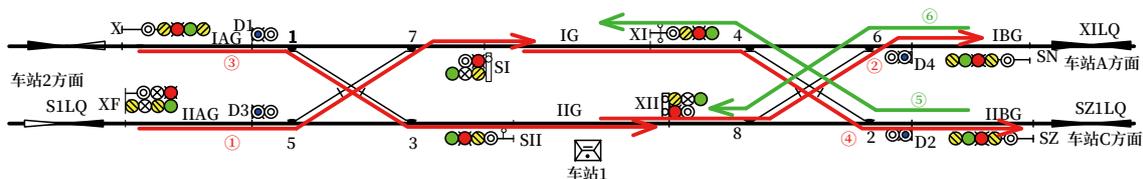


图2 实例车站
Fig.2 Instance of station

3.1 径路①的列车转线作业载频切换设计

径路①的列车转线作业，需要机车信号由上行载频切换成下行载频。《铁路车站电码化技术条件》要求股道占用时，不终止发码。以此为切入点，利用下行正线 IG 接车的电码化编码电路，当列车从 5/7[#] 道岔反位压入 IG 时，在股道实现载频自动切换。下行正线 IG 接车电码化载频为 1700-2，此时需设计 IG 的转频继电器 (IGZPJ) 和转频复示继电器 (IGZPJF)，当 5/7[#] 道岔在定位时，不影响下行正线 IG 接车电码化电路，电路发送正常下行正线接车低频信息；当 5/7[#] 道岔在反位时，列车沿径路①压入 IG 时，其轨道继电器落下，设置的 2 s 缓吸转频继电器还未吸起，利用缓吸时间 (2 s) 发送转频信息，待转频继电器吸起后，股道继续发送低频信息。满足《铁路车站电码化技术条件》中对股道占用时，不终止发码的要求。

电码化电路自动转频优化如图 3 所示。当列车经由 5/7[#] 道岔反位压入 IG 时，IGDGJ ↓ → IGZPJ ↑ (延时 2 s) → IGZPJF ↑，在 IGZPJ 缓吸时间内，机车信号接收到 1700-2 + ZP (转频码 25.7 Hz) 频率，频率由上行载频自动切换到下行载频。

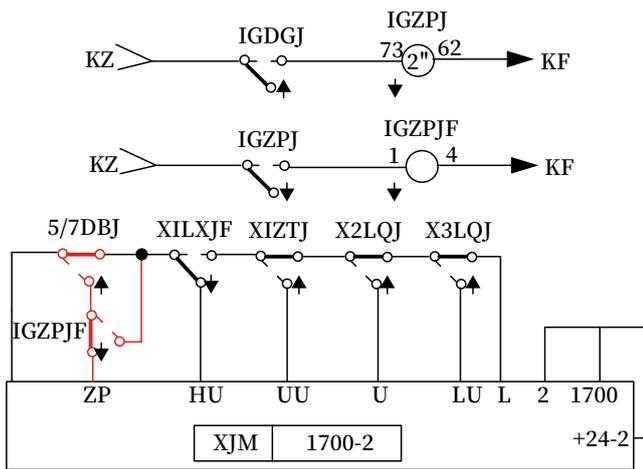


图3 下行正线 IG接车电码化编码电路优化

Fig.3 Optimization of the coding circuit for downlink positive receiving to IG

3.2 径路②的列车转线作业载频切换设计

径路②的列车转线作业，需要机车信号由上行载频切换成下行载频，借鉴《铁路车站电码化技术

条件》对闭环电码化的范围：“自动闭塞区段，经道岔直向的发车进路，为该进路中的所有区段；经道岔侧向的发车进路，为该进路的最末一个区段”，利用下行正线发车的电码化电路，可在发车进路最后一个区段实现载频自动切换。此规范对预叠加电码化经道岔直向的发车进路要求同闭环电码化，只是取消经道岔侧向的发车进路要求。下行正线发车电码化载频为 1700-2，设计切频继电器 (SNQPJ) 和改频继电器 (SNFGPJ)。往 SN 口发车时，发车锁闭继电器 (FSJ) 落下，直通继电器 (ZTJ) 的吸起和落下，说明发车进路是直股还是弯股。当 6/8[#] 道岔在反位发车时，直通继电器 (XIZTJ) 落下，当第一离去区间空闲时，设置的切频继电器 (SNQPJ) 励磁吸起，同时自保电路也构成。当列车由径路②压入 IBG 时，对应的轨道继电器落下，在 IBG 实现载频的转换。为不影响下行正线发车电码化电路，还需将 SNFGPJ 的前节点并入电码化电路传输改频码。

电码化电路自动转频优化电路如图 4 所示。办理经 6/8[#] 道岔反位发车进路，发车进路锁闭以后，SNFSJF ↓ → X1LQJ ↑ → XIZTJ ↓ → SNQPJ ↑，当列车经由 6/8[#] 道岔反位压入 IBG 时，IBGDGJ ↓ → SNQPJ ↑ → SNFGPJ ↑ → 机车信号收到 1700-2 + ZP (转频码 25.7 Hz) 频率，频率由上行载频自动切换到下行载频。在不影响原电码化电路的前提下，实现频率转换，且满足规范要求。

3.3 径路③~⑥的列车转线作业载频切换设计

综上所述，径路③、⑤、⑥的列车转线作业，其电路设计思路同径路①，均在压入股道的 2 s 内发送转频信息，实现载频的自动转换。径路④的列车转线作业，其电路设计思路同径路②，在发车进路最末一个区段实现载频自动切换。

4 结论

本文对工程设计中实例车站过渡站型的电码化电路进行优化设计，实现列车进行上、下行线转线作业时的载频自动转换，解决了人工切换载频的操作烦

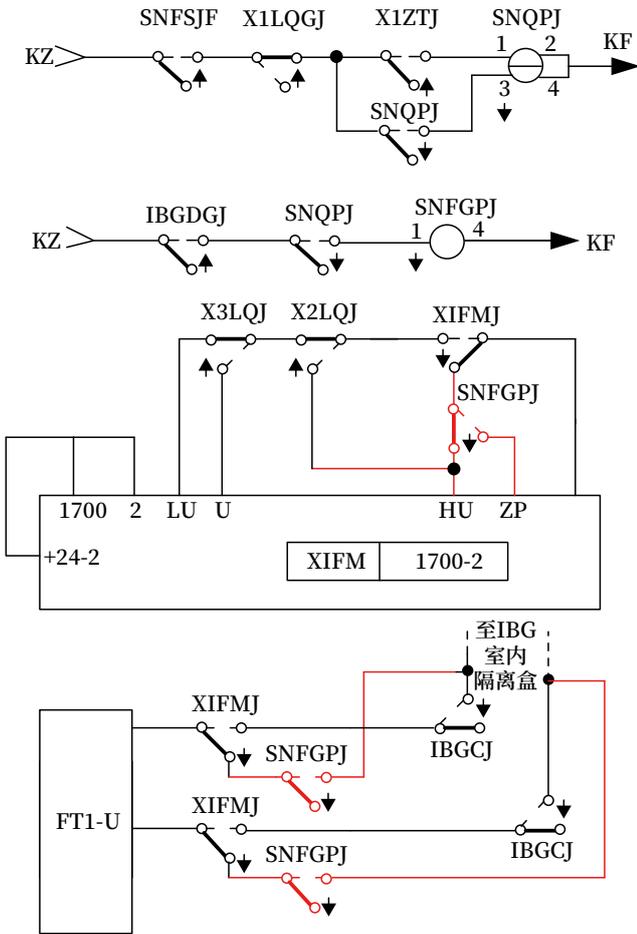


图4 下行正线发车电码化电路优化

Fig.4 Optimization of the coding circuit for downlink positive departure line

繁复杂、切换地点和时间不明确的问题。电路设计在实际车站过渡的应用期间，未发现问题。本文的研究方案为载频切换电路的进一步优化提供参考。

参考文献

[1] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路信号设计规范: TB 10007-2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.

[2] 中华人民共和国铁道部. 铁路车站电码化技术条件: TB/T 2465-2010[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2010.

[3] 李琴, 范丽君. 相邻闭塞分区轨道电路信号相同载频问题的研究[J]. 中国铁道科学, 2011, 32(1): 108-111.

Li Qin, Fan Lijun. Study on the Problem of the Track Circuit Signal with the Same Carrier

Frequency in the Adjacent Block Sections[J]. China Railway Science, 2011, 32(1): 108-111.

[4] 李鹏, 石文强. ZPW-2000 站内电码化低频编码电路修改方案[J]. 铁道通信信号, 2018, 54(3): 25-28.

Li Peng, Shi Wenqiang. Modification Proposal of Low-Frequency Encode Circuit for ZPW-2000's Inner-Station Coding[J]. Railway Signalling & Communication, 2018, 54(3): 25-28.

[5] 邵乐乐, 聂磊, 陈滨. 高铁信号工程相邻轨道电路相同基准载频布置的研究[J]. 铁道标准设计, 2020, 64(7): 166-170.

Shao Lele, Nie Lei, Chen Bin. Research on Same Carrier Frequency Setting of Adjacent Track Circuits in High-Speed Railway Signal Engineering[J]. Railway Standard Design, 2020, 64(7): 166-170.

[6] 李强, 何健. 站内一体化轨道电路股道防邻线干扰分析及解决方案[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(11): 61-64.

Li Qiang, He Jian. Analysis and Solution on Anti-Interference from Adjacent Line of Integrated Track Circuit in Station[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(11): 61-64.

[7] 刘国栋, 陈德伟, 肖鹏. 站内 25 Hz 轨道电路叠加电码化典型问题分析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(11): 65-67, 89.

Liu Guodong, Chen Dewei, Xiao Peng. Analysis on Typical Problems of Overlapped Coding of 25 Hz Phase Sensitive Track Circuit in Station[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(11): 65-67, 89.

[8] 郭红标, 赵林海, 冯栋, 等. 无绝缘轨道电路邻区段干扰防护方法的研究[J]. 铁道学报, 2018, 40(11): 70-76.

Guo Hongbiao, Zhao Linhai, Feng Dong, et al. Study on Protection Method Against Adjacent Section Interference in JTC[J]. Journal of the China Railway Society, 2018, 40(11): 70-76.

铁路专用芯片服务器端 可重用开发环境的研究

马盼^{1, 2}, 林子明^{1, 2}

(1. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070;

2. 北京市高速铁路运行控制系统工程技术研究中心, 北京 100070)

摘要: 铁路专用芯片是国内轨道交通列控系统底层核心攻关技术之一, 为助力芯片设计开发效率提高及减少后期维护成本, 分别从数字专用芯片前端设计和仿真验证两个方面分析开发环境的功能需求, 提出基于linux服务器端可重用芯片开发环境, 详细说明该环境的设计结构、启动流程和应用方法。该开发环境可实现从模块级到芯片级, RTL级到门级网表, 单测试用例到测试用例集的开发、仿真、管理和多人协同工作, 在保证芯片可靠性同时提升开发效率。

关键词: ASIC开发环境; 可重用; 芯片设计; 芯片验证

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)02-0022-05

Research on Server-side Reusable Development Environment of Railway ASIC

Ma Pan^{1, 2}, Lin Ziming^{1, 2}

(1. CRSC Research & Design Institute Group Co., Ltd., Beijing 100070, China)

(2. Beijing Engineering Technology Research Center of Operation Control Systems for High Speed Railways, Beijing 100070, China)

Abstract: Railway ASIC (Application Specific Integrated Circuit) is one of the core technologies of train control system of China's railway transportation. In order to improve the chip design and development efficiency and reduce the later maintenance cost, this paper analyzes the functional requirements of the development environment from two aspects of the chip design and simulation verification of ASIC, and proposes the reusable chip development environment based on linux server side. The design structure, start-up process and application method of the environment are described in detail. The development environment can realize the development, simulation, management and multi-person cooperation from module level to chip level, RTL level to gate level netlist, single test case to test case set, ensuring the reliability of the chip and improving the development efficiency.

Keywords: ASIC development environment; reusability; IC design; IC verification

收稿日期: 2022-03-02; 修回日期: 2023-01-13

基金项目: 工业和信息化部2020年工业互联网创新发展工程项目(2300-k1210002.01)

第一作者: 马盼(1988-), 女, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 芯片设计研发, 邮箱: mapan@crscd.com.cn.

1 概述

国内对轨道交通列控系统的研究起步较晚，前期的研究工作主要是引进并消化国外成熟的技术，后期研究工作的主要目标是在借鉴外国技术的基础上形成符合国内列车特点的具有自主知识产权的轨道交通列控系统^[1]。经多年技术积累，已经实现了轨道交通控制系统从系统级到硬件板卡级的自主化，并实现软件系统自主化，但在底层核心芯片，尤其是专用芯片领域，仍严重依赖进口。当前，国内轨道交通列控系统底层芯片受国外“卡脖子”问题突出，实现高速铁路核心技术体系自主创新成为铁路人的首要目标。

一枚芯片从设计开发到封装成片会经过一系列的仿真制造流程，传统的产品“试错式”开发和“迭代式”开发不适用于芯片开发^[2]，设计过程中的设计漏洞造成的设计缺陷以及后期流片出现的工艺缺陷会直接影响开发效率和成本。铁路专用芯片一般以标准协议控制芯片或定制数字芯片为主，随着芯片规模和复杂度的提高，PC机在性能和存储上已不能满足芯片前端设计仿真需求，越来越多的项目会采用Linux操作系统服务器进行开发。为解决以上问题，本文分别从数字芯片前端设计与仿真验证两个方面分析开发环境的需求，并提出了基于linux服务器端构建的稳定可重用开发环境。

2 芯片设计与仿真测试对开发环境的需求

为保证芯片功能的正确性，在铁路专用芯片研发过程中采用研发人员异构机制^[3]，芯片前端设计与仿真验证流程如图1所示^[4]。研发人员根据芯片功能需求书共同划分出功能列表。设计人员根据功能列表确定芯片的目的、效能，进行规格制定后，设计芯片细节，使用硬件描述语言(Verilog, VHDL)将电路描述出来。测试人员则根据功能列表确定测试目标、测试平台及工具和测试方法，制定测试规格后，使用验证语言(SystemVerilog)搭建测试平台和测试用例。当设计代码完成后，测试人

员对这些代码进行功能仿真验证，检验代码实现与产品需求和设计规格的正确性、完备性和一致性^[5]。

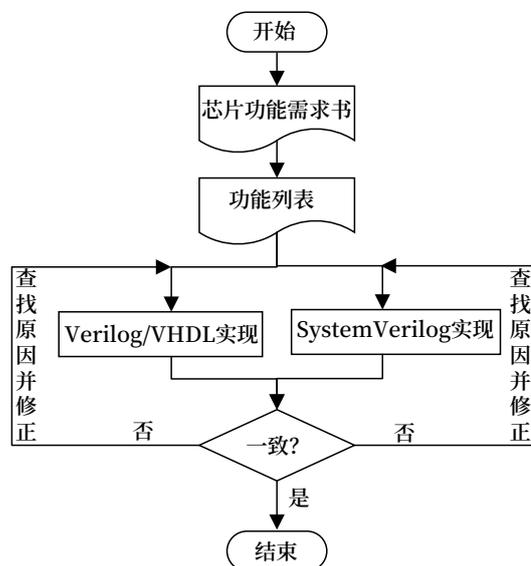


图1 芯片前端设计与仿真验证流程

Fig.1 IC Chip front-end design and simulation verification process

2.1 设计环境需求

通常，数字芯片前端功能设计开发与传统的数字系统设计不同，是按照自顶向下(top-to-down)设计思路规划芯片的层次结构，再分模块、分层次地进行设计描述^[6]。首先确定顶层模块的设计，然后进行子模块的详细设计，而在子模块中可以调用库中已有的模块或设计过程保留下来的知识产权(IP)实例，最后通过电子设计自动化(Electronics Design Automation, EDA)工具配合相应测试平台进行层级编译和仿真。设计开发过程中代码文件主要分为3类，分别为设计文件、库文件和IP核文件。其中设计文件随仿真验证动态变化，需进行代码版本管理。仿真调试时设计人员侧重关注于设计代码的功能逻辑，对开发环境的需求更倾向于简单的仿真命令、简便的工具调用和直观的仿真结果。

2.2 仿真环境需求

在数字芯片前端功能仿真验证中可先对设计代码进行静态测试，初步检查代码是否符合设计规则，随后采用动态测试，检验设计逻辑功能是否符合设

计需求^[7]。动态测试是采用不同测试方法（如创建定向测试用例或随机测试用例^[8]）在不同层级实现相同的测试目标，该测试由一系列测试用例驱动，这些测试用例通常是面向某些场景的一组约束，为了实现测试平台可重用性，在构建测试平台时，可将专用测试用例与承载测试用例的通用组件分组管理。仿真调试后经过修改更新的代码为避免出现已测试通过的用例在当前版本不能通过的问题，需要进行回归测试来保证代码功能的一致性。为提高仿

真效率，开发环境在满足设计需求的同时还需满足从单测试用例到测试用例集的批量仿真。

3 开发环境设计结构

本文提出的 linux 服务器端可重用开发环境，利用目录与文件树结构助力研发人员快速建立设计仿真通路，并采用高效的自动化脚本实现启动设计仿真中所需要的一系列工具，并对设计的仿真结果进行归纳管理。

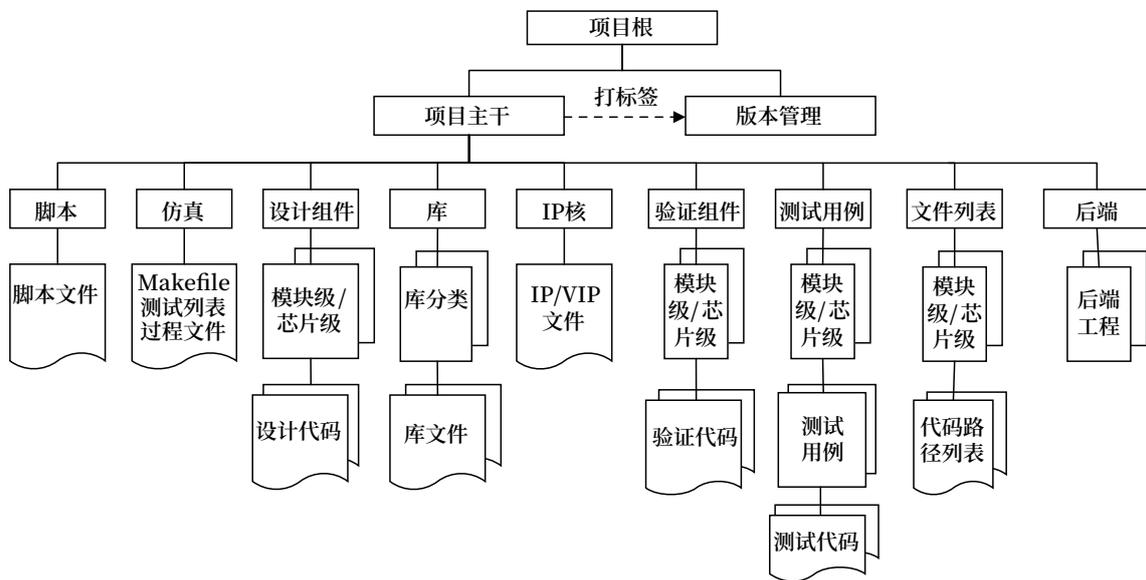


图2 目录与文件树结构
Fig.2 Directory and file tree structure

如图 2 所示，该环境中的文件采用目录树形结构实现管理，开发环境内所有进行中的工作及最终交付内容位于目录与文件树的项目根中，项目主干为当前开发路径，而设计仿真过程的阶段性结点可将代码版本打标签存于版本管理中。左子树项目主干下的分支目录根据代码种类和实现功能的不同，对代码文件进行了初步分类，其中设计组件目录存放设计文件，库目录下用来存储工程所需的库文件，IP 核目录下主要存放 IP 核生成后缀为 .v 文件、.vhd 文件和 IP 核生成的网表等文件，设计人员可根据芯片规格和计划存放相应文件。

验证组件目录、测试用例目录和文件列表目录组织结构相似，在各自分支下存放着基于模块级或芯片级命名的结点。验证组件目录的叶结点为不随

测试用例变化而变化的通用测试平台文件。对于设计人员，测试平台文件至少包括顶层文件，对于验证人员，测试平台文件除了顶层文件，还包括验证平台中的组件，如接口、驱动和计分板等。测试用例目录在结点模块级或芯片级路径下存放该级所有测试用例，每个测试用例再单独建立结点，存放自己的用例文件。文件列表目录的叶结点为测试平台文件列表、设计文件列表、库列表以及覆盖率配置列表 4 种文件，分别存放着开发环境中所有代码的相对路径。

开发环境的核心脚本独立存于脚本目录中，用于自动加载文件并调动 EDA 工具进行仿真。仿真执行目录存放着测试用例配置文件和生成文件 (Makefile)，同时还存放编译仿真运行工程生成的

过程文件以及波形文件等。考虑到芯片后仿真，开发环境中增加后端目录用于建立后端工程。

4 开发环境启动与应用

不同的目录存放不同代码，如何将这些代码调动起来，主要依靠仿真执行目录中的 Makefile 和测试用例配置文件及核心脚本。开发环境启动流程如图 3 所示，当在仿真执行目录输入 make 相关命令时，开发环境启动核心脚本自动读取配置文件，并根据相应测试用例或测试用例集的配置参数组织好相关文件进行编译、仿真和调试，并将生成的日志、波形和覆盖率等结果存在仿真目录下。

其中，通过 Makefile 命令可以为所有的目标文件创建依赖关系链^[9]，将命令和参数编号传递给核心脚本，在本文提出的开发环境中主要有单测试用例仿真命令、单测试用例调试命令、测试用例集批量仿真命令和清理文件命令。

开发环境中所有层级的测试用例使用测试用例配置文件来管理，如表 1 所示。在配置文件中可对每一个测试用例进行编号，并指定不同的配置，配

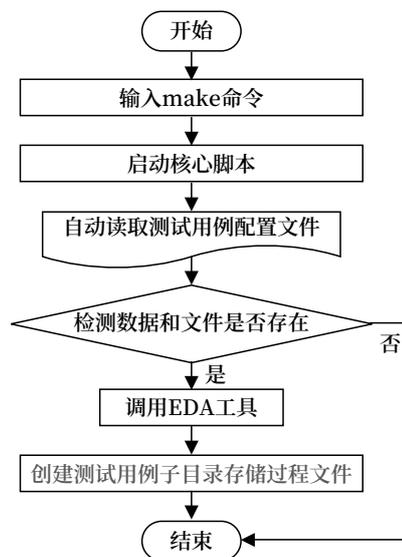


图3 开发环境启动流程
Fig.3 Development environment start-up process

置项包括模块或芯片层级命名、库文件包命名、种子类别和相关编译参数等。如表 1 中所列测试编号 1 为对芯片 S 输入测试用例 1 的仿真配置，该芯片 S 采用 55 nm 工艺库，测试平台采用 UVM 方法学自动随机化测试，并在仿真过程中开启仿真波形下载和覆盖率统计。

表1 测试用例配置文件

Tab. 1 Test case configuration file

测试编号	测试用例文件名	测试波形	覆盖率	库分类名	模块级 / 芯片级名	宏定义参数	种子类别
1	测试用例 1	开	开	55 nm 工艺库	芯片 S	UVM	自动随机
2	测试用例 2	开	关	55 nm 工艺库	模块 A	UVM	55
3	测试用例 3	关	开	55 nm 工艺库	模块 B	UVM	99

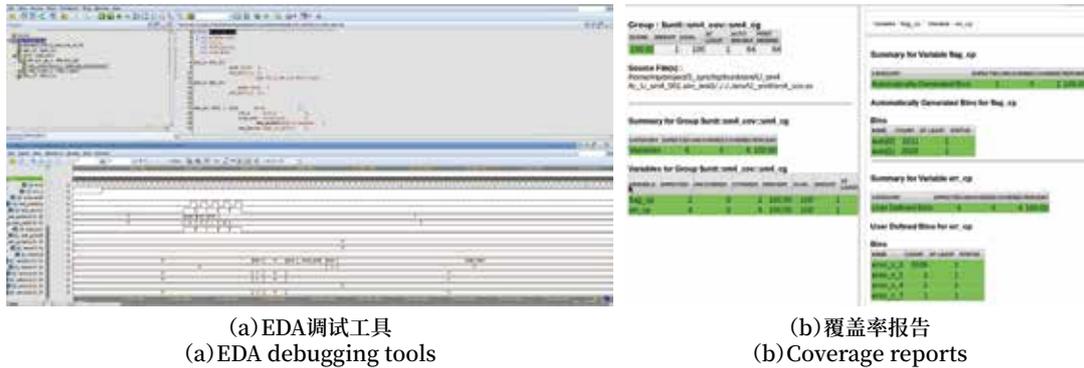
仿真命令输入后，核心脚本首先根据参数编号寻找测试用例配置文件中相应测试用例或测试用例集，再通过相应配置行模块或芯片层级命名和库文件包命名检测相应文件列表是否存在，最后基于命令和编译参数调用 EDA 工具，并在仿真目录中创建所属测试用例例子目录存储过程文件。过程文件主要有编译日志、波形文件、覆盖率文件及仿真分析记录。

以 SM4 算法模块^[10]在开发环境中的设计仿真为例，将设计与测试相关文件准备完毕，并存放于相应的目录位置后，先通过单测试用例仿真命令

运行测试，得到仿真分析记录报告和波形文件，再通过单测试用例调试命令可调用如图 4(a) 所示的 EDA 工具进行代码和波形的调试。待设计进入稳定阶段后，可通过测试用例集批量仿真命令，对所有测试用例进行并行回归测试后，可以查看如图 4(b) 所示的覆盖率报告。

5 总结

铁路专用芯片设计开发过程中存在大量仿真测试寻找漏洞，测试数据重复性高且工作量大，在设计进入稳定阶段后，存在大量回归仿真测试。从仿



(a) EDA调试工具
(a) EDA debugging tools

(b) 覆盖率报告
(b) Coverage reports

图4 调试工具与覆盖率报告
Fig.4 Debugging tools and coverage reports

真测试运行时间来看，如一个小型的铁路专用芯片，10条测试用例串行运行时间可达252 720.1 s，采用本文开发环境并行回归测试时间，可降到串行运行时间的10%，大大缩短了仿真测试周期。本文的服务器端可重用开发环境满足大部分专用铁路芯片设计开发需求，便于使用、管理和协同工作，支持从模块级到芯片级、RTL级到门级网表、单测试用例到测试用例集的设计与仿真，并在列控、轨道电路、点式设备、安全计算机等多个系统专用芯片项目中得到验证。该开发环境的重用性大大减少了测试环境的构建工作和维护成本，在保证芯片可靠性同时提升了开发效率。

参考文献

[1] 李国斌. 对国内列车控制系统发展的几点建议[J]. 中国铁路, 2007(2): 49-53.
 [2] 叶峰. 硬件产品多维度可靠性仿真设计[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, (11): 24-29.
 Ye Feng. Design of Multi-dimensional Reliability Simulation of Hardware Products[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, (11): 24-29.
 [3] 中国国家铁路集团有限公司. 铁路信号安全软件编程暂行技术要求: TJ/DW 230-2020[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2020.

[4] 张强. UVM实战 - 卷 I [M]. 北京: 机械工业出版社, 2014.
 [5] Spear C, Tumbush G. System Verilog for Verification[M]. Boston, MA: Springer US, 2012.
 [6] 谷英柯, 崔同兵, 林子明, 等. 多功能车辆总线控制器芯片设计研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2017, 14(4): 1-4, 7.
 Gu Yingke, Cui Tongbing, Lin Ziming, et al. Design of Multifunction Vehicle Bus Controller Chip[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2017, 14(4): 1-4, 7.
 [7] 刘斌. 芯片验证漫游指南: 从系统理论到UVM的验证全视界[M]. 北京: 电子工业出版社, 2018.
 [8] 中国国家铁路集团有限公司. 铁路信号安全软件测试暂行技术要求: TJ/DW 231-2020[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2020.
 [9] 陈皓. 跟我一起写Makefile[EB/OL]. (2004-02-24) [2022-01-05]. <https://blog.csdn.net/haol/article/details/2886/>.
 [10] 马盼, 靳旭. 基于UVM实现SM4算法的自动化验证平台[J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(8): 33-37.
 Ma Pan, Jin Xu. UVM-Based Automatic Verification Platform for SM4 Algorithm[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(8): 33-37.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.02.006

宁启铁路电码化设计方案研究及应用

卿文杰

(中国铁路上海局集团有限公司南京电务段, 南京 210011)

摘要: 宁启铁路复线电气化改造项目采用基于继电编码的CTCS-2级列车运行控制系统, 其电码化设计方案需同时满足动车组列车和普速列车的机车信号需求, 设计方案较为复杂和特殊。针对股道侧向接车掉码、正线反向发车进路咽喉区无码、侧向接发车发码区段长度不足等具体情况, 采用分析车载设备特性、电路特性、机车信号需求等研究方法, 提出合理的设计方案。应用情况表明, 提出的设计方案可有效解决地面电码化设备与动车组列车和普速列车车载设备不匹配的问题。

关键词: 宁启铁路; 电码化; 设计; 研究; 应用

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)02-0027-06

Research on Nanjing-Qidong Railway Coding Design Scheme

Qing Wenjie

(Nanjing Signaling & Communication Depot, China Railway Shanghai Group Co., Ltd., Nanjing 210011, China)

Abstract: The double track electrification transformation project of Nanjing-Qidong railway adopts the CTCS-2 train operation control system based on relay coding. The coded design scheme needs to meet the locomotive signal requirements of EMU and the conventional speed trains at the same time, so the design scheme is relatively complex and special. In view of the specific situations of dropping codes on the flank receiving line, no codes in the throat area in the reverse departure route on the mainline and insufficient length of the coding section on the flank receiving and departing lines, the paper proposes a reasonable design scheme. The application shows that the proposed design scheme effectively solves the problem that the ground coded equipment does not match the on-board equipment of EMU and the conventional speed trains.

Keywords: Nanjing-Qidong railway; coding; design; research; application

宁启铁路是江苏省境内一条连接南京市与启东市的客货共线铁路^[1], 是长江三角地区城际铁路网的重要组成部分, 是江苏省苏中地区的第一条铁

路。2005年7月1日, 宁启铁路南京至南通段单线开通运营; 2009年起, 开始宁启铁路南京至南通段复线电气化改造项目的施工设计, 2016年5月15日开通运营, 线路长度268.3 km, 最高设计速度200 km/h; 2019年1月5日, 宁启铁路南通至启东段单线开通运营, 线路长度107.8 km, 最高设

收稿日期: 2021-12-16; 修回日期: 2022-12-23

作者简介: 卿文杰(1980—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路信号系统集成, 邮箱: 105668406@qq.com。

计速度 160 km/h。

设置 CTCS-2 级列车运行控制系统的客货共线铁路中，大部分新建铁路站内采用 25 Hz 相敏轨道电路叠加 ZPW-2000 电码化，并采用列控中心编码，如连盐铁路、沪通铁路等；为节省投资、减少既有改造范围，部分改建铁路采用 25 Hz 相敏轨道电路叠加 ZPW-2000 电码化，并采用继电编码，如宁启铁路、上海枢纽 C2 贯通工程等。宁启铁路南京至南通段是国内为数不多的全程运营 200 km/h 动车组列车、普速旅客列车及货物列车的铁路^[2]，其信号系统采用基于继电编码的 CTCS-2 级列控系统。鉴于当时客货共线铁路建设标准^[3]、工程投资等原因，其轨道电路编码采用继电编码的方式，而非现在较常用的列控中心编码，由此使宁启铁路电码化设计方案较为复杂，并出现一些特殊设计。电码化是指由轨道电路转发或叠加机车信号信息技术

的总称^[4]，是铁路信号系统的重要组成部分。本文就宁启铁路电码化设计方案进行研究，对其应用情况进行分析。

1 高普共线铁路电码化设计常见问题

经复线电气化工程改造后，宁启铁路为高速和普速列车共线运行的铁路（简称高普共线铁路），需开行 CTCS-2 级动车组列车，线路走向及车站布置示意如图 1 所示。工程设计采用 CTCS-2 级列控系统，站内采用 25 Hz 相敏轨道电路叠加 ZPW-2000 电码化，车站及区间均采用继电编码，其电码化设计方案是该工程最大难点，需在普速铁路电码化的基础上进行适应性设计，以适应动车组运行。在分析普速铁路电码化的原理后，梳理出的适应动车组运行方案，还可能存在以下常见问题需解决。

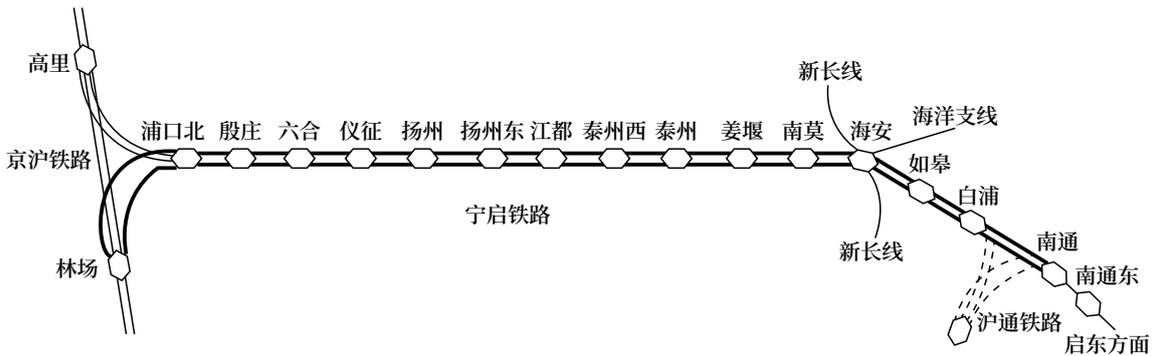


图1 宁启铁路线路走向及车站布置示意
Fig.1 Schematic diagram of route and station layout of Nanjing-Qidong railway

1.1 转频码设计问题

普速铁路一般在侧向接车进入股道、侧向发车进站口内方区段等处设置 25.7 Hz 的转频码，以便机车车载设备转换接收信号载频。但动车组列控车载设备在完全监控模式下视转频码为无效码，在进入股道等情况下，收到转频码会延迟车载设备接收有效码的时间，从而触发制动。

1.2 股道侧向接车掉码的问题

侧线股道及正线股道侧向进入采用叠加发码，宁启铁路设计之初，尽管取消了股道的转频码，但经过测试，仍有约 30% 的股道侧向接车时存在掉

码，进而导致动车组车载设备触发制动的情况^[5]。

1.3 正线反向发车进路咽喉区无码的问题

按普速铁路电码化设计原则，正线反向发车进路的咽喉区轨道区段无码，但动车组以完全监控模式反向运行时进入无码区段则产生制动。

1.4 反向接车进路与区间同基准载频

电码化发送器设置原则为，股道（含正线股道）两侧各设置一个发送器^[6]，每个直向接/发车进路咽喉区各设置一个发送器，并且需保证列车正向运行时闭塞分区分界点处（含站内正线列车信号机）两侧区段采用不同基准载频。以下行为例，各

站 IG 为 2300-2, 下行接车、下行发车进路区段均为 1700-2, 区间以下行进站内的 1700-2 为基准, 开始往区间交错布置频率至邻站上行反向进站口, 因此可能存在反向接车进路与区间同基准载频。虽不影响正向行车, 但反向行车时与动车组车载设备不匹配。

1.5 部分侧向接车股道区段长度不足

海安县站型较复杂^[7], 如图 2 所示, 由 XF 侧向接车至 XL1 进路信号机时, 仅 9/301G1 为有码区段, 长度为 330 m, 1/3[#]道岔为 1/18 道岔, 侧向允许通过速度 80 km/h, 有码区段长度不满足行车专业检算的最小常用制动距离 650 m 的要求。

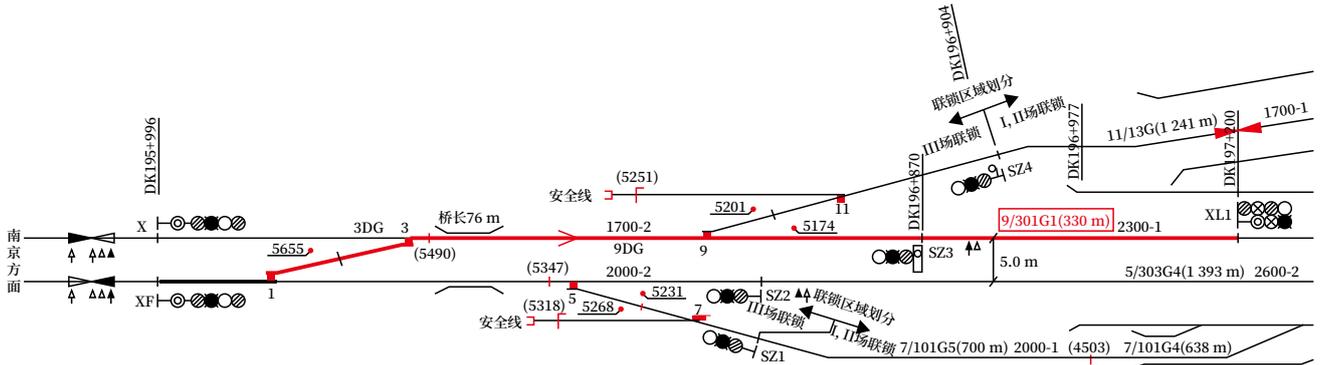


图2 海安县站局部信号平面布置示意

Fig.2 Schematic diagram of local signal layout of Hai'an county station

1.6 部分侧向发车离去区段长度不足

部分区间线路长度较短, 在闭塞分区划分时, 离去区段的长度受限, 不满足列车以道岔侧向允许速度降为 0 km/h 的制动距离要求。

1.7 经道岔侧向的接/发车进路无码区段长度超过 1 500 m

对于高普共线铁路的复杂站场, 侧向进路道岔区段无码, 若出现经道岔侧向的接/发车进路无码区段长度超过 1 500 m 的情况, 动车组将会出现制动的情况。

2 宁启铁路电码化设计改进方案

针对上述梳理出的高普共线铁路电码化设计常见问题, 逐个分析研究, 制定改进设计方案。

2.1 取消股道转频码

25.7 Hz 的转频码用于机车信号设备的载频锁定或切换^[8]。机车车载设备可以通过接收 25.7 Hz 的转频码来自动选择接收信号载频, 或者通过人工扳动上/下行开关, 选择接收信号载频。宁启铁路典型车站的电码化载频布置如图 3 所示, 下行正线采用下行载频, 上行正线采用上行载频, 侧线股道

两侧按接车方向分别采用上、下行载频; 因侧向进路不发码, 故仅正线正向列车信号机两侧采用不同基准载频, 侧向出站信号机两侧无采用不同基准载频的需求。

对于普速铁路, 一般在侧向接车进入股道、侧向发车进站口内方区段等处设置转频码, 以便机车自动选择接收信号频率。对于高普共线的宁启铁路, 为避免动车组侧向进入股道接收到转频码, 会延迟车载设备接收有效码的时间, 在设计之初, 即取消了股道的转频码, 可缩短 2.5 s 转频码的发送时间, 对于侧向发车在站内最后一个区段, 仍保留发送转频码。取消股道的转频码以后, 对于普速列车来说, 正方向运行时, 电码化载频均与运行方向一致, 不需切换, 当反向运行时, 按相关管理规定, 司机需人工扳动上/下行开关, 选择接收信号载频; 因列控数据已描述侧向发车在站内最后一个区段为无码区段, 转频码将不对动车组接码产生影响。故宁启铁路取消股道转频码以后, 既不影响普速列车运行, 也有利于动车组列车接收地面码。

2.2 侧向接车的股道区段改为预叠加发码

尽管宁启铁路在设计之初取消了股道的转频码,

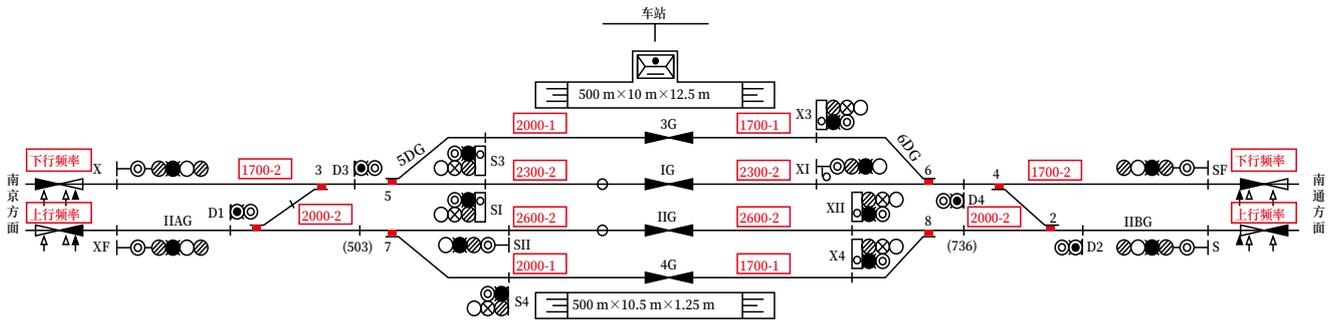


图3 宁启铁路典型车站电码化载频布置示意
Fig.3 Schematic diagram of coded carrier frequency layout of typical stations of Nanjing-Qidong railway

但经过测试，仍有约 30% 的股道侧向接车时存在掉码，进而导致动车组车载设备触发制动的情况。经分析，动车组进入侧向接车入股道时，其接码的时间主要由轨道继电器反应时间、电码化发码响应时间、车载设备解码时间组成。通过列车压道排除轨道电路分路不良的原因后进行测试，轨道继电器反应时间、车载设备解码时间均在正常范围内，想要缩短动车组接码时间，只能通过缩短电码化发码响应时间来解决。由于宁启铁路侧线股道及正线股道侧向进入均采用叠加发码方式，在轨道继电器落下，经电码化叠加发码电路的动作后才能将地面码发送到钢轨上，想要缩短电码化发码响应时间，只

能改为预叠加发码的方式，在列车压入股道前方岔区段时，将地面码发送到钢轨上，即电码化发码响应时间减为 0。

由于宁启铁路采用继电编码的设计原则，要做到侧向接车时股道预叠加发码，可通过两种方式实现，一是由列控系统或联锁系统根据进路及轨道区段占用信息驱动预发码继电器，二是通过继电电路实现预叠加发码。考虑到由列控系统或联锁系统驱动预发码继电器属于非标准功能，最终采用通过继电电路实现预叠加发码的方案，具体为：列车占用股道相邻道岔区段时，采用道岔表示加道岔区段占用条件构成股道预发码条件，电路举例如图 4 所示。

