

基于射频识别和双目视觉技术的车辆基地 施工区域人员闯入预警系统

高晓鹏 郭世成

(重庆市轨道交通(集团)有限公司, 400010, 重庆)

摘 要 [目的]城市轨道交通车辆基地的施工管理主要采用施工请销点方式对施工安全进行卡控。然而,在施工区域内,尚缺乏实时监督违规施工的防护技术手段。若施工人员擅自闯入非施工区域,将面临人员触电或人车冲突等安全风险。因此,亟须开展施工安全防护技术研究,以降低现场施工事故率。[方法]以 RFID(射频识别)技术和双目视觉人员识别技术为基础,通过实时分析 RFID 身份信息及信号强度,实现人员进出施工区域的权限验证及位置识别。同时,将这一结果与双目视觉技术识别出的人员进出施工区域的人数进行比对,从而实现对非授权施工人员闯入施工区域的自动预警。[结果及结论]通过对城市轨道交通车辆基地施工区域划分方式及施工管理流程的深入分析,提出了一种基于 RFID 和双目视觉的车辆基地施工区域人员闯入预警系统。

关键词 城市轨道交通; 车辆基地; RFID; 双目视觉技术; 施工管理; 预警系统

中图分类号 U215.11

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.10.036

Personnel Intrusion into Construction Area Warning System Based on RFID and Binocular Vision in Vehicle Base

GAO Xiaopeng, GUO Shicheng

(Chongqing Rail Transit (Group) Co., Ltd., 400010, Chongqing, China)

Abstract [Objective] Construction management at urban rail transit vehicle bases typically relies on work permission and work closure method to control construction safety. However, there is a lack of real-time protective technologies for monitoring the illegal construction. Unauthorized construction personnel entry into non-construction areas poses safety risks such as personnel electrical hazards and human-vehicle collisions. Therefore, it is crucial to conduct research on construction safety protective technologies to reduce the incidence of on-site accidents. [Method] Based on RFID (radio frequency identification) technology and binocular vision personnel identification technology, a system that verifies access permissions and

locates individuals in construction areas through real-time analysis of RFID identity information and signal strength is developed. Meanwhile, this information is compared with the number of personnel entering/exiting the construction area identified by binocular vision technology to automatically issue warnings to unauthorized personnel intrusion. [Result & Conclusion] Through an in-depth analysis of construction area division methods and construction management processes at urban rail transit vehicle bases, a warning system based on RFID and binocular vision for construction area personnel intrusion is proposed.

Key words urban rail transit; vehicle base; RFID; binocular vision technology; construction management; warning system

城市轨道交通车辆基地作为列车停放、综合维修保养的场所,主要涵盖收车、发车、调车、车辆检修及施工维修等作业内容^[1]。车辆基地通常设有运用库和检修库等作业区域^[2],若施工人员要进入作业区域进行施工,则需根据场段的施工管理办法进行施工申请且得到施工请点许可才可进入施工区域^[3]。在施工现场,为了走行方便,施工人员可能穿越或闯入其他未进行充分施工防护的区域,如正在进行断送电、动车调试等作业的区域,这种情况极易导致人员触电或人车冲突等安全事故的发生。针对这一突出问题,重庆轨道交通运营单位提出并实施车辆基地施工区域人员闯入预警系统的建设规划。

1 需求分析

1.1 施工区域概况

车辆基地的轨行区主要分为开放式施工区域和半开放式施工区域,如图 1 所示。开放式施工区域指的是施工人员进入轨行区后,该区域内的各个施工区域未进行封闭或围护,而是主要通过地面标

线来区分不同施工区域,各区域保持敞开状态,允许施工人员自由进入任意施工区域。而半开放式施工区域则有所不同,施工人员进入轨行区后,由于施工区域已通过围栏、墙体等物理隔离措施进行了划分,施工人员主要通过安全门并刷门禁卡的方式进入指定的施工区域。然而,为了列车出入库的便利,列车出库方向并未设置物理隔离,因此人员仍可通过该方向的平交道口进入所有列车停放股道的施工区域。

