

城市轨道交通列车融合检测主机系统研究*

陈 志 吕红强

(中车南京浦镇车辆有限公司, 210031, 南京)

摘 要 [目的] 为了保障城市轨道交通的安全运营, 满足对轨道障碍物以及弓网、走行部和轨道等关键部件的检测要求, 以及解决当前各检测子系统相互独立、整车集成冗余的问题, 需对列车融合检测主机系统进行研究。[方法] 对主动障碍物检测子系统、弓网检测子系统、走行部检测子系统和轨道几何动态检测子系统进行融合设计, 提出一种融合检测主机系统, 其中: 主动障碍物子系统直接通过交换机接入融合主机 AI(人工智能)板; 其余各子系统先接入前置主机进行数据预处理, 再通过交换机接入融合主机的 AI 板。[结果及结论] 该系统能够实时监测列车的运行状态和运行环境, 及时发现潜在安全隐患并发出预警, 为城市轨道交通的安全运营提供保障; 与现有其他独立检测子系统相比, 该系统打破了各检测子系统之间的壁垒, 简化了整车集成, 能缓解车载设备冗余问题, 节约列车的整体功耗, 降低系统成本, 提高系统兼容性和可扩展性, 以及提升系统配置、维护和监控等的效率。

关键词 城市轨道交通; 列车; 融合检测主机系统

中图分类号 TP391: U231

DOI:10.16037/j.1007-869x.2025.01.055

Research on the Integrated Detection Host System of Urban Rail Transit Trains

CHEN Zhi, LYU Hongqiang

(CRRC Nanjing Puzhen Co., Ltd., 210031, Nanjing, China)

Abstract [Objective] In order to ensure the safe operation of urban rail transit, meet the detection requirements of track obstacles and key components such as pantograph-catenary, running gear and track, and solve problems of the detection subsystems independent of each other and the vehicle integration redundancy, it is necessary to conduct research on the integrated detection host system of trains. [Method] The subsystems of the active obstacle detection, pantograph-catenary detection, running gear detection, and track geometry dynamic detection are designed in an integrated way, and an integrated detection host system is proposed. Specifically, the active obstacle detection subsystem is directly connected to the AI (artificial intelligence) board of the integrated host through a

switch, and each of other subsystems is first connected to a front-end host for data preprocessing, and then connected to the AI board of the integrated host through a switch. [Result & Conclusion] The proposed system can monitor the real-time running status and operating environment of the train, promptly detect potential safety hazards and issue early warnings, thus providing guarantees for the safe operation of urban rail transit. Compared with other existing independent detection subsystems, the proposed one breaks down the barriers between detection subsystems and simplifies the vehicle integration. It can alleviate the on-board equipment redundancy, save the overall power consumption of the train, reduce system costs, ultimately improving system compatibility and extensibility, as well as the efficiency of system configuration, maintenance and monitoring.

Key words urban rail transit; train; integrated detection host system

城市轨道交通系统在保障乘客日常出行有序方面扮演着举足轻重的角色, 故而保障列车安全运营显得至关重要。目前, 许多学者对列车安全相关技术展开了研究。文献[1]提出了能实现车级、轨旁级和中央级主动障碍物检测的系统, 该系统不依赖于信号系统, 能独立实现障碍物检测、预警和防护; 文献[2]以激光传感器、红外相机、面阵相机和线阵相机作为数据采集设备, 实现了对列车走行部自动式检测, 能做到列车在途、实时检测; 文献[3]使用激光雷达对非特定障碍物检测, 能达到较好的检测效果; 文献[4]提出一种基于卷积神经网络的自动化检测算法, 对小型障碍物有良好的检测效果。此外, 还有关于轨道检测^[5]、隧道检测^[6-7]等的相关研究。这些研究的落地应用体现在: 当前主流列车配置了弓网检测系统、走行部在线监测系统、轨道几何动态检测系统等多型设备。各种检测系统有助于提高列车运行安全性^[8], 但目前各检测系

* 国家重点研发计划项目(2022YFB4300501)