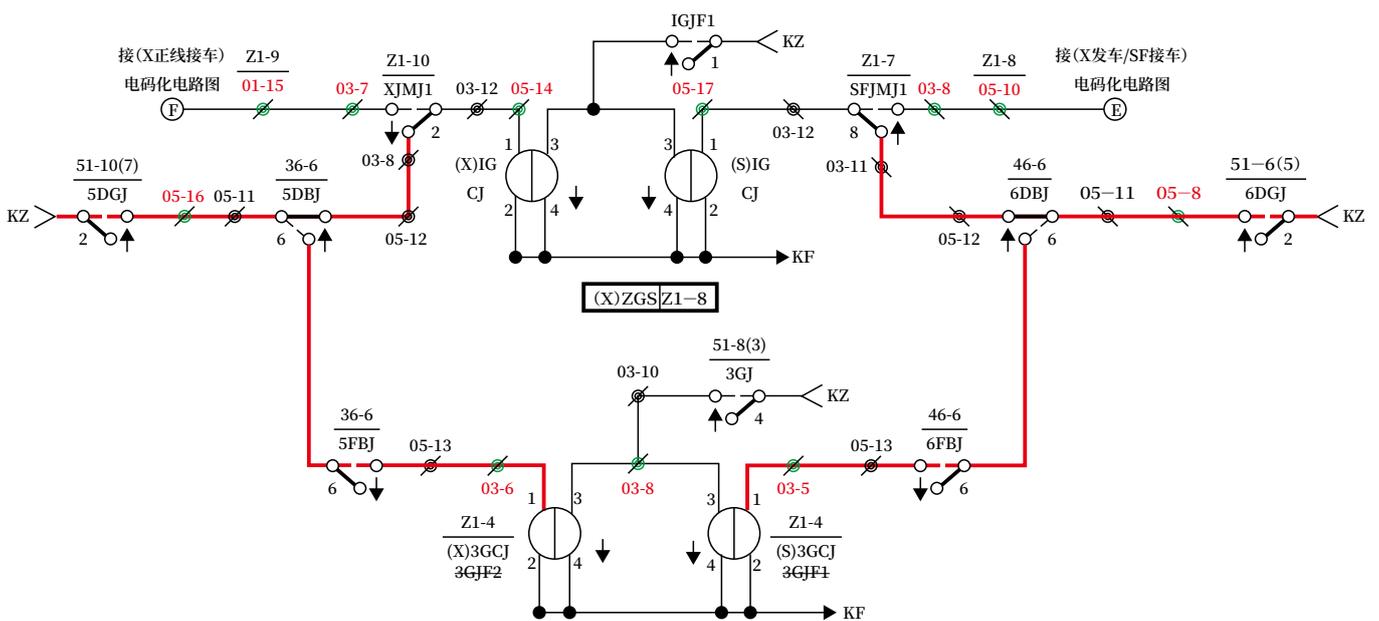


图4 股道预叠加发码电路示意
Fig.4 Schematic diagram of track overlap coding circuit in advance

即当列车运行占用股道(3G)相邻道岔区段(5DG或6DG)时,其前方的股道开始预发码,列车进入股道后便可及时收到有效低频码,避免动车组接码超时产生的制动。

2.3 正线反向发车进路咽喉区发27.9 Hz检测码

根据铁路行业标准《CTCS-2级列控车载设备技术条件》(TB/T 3529-2018)的规定,轨道电路信息为无码或25.7 Hz、27.9 Hz时,车载设备最高允许速度不超过80 km/h,在区间反向运行信息包描述的反向区段运行时的27.9 Hz除外^[9]。故在车站正线反向发车进路中,咽喉区的轨道电路发送27.9 Hz检测码,即可解决动车组以完全监控模式反向运行时,进入无码区段产生制动的问题,发送的检测码也不影响普速列车的运行。

2.4 反向接车进路与区间同基准载频时通过MJ切换载频

如图3所示,根据前述区间轨道电路载频布置原则,当经SF信号机反向接车时,可能存在SF信号机两侧的轨道电路基准载频相同的情况,将不满足《高速铁路设计规范》(TB 10621-2014)闭塞分区分界点处两侧应采用不同基准载频的规定^[10],动车组列车无法正常运行。对宁启铁路全线梳理存在反向接车进路与区间同基准载频的情况,将原设计发送器的载频选择固定配线改为反向接车时通过发码继电器MJ切换载频,以和区间基准载频不同。

2.5 侧向接车股道区段长度不足时采用站内区段补码

如图2所示,由于常规设计仅直向股道区段9/301G1发码,长度仅330 m,即使增加直向道岔区段9DG作为发码区段,其长度也仅300 m。不满足行车专业检算后1/18道岔侧向允许速度制动至0的距离650 m的要求。考虑到车站采用25 Hz相敏轨道电路,道岔岔后未设置分支并连线,设计采用参照ZPW-2000一体化轨道电路道岔分支并连线设置原则,在3[#]道岔岔后增加分支并连线,3DG侧向、9DG直向均补码的改进方案,满足有码区段长度大于制动距离的要求。

2.6 侧向发车离去区段长度不足时采用站内直向区段补码

根据车站咽喉区道岔侧向允许速度,计算列车采用常用制动由最高允许速度减速至0的距离,向行车专业提出离去区段的最小长度要求。若无法满足时,可采取在咽喉区补码的方案,具体补码方案与前述2.5小节侧向接车股道区段长度不足时采用站内区段补码方案类似。

2.7 经道岔侧向的接/发车进路无码区段长度超过1 500 m时的解决方案

由于动车组列控车载设备的特性,当地面由双黄码或双黄闪码后的限速最多维持1 500 m,若1 500 m后仍无码,列车限速降为0 km/h,并输出最大常用制动。海安县站站型复杂,咽喉区较长,通过设置进路信号机及无岔区段发码的方式,避免侧向进路无码区段超过1 500 m的情况。对于其他有此种情况的车站,可采用调整信号机设置位置或补码方式解决。

3 宁启铁路电码化应用情况

上述宁启铁路电码化设计改进方案均已在宁启铁路南京至南通段复线电气化改造工程顺利应用,该工程已于2016年5月15日开通运营,至今仍安全运营。近期经设计回访,未发生因电码化电路设计影响列车正常运营的情况,验证了上述高普共线铁路电码化设计改进方案能够满足动车组及普速列车车载设备与地面设备相匹配、保证列车正常运营的要求。

经调查了解,其他高普共线铁路亦有类似宁启铁路电码化设计中遇到的问题,如连盐铁路经道岔侧向的接发车进路无码区段长度超过1 500 m、上海枢纽CTCS-2贯通工程反向接车进路与区间同基准载频、汉宜铁路股道发送转频码等。其工程设计的解决方案与宁启铁路电码化改进方案均相似,但宁启铁路通过继电电路实现股道预叠加发码的设计方案为首次在行业内应用。

4 结束语

受当时的客货共线铁路建设标准变化、工程投资限制等因素的影响,宁启铁路电码化电路设计较为复杂和特殊。随着国内铁路信号列控技术的发展,工程设计已逐步倾向于标准化、规范化、集成化,但现如今仍然有很多利用既有铁路开行CTCS-2级动车组列车的工程项目。基于充分利用既有设备、节省工程投资等原因^[11],高普共线铁路电码化设计技术仍然值得研究,宁启铁路的电码化设计及应用便是典型代表,希望能对相关类似工程项目提供借鉴和参考。

参考文献

- [1] 刘洋. 宁启复线引入南京枢纽信号过渡方案研究[J]. 大科技, 2014(33): 240-240, 241.
- [2] 曲思源, 施俊泉. 宁启铁路开行动车组列车运营组织方案研究[J]. 高速铁路技术, 2017, 8(5): 78-83.
- Qu Siyuan, Shi Junquan. The Research on Scheme of Operation Organization of EMU in NingQi Railway[J]. High Speed Railway Technology, 2017, 8(5): 78-83.
- [3] 刘洋. 200km/h客货共线铁路列控系统设计方案研究[C]//列车运行控制系统技术交流会专刊, 2013: 44-47.
- [4] 中华人民共和国铁道部. 铁路车站电码化技术条件: TB/T 2465-2010[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2010.
- [5] 解峰. 新建宁启铁路客货共线铁路信号特殊设计及运用[J]. 铁路通信信号工程技术, 2016, 13(4): 81-84, 110.
- Xie Feng. Special Design and Application of Newly-Built Nanjing-Qidong Railway Signal for Mixed Transportation of Passenger and Freight[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2016, 13(4): 81-84, 110.
- [6] 刘国栋, 陈德伟, 肖鹏. 站内25 Hz轨道电路叠加电码化典型问题分析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(11): 65-67.
- Liu Guodong, Chen Dewei, Xiao. Analysis on Typical Problems of Overlapped Coding of 25 Hz Phase Sensitive Track Circuit in Station[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(11): 65-67.
- [7] 孔效群. 改建宁启铁路海安县站信号系统设计方案研究[J]. 中国铁路, 2013(9): 58-60.
- [8] 中华人民共和国国家铁路局. 机车信号信息定义及分配: TB/T 3060-2016[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.
- [9] 中华人民共和国国家铁路局. CTCS-2级列控车载设备技术条件: TB/T 3529-2018[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.
- [10] 中华人民共和国国家铁路局. 高速铁路设计规范: TB 10621-2014[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.
- [11] 王强, 刘智平, 王松林, 等. CTCS-1级列控系统总体方案思考与建议[J]. 中国铁路, 2021(2): 81-87.
- Wang Qiang, Liu Zhiping, Wang Songlin, et al. Thoughts and Suggestions on the Overall Scheme of CTCS-1 Train Control System[J]. China Railway, 2021(2): 81-87.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.02.007

铁路5G网络边缘计算技术研究

葛伟涛

(中国铁路设计集团有限公司, 天津 300308)

摘要: 边缘计算技术不仅可以大大减少端到端的业务时延, 还可以有效降低数据回传至核心网引起的回传带宽, 因此边缘计算技术在铁路中的应用值得深入研究。首先介绍 5G 网络中边缘计算的系统架构, 其次介绍边缘计算常见的 3 种分流方案, 并对其适用场景进行分析, 最后结合铁路客站、货站、线路、列车 4 种应用场景的业务特点, 提出网络边缘计算部署建议, 以供今后铁路 5G 边缘计算应用借鉴参考。

关键词: 铁路; 5G 网络; 边缘计算; 分流方案; 部署建议

中图分类号: U284.21

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)02-0033-04

Research on Edge Computing Technology of Railway 5G Network

Ge Weitao

(China Railway Design Corporation, Tianjin 300308, China)

Abstract: The edge computing technology can not only greatly reduce the end-to-end service delay, but also effectively reduce the back bandwidth caused by data back to the core network. Therefore, the application of edge computing technology in railway is worth further study. This paper first introduces the system architecture of edge computing in 5G network, then introduces three common diversion schemes of edge computing, and analyzes their application scenarios. Finally, combined with the service characteristics of four application scenarios of railway passenger station, freight station, line and train, this paper puts forward the deployment suggestions of network edge computing for reference for future railway 5G edge computing applications.

Keywords: railway; 5G network; edge computing; diversion scheme; deployment suggestions

随着大数据、云计算、物联网、5G、BIM、北斗导航、人工智能等一系列新兴技术的发展, 国内迈入了智能铁路时代。低时延、大带宽、广连接、

高可靠是智能铁路的重要技术特征。大量新兴技术在智能铁路上的应用, 使铁路数据量巨增, 从而对铁路的计算、传输、存储资源提出了更高的要求。目前铁路无线通信系统采用的是 GSM-R 移动通信系统, 其只能承载语音和少量的数据业务, 已经无法满足智能铁路的需求。

5G 具有大带宽、低时延、广连接、高可靠等特点, 符合智能铁路数据传输需求。随着 5G 标准的推进以及在公网领域和垂直行业的成功应用, 铁路

收稿日期: 2022-10-13; 修回日期: 2023-01-23

基金项目: 中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划项目(P2020G004); 中国铁路设计集团有限公司科技开发项目(2022A02512012)

作者简介: 葛伟涛(1989—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路无线通信, 邮箱: geweitao@crdc.com。

下一代专用移动通信系统将采用 5G 技术。移动边缘计算 (Mobile Edge Computing, MEC) 是 5G 网络的关键技术之一, 不仅可以有效地减少端到端用户时延, 还可以降低网络回传带宽需求, 因此有必要对边缘计算技术开展研究, 助力铁路 5G 应用, 加快智能铁路建设。

1 边缘计算网络架构

MEC 网络架构与传统核心网、无线接入网不同, MEC 是在网络边缘靠近用户侧部署一种具备计算、存储和 IT 服务的系统。通俗地说, 就是在网络边缘部署具备存储、计算的网络设备, 提供低时延、高带宽的网络服务, 以便于本地网络快速获取相关数据或服务, 提升用户体验。

MEC 与 5G 网络结合, 将互联网概念融入了移动通信网, 产生了融合移动通信网。MEC 通过本地分流降低网络时延, 给用户带来了极致的速度体验, 还节省了数据回传至核心网时网络的带宽。MEC 在网络边缘提供了计算、存储服务, 为移动网络边缘的多元接入提供了无限可能。

一般情况下, MEC 部署在 5G 网络边缘靠近用户侧。MEC 与核心网的用户面功能 UPF 相连。MEC 可以充当应用服务或数据网络的角色。边缘计算与 5G 的网络架构如图 1 所示。

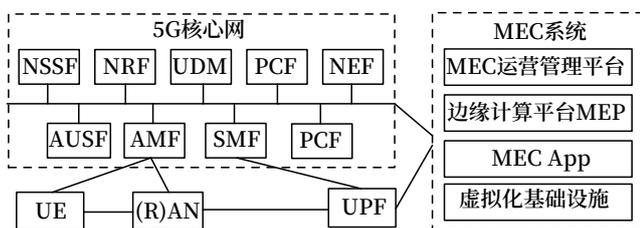


图1 边缘计算与5G的网络架构
Fig.1 Edge Computing and 5G network architecture

2 边缘计算分流方案

边缘计算技术其本质上是对特定的数据流量进行本地分流。3GPP 标准主要定义 3 种分流方案, 分别为上行分类器分流、IPv6 多归属分流以及本地数据网络分流。

2.1 上行分类器分流

在 5G 网络中, 是否对 PDU 会话的数据路径上插入上行分配器是由 SMF 决定的。SMF 在 PDU 会话建立或建立后, 决定为其插入一个上行分类器的 UPF, 或者删除一个带有上行分类器的 UPF。带有上行分类器的 UPF 与 SMF 的流过滤器进行对比, 将某些流量进行分流。

2.2 IPv6多归属分流

多归属 PDU 会话是指一个 PDU 会话可能对应多个 IPv6 前缀。多归属 PDU 会话通过多个 PDU 会话锚点访问数据网络。各个 PDU 会话锚点对应的数据通道最后都会汇聚于一个公共的 UPF, 这个公共的 UPF 转发上行流量到不同的 PDU 会话锚点, 并汇聚发送到终端的下行流量。在 PDU 会话建立过程中或者建立后, SMF 决定在 PDU 会话的数据路径上插入或者删除这个公共的 UPF。这个公共的 UPF 根据 SMF 下发的过滤规则, 通过检查数据包源 IP 地址进行分流, 向上转发上行业务包到不同的 PDU 锚点, 向下将各个锚点转发过来的数据合并。

2.3 本地数据网络分流

本地数据网络分流和应用的服务范围区域有关。当用户使用某个应用或服务时, 一定是通过本地数据网络访问, 当用户的位置不在本地数据网络的服务范围内时, 不能接入。为了支持本地数据网络对访问范围的限制, 5G 核心网的接入管理功能网元将本地数据网络的名称和服务范围发送给终端, 终端根据所处位置决定是否发起 PDU 会话建立请求。SMF 判断终端位于本地数据网服务范围后下发策略给 UPF, UPF 采用相关策略进行分流。3 种分流方案对比如表 1 所示。

根据《铁路 5G 专网业务和功能需求暂行规范》(铁科信 [2021]63 号) (简称铁路 5G 需求规范), 铁路 5G 专网未来将承载 90 项业务, 不同的业务的应用场景不同, 对 5G 网络的时延、带宽要求也不同, 铁路 MEC 的分流方案需结合业务需求以及应用场景选择相适应的方案。

表1 3种分流方案对比

Tab.1 Comparison of three diversion schemes

序号	方案名称	优点	缺点	适用场景
1	上行分类器分流	终端不感知	所有用户可能都需要分流,可能造成边缘UPF负荷过大	本地业务场景,如校园网、企业网、增强移动宽带场景本地分流业务、车联网等
2	IPv6多归属分流	支持IPv6协议	推广应用难度较大	物联网、高可靠专网等场景
3	本地数据网络分流	从终端即可区分需要分流的数据,能有效减轻网络压力	对终端功能要求较高	具有专用终端的场景,如智慧工厂、智慧港口、智慧能源、智慧教育等

3 铁路5G网络MEC部署建议

铁路5G网络主要包括客站、货站、铁路线路、列车4大应用场景。

3.1 客站

根据铁路5G需求规范,客站管理及信息传送(包括语音通信、数据传送、视频通信、视频传送)、乘务管理及信息传送(包括语音通信、数据传送、视频传送)等业务将采用铁路5G专网承载。考虑到大型客站视频业务大,这类eMBB业务需要带宽较大,为便于减小承载网回传带宽压力,提升网络传输效率,可在部分大型客站部署MEC设备。为节约成本,小型车站可根据线路特点,就近利用大型客站的MEC设备。客站边缘计算组网示意如图2所示。

3.2 货站

铁路货站主要包括物流基地、编组站(场)等,货站有大量的调车作业。根据铁路5G需求规范,无线调车机车信号和监控系统信息传送、远程调车系统信息传送、机车信号远程监测信息传送、养护维修作业、货场货运信息传送、站场综合自动信息传送等业务将利用铁路5G专用网络承载。这些信息传送属于高可靠、低时延的uRLLC业务。为减小信息传输时延,可根据需要在货站部署MEC设备。货站边缘计算组网示意如图3所示。

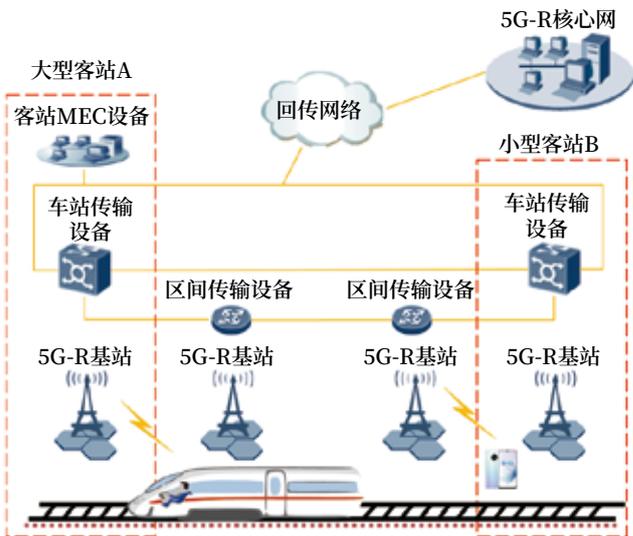


图2 客站边缘计算组网示意

Fig.2 Edge computing networking diagram of passenger station

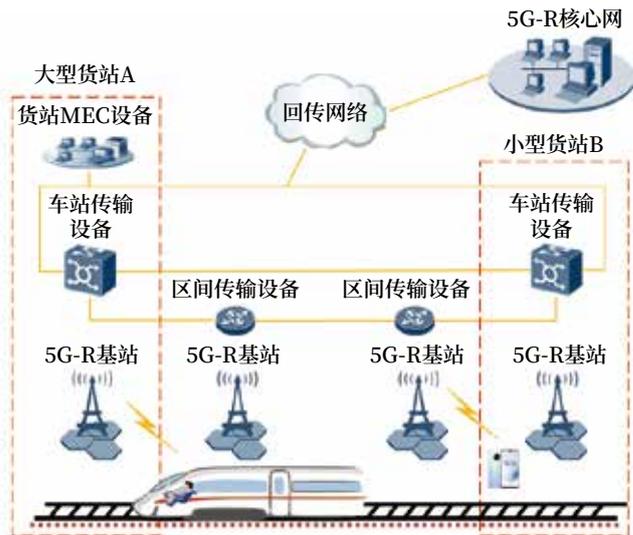


图3 货站边缘计算组网示意

Fig.3 Edge computing networking diagram of freight station

3.3 线路

根据铁路5G需求规范,铁路线路的灾害防护与周界入侵监测信息传送、空口及无线电干扰监测信息传送、基础设施动态综合检测信息传送、基础设施健康管理信息传送、养护维修作业信息传送、在途货运信息传送、公安通信、应急通信等业务将利用铁路5G专网承载。这些信息大部分属于mMTC业务,对传输带宽和时延要求不高,因此可不设置MEC设备。

3.4 列车

列车主要包括动车组、机车、车辆等,列车司

机需与地面调度进行通信，还有大量的车载监控信息需与地面设备进行信息传送。根据铁路 5G 需求规范，调度通信（包含语音、视频）、司机通信、调度命令信息传送、车次号信息传送、列控信息传送、自动驾驶信息传送、车-车通信、超视距信息传送、机车同步操控信息传送、列控车载设备监测信息传送、车载无线通信设备监测信息传送、机车信号远程监控、动车组司机操控信息传送（包含语音、视频）、机车远程监测与诊断信息传送等业务将利用铁路 5G 承载。这些业务涵盖了 eMBB、uRRLC、mMTC 等 3 大应用场景，为减小系统时延、降低承载网传输压力，建议在列车上部署 MEC 设备。为保证列车内无线信号覆盖质量，建议在列车内部署车载终端设备 CPE，实现车-地信息传输；部署车载小基站集中处理单元（CU）、分布式单元（DU）和射频拉远单元（RRU），实现车厢内信号覆盖。列车边缘计算组网示意图如图 4 所示。

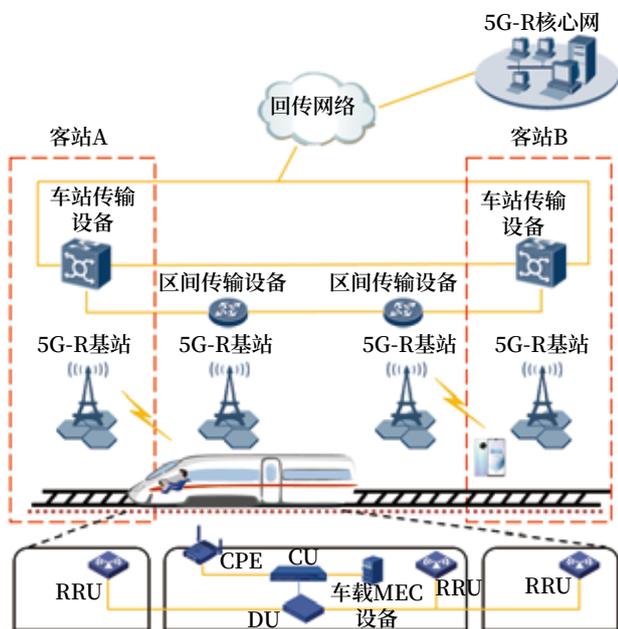


图4 列车边缘计算组网示意
Fig.4 Train edge computing networking diagram

4 结束语

随着行业内对铁路 5G 关键技术的研究，铁路 5G 专网业务需求、网络架构、网络功能以及覆盖

方案逐渐清晰，但其边缘计算分流方案、部署原则、5G 网络安全、运维管理等方面还需进一步研究。本文从 5G 网络边缘计算的架构入手，分析了 3 种主流的分流方案，并对其优缺点及应用场景进行介绍，最后结合铁路业务需求，提出铁路 MEC 边缘节点部署建议。

参考文献

- [1] 王同军. 中国智能高铁发展战略研究 [J]. 中国铁路, 2019 (1): 9-14.
Wang Tongjun. Study on the Development Strategy of China Intelligent High Speed Railway[J]. China Railway, 2019(1): 9-14.
- [2] 葛伟涛, 冯敬然, 周敏, 等. 铁路 5G-R 无线接入网组网方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (6): 59-63.
Ge Weitao, Feng Jingran, Zhou Min, et al. Networking Scheme of Railway 5G-R Wireless Access Network[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(6): 59-63.
- [3] 李毅, 董根才, 蔺伟, 等. 边缘计算技术在铁路 5G 移动通信中的应用研究 [J]. 中国铁路, 2020 (11): 23-30.
Li Yi, Dong Gencai, Lin Wei, et al. Research on Application of Edge Computing Technology in Railway 5G Mobile Communication[J]. China Railway, 2020(11): 23-30.
- [4] 刘语馨, 陈姝, 钟章队. 边缘云技术在智能铁路中的应用 [J]. 铁道通信信号, 2019, 55 (Z1): 7-12.
Liu Yuxin, Chen Shu, Zhong Zhangdui. Application of Edge Cloud Technology in Intelligent Railway[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(Z1): 7-12.
- [5] 陈云斌, 王全, 黄强, 等. 5G MEC UPF 选择及本地分流技术分析 [J]. 移动通信, 2020, 44 (1): 48-53.

(下转 67页)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.02.008

复杂艰险山区铁路应急通信系统探讨

李雷, 余超

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘要: 复杂艰险山区铁路存在地形地貌复杂、地质构造活动强烈、地质灾害多发等诸多困难, 对应急通信保障提出了巨大挑战, 急需研究契合复杂艰险山区铁路的应急通信系统方案。从铁路应急通信现状、存在问题结合复杂艰险山区铁路的特点出发, 提出因地制宜的构建天地一体、多网融合、全域覆盖、快速部署、定位精准的铁路应急通信系统, 并对应急通信中心平台、应急现场设备、应急通信现场接入网络, 特别是隧道内应急通信覆盖提出实施策略, 为复杂艰险山区铁路应急通信系统构建提供参考。

关键词: 复杂艰险山区铁路; 应急通信中心平台; 应急现场设备; 宽带卫星; 隧道内应急通信覆盖

中图分类号: U285.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)02-0037-05

Discussion on Emergency Communication System of Railway in Complicated and Dangerous Mountainous Area

Li Lei, Yu Chao

(China Railway Eryuan Engineering Group Co. Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: Complicated and difficult mountain railways have many difficulties such as complex topography, strong geological structure activities, and frequent geological disasters. This poses a huge challenge to emergency communication guarantee. It is urgent to explore an emergency communication system solution suitable for complex and difficult mountain railways. Based on the current situation and the existing problems of railway emergency communication, combined with the complex and difficult characteristics of mountain railways, the paper proposes to build a railway emergency communication system of unifying interconnectedness, multi-network integration, global coverage, rapid deployment, and accurate positioning according to local conditions, and puts forward the implementation strategy of emergency communication center platform, emergency field equipment, emergency communication site access network, especially emergency communication coverage in tunnels is proposed, which provides reference for the construction of railway emergency communication system in complex and difficult mountainous areas.

Keywords: complicated and difficult mountain railway; emergency communication center platform; emergency field equipment; broadband satellite; emergency communication coverage in tunnels

收稿日期: 2021-11-26; 修回日期: 2022-12-15

第一作者: 李雷(1978—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路通信设计, 邮箱: teyllilei@163.com.

1 概述

铁路应急通信系统是铁路应急管理体系中极为重要的组成部分，在发生突发事件时，承担着及时、准确、畅通地传递事件现场信息，为指挥人员获得第一手信息，快速判定、正确决策提供依据。同时在应急处置过程中，为应急现场与指挥中心之间、现场各救援队伍及与外部应急力量提供调度指挥通信功能，有效提升铁路突发事件应急抢险中的通信保障和快速反应能力。特别是复杂艰险山区铁路，沿线地形地质条件复杂、气候恶劣、灾害频发、人迹罕至。在铁路工程建设和运营维护中应急通信保障至关重要，构建契合复杂艰险山区铁路的应急通信系统极为必要。

2 铁路应急通信现状

目前，铁路应急通信通过静图系统、专用应急通信设备、海事卫星、公网等手段提供突发事件现场与应急指挥中心之间语音、静/动态视频图像等业务。

1) 静图系统

静图系统由静图服务器、拨号服务器、管理维护终端、查询/显示终端组成。静图系统中心设备与现场图像采集设备通过铁路既有自动电话网采用拨号方式连接。

2) 专用应急通信系统

铁路基建项目配置的专用应急通信系统设备，包括：海事卫星电话、野战光缆、无线中继设备等，主要配置于铁路沿线通信车间（工区）。应急现场设备通过铁路通信传输网专线电路接入路局应急中心通信设备，图像可传至中国国家铁路集团有限公司（以下简称国铁集团）应急指挥中心。

3) 卫星应急动图系统

在路局调度楼通信机房设置固定卫星地面站设备，通信车间配置便携站。该系统与路局局综合视频系统互联，国铁集团应急指挥中心可通过登陆综合视频系统客户端，调阅现场动图。

4) 公网应急动图系统

在应急指挥中心配置基于公网的应急动图系统服务器，在各通信段、电务段、工电段配置现场设备。通过公网接入应急动图服务器，并通过 HDMI 互联以会议辅流方式上传至国铁集团应急指挥中心。

5) 宽带卫星应急通信系统

租用公有云的方式在应急指挥中心部署管理平台，应急现场配置专用手持终端、移动布控球和高通量宽带卫星终端设备，通过宽带卫星通道接入指挥中心平台。

3 铁路应急通信系统存在主要问题

虽然铁路应急通信系统设备种类多，但在实际运用中存在诸多问题，在复杂艰险山区铁路这些问题尤为突出。

1) 应急通信系统设备种类多，存在多个中心设备，未形成统一的平台，各类应急系统之间未实现互联互通、数据共享，造成在通信资源不足的复杂艰险山区铁路应急通信设备的可选择性降低。

2) 铁路专用的应急现场接入设备集成度低、重量重、配件及配线数量种类多，存在开通时间长、使用不便等问题，在交通不便的复杂艰险山区铁路无法很好地保证应急响应时间需求。

3) 应急现场的区间接入手段不够灵活，传输带宽受限，现场的动图上传困难，在复杂艰险山区铁路沿线这一问题更为严重。

4) 海事卫星提供带宽有限，不能满足事故现场视频传输的要求。

5) 目前应急通信系统的传输网络以有线网络为主，无线网络的应用尚不完善，尤其是在复杂艰险山区铁路长大隧道内的应急通信手段缺乏。

4 复杂艰险山区铁路应急通信系统构想

复杂艰险山区铁路具有沿线地形高差显著、山地灾害频发、板块活动强烈、生态环境脆弱、气候条件极端、施工条件恶劣、运营维护困难等特点，独特的工程条件与施工、运营环境给铁路运输安全，以及为突发事件应急救援带来了新的挑战。当发生

自然灾害或突发事件等紧急情况时，地面通信网络可能被损毁，各级应急救援指挥中心迫切需要掌握现场情况、及时有效应对、科学处置。将突发现场照片、视频图像及时传回各级应急救援指挥中心，有助于救援指挥和科学决策。因此，为提高复杂艰

险山区铁路应急通信的网络覆盖、现场响应速度和通信保障能力，需因地制宜的构建天地一体、多网融合、全域覆盖、快速部署、定位精准的铁路应急通信系统。系统构成如图 1 所示。

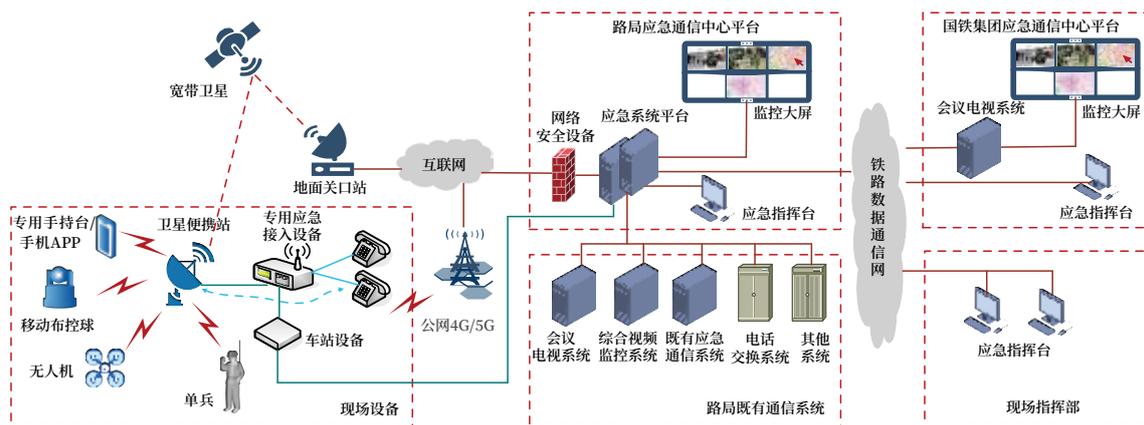


图1 复杂艰险山区铁路应急通信系统构成示意

Fig.1 Schematic diagram of the composition of the emergency communication system for railways in complicated, difficult and dangerous mountainous areas

4.1 应急通信中心平台

应急通信中心平台采用通信专用云平台方式部署，主要包括平台服务器、中继网关、网络安全设备、网管等设备。同时按照固移融合、公专专用的思路构建应急通信融合服务平台，支持公网（含卫星）接入和个人公网手机应用，与视频监控、调度通信等系统互联，兼顾日常和应急两用。

4.2 应急现场设备

根据 2007 年《铁路交通事故应急救援规则》（铁路总公司令第 32 号）的要求，铁路应急通信的响应时间划分为两个时间段：第一时间段为在车站站内发生的应急事件 30 min 内和区间发生的应急事件在 1 h 内；第二时间段为车站站内发生的应急事件 30 min 后和区间发生的应急事件在 1 h 后。第一时间段的主要任务是快速沟通现场与指挥中心的通信联系，并利用基本的语音和图像信息向应急指挥中心汇报现场的情况，需在第一时间提供基本的语音和图像业务，即 1~2 路语音、静图或非实时的动图，有条件情况下应实现动图的实时传送。第二时间段的主要任务是为事件现场救援指挥部搭

建临时的通信平台，为抢险救援的指挥与协调提供丰富的语音和图像服务。其中车站站内发生的应急事件 1 h 内和区间发生的应急事件在 2 h 内，需要实现多路语音、实时视频和数据等业务，将现场设备扩展为现场通信平台，把现场的多路语音、实时图像和数据传送到应急指挥中心。同时建立应急现场的内部指挥通信。

复杂艰险山区铁路沿线地理情况复杂多变，需根据每个区段具体的地理情况和网络覆盖情况，同时根据应急处置需要和工作分工，在承担应急通信响应和应急通信保障的运输生产站段和现场车间、工区，因地制宜的配置适合复杂艰险山区铁路的应急通信现场终端设备，现场终端设备及接入方式应多样、适用、灵活选择。

海事卫星电话、专用手持台/手机 APP、移动影音采集设备（包括数码照相机、数码摄像机、布控球）、数据终端、单兵设备等轻便型设备，这类设备体积小、重量轻，接入便捷，同时价格低。复杂艰险山区铁路长大桥隧多、站间距长，可以加密配置这类设备，如在沿线车站或区间值守点配置这类

设备，能满足第一时间段的应急通信保障需求。

应急通信车、专用应急现场接入设备、宽带卫星终端（卫星便携站）、系留无人机等终端设备，这类设备集成度高，通信保障稳定，传输容量大，网络搭建时间较长，能满足第二时间段的应急通信保障要求。根据复杂艰险山区铁路的特点，可适当加密配置，如在工区配置专用应急现场接入设备和宽带卫星终端（卫星便携站），在车间配置应急通信车。

4.3 应急通信现场接入网络

铁路应急通信接入网络的建设应根据复杂艰险山区铁路的地理环境和具体的传输条件建设，选用适合的接入方式。可以是一种接入方式，也可以是多种接入方式的组合。

1) 海事卫星接入

海事卫星接入方式为海事卫星信号在海事卫星地面站落地后，进入公网路由到路局应急通信中心平台，如图 2 所示。

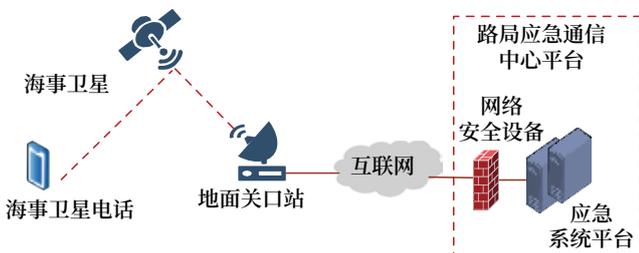


图2 海事卫星接入示意
Fig.2 Schematic diagram of maritime satellite access

2) 专用应急终端接入

专用应急终端通过野战光缆与相邻车站（或区间）传输设备接入铁路传输网络，提供 2 Mbit/s 及以上带宽，将现场信息传送到路局应急通信中心平台。在车站（或区间）接入点设置有有线无线转接设备，在现场设置无线手持台及带有专用无线网卡的数据终端设备，可通过 5.8 G 宽带无线接入，实现现场的话音、数据和图像信息的实时传送，如图 3 所示。

3) 宽带卫星接入

应急现场信息接入宽带卫星终端（卫星便携站）通过卫星传输至宽带卫星地面关口站，进入公网路

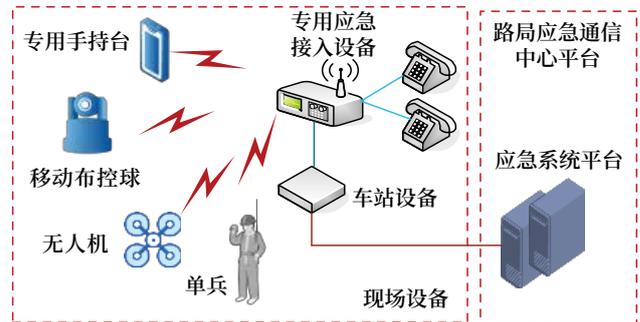


图3 专用应急终端接入示意
Fig.3 Schematic diagram of dedicated emergency terminal access

由至路局应急通信中心平台，如图 4 所示。

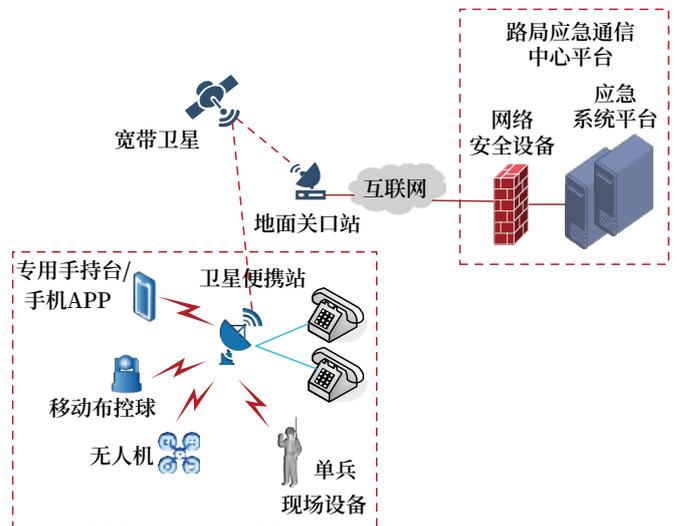


图4 宽带卫星接入示意
Fig.4 Schematic diagram of broadband satellite access

4) 移动公网接入

移动公网接入可以分别租用移动、联通、电信 N×2 M 专线接入邻近其公网基站，再通过公网有线网络路由至路局应急通信中心平台。带 SIM 卡移动终端可直接通过无线接入移动、联通、电信 4G/5G 网络，再路由至路局应急通信中心平台，如图 5 所示。

4.4 隧道内应急通信覆盖

复杂艰险山区铁路地形复杂，山高谷深，长大隧道众多。长度 ≥ 5 km 的隧道内仅设置有专用应急电话机用于语音通信，不能满足传输数据、图像的要求，需针对隧道内发生应急突发事件时的网络覆盖以满足应急通信保障需求。因此推荐采用

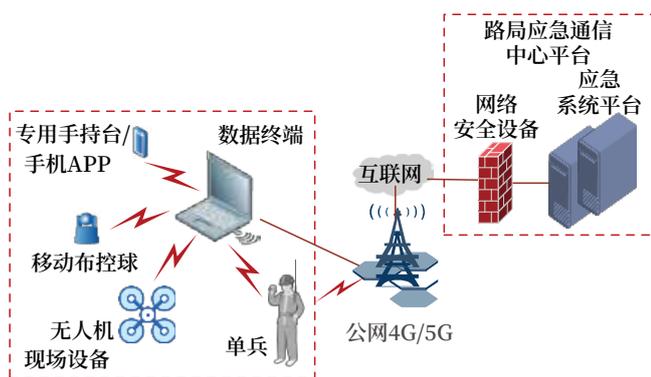


图5 移动公网接入示意

Fig.5 Schematic diagram of mobile public network access

mesh 技术, 构建分布式无线自组织网络, 实现隧道内网络覆盖, 满足随机点位的应急通信要求。

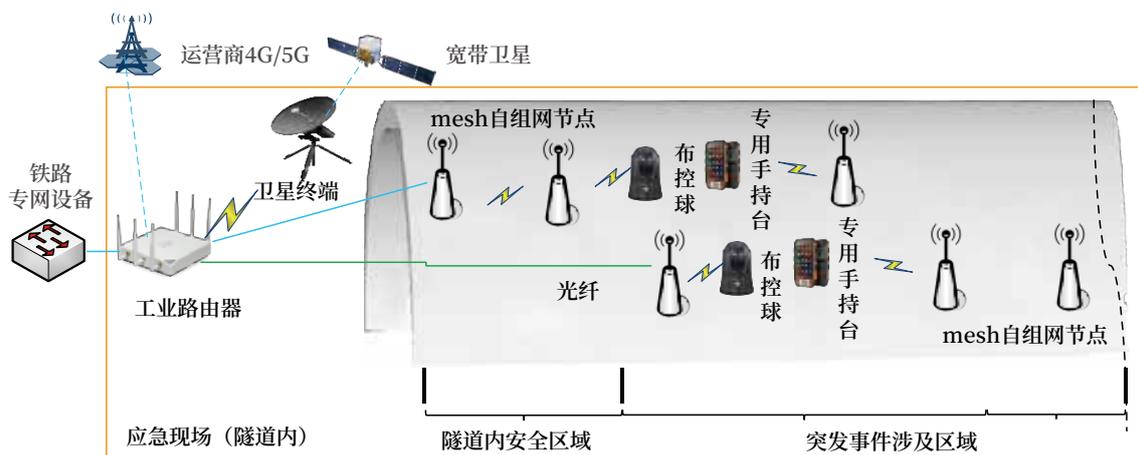


图6 隧道内覆盖示意

Fig.6 Schematic diagram of communication coverage in tunnels

4.5 与其他网络的互联

当自然灾害或突发事件等紧急情况发生时, 启动应急程序, 无论是指挥者还是抢险救灾人员都希望尽可能多地了解到更多的信息, 需要在应急通信网络上获取更多的信息资源, 要求应急通信系统与既有的铁路通信网络互联, 实现与其他系统的话音、图像和数据的通信。

1) 应急通信系统中的电话用户要实现与铁路既有的电话交换网和调度通信网内的用户通信, 应急通信系统就要与电话交换网和调度通信网连接。

2) 当有视频监控的地段出现应急事件, 应急通信系统能从综合视频监控系统中调看该地段的视频, 应急通信系统应与综合视频监控系统互联。

在 3 km 以内的短隧道内发生应急突发事件时, 隧道内采用 mesh 自组网设备, 隧道口部署路由器连接专网或公网或宽带卫星, 将隧道内的实时数据、图像回传至路局应急通信中心平台。

在 3 km 以上的长大隧道内发生应急突发事件时, 隧道内采用光纤 + mesh 自组网设备, 从隧道口或辅助坑道口敷设光缆向隧道内延伸到应急现场区域; 隧道口或辅助坑道口部署路由器连接专网或公网或宽带卫星, 将隧道内的实时数据、图像回传至路局应急通信中心平台。

隧道应急通信覆盖方式如图 6 所示。

3) 应急通信系统还应与会议电视系统互联, 满足在应急指挥中心与会议电视系统内的用户召开会议。

4.6 网络安全防护

根据信息系统等级保护安全设计技术及国铁集团对应急通信系统确定的等保三级的要求, 铁路应急通信系统应从安全区域边界、安全通信网络方面进行安全防护, 实现与铁路内网的隔离。

5 结束语

复杂艰险山区铁路存在地形地貌复杂、地质构造活动强烈、地质灾害多发等困难, 特别是在工程建造及运营维护过程中的应急通信保障尤为重要, 提出构建天地一体、多网融合、全域覆盖、快速部署、定

(下转 48页)

高速铁路复杂线路区段GSM-R系统方案设计与网络优化

张 健¹, 朱啸豪², 王伟力²

(1. 中国铁路上海局集团有限公司, 上海 200071;

2. 中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉 430063)

摘要: 新建高速铁路与既有线交叉并线难以避免, 线路条件也更加复杂。介绍近期开通的湖杭高铁、张吉怀高铁等线路典型交叉并线和连续隧道区段的 GSM-R 系统设计和网络优化方案, 对遇到的多径干扰、电平不一致、无线干扰引起质差的相关情景, 给出具体的无线设计解决措施。总结工程经验, 并对类似区段铁路方案提出合理化工程建议。

关键词: 高速铁路; 并线区段; 连续隧道; 铁路数字移动通信系统; 网络优化

中图分类号: U285

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)02-0042-07

Scheme Design and Network Optimization of GSM-R System in Complex Line Section of High Speed Railway

Zhang Jian¹, Zhu Xiaohao², Wang Weili²

(1. China Railway Shanghai Group Co., Ltd., Shanghai 200071, China)

(2. China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., Wuhan 430063, China)

Abstract: It is difficult to avoid the crossing and merging of new high-speed railway and the existing lines, and the line conditions are more complex. This paper introduces the GSM-R system design and network optimization scheme for typical cross parallel lines and continuous tunnel sections of the recently commissioned Huzhou-Hangzhou high speed railway, Zhangjiajie-Jishou-Huaihua high speed railway and other lines, and gives specific wireless design solutions for scenarios related to multipath interference, level inconsistency and poor quality caused by wireless interference. Finally, it summarizes the experience of these projects, and puts forward reasonable engineering suggestions schemes for similar railway sections.