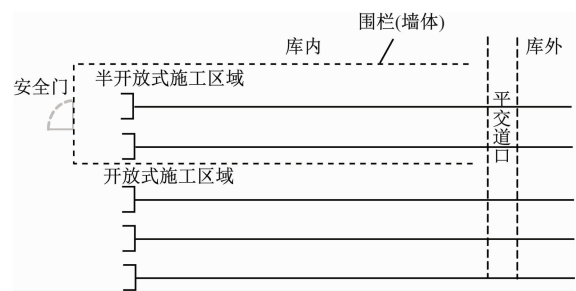


图 1 施工区域划分示意图
Fig. 1 Diagram of construction area division

1.2 功能需求分析

车辆基地施工区域人员闯入预警系统的建设目标旨在实现施工区域的实时监测和人员违规闯入的及时预警。结合车辆基地施工区域的实际情况,其功能需求具体如下:

- 1) 人员识别:须采用先进的人员识别技术,确保能够准确识别进出施工区域的人员,且此过程不受携带工具等因素的干扰。
- 2) 精确计数统计:系统应能准确统计进出施工

区域的人员数量,避免因人员并行、紧挨、奔跑或步行等行为导致的计数误差,确保统计数据的准确性。

3) 身份验证与权限控制:应具备获取进出施工区域人员身份信息的技术手段,并能根据预设的权限设置,判断人员是否具有进出该区域的权限。

4) 声光警报功能:一旦发现施工区域存在人员违规闯入的情况,系统应立即触发声光警报,以提醒相关人员注意并采取相应的应对措施。

1.3 应用场景分析

车辆基地施工区域人员闯入预警系统的覆盖范围广泛,涵盖了开放式施工区域和半开放式施工区域。

对于开放式施工区域,由于人员可自由出入任意地点,特在区域交界处及部分边界实施了物理隔离措施,并根据施工作业的实际需求,合理划分了施工区域的出入口,如股道端头和端尾。同时,鉴于开放式施工区域常有工程用车通行的需求,在设置出入口时特别注意避免使用可能阻碍车辆及人员进出的物理设施。

而对于半开放式施工区域,由于已经采取了物理隔离措施,施工人员主要通过安全门进出。然而,该区域的主要风险点在于非施工人员可能通过列车出库方向的平交道口擅自进入施工区域。因此,需要加强对这些潜在风险点的监控和预警。

1.4 技术分析

表 1 为雷达、视频监控、门禁、RFID(射频识别)技术及 UWB(超宽带)技术的优缺点分析。

表 1 技术对比分析
Tab. 1 Comparative analysis of technologies

技术	优点	缺点
雷达	识别准确率高,不受光照影响;可实现人员识别及计数统计	成本高
视频监控(单目视觉)	成本低;处理的图像更大,范围广;可实现人员识别及计数统计	算法简单;易受携带物品影响,识别准确度一般;易受光照影响
视频监控(双目视觉)	成本低;识别准确度高,可进行高度过滤,边界准确;可实现人员识别及计数统计	算法复杂;监测范围一般,易受光照影响
门禁	可采用人脸/指纹/刷卡等方式进行身份识别,限制无权限人员进入;成本低	需要通过物理方式隔离整个施工区域,进出口狭窄,不利于通行
RFID	可实现无接触的身份识别;无须限制出入口的宽度,有利于通行;成本低	定位精度较差,仅识别佩戴 RFID 卡的人员身份
UWB	可实现无接触的身份识别;无须限制出入口的宽度,有利于通行;定位精度高	成本高,仅识别佩戴定位标签的人员身份

由表 1 可知:雷达、视频监控(单目视觉)、视频监控(双目视觉)都可实现人员识别及计数统计功能,但综合考虑经济性和准确率,推荐采用视频监控(双目视觉)技术。针对视频监控易受光照影响的问题,以及考虑到人员并行或紧挨等情况,因此推荐采用红外双目视频监控设备。其中门禁、RFID、UWB 都可实现身份识别功能,但门禁系统通常通过物理方式限制出入口,可能不利于车辆及人员的自由通行,这在某些需要高通行效率的场景中可能不适用,因此门禁不考虑作为身份识别设备。综上,从经济性上分析,推荐采用 RFID 技术。