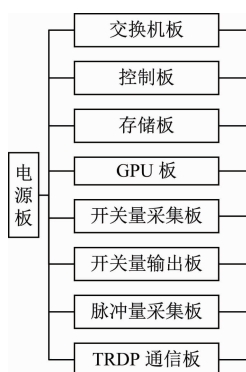
统相互独立,由不同的厂家提供,设备规格多,组网方式多,接口不统一,通信协议不开放,导致列车设备冗余多,安装难,调试难,功耗高。随着轨道交通系统智能化程度不断提高,这种矛盾将愈加突出^[9-10],因此,需要对列车相对独立的各种检测系统进行融合设计,实现接口标准和管理方式的统一,以及采集信息的集中处理和管理,进而极大简化整车集成,从而节约列车的整体功耗。

本文提出一种融合检测主机系统,以主动障碍物检测、弓网检测、走行部检测、轨道几何动态检测作为子系统,保障列车安全运行的同时,打破各检测子系统之间的壁垒。

1 列车融合检测主机系统方案

1.1 系统架构

融合检测主机系统包括主动障碍物检测子系统、弓网检测子系统、走行部检测子系统和轨道几何动态检测子系统。为实现各子系统的融合设计,主动障碍物检测子系统外设通过交换机接入融合检测主机的 AI(人工智能)板,同时,弓网检测子系统、走行部检测子系统和轨道几何动态检测子系统的外设设备先接入前置主机,再通过交换机接入主机的 AI 板和 CPU(中央处理器)板,前置主机仅具有供电、数据采集、通信转换等简单功能。融合检测主机系统拓扑图如图 1 所示。



注:GPU 为图形处理单元;TRDP 为列车实时数据协议。

图 1 融合检测主机系统拓扑图

Fig. 1 Topology diagram of the integrated detection host system

1.2 子系统功能

1.2.1 主动障碍物检测子系统

为了提高融合检测主机系统检测的准确性和可靠性,主动障碍物检测子系统融合激光和视觉进

行数据采集,并且采取缓冲和减振措施,保证行驶工况下采集的数据质量。利用深度学习 AI 算法提取轨行区域、轨道障碍物特征,实现精准检测、主动预警,为列车运行提供安全保障。该子系统功能包括:轨行区识别,轨行区障碍物及其距离识别,轨旁红绿灯识别,系统状态监测和故障诊断、记录功能。

该子系统能够在列车运动状态下的不同区间(直线段、曲线段、坡道)正确识别前方不同光照强度下不同颜色、形状、大小的障碍物;在直线段长 215 m 处仍能够获取较清晰的画面质量,保证障碍物探测距离;传感器结构经过特殊加强和缓冲处理,降低列车高速行驶时产生的振动干扰。

1.2.2 弓网检测子系统

弓网检测子系统利用红外成像技术检测受电弓及接触网温度,利用双目视觉技术分析接触线磨损和弓网动态几何参数,利用紫外探测技术实现燃弧检测,利用图像识别技术识别受电弓结构异常,从而及时挖掘弓网动态运行缺陷及故障隐患信息,实现弓网在线检测、弓网缺陷在线报警等功能。

该子系统设备包括 1 套全功能弓网动态在线检测设备和多套弓网动态在线检测设备。全功能弓网动态在线检测设备安装于列车上,实时检测分析接触网几何参数、弓网燃弧参数、接触网关键悬挂高清图像、硬点及接触力,为接触网检修后的动态复核提供指导依据。将弓网检测子系统终端监测设备所监测到的数据传输至列车上的智能综合监测系统,并对数据进行分析处理。弓网动态在线检测设备安装于除全功能在线监测设备所监控的受电弓外的其他受电弓处,将弓网视频数据实时传入司机室内的 CCTV(闭路电视)监控屏,通过车载在线视频监控方式,监控各受电弓的状态。弓网动态在线检测设备主要由接触网动态几何参数检测子系统、弓网燃弧检测子系统及接触网关键悬挂检测子系统三部分组成,主要用于对接触网动态几何参数、弓网动态关系、接触网关键悬挂高清图像等接触网动态参数及状态进行全方位、多角度检测。

1.2.3 走行部检测子系统

走行部检测子系统采用复合传感器采集列车走行部的冲击、振动、温度数据,利用这 3 个变量对轴箱轴承、齿轮箱轴承、电机轴承、传动齿轮、车轮踏面进行实时监测,实现被监测部件的自动实时故障诊断和分级报警,保障列车运营安全,从而指导状态维修。复合传感器安装示意图如图 2 所示。