Keywords: high speed railway; parallel section; continuous tunnel; railway digital mobile communication system; network optimization

收稿日期: 2022-10-27; 修回日期: 2023-02-06

基金项目: 湖北省重点研发计划项目 (2021BAA170)

第一作者: 张健 (1966—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路通信安全运营, 邮箱: 13952159778@139.com。

1 概述

截至 2022 年 6 月,国内铁路营业里程已超过 15 万 km,其中高速铁路运营里程超过 4 万 km。随着无线通信系统建设为 GSM-R 系统的铁路工程不断增加,GSM-R 覆盖的路网密度不断加大,涉及到复杂线路区段也越来越多,GSM-R 无线通信系统方案已成为设计的难点。目前 GSM-R 系统承载着高速铁路 CTCS-3 列车运行控制业务^[1],对实时性、可靠性有着极高的要求。

在不影响既有高速、普速铁路正常运营的情况下,必须确保新建高速铁路联调联试测试无线覆盖和服务质量符合 CTCS-3 区段安全运行要求^[2]。本文以近期开通的高速铁路典型复杂线路区段为例,针对设计过程的难点和联调联试过程中遇到的多径干扰、电平不一致、无线干扰引起质差等问题,提出设计与网络优化方案。

2 典型区段说明与解决方法

2.1 湖杭与宁杭、宣杭交叉并线区段

湖杭高铁自设计起点湖州站开始与宁杭高铁并线长达 50 km,经过德清站后,两线最远距离仅为 678 m,在范家漾线路所两线分开。如图 1 所示,在与宁杭分开约 6 km 后,湖杭高铁与宣杭铁路交叉,该区域近期还规划有拟建沪乍杭铁路、杭州北联络线、北东联络线工程经过。该区域地势平坦,电磁波传播环境良好,多线交叉,高速铁路与普速铁路交错,因此 GSM-R 方案设计难度极大。

为避免多条线路乒乓切换^[3],简化此交叉并线区段基站切换关系,采用 BBU+RRU 设备构成异站址冗余分布式基站,将该区段归属于一个范围较大的基站小区,同时利用分布式基站较大的功率,提供良好的信号覆盖。无论哪个方向、哪条线路的车经过此地段,都将如图 1 所示大小区作为切换小区。宁杭高铁的列车行驶切换顺序为 DQ-HZD04、大小区、DQ-HZD06;湖杭高铁的列车行驶切换顺序为 DQ-HZD04、大小区、湖杭基站(DQ-HZX02)。

基于此方案,将两线交叉点既有宁杭(DQ-HZD05)基站替换为两套 RRU,两套 RRU 分别朝宁杭大里程、宁杭小里程、湖杭大里程 3 方向覆盖。大小区内的所有基站设备接入湖杭高铁在杭州南新设的 BSC 设备。大小区与宁杭既有基站(DQ-HZD06)之间跨 BSC 切换。分布式基站(DQ-HZX02_RU2)至分布式基站(DQ-HZX02_RU3)与既有宣杭铁路交叉,既有宣杭铁路为单网方式组网,宣杭铁路切换方式为 DQX-XGT04 切换至大小区至 XingGongTang 车站。湖杭高铁 K367+626 至 K383+320 与既有宣杭铁路并线,此区段宣杭铁路为 450 MHz 无线列调,因此不影响湖杭 GSM-R 无线覆盖。

在上述方案实施之后,进行了湖杭高铁半数站序列测试,部分测试结果如图 2 所示。GouZhuangSuoA 至 GZX-HZX02 切换前后下行电平和通信质量正常,但查看接口监测数据,存在 7 级上行通信质量^[4],GouZhuangSuoA 为位置组大小区,共有 4 个位置组,在该位置应由 GouZhuangSuo_RU4A 覆盖,上行质差推测为由于网内问题导致。

为解决 GouZhuangSuo_RU4A 覆盖区域 7 级质差问题,将 GouZhuangSuo_RU4A 功率由 20 W 降低为 5 W,同时将 GouZhuangSuoA 至 GZX-HZX02 的 PBGT 门限由 67 dB 调整为 65 dB, PBGT 统计时间由 3 s 调整为 2 s, PBGT 持续时间由 2 s 调整为 1 s,将 GZX-HZX02 至 GouZhuangSuoA 的 PBGT 门限由 76 dB 调整为 70 dB。

完成上述操作后,上/下行通信质量都得到了明显改善,优化后的结果如图 3 所示。

2.2 湖杭与杭温、杭昌交叉并线区段

如图 4 所示,湖杭高铁与杭温高铁并线经过桐庐东站,距桐庐东站约 2 km 处两线分开,湖杭高铁开始与杭昌高铁并线运行,三线交叉点位于距桐庐东站 3.5 km 处,湖杭高铁、杭昌高铁在距交叉点 1.5 km 开始进入平行隧道区段。该区域在三线

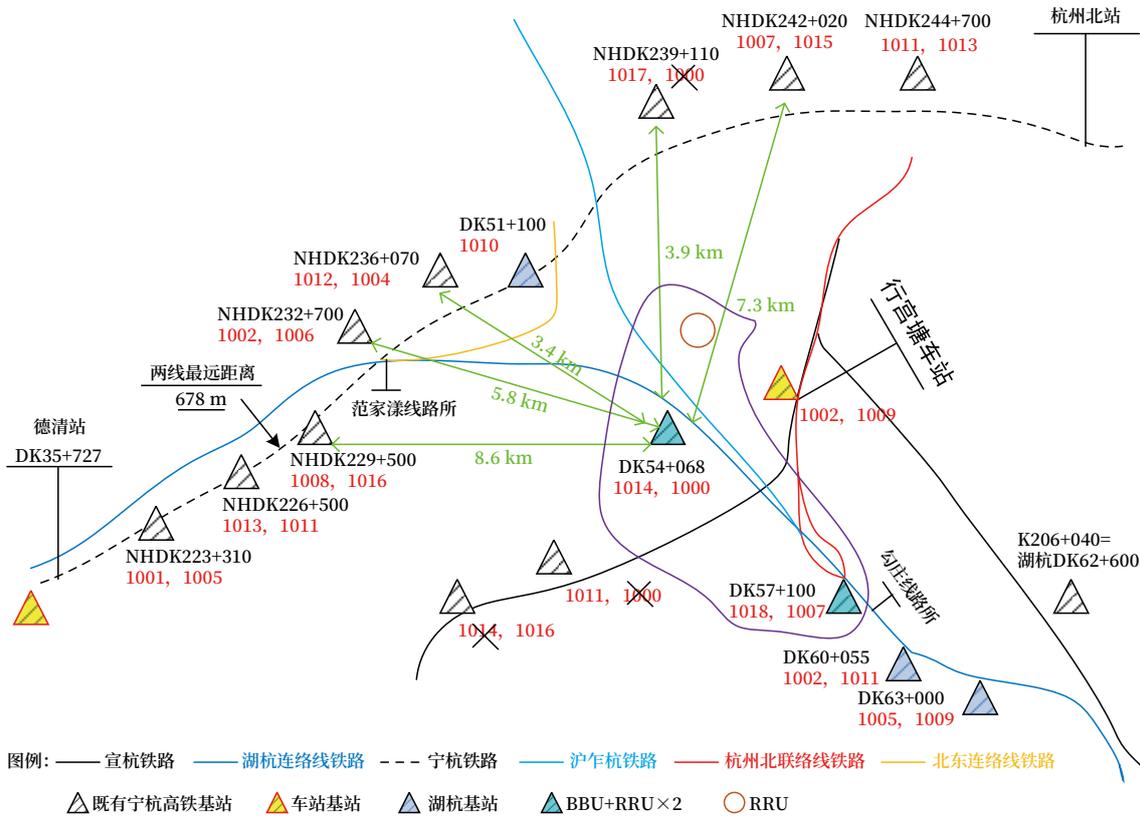


图1 湖杭与宁杭、宣杭交叉并线区段示意

Fig.1 Schematic diagram of cross parallel sections of Huzhou-Hangzhou, Nanjing-Hangzhou and Xuancheng-Hangzhou high speed railways

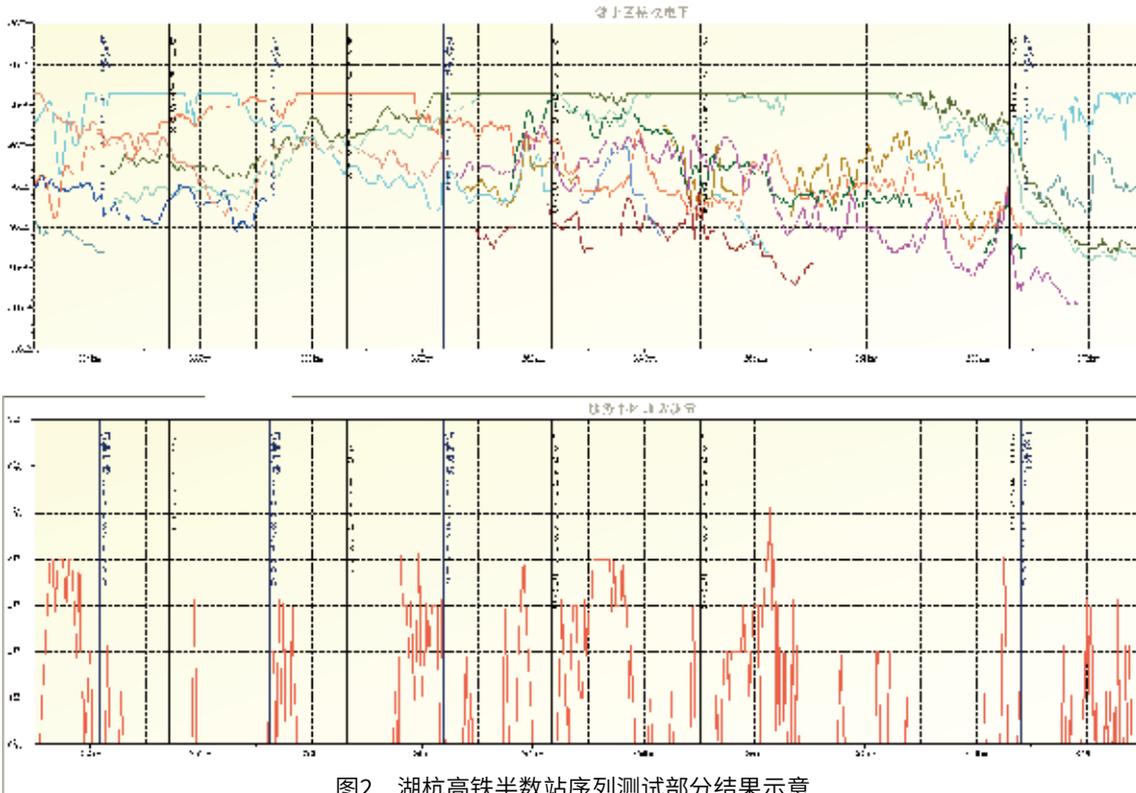


图2 湖杭高铁半数站序列测试结果示意

Fig.2 Schematic diagram of sequence test results of half stations of Huzhou-Hangzhou high speed railway

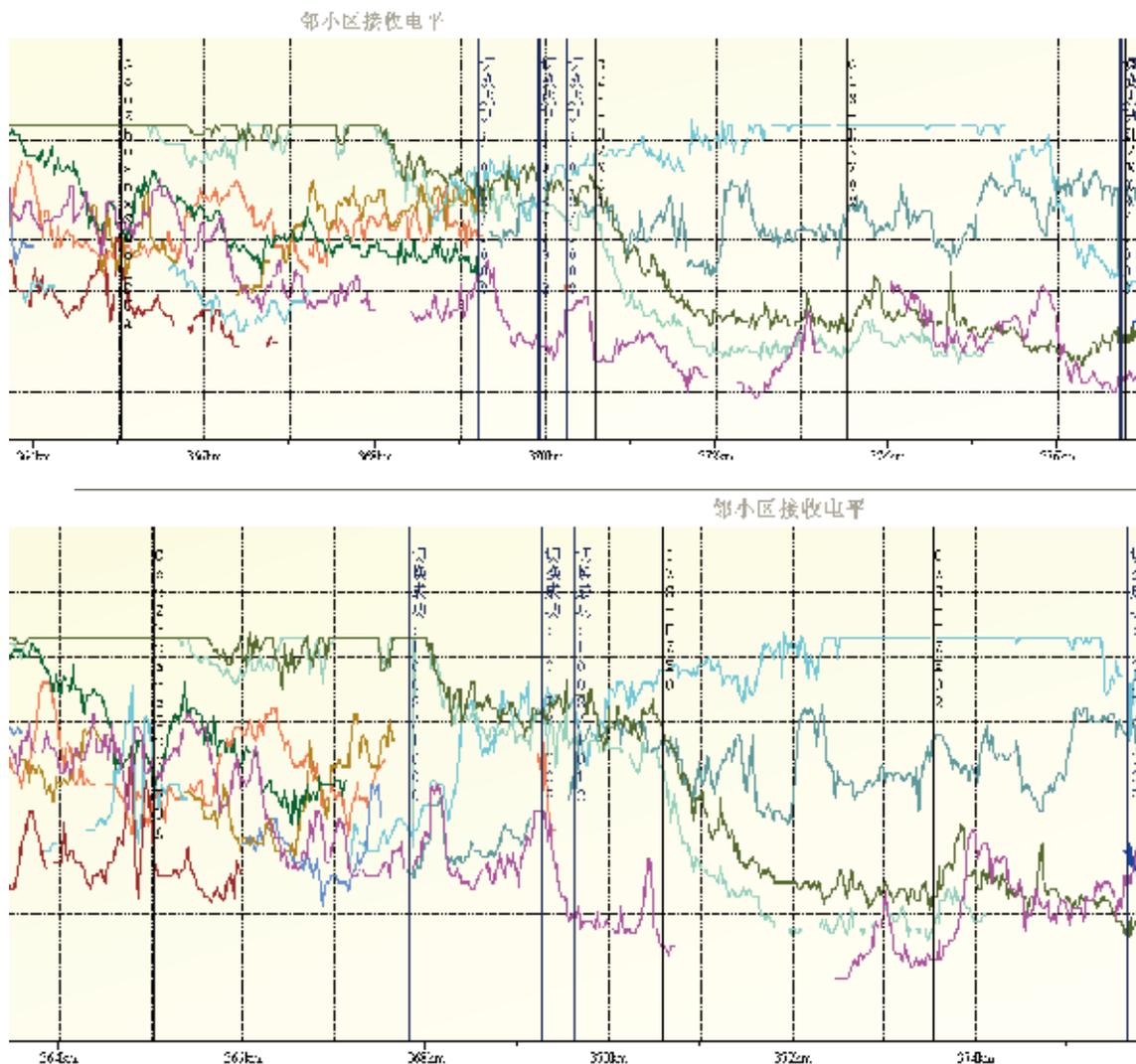


图3 优化后湖杭高铁半数站序列测试部分结果示意

Fig.3 Schematic diagram of partial sequence test results of half stations of the optimized Huzhou-Hangzhou high speed railway

交叉区域，地势较为平坦，但湖杭高铁、杭昌高铁立即进入隧道区段，同时杭昌高铁是既有高速铁路，客运繁忙，湖杭高铁的建设不能对杭昌高铁日常运营产生影响，因此该区段无线设计难度较大。

湖杭高铁建设时，将杭昌基站 FY-TL07（杭昌 K76+485）移至湖杭、杭温、杭昌的交叉点处，并同址新增双基站（双基站型号与杭昌基站 FY-TL07 一致），用于解决单点故障时无线覆盖问题。湖杭高铁平行于杭昌高铁的隧道利用杭昌高铁既有基站增加光纤直放站方式，结合漏泄同轴电缆和天线覆盖。此交叉点处新增的双基站分别新设 4 副天线分别往杭温高铁、杭昌高铁大小里程覆盖。

湖杭高铁联调联试期间，综合检测车测试桐庐东站至桐庐站联络线发现 FY-TL07A 基站的桐庐和桐庐东方向，存在电平不一致情况^[5]，FY-TL07A 基站主用设备比备用设备低 15 dB 左右。可能存在的问题包括基站主、备设备发射功率不一致，功分器问题，7/8 馈线以及跳线问题，天线问题，连接方式错误，存在鸳鸯线等。湖杭高铁针对可能存在的问题进行逐一排查。

FY-TL07A 天馈正确连接方式如图 5 所示，通过测试桐庐东方向天馈线驻波，发现存在驻波问题，在更换软跳线后，驻波问题得到解决。通过对基站功率、驻波、鸳鸯线排查、以及天馈线倒换逐一配

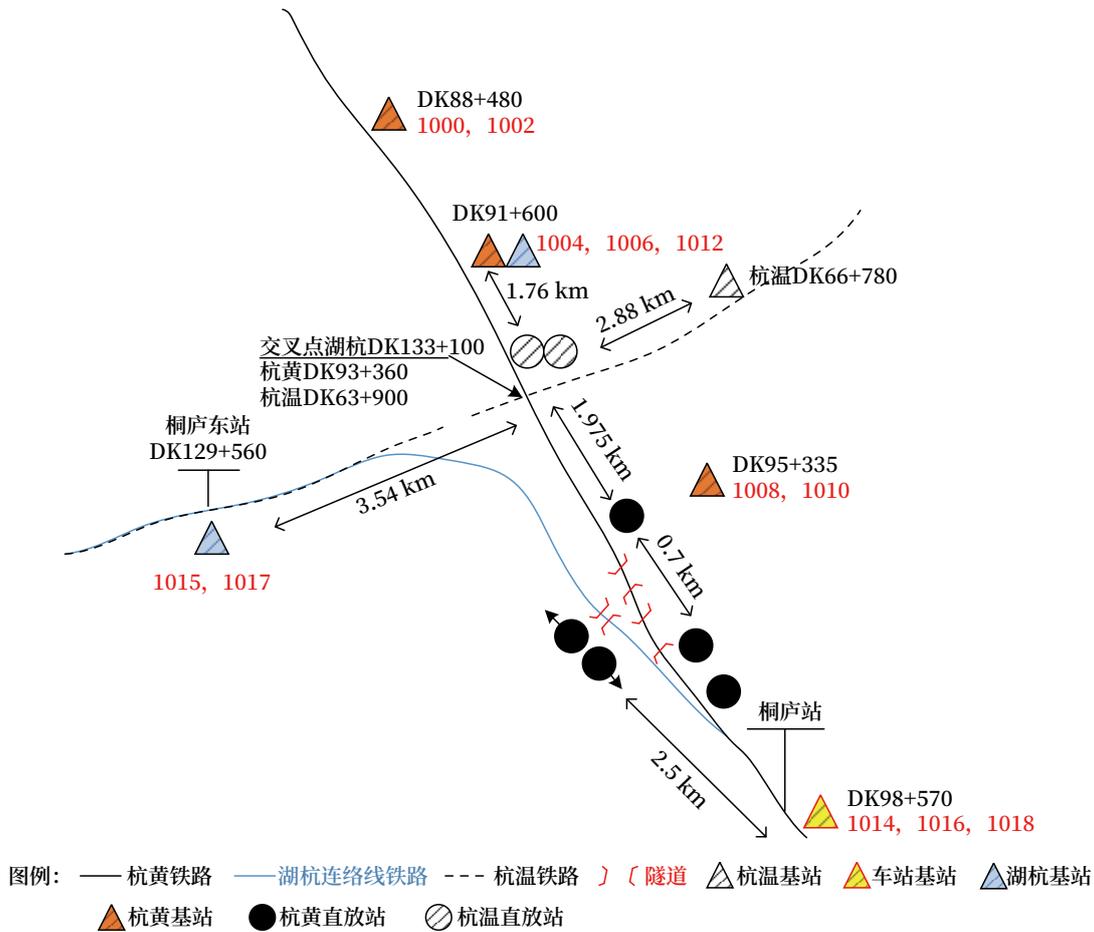


图4 湖杭与杭温、杭昌交叉并线区段示意

Fig.4 Schematic diagram of cross parallel sections of Huzhou-Hangzhou, Hangzhou-Wenzhou and Hangzhou-Nanchang high speed railways

合覆盖测试，最终将问题定位在 7/8 馈线接口。

在 7/8 馈线主、备对调之后，电平不一致现象发生了倒换，同时主备电平差值也缩小，因此判断为原主 7/8 馈线接头与原接口匹配不良，更换为备用后情况好转。

2.3 张吉怀连续隧道区段

有着“最美铁路”之称的张吉怀高铁一路翻山越岭，隧道 123 座，其中 5 km 以上隧道 6 座，是一条隧道占比高达 71% 的山区铁路，对于 GSM-R 覆盖，难点主要体现在连续隧道的恶劣自然环境和山体磁场对电磁波传播的影响。张吉怀工程全线除 FuRongZhen 外，其他基站均下挂直放站。

某厂家基站为多通道热备机制^[6]，多路信号通过内部时钟同步后进行合路输出。张吉怀高铁采用该基站信号作为信源，通过耦合器接入直放站近端

机，直放站近端机经过时延处理后，在远端机上同步发射。在此过程中 GZX-JSD06 基站的 2 路相同信号通过 2 个耦合器后，由于耦合器性能不同导致输出信号相位有差异，合路后信号出现功率波动，引起直放站近端机接收到的信号存在跳变现象，经过远端机放大后导致空间信号大幅度跳变。通过基站时延调整，匹配了合路后的信号相位，直放站近端机信号可接收到稳定输入。

在联调联试期间，如图 6 所示，GZX-JSD06 小区 K128+838 到 K128+752 处存在连续下行 4 级质差，K127+874 到 K127+745 处存在连续下行 4/5 级质差。

通过修改基站 GZX-JSD06 多通道时延参数，由 (0、0、0、0) 调整为 (0、2、0、2)，上/下行通话质量得到明显改善。

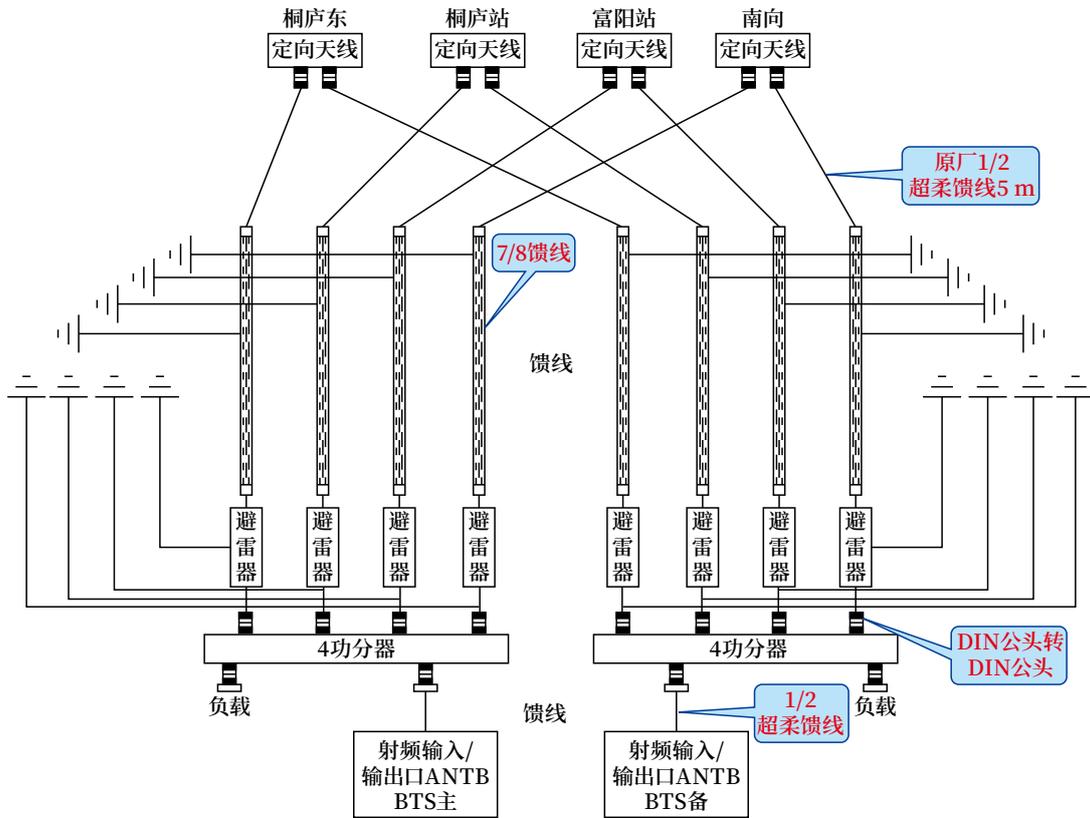


图5 FY-TL07A天馈正确连接方式

Fig.5 Correct connection mode of the FY-TL07A antenna feeder

小区信息	公里标	速度(km/h)	RCC	ICH	显示告警	测量报告	接收电平	接收电平	接收电平	接收电平	接收电平	接收电平
67X-1SD06	1104	1000	正常	1	47	0	57	4	56			
67X-1SD06	1004	1000	正常	2	-48	2	-50	4	56			
GZX-JSD06	1004	1000	下漏	1	-47	2	-51	4	57			
GZX-JSD06	1004	1000	下漏	2	-47	4	-55	4	57			
GZX-JSD06	1004	1000	下漏	3	-47	3	-54	4	56			
GZX-JSD06	1004	1000	下漏	4	-47	4	-50	4	56			
67X-1SD06	1004	1000	正常	5	47	2	71	4	56			
67X-1SD06	1004	1000	正常	6	47	1	68	4	56			
67X-1SD06	1104	1000	正常	7	47	0	71	4	56			
67X-1SD06	1104	1000	正常	8	-47	0	-74	4	56			
67X-1SD06	1004	1000	正常	9	-47	0	-74	4	57			
GZX-JSD06	1004	1000	下漏	10	-47	2	-70	5	57			
GZX-JSD06	1004	1000	下漏	11	-47	1	-71	5	57			
GZX-JSD06	1004	1000	下漏	12	-47	1	-70	4	57			
GZX-JSD06	1004	1000	正常	13	-47	1	-70	4	57			
67X-1SD06	1004	1000	正常	14	47	2	78	4	57			
67X-1SD06	1104	1000	正常	15	47	2	77	4	57			
67X-1SD06	1104	1000	正常	16	47	1	77	4	57			
67X-1SD06	1004	1000	正常	17	-47	2	-72	4	57			
67X-1SD06	1004	1000	正常	18	-50	2	-71	4	57			

图6 张吉怀高铁GZX-JSD06小区测试记录

Fig.6 Test records of GZX-JSD06 cell of Zhangjiajie-Jishou-Huaihua high speed railway

3 总结与建议

本文通过对近期开通高铁的几处典型交叉并线和连续隧道案例进行详细分析，针对 GSM-R 网络

设计过程中存在的难点提出解决方案，同时针对工程测试中出现的问题，提出网络优化方案。随着国内铁路路网的建设，将会有越来越多的新建线路与既有线交叉并线、线路自然环境复杂、翻山跨海等

场景, 这已经成为不可避免的工程难点。对于类似上述区域, 在设计阶段应提高方案可用性及可靠性, 在测试阶段应根据现场条件、设备特点、施工工艺等方面进行网络优化。

参考文献

[1] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路数字移动通信系统(GSM-R)设计规范: TB 10088-2015[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.
[2] 中国铁路总公司. 关于做好特殊区域GSM-R无线网规划工作的意见: 铁总运[2014]252号[S]. 北京: 中国铁路总公司, 2014.
[3] 焦晓辉. 铁路特殊区域GSM-R无线覆盖典型案例分析[J]. 铁道通信信号, 2019, 55(8): 72-75.
Jiao Xiaohui. Typical Case Analysis of GSM-R Wireless Network Coverage in Special Railway Areas[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(8): 72-75.

[4] 王伟力. 芜湖枢纽GSM-R覆盖方案设计[J]. 铁道通信信号, 2018, 54(8): 90-92.
Wang Weili. Design of GSM-R Coverage Scheme in Wuhu Hub Region[J]. Railway Signalling & Communication, 2018, 54(8): 90-92.
[5] 赵留俊. 商合杭高铁与京九铁路并线区段GSM-R无线覆盖方案[J]. 中国铁路, 2020(6): 114-118.
Zhao Liujun. GSM-R Wireless Coverage Scheme for Shared Section of Shangqiu-HefeiHangzhou High Speed Railway and Beijing-Kowloon Railway[J]. China Railway, 2020(6): 114-118.
[6] 代赛, 费丹, 姚欣楠, 等. 时速350 km及以上高速铁路GSM-R系统QoS性能研究[J]. 铁道通信信号, 2021, 57(11): 46-50.
Dai Sai, Fei Dan, Yao Xinnan, et al. Research on QoS Performance of GSM-R System for High-Speed Railway with Speed of 350 km/h and above[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(11): 46-50.

(上接 41页)

位精准的铁路应急通信系统, 并对系统结构、设备配置等进行了探讨。随着通信技术的发展, 国产化高通量通信卫星、天通一号卫星、北斗等应用日益成熟。并且, 国铁集团已经制定了5G-R的部署计划, 在应急抢险中可以充分利用5G-R或者运营商5G网络。

参考文献

[1] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路通信设计规范: TB 10006-2016[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
[2] 余超, 吴歆彦, 李雷. 《铁路通信设计规范》TB 10006-2016 解读(三)——业务网[J]. 铁道通信信号, 2019, 55(1): 55-59.
Yu Chao, Wu Xinyan, Li Lei. Interpretation to Code for Design of Railway Communication Engineering

TB 10006-2016(3)-Bearer Net[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(1): 55-59.
[3] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路专用应急通信系统技术条件: TB/T 3204-2018[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.
[4] 范文娜, 史俊玲, 郝蕊, 等. 复杂艰险山区铁路建设综合技术保障体系研究[J]. 中国铁路, 2021(06): 102-108.
[5] 钱伟勇. 中国铁路新一代应急通信系统技术发展分析[J]. 移动通信, 2009, 33(8): 36-39.
[6] 洪峰, 刘畅. 基于4G专线APN技术的新型铁路应急通信系统[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(6): 43-46, 58.
Hong Feng, Liu Chang. New Railway Emergency Communication System Based on 4G Dedicated APN Technology[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(6): 43-46, 58.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.02.010

支持电路域与分组域的车载通信技术研究

谢和欢^{1, 2}

(1. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070;

2. 北京市高速铁路运行控制系统工程技术研究中心, 北京 100070)

摘要: 阐述一种既支持电路交换域又支持分组交换域的车载通信技术的研究方法, 着重分析这两种通信模式的基本原理和通信过程, 在此基础上介绍相应的车载无线传输单元的基本设计方法, 最后重点说明其中关键的协议栈和算法。按照该方法研制的车载无线传输单元具备并行支持电路交换域通信和分组交换域通信的能力, 可广泛应用在各种型号的车载系统中。

关键词: 电路交换; 分组交换; 车载无线传输单元

中图分类号: U285

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)02-0049-09

Research on Onboard Communication Technology Supporting Both Circuit Switching Domain and Packet Switching Domain

Xie Hehuan^{1, 2}

(1. CRSC Research & Design Institute Group Co., Ltd., Beijing 100070, China)

(2. Beijing Engineering Technology Research Center of Operation Control Systems for High Speed Railways, Beijing 100070, China)

Abstract: This paper describes a research method of onboard communication technology that supports both Circuit Switching Domain (CS) and Packet Switching Domain (PS). It emphatically analyzes the basic principles and communication processes of these two communication modes, introduces the basic design method of corresponding vehicle borne wireless transmission unit, and highlights the key protocol stack and algorithm. The onboard wireless transmission unit developed according to the method introduced in this paper has the ability to support circuit switched domain communication and packet switched domain communication in parallel, and can be widely used in various types of onboard systems.

Keywords: CS; PS; RTU

收稿日期: 2022-10-21; 修回日期: 2023-02-07

基金项目: 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司科研项目(2300-K1210019.01)

作者简介: 谢和欢(1973—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 列控系统车地安全通信技术, 邮箱: xhh@crscd.com.cn.

目前, 国内高速铁路列车主要采用 GSM-R 通信系统实现车地间无线数据传输, 车地数据交换最初仅基于传统的电路域进行。2015 年, 欧盟发布了欧洲列车控制系基线三版本 ETCS B3R2, ECTS 无线数据传输在既有电路域交换的基础上增加了通用无线分组业务(GPRS)方式。GPRS 是一种基于

GSM 系统的无线分组交换技术,属于 GSM 网络中的分组域,提供端到端的广域无线 IP 连接。国内面向西部地区推出的新型列控系统车地通信也采用 GPRS 网络作为车地数据传输平台。

随着无线通信技术的进一步发展,低时延、高 速率、网络结构简化成为移动通信系统的新目标,全 IP 移动通信网络成为必然,到了 LTE 和 5G 技术时代,只保留分组交换域进行数据传输,不再有单独的电路交换域。当前铁路数字移动通信系统由 2G 技术向 5G 技术发展的目标已经明确,原来的只支持电路域通信的车载通信设备由于本身的局限性已经不能适应这种变化趋势,需要增加对分组域通信的支持。因此迫切需要一种既能支持电路域通信又能支持分组域通信的车载通信设备,以适应高铁车地通信需求的变化。

1 电路域与分组域通信概述

电路交换域 (Circuit Switching Domain, CS) 和分组交换域 (Packet Switching Domain, PS) 是针对无线通信系统核心网部分而言的,两者的不同在于数据交换方式。两种通信模式的差异如下。

1) 电路域交换:通过在发送端和接收端之间建立一条被双方独占的电路连接,并保持到通信结束的一种交换方式,连接不能统计复用。

2) 分组域交换:通过标有地址的分组进行路由选择传送数据,使信道仅在传送分组期间被占用的一种交换方式。

分组交换采用存储转发传输方式,加速了数据在网络中的传输、简化存储管理、减少出错几率,提高了数据交换效率。因此从提高整个网络信道利用率的角度来看,分组交换优于电路交换,尤其适合于终端间突发式的数据通信。

2 列控系统车地安全通信参考模型

列控系统车地通信网络是基于开放式传输系统的安全通信系统,使用分层的参考模型结构。它从上到下包括应用层、安全层、无线通信层(由传输

层、网络层、链路层构成)和物理层,如图 1 所示。模型中高一层次使用下一层提供的服务传输数据。其中,应用层由车载应用程序和地面设备应用程序组成,负责生成和处理列控业务无线信息。安全层由安全功能模块 (Safe Functional Module, SFM) 构成,提供安全连接的建立和释放以及业务数据的安全传输服务。无线通信层由通信功能模块 (Communication Functional Module, CFM) 构成,提供通信连接的建立和释放服务以及透明可靠的无线数据传输服务。

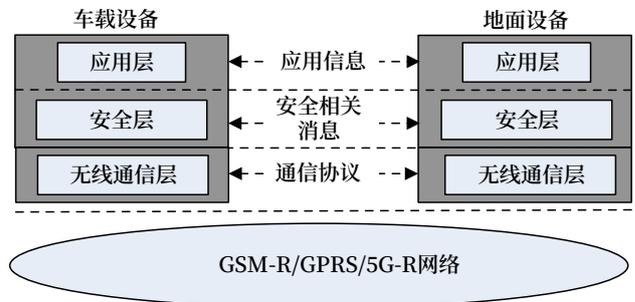


图1 列控系统无线通信网络参考模型

Fig.1 Reference model of train control system wireless communication network

3 车载无线通信系统

车载无线通信系统主要包括无线传输单元 (RTU) 和车载电台 (MT)。RTU 主要由通信功能模块 (负责无线数据传输协议栈的处理)、对外接口模块 (负责和主机及电台接口) 以及电台控制模块 (负责与电台 AT 指令交互和数据收发) 构成。电台负责附着并注册到列控无线通信网络,按照空口无线协议栈处理收发数据,为 RTU 提供实际的数据传输服务。

为同时支持电路域和分组域数据传输,RTU 必须并行支持两种通信制式的协议栈,如图 2 所示。CS 域中,车载和地面设备采用既有电路交换域协议栈管理车地通信连接,列控业务数据由 X.224、T.70 以及 HDLC 协议进行端到端数据传输和校验。PS 域中,车载和地面设备采用分组交换域协议栈管理车地通信连接,列控业务数据由 TCP /IP 协议和 PPP 协议进行端到端传输和校验。

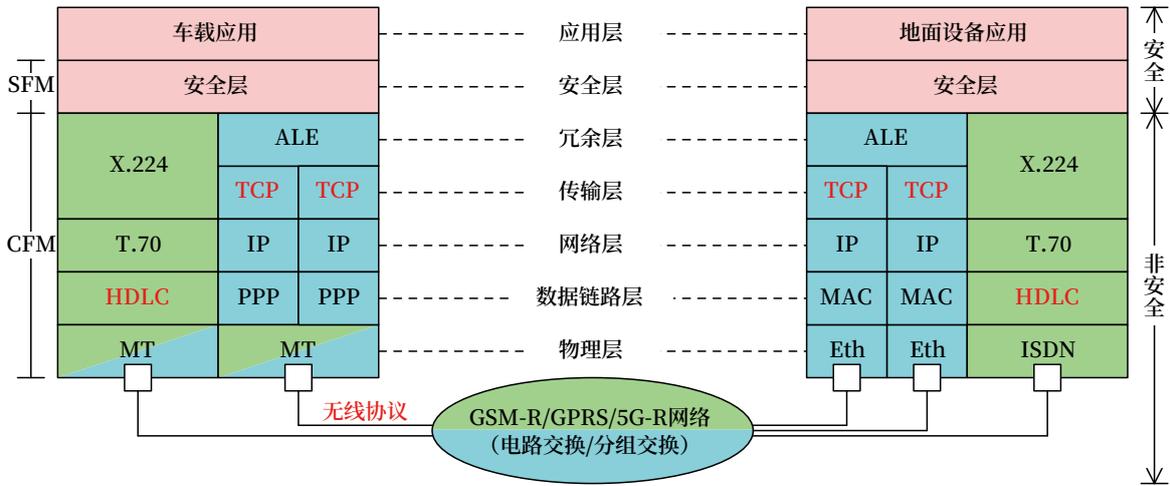


图2 车载电路域和分组域无线通信协议栈
Fig.2 Onboard Wireless communication protocol stack in CS domain and PS domain

4 车载电路域通信原理和过程

4.1 基本原理

在电路域通信中，车载要发送的应用数据首先通过安全层处理和封装后形成安全层协议数据单元 (SaPDU)，然后由传输层封装处理后形成传输层协议数据单元 (TPDU)，接着通过网络层分包处理后

形成网络层协议数据单元 (NPDU)，最后封装在 HDLC 帧中被车载无线传输单元发往电台，再由电台经过无线协议栈处理后发送到空口，经过支持电路域的无线通信系统最后抵达目标地面设备。接收数据过程则是上述过程的反向解包过程。各协议数据单元之间的关系如图 3 所示。