2 硬件结构设计

车辆基地施工区域人员闯入预警系统由监测设备、现场预警设备、中心服务设备及调度终端组成。系统硬件结构最小单元如图 2 所示。

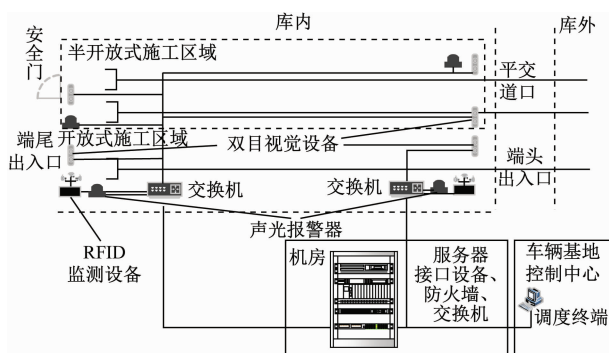


图 2 系统硬件结构最小单元

Fig. 2 System hardware structure minimum unit

监测设备作为人员进出施工区域识别的数据采集设备,包含 RFID 监测设备和双目视觉设备两类,其中,RFID 监测设备包括 RFID 射频天线、RFID 射频读写器和 RFID 卡(安装在安全帽中)。针对开放式施工区域,通常把股道端头和端尾作为预留出入口,为此在端头和端尾分别安装 1 套 RFID 监测设备^[4]和 1 套双目视觉设备^[5],其中 RFID 天线 3 个一组,分别朝施工区域外、覆盖区域内和施工区域内发射信号。单股道施工区域出入口监测设备安装示意图如图 3 所示。针对半开放式施工区域,通过既有门禁设备获取人员身份信息,同时只需要在安全门出入口安装 1 套双目视觉设备,此外在平交道口处也安装 1 套双目视觉设备。

现场预警设备由安装在股道旁的声光报警器构成。列车长度约为 60 ~ 120 m^[6],因此推荐在每个施工区域的出入口都安装 1 套声光报警器。



图 3 单股道施工区域端头和端尾监测设备安装示意图

Fig. 3 Diagram of the head and tail monitoring equipment installation in single-track construction area

中心服务设备承载核心逻辑处理服务,同时负责与外部系统接口,由服务器、接口设备、防火墙、交换机等设备组成,安装在车辆基地设备机房内。

调度终端提供系统信息显示及控制,安装在车辆基地控制中心。

3 系统软件架构设计

车辆基地施工区域人员闯入预警系统的软件架构由服务器的逻辑运算软件、接口设备的接口软件及调度终端的显示软件组成,如图 4 所示。

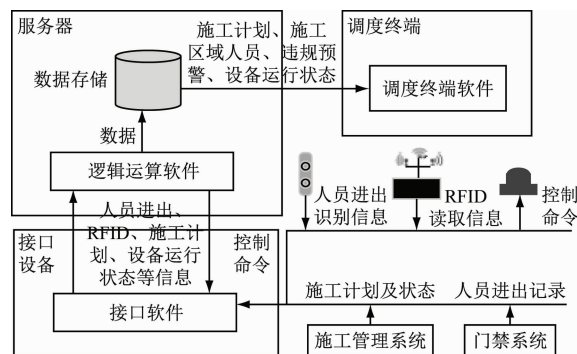


图 4 系统软件架构

Fig. 4 System software architecture

逻辑运算软件根据 RFID 监测设备、双目视觉设备以及与外部系统接口获取的施工计划、门禁刷卡信息等数据,完成数据存储后,综合判断是否存在无权限人员违规进入施工区域,并发出启动或关闭声光报警器的指令,实时反馈施工区域人员信息及预警信息给用户终端。

接口软件内部实现与 RFID 监测设备、双目视觉设备和声光报警器的数据传输和解析,将收集到的数据转发给逻辑运算软件进行处理;同时,它也负责接收逻辑运算软件的控制命令,并将其转发给声光报警器以执行相应的动作。在外部接口方面,接口软件与施工管理系统、门禁系统相连,接收施工计划以及门禁系统的人员出入记录,并将这些信

息转发给逻辑运算软件进行综合判断。

调度终端软件则主要将逻辑运算软件内存储的数据信息以直观的方式呈现给用户。这些信息包括施工计划、施工区域内的人数、是否有违规闯入预警以及设备运行状态等。

4 算法逻辑设计

4.1 重难点问题

由于 RFID 技术定位精度低,面临以下问题:

1) 施工人员在施工区域边界行走时,通过 RFID 无法确定施工人员在施工区域内还是施工区域外,若不进行处理,则会误判施工区域内的授权人数;

2) RFID 技术在监测区域上缺乏明确的边界界定,相比之下,双目视觉设备则能明确划分边界。这种边界定义上的差异可能导致两类设备在监测施工区域内人员时存在时间上的不同步,进而在授权人数与实际人数短暂不一致的情况下引发误报现象。