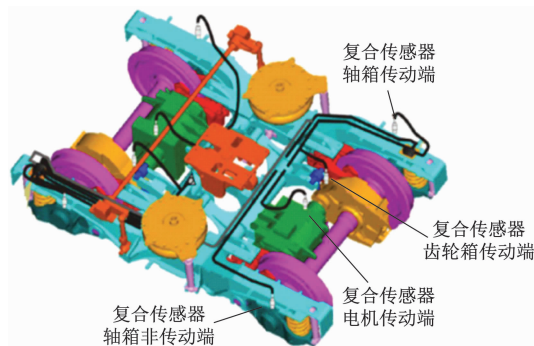


图 2 复合传感器安装示意图

Fig. 2 Installation diagram of composite sensors

该系统采用复合传感器实时采集走行部所监测部件的温度、振动信号,温度和振动信号经前置处理器预处理后,再经以太网发送给智能主机,主机对其进行分析处理以识别轴箱等部件的故障状态并上报告警。智能主机可将采集的温度和振动信号原始数据信息和分析结果发送至指定地面服务器做进一步分析处理,实现走行部的健康管理。若发现列车走行部故障险情时,及时上报告警。

1.2.4 轨道几何动态检测子系统

轨道几何动态检测子系统设备分为车底采集单元和车内处理单元。车底采集单元主要器件安装在整体检测梁体内,检测梁固定在转向架预留的安装接口上,内部包含 2D 激光测量组件、惯性包组件和 RFID(射频电子标签)。在检测梁附近的车底位置、轴箱上安装横向、纵向加速度传感器,分别用于检测车体加速度和轴箱加速度。车内处理单元安装于检测梁对应的车厢电器柜内,主要包括轨道几何参数分析主机、数据箱、电源箱、控制箱和交换机等。

该系统能在各种速度条件下准确完成检测,主要检测内容包括:轨距、左右轨向、超高、曲率等轨道几何参数;车体振动横向、垂向加速度;车辆的运行距离;车辆的运行速度;接收同步定位系统发送的里程信息,并能根据设定的轨道几何参数超限标准自动进行超限判断。此外,还可实现轨道全断面检测功能和钢轨波磨检测功能。

1.3 系统优势

1) 统一“接口”标准:通过共用通信资源,有效减少线缆及主机壳体的成本投入;有利于子系统核心业务模块的创新与优化;可降低系统成本。

2) 积木式拼接融合:各子系统的可替代性强;可根据需要定制、添加或裁剪各子系统功能及对应

硬件设备;系统兼容性和可扩展性强。

3) 便捷综合管理:可节省各子系统独立维护工具的研发投入,使得子系统业务模块的配置管理和升级维护更便捷,从而实现对整个系统或各子系统的有效配置、维护、监控等管理。

2 融合检测主机系统实测与应用

2.1 系统简介

新一代智能城际(市域 C 型)动车组标配区域的媒体控制系统,包括融合检测主机(见图 3)、交换机及各检测子系统设备。检测子系统通过各自设备检测、采集数据,将获取的数据通过以太网传输至同一主机分析、处理,并将结果发送至车辆网络和终端,实现对各检测目标的实时监测、诊断及报警。

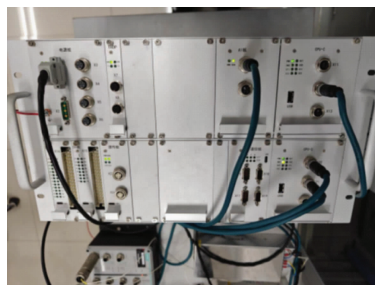


图 3 融合检测主机实物图

Fig. 3 Picture of the integrated detection host

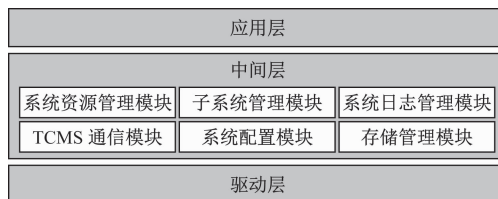
2.2 系统应用

融合检测主机系统构架(见图 4)由以下三层组成:

