

基于建筑信息模型技术与智慧工地理念的 地铁施工人员安全管理系统*

代永双^{1,2} 张志伟^{1,2}

(1. 北京市轨道交通建设管理有限公司, 100068, 北京;

2. 城市轨道交通全自动运行系统与实时监控北京重点实验室, 100068, 北京)

摘要 [目的] 人员的不安全行为是导致轨道交通工程施工安全事故的重要因素。为解决现存的视频图像监控系统依赖人工识别、安全质量问题发现不及时、不能及时报警等问题, 需要对地铁施工人员安全管理系统展开研究。[方法] 从整体架构、采集模块的设备安装、BIM(建筑信息模型)的建立及软件平台等方面, 阐述了地铁施工人员安全管理系统的搭建方案。分析了地铁施工人员安全管理系统在具体工程试点的应用情况, 进而验证该系统的智能识别准确性。[结果及结论] 施工现场应用情况表明, 地铁施工人员安全管理系统能智能识别未佩戴安全帽、进入禁止区域、睡岗离岗等人员不安全行为并自动报警, 且报警正确率超过 98%, 大幅提高了安全隐患识别的精度和效率。相关人员通过交互终端即可实时查阅监控视频, 实时接收报警信息, 快速定位隐患发生位置并处置。

关键词 地铁; 安全管理系统; 安全隐患识别; 建筑信息模型; 智慧工地

中图分类号 TP315: TU714

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.01.042

Metro Construction Personnel Safety Management System Based on BIM Technology and Smart Construction site Concept

DAI Yongshuang^{1,2}, ZHANG Zhiwei^{1,2}

(1. Beijing MTR Construction Administration Co., Ltd., 100068, Beijing, China; 2. Beijing Key Laboratory of Fully Automatic Operation and Safety Monitoring for Urban Rail Transit, 100068, Beijing, China)

Abstract [Objective] Unsafe behaviors among personnel are significant factors contributing to safety accidents in rail transit engineering. To address the existing issues of video image monitoring systems, such as reliance on manual identification, delayed detection of safety problems, and inadequate real-time alarms, research on metro construction personnel safety management system is required. [Method] The construction

scheme of the metro construction personnel safety management system is elaborated from the aspects of overall architecture, equipment installation for data collection modules, establishment of BIM (building information modeling), and software platform. The application of the above management system in specific engineering pilot projects is analyzed to verify the intelligent identification accuracy of the system. [Result & Conclusion] The application of the system on construction sites demonstrates that the system can intelligently identify unsafe behaviors of construction personnel, such as not wearing safety helmets, unauthorized entry into restricted areas, and sleeping or leaving posts, for which scenarios the accurately triggered alarms take up to 98%, significantly enhancing the precision and efficiency of identifying safety hazards. Relevant personnel can access surveillance videos in real-time through interactive terminals, receive alarm information promptly, swiftly locate the occurrence of hazards, and take necessary actions.

Key words metro; safety management system; safety hazard identification; BIM; smart construction site

城市轨道交通工程施工环境复杂, 涉及工种繁多, 施工安全隐患众多, 致使轨道交通工程施工事故频发^[1]。文献[2]通过对我国 2001—2019 年的 239 起轨道交通工程施工事故案例进行统计发现, 事故占比前五位的施工安全事故为坍塌事故、高处坠落、物体打击、机械伤害及起重伤害, 五类事故总占比达 78.66%。导致施工安全事故的主要因素有物的不安全状态、人的不安全行为、环境的不安全因素、质量和管理上的缺陷, 其中人的不安全行为是事故发生的重要因素。文献[3]对地铁车站施工工人不安全行为的导致因素及防范措施进行了研究。文献[4]基于视频监控从人身检测、侵入检测、多人协同作业三方面探索对地铁施工不安全行为

* 北京市轨