4.2 数据处理逻辑设计

由于 RFID 天线分别朝施工区域外、特定监测范围、施工区域内,当施工人员在监测区域附近,可得到 3 个方向的一定时间范围 t 内的累计信号强度 $W_{t,内}$ 、 $W_{t,中}$ 、 $W_{t,外}$ (分别表示一定时间范围 t 内朝向监测区域内侧(即施工区域)天线的累计信号强度、朝向监测区域中天线的累计信号强度和朝向监测区域外侧天线的累计信号强度),结合施工区域的进出场景(如图 5 所示)进一步分析,RFID 人员进出判定逻辑如下。



图 5 人员进出施工区域场景

Fig. 5 Scenarios of personnel entering and exiting construction area

场景 1: 人员正常通过监测区域进入施工区域时, RFID 信号强度变化依次为 $W_{t,外}$ 高 $\rightarrow W_{t,内}$ 、 $W_{t,中}$ 、 $W_{t,外}$ 波动变化 $\rightarrow W_{t,内}$ 高 \rightarrow 各方向信号逐步变弱至低于设定的强度阈值, 人员位置逐步由 $L_{未知}$ (人员位置未知) $\rightarrow L_{外}$ (人员在监测区域外侧) $\rightarrow L_{内}$

(人员在监测区域内侧) $\rightarrow L_{施}$ (人员完全进入施工区域, 已超出监测范围)。当 RFID 信号强度按上述顺序依次变化, 且双目视觉设备检测到人数增加 1 人时, 则认为有佩戴 RFID 的施工人员进入了施工区域。

场景 2: 人员正常通过监测区域离开施工区域时, RFID 信号强度变化依次为 $W_{t,内}$ 强度高 $\rightarrow W_{t,内}$ 、 $W_{t,中}$ 、 $W_{t,外}$ 的强度波动变化 $\rightarrow W_{t,外}$ 强度高 \rightarrow 各方向信号逐步变弱至低于设定的强度阈值, 人员位置逐步由 $L_{施} \rightarrow L_{内} \rightarrow L_{外} \rightarrow L_{未知}$ 。当 RFID 信号强度按上述顺序依次变化, 且双目视觉设备检测到人数减少 1 人时, 则认为佩戴 RFID 的施工人员离开了施工区域。

场景 3: 当人员从施工边界外侧(如围栏外)经过施工区域时, RFID 信号强度变化与场景 1 相似, 这可能导致系统误判为有人员进入施工区域。此时, 需要通过双目视觉设备识别的施工区域总人数 $N_{总}$ 进行校正。若判断在 $L_{施}$ 区域的人数大于 $N_{总}$, 且该状态持续时间达 t_1 (在 $L_{施}$ 区域的人数 $> N_{总}$ 的状态持续时间) 时, 则将此次误判的进入人数记作 $N_{误入}$, 并记录和标记该 RFID 编号信息为误入。

场景 4: 与场景 2 中人员离开施工区域的情况不同, 当施工人员沿着围栏外侧由施工区域内侧向施工区域外侧方向走时, RFID 信号强度变化依次为 $W_{t,内}$ 强度高 $\rightarrow W_{t,内}$ 、 $W_{t,中}$ 、 $W_{t,外}$ 的强度波动变化 $\rightarrow W_{t,外}$ 强度高 \rightarrow 各方向信号逐步变弱至消失。由于人员位置由 $L_{未知} \rightarrow L_{内} \rightarrow L_{外} \rightarrow L_{未知}$, 其位置变化并不构成进入或离开施工区域的判定条件, 因此系统不会将此类情况误判为人员进出, 也无须特别记录信息。