1) 驱动层。配备了万兆驱动与底层通信支持模块,并集成了通用的深度学习环境和加速框架。

2) 中间层。通过 Linux 系统调度插件,实现各子系统的程序调度。

3) 应用层。使用 SHELL 脚本启停各子系统的应用,实现对各子系统的便捷管理。



注:TCMS 为列车控制与管理系统。

图 4 融合检测主机系统构架

Fig. 4 Architecture of the integrated detection host system

3 结语

本文设计了一种融合检测主机系统,实现了主动障碍物检测子系统、弓网检测子系统、走行部检测子系统和轨道几何动态检测子系统的融合,解决了列车设备冗余多、安装难、调试难等问题。本文研发的融合检测主机系统至今稳定运行。

参考文献

- [1] 戎志立,于苡健.城市轨道交通主动障碍物检测预警防护系统研究[J]. 工程建设与设计, 2022(10): 113.
RONG Zhili, YU Yijian. Research on active obstacle detection early warning protection system for rail transit[J]. Construction & Design for Engineering, 2022(10): 113.
- [2] 邬春晖,夏志成,高一凡,等.城轨列车走行部地面检测系统研究与设计[J]. 都市快轨交通, 2021, 34(4): 69.
WU Chunhui, XIA Zhicheng, GAO Yifan, et al. Research and design of ground monitoring system for metro vehicle running gears[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2021, 34(4): 69.
- [3] 沈拓,钱沿佐,谢兰欣,等.考虑反射强度的全自动运行列车障碍物检测算法研究[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2022, 50(1): 6.
SHEN Tuo, QIAN Yanzuo, XIE Lanxin, et al. Obstacle detection algorithm of fully automatic train considering reflection intensity[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2022, 50(1): 6.
- [4] 张林,沈拓,张轩雄.城市轨道交通小型障碍物检测[J]. 上海理工大学学报, 2021, 43(5): 468.
ZHANG Lin, SHEN Tuo, ZHANG Xuanxiang. Detection of small obstacles in urban rail transit[J]. Journal of University of Shanghai for Science and Technology, 2021, 43(5): 468.
- [5] 茅迥,高琦,梁师嵩.城轨列车智能综合检测系统的研究与应用[J]. 机车车辆工艺, 2023(1): 12.
MAO Xun, GAO Qi, LIANG Shisong. Research and application

for intelligent integrated inspection system of urban rail train[J].

Locomotive & Rolling Stock Technology, 2023(1): 12.

- [6] 黄丹樱,韦强,朱柳毅,等.智能隧道检测车的现状及改进策略[J]. 现代城市轨道交通, 2022(11): 7.
HUANG Danying, WEI Qiang, ZHU Yeyi, et al. Current situation and improvement strategy of intelligent tunnel inspection vehicles[J]. Modern Urban Transit, 2022(11): 7.
- [7] 郑好,孙心洁.浅谈国内外公路隧道检测车发展现状与研究[J]. 汽车实用技术, 2020, 45(3): 223.
ZHENG Hao, SUN Xinjie. A brief introduction to the development status and research of highway tunnel inspection vehicles at home and abroad[J]. Automobile Applied Technology, 2020, 45(3): 223.
- [8] SONG H, SHEN T, WANG W. Train-centric communication-based close proximity driving train movement authority system[J]. IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, 2018, 10(3): 22.
- [9] 刘洋,蒋建辉.多系统融合技术在轨道交通全自动运行车辆中的应用研究[J]. 内燃机与配件, 2023(8): 76.
LIU Yang, JIANG Jianhui. Research on the application of multi-system fusion technology in the fully automatic operation of rail transit vehicles[J]. Internal Combustion Engine & Parts, 2023(8): 76.
- [10] 黄涛,吕红强,王维.基于多技术融合的地铁列车障碍物检测系统设计[J]. 制造业自动化, 2016, 38(8): 59.
HUANG Tao, LYU Hongqiang, WANG Wei. Design of subway train obstacle detection system based on multi-technology integration[J]. Manufacturing Automation, 2016, 38(8): 59.
- 收稿日期:2024-06-13 修回日期:2024-07-15 出版日期:2025-01-10
Received:2024-06-13 Revised:2024-07-15 Published:2025-01-10
- 通信作者:陈志,高级工程师,chenzhi. nj@ errecg. cc
- ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

敬请关注《城市轨道交通研究》微信视频号

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