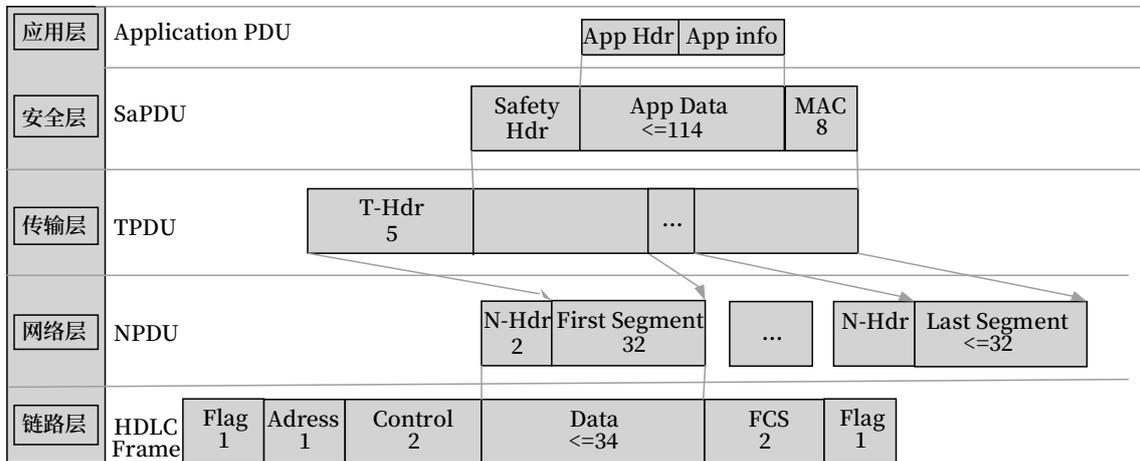


图3 车载电路域通信各协议数据单元关系
Fig.3 Relation diagram of PDUs of onboard CS domain

4.2 安全通信链路建立过程

当车载主机需要和某个地面设备建立电路域安全通信连接时，应分别建立安全层、传输层、网络层、链路层和物理层的连接。每个上层连接的建立都应该建立在底层连接已完成的基础上。

车载应用程序需要和某个地面设备通信时，首

先向安全层请求与该设备建立安全连接。安全层会立即向 RTU 请求建立传输层连接，各层间的连接请求及确认通过原语的交互进行，如图 4 所示。RTU 的通信功能模块 CFM 中的传输层收到该连接请求后要求建立网络层连接。RTU 如果判断目标地面设备工作在 CS 模式，则首先会向电台发出拨号

指令，以完成物理层连接，随后会通过和对端链路层的 SABME 和 UA 帧的交互完成链路层的建立，于是网络层连接也随即建立。然后传输层通过 CR TPDU（携带 AU1 SaPDU）和 CC TPDU（携带 AU2 SaPDU）的交互完成传输层的建立，如图 5 所

示。传输层连接建立后，安全层通过继续交互 AU3 SaPDU 和 AR SaPDU 完成安全连接的最终建立，并通知车载应用。至此，一条从车载到地面设备的电路域安全链路建立起来。

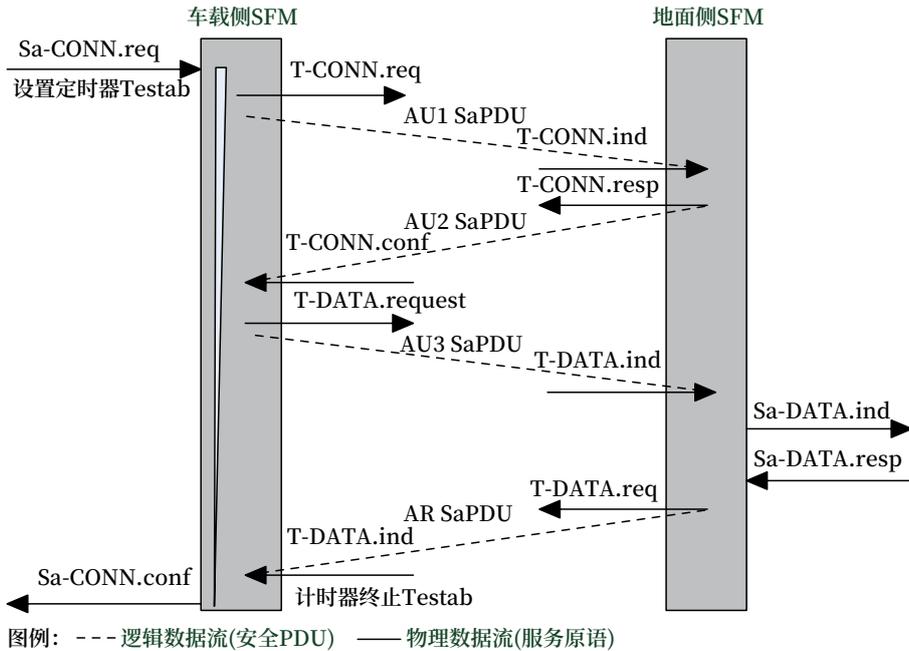


图4 电路域安全层连接建立原语序列

Fig.4 Security layer connection establishment primitive sequence in CS domain

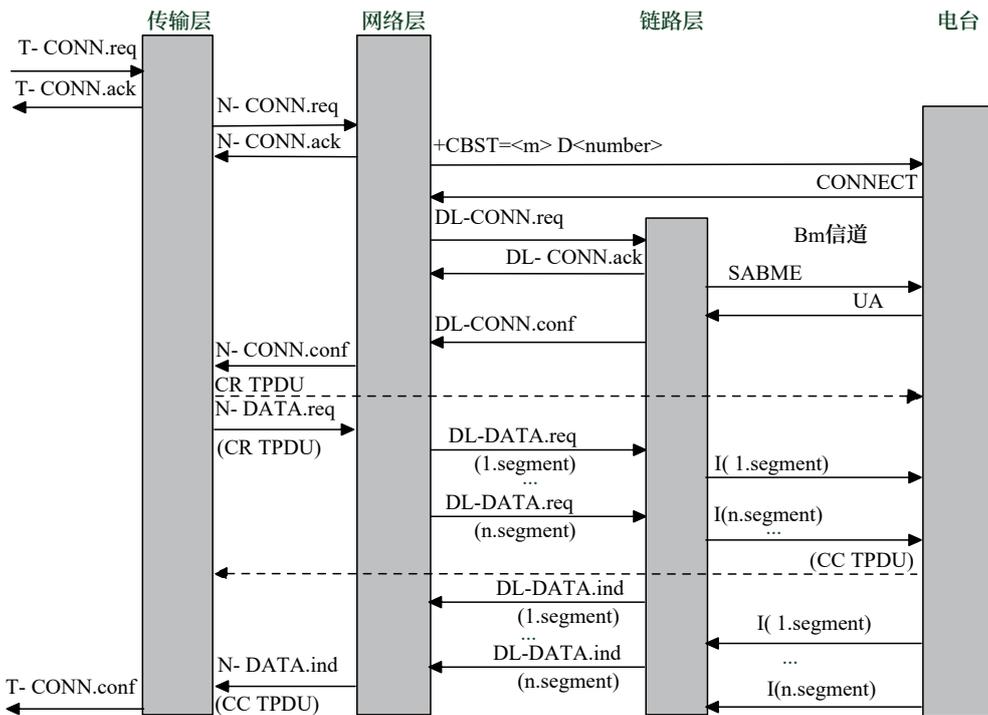


图5 电路域传输层往下连接建立原语序列

Fig.5 Transport Layer and below connection establishment primitive sequence in CS domain

4.3 车地数据交换过程

车载和地面设备通信交互的是列控系统无线报文，被车载安全层封装后的无线报文通过 T-DATA.req 原语送到 RTU 的传输层，再经过网络层分包和链路层封包后发往电台并最终经过无线通信网到达地面设备。而数据反向传输过程则是上述过程的逆过程，如图 6 所示。

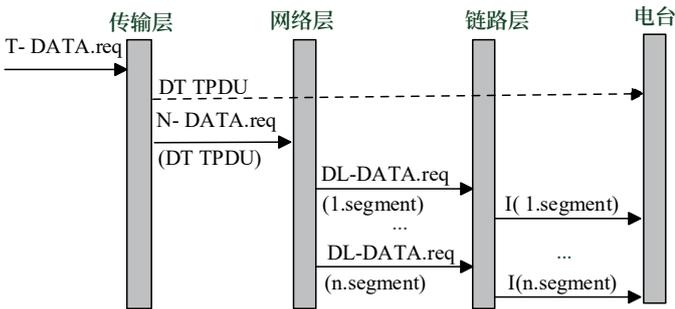


图6 电路域数据传输原语序列
Fig.6 Data transmission primitive sequence in CS domain

4.4 安全通信链路拆除过程

在完成车地通信后，车载应用程序要求断开安全连接，安全层随即向 RTU 请求断开传输层连接。然后车载与地面设备的传输层通过交互断开过程的协议数据单元完成传输层的断开。接着传输层要求网络层断开并关闭自身。网络层收到断开请求后，首先要求断开链路层。车载的链路层与地面设备链路层通过交互 DISC 帧和 UA 帧完成链路层断开并通知网络层。然后网络层要求物理层断开，随即电台被挂断，至此，车地通信链路被完全拆除，如图 7 所示。

5 车载分组域通信原理和过程

5.1 基本原理

在分组域通信中，车载要发送的应用数据首先通过安全层处理和封装后，形成 SaPDU，再由适配层 (Adaptation Layer Entity, ALE) 封装处理后形成 ALE 包 (ALEPKT)，最后通过 TCP/IP 协议以及 PPP 协议处理后发往电台，电台把数据经过无线协议栈处理后发送到空口，经过支持分组域的无线通信系统最后抵达目标地面设备。接收数据过

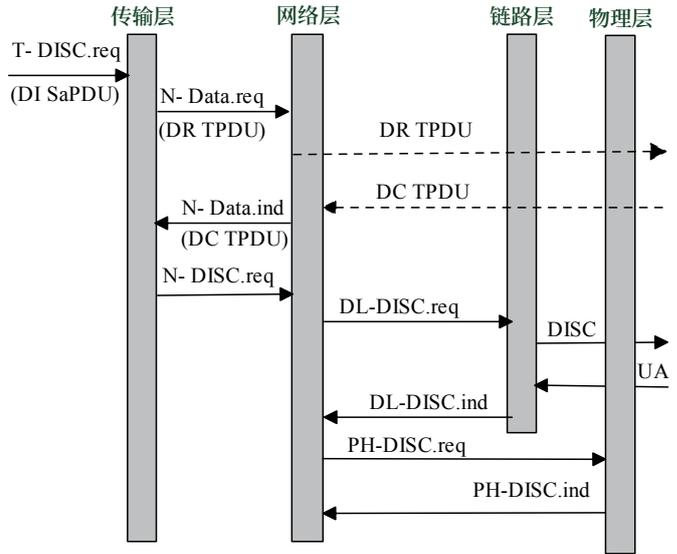


图7 车载电路域通信链路拆除原语序列
Fig.7 Communication link removal primitive sequence in onboard CS domain

程则是上述过程的反向解包过程。相比车载电路域通信，分组域通信协议栈中新增了 ALE 层，其作用一是进行冗余管理，执行 TCP/IP 连接的建立、关闭和维护任务；二是在面向字节流的 TCP 协议上传送消息数据包。各协议数据单元之间的关系如图 8 所示。

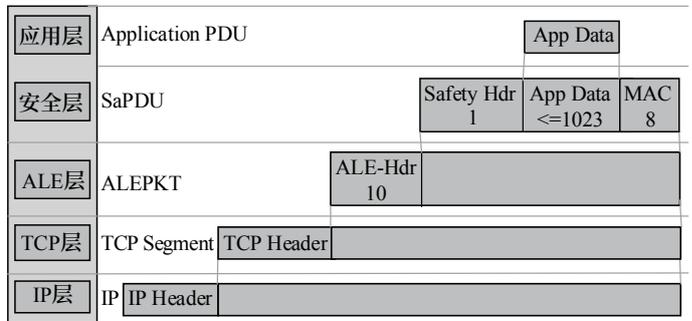


图8 车载分组域通信各协议数据单元关系
Fig.8 Relation diagram of PDUs of onboard PS domain

5.2 安全通信链路建立过程

车载主机需要和某个地面设备建立分组域通信连接时，RTU 同样会收到建立连接传输层请求的原语，RTU 如果判断目标地面设备为 PS 模式，而且电台已经为 PS 通信做好准备 (已附着在 GPRS 或 5G-R 网络，PDP 上下文已激活等)，会首先通过 AT 指令命令电台进入数据状态。然后和电台协商建立 PPP 链接。PPP 链路建立后，电台会给 RTU 分配 IP 地址和 DNS 地址。随后，RTU 尝试从地面

DNS 服务器查询目标地面设备的 IP 地址，若能成功获取到 IP 地址，则开始发起和目标设备的 TCP 连接过程。连接建立后，车载安全层和地面设备安

全层之间将进行安全协议数据单元的交互过程来完成安全通信链路的建立，如图 9 所示。

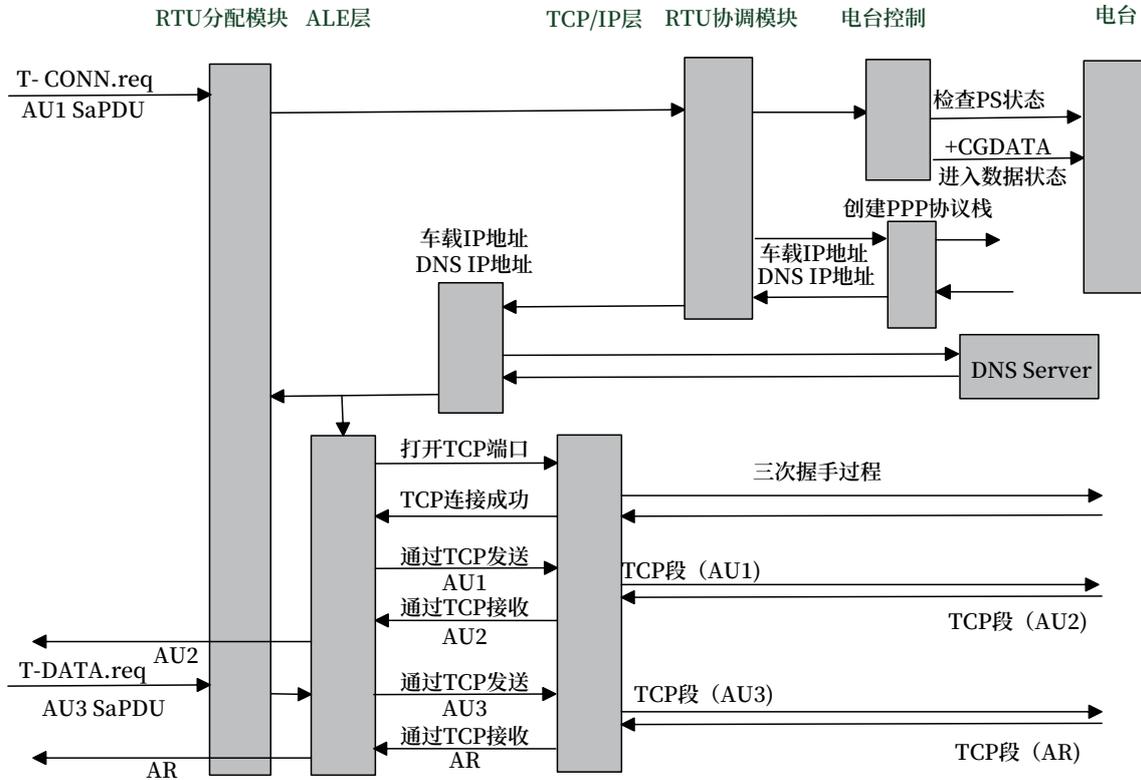


图9 车载分组域通信连接建立原语序列
Fig.9 Communication connection establishment primitive sequence in onboard PS domain

5.3 车地数据交换过程

车载主机要发往地面设备的无线报文首先被安全层封装处理成 DT SaPDU 送到 RTU，由 RTU 的 ALE 层处理后封装成 DT ALEPKT 后，通过 TCP/IP 连接经由车载电台发往地面设备。其中，IP 包送到电台的过程需要 PPP 协议的支持。车载接收无线报文的过程是上述过程的逆过程，如图 10 所示。

5.4 安全通信链路拆除过程

应用层会话结束后，车载应用程序请求安全层断开连接，安全层则向 RTU 请求断开传输连接，并随即断开自身的连接。随后，车载无线传输单元 ALE 层将安全层断开请求通过 TCP 连接发送给地面设备，接着 RTU 关闭与地面设备的 TCP 连接，并释放和电台的 PPP 连接。至此，车载和地面设备的安全通信链路得以完全拆除，如图 11 所示。

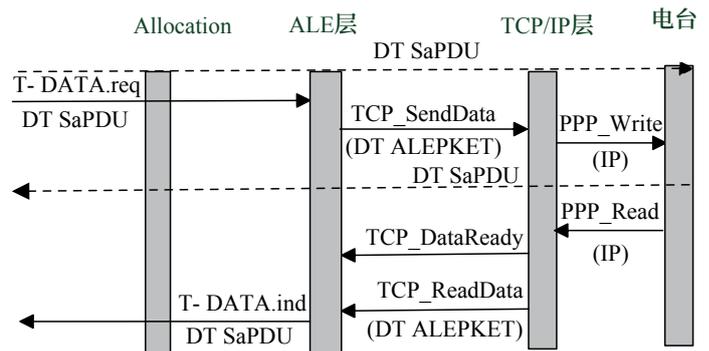


图10 车载分组域通信数据传输原语序列
Fig.10 Primitive sequence for data transmission in onboard PS domain

6 车载无线传输单元基本设计

车载无线传输单元是一种嵌入式系统，为车载提供车地无线通信支持。硬件系统包括处理器、存储器、I/O 接口、通信模块等；软件系统则包括操作系统、相应的硬件驱动、固件和必要的软件运行

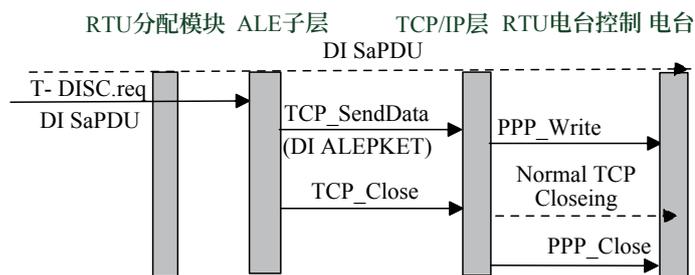


图11 车载电路域通信链路拆除原语序列

Fig.11 Communication link removal primitive sequence in onboard PS domain

环境、协议栈支持以及应用软件，如图 12 所示。

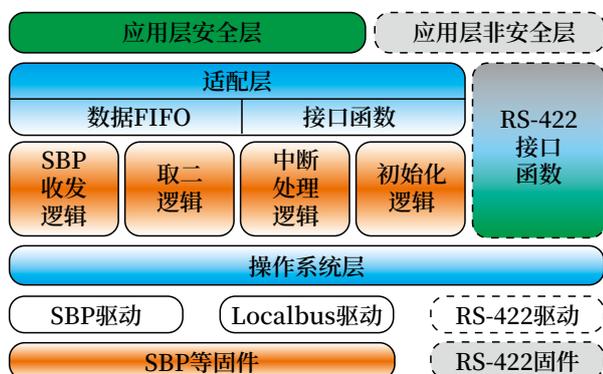


图12 车载无线传输单元软件系统结构

Fig.12 Software system structure diagram of RTU

6.1 操作系统选择

无线传输单元通常采用嵌入式操作系统，操作系统负责系统的全部软、硬件资源的分配、任务调度，控制、协调并发活动，且必须体现其所在系统的特征，能够通过装卸某些模块来达到系统所要求的功能。例如，中国铁路通信信号股份有限公司（以下简称中国通号）的 400T 车载采用 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 系统，就是一种小型实时抢占式的多任务操作系统内核，可以满足较高的实时性要求。中国通号的深度自主化车载系统则采用了完全自主化的实时操作系统 SylixOS，它是一个嵌入式实开源操作系统，具有卓越的实时性和可靠性，可为车载应用提供丰富的功能。

6.2 TCP/IP协议栈支持

TCP/IP 协议是规范不同主机之间进行通信的一系列协议，其中涉及到数据的封装、传输、寻址等一系列内容，是事实上的网络标准。它包括网络层和传

输层。其中，网络层负责封装处理数据包并运行必要的路由算法，以跨网络边界传输数据包；传输协议在主机之间提供通信会话。TCP 和 UDP 协议在协议栈的传输层，而 IP 协议则属于协议栈的网络层。

车载无线传输单元为嵌入式设备，由于资源受限，通常系统本身并不支持 TCP/IP 协议栈，例如 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 系统就不支持该协议栈。在电路域通信时，并不需要用到 TCP/IP 协议栈，没有影响。但在分组域通信时，TCP/IP 协议栈是必需的。车载无线传输单元中的 TCP/IP 协议栈负责建立传输连接来为车载和地面设备提供端到端传输数据服务。所以在车载无线传输单元添加对 TCP/IP 协议栈的支持是让其具备分组域通信能力的关键之一。

6.3 PPP协议支持

车载要接入分组域网络，具备分组域通信能力，除了增加 TCP/IP 协议栈支持外，还必须在车载无线传输单元中新增对 PPP 协议的支持，这是让其具备分组域通信能力的另一个关键技术。PPP 协议是应用最广泛的数据链路层协议，支持在各种物理类型的点到点串行线路上传输网络层协议报文。拨号入网普遍采用 PPP 协议。PPP 协议主要包括链路控制协议 (Link Control Protocol, LCP) 和网络控制协议 (Network Control Protocol, NCP)。其中，LCP 是 PPP 协议的一个子集，用来配置和测试数据通信链路，协商 PPP 协议的一些配置参数选项，以适应各种复杂多变的网络环境；NCP 则包括一族网络控制协议，其中提供给 TCP/IP 网络使用的是 IPCP 网络控制协议。NCP 参数配置协商的主要目的是获得通信双方的网络层地址，就车载无线传输单元而言是让其获得 IP 地址。为最大限度地降低无线传输单元对于特定操作系统的依赖性，提高系统灵活性，可以在无线传输单元中建立独立于特定操作系统的 PPP 协议栈。

6.4 和车载主机通信接口设计

车载主机与车载无线传输单元通过串行总线协议通信，连接协议 (Link Protocol, LP) 位于串行总线协议之上，为内部安全通信协议，采用特定的

帧结构设计。此外，LP 协议还设计了各种定时器，用于主机和车载无线传输单元的通信同步、生命信号监控等，为车载主机应用提供一个安全通信接口。LP 为各车载厂家私有协议，不再详述。

6.5 和电台接口设计

车载无线传输单元与电台之间的物理接口遵循既有的 I_{GSM-R} 接口标准，波特率可根据需要设置，8 位数据位，1 位停止位，无奇偶校验。所需的信号线如表 1 所示。

表1 接口串行通信信号线定义

Tab. 1 Definition of interface serial communication signal lines

接口管脚名称	含义
CT102	接地 (GND)
CT103	发送数据 (TxD)
CT104	接收数据 (RxD)
CT105	请求发送 (RTS)
CT106	准备发送 (CTS)
CT108/2	数据终端就绪 (DTR)
CT109	数据信道接收链路信号检测器 (DCD)

在电台处于命令状态时，车载无线传输单元与电台之间通过 AT 指令交互来控制电台的行为。在电台拨号成功进入数据状态后，车载无线传输单元与电台之间直接通过数据交互以进行车地数据传输。

6.6 电台分组域通信准备

根据列控无线通信系统制式的不同，既支持电路域又支持分组域通信的车载无线通信系统应采用对应制式的电台。就 GPRS 通信而言，电台又分为 3 类：A 类电台具有同时提供 GPRS 分组交换和 GSM 电路交换承载业务的能力。B 类电台可以同时附着在 GSM 网络和 GPRS 网络，但不能同时使用电路交换业务和分组交换业务，只能选用其中一个。C 类电台要么附着在 GSM 网络，要么附着在 GPRS 网络，并且只能通过人工的方式进行切换，没有办法同时进行两种操作。为同时支持既有 GSM-R 通信和 GPRS 通信，车载无线通信系统应采用 A 类或 B 类电台。到了 5G-R 时代，则应该采用可并行支持 GSM-R 通信和 5G-R 通信的双模电台。

如果车载电台注册的 GSM-R 小区支持 GPRS

通信，或注册在 5G-R 小区，车载无线传输单元应选择至少一个电台执行 GPRS 或 5G-R 附着过程和 PDP 上下文激活过程，为分组域通信做好准备。

6.7 电路域、分组域选择算法

车载的通信设计采用设备分层通信的原则。车载主机负责应用层和安全层通信，RTU 则负责实际的电路域和分组域通信。车载主机只需知道要与之通信的地面设备的类型和 ID，并不关心通信对象具体的通信模式，RTU 自主管理采用何种通信方式与目标地面设备建立通信连接，以交互信息。

RTU 收到车载主机请求建立通信连接的原语后，先从请求连接的原语中获取车载主机想要连接的地面设备类型和 ID，然后查询自身存储的地面设备信息表，以期判断目标地面设备是工作在 CS 还是 PS 模式。RTU 会根据查询结果采取不同的应对措施，并启动相应的处理流程，存在以下 3 种情形。

1) 根据既有地面设备信息表不能判断目标地面设备的通信模式，而车载电台已经准备好 PS 通信，RTU 则会开始和电台协商建立 PPP 链路。链路建立后，电台会给 RTU 分配 IP 地址并告知域名系统 DNS 的地址。然后 RTU 尝试从地面 DNS 查询目标地面设备的 IP 地址。如果能查询到 IP 地址，则更新设备信息表，以记录该目标地面设备为 PS 传输模式，并开始和目标地面设备建立 TCP/IP 连接，TCP 连接成功后，进入分组交换域传输模式，通过分组域来传输车地数据。如果车载电台未准备好 PS 通信或者 PPP 链路无法建立或者 DNS 回复该地面设备为 CS 传输模式或 DNS 查询出现错误，都将认为目标地面设备处于 CS 通信模式。RTU 会通过拨号来发起电路域通信连接过程，连接成功后进入电路交换域传输模式，使用电路域来传输车地数据。若不成功，则向 ATP 主机报告此次连接失败。

2) 根据既有信息表确定目标地面设备为 PS 传输模式，且车载电台也准备好 PS 通信，则 RTU 开始和电台协商建立 PPP 链路，尝试从地面 DNS 查询目标地面设备的 IP 地址。如果能查到 IP 地址，则开始和目标地面设备建立 TCP/IP 连接，TCP 连

接成功后进入分组交换域传输模式。如果上述任一环节出现错误,则直接向 ATP 主机报告此次连接失败,不会尝试建立 CS 通信。

3) 根据既有信息表确定目标地面设备为 CS 传输模式,RTU 一方面会通过使用一个电台拨号来发起电路域通信连接过程,连接成功后进入电路交换域传输模式。若连接失败则直接向 ATP 主机报告,等待主机的进一步处理。另一方面 RTU 则会尝试查询目标地面设备的传输模式,先检查另一个电台是否处于准备好 PS 通信状态,如果已经准备好则仍然会和电台协商建立 PPP 连接,并尝试从 DNS 查询目标地面设备的 IP 地址,如果能够查询到,则会更新设备信息表并记录该目标地面设备为 PS 传输模式;如果不能查询到,则重置和电台的 PPP 连接。上述任一环节出现问题,都会立即结束查询操作。

7 结束语

电路域通信和分组域通信是两种重要的列控系统车地通信技术,而同时支持这两种通信技术的车载无线传输单元是新一代车载系统的重要组成部分,为车载系统能适应不同制式无线通信网络提供了基础保证。按照本文所述方法研发的车载无线传输单元已经应用在中国通号的 400T 车载、适用于西部的新型车载、符合基线 3 ETCS 标准的欧洲五国车载以及基于国产芯片的深度自主化车载系统中。设备运行稳定可靠,既能满足车载电路域通信的要求又能满足车载分组域通信要求,既可以适应既有的 GSM-R、GPRS 通信,也可以适应即将到来的 5G-R 通信。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路数字移动通信系统 (GSM-R) 车载通信模块第 1 部分: 技术要求: TB/T 3370.1-2018[S]. 北京: 中华人民共和国国家铁路局, 2018.
- [2] 中国铁路总公司. CTCS-3 级列车运行控制系统与铁路数字移动通信系统 (GSM-R) 接口规范: TB/T 3382-2016[S]. 北京: 中国铁路总公司, 2016.
- [3] 中华人民共和国信息产业部. 900/1800 MHz TDMA 数字蜂窝移动通信网通用分组无线业务 (GPRS) 设备技术要求: 移动台: YD/T 1214-2006[S]. 北京: 人民邮电出版, 2006.
- [4] 中国铁路总公司. 轨道交通机车车辆电子装置: GB/T 25119-2010[S]. 北京: 中国铁路总公司, 2010.
- [5] 中国铁路总公司. CTCS-3 级列控系统无线通信功能接口规范: Q/CR 604-2017[S]. 北京: 中国铁路总公司, 2017.
- [6] 中国铁路总公司. 铁路下一代移动通信业务和功能需求暂行规范 (编号 TJ/DW 212-2018): 铁总工电 [2018]219 号 [S]. 北京: 中国铁路总公司, 2018.
- [7] Andrew S. Tanenbaum. 计算机网络 (第 5 版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2016.
- [8] Behrouz A. Forouzan, Sophia Chung Fegan. TCP/IP 协议族 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [9] 谢和欢. 基于 5G 技术的新一代列控通信系统研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(12): 38-45.
Xie Hehuan. Research on New Generation of Train Control Communication System Based on 5G Technology[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(12): 38-45.

铁路无线通信系统数据加密策略

李童瑶, 王啸阳

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

摘要: 由于无线信号传输具有开放性, 无线通信始终面临着被窃听和被攻击的风险。为提高铁路无线通信信息传递的安全性和可靠性, 提出一种融合量子通信技术和无线通信技术的新型加密通信策略, 可有效降低外来非法用户对无线通信数据的窃听和攻击, 提高铁路无线通信系统的数据传输的安全性。

关键词: 铁路无线通信; 量子通信; 量子密钥分发; 数据加密

中图分类号: U285

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)02-0058-04

Data Encryption Strategy of Railway Wireless Communication System

Li Tongyao, Wang Xiaoyang

(CRSC Research & Design Institute Group Co., Ltd., Beijing 100070, China)

Abstract: Due to the openness of wireless signal transmission, wireless communication is always facing the risk of being eavesdropped and attacked. In order to improve the security and reliability of railway wireless communication information transmission, this paper proposes a new encrypted communication strategy that combines quantum communication technology and wireless communication technology, which can effectively reduce eavesdropping and attacks from illegal foreign users on wireless communication data, and improve the data transmission security of railway wireless communication system.

Keywords: railway wireless communication; quantum communication; quantum key distribution; data encryption

1 概述

调度通信在铁路运输生产中发挥着举足轻重的作用^[1]。铁路 400 M 数字调度通信系统可为铁路运

输提供语音、数据等专用通信业务, 是实现铁路运输指挥的重要通信手段。该系统具有单呼、组呼、紧急呼叫、数据传输、日志管理等功能, 用于普速铁路列车调度命令和车次号信息传递, 实现中心对站内列车的生产调度。该系统采用树形组网架构, 从上层到下层分别为中心设备、车站设备和移动设备, 如图 1 所示。中心设备与车站设备之间的信息交互使用地面有线传输网络; 车站设备与移动设备之间的信息交互使用 400 MHz 数字调度通信系统。

收稿日期: 2021-11-09; 修回日期: 2022-12-22

基金项目: 中国神华能源股份有限公司重大科研项目 (SHGF-20-01); 中国铁路通信信号股份有限公司重大科技专项 (2021X01)

第一作者: 李童瑶 (1997—), 女, 助理工程师, 硕士, 主要研究方向: 轨道交通通信、无线调度通信, 邮箱: litongyao@crscd.com.cn。

铁路 400 M 数字调度通信系统采用时分多址 (Time Division Multiple Access, TDMA) 技术和数字调制技术, 具有信道利用效率高^[2]。抗干扰能力强等特点。然而, 由于无线信号的自由空间传播具有开放性, 该系统容易受到外来非法用户的窃听、恶意篡改和网络攻击^[3], 存在较大的安全隐患, 从而影响行车调度安全^[4-5]。因此, 在铁路 400 M 数字调度通信系统中加强无线信息传输安全具有重要的现实意义^[6]。

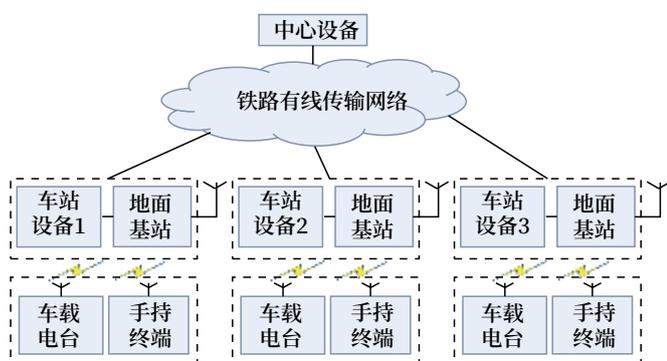


图1 400 M数字调度通信系统架构

Fig.1 System architecture of 400 M digital dispatching communication

量子通信是利用量子叠加态和纠缠效应进行信息传输的一种新型通信方式, 主要有两种方式, 分别为量子隐形传态 (Quantum Teleportation, QT) 和量子密钥分发 (Quantum Key Distribution, QKD)。由于量子的 3 大特性即不确定性、不可克隆性和测量坍缩性, 量子通信具有无法被窃听和计算破解的绝对安全性^[7]。QKD 目前是量子通信比较成熟的技术之一, 其安全性发展过程经历了从简单的概念性证明到基于物理模型的严格的数学证明。QKD 可以通过一次一密的对称加密体制, 实现无条件绝对安全的保密通信。与传统经典加密技术相比, QKD 技术在安全性方面具有明显的优势。

目前基于量子密钥分发的传输协议主要分为 4 类, 分别为单光子类协议、纠缠协议、连续变量协议和分布式相位参考 (Distributed phase reference, DPR) 协议, 其中最成熟受到业界普遍认可的是 1984 年 IBM 的 Charies H. Bennett 和加拿大的 Gilles Brassard 共同提出的 BB84 协

议^[8]。发送端随机发送两组正交基矢下的量子态, BB84 协议利用不确定性原理测量将导致量子态随机演化, 任何攻击者的窃听必然使量子态发生改变; 通信双方通过校验验证是否被窃听。除此之外, 攻击者可能采取的另一窃听策略是对量子态进行克隆, 然而量子的不可克隆特性限制了攻击者的这一行为, 确保了量子密码安全。经实验证明, 在传输距离为 50 km 时, 自由空间 QKD 的传输速率可以达到 20 ~ 400 kbit/s^[9], 能够支撑量子密钥信息的正常传递。

为解决铁路 400 M 数字调度通信系统的信息安全性问题, 本文提出一种基于 QKD 技术的新型加密通信系统。将 QKD 技术融入现有铁路 400 M 数字调度通信系统, 依托量子传输通道生成和更新 400 M 双向通信加密密钥, 提高无线数据传输安全性。

2 系统描述

基于量子密钥分发技术的新型加密通信系统主要由 400 M 无线通信模块、量子通信模块、通道控制模块、密钥更新模块组成, 如图 2 所示。

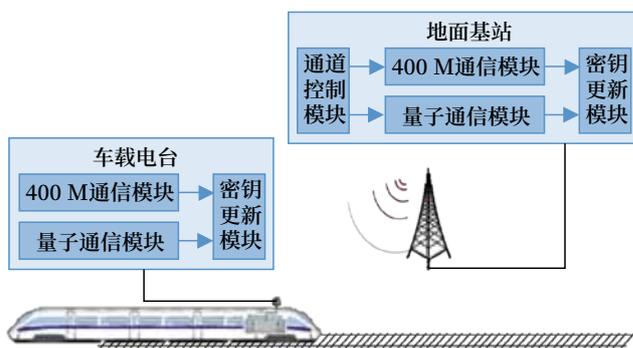


图2 系统构成

Fig.2 System compositions

400 M 无线通信模块主要功能是实现 400 M 频段射频信号的发送和接收。量子通信模块主要功能是通过光子信号实现点对点的量子密钥分发。通道控制模块主要功能是实现 400 M 通信模块和量子通信模块的接入控制。密钥更新模块主要功能是根据通道控制模块的控制结果, 在量子通信信道建立成功后更新量子密钥, 用于 400 M 通信数据加

密。详细通信流程如图 3 所示。

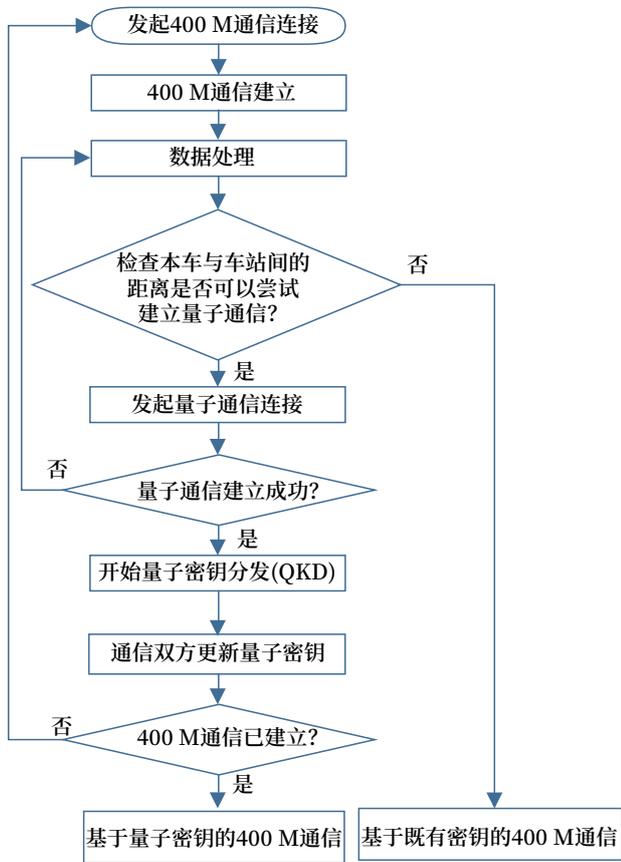


图3 系统通信流程
Fig.3 System communication flow

通信步骤如下。

- 1) 列车在行驶过程中持续监测外部 400 M 信号，并尝试与地面基站建立 400 M 无线通信链路。当列车驶入 400 M 地面基站的无线通信范围内，列车与地面基站之间开始建立 400 M 无线通信链路。
- 2) 在列车与地面基站双向认证成功之后，列车与地面基站之间完成 400 M 无线通信链路建立过程。
- 3) 列车对接收到的全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System, GNSS) 实时数据进行解析处理，提取列车的 GNSS 信息。
- 4) 列车根据本车的 GNSS 信息判断与地面基站的距离是否满足建立量子通信的条件；如果满足条件，则列车向地面基站发起量子通信建立请求，继续步骤 5)；如果不满足条件，则列车使用既有密

钥进行 400 M 无线通信。

- 5) 根据量子通信数据接收状态，判断列车与地面基站之间的量子通信链路是否建立成功。
- 6) 如果列车与地面基站之间的量子通信链路建立不成功，则返回步骤 3)。
- 7) 如果列车与地面基站之间的量子通信链路建立成功，列车与地面基站通过 BB84 协议协商生成量子密钥并完成量子密钥分发。
- 8) 在量子密钥分发完成之后，列车与地面基站通过密钥更新模块同步更新本地密钥。
- 9) 检查列车与地面基站之间的 400 M 无线通信链路是否已正常建立。
- 10) 如果列车与地面基站之间的 400 M 无线通信链路已建立，则使用更新的量子密钥进行 400 M 加密通信。
- 11) 如果列车与地面基站之间的 400 M 无线通信链路未建立，则返回步骤 1)，重新尝试建立列车与地面基站的 400 M 无线通信链路。

列车在驶离地面车站，与地面基站的距离超出量子通信范围时，列车与地面基站之间的量子通信密钥无法继续更新，最后一组量子密钥将在超时时自动销毁。列车与地面基站之间的 400 M 无线通信系统在重新获取量子密钥之前，继续使用基于既有密钥进行加密通信，加密通信切换过程如图 4 所示。

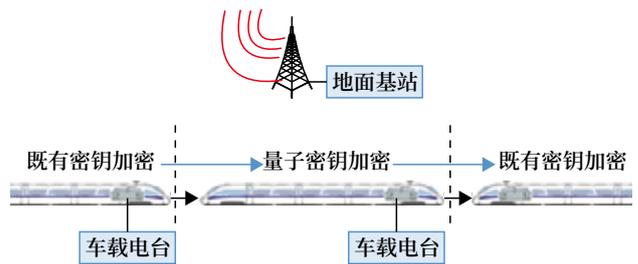


图4 加密切换过程示意
Fig.4 Schematic diagram of encryption switching process

与传统的铁路 400 M 数字调度通信系统相比，本系统具有高可靠性、高安全性等特点，可降低非法用户窃听、篡改和攻击等风险，提升铁路 400 M 数字调度通信系统的信息传输安全性。本系统无需

更改传统的铁路 400 M 数字调度通信系统架构, 只需在原有系统基础上增加量子通信相关设备, 改造成本低, 有利于在铁路领域推广, 具有一定的应用价值。

3 结论

本文提出了一种适用于铁路 400 M 数字调度的高可靠、防窃听的新型加密通信系统, 将先进的量子密钥分发技术融入传统的铁路 400 M 数字调度通信系统, 形成具备量子传输通道和无线传输通道双通道的新型加密通信系统, 可以提高铁路 400 M 数字调度通信系统的信息传输安全, 保障行车调度系统稳定运行。该系统利用量子传输通道完成量子密钥信息的车地交互, 不占用 400 M 无线带宽资源, 具有一定的潜在应用价值。随着量子通信技术发展和器件成熟, 该系统将具有更好的工程部署经济性。

参考文献

- [1] 余德琛. 铁路专用网的数字调度通信系统设计与实现 [J]. 智能城市, 2021, 7 (6): 165-166.
- [2] 李灿旭. 浅析港口无线调度通信系统 [J]. 中国高新技术企业, 2012 (13): 18-20.
- [3] 郑宇, 何大可. 一个可用于铁路无线接入网的有效安全协议 [J]. 铁道学报, 2004, 26 (5): 121-124.
Zheng Yu, He Dake. An Efficient Security Protocol for Railway Wireless Access Network[J]. Journal of the China Railway Society, 2004, 26(5): 121-124.
- [4] 程雪, 孙强. 基于量子通信的铁路视频监控方案研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (7): 36-39, 44.
Cheng Xue, Sun Qiang. Research on Scheme of Railway Video Monitoring System Based on Quantum Communication[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(7): 36-39, 44.
- [5] 赵运海, 项扬, 孙嵘, 等. 量子通信技术在铁路通信中的应用 [J]. 信息与电脑 (理论版), 2017 (14): 183-185.
Zhao Yunhai, Xiang Yang, Sun Rong, et al. The Application of Quantum Communication Technology in Railway Communication[J]. China Computer & Communication, 2017(14): 183-185.
- [6] 王佰宏, 孙强. 量子保密通信在铁路调度通信中的应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (6): 38-42.
Wang Lihong, Sun Qiang. Application of Quantum Private Communication in Railway Dispatching Communication[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(6): 38-42.
- [7] 朱岩. 量子通信技术 [J]. 中国新通信, 2019, 21 (20): 24.
- [8] 樊矾, 魏世海, 杨杰, 等. 量子保密通信技术综述 [J]. 中国电子科学研究院学报, 2018, 13 (3): 356-362.
Fan Fan, Wei Shihai, Yang Jie, et al. Review of Quantum Secret Communication Technology[J]. Journal of China Academy of Electronics and Information Technology, 2018, 13(3): 356-362.
- [9] Liao Shengkai, Yong Hailin, Liu Chang, et al. Long-Distance Free-Space Quantum Key Distribution in Daylight towards Inter-Satellite Communication[J]. Nature Photonics, 2017, 11(8): 509-513.