综合上述 4 个场景及其处理方法, 可以有效解决 RFID 技术在人员进出施工区域判定的重难点问题。

4.3 预警判定逻辑设计

4.3.1 半开放式施工区域预警判定逻辑设计

针对半开放式施工区域, 主要识别到人员尾随通过门禁或者有人从平交道口处进入施工区域, 则立即进行违规预警提示, 其判定逻辑流程如图 6 所示。

4.3.2 开放式施工区域预警判定逻辑设计

针对开放式施工区域, 主要识别无权限人员闯入施工区域, 同时需要针对重难点问题进行特殊处理。开放式施工区域预警判定逻辑流程如图 7 所示。

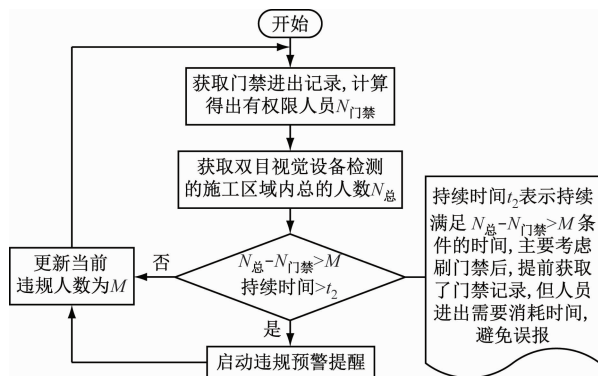


图6 半开放式施工区域预警判定逻辑流程图

Fig. 6 Logic flowchart for warning and judgment of semi-open construction areas

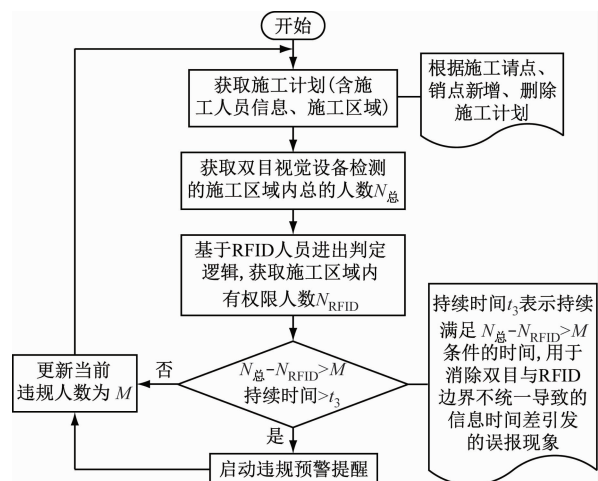


图7 开放式施工区域预警判定逻辑流程图

Fig. 7 Logic flowchart for warning and judgment of open construction areas

4.3.3 系统进行累计误差清除的原则

设备识别的准确率无法达到100%，因此在长时间运行时，由于识别遗漏会逐渐产生累计误差。为了提高系统的可用性和准确性，特提出以下方式以消除累计误差：

1) 当施工计划开始或结束（即请点或销点）时，立即进行对应施工区域的数据清空操作，确保系统针对每个新的施工计划都能从初始状态开始记录，从而避免旧数据的干扰。

2) 在施工区域没有安排施工计划的情况下，如果仅通过双目视觉设备判定有人员进入施工区域，则系统应立即发出报警，以提醒相关人员注意并采取措施。

5 现场应用

本文提出的系统已在某地铁车辆基地成功进

行示范应用，至今系统运行状态良好。基于施工调试过程中的实际经验，特提出以下现场部署建议：

1) 建议在安全帽上安装至少2张RFID卡，以增强RFID的读取信号强度，提高识别的稳定性和准确性。

2) 安装RFID天线和双目视觉设备时，应使用支架将它们固定在不低于3.5 m的高度，并确保双目视觉设备的监测中心线与RFID天线的监测中心线保持一致，以实现最佳的协同监测效果。

3) 通过精细调整RFID信号强度及其强度阈值，尽量使RFID的虚拟监测边界与双目视觉设备的实际监测边界相吻合，从而减少信息同步的时间差，提高系统的实时性和准确性。

6 结语

安全问题一直都是城市轨道交通的首要问题。在信息技术不断向自动化、智能化发展的趋势下，本文提出的基于RFID和双目视觉的车辆基地施工区域人员闯入预警系统，经示范应用验证，可有效地通过技术手段降低车辆基地的安全风险，并可适用于轨道交通车辆基地的施工区域安全管理，为车辆基地的安全防护系统设计提供参考借鉴。

参考文献

- [1] 汪峥, 王孔明, 范琪, 等. 地铁车辆基地综合自动化管理系统设计[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(10): 166.
WANG Zheng, WANG Kongming, FAN Qi, et al. Design of integrated automation management system for metro vehicle depot[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(10): 166.
- [2] 蔡援朝. 城市轨道交通车辆段运用库优化设计[J]. 铁道标准设计, 2011, 55(8): 131.
CAI Yuanhao. Optimization design of vehicle storehouse in depots of urban rail transit[J]. Railway Standard Design, 2011, 55(8): 131.
- [3] 张猛, 马银龙, 王少英. 城市轨道交通运营线路智能化施工管理系统设计[J]. 铁路计算机应用, 2024, 33(1): 83.
ZHANG Meng, MA Yinlong, WANG Shaoying. Intelligent construction management system for urban rail transit operation line[J]. Railway Computer Application, 2024, 33(1): 83.
- [4] 魏建峰. 基于RFID技术的煤矿机电设备运行监测系统研究[J]. 中国煤炭, 2023(增刊2): 322.
WEI Jianfeng. Research on the operation monitoring system for coal mine electromechanical equipment based on RFID technology[J]. China Coal, 2023(S2): 322.