铁路客站视频监控前端的 设置方法与技术展望

赵一颖, 姜志威

(中铁工程设计咨询集团有限公司, 北京 100055)

摘要: 铁路旅客车站视频监控系统作为一种有效的安防技术手段, 不仅能够辅助客运作业人员实时监视车站内的情况, 对于预警、取证及指挥救援工作也提供了有力的保障。首先针对铁路旅客车站的几种典型应用场景, 提出相适应的视频监控前端设备的选型及布点方式, 再结合京张高铁项目, 阐述智能视频分析系统的功能和设计原则, 最后对视频监控领域新技术、新设备的铁路行业应用进行展望。

关键词: 视频监控; 铁路旅客车站; 安防

中图分类号: U293

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)02-0062-06

Setting Method and Technical Prospect of Video Monitoring Front End at Railway Passenger Station

Zhao Yiyong, Jiang Zhiwei

(China Railway Engineering Design and Consulting Group Co., Ltd., Beijing 100055, China)

Abstract: As an effective security technology, railway passenger station video monitoring system can not only assist passenger operators to monitor the situation at the station in real time, but also provide a strong guarantee for early warning, evidence collection and command and rescue work. According to several typical application scenarios of railway passenger stations, this paper puts forward the appropriate selection and distribution mode of video monitoring front-end equipment, expounds the functions and design principles of intelligent video analysis system in combination with Beijing-Zhangjiakou high-speed railway project, and finally prospects the application of new technologies and equipment in the field of video monitoring in the railway industry.

Keywords: video monitoring; railway passenger station; security and protection

1 概述

铁路作为国家重要的基础设施和大众化的交通工具, 在现代运输体系中发挥着重要的作用。铁路旅客车站, 特别是大型铁路客运枢纽站, 通常位于城市人口集散的主要区域, 对客流的安全集散担负

收稿日期: 2021-12-16; 修回日期: 2022-12-23

第一作者: 赵一颖 (1989—), 女, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路通信设计研究 (有线通信), 邮箱: thy_zyy@163.com。

着重要的社会责任^[1]。在铁路旅客车站内,候车区、楼扶梯、进/出站通道等处承载了大量的旅客客流流动,因此,车站管理面临客流密度高、运营管理难度大、运输组织复杂等诸多难题。视频监控系统作为维护和保证运输安全的重要手段,无论在日常运营管理,还是应急现场指挥中,均发挥着不可替代的作用。

随着视频监控设备高清化、多样化的发展,铁路旅客车站视频监控前端设备也存在着选型标准各异、布点方式五花八门、覆盖效果参差不齐的问题。在此背景下,本文首先分析视频监控系统的工作原理,其次,分析对比半球、球机和枪机3种类型的摄像机。再结合点状、线形和矩形3种典型场景,提出不同的布点方式建议,以满足覆盖要求,避免监控盲区。最后,简要分析并展望智能视频分析新技术在铁路行业的应用。

2 视频监控前端设备的选型

摄像机是铁路旅客车站视频监控系统的前端设备,主要由成像镜头、CMOS/CCD传感器等设备组成。以CMOS/CCD传感器为核心元器件,对现场画面进行实时采集,在同步的视频信号产生电流回路后,通过视频信号处理芯片进行图像处理和生成^[2]。

镜头由光学镜片组构成,研究中可等效近似为一片凸透镜,主要参数包括焦距和光圈。其中,焦距决定物体在传感器上成像的大小,光圈控制了镜头的景深、通光量。由于摄像机通常都具备自动对焦和自动调节光圈的功能,因此只需要根据凸透镜成像规律,研究物体成像大小与镜头等效焦距之间的关系即可,如图1所示。

根据高斯成像原理,可得公式(1):

$$\frac{H}{h} = \frac{S}{f} \quad (1)$$

公式(1)中: H :目标垂直方向尺寸。

S :目标与镜头之间距离。

f :镜头焦距。

h :目标在传感器靶面上所成像的垂直方向尺寸。

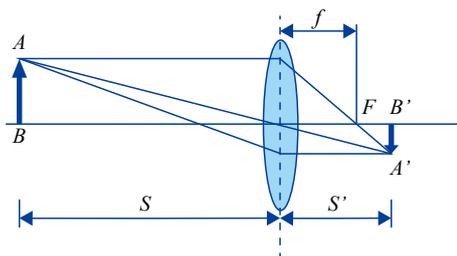


图1 成像原理示意

Fig.1 Schematic diagram of imaging principle

变换后,可得公式(2):

$$S = \frac{H \times f}{h} \quad (2)$$

如公式(2)所示,可以计算出清晰可分辨的目标图像,摄像机与目标图像之间的最大距离。下面以1920×1080、200万像素、靶面大小约为1/2.8英寸、像素点尺寸为2.4 μm×3.2 μm的摄像机为例进行计算,参考约翰逊准则中的条纹线对数概念,若达到区分目标特征的标准,像素高度最少为16,则靶面成像的垂直尺寸 h 最小为0.0512 mm。若目标垂直高度 H 为1.6 m(一般人身体身高),目标与镜头距离 S 为40 m(一般车站候车厅宽度),可得镜头焦距 f 为1.28 mm。即镜头焦距为1.28 mm的1080P摄像机,最大覆盖距离是40 m,随着镜头焦距增加,覆盖距离也会增加。

目前,铁路旅客车站主要采用半球型摄像机、球型摄像机和枪型摄像机(固定焦距)等3种类型的摄像机。根据《铁路综合视频监控系统技术规范》(Q/CR 575-2017)的规定,下面针对3种类型摄像机在分辨率、信噪比、宽动态、最低照度、红外等方面进行分析比较,具体内容如表1所示。

综上所述,3种摄像机各有特点和适用范围,应根据监控区域实际情况选择最适合的摄像机类型。半球摄像机由于受外形体积制约,不可转动,监控覆盖能力有限,并且需要结合吊顶等建筑设施安装,适用于小范围监控,如人工售票服务区的工位。球型摄像机自带云台装置,可转动,具有监控视角灵活可变的优势,适用于客流密集区域的定点调看,不适用于固定场景的连续监控。枪型摄像机具有安

表1 摄像机技术指标对比

Tab.1 Comparison of camera technical indicators

比较内容	半球型摄像机	球型摄像机	枪型摄像机
分辨率	至少支持 1 080 P、720 P、4 CIF		
信噪比	不小于 55 dB		
宽动态	可支持宽动态, 宽动态范围不小于 120 dB		
最低照度	彩色: 0.01 Lux, F1.2 黑白: 0.001 Lux, F1.2	彩色: 0.005 Lux, F1.2 黑白: 0.000 5 Lux, F1.2	彩色: 0.01 Lux, F1.2 黑白: 0.001 Lux, F1.2
红外	可支持红外, 红外补光, 距离不小于 30 m	可支持无红暴红外, 波长不小于 940 nm, 红外补光, 距离不小于 150 m	可支持红外, 红外补光, 距离不小于 100 m
转动范围	不可转动	水平: 360°; 垂直: - 10°~ 90°	不可转动

装方式灵活、镜头类型多样等特点, 适用于大范围监控, 如售票厅、检票口、候车厅、楼扶梯、站台等诸多场景, 是铁路旅客车站视频监控摄像机的主要选型对象。

3 典型场景的视频监控前端设备布点方式

目前, 不同监控区域视频监控前端设备布点主要依据《高速铁路设计规范》(TB 10621-2014)、《铁路客运服务信息系统设计规范》(TB 10074-2016) 和《铁路客运服务信息系统设计规范》(Q/CR 9140-2018)。各设计规范布点原则相同, 但视频监控前端采集设备设置要求存在差异。

根据《高速铁路设计规范》(TB 10621-2014), 在铁路旅客车站进/出站集散厅、候车区、安检区、售票区、站台、站前广场等处设置摄像头^[3]。

根据《铁路客运服务信息系统设计规范》(TB 10074-2016), 在铁路旅客车站站前广场、售票厅、售票室、候车区、进/出站集散厅、站台等人员密集的区域设置前端采集设备, 对车站的客运服务作业以及自动检票机、自动售票机、楼扶梯、垂直电梯、地道、站台等设施进行监视。根据设置地点的不同, 选择高清晰度变焦摄像机或高清晰度定焦摄像机^[4]。

根据《铁路客运服务信息系统设计规范》(Q/CR 9140-2018), 铁路旅客车站售补票区域、进站区、候车区域等不同监控区域视频监控前端设备布点方式要求, 如表 2 所示^[5]。

通过梳理上述规范对监控区域的划分, 可以将

铁路旅客车站内视频监控应用场景归纳为点状、线形和矩形 3 种。根据不同场景, 提出相对应的监控终端设备布点原则。

表2 不同监控区域视频监控设备布点要求

Tab.2 Layout requirements for video monitoring devices in different monitoring areas

监控区域		设备设置要求
售补票区域	售票区	变焦及定焦摄像机, 宜宽动态
	进、出口	变焦及定焦摄像机
	售票室、补票室 临时制证室	定焦摄像机, 拾音器
进站区	进出站口	定焦摄像机
	安检区	定焦摄像机
	集散厅	变焦或定焦摄像机, 宜宽动态
候车区域	候车区	变焦或定焦摄像机, 宜宽动态
	卫生间	定焦摄像机
进/出站 检票区域	检票口	定焦摄像机
	验证检票口	定焦摄像机, 拾音器
进/出站通道区域		定焦摄像机
站台		变焦或定焦摄像机, 无红暴
楼扶梯		定焦摄像机
垂直电梯		球型摄像机
办公区	办公区	定焦摄像机
	票据库、进款室	定焦摄像机, 带夜视
	站房外部	变焦摄像机

点状场景主要是人工售票服务区的工位、垂直电梯出入口等处, 布点原则是结合现场安装条件, 选择半球摄像机或枪型摄像机定点监控, 如图 2 所示。

线形场景主要是站台、楼扶梯、进/出站通道等处, 布点原则是选择枪型摄像机顺向覆盖, 且枪型摄像机方向应与旅客流线相对, 利于捕捉旅客面

部信息,如图3所示。



图2 点状场景视频监控终端设备布点示意

Fig.2 Layout diagram of video monitoring terminal equipment in dot scene

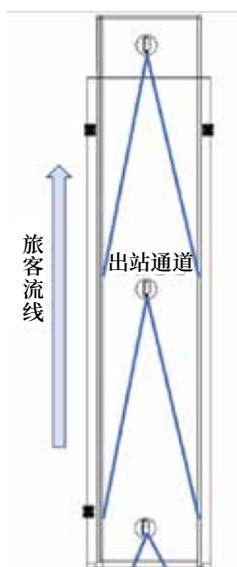


图3 线形场景视频监控终端设备布点示意

Fig.3 Layout diagram of video monitoring terminal equipment in linear scene

矩形场景主要是售票厅、安检区、候车厅、检票口等处,布点原则是使用枪型摄像机两两一组对射或交叉覆盖;区域较大时应设置多组,并且覆盖区域应适当交叠,避免监控盲区;对于客流密度较大的场景,还应补充设置球型摄像机,以满足灵活调看的需求,如图4所示。

4 智能视频应用的前端设置优化

随着视频技术和应用的日渐成熟,视频监控正朝着网络化、模块化、高清化、智能化、开放化方向发展^[6]。智能视频监控结合了计算机视觉技术与人工智能技术,通过对视频图像内容的描述、理解

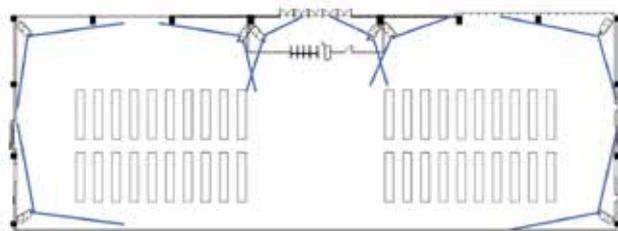


图4 矩形场景视频监控终端设备布点示意

Fig.4 Layout diagram of video monitoring terminal equipment in rectangular scene

和分析,过滤图像中的无效干扰信息,自动抽取视频中的有效信息,对监控场景中的变化进行定位、识别和跟踪,并在此基础上分析和判断目标的行为,能在异常情况发生时及时发出警报或提供有用信息,有效协助车站工作人员处理危机,最大限度降低误报和漏报现象^[7]。

目前,智能视频分析系统已在京张高铁上线应用。智能视频分析的实现可分为前端分析和后端分析2种。京张高铁在车站旅服系统设置视频分析服务器,并安装视频分析软件,对接收到的视频内容进行分析,实现站台越线检测、站台端部入侵检测、客流密度检测、排队长度检测和扶梯人流逆行检测等功能^[8]。

为保证智能视频分析功能的实现,需对铁路旅客车站视频监控前端按以下原则进行优化补强。

第一,站台两侧的枪型摄像机覆盖范围按照不超过110 m进行控制,保证监控对象在摄像机的成像单元上有足够多的像素数量,用于智能视频应用。

第二,站房内外的摄像机逐类区域细化布点原则,选择最佳的监控视角,客流密度大的区域采用“枪型摄像机+球型摄像机”的组合方案,并且对覆盖盲区进行监控补强,为智能视频应用提供丰富的信息量。

第三,考虑到光照是影响智能视频应用效果的重要因素,摄像机应支持宽动态功能、强光抑制及逆光补偿功能,并且具备红外补光功能。同时,室外摄像机具备低照度的性能。

5 视频监控领域新技术的展望

铁路旅客车站视频监控终端设备正在不断向高清化、网络化和智能化方向发展,新型设备为其提供多种解决方案,包括前端分析型智能摄像机、全景拼接摄像机及4K超高清摄像机等。下面对于这几种新型设备进行简要分析。

1) 前端分析型智能摄像机:得益于数字化芯片技术的飞速发展,市场中涌现出大量的前端分析型智能摄像机,能够从视频监控系统获取视频流,并对其进行智能分析,进而对车站候车厅、站台等关键场所中旅客的聚集、斗殴、丢包、绊黄线等异常行为触发告警提示^[9]。但是,由于各厂家的智能信息数据采用私有协议传输,无法保证通信专业设置的综合视频监控系统后端设备与摄像机同厂家,所以前端分析型智能摄像机在铁路旅客车站视频监控系统中尚未广泛应用。

2) 全景拼接摄像机:全景拼接并不是一个新概念,早期产品主要依靠后端服务器实现图像拼接,如目前仍能见到的多台枪型摄像机架加智能拼接服务器组成的180°全景或360°全景产品^[10],实际使用效果欠佳。虽然目前全景拼接摄像机已全面更新换代,采用一体化超高清多镜头的架构,甚至集成鱼眼镜头,可实现360°全景监控,适用于进站区域、候车大厅的整体性监控。相较于目前人工多画面“脑补”拼接,优势明显。但是,各厂家全景拼接摄像机的设计架构差异较大,没有统一的标准进行规范,而且拼接视频流的传输大多也是采用私有协议,所以全景拼接摄像机在铁路旅客车站视频监控系统中尚未广泛应用。

3) 4K超高清摄像机:图像分辨率是视频监控摄像机的重要指标之一,目前铁路旅客车站视频监控,其他综合视频监控系统的摄像机,均采用1920×1080的全高清分辨率,但是视频监控领域的主流产品,已经经历2K、3K的过渡,可以达到4K,甚至是6K、8K的分辨率。以4K为例,国际电信联盟对4K超高清的定义是水平清晰度3840,

垂直清晰度2160,宽高比16:9,830万像素^[11]。从定义中可以看出,4K超高清摄像机的分辨率是1080P摄像机的4倍。尽管4K超高清摄像机的设备单价正在逐步走低,但是受限于通信专业综合视频监控系统的接入条件限制,以及传输带宽需求和存储成本的4倍增加等问题,所以4K超高清摄像机在铁路旅客车站视频监控系统中尚未广泛应用。

除了前文提到的几种新型摄像机,还可以在视频监控领域探索BIM技术的应用,在铁路旅客车站三维场景内,对摄像机监控覆盖区域、覆盖效果进行仿真^[12]。随着科技的进步和铁路综合视频监控系统的优化升级,新产品、新技术必将在铁路旅客车站视频监控领域得到更为广泛的应用。

参考文献

- [1] 尹彪. 基于视频图像处理的铁路客运站客流识别系统研究与实现[D]. 北京: 北京交通大学, 2012.
 - [2] 邵贵华. 视频监控系统的研究与应用[D]. 南京: 南京邮电大学, 2017.
 - [3] 中华人民共和国国家铁路局. 高速铁路设计规范: TB 10621-2014[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.
 - [4] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路客运服务信息系统设计规范: TB 10074-2016[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.
 - [5] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路客运服务信息系统设计规范: TB 10074-2016[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.
 - [6] 沈朝. 铁路高清视频监控系统的研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2020.
 - [7] 谢征宇. 高铁综合客运枢纽客流安全预警关键技术研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2012.
 - [8] 孙嵘, 姜志威. 高速铁路一体化综合视频监控系统构建研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(3): 19-24.
- Sun Rong, Jiang Zhiwei. Study on Construction Scheme of Integrated Video Monitoring System

- for High-Speed Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(3): 19-24.
- [9] 孙剑川. 铁路视频监控系统关键技术研究 [D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2016.
- [10] 孔令鑫. 铁路客运站视频监控高清化前端改造方案 [J]. 中国铁路, 2017 (7): 97-101.
Kong Lingxin. Scheme of HD Transformation of Front-End of Video Monitoring of Railway Passenger Stations[J]. China Railway, 2017(7): 97-101.
- [11] 陈乾. 4K 高清监控发展的技术壁垒 [J]. 中国公共安全, 2016 (11): 87-90.
- Chen Qian. Technical Barriers to the Development of 4K HD Monitoring[J]. China Public Security, 2016(11): 87-90.
- [12] 钟青, 刘立海, 汪国良, 等. 基于 BIM 的铁路站房摄像头视场仿真与优化 [J]. 铁路技术创新, 2021 (1): 91-95.
Zhong Qing, Liu Lihai, Wang Guoliang, et al. Simulation and Optimization of Field of View of Railway Station Building Based on BIM[J]. Railway Technical Innovation, 2021(1): 91-95.

(上接 36页)

- Chen Yunbin, Wang Quan, Huang Qiang, et al. 5G MEC UPF Selection and Traffic Offloading Technology Analysis[J]. Mobile Communications, 2020, 44(1): 48-53.
- [6] 熊国新, 吴建辰. 5G MEC 部署研究与实践 [J]. 现代信息科技, 2020, 4 (13): 58-60.
Xiong Guoxin, Wu Jianchen. 5G MEC Deployment Research and Practice[J]. Modern Information Technology, 2020, 4(13): 58-60.
- [7] 张建敏, 谢伟良, 杨峰义, 等. 移动边缘计算技术及其本地分流方案 [J]. 电信科学, 2016, 32 (7): 132-139.
Zhang Jianmin, Xie Weiliang, Yang Fengyi, et al. Mobile Edge Computing and Application in Traffic Offloading[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(7): 132-139.
- [8] 何宇锋, 林奕琳, 单雨威. 5G MEC 分流方案探讨 [J]. 移动通信, 2020, 44 (9): 49-57.
He Yufeng, Lin Yilin, Shan Yuwei. Study on 5G MEC Offloading Scheme[J]. Mobile Communications, 2020, 44(9): 49-57.
- [9] 李伶, 王华. 5G 智慧校园业务场景中 MEC 分流方案研究 [J]. 电信科学, 2022, 38 (1): 170-178.
Li Ling, Wang Hua. Research on MEC Traffic Offloading Scheme in 5G Smart Campus Business Scenarios[J]. Telecommunications Science, 2022, 38(1): 170-178.
- [10] 陈瑞凤, 李君, 徐春婕, 等. 5G 在铁路智能车站中的应用 [J]. 电信科学, 2021, 37 (7): 86-95.
Chen Ruifeng, Li Jun, Xu Chunjie, et al. Application of 5G in Railway Smart Stations[J]. Telecommunications Science, 2021, 37(7): 86-95.
- [11] 陈苏, 赵晟. 5G 在智能高铁中的应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (7): 46-50, 76.
Chen Su, Zhao Sheng. Application of 5G in Intelligent High-Speed Railways[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(7): 46-50, 76.
- [12] 中国国家铁路集团有限公司. 铁路 5G 专网业务和功能需求暂行规范: 铁科信 [2021] 63 号 [S]. 北京: 中国国家铁路集团有限公司, 2021.

论MSP保护环业务开通要求

夏炎

(中国铁路上海局集团有限公司上海通信段, 上海 200071)

摘要: 介绍传输 SDH 网络中两纤双向复用段保护环 (MSP) 对于业务的开通要求, 通过对现网错连问题进行分析, 对比多个环网保护之间的优劣形式, 明确后期传输通道开通对于时隙的要求, 以及对于既有网络传输通道时隙如何进行整改提出优化建议。

关键词: 两纤双向复用段保护环; 错连; 时隙

中图分类号: U285

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)02-0068-05

MSP Protection Ring Service Opening Requirements

Xia Yan

(Shanghai Communication Division, China Railway Shanghai Group Co., Ltd., Shanghai 200071, China)

Abstract: This paper introduces two fiber two-way transmission of SDH network multiplexing section protection ring (MSP) for the opening of the business requirements. By analyzing the misconnection problem of the existing network and comparing the advantages and disadvantages of multiple ring network protection, the paper makes clear the requirements of the later opening of the transmission channel for the time slot, and puts forward the optimization suggestions on how to rectify the time slot of the existing network transmission channel.

Keywords: MSP; misconnection; time slot

1 概述

本文对现网两纤双向复用段保护环 (MSP) 单节点失效、业务时隙错连的问题进行分析, 通过对 MSP 倒换原理进行介绍, 结合真实案例进行分析, 提出优化及解决措施, 解决 MSP 的隐患问题, 保障铁路安全、高效的运输。

2 倒换原理

MSP 是在四纤双向复用段保护环基础上改进得

来的, 保护原理为一个方向的后半个 VC4 保护另一方向的前半个 VC4。

如图 1 所示, 节点 A 至节点 C 的主用光纤 S1 是顺时针传输业务信号, 备用光纤 P1 是逆时针传输业务信号; 节点 C 至节点 A 的主用光纤 S2 是逆时针传输业务信号, 备用光纤 P2 是顺时针传输业务信号。

MSP 采用时隙交换技术, 即将 S1、P2 的光纤信号在一根光纤上进行传输, 且利用 S1、P2 的后半时隙传送对应的保护业务信号, 复用段倒换如图 1 所示。

正常情况下, 节点 A 至节点 C 的通信 (AC): 在节点 A, 将业务信号发往主用光纤 S1 (即占用 S1/P2 光纤的业务时隙), 备用光纤 P1 空闲。业务

收稿日期: 2021-12-14; 修回日期: 2022-12-15

作者简介: 夏炎 (1990—) 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路传输通信, 邮箱: 420169237@qq.com。

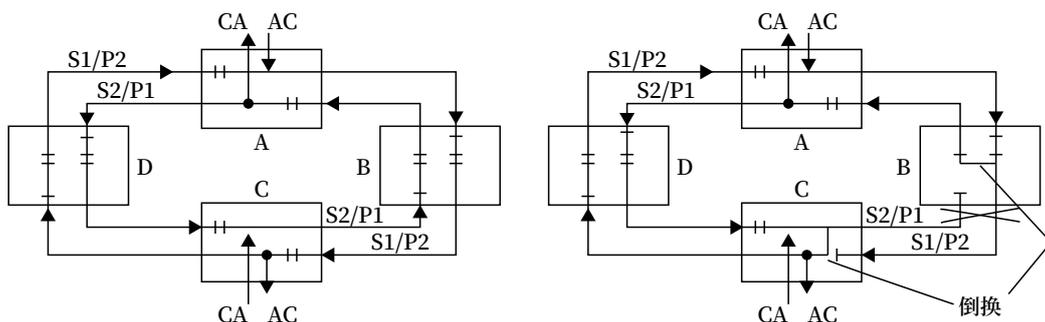


图1 复用段倒换
Fig.1 MSP Reversal Diagram

信号 AC 占用 S1 沿顺时针方向经过节点 B 到达节点 C，落地分路（接收）。

节点 C 至节点 A 的通信 (CA)：在节点 C，将业务信号发往主用光纤 S2（即占用 S2/P1 光纤的业务时隙），备用光纤 P2 空闲。业务信号 CA 占用 S2 沿逆时针方向经过节点 B 到达节点 A，落地分路（接收）。

当 B、C 节点间光缆被切断时，与切断点相邻的节点 B 和节点 C 遵循 APS 协议执行换回功能，利用倒换开关将 S1/P2 光纤与 S2/P1 光纤连通。

节点 A 至节点 C 的通信 (AC)：在节点 A，将业务信号发往主用光纤 S1，即占用 S1/P2 光纤的业务时隙，沿顺时针方向到达节点 B；在节点 B，利用倒换开关将业务信号倒换到备用光纤 P1，即占用 S2/P1 光纤的保护时隙，沿顺时针方向经过节点 A、D 到达节点 C；在节点 C，利用倒换开关将业务信号倒换到主用光纤 S1，即占用 S1/P2 光纤的业务时隙，达到正确接收的目的。

节点 C 至节点 A 的通信 (CA)：在节点 C，将业务信号发往主用光纤 S2，即占用 S2/P1 光纤的业务时隙，然后利用倒换开关将业务信号倒换到备用

光纤 P2，即占用 S1/P2 光纤的保护时隙，沿顺时针方向经过节点 D 和 A 到达节点 B；在节点 B，利用倒换开关将业务信号倒换到主用光纤 S2，即占用 S2/P1 光纤的业务时隙，沿顺时针方向到达节点 A，被节点 A 正确接收。

3 场景案例

故障现象：某线 G 网元更换高开电源，全线防灾业务闪断，电源更换完成后，防灾业务恢复。

传输组网介绍如图 2 所示。

原因分析：

- 1) 传输通道环路；
- 2) 防灾业务异常。

故障定位处理过程如下。

- 1) 网管侧数据查询，B 站、F 站分别上报 R_LOS 告警，G 网元脱管且本站业务中断，此外无相关异常告警上报；
- 2) G 网元更换高开电源过程中，全线防灾业务闪断，网管侧查询业务历史性能均正常；
- 3) 查询 G 网元防灾业务；

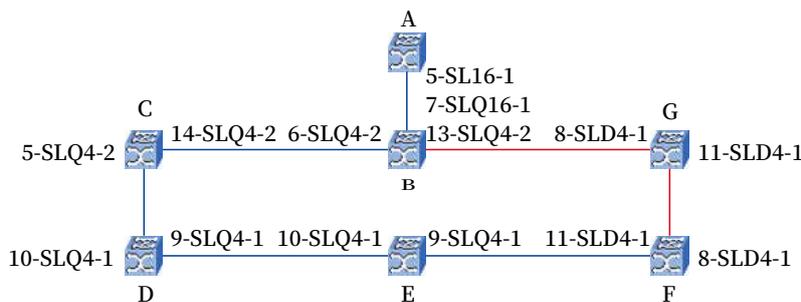


图2 传输组网
Fig.2 Transmission Networking Diagram

业务 01 使用如图 3 所示。

业务 02 配置如图 4 所示。

4) 当 G 网元下电, G 网元上防灾业务数据倒换如表 1 所示。

5) 因此当 G 网元单节点失效, 产生业务时隙

错连的情况, 此时 D 站的防灾业务 01 通过防灾业务 02 的通道进局, 导致全线防灾业务持续闪断;

6) G 网元更换高开电源完成后, 防灾业务恢复;

7) 修改网管侧防灾业务 02 通道时隙, 网管侧数据备份。



图3 业务01通道
Fig.3 Service 01 Channel Diagram



图4 业务02通道
Fig.4 Service 02 Channel Diagram

表1 业务数据倒换

Tab.1 Service data interchange table

业务	网元					
	C	B	G	F	E	D
业务 1 (正常)			12-EFS0(4:4)<->11-1(1:9)	8-1(1:9)<->11-1(1:9)	9-1(1:9)<->10-1(1:9)	9-1(1:9)<->12-EFS0(4:4)
业务 1 (倒换)	⑥ 5-2(3:9)<->14-2(3:9)	⑦ 6-2(3:9)		③ 11-1(1:9)<->11-1(3:9)	② 9-1(1:9)<->10-1(1:9)	① 12-EFS0(4:4)<->9-1(1:9)
					④ 9-1(3:9)<->10-1(3:9)	⑤ 9-1(3:9) <-> 10-1 (3:9)
业务 2 (正常)		13-2(1:9)<->7-1(1:9)	12-EFS0(4:3)<->8-1(1:9)			
业务 2 (倒换)	② 5-2(3:9)<->14-2(3:9)	① 7-1(1:9)<->6-2(3:9)		⑤ 11-1(3:9)	④ 9-1(3:9) <-> 10-1 (3:9)	③ 9-1(3:9) <-> 10-1 (3:9)

说明：例 9-1(1:9)，表示 9 槽 1 口时隙为第 1 个 VC4 中的第 9 个 VC12

4 解决方案

由于不同区段共用 MSP 的保护时隙, 因此若保护环内存在额外业务, 且发生单节点失效的情况, 此时不同区段的业务会抢占同一个保护时隙, 发生业务错连的现象。

MSP 使用 APS 协议, 保护时隙可配置额外业务, 若环内有额外业务在保护通路传输时, 即使在光纤中断的情况下, 工作通路的业务也会抢占携带额外业务的保护通路时隙。若工作与保护同时, 业务类型相同, 也会发生错连现象。用业务单节点失效、传输出现错连时, 会导致在用业务中断。

对于单节点失效存在的隐患问题, MSP 有两种方法解决错连现象。

1) 为错连的业务重新选路

若错连业务重新选路需对 APS 协议进行编辑和修改。APS 算法复杂, 且在每一节点所需处理的信息量十分庞大, 所需时间长, 不建议在现网中使用。

2) 压制错连的业务量

在错连的时隙中插入适当的告警信息, 通常把这种方法称为复用段压制。对于 VC4 级别的复用段业务, 压制点在交叉连接处; 对于 VC12 级别的复用段业务, 压制点在终结业务的节点, 复用段压制的结果即丢弃额外业务。当前针对现网业务, 为避

免发生错连，即每个节点都有 VC4 级别业务的原宿信息，且与 APS 协议进行结合，可提前发现潜在的错连业务，该功能连接表的改变自动触发，且业务量的改变会通过 DCC 使连接表自动更新。

对于不同局向或路由的业务，也可设置不同内容的通道跟踪标识字节，即利用开销字节：J1、J2，在失配时下插“AIS”（全“1”信号），该功能由业务板完成，用以解决 VC4 级别业务中部分 VC12 丢失的问题。

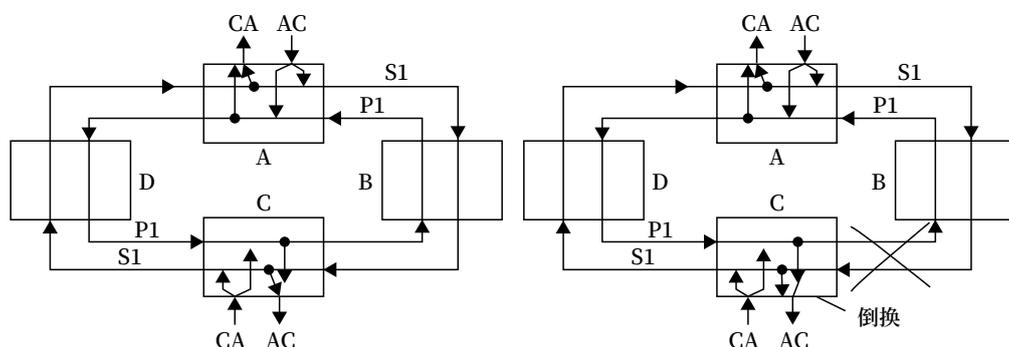


图5 通道环倒换
Fig.5 SNCP Reversal Diagram

以节点 A 到 C 之间进行通信（AC）为例，将要传送的支路信号 AC 从 A 点同时送入 S1 和 P1 光纤，分别按顺时针和逆时针方向送入节点 C。C 选取其中较优的一路。

若 BC 间的光缆被切断，在节点 C，由于 S1 光纤传来的 AC 信号丢失，按照择优选择的原则，倒换开关由 S1 光纤转至 P1 光纤，改为接收 P1 光纤的信号，使通信得以维持。当故障排除，开关返回原来位置，而节点 C 到节点 A 的信号 CA 仍由主用光纤传送，不受影响。

2) MSP 环内相同业务的不同路由使用不同时隙

SNCP 的保护原理为双发选收，因此在业务配置过程中，环网业务遍及全环，同时环网网元受本身交叉容量限制，时隙利用率较低。虽然接入层保护为 SNCP 可以有效解决单节点失效、业务时隙错连的情况，但为提高环网时隙利用率，当前接入层保护通常为 MSP。

MSP 在业务配置过程中，相同业务（例如防

5 优化建议

1) 接入层保护方式修改为两纤单向通道保护环（SNCP）

两纤单向通道保护环只有一个方向传送业务信号，该方向称为主用方向；另一方向为保护，该方向称为备用方向。倒换发生时采用 1+1 的方式，即同时在主、备方向传输信号，但是在接收端只优先选择两路信号中的一路。通道环倒换如图 5 所示。

灾) 在环内的不同路由应使用不同时隙，该业务配置方式在单节点失效、环内时隙发生倒换时可占用不同的倒换时隙。核对环网业务并结合车间计划进行数据修改，且在新线开通与业务配置过程中，对于 MSP 环内站点不同路由的同类型业务规划不同的通道时隙，避免发生业务时隙错连的情况。

参考文献

- [1] 谭文艳. SDH 自愈机制工作原理分析 [J]. 中国新通信, 2013, 15 (12): 86.
Tan Wenyan. Analysis of Working Principle of SDH Self-Healing Mechanism[J]. China New Telecommunications, 2013, 15(12): 86.
- [2] 滕清松. 二纤双向复用段共享保护环节点对业务影响的探讨 [J]. 科学家, 2017, 5 (16): 85-86.
Teng Qingsong. Discussion on the Influence of Shared Protection Link Point of Two-Fiber Bidirectional Multiplexing Section on Business[J]. Scientist, 2017, 5(16): 85-86.

- [3] 徐姝雯, 郑艳艳. 复用段保护与通道保护的应用 [J]. 才智, 2010 (22): 64.
Xu Shuwen, Zheng Yanyan. Application of Multiplex Section Protection and Channel Protection[J]. Intelligence, 2010(22): 64.
- [4] 欧莉. 浅谈铁路通信中 SDH 传输系统的维护 [J]. 科技创新与应用, 2013 (4): 58.
Ou Li. Talking about the Maintenance of SDH Transmission System in Railway Communication[J]. Technology Innovation and Application, 2013(4): 58.
- [5] 周春贵. SDH 测试中的通道建立 [J]. 现代电信科技, 1998, 28 (5): 36-39.
Zhou Chungui. Path Setup in SDH Testing[J]. Modern Science & Technology of Telecommunications, 1998, 28(5): 36-39.
- [6] 杨萍. SDH 自愈技术基本逻辑以及应用特征分析 [J]. 硅谷, 2013 (1): 238.
- [7] 张亮. SDH 自愈环保护及日常维护 [J]. 科技传播, 2012, 4 (17): 195, 189.
Zhang Liang. SDH Self-Healing Ring Protection and Daily Maintenance[J]. Public Communication of Science & Technology, 2012, 4(17): 195, 189.
- [8] 杨爱勇, 袁长龙. 铁路 SDH 传输通信网络及电路优化 [J]. 铁路技术创新, 2014 (1): 103-106.
Yang Aiyong, Yuan Changlong. Railway SDH Transmission Communication Network and Circuit Optimization[J]. Railway Technical Innovation, 2014(1): 103-106.
- [9] 陆锋, 黄刚. 基于 SDH 光传输实验平台的自愈环组网设计 [J]. 电子测量技术, 2018, 41 (8): 107-111.
Lu Feng, Huang Gang. Design of Self-Healing Ring Network Based on the Experiment Platform of SDH Optical Transmission[J]. Electronic Measurement Technology, 2018, 41(8): 107-111.
- [10] 薛白. 铁路传输网络构建及规划 [D]. 济南: 山东大学, 2011.
- [11] 许文渊. 巨型 ECC 网络对传输系统环境保护的影响研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (1): 41-45.
Xu Wenyuan. Research on Influence of Giant ECC Network on Transmission System Ring Protection[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(1): 41-45.

国外信息

Teltronic 公司将会为墨西哥地铁 1 号线提供车载设备

Teltronic 公司获得为墨西哥城地铁 1 号线新车提供车载设备的合同, 这些设备将会提供宽带通信服务。

这条线路使用的 RTP-800 设备属于最为先进的车载无线通信设备, 支持连续并且同时的窄带 (TETRA) 和宽带 (4G) 无线通信, 将会安装在墨西哥城地铁即将投入运营的 29 列新车以及近期采购的 10 列列车上。

这种设备将会使用 TETRA 无线访问支持司机与控制中心进行语音通信, 并且使用宽带支持维护服务和 CCTV 工作。这种设备还将与列车控制和监测系统 (TCMS) 和列车广播系统集成在一起。

Teltronic 公司交通业务拓展总监费利佩·圣胡安 (Felipe Sanjuán) 表示, “我们非常骄傲参与这个现代化改造过程, 为 1 号线提供世界最为先进的通信系统; 这个项目将会推动我们成为交通领域 LTE 宽带通信市场的领先企业, 我们提供的解决方案将会证明我们做好准备适应现在和未来的铁路环境”。

墨西哥城地铁 1 号线已经启动现代化改造计划, 将会采取各项行动, 以便更新轨道、牵引供电系统、高压供电系统以及调车区和车辆段, 在这个计划完成时, 乘客数量将会增长 35%。

2021 年, Comsa 公司获得价值 8 000 万欧元的合同, 这份合同涉及改造 39 km 的轨道和线路沿线的系统。

墨西哥地铁 1 号线全长 16.6 km, 设有 20 个车站, 在 50 年前开通, 现在需要进行大量改造。

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 刘旻翻译自: www.railwaypro.com 2023-02-06)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.02.014

城轨信号系统智能运维信息采集方案

周 欢

(卡斯柯信号有限公司, 北京 100070)

摘要: 传统信号维护监测系统的信息采集与处理方案已不能满足线网级智能运维系统的发展要求。分析传统信号维护监测系统的信息采集与处理方案架构及存在的主要问题。针对存在的信息封闭及数据支撑不足问题提出相应解决方案。此方案能够打破线路间的限制, 掌握全网设备的工作状态, 满足线网级智能运维系统的信息采集与处理要求, 为大数据挖掘技术和智能分析技术在智能运维系统中的应用提供基础数据支持。

关键词: 城市轨道交通; 信号系统; 维护监测系统; 智能运维; 信息采集与处理

中图分类号: U284

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)02-0073-06

Research on Information Acquisition Scheme of Intelligent Operation and Maintenance for Urban Rail Signaling System

Zhou Huan

(CASCO Signal Ltd., Beijing 100070, China)

Abstract: The information acquisition and processing scheme of traditional signaling maintenance and monitoring system can not meet the development requirements of line-network-level intelligent operation and maintenance system. This paper analyzes the architecture and the main problems of the information acquisition and processing scheme of the traditional signaling maintenance and monitoring system, and puts forward corresponding solutions to the problems of information closure and insufficient data support. The scheme can break the restrictions between lines, master the working status of equipment in the whole network, meet the requirements of information acquisition and processing of the line-network-level intelligent operation and maintenance system, and provide basic data support for the application of big data mining technology and intelligent analysis technology in the intelligent operation and maintenance system.

Keywords: urban rail transit; signaling system; maintenance and monitoring system; intelligent operation and maintenance system; information acquisition and processing

收稿日期: 2022-01-07; 修回日期: 2023-02-06

基金项目: 卡斯柯信号有限公司科研项目 (A5.AW117398)

作者简介: 周欢 (1989—), 女, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 城市轨道交通信号, 邮箱: zhouhuan8963@163.com。

随着国内城市轨道交通行业的快速发展, 行车速度和行车密度的不断提高, 运营安全的保障面临着越来越大的挑战, 对作为轨道交通神经中枢的信号系统的维护能力提出了更高的要求。目前常见的信号维护监测系统 (MSS) 已不能完全满足运营要

求。搭建基于智能化、信息化、集成化的智能运维系统已成行业发展趋势。为搭建基于大数据挖掘技术与智能分析技术的信号智能运维系统，实现维修策略从故障修向状态修的转变，提升维修效率，需要对现有信号维护监测系统的信息采集与处理方案进行改良升级，实现更全面、更深入的全息感知，为大数据挖掘技术和智能分析技术在智能运维系统中的应用提供基础数据支持。

1 信号维护监测系统的信息采集与处理

1.1 维护监测系统信息采集与处理方案概述

信号维护监测系统是一个分布式的信号设备维护支持系统，采用三层系统架构，包括中心服务器层、维护工作站层、站机层，能够实现对相应的基础信号设备运行工作状况和主要电气性能进行在线监测，故障集中报警、故障诊断定位和维护管理等功能。

信号维护监测系统在功能逻辑层面上又可分为感知层和应用层。如图 1 所示。

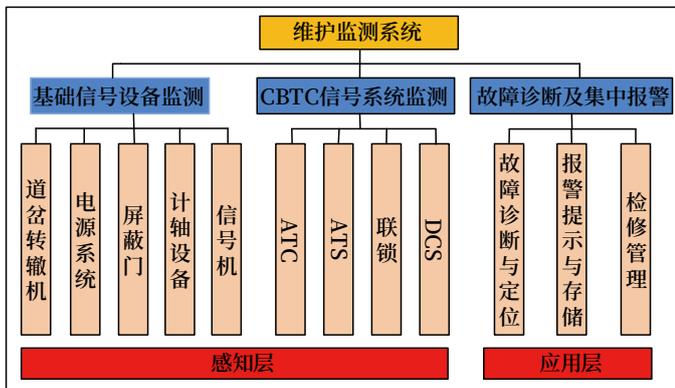


图1 维护监测系统功能架构

Fig.1 Functional architecture diagram of maintenance and monitoring system

系统通过感知层采集外电网、道岔、信号机、计轴设备、电缆绝缘测试、对地漏泄电流、屏蔽门、联锁、ATS、ATC、DCS 等设备的状态信息。这些采集到的信息再通过维护网上传到中心应用服务器，为实现应用层的逻辑处理，故障诊断与定位、报警提示与存储、检修管理等功能提供数据支持。

信号维护监测系统采集信号设备信息的方式主

要分为以下几种。

1) 自采集方式

信号维护监测系统通过在道岔、信号机、外电网、站台门等不同的信号设备的相关电路关键点安装采集模块，设计采集电路，从而采集信号设备状态，通过通信接口分机、综合分机将采集信息传输至站机，站机再将汇总过来的自采集信息通过维护网传输至中心应用服务器。所有采样都进行电气隔离，不影响被监测设备及信号系统的正常工作，如图 2 所示。

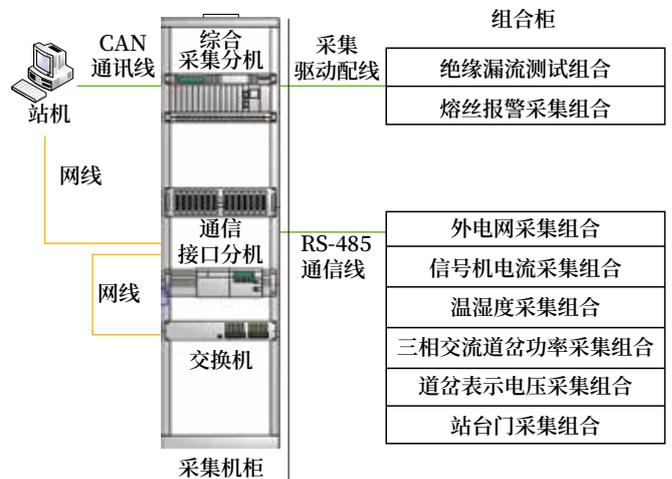


图2 自采集方式原理

Fig.2 Schematic diagram of self-acquisition mode

2) 接口的方式

信号维护监测系统与信号系统其他各子系统包括 ATS、ATC、联锁、DCS 系统以及配套的信号基础设备，包括计轴、智能电源屏 (UPS 电源及电池)、灯丝报警仪等通过接口的方式进行连接。ATS、ATC、DCS 等子系统设备具有自诊断及监测报警功能，除在相应的工作站上显示监测和报警外，设备状态信息及报警信息还能通过与维护监测系统的网络接口传送至信号维护监测系统中心应用服务器，实现 MSS 系统对信号 CBTC 系统的运行状态的在线监测与存储。联锁、计轴、智能电源屏、灯丝报警仪等信号基础设备则通过与站机直连的方式将设备状态及报警信息传送给站机。站机将获取到的相关信息通过网络通道传送给中心应用服务器。

如图 3 所示。

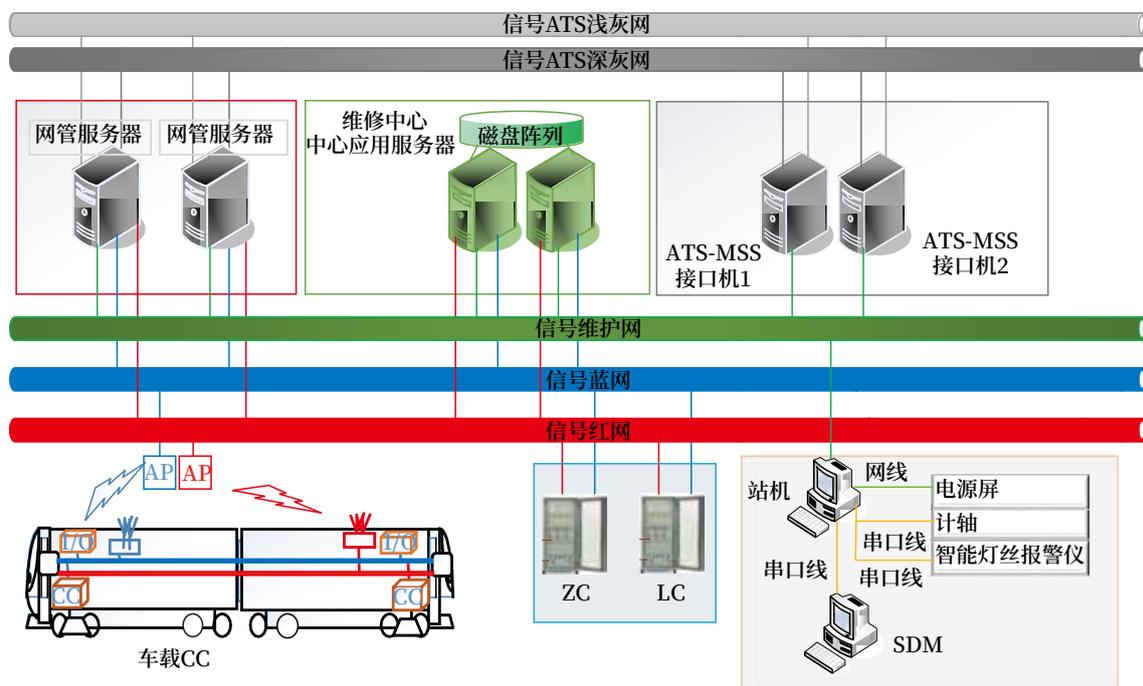


图3 接口方式原理

Fig.3 Schematic diagram of interface mode

MSS 在维修中心配置一套冗余中心应用服务器，完成全线数据处理和存储工作，容量满足全线要求。服务器存储 MSS 系统所有的历史数据，并为系统的客户端提供历史数据源。同时主、从服务器进行同步冗余，管理全线 MSS 系统所有与应用开发有关的参数，包括设备定义、设备报警、设备运行时间、报表统计等。当其中一台服务器发生故障时，不影响系统的正常工作。

1.2 维护监测系统信息采集与处理方案面对的问题

1) 信息封闭

目前城市轨道交通项目中，同一城市的每条线路之间相互独立，信号维护监测系统自成体系，线路之间信息封闭、监测信息分散、维护信息不能共享。随着近几年城市轨道交通的快速发展，必然要对城市的所有轨道线路进行网络化运营管理，打破线路之间的封闭模式，实现信息共享，全面掌握所有线路运营情况，对所有线路进行统一管理，提升全网维护效率，降低维护成本。而在现有维护监测系统的信息采集与处理方案下不能同时获取多条线

路的实时监测数据，无法全面掌握全网线路的设备运行状态。

2) 数据支撑不足

近几年大数据挖掘技术的迅猛发展，为大数据挖掘技术在信号系统维护平台上的应用提供技术可能，突破了技术壁垒。大数据挖掘技术的应用是指对信号系统设备运营维护信息进行数据沉淀、数据分析、数据深度挖掘，发现长期性的、全生命周期的、规模性的、多维度的设备运行规律，从而实现维护监测系统的智能诊断功能。大数据挖掘技术在维护平台上的应用需要进行海量的数据采集。而在现有维护监测系统的信息采集方案下，数据量不足以构成大数据特征，不能为大数据挖掘技术的应用提供底层数据支持。

2 智能运维系统信息采集与处理方案

2.1 信息封闭问题解决方案

2.1.1 数据标准统一

不同信号厂商对信号维护监测系统的数据库标准

定义各异，互不兼容，维护监测系统采集的信息数据来源又存在格式不同，结构复杂问题。要想打破线路之间信息封闭的问题，需要对数据标准进行统一规范和定义，对运维数据进行统一处理和存储。通过增设数据处理服务器，设计数据接入、数据规范、数据处理方法实现将汇总过来的各条线路的各种格式的维护信息进行数据统一转换处理与存储，按照设备类型、线路信息等多维度角度对数据进行清洗、处理、格式统一及存储，为后续线网级智能运维实现大数据挖掘和智能分析提供便捷，如图 4 所示。

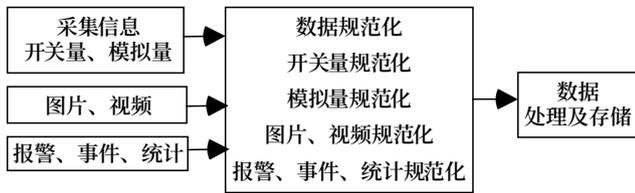


图4 数据处理流程
Fig.4 Data processing flow chart

2.1.2 搭建线网中心服务器

目前，各线路的信号维护监测系统的信息数据只存在封闭的生产网域中。每条线路都设有中心应用服务器，完成本条线的数据处理和存储工作。通过增设线网级中心服务器，将各线路维护监测平台采集的感知数据整合到统一平台上，实现跨线路、多维度的全设备状态在线监测、智能预警、维护管理等功能。打破线路之间的信息封闭，实现信息共享，可能造成信息数据不安全、数据混乱、数据不一致等问题，因此不仅需要在生产网域内搭建线网级中心服务器，同时还需要搭建管理网域内的线网级中心服务器，将生产网及管理网进行强制隔离。在管理网域内对维护信息数据进行处理时，不会影响生产网域内的数据安全性及完整性。通过管理网域的搭建，在保证原有采集信息的安全性、完整性、一致性的情况下，又能达到信息共享、信息处理的灵活性和功能的可扩展性。网络架构如图 5 所示。

2.2 数据支撑不足问题解决方案

在传统信号维护监测系统的基础上，通过不同

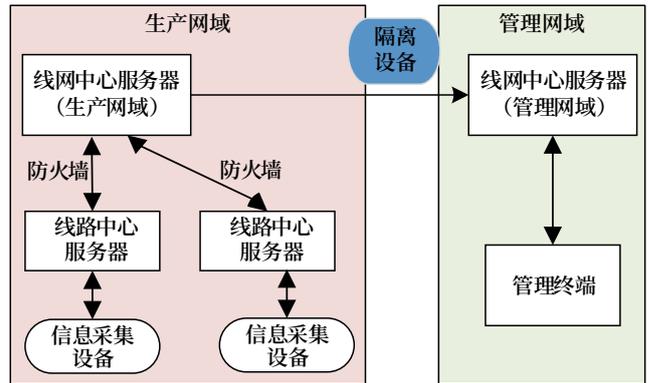


图5 网络架构
Fig.5 Network architecture

感知技术、增加监测采集模块、集成各子系统平台信息，实现对信号设备高精度、高密度的信息采集，完成关键设备状态感知，构成海量数据规模，为大数据智能分析提供更全面、更可靠的数据基础。例如，通过扩展道岔表示电压采集，可全面监视道岔表示电路的健康状态，并有助于区分室内、外故障定位。通过增加道岔继电器状态监测采集，实现道岔执行电路时序逻辑监视及异常诊断。通过集成联锁 SDM 维护台信息，实现联锁更多关键信息的直接接入，有助于联锁系统内部状态的诊断及故障定位。通过集成 ATS 维护台信息，实现 ATS 运营信息、ATS 业务信息的接入，并实现 ATS 服务器、工作站计算机设备的完整状态监视。通过集成网管工作站的信息，实现 DCS 网络设备的状态监视集成，实时盯控网络设备状态及性能异常，及时告警。通过实现车载日志自动化下载功能，实现基于日志信息提升故障定位能力和运营规律挖掘能力。

2.3 信息采集与处理方案架构

为解决城市轨道交通信号系统智能运维系统在实际应用中面临的上述数据问题，本文研究了相应的信息采集与处理方案。其架构如图 6 所示。

如图 6 所示，信息采集与处理方案主要分为 3 层，包括数据采集层、数据处理层、数据存储层。

数据采集层：数据采集主要分为车站级和线路级数据采集，采集方式和采集内容在维护监测系统的基础上进行扩展和升级。数据采集层要保证数据的完整性、准确性和实效性。数据采集时尽可能实时的采集

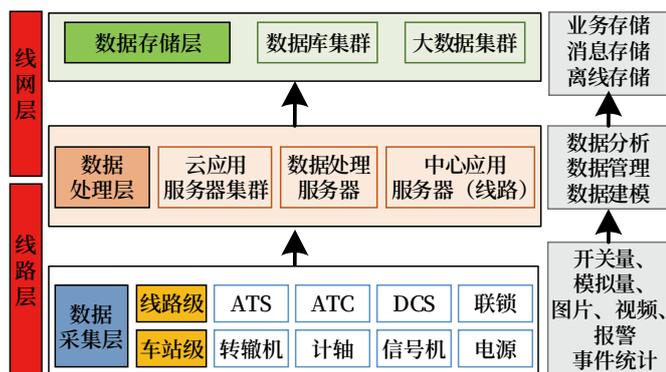


图6 信息采集与处理方案架构

Fig.6 Architecture of information acquisition and processing scheme

足够多且完整的信息，在采集过程中不能丢失数据。采集数据必须能够正确反映设备真实状态，保证数据的准确性。智能运维系统的数据采集量高且呈并行性，针对信号设备的不同子系统业务划分为不同的集群，可提高信号系统各子系统维护信息的写入的并行性能，提高系统吞吐量。

数据处理层：数据处理层主要设置中心应用服务器、云应用服务器集群、数据处理服务器等。在线路层设置独立中心应用服务器，实现本条线路采集信息的汇总、处理和存储功能。在线网层基于虚拟化技术构建云应用服务器集群，实现全网线路采集信息的统一汇总、应用服务和计算资源的统一分配和协调。在云应用服务器集群资源中，可虚拟化相关通信前置服务器、应用服务器、接口服务器、Web服务器、网管服务器等多种应用类型的服务器资源，满足线网级应用。线网层设置数据处理服务器，对全网络格式各异、结构复杂的采集信息进行规范化处理，方便对采集信息进行数据管理及数据分析，满足线网级关系型数据的持久化存储。中心应用服务器将本条线路的维护数据上传至云应用服务器集群，数据处理服务器将接收到的各子系统的实时数据进行清洗处理后，应用服务器对数据进行数据分析。通过将数据输入到对应的信号系统设备故障模型库中，判定设备是否故障，从而给出故障定位报警及维护建议。

数据存储层：数据存储层可分为业务存储、消息存储、离线存储等。在线网层构建基于大数据基础架构的数据存储及分析平台，实现海量异构数据的统

一存储及大数据分析，以支持系统大数据相关应用实现。数据库集群及大数据集群具备弹性可扩展能力。

3 结束

本文研究了传统信号维护监测系统的信息采集与处理方案，并根据传统信息采集与处理方案展现的信息封闭和数据支撑不足问题，提出了一系列的解决方法。此方法能够打破线路之间的限制，掌握全网设备的工作状态，为智能运维系统的大数据挖掘技术及智能分析技术的应用提供数据基础支持，从而实现线网级的信号系统智能维护管理功能，提升线网整体维护效率。该解决方案已经成功地在实际工程项目中应用部署，具备实用价值。

参考文献

- [1] 许华阳, 李润锦. 城市轨道交通信号系统在线监测系统信息集成化平台方案研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(9): 180-182.
Xu Huayang, Li Runjin. Information Integration Platform for On-Line Monitoring of Urban Rail Transit Signal System[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(9): 180-182.
- [2] 杜时勇. 基于大数据的城轨信号系统线网智能运维平台研究 [J]. 都市快轨交通, 2019, 32(3): 13-18.
Du Shiyong. Urban Rail Transit Signal System Intelligent Operation and Maintenance Platform Based on Big Data[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2019, 32(3): 13-18.
- [3] 李聪. 地铁信号系统智能运维方案设计 [J]. 铁道通信信号, 2019, 55(2): 86-90.
Li Cong. Design of Intelligent Operation and Maintenance Plan of Subway Signaling System[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(2): 86-90.
- [4] 付保明, 张宁, 陆斌. 城市轨道交通 AFC 智能运维系统探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(12): 78-83.

- Fu Baoming, Zhang Ning, Lu Bin. Discussion on AFC Intelligent Maintenance System for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(12): 78-83.
- [5] 宋大治, 王健, 徐钟全, 等. 城市轨道交通大数据技术应用研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (2): 70-75.
- Song Dazhi, Wang Jian, Xu Zhongquan, et al. Application of Big Data Technology in Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19 (2): 70-75.
- [6] 魏利, 王钰. 地铁智慧运维发展分析 [J]. 科技创新导报, 2020, 17 (12): 168, 170.
- Wei Li, Wang Yu. Analysis on the Development of Subway Intelligent Operation and Maintenance[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2020, 17(12): 168, 170.
- [7] 吕文龙, 韩臻, 李金峰. 城市轨道交通信号系统与站台门系统信息接口方式分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17 (9): 83-88.
- Lü Wenlong, Han Zhen, Li Jinfeng. Analysis of Information Interfaces between Signal Systems and PSD Systems in Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(9): 83-88.
- [8] 王瑞锋. 基于智能检测监测与大数据技术的城市轨道交通智能运维管理 [J]. 现代城市轨道交通, 2021 (11): 85-89.
- Wang Ruifeng. Intelligent Operation and Maintenance Management of Urban Rail Transit Based on Intelligent Detection and Monitoring and Big Data Technology[J]. Modern Urban Transit, 2021 (11): 85-89.
- [9] 林刚. 基于大数据云计算的铁路智能运维系统技术研究 [J]. 铁道通信信号, 2019, 55 (5): 37-41.
- Lin Gang. Study on Intelligent Operation and Maintenance System Based on Big Data and Cloud Computing[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(5): 37-41.

国外信息

釜山-蔚山“一小时生活区”的郊区和轻轨投资协议

韩国交通国土资源部和地方当局签署了一份在韩国南部的釜山 (Busan) 和蔚山 (Ulsan) 创建一个“一小时生活区”的合作协议。

据悉, 双方的协议内容包括在蔚山地区建设连接城市和近郊地区的近郊铁路和有轨电车网络。

2022年12月19日, 国土海洋部部长元喜龙 (Won Hee-ryong)、釜山市市长朴亨俊 (Park Hyung-joon)、蔚山市市长金斗教 (Kim Doo-gyeom)、位于东南部的庆尚南道州长朴完秀 (Park Wan-soo) 在釜山举行的会议上签署了上述协议。

与此同时, 东南环城铁路的初步可行性研究正在进行中。这条铁路是通过梁山 (Yangsan) 连接蔚山 KTX 站和大邱 (Daegu) - 晋州 (Jinju) 干线的进永 (Jinyeong) 站。这项研究将于今年年底完成。预计, 连接釜山芦浦 (Nopo) 站和蔚山 KTX 站的城郊线 (经蔚山中心和梁山) 也将进行类似的可行性研究。

在 2022 年 12 月的会议上, 地方当局同意共同推进蔚山双线有轨电车网络。蔚山是韩国最大的没有城市轨道交通网络的城市之一。东西向长 11.6 km 的 1 号线将连接太华江 (Taehwagang) 干线站和新福 (Sinbok) 市, 而南北长 13.7 km 的 2 号线将通过城市机场连接釜山和雅云 (Yaeum)。

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 范婷婷翻译自: www.railwaygazette.com 2023-01-24)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.02.015

微服务架构在有轨电车控制系统的应用

王宏明, 宁博, 金云, 聂超

(通号万全信号设备有限公司, 杭州 310000)

摘要: 在轨道交通领域引入内存数据库、服务器集群等新技术以及互联网领域的微服务理念, 将其应用到原来的单一进程的程序架构中, 改为使用微服务的有轨电车控制系统, 提高开发效率、减少开发和测试的工作量, 有效地降低成本, 并在实际项目中实施运用, 取得良好的效果。

关键词: 有轨电车; 信号控制系统; 综合调度系统; 微服务

中图分类号: U482.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)02-0079-04

Application of Microservice Architecture in Tram Control System

Wang Hongming, Ning Bo, Jin Yun, Nie Chao

(CRSC Wanquan Signal Equipment Co., Ltd., Hangzhou 310000, China)

Abstract: This paper introduces some new technologies such as in-memory database and server cluster and micro-service concept in the field of rail transportation, applies them to the original single process program architecture, and uses the micro service architecture to rebuild tram control system, which improves the development efficiency, reduces the workload of development and testing, effectively reduces costs, and has been implemented in actual projects with good results.

Keywords: tram; signaling control system; integrated traffic control system; micro service

1 概述

城市化水平的不断提高, 人们对公共交通的出行需求越来越多。现代有轨电车因投资少、建设周期短、节能环保等特点, 也被越来越多的中小城市、旅游城市采用。随着技术的发展, 运营水平的提高, 也对现代有轨电车系统提出更高的要求, 比如智能化、综合化等要求。作为现代有轨电车系统中的核心子系统——信号系统, 也要求与各种各样的子系统进行沟通交互, 功能越来越复杂、接口格

式也多种多样。

现代社会中, 随着互联网技术的蓬勃发展, 一种面向服务的体系架构(SOA)也在互联网技术的实践中越来越成熟。同时, 由于互联网系统的大用户、大数据、高并发等特点, 又催生了云服务等技术。各种技术的融合运用, 产生了微服务架构。微服务架构是一项在云中部署应用和服务的新技术, 使用轻量级机制通信, 通常是HTTP API, 这些服务基于业务能力构建, 能够通过自动化部署机制来独立部署, 这些服务使用不同的编程语言, 以及不同数据存储技术来实现, 并保持最低限度的集中式管理。

在有轨电车行业中, 很多软件是运行于资源

收稿日期: 2021-11-23; 修回日期: 2022-12-15

第一作者: 王宏明(1978—), 工程师, 本科, 主要研究方向: 有轨电车ATS系统, 道口控制系统、智能管控一体化平台, 邮箱: wanghongming@crsc-wq.com。

受限设备上，比如各种各样的嵌入式设备，使用 MCU 的各种板卡。受限于资源、安全需求、历史原因等无法使用 HTTP 等协议，照搬互联网行业的微服务架构是不可能的，但微服务的理念在功能越来越复杂的有轨电车行业中大有用武之地。微服务有以下几项优势，可以很好地运用于有轨电车控制系统的开发运营。第一是敏捷性，微服务的功能比较独立，可以更快速、更独立地进行开发，缩短开发周期。第二是扩展性，通过微服务，可以独立扩展各项服务以满足支持其他子系统的功能需求。第三是轻松部署，微服务支持持续继承和持续交付，可以轻松尝试新想法。当有新的子系统需求出现的时候，可以开发一个新的微服务，而不影响现有的信号控制系统。技术自由、可重复使用的代码、弹性等微服务的优势，也可以很好地运用于有轨电车行业中。

2 微服务架构的有轨电车信号系统构成及功能

2.1 系统构成

完整的现代有轨电车信号系统主要由各子系统

和设备组成为：1) 综合调度子系统；2) 正线轨旁控制子系统；3) 路口优先控制子系统；4) 车载控制子系统；5) 数据通信子系统；6) 车辆段控制子系统；7) 维护监测子系统；8) 其他需要信号信息的子系统。整体系统构成如图 1 所示。

2.2 综合调度系统功能

综合调度系统以行车指挥和运行计划为核心，它的主要功能为：1) 行车信息显示；2) 列车识别号、跟踪功能；3) 运行图编制及管理；4) 进路自动控制；5) 信号设备控制；6) 操作与数据记录、输出及统计处理；7) 列车运用、派班计划及车辆管理；8) 与其他系统交换信息。

根据微服务的理念，可以对其进行功能切割，分为多个独立的微服务。行车信息显示功能需要显示全线的线路车站布局、轨旁设备的状态（信号机、区段、进路、道岔等），列车信息（位置、速度、识别号、早晚点信息、扣车信息、目的地、前后车距离等），路口信息（信号机、红绿灯时间）。这是一个综合性的信息显示，需要各个微服务提供各种信息。列车识别号及跟踪功能，可以分为车辆信息微

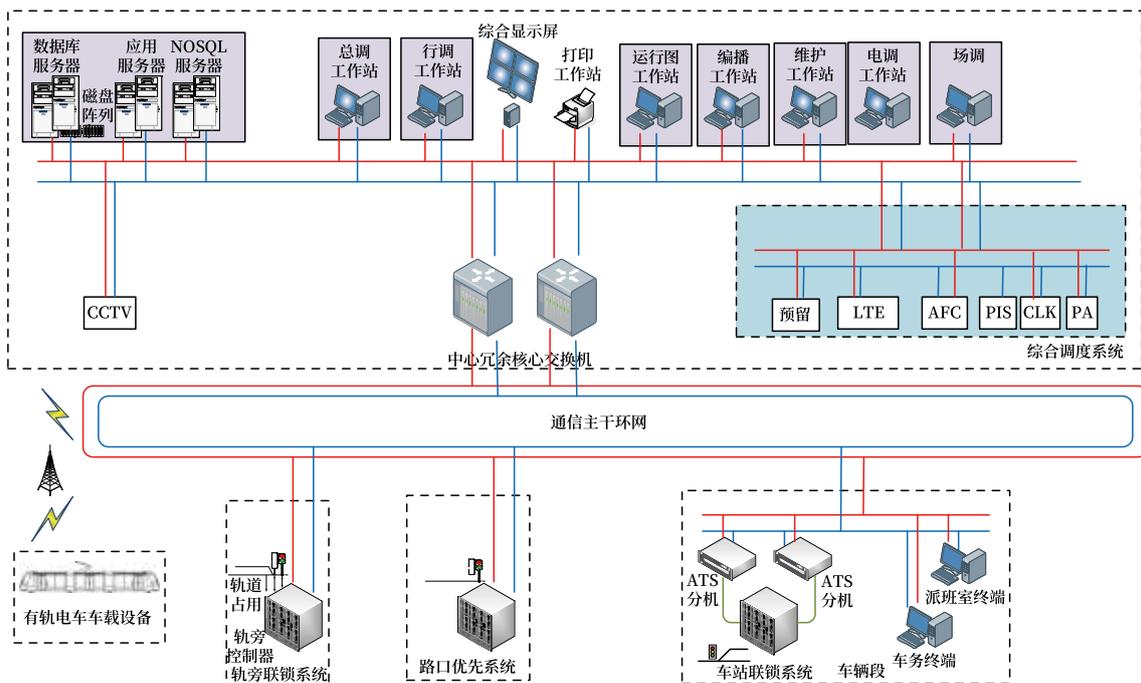


图1 有轨电车系统架构
Fig.1 Tram system architecture diagram

服务, 列车识别号管理微服务, 列车正线跟踪微服务, 列车车辆段跟踪微服务。运行图编制为离线编制, 可以单独作为一个程序运行。运行图的实时显示需要列车的位置信息, 可以使用运行图数据微服务来提取运行图显示的数据。进路的自动控制功能、信号设备的控制功能都需要和轨旁、联锁系统进行交互, 可以分为自动进路微服务、轨旁微服务、联

锁微服务。列车运用、排班计划等可以划分为单独微服务。其他系统, 如乘客信息系统 (PIS)、公共广播系统 (PA)、自动售检票系统 (AFC)、无线调度系统 (LTE)、车辆段检修管理系统也需要列车的位置信息, 每个单独的系统接口需求都可以作为微服务提供。整理完成的微服务架构综合调度系统组成如图 2 所示。

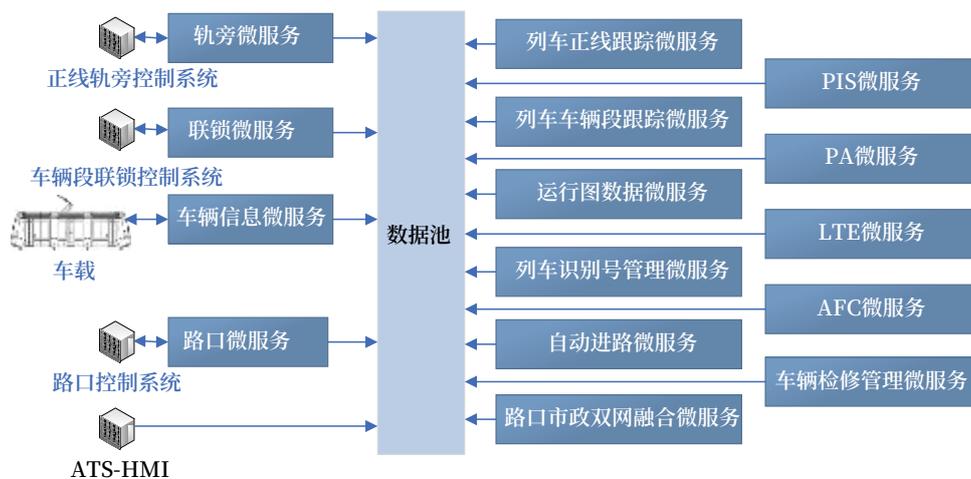


图2 微服务架构
Fig.2 Microservice architecture

3 微服务架构的调度系统设计方案

考虑 HTTP 协议在有轨电车控制系统中的使用状况, 在本系统中不适用 HTTP 形式的 API 来提供服务, 系统使用数据池的数据共享方式来实现信息的流转。同时, 因为需要下达命令等功能需要, 系统需要一个既能提供消息队列功能, 又能提供快速数据访问的高可用性的中间件。Redis 的以下几个特性很好地符合此需求。

1) 内存数据库, 速度快、开源

Redis 是一个开源的使用 ANSI C 语言编写、支持网络、可基于内存亦可持久化的 Key-Value 数据库。它把所有数据放在内存中, 因此性能极高, 读的速度是 10 万次 / 秒, 写的速度是 8 万次 / 秒。

2) 操作的原子性、支持事务

Redis 的所有操作都是原子性的, 同时还支持事务。不需要特别考虑各个系统之间的数据互锁等,

降低程序的同步复杂性。

3) 发布订阅功能

Redis 提供发布订阅功能, 可以用来实现消息队列系统。

4) 高可用和分布式

Redis 提供高可用的特性 Sentinel, 能在某个 Redis 接点故障时实现自动转移。它也提供了分布式的实现 Redis Cluster, 提供高可用性、读写和容量的扩展性。

5) 简单稳定

简单性主要表现在 Redis 的源码很少, 而且开源; Redis 使用单线程模型, 处理模型简单; Redis 独立实现事件处理的相关功能, 不需要依赖于操作系统中的类库。

基于以上的特点, 系统使用 Redis 作为各个微服务的数据池, 各微服务处理完成的信息以 Key-Value 的方式放在 Redis 中, 便于其他系统使用。

4 微服务应用示例

在微服务架构应用以前，单进程的综合调度系统架构如图 3 所示。

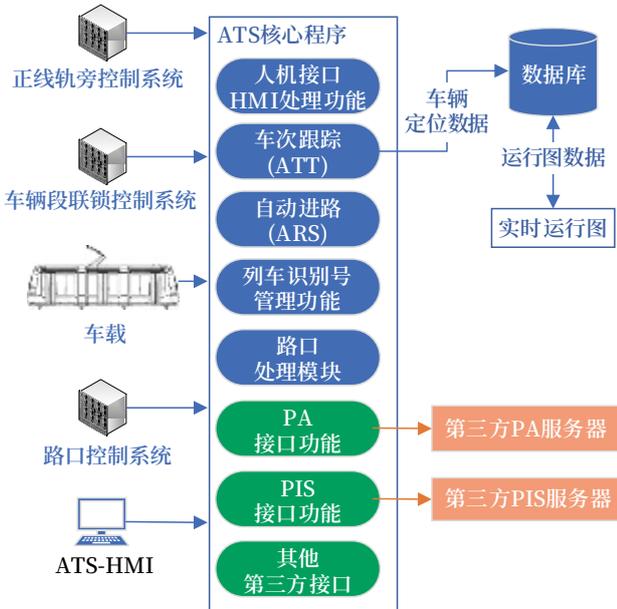


图3 单进程架构
Fig.3 Single process architecture

在单进程的架构中，如果需要添加一个新的第三方接口功能，比如需要给路口程序发送车辆位置信息的功能。虽然此功能相对比较独立，但所需信息都在一个程序内，无法以一个单独的程序来实现，研发人员就需要在本来就复杂的程序中，再添加一个新的功能模块来处理与路口的信息交互。此时，因为核心的程序进行了变动，所以需要测试的范围除了新功能的需求以外，还需要对原有的功能进行测试，以确认在原有的功能模块中没有引入新的问题。

在引入微服务的架构后，实现上述的功能，研发人员只需要从数据池中获取微服务产生的车辆信息，然后再使用另一微服务产生的列车计划、列车识别号等信息，将两个信息结合进行处理，将处理结果发送给第三方接口即可。这样开发一个程序，功能相对简单，需求明确，因而开发、测试所需的工作量也可控制，而且是新的独立程序，不会影响原有的程序，减少了测试的工作量。

5 结论

在轨道交通信号领域中，一方面是通信信号领域的安全性要求使然，另一方面则是由于长久以来信号领域的技术垄断，所以一些新技术、新编程语言的应用比较少。但是在安全性要求较高的领域，使用 C/C++ 语言同样可以在不改动原有设备的情况下，引入一些新技术、新理念达成较好的效果，提高开发效率、降低成本。自主研发的微服务架构的有轨电车车载系统已在云南某地实际项目中实施运行，取得了良好的效果。证明一些新技术、新理念在通信信号领域的产品研发及应用中是可行的。

参考文献

- [1] 兰焱. Redis Cluster 的代理系统设计与实现 [D]. 济南: 山东大学, 2021.
- [2] 熊涵. 基于 Redis 分布式消息队列的报文过滤系统的设计与实现 [D]. 成都: 电子科技大学, 2021.
- [3] 陈清. 基于 Redis 的煤矿大型机电设备联网架构 [J]. 工矿自动化, 2020, 46 (10): 109-113.
Chen Qing. Networking Architecture of Large-Scale Electromechanical Equipment in Coal Mine Based on Redis[J]. Industry and Mine Automation, 2020, 46(10): 109-113.
- [4] 张永跃. 基于微服务+Redis 的政务数据共享模式设计 [J]. 电子技术与软件工程, 2020 (14): 208-209.
Zhang Yongyue. Design of Government Data Sharing Mode Based on Microservice +Redis[J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2020(14): 208-209.
- [5] 张杰, 刘凯, 周立军. 采用 Redis 高并发应用系统设计与实现方法 [J]. 计算机与数字工程, 2020, 48 (5): 1222-1226.
Zhang Jie, Liu Kai, Zhou Lijun. Design and Implementation of High Concurrent Application

(下转 100页)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.02.016

基于信息融合的城市轨道交通站内信息服务

付保明¹, 李舜康¹, 张宁², 陆海亭³, 汪林⁴

(1. 苏州市轨道交通集团有限公司, 江苏苏州 215006;

2. 东南大学智能运输系统研究中心, 南京 210018;

3. 南京交通职业技术学院, 南京 211188;

4. 北京城建设计发展集团股份有限公司, 北京 100037)

摘要: 介绍乘客出行过程中所需信息的种类以及当前站内信息服务的方式, 分析智慧出行场景下服务信息在信息源及信息展示等方面的融合需求, 指出当前乘客信息服务的局限与不足; 基于多源信息融合, 从综合数据平台及服务端两个层面提出一种与乘客信息需求相匹配的城市轨道交通乘客信息服务模式; 结合轨道交通的建设及运营现状, 给出该服务模式的具体实施建议, 从而为实现全过程、全方位、一体化乘客信息服务提供参考, 提高轨道交通智慧化信息服务水平。

关键词: 轨道交通; 智慧出行; 信息服务; 信息融合

中图分类号: U293

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)02-0083-06

Passenger Service of Urban Rail Transit Station Based on Information Fusion

Fu Baoming¹, Li Shunkang¹, Zhang Ning², Lu Haiting³, Wang Lin⁴

(1. Suzhou Rail Transit Group Co., Ltd., Suzhou 215006, China)

(2. Intelligent Transportation System Research Center, Southeast University, Nanjing 210018, China)

(3. Nanjing Vocational Institute of Transport Technology, Nanjing 211188, China)

(4. Beijing Urban Construction Design & Development Group Co., Ltd., Beijing 100037, China)

Abstract: The paper introduces the types of information required by passengers in the process of travel and the current mode of information service at the station, analyzes the integration needs of service information in terms of information source and information display under the scenario of smart travel, and points out the limitations and deficiencies of current passenger information service; based on multi-source information fusion, it proposes a passenger information service mode of urban

收稿日期: 2022-08-10; 修回日期: 2022-12-23

基金项目: 国家重点研发计划项目(2020YFB1600700); 苏州市轨道交通专项科研项目(H202120045)

第一作者: 付保明(1990—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 轨道交通建设与管理, 邮箱: baomingfu@126.com。

rail transit matching the passenger information needs from the two levels of integrated data platform and server; combined with the construction and operation status of rail transit, it puts forward the specific implementation suggestions of this service mode, so as to provide reference for realizing the whole process, all-round and integrated passenger information service, and improve the intelligent information service level of rail transit.