(下转第219页)

保持制动,通过压力开关的状态反馈来监控制动是否缓解并在司机台上显示制动状态;在列车运行中,当出现司机警惕、乘客紧急制动、列车运行中车门打开、超速时由牵引系统施加100%电制动力;在发生紧急情况时司机将司控器手柄置于紧急制动位或拍下安全制动蘑菇头按钮后由牵引系统施加最大电制动力,同时车辆硬线电路自动控制列车落磁轨施加安全制动。

故障工况:牵引系统故障时,当电制动损失50%时,由网络VCU输出替代制动施加指令组合信号(P1、P2、P3分别为1、1、0)给电制动故障侧的电子阀控制单元VSS来控制液压制动单元通过制动夹钳施加相应的替代制动力,并在显示屏显示电制动故障状态,车辆需限速运行;牵引系统故障时,当电制动损失100%时,由网络VCU输出替代制动施加指令组合信号(P1、P2、P3分别为1、1、0)给各车的电子阀控制单元VSS来控制液压制动单元通过制动夹钳施加相应的替代制动力,同时通过硬线控制磁轨制动自动施加并提醒司机电制动完全故障;当网络系统故障时,通过司机台上的紧急牵引开关旁路网络,由牵引系统TCU接管对制动系统电子阀控制单元和液压制动单元的控制,控制逻辑一致,车辆需限速运行。

4 结语

制动系统作为保障列车安全停车的“守护神”,在列车行车安全中发挥着极其关键的作用。本文针对低地板有轨电车制动系统的组成、原理、制动功能及控制方案进行了全面的研究和设计,所设计的制动系统方案已在运营的有轨电车上批量应用和试验验证,该制动系统控制方案能够满足列车制

动需求,性能可靠,工作稳定,后续可对低地板有轨电车制动系统国产化及列车制动控制设计研究提供借鉴。

参考文献

- [1] 李生军. 基于RFID技术的低地板有轨电车位置检测系统设计[J]. 铁道通信信号, 2021, 57(6): 90.
LI Shengjun. Design of low floor tram position detection system based on RFID technology[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(6): 90.
- [2] 乔杨. 浅谈现代有轨电车制动系统[J]. 交通运输, 2018(22): 98.
QIAO Yang. A brief discussion on modern tram braking system[J]. Transportation, 2018(22): 98.
- [3] 丁辉, 李军辉. 城阳低地板有轨电车制动系统组成及液压制动原理[J]. 现代城市轨道交通, 2016(6): 17.
DING Hui, LI Junhui. Braking system composition and hydraulic braking principle of low floor tram in Chengyang[J]. Modern Urban Transit, 2016(6): 17.
- [4] 赵春光, 韩晓辉, 樊贵新, 等. 低地板有轨电车制动系统技术现状[J]. 现代城市轨道交通, 2014(1): 42.
ZHAO Chunguang, HAN Xiaohui, FAN Guixin, et al. Technical situation of low-floor tram braking system[J]. Modern Urban Transit, 2014(1): 42.
- [5] 李莉, 王明星, 郝保磊. 100%低地板有轨电车制动系统研制[J]. 铁道车辆, 2017, 55(12): 38.
LI Li, WANG Mingxing, HAO Baolei. Development of the braking system for 100% low floor tram cars[J]. Rolling Stock, 2017, 55(12): 38.

· 收稿日期:2022-06-22 修回日期:2022-10-19 出版日期:2024-10-10
Received:2022-06-22 Revised:2022-10-19 Published:2024-10-10
· 通信作者:李生军,高级工程师,lsj041622@163.com
· ©《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

(上接第214页)

- [5] 郭伟. 基于双目视觉的行人检测与识别技术研究[D]. 长春: 长春理工大学, 2019.
GUO Wei. Research on pedestrian detection and recognition technology based on binocular vision[D]. Changchun: Changchun University of Science and Technology, 2019.
- [6] 李正洋. 城市轨道交通多交路多编组列车开行方案优化研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2020.
LI Zhengyang. Study on optimization of train operation scheme for

urban rail transit with multi-route and multi-formation[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2020.

· 收稿日期:2024-07-12 修回日期:2024-07-26 出版日期:2024-10-10
Received:2024-07-12 Revised:2024-07-26 Published:2024-10-10
· 通信作者:高晓鹏,高级工程师,ybbanydn@126.com
· ©《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