Keywords: rail transit; smart travel; information service; information fusion

随着“互联网+”在交通行业内的深化以及交通网络融合业务发展，轨道交通乘客的信息需求呈现网络化、多元化、多样化、多阶段等特征，传统的单一的轨道交通乘客信息系统（Passenger Information System, PIS）已难以适应当前乘客的信息需求。同时，智慧化、无人化的客运服务基础设施逐渐成为乘客信息服务的主要载体。袁奕涵^[1]提出将站台、站厅及出入口车站位置的PIS屏进行系统融合，以期更好地提升轨道交通服务水平；汪晓臣^[2]等提出PIS情景感知服务技术方案，形成伸缩性强、性能更佳的弹性PIS云平台，以提升车载PIS的自适应性；杜琦骏^[3]提出新建城市轨道交通音视频统一的信息服务系统，将广播系统、PIS系统融合优化为信息服务一体化的新系统；梁君^[4]等结合苏州轨道交通的具体建设情况，提出了智能客服系统，以满足乘客自助化、智能化信息服务需求；张森^[5]等提出基于“互联网+”的城市轨道交通乘客智能服务模式，搭建全维度的综合智能客服平台，通过线上地铁APP、微信公众号等在线客服，将畅通沟通服务融入市民生活。但在PIS、智能客服等系统的规划、建设过程中，缺少乘客信息服务顶层规划，存在出行服务信息平台重复建设、车站乘客信息服务设施功能重叠、系统间信息缺乏互联互通、信息管理缺乏统一主体以及管理资源浪费等问题，急需从线网层面进行统一规划、设计，构建信息齐全、沟通便捷、乘客满意、维护简单的乘客信息服务系统，进一步推进智慧乘客服务、智慧地铁的发展。

结合乘客采用轨道交通出行过程中的信息需求以及当前信息服务方式，对各类服务系统及车站设施功能进行分析。在系统信息融合的基础上，探讨车站信息服务设施科学、合理的布局及功能分配，

以满足乘客的出行需求并实现轨道交通信息资源的最优化配置。

1 信息服务现状

1.1 信息的种类

按照信息的实时性，轨道交通信息可分为实时信息、非实时信息及固定信息等；按信息的来源，信息可分为轨道信息、公交信息及政府服务信息等；按照信息的层级，信息可分为车站信息、线路信息、线网信息及全域信息等；按照信息的展现形式，信息可分为静态信息、动态信息及可变信息；按照信息内容，信息可分为票务信息、乘客服务信息、出行信息、遗失物品信息等。

1.2 信息服务方式

当前，乘客在轨道交通出行过程中，获取信息服务的主要方式有车站固定导向、车站人工问询、PIS系统、综合资讯系统、智慧客服系统、地铁APP、官方公网账号以及热线电话等。其中，站内系统性的服务方式为固定导向、PIS系统、综合资讯系统、智慧客服系统以及地铁APP等。

1.2.1 固定导向

固定导向是以导向标识为载体，向乘客提供车站周边、出/入口、站内设施等固定信息的一种信息服务方式。乘客可根据站内外固定导向，获取站内及车站周边信息。

固定导向作为一种简易、明了的信息服务方式，可以为乘客提供一些基础的出行信息，但受限于信息载体，只能提供与本站相关的一些简单信息。

1.2.2 PIS系统

PIS系统通过设置在出/入口、站厅、站台、列车客室的显示终端，让乘客及时准确地了解列车

运营信息和公共媒体信息，如：行车、安防反恐、运营紧急救灾、地铁公益广告、天气预报、新闻、交通信息等。

PIS系统是运营信息、公共媒体信息发布兼顾的系统，其信息内容较为固定，且不能为乘客提供查询服务。同时受移动互联网的影响，乘客对PIS信息的依赖性正逐步降低。

1.2.3 综合资讯系统

综合资讯系统通过设置在站厅出/入口、站台端头的触摸显示屏，以人机交互的方式向乘客提供运营公告、站内地图、站点周边等信息。苏州地铁某车站站内地图导向如图1所示。

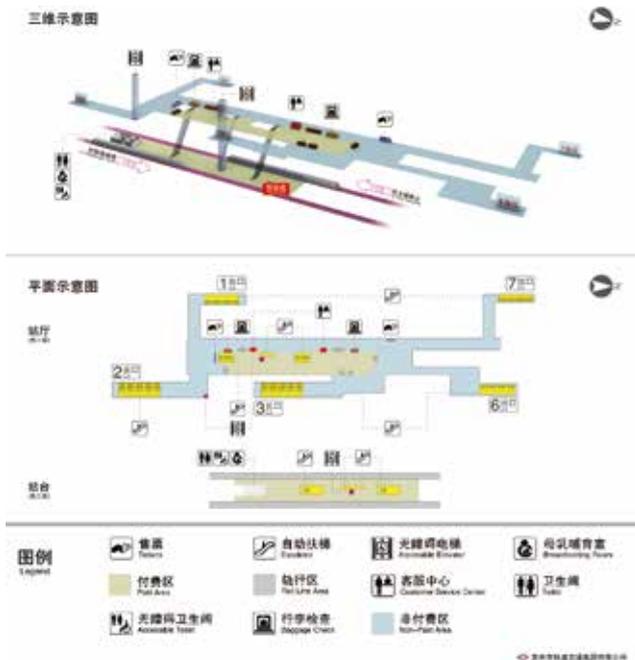


图1 站内地图导向

Fig.1 Map guidance at the station

综合资讯系统作为车站固定导向的升级，能为乘客提供更好的信息交互体验，但其提供的服务信息有限，难以满足乘客的自助咨询需求。

1.2.4 智慧客服系统

除车站PIS系统、综合资讯系统外，轨道交通行业也在积极推广智慧客服系统^[6]，将大多数传统的人工服务业务纳入该系统，从而为乘客提供一种全新的、高质量的智慧化信息服务。

智慧客服系统通过智慧服务中心(Intelligent

Service Center, ISC)、智慧服务终端等站厅设备，以语音、文字、图片及视频等多种信息展现方式，为乘客提供语音购票、票务咨询、线网信息查询、失物招领、投诉等多样化、智能化的自助服务及远程音视频服务。苏州地铁某站ISC自助服务界面如图2所示。



图2 ISC自助服务界面

Fig.2 Self-service interface of ISC

1.2.5 地铁APP

地铁APP以乘客小额高频出行使用需求为出发点，以扫码乘车为核心业务，并以此拓展到乘客出行涉及的相关领域，是轨道交通信息服务的重要窗口。苏州地铁官方APP信息服务功能界面如图3所示。

由图3可知，与车站PIS、综合资讯、智慧客服相比，地铁APP有着良好的业务拓展性，在提供地铁内部服务信息的同时，可快速打通与第三方出行服务系统的接口，从而为乘客提供个性化、全链路、一站式出行服务。此外，地铁APP还可为乘客提供预出行服务，即乘客在未到达车站前，便可了解地铁运营信息，进行地铁出行路径的规划，预约爱心服务等，提升乘客出行服务体验。

2 信息融合需求

面向乘客的智慧服务是智慧车站的重要组成部分，而站内众多的信息服务设施则是智慧服务的主要窗口。为保障信息服务内容的一致性、准确性、实时性，提升信息服务质量，必须从信息源、信息流转、信息展现等多个环节对各系统的功能进行重

息中心获取各自系统所需数据,也可将数据平台的相关功能与信息中心进行深度融合,各车站服务终端通过通信网络直接与信息中心进行数据交换,从而保证信息服务的一致性。其中,平台功能深度融合后的信息服务体系架构如图5所示。

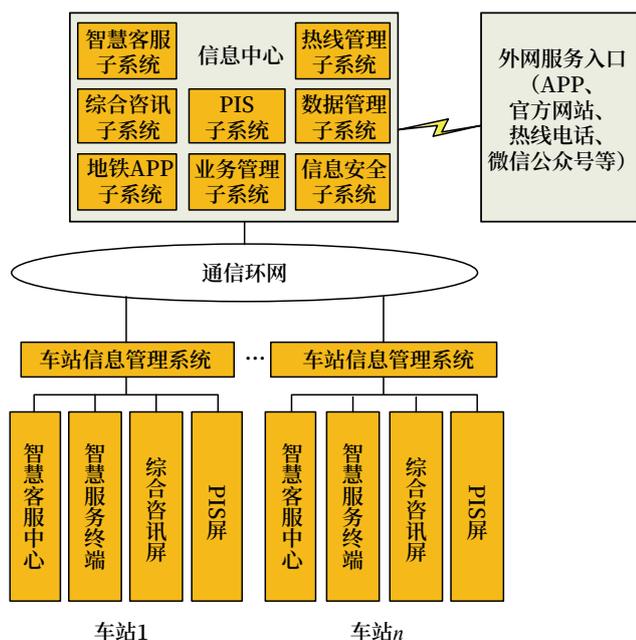


图5 信息服务体系架构
Fig.5 Information service architecture

由图5可知,为满足车站现场临时信息发布需求,除在信息中心进行业务的融合外,还需设置车站信息管理系统,以便车站管理人员进行特殊信息的发布并对现场设备进行管控。

该平台还可作为轨道交通出行即服务^[7](Mobility as a Service, MaaS)平台,为轨道交通APP、官方网站、热线电话、服务工单、第三方平台服务公众号等提供后台支持,进而实现生产网与管理网的平台级融合,实现乘客出行全链路信息服务的统一。

3.2 服务端融合

服务端的融合是指PIS系统、综合资讯系统、智慧客服系统的车站服务终端在站内布局、功能划分等方面进行统筹设计、深度优化,在地铁APP功能进行完善,在满足乘客信息需求的同时,减少功能性重合,降低建设及运维成本。

3.2.1 站内布局调整

对于出/入口,鉴于综合资讯屏比PIS信息屏能够提供更丰富的服务信息,且能够与乘客进行良好的信息交互,可取消出/入口的PIS信息屏。

对于站厅,鉴于智慧服务中心及服务终端分别取代传统车站的人工客服与自动售票机,为适应乘客长期以来形成的票务处理习惯,智慧客服中心及服务终端分别设置在站厅层原客服中心和自动售票机的位置。由于智慧服务终端还可提供乘客问询服务,可取消原设置于站厅自动售票机上方的PIS信息屏。

对于站台,受站台空间布局及扶梯位置的影响,综合资讯屏设置于站台两端,由此可取消靠近站台两端的PIS信息屏,其业务功能由资讯屏实现。但站台中部仍由PIS信息屏提供传统的信息服务。

3.2.2 功能调整

根据服务端的站内布局及乘客站内信息服务需求,对各服务端的功能进行调整和优化,既满足乘客在车站内的信息需求,又解决功能重合、设备重复采购等问题。站内设施的乘客信息服务功能优化结果如表1所示。

表1 乘客信息服务功能

Tab.1 Passenger information service functions

服务端	信息服务功能	站内位置	服务方式
综合资讯屏	出/入口信息指引	出/入口	人机交互自助式服务
	车站周边商户信息		
	残障人士乘车指南		
	地铁资讯展示		
智慧服务中心及服务终端	站内设施	站台	人机交互自助式服务、语音辅助、远程音视频对讲
	行车信息		
	线网地图		
	站内设施		
PIS屏	意见反馈	站厅	人机交互自助式服务、语音辅助、远程音视频对讲
	便民查询		
	票卡服务		
PIS屏	地铁资讯展示	站台	视频
	行车信息		

由表1可知,除票卡服务(售票、补票、票卡更新)等特定业务外,地铁APP可为乘客提供表1

中的大多数服务信息。还可作为站内服务端的补充，为乘客提供爱心预约、特殊物品预借、个人碳减排等个性化的信息服务，提供公交、共享单车、网约车等站外出行服务以及餐饮、娱乐等日常生活服务。

4 实施建议

对于轨道交通已网络化运营的城市，各系统均已建设数据平台，建设新的乘客信息服务中心不仅存在重复建设问题，各系统功能接入也存在巨大的改造、调试工作量。因此，建议利用既有的某系统平台，对其进行扩容改造，从而承担信息服务中心的角色，其他系统只进行接口改造，从而实施信息的平台共享。以苏州地铁为例，由于 APP 平台的业务拓展性最好，可以以该平台为基础，统一对接外部服务，并将相关服务信息分发给其他乘客服务系统。

此外，对于车站服务终端，建议首先在既有线路车站开展设备布局及功能调整试点，及时收集乘客使用意见，并据此优化新线建设方案；对于地铁 APP，要充分利用其可拓展性，不断更新业务功能，完善服务范围。同时，将 APP 线上业务逐步推广到车站服务终端，进一步优化终端功能。

对于轨道交通处于起步阶段的城市，应从乘客信息服务整体出发，做好乘客信息服务的顶层规划，建设集智慧客服、综合资讯、PIS、地铁 APP 等多功能为一体的信息服务系统，实现各系统在平台及终端的深度融合，从而降低建设成本，提高乘客信息服务质量，提升运营维护的便捷性。

5 结语

城市轨道交通车站乘客信息服务是乘客服务的重要组成部分，智慧客服等无人化、智能化的车站服务终端将为乘客提供多样化的信息服务。结合车站信息服务的现状与信息融合需求，构建一套全新的基于信息融合的乘客信息服务体系，为轨道交通乘客信息服务的建设及发展提供一种新思路，也为轨道交通 MaaS 系统的建设奠定了平台及技术基础。未来，随着轨道交通 MaaS 概念的普及，建设涵盖车站各类

服务终端、轨道交通 APP 以及第三方平台公众号等展示端，乘客出行全过程服务信息深度融合的信息服务体系将成为行业发展的重要趋势。

参考文献

- [1] 袁奕涵. 轨道交通乘客信息系统的车站运营综合导乘应用研究 [J]. 隧道与轨道交通, 2021 (1): 35-37, 61.
Yuan Yihan. Application Research of Station Integrated Operation Guidance Based on Passenger Information System of Rail Transit[J]. Tunnel and Rail Transit, 2021(1): 35-37, 61.
- [2] 汪晓臣, 吴卉, 孙同庆, 等. 城市轨道交通车载 PIS 情景感知服务技术方案研究 [J]. 铁路计算机应用, 2020, 29 (11): 18-22.
Wang Xiaochen, Wu Hui, Sun Tongqing, et al. Research on Technical Solution to Context Aware Services of On-Board PIS in Urban Rail Transit[J]. Railway Computer Application, 2020, 29(11): 18-22.
- [3] 杜琦骏. 上海城市轨道交通广播系统和乘客信息系统规划研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24 (11): 69-74.
Du Qijun. Research on Planning of Shanghai Urban Rail Transit Broadcasting System and Passenger Information System[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(11): 69-74.
- [4] 梁君, 付保明, 张宁, 等. 苏州轨道交通 AFC 系统智能化实践发展 [J]. 铁路计算机应用, 2022, 31 (3): 79-86.
Liang Jun, Fu Baoming, Zhang Ning, et al. Intelligent Practice of Suzhou Rail Transit AFC System[J]. Railway Computer Application, 2022, 31(3): 79-86.
- [5] 张森, 于敏. 基于“互联网+”的城市轨道交通乘客智能服务模式探讨 [J]. 都市快轨交通, 2021, 34 (3): 146-152.
Zhang Sen, Yu Min. Passenger Service Mode of City Rail Transit Based on Internet Plus[J]. Urban

(下转 106页)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.02.017

轨道交通改造工程漏泄电缆敷设方案

陈尔超, 王喜军, 杨立新, 武少峰

(中国铁路设计集团有限公司, 天津 300308)

摘要: 轨道交通改造工程由于线路复杂、干扰因素较多, 漏泄电缆存在较大的难度, 为此研究轨道交通改造工程多种场景下的漏泄电缆敷设方案。阐述漏泄电缆一般要求及其敷设范围, 分别对隧道段、地面段、高架段以及车站段的敷设方案进行研究, 提出各场景下的敷设方式、敷设高度以及敷设剖面图, 对关键技术指标和相邻小区干扰进行分析。

关键词: 轨道交通改造; 漏泄电缆; 敷设方式; 无线通信

中图分类号: U285.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)02-0089-06

Research on Leakage Cable Laying Scheme in Rail Transit Modification Project

Chen Erchao, Wang Xijun, Yang Lixin, Wu Shaofeng

(China Railway Design Corporation, Tianjin 300308, China)

Abstract: In rail transit modification project, it is difficult to lay leaky cable for many complicated interference factors. This paper studies multi-scenario leakage cable laying schemes in rail transit modification project, describes the general requirements and laying scope of leakage cable, studies the laying scheme in the scenario of tunnel, ground, bridge, and station, presents the laying mode, laying height and laying cross-section view of each scenario, and analyzes the key technical indexes and interference of adjacent cell.

Keywords: rail transit modification; leakage cable; laying method; wireless communication

1 概述

国内城市轨道交通技术的快速发展和推动, 信号系统不断创新, 陆续实现了基于轨道电路的固定闭塞系统 (TBTC)、基于通信的列车运行控制

系统 (CBTC)、全自动运行系统 (FAO), 以及正在推进研究的基于车-车通信的列车自主运行系统 (TACS)。早期建设的线路, 由于运能不足、设备老化、技术更新等原因面临升级改造的需要, 而如今选取的信号技术方案对无线通信提出了越来越高的需求。

为提升轨道交通无线通信的传输质量, 工业与信息化部指出 1.8G 专用频段可用于轨道交通行业, 中城协亦推荐轨道交通使用专用频段, 推动无线通信 LTE-M 技术的推广与应用。LTE-M 技术采用专

收稿日期: 2021-12-30; 修回日期: 2022-12-25

基金项目: 中国铁路设计集团有限公司重点课题项目 (2020YY240801)

第一作者: 陈尔超 (1989—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 基于通信的列车运行控制系统, 邮箱: erchaochen@163.com。

有频段、专用技术，长距离覆盖，除了承载列车运行控制业务信息，还可综合承载列车紧急文本、列车运行状态监测、PIS 视频和集群调度等业务信息。

在 LTE-M 技术下，无线信号覆盖主要采用漏泄电缆、定向天线两种方式，系统结构如图 1 所示。在同轴电缆外层打孔、开槽，使电磁波沿线漏泄，称为漏泄电缆，简称漏缆。漏泄电缆沿线路呈带状分布，场强覆盖连续，分布均衡，信号质量高，不易受外界其他信号干扰；定向天线覆盖信号场强不均匀，遇到弯道信号质量差，容易受到同频干扰。漏泄电缆有众多优点，缺点主要为投资较高、敷设困难，尤其对于轨道交通改造工程，线路复杂，干扰因素较多，敷设更加困难。

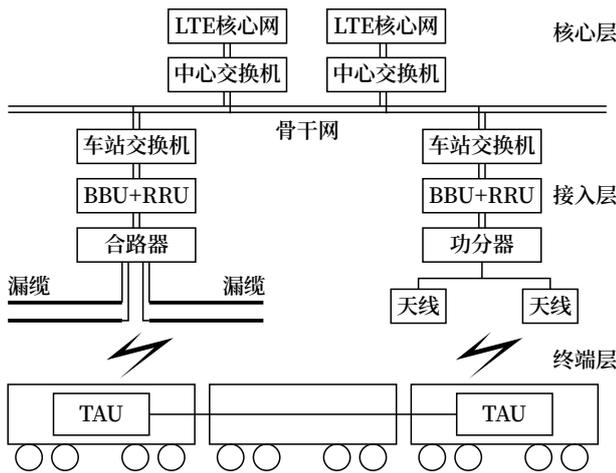


图1 无线覆盖系统结构
Fig.1 System structure diagram of wireless coverage

城市轨道交通除了地下隧道，还有地面、高架场景，多样化的场景进一步增加了其敷设的难度。本文针对漏缆敷设问题进行分析研究，提出轨道交通改造工程多场景的漏缆敷设方案，包括隧道段、地面段、高架段以及车站段的敷设方案。

2 漏缆敷设要求

2.1 漏缆敷设一般要求

- 1) 漏泄同轴电缆与其他系统漏泄同轴电缆间距不小于 300 mm，避免相互间的干扰。
- 2) 漏泄同轴电缆若与接触网回流线、保护地线

和照明线等非高压带电体同侧时，间距不小于 0.6 m；与牵引供电设备带电部分的距离不小于 2 m。

3) 漏泄同轴电缆架设在隧道壁上时，漏泄同轴电缆与隧道壁的间距不小于 80 mm。

4) 钢丝承力索悬挂漏泄同轴电缆后的最大允许垂度保持在 0.15 m 以内（20°C 时）。

5) 漏泄同轴电缆固定每隔 1 m 设置一处卡具，每隔 10 m 设置一处防火卡具。

6) 漏缆槽孔对面的护套突起线为标记线，安装时应将标记线靠墙铺设，保障漏缆开孔的方向，即开孔方向正对覆盖区域。

2.2 漏缆敷设范围要求

漏缆敷设范围根据承载的业务和设备维护需要进行设计，主要覆盖下列区域。

- 1) 正线区间线路、折返线、停车线、渡线；
- 2) 建筑限界内联络线；
- 3) 车辆基地与正线的出入段线；
- 4) 车辆基地内车辆可达区域。

具有集群调度通信功能的系统，还应考虑公共区域、终端用户使用区域。

3 漏缆敷设方案

TD-LTE 系统由核心网、基站系统和车载终端组成，其中基站系统由基带单元（BBU）和远端射频单元（RRU）组成，设于车站及轨旁区间，车载终端单元（TAU）设于列车两端车载机柜内。通过漏缆传输媒介连接基站系统与车载终端、为车-地之间提供双向数据交换通道。在列车 Tc（带司机室的拖车）车顶各安装两副天线，在列车 Tc 车底的一位、二位各安装一副天线。

根据业务承载可靠性要求，可选择采用单漏泄同轴电缆或双漏泄同轴电缆覆盖方式。当综合承载业务信息时，考虑到信息中断对调度指挥、乘客服务、应急救援、列车运行控制的多方面影响，为提供更高服务质量、应对突发状况、保证安全，采用双漏缆覆盖方式。当单独承载业务信息时，可根据实际工程情况进行选择，在工程条

件允许时，为提高信息传输的可靠性，亦采用双漏缆覆盖方式。

下面以双漏缆覆盖方式为例，分别对隧道段、地面段、高架段以及车站段场景下的漏缆敷设方案进行探讨。涉及剖面图基于大连地铁 13 号线工程。

3.1 隧道段敷设方案

以单洞双轨为例，上/下行漏缆分别敷设于

隧道两侧隧道壁上，采用漏泄同轴电缆夹具安装，漏缆安装高度距离轨面分别为 4 200 mm、4 500 mm，与安装在 Tc 车顶部的平板天线相对应。安装步骤包括：标记安装位置、钻头打孔、植入膨胀螺栓、安装漏缆夹具和卡入漏缆。隧道段漏缆敷设剖面如图 2 所示。

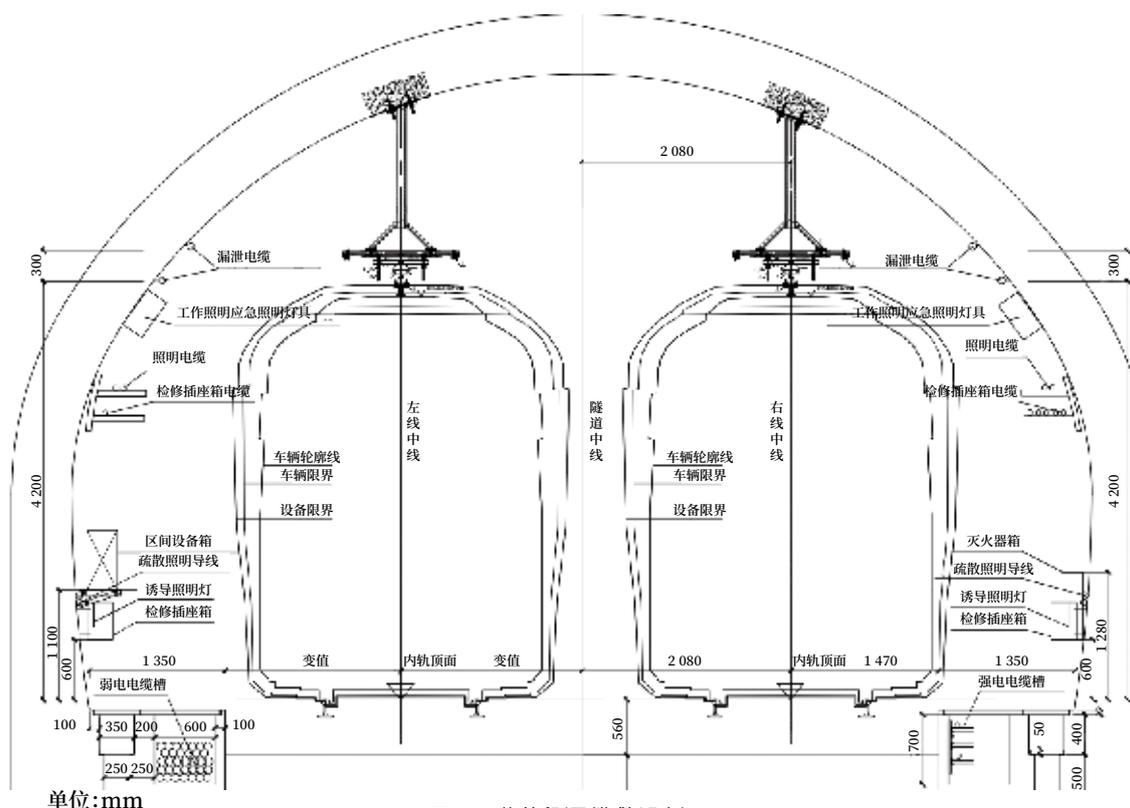


图2 隧道段漏缆敷设剖面

Fig.2 Cutaway diagram of leakage cable laying in tunnel section

3.2 高架段敷设方案

高架段线路两侧均设有护栏/声屏障，护栏/声屏障的立柱一般采用 H 型钢或槽钢，为此利用护栏/声屏障立柱，采用夹具进行漏缆安装。夹具每 1 m 固定一次，漏缆安装高度距离轨面分别为 500 mm、800 mm，与安装在 Tc 车底部的平板天线相对应。在每个立柱的对应高度钻孔，然后通过螺丝和自锁紧螺母将夹具固定在立柱上，再将漏缆穿入夹具。对于双线桥，分别在上/下行两侧敷设。对于单线桥，可仅在弱电侧敷设。以双线桥为例，高架段漏缆敷设剖面如图 3 所示。若线路中间设有

疏散平台，亦可安装于疏散平台下方。

3.3 地面段敷设方案

中国铁路总公司《铁路技术管理规程》（普速铁路部分）184 条规定“接触网支柱不应附挂通信、有线电视等非供电线路设施，特殊情况需附挂时，应经铁路局批准”。接触网支柱之所以不建议附挂设施，主要考虑到对接触网支柱上架设的接触网线、回流保护线以及隔离开关等供电设备的影响，参照此规程，城市轨道交通线路若需挂设，方案需经运营单位批准后实施。这样，按照是否利用接触网支柱可分为两种情况：单独立杆方案和利用接触网支

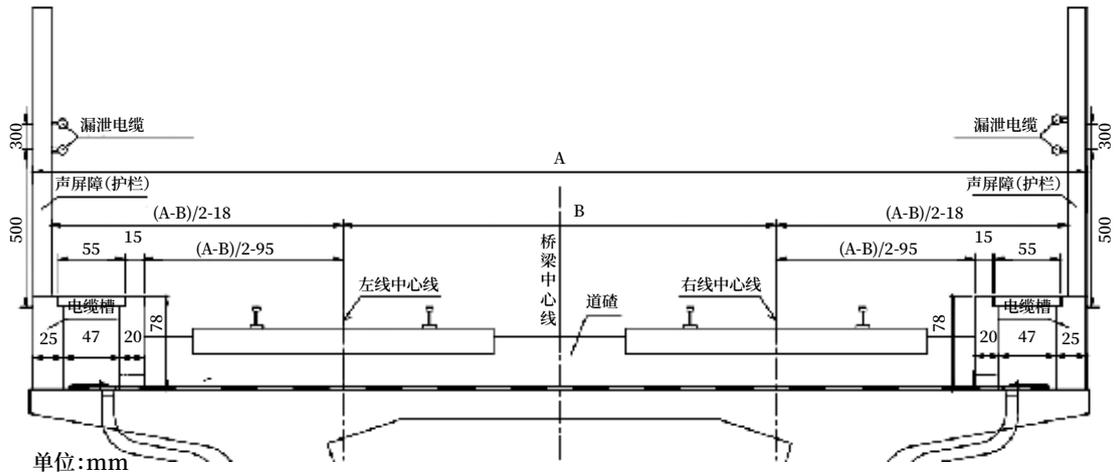


图3 高架段漏缆敷设剖面
Fig.3 Cutaway diagram of leakage cable laying in elevated section

柱与辅助杆方案。

1) 单独立杆方案

以双线线路为例，在线路双侧分别安装漏缆立杆，立杆间距 15 m；杆上以抱箍的方式拉镀锌钢绞线，再在钢绞线上吊挂漏缆进行安装，漏缆安装高度距离轨面分别为 500 mm、800 mm。为平衡钢绞线的拉力和降低倒杆事件的发生，再在连接杆处设置斜拉地锚进行固定。为保障漏缆开孔侧的覆盖区域不被障碍物遮挡，立杆设置在接触网支柱的内侧，并与设备限界保持 50 mm 以上的间隙。

2) 利用接触支柱方案

利用接触网支柱方案经运营单位批准后，可在

利用接触网支柱的基础上辅以局部安装漏缆立杆。轨道交通的接触网支柱间距一般为 40 m 左右，这样在每个接触网支柱中间辅助安装 1 根漏缆立杆，并与接触网立柱保持在同一直线上，此方案可降低立杆的数量。漏缆固定方式与单独立杆方案一致，仍通过拉镀锌钢绞线吊挂漏缆方式。地面段漏缆敷设剖面如图 4 所示。

3.4 车站段敷设方案

车站按站台类型分为侧式站台和岛式站台。侧式站台漏缆沿站台板边缘的侧墙进行安装，漏缆安装高度距离轨面分别为 500 mm、800 mm，与车底天线相对应。安装步骤包括：标记安装位置、钻头打孔、

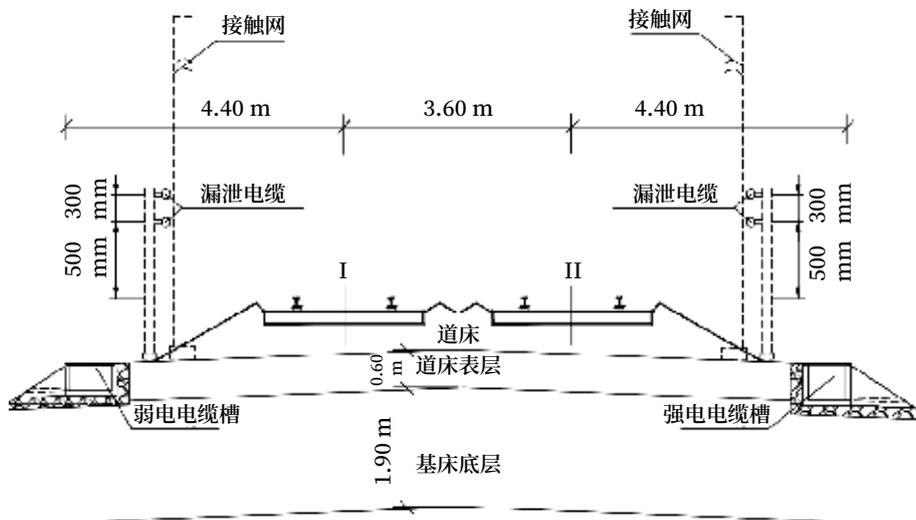


图4 地面段漏缆敷设剖面
Fig.4 Cutaway diagram of leakage cable laying in ground section

植入膨胀螺栓、安装漏缆卡具、卡入漏缆。岛式站台漏缆则安装于外侧墙壁，安装高度距离轨面分别为 4 200 mm、4 500 mm，与车顶天线相对应。以侧式站台为例，车站区段漏缆敷设剖面如图 5 所示。

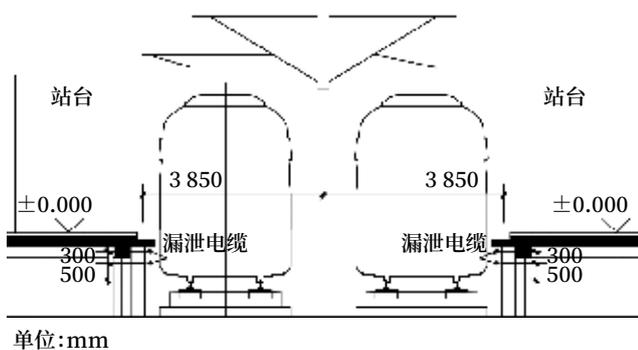


图5 车站段漏缆敷设剖面

Fig.5 Cutaway diagram of leakage cable laying in station section

4 关键技术指标及干扰分析

4.1 关键技术指标

以列车运行控制业务为例，阐述业务性能技术指标。

- 1) 信息单网传输的端到端延迟时间不大于 150 ms 的概率不小于 98%。
- 2) 信息传输丢包率不大于 1%。
- 3) 上 / 下行每路传输速率分别不小于 256 kbit/s。
- 4) 单网通通信中断时间不超过 2 s 的概率不小于 99.92%。
- 5) 连接建立失败概率小于 1%，链路断开概率小于 1%。

4.2 干扰分析

漏缆相比于天线，抗干扰性较好，但同频邻区的干扰仍存在，尤其是车站段小区间的相互干扰。下面将基于本文方案，依照 Keenan-Motley 传播模型对车站段同频干扰进行分析。同频隔离度计算如公式 (1) 所示，其中 f 是频率， D 是车载天线与漏缆间距离， $P \times W$ 是损耗值。

$$Pathloss(\text{dB}) = 32.5 + 20 \times \lg f + 20 \times \lg(D \div 1\ 000) + P \times W \quad (1)$$

1) 岛式站台干扰分析

采用上挂漏缆 - 天顶天线方案，车载天线距离本侧小区漏缆约 2 m，无穿透损耗，则本侧小区路损如公式 (2) 所示。

$$PL_1 = 32.5 + 20 \times \lg 1\ 800 + 20 \times \lg(2 \div 1\ 000) \quad (2)$$

车载天线距离对面小区漏缆约 13.3 m，穿透损耗以 10 dB 计算，则对面小区路损如公式 (3) 所示。

$$PL_2 = 32.5 + 20 \times \lg 1\ 800 + 20 \times \lg(13.3 \div 1\ 000) + 10 \quad (3)$$

$$\text{岛式站台同频隔离度: } PL_2 - PL_1 = 26.4 \text{ dB}$$

根据链路预算边缘的最高解调门限值 8.5，则岛式站台同频隔离度满足要求。

2) 侧式站台干扰分析

采用下挂漏缆 - 车底天线方案，车载天线距离本侧小区漏缆约 2 m，无穿透损耗，则本侧小区路损如公式 (4) 所示。

$$PL_1 = 32.5 + 20 \times \lg 1\ 800 + 20 \times \lg(2 \div 1\ 000) \quad (4)$$

车载天线距离对面小区漏缆约 4.5 m，无穿透损耗，则对面小区路损如公式 (5) 所示。

$$PL_2 = 32.5 + 20 \times \lg 1\ 800 + 20 \times \lg(4.5 \div 1\ 000) \quad (5)$$

$$\text{侧式站台同频隔离度: } PL_2 - PL_1 = 7.1 \text{ dB}$$

侧式站台同频隔离度达不到链路预算边缘要求，需采取小区合并或其他抗干扰措施。

5 结束语

本文通过研究轨道交通改造工程不同场景的漏缆敷设，提出隧道段、地面段、高架段以及车站段的多种场景敷设方式，有效解决了复杂线路情况下漏缆敷设困难问题，可为城市轨道交通改造工程的漏缆敷设提供设计思路。同时在漏缆敷设过程中，亦需注意与隧道、路基、桥梁、接触网等相关专业的配合。对于新型城市轨道交通，如磁悬浮、悬挂式单轨，可在本文的基础上进行扩展分析。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地铁设计

- 规范:GB 50157-2013[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2014.
- [2] 胡燕玲, 黄世泽, 王梦莹, 等. 漏泄电缆在轨道交通无线通信系统中的应用[J]. 铁道通信信号, 2019, 55(7): 83-86.
Hu Yanling, Huang Shize, Wang Mengying, et al. Application of Leaky Cables in Radio Communication for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(7): 83-86.
- [3] 肖威. 地铁控制中心调度大厅专用无线通信系统信号覆盖优化[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(4): 95-99.
Xiao Wei. Optimization of Signal Coverage of Special Wireless Communication System in Dispatching Hall of Metro Control Center[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(5): 95-99.
- [4] 涂岩恺. 无线局域网室内定位关键参数计算[J]. 信息技术, 2013, 37(11): 23-25.
Tu Yankai. Key Parameter Computation of WiFi Indoor Positioning[J]. Information Technology, 2013, 37(11): 23-25.
- [5] 李厚锴. TD-LTE 承载地铁信号无线网络规划方案[J]. 铁路通信信号工程技术, 2017, 14(6): 66-70.
Li Houkai. Wireless Network Planning Scheme of TD-LTE Bearing Metro Signals[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2017, 14(6): 66-70.
- [6] 孙寰宇. 轨道交通车地无线组网技术及干扰分析[J]. 城市轨道交通研究, 2015, 18(4): 51-55.
Sun Huanyu. Analysis of the Interference in Wireless Technology for Metro Train/Ground Wireless Communication System[J]. Urban Mass Transit, 2015, 18(4): 51-55.
- [7] 尹昭. 漏泄同轴电缆车载图像智能检测系统的研究与应用[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(7): 50-53.
Yin Zhao. Application of Onboard Image Intelligent Detection System for Leaky Coaxial Cable[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(7): 50-53.

国外信息

氢燃料列车将在魁北克进行演示

加拿大的一辆阿尔斯通 CoradiaLint 氢燃料电池动车组将于 2023 年 6 月 17 日~9 月 30 日在 Chemin de fer Charlevoix 线路上运行示范客运服务。

沿着圣劳伦斯河在魁北克市郊区的 Parc de la Chute-Montmorency 和 Baie-St-Paul 之间的往返服务由该省、短途线路运营商 Chemin de fer Charlevoix、旅游列车运营商 train de Charlevoix、制氢技术公司 HTEC 和 HarnoisÉnergies 组织, 后者将在其魁北克市工厂生产绿色氢气。本次演示运行的目的是评估在北美市场部署氢牵引所需的步骤。

阿尔斯通美洲地区总裁 Michael Keroullé 在 2 月 3 日表示:“阿尔斯通是第一个在欧洲投入使用氢动力列车的公司, 我们的目标也是成为第一个在美洲投入使用的公司。我们地区只有 1% 的铁路网实现了电气化, 这项技术将提供柴油的替代品。”

CoradiaLint 列车自 2018 年起在德国投入商业服务, 已在 8 个欧洲国家行驶超过 22 万 km。到目前为止, 已经订购了 41 套。阿尔斯通在蒙特利尔的圣布鲁诺-德-蒙塔维尔区开设了一个创新中心, 以开发适应北美市场的混合动力、电池和绿色氢推进。在 CoradiaLint 演示中, 该中心的工程师将与魁北克的研发部门以及电池和氢气行业的合作伙伴合作。

该省省长 François Legault 说:“魁北克将自己定位为可持续交通的专业中心。像阿尔斯通这样有前途的创新不仅能帮助我们实现雄心勃勃的气候变化目标, 而且还能出口到世界其他地方。”

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 王锦编译自: www.railwaygazette.com 2023-02-03)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.02.018

张吉怀高铁沙堤所设置临时限速 引起列车制动问题的探讨

方明亮

(怀邵衡铁路有限责任公司, 长沙 410027)

摘要: 张吉怀高铁沙堤所至张家界西黔张常场联络线上 CTCS-3 转 CTCS-2 级间切换过程中, 设置特定的临时限速时部分车载会触发最大常用制动。针对上述场景, 分析问题成因, 并结合地面、车载设备的匹配关系对解决方案进行探讨。

关键词: 级间切换; 临时限速; 最大常用制动

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)02-0095-06

Discussion on Problem of Train Braking Caused by Temporary Speed Limit Set at Shadisuo Station of Zhangjiajie-Jishou-Huaihua High-speed Railway

Fang Mingliang

(Huaishaocheng Railway Co., Ltd., Changsha 410027, China)

Abstract: In the process of transition from CTCS-3 to CTCS-2 on the connection line between Zhang-jiajie-Jishou-Huaihua high-speed railway Shadisuo station and Zhangjiajie West Qianzhangchang field, when a specific temporary speed limit is set, some onboard equipment will trigger the maximum service braking. In view of the above scenarios, this paper analyzes the reasons behind the problem and solutions are discussed in terms of the matching relationship between ground and onboard equipment.

Keywords: level transition; temporary speed limit; maximum service braking

1 试验场景描述

张吉怀高铁正线列控为 CTCS-3(简称 C3) 等级线路, 既有张家界西黔张常场为 CTCS-2(简称 C2) 车站, 张吉怀高铁通过沙堤所张沙联络线与张家界

西黔张常场连接, 该联络线最高允许速度 80 km/h, 两端衔接的道岔均为 1/18 道岔。C3 转 C2 等级转换预告应答器、执行应答器都设置在联络线上。试验室使用 300T 型车载和 300H 型车载分别对张沙联络线 C3 转 C2 场景进行试验, 除正常场景外, 还增加了跨 YG3-2 应答器设置临时限速、跨 ZX3-2 应答器设置临时限速、侧线限速、进路岔心外方限速、TCC 临时限速检查范围 L1 内设置限速等场景试验。

收稿日期: 2022-07-02; 修回日期: 2023-01-04

作者简介: 方明亮 (1970—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路信号, 邮箱: fml0700@163.com。

张沙联络线总体布局如图 1 所示。

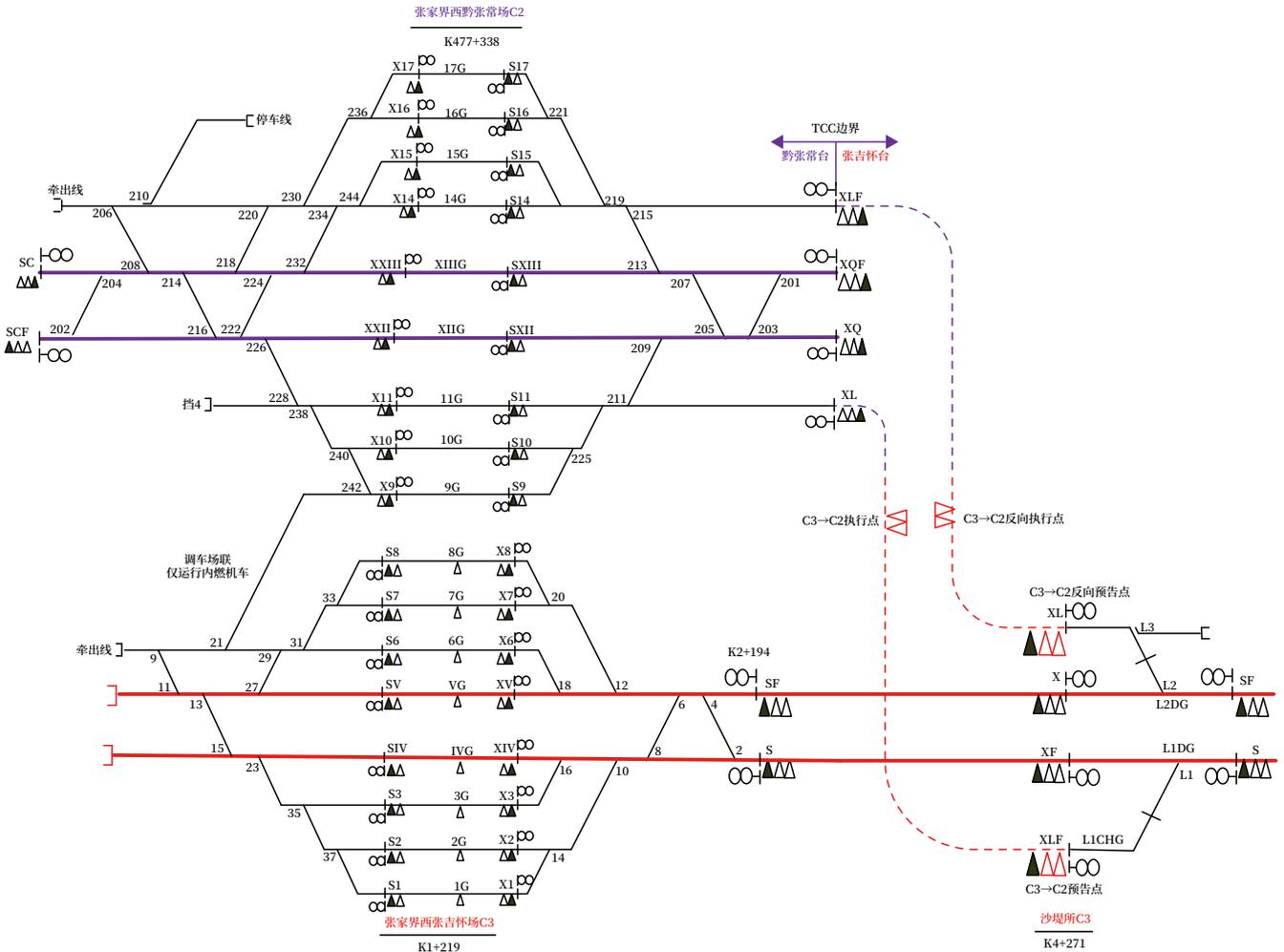


图1 张沙联络线总体布局示意

Fig.1 General layout diagram of Zhangjiajie West Qianzhangchang field-Shadisuo station joint line

2 问题描述及分析

2.1 特殊限速场景1

进路岔心外方限速（上行正向）。沙堤所办理 S → XLF 侧线进路（UU），张家界西黔张常场办理 XL → X11 正线接车进路（U）；在张吉怀正线 K4+326 ~ K4+316 设置 45 km/h 限速（如图 2 中黄色阴影所示）。

现象：300T 型车载收到 YG3-2 预告后允许速度突降进入目标速度监视区（TSM），但是未触发制动，需要司机立刻减速方可不触发制动；300H 型车载试验正常。

原因分析如下。

在正线岔心外方设置限速，车站列控中心设备（TCC）检查 BS 至 XF 信号机间的限速情况，因咽喉区进路上有低于 80 km/h 的限速，TCC 向 BS 应答器发送侧线全进路的临时限速信息。

无线闭塞中心（RBC）按实际限速控车，仅检查进路上的限速情况，发送行车许可范围内的限速。因该限速不在 RBC 发车进路上，RBC 不发送该限速。BS 应答器描述全进路限速为 45 km/h，RBC 行车许可里描述的速度为 80 km/h。由于预告点仍在 C2 曲线的车尾保持 45 km/h 的范围内，300T 车载在经过 YG3-2 点后，开始 C3-C2 曲线比较，

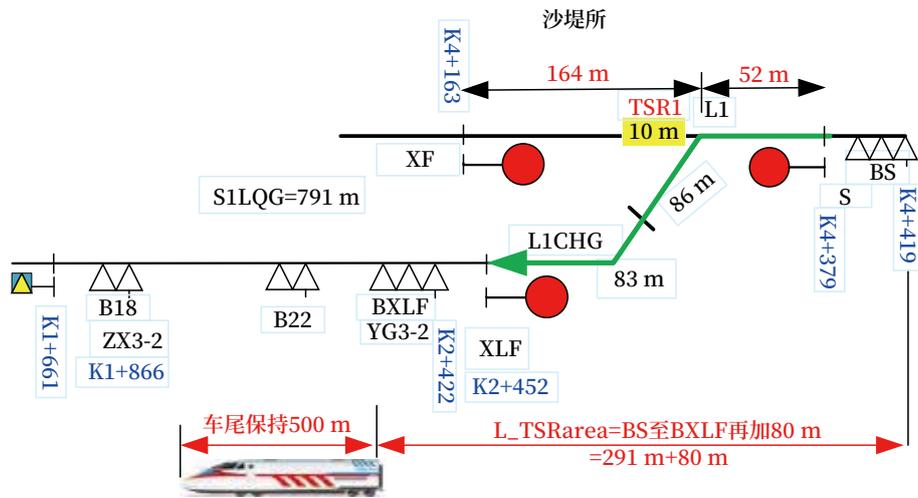


图2 特殊限速场景1示意

Fig.2 Schematic diagram of special speed limit scenario 1

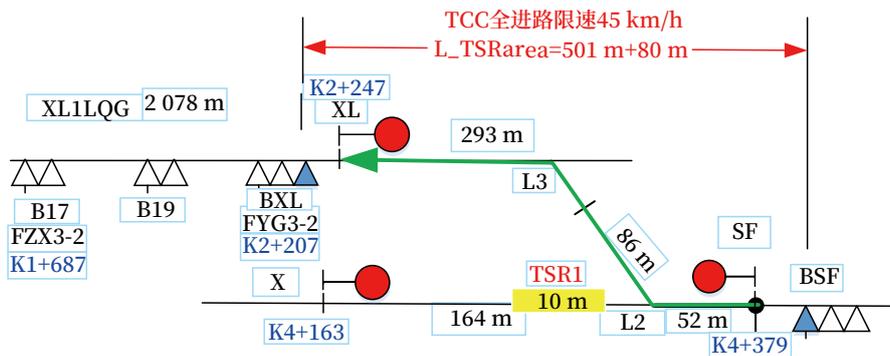


图3 特殊限速场景2示意

Fig.3 Schematic diagram of special speed limit scenario 2

导致降速。

2.2 特殊限速场景2

进路岔心外方限速（下行反向）。如图3所示，沙堤所办理 SF → XL 侧线进路（UU），张家界西黔张常场办理 XLF → X14 正线接车进路（U）；在张吉怀正线 K4+316 ~ K4+326 设置 45 km/h 限速。

现象：300T 型车载收到 YG3-2 预告后触发 B7 制动；300H 型车载试验正常。

原因分析如下。

在正线岔心外方设置限速，TCC 检查 BSF 至 X 信号机间的限速情况，因咽喉区进路上有低于 80 km/h 的限速，TCC 向 BSF 应答器发送侧线全进路的临时限速信息。

RBC 按实际限速控车，仅检查进路上的限速

情况，发送行车许可范围内的限速。因该限速不在 RBC 发车进路上，RBC 不发送该限速。BSF 应答器描述全进路限速为 45 km/h，RBC 行车许可里描述的速度为 80 km/h。由于预告点仍在 C2 曲线的车尾保持 45 km/h 的范围内，300T 型车载在经过 YG3-2 点后，开始 C3-C2 曲线比较，导致 B7 制动。

2.3 特殊限速场景3

TCC 限速检查范围 L1 内，S1LQ 范围外设置限速（L1 = 1 000 m）。

如图4所示，沙堤所办理 S → XLF 侧线进路（UU），张家界西黔张常场办理 XL → X11 正线接车进路（U）；在联络线 K1+432 ~ K1+422 设置 45 km/h 限速。

现象：300T 型车载收到 YG3-2 预告后允许速

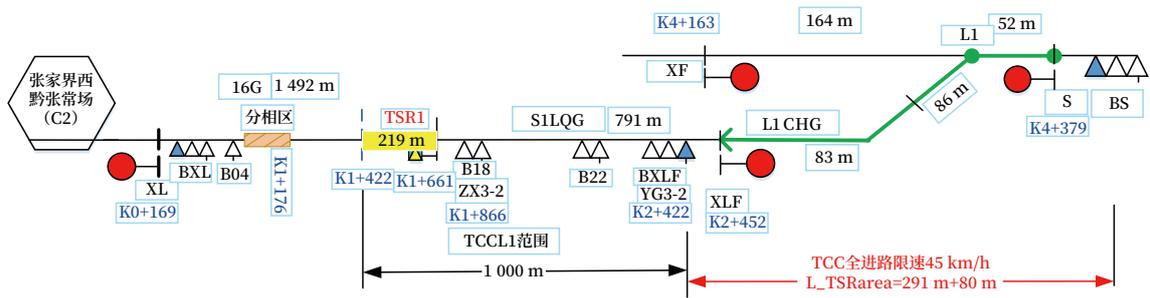


图4 特殊限速场景3示意

Fig.4 Schematic diagram of special speed limit scenario 3

度突降进入 TSM 区，但是未触发制动，需要司机立刻减速方可不触发制动；300H 型车载试验正常。

原因分析如下。

在 L1 范围内设置低于 80 km/h 的限速时，TCC 向 S 进站信号机有源应答器发送侧线全进路限速。

RBC 按实际限速控车，仅检查进路上的限速情况，发送行车许可范围内的限速。因该限速不在 RBC 发车进路上，RBC 不发送该限速。BS 应答器描述全进路限速为 45 km/h，RBC 行车许可里描述的速度为 80 km/h。

由于预告点仍在 C2 曲线的车尾保持 45 km/h 范围内，300T 车载在经过 YG3-2 点后，开始 C3-C2 曲线比较，导致降速。

3 综合分析

3.1 各型车载对等级切换处理逻辑的差异性分析

各型 C3 车载对 C3 → C2 级间转换逻辑处理如下。

1) 300H 型车载、300S 型车载：收到级间转换预告信息后，以转换执行点为目标点、以转换执行点处 C2 速度作为目标速度对列车速度进行控制，控制列车往级间转换点运行。上述试验场景中采用 16 编动车组，车尾保持长度 470 m，因转换执行点已经越过车位保持范围，该点处 C3 和 C2 的控车速度均为 80 km/h，故实验场景中 300H 的车载预告点控车曲线无异常。

2) 300T 型车载：收到级间转换预告信息后，

以转换点为目标点，以预告点处 C2 的速度为目标速度控车。当车头通过 YG3-2 应答器时，因车尾还没离开限速区，预告点 C2 的速度为 45 km/h，300T 车载此刻按照让列车在级间转换点降速至 45 km/h 的曲线控制列车，导致 C3 曲线陡降。

3.2 地面设备对临时限速处理的差异性分析

3.2.1 C3——RBC处理逻辑

《无线闭塞中心设备技术规范》(QCR 715-2019) 5.7.3 和 5.7.13 中规定了 RBC 临时限速的处理逻辑。RBC 处理限速的逻辑是按实际限速情况给出限速命令，检查并发送行车许可范围内的临时限速，但没有 C2 系统中“L1”范围的检查条件。

侧线发车时，RBC 将侧线发车进路及 1LQ 区段作为一个闭塞分区处理。当侧线有限速时，RBC 将限速覆盖整个闭塞分区并发送给列车，列车运行越过反向进站信号机，在 1LQ 区段上仍会收到侧线限速命令。故上述场景 3 中，如果 1LQ 区段范围内设有临时限速，C2 和 C3 在等级切换预告点处的速度同为 45 km/h。

侧向接车时，若进路包含的区段中含有临时限速，则 RBC 会将整个接车进路的限速设置为临时限速。上述场景 1、2 中，若临时限速从靠近岔尖一点的位置起始，则 RBC 会将线路所通过进路（包含 1LQ）范围的限速设置为与 C2 一样的 45 km/h。

3.2.2 C2——TCC处理逻辑

《列控系统临时限速技术规范》(QCR 662-2018)4.1.14 要求正线限速对侧线接发车进路有影响，即咽喉区正线内有限速时，则途经该限速区的

所有进路均应限速。4.2.10 规定, 当侧线区或进路上或 L1 范围内设置有低于 80 km/h 的限速时, 进站信号机应答器发送临时限速值最小的全进路限速报文, L_TSRarea 为进站口应答器自身位置至出站口应答器处加 80 m。故上述场景 3 中出现 C2 列控系统等级切换预告点处的速度为 45 km/h。

4 解决方案

结合上述车载、地面设备对临时限速不同的处理逻辑分析, 综合考虑车地匹配协同的关系, 从管理、技术等不同角度给出上述问题的解决方案。

方案一: 向车务部门提供特殊限速设置说明。

为避免出现场景 1、2 中的现象, 建议在沙

堤所正线 L1DG(K4+379 ~ K4+163) 道岔区段、L2DG(K4+163 ~ K4+379) 道岔区段设置限速时, 限速范围覆盖整个道岔区段。

为避免出现场景 3 中的现象, 建议在张沙联络线上行线设置限速时, 限速起点设置在 S1LQG 内 (K2+452 ~ K1+661)。

方案二: 等级转换预告应答器和执行应答器向张家界西黔张常方向挪动, 挪出 300T 车尾保持范围。同时为满足从 ZX3-2 执行点 MA 的防护距离, 需要把张家界西黔张常场 CBI 进路信息发送给张吉怀 RBC1。如图 5 所示, 张沙联络线上行正向, 把 B18 改为 YG3-2, 新增 B16 做 ZX3-2 执行。

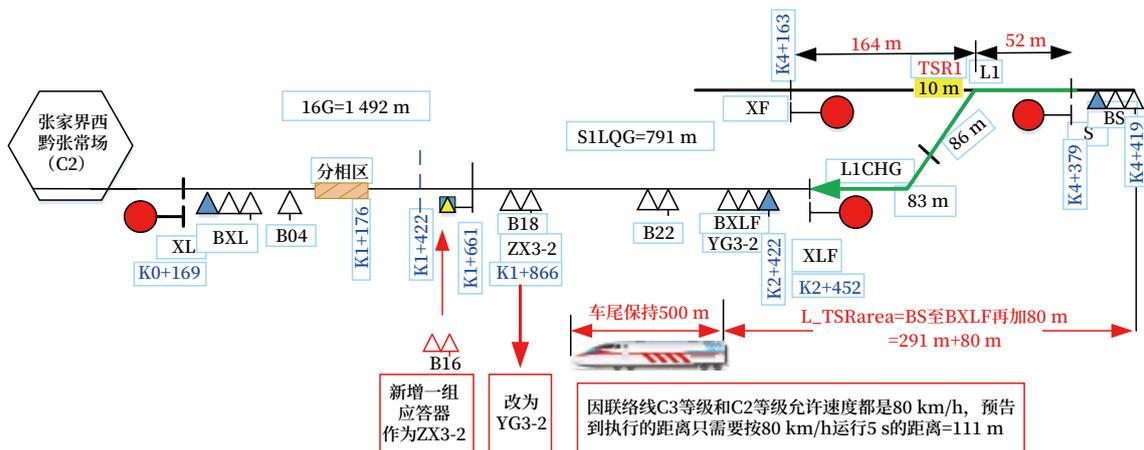


图5 方案二示意

Fig.5 Schematic diagram of scheme 2

但该方案不适用于张沙联络线下行反向, 如果把 YG 应答器向张家界西方向挪出车尾保持后, 联络线长度无法满足应答器布置条件。

5 总结

通过对张沙联络线 C3 转 C2 等级转换场景附加临时限速场景的测试, 发现因 C2 等级下 TCC 对限速的处理和 C3 等级下 RBC 对限速处理的方式不同, 引起上文所述 3 种场景下车载设备制动。其中场景 1 和场景 2 设置限速时要避开岔后单独限速的情况, 建议整区段限速; 场景 3 中的问题可以通过规定限速下达的范围进行回避, 也可以调整级间

切换点位置得到解决。本文中涉及的 3 种场景, 为后续其他类似线路, 特别是联络线上存在 C3 转 C2 等, 进行等级转换位置选择以及级间转换应答器布置提供了参考。

参考文献

- [1] 张伟. 高铁短联络线列控系统方案举例研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (11): 19-23.
- Zhang Wei. Case Study on High-Speed Railway Train Control System Scheme for Liaison Line[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(11): 19-23.

- [2] 王先明, 周艳丽, 张健伟. 特殊场景下列控级间切换方案优化 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (8): 13-18, 31.
Wang Xianming, Zhou Yanli, Zhang Jianwei. Optimization of Transition Scheme between Train Control Levels in Special Scenarios[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(8): 13-18, 31.
- [3] 李晓川. 对于存在进路信号机的站场降级检查范围的讨论 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (2): 108-111.
Li Xiaochuan. Discussion on Scope of Degradation Inspection for Station with Home Signal[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(2): 108-111.
- [4] 胡裕祥, 李莹莹. 客运专线与既有线接口站临时限速方案探讨 [J]. 铁道通信信号, 2012, 48 (5): 11-13.
Hu Yuxiang, Li Yingying. Research on TSR Solution of TCC in the Interface Station between DPL and Existing Lines[J]. Railway Signalling & Communication, 2012, 48(5): 11-13.
- [5] 徐先良, 冯雷, 蒋红军, 等. 列控系统临时限速技术方案优化研究 [J]. 铁道通信信号, 2016, 52 (S2): 35-38.
- [6] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路信号设计规范: TB 10007-2017 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [7] 中华人民共和国国家铁路局. CTCS-2 级列控系统总体技术要求: TB/T 3516-2018 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.
- [8] 中华人民共和国国家铁路局. 列控中心技术条件: TB/T 3439-2016 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.

(上接 82页)

- System Based on Redis[J]. Computer & Digital Engineering, 2020, 48(5): 1222-1226.
- [6] 周旭东. 基于 Redis 分布式存储的负载平衡及性能优化研究 [D]. 南京: 南京邮电大学, 2019.
- [7] 徐鹏飞, 齐刚, 宋坤, 等. 基于 Redis 的双通道实时数据采集系统研究 [J]. 科学技术创新, 2019 (25): 84-85.
Xu Pengfei, Qi Gang, Song Kun, et al. Research on Dual-Channel Real-Time Data Acquisition System Based on Redis[J]. Scientific and Technological Innovation, 2019(25): 84-85.
- [8] 高昕, 黄真. Redis 集群在有轨电车车载系统中的应用 [J]. 现代城市轨道交通, 2018 (2): 18-20, 24.
Gao Xin, Huang Zhen. Redis Cluster Application in Tram Onboard System[J]. Modern Urban Transit, 2018(2): 18-20, 24.
- [9] 姚文华, 侯锡立, 贾云光, 等. 有轨电车信号控制系统技术方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (4): 59-63.
Yao Wenhua, Hou Xili, Jia Yunguang, et al. Technological Scheme of Signalling Control System for Tram[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(4): 59-63.
- [10] 李鹏鹏, 郑扬飞, 刘玉龙. Redis 在即时通讯系统中的应用 [J]. 软件, 2017, 38 (1): 115-119.
Li Pengpeng, Zheng Yangfei, Liu Yulong. The Application of Instant Messaging System Based on Redis[J]. Computer Engineering & Software, 2017, 38(1): 115-119.
- [11] 徐芳芳, 张劲松. 一种基于 Redis 的车辆轨迹信息的获取方式 [J]. 电子设计工程, 2017, 25 (17): 54-57.
Xu Fangfang, Zhang Jinsong. A Method of Obtaining Vehicle Track Information Based on Redis[J]. Electronic Design Engineering, 2017, 25(17): 54-57.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.02.019

动车组进站掉码问题分析及改进措施

何涛, 李建锋, 张晓东

(中国铁路上海局集团有限公司杭州电务段, 杭州 310002)

摘要: 针对动车组在普速车站越过进站信号机内方区段发生掉码并紧急制动问题, 经过对该场景掉码原因从车载数据和地面数据深入分析, 提出延长进站信号机内方第一区段的区段长度的整治建议, 以此为其他涉高车站的设计和施工提供参考, 减少该场景下的动车组掉码情况。

关键词: 机车信号; 动车组; 进站掉码; 普速车站; 列控车载设备

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)02-0101-06

Problem Analysis of Code Missing and Improvement Measures When EMU Entering Stations

He Tao, Li Jianfeng, Zhang Xiaodong

(Hangzhou Signaling & Communication Depot, China Railway Shanghai Group Co., Ltd., Hangzhou 310002, China)

Abstract: For the occurrence of code missing and emergency braking problems when EMU running over the section in rear of a home signal at the conventional speed station, after in-depth analysis of the cause of code missing in this scenario from onboard data and ground data, the paper puts forward the improvement suggestion of extending the length of the first section in rear of a home signal, which can provide reference for the design and construction of other high speed related stations, and reduce the situation of EMU code missing in this scenario.

Keywords: cab signal; EMU; code missing when EMU entering the station; conventional speed station; train control onboard equipment

1 概述

随着高速铁路的不断发展, 列控系统已成为控制列车安全运行的重要设备之一, 其中列控车载设备(以下简称ATP设备)是保证行车安全的关键设备, 特别是能防止列车重、特大事故的发生。地面列控设备向列车不间断地发送相关应答器、轨道电

路等行车信息, 传递列车运行条件, 确保列车安全、持续运行^[1]。

机车信号是ATP设备的重要组成部分, 是铁路行车的凭证, 机车信号出现瞬间“掉码”, 将直接影响到铁路运输的安全和效率。因此, 要针对机车信号瞬间“掉码”的原因^[2-8], 采取相应的解决措施, 有效地解决“掉码”问题, 提高机车信号显示的准确性和可靠性。本文以某普速站(以下简称A站)进站掉码问题进行分析并给出结论和建议, 对减少该特殊场景掉码有很好的理论研究意义, 同时也是

收稿日期: 2021-12-04; 修回日期: 2022-12-27

第一作者: 何涛(1988—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路信号, 邮箱: hetao2011year@163.com。

车载和地面发挥联合分析的成功案例。

2 问题描述

2021年X月X日 20:29, 某动车组运行在

A站X进站后在K318+055处掉码, 掉码时长1 s。掉码位置是越过X进站信号机147 m, 其中区段长度IAG (52 m)、1DG (71 m)、7DG (261 m), 如图1所示。

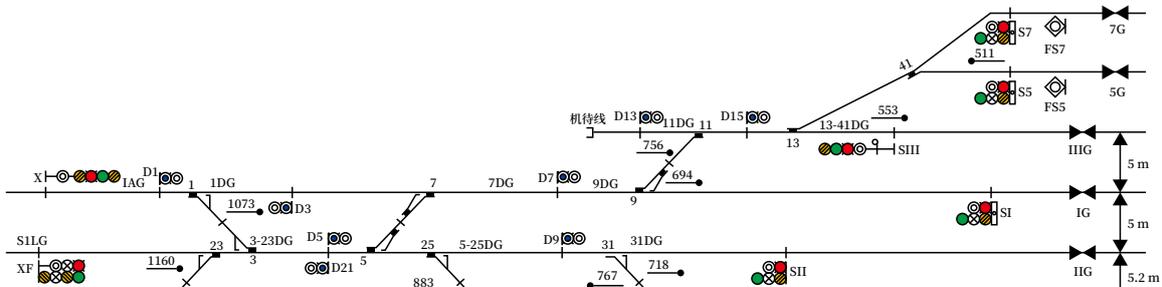


图1 车站平面
Fig.1 Station layout

3 原因分析

3.1 ATP设备记录数据分析

3.1.1 运行记录数据 (PC卡) 分析

在越过进站信号机前, 动车收到L3码, 进

站后经历4 s的解码无效。按照ATP设备软件逻辑, 低频失效超过4 s, ATP输出最大常用制动。20:29:47 ATP设备开始解码, 20:29:51输出最大常用制动, 20:29:52收到L3码后缓解, 后续运行正常, 如图2所示。

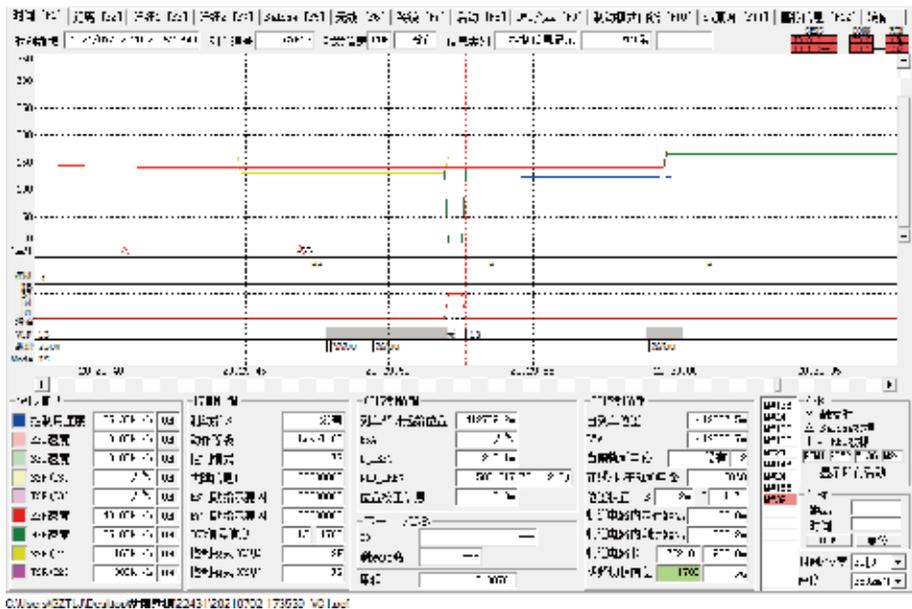


图2 PC卡数据截图
Fig.2 Snapshot of PC card data

3.1.2 A站场景分析

动车越过X进站信号机ATP显示低频解码失效, 一直到7DG处收到L3码后正常, 收到L3码的位置经分析数据离X进站绝缘162 m, 由于IAG

长度52 m, 1DG长度71 m, 可以判断列车在7DG处才接到码, 如图1所示, 判定列车在IAG和1DG都没有收到或解出有效低频。

3.1.3 轨道电路记录数据 (CF卡) 分析

分析 ATP 设备的 CF 卡数据, 发现列车在越过 X 进站信号机后持续解码没有成功, 故 ATP 设备无

法获取有效的低频信息, 如图 3 所示。



图3 CF卡数据截图
Fig.3 Snapshot of CF card data

3.1.4 列控设备动态监测系统 (DMS) 调阅分析

掉码时 DMS 显示机车主机感应电压 1.3 V, 最低处 880 mV (大于门限 100 mV)。前一趟车最低 770 mV, 后一趟车最低 140 mV, 均无掉码情况, 车子掉码位于越过 1DG/7DG 绝缘节 25 m。

3.1.5 综合分析

列车通过 X 进站信号机进站后, 依次通过 IAG (52 m)、1DG (71 m)、7DG (261 m), 列车运行速度为 125 km/h (34.72 m/s), 经计算通过 IAG 的时间为 1.5 s, 通过 1DG 的时间为 2.05 s。按照 ATP 设备软件逻辑, 低频 L2 的解码时间为 1.9 s, 故在 IAG 处由于股道长度太短无法解码。列车进入 1DG 开始重新解码, 正常 1DG 的运行时间为 2.05 s, 超出最大解码时间 (低频 L3 的解码时间上限为 2 s), 推测列车在 1DG 区段上发生低频由 L2 变 L3。ATP 设备又重新开始解码, 在解码过程中因为越过 1DG/7DG 绝缘节再次重新解码, 导致持续 4 s 未能解出有效低频, 造成 ATP 输出最大常用制动。

3.2 地面信号设备分析

A 站正线使用 25 Hz 轨道电路, 叠加列控编码。下行通过进路由 X、XI、SF 3 个发送盒分 3 段发码。X 发送盒给 IAG、1DG、7DG、9DG 发码,

载频为 1700-2。XI 发送盒给 IG 发码。SF 发送盒给发车进路发码。

3.2.1 现场测试情况

现场测试接车进路入口电流, IAG 为 0.9 A、1DG 为 0.92 A、7DG 为 0.64 A、9DG 为 1 A。入口电流符合要求。

3.2.2 信号集中监测分析

监测调阅区段占用开关量如图 4 所示, 占用正常。因车载数据分析怀疑机车信号在 1DG 区段低频码发生跳变 L2 升 L3 所致, 考虑到 A 站列控软件仍使用 138 号规范, 即具有码序保持功能, 因此, 重点排查机车在掉码后收到 L3 码是在占用 IAG、X 进站信号机关掉后, 还是在占用 IAG、X 进站信号机关掉之前。

列控对区间轨道电路和 IAG 的轨道继电器都做了采集, 也都送给集中监测, 通过回放 X 发送盒发送低频码从 L2 升 L3 是因为 7G (五离去) 出清。由此可见, 7G 出清时间为 20:30:15, IAG 占用时间为 20:30:18, XLXJ 关闭时间为 20:30:19, 判断为 X 发送盒码序先升级, IAG 再占用、XLXJ 后关闭。

根据逻辑, 列控通过联锁接收 XLXJ 的关闭情况, 在 XLXJ 关闭前发生的码序升级可以立即实现,

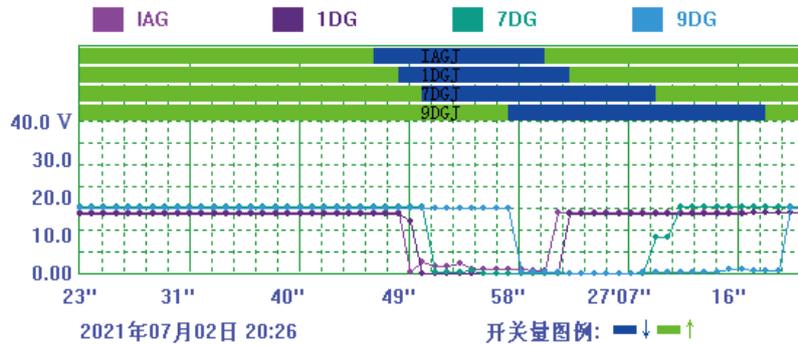


图4 区段占用开关量
Fig.4 Section occupied digital signals

不需要进行码序保持。

3.2.3 列控场景分析

A 站办理 IG 通过进路，列车正线通过 IG，列

车进站后收码异常。查看列控中心数据，列控中心收到联锁发送进站信号机 H 灯后，启动接车进路码序保持功能，如图 5 所示。

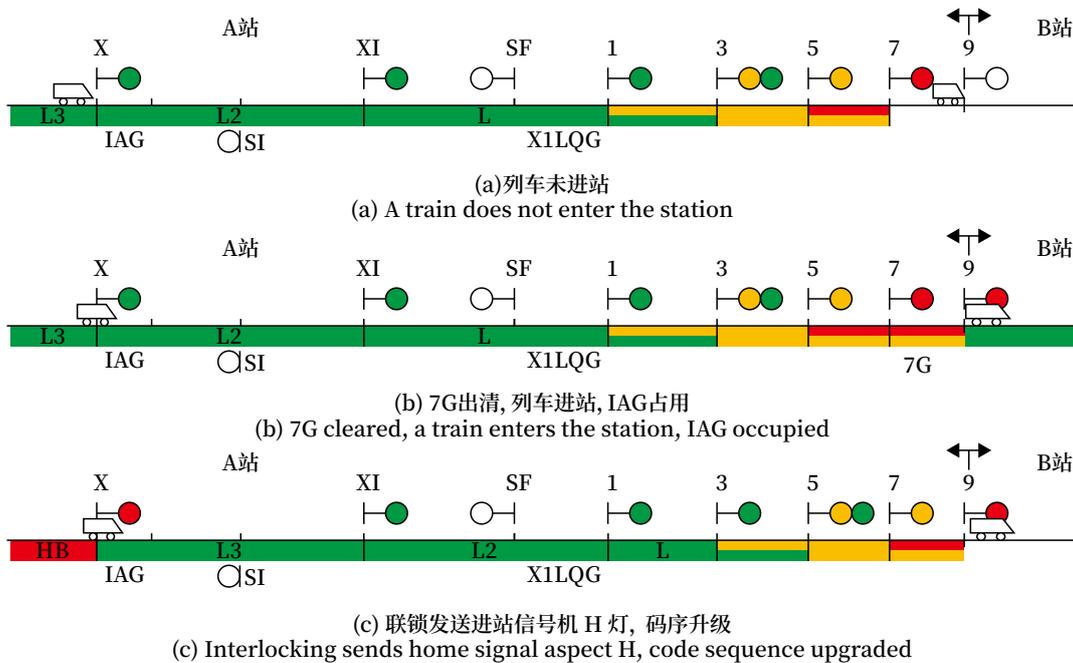


图5 地面场景模拟
Fig.5 Ground scenario simulation

3.2.4 现场验证

到 A 站，使用如下情景进行码序保持功能。

- 1) 开放 X—SF 通过信号；
- 2) 占用 7G (移频柜后关空开)；
- 3) 测试 X、XI 低频为 12.5 Hz (L2)；
- 4) 室外采用分路线占用 X 进站信号机外方区段；
- 5) 室外采用分路线占用 IAG；
- 6) 出清 7G；

7) 测试 X 低频为 12.5 Hz, XI 低频为 21.3 Hz (L5)。

现场验证，说明 X 发送盒实现了码序保持。

3.2.5 列控监测数据分析

结合车载记录反馈，列车在进入到 IAG、1DG 时均收到 L2 (码)，分析为压入 1DG 区段此时发生了码序的升级 (X 进站信号未关闭)，造成 ATP 因低频码的跳变而解码不成功，形成掉码。

X 发送盒码序变化如图 6 所示。



图6 列控监测数据发码变化

Fig.6 Transmission code change of train control monitoring data

20:29:48 X 发送盒发送的低频码为 L2 ;

20:30:00 X 发送盒发送的低频码为 L3 ;

20:30:20 X 发送盒发送的低频码为 F2 占用检查。

列控中心处理过程如下。

1) 20:29:57 7G 出清, 但列控中心三点检查要求出清延迟 3 s 处理, 因此接车进路的 X 发送盒在 20:30:00 发送的低频码升为 L3。

2) 列控中心岔区码序保持的依据为联锁进站信号机关闭条件, 此条件更新时间同为 20:30:00。

因此码序升级与联锁信号机关闭为同周期事件。列控中心正常升级 X 发送盒码序。

3.3 结合车载信号与地面信号综合分析

可知 IAG (52 m)、1DG (71 m)、7DG (261 m), 动车在 7DG 列车运行方向 24 m 处发生掉码, 地面信号和车载信号单独分析均正常。结合车载信号和地面信号的分析结果, 掉码原因分析过程如下。

1) 动车刚进入 IAG 时, 进路码序 L2, 越过绝缘节动车组开始解码, IAG 长度 52 m, 当时进站速度 125 km/h (相当于 34.7 m/s), 动车在 IAG 剩余走行时间 1.5 s, 小于 1.9 s (即小于厂家设置的主机解码 L2 阈值时间), 解码不出, 紧接着越过 IAG/1DG 绝缘节, 重新解码。

2) 1DG 长度 71 m, 动车在 1DG 走行时长 2.05 s, 大于 2 s (低频 L3 最长解码维规上限是 2 s), 正常应该解码成功。但实际进路码序在 1DG 运行的前 0.05 s 至 1.9 s 之间正好由 L2 升级 L3,

动车组需再次重新解码, 由于动车组由重新解码位置至 1DG/7DG 绝缘节的运行时间小于 2 s, 导致解码再次不成功。紧接着越过 1DG/7DG 绝缘节, 动车组再次重新解码。

3) 动车组在 7DG 运行至 24 m 处, 进站后解码的总用时间超过 4 s (维规规定成功解码阈值小于 4 s), 发生掉码, 输出制动命令。

4 结论和改进措施探析

4.1 结论

该站动车组在越过进站信号机后, 由于第一个区段设置较短, 速度快 (运行时间低于 1.9 s), 不满足解码条件; 以及第二个区段低频码序发生跳变现象 (符合列控规范), 导致 ATP 设备在 2 s 内再次未能解出有效的低频信息; 动车组运行至第 3 个区段, 因解码总时长超过维规设计规范要求要求的 4 s, 发生掉码并输出制动停车。

4.2 改进措施

经过深入分析, 考虑以上因素, 建议设计单位在运行 250 km/h (约等于 69.5 m/s) 设计新线建设时, 将车站进站信号机内方第一区段设计延长至 139 m, 以满足最高速度时 2 s 能解码成功的最低要求, 或优化车载逻辑。

5 总结

针对该站动车组在越过进站信号机第二个区段低频码序发生跳变现象, 在第三个区段发生掉码问

题, 经过对该场景掉码原因深入分析, 提出延长进站信号机内方第一区段的区段长度的建议, 以此为设计和施工提供参考, 目的是减少该特殊场景下的动车组掉码情况。

参考文献

[1] 张耀回, 尹金光, 欧阳毅. 机车信号掉码故障分析处理 [J]. 铁道通信信号, 2008, 44 (3): 25.
Zhang Yaohui, Yin Jinguang, Ouyang Yi. Analysis and Treatment of Locomotive Signal Code Drop Fault[J]. Railway Signalling & Communication, 2008, 44(3): 25.

[2] 陈文汗, 陈鹏. 动车组瞬间掉码原因分析及解决办法 [J]. 铁道通信信号, 2009, 45 (2): 39.
Chen Wenhan, Chen Peng. Cause Analysis and Solution of Instant Code Drop of EMU[J]. Railway Signalling & Communication, 2009, 45(2): 39.

[3] 俞兴元. 机车信号掉码和串码故障的常见原因及查找方法 [J]. 上海铁道科技, 2013 (2): 32-33.
Yu Xingyuan. Common Causes and Search Methods of Locomotive Signal Code Drop and String Code Fault[J]. Shanghai Railway Science & Technology, 2013(2): 32-33.

[4] 曲子贤. ZPW-2000A 移频机车信号掉码和窜码问题分析与处理 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2014, 11 (2): 56-57, 70.
Qu Zixian. Analysis and Processing of Problems

of Code Missing and Alternating of ZPW-2000A Frequency Shift Cab Signals[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2014, 11(2): 56-57, 70.

[5] 霍黎明. 两种典型动车所动车组掉码原因分析 [J]. 铁道通信信号, 2019, 55 (2): 28-30.
Huo Liming. Analysis of Two Kinds of Typical EMU Code Missing at Depot[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(2): 28-30.

[6] 元鸿云, 赵耀, 刘颖, 等. 德州站机车信号掉码问题的分析及解决对策 [J]. 铁道通信信号, 2009, 45 (12): 28-29.
Yuan Hongyun, Zhao Yao, Liu Ying, et al. Analysis and Solution of Code Drop Problem of Locomotive Signal in Dezhou Station[J]. Railway Signalling & Communication, 2009, 45(12): 28-29.

[7] 胡细东. 分路不良造成机车信号掉码故障分析与电路改进 [J]. 铁道通信信号, 2020, 56 (1): 39-41.
Hu Xidong. Fault Analysis of Cab Signal Code Missing Caused by Bad Shunting of Track Circuit and Circuit Improvement[J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56(1): 39-41.

[8] 刘亚希, 卢迎飞, 陈聪. 动车组掉码问题分析 [J]. 铁道通信信号, 2021, 57 (5): 32-34.
Liu Yaxi, Lu Yingfei, Chen Cong. Analysis of EMU's Code Missing[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(5): 32-34.

(上接 88页)

Rapid Rail Transit, 2021, 34(3): 146-152.

[6] 付保明, 梁君, 张宁. 苏州轨道交通集团智能客服系统设计与实现 [J]. 城市轨道交通, 2022 (5): 53-56.
Fu Baoming, Liang Jun, Zhang Ning. Design and Implementation of Intelligent Customer Service System of Suzhou Rail Transit Group[J]. China

Metros, 2022(5): 53-56.

[7] 陈坚, 纪柯柯, 汤昌娟. 出行即服务 MaaS 系统发展研究综述 [J]. 公路与汽运, 2021 (6): 29-36, 54.
Chen Jian, Ji Keke, Tang Changjuan. Review on the Development of Travel as a Service MaaS System[J]. Highways & Automotive Applications, 2021(6): 29-36, 54.

加强行业合作：UIC和欧洲铁路网签署谅解备忘录

欧洲铁路网 (Rail Net Europe, RNE) 和 UIC 将开展更加密切的合作, 为更高效、更有竞争力、更加数字化、更具有可持续性的欧洲铁路系统做出贡献。

RNE 是由欧洲铁路基础设施管理者组成的协会, 在运力管理、运输管理、走廊管理和 IT 领域, 欧洲铁路网使其成员的国际流程相互协调, 重点关注数字化解决方案, 从而支持与国际铁路运输相关的运营流程。

2023 年 1 月 25 日, RNE 主席保罗·玛扎陶德 (Paul Mazataud) 和 UIC 总干事弗朗索瓦·达韦纳 (François Davenne) 在巴黎 UIC 总部签署了一份谅解备忘录, 正式确定双方将加强合作。

双方的合作关系将充分利用双方的优势, 从而推动铁路行业的创新和数字化转型。

UIC 与 RNE 合作的优先事项如下:

* 改善运力管理: 通过在“国际时刻表编制流程重新设计”计划 (为实现智能运力管理的时刻表重新设计项目 (TTR for Smart Capacity Management)) 中开展合作, 改善铁路行业的运力管理, 从而在从出发地到目的地的过程中, 确保有效地规划跨境运力, 并且向市场提供最大程度的可用运力, 也提供以市场为导向的高质量运力产品。

* 改善运输管理: 通过在“铁路数字平台 (DP-Rail)”项目中开展合作, 改善运输管理。该项目使铁路货运生态系统中的不同利益相关方能够无缝交换数据。此外, 通过投资“语言计划”改善运输管理, 该计划旨在消除跨境列车运营中的语言障碍。

* 为一体化系统方法做出贡献: 与欧洲铁路联合执行体 (Europe's Rail Joint Undertaking, EU-Rail) 保持一致, 为一体化系统方法做出贡献。欧洲铁路联合执行体旨在为欧洲客运和货运业务提供运力高、灵活、支持多式联运、可持续、可靠和一体化的欧盟铁路网。

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 王冲翻译自: <https://uic.org/com> 2023-01-05)

阿尔斯通获得捷克ETCS合同

捷克铁路远程通信公司 (ČD-Telematika) 与阿尔斯通公司签署两份协议, 这些协议涉及为 7 列 680 型摆式列车和 66 列 471 型电力列车提供欧洲列车控制系统 2 级 (ETCS-2 系统)。

两份协议全都要求阿尔斯通公司交付 ETCS 系统, 包括 ETCS 解决方案的设计以及执行。ETCS 系统还将集成本国功能, 以便列车在捷克共和国和斯洛伐克范围内运行。

捷克铁路远程通信公司董事长扬·霍布扎 (Jan Hobza) 表示, “捷克铁路远程通信公司属于为列车改装欧洲列车控制系统 (ETCS) 的领先企业。我们非常高兴作为提供 ETCS 系统的领先企业的阿尔斯通公司与我们携手, 参与改造捷克铁路公司两个主要系列的列车, 就是 680 型摆式列车和又称“CityElefant”的 471 型列车”。

ETCS-2 系统支持连续数字无线通信, 列车运行基于轨旁

系统实现的信号闭塞系统的占用检测功能。这种系统实现最高等级的安全防护, 并且支持在没有轨旁信号机或者取消轨旁信号机的情况下提高运输能力。ETCS-2 系统最初设计用于协调跨境铁路交通, 可以在完全确保安全性的前提下提高列车速度、准点率和运能。ETCS-2 最为先进的版本 (基线 3) 可以提供最优制动曲线, 以便实现最佳运营表现, 并且提高乘客舒适度。这个版本还可改善里程计性能, 允许司机严格按照 EN50129 规定的最高安全等级 SIL4 选择恰当列车速度。

作为阿尔斯通公司的全球卓越中心的比利时沙勒罗瓦 (Charleroi) 工厂将会负责各个信号系统的工程以及车载设备的交付。阿尔斯通公司还将提供为期 10 年的维护服务, 包括备品备件以及维修。

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 刘旻翻译自:

www.railwaypro.com 2023-02-07)



《铁路通信信号工程技术》由中国铁路通信信号集团有限公司主管，北京全路通信信号研究设计院集团有限公司主办，在铁路电务科研、设计、施工及维修等单位有较大影响，深得科技人员的好评。经国家新闻出版总署批准，自2005年12月起面向国内外公开发刊。国内统一连续出版物号：CN11-5423/U。国际标准连续出版物号：ISSN1673-4440。本刊是中国学术期刊综合评价数据库统计刊源期刊；RCCSE中国准核心学术期刊；日本科学技术振兴机构数据库(JST)收录期刊；EBSCO学术数据库收录期刊；中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊；中国学术期刊(光盘版)全文收录期刊；中文科技期刊数据库(全文版)收录期刊；中国学术期刊影响因子年报统计源期刊；超星期刊出版平台全文收录；中国铁道学会通信信号分会指定期刊；国家新闻出版广电总局认定的A类学术期刊。

主要内容是围绕铁路和城市轨道交通通信信号技术方面的科研创新、重点工程、优秀设计、国内外先进技术进行论述、探讨和追踪报导；对广大通信信号科技人员、高等院校师生、施工单位和企业设计施工人员，在新技术研发和工程实践中总结的科技成果进行交流；及时报导相关政策信息、标准信息 and 科技发展动态等。设有：学术探讨、技术创新、重点工程、城轨交通、技术交流、知识讲座、综述·评述、国外信息、行业动态等栏目。

投稿方式：

期刊官网投稿：<https://rsce.crsd.com.cn>

邮箱投稿：rsce@crsd.com.cn

知网投稿：<http://www.tlx.cbpt.cnki.net/WKD>

地址：北京市丰台科技园区汽车博物馆南路1号院中国通号B座

邮编：100070

电话：010-51865951

传真：010-51841598

网址：www.crsd.com.cn

订阅方式：

邮局订阅：各地邮局均可办理订阅手续，邮发代号80-532

编辑部订阅：e-mail或电话至编辑部

订 价：每期10元，全年(12期)120元

ISSN 1673-4440
CN 11-5423/U



<https://rsce.crsd.com.cn>

扫码打开期刊官网，
阅读、下载本刊内容

ISSN 1673-4440



9 771673 444231

邮发代号：80-532 国内定价：10元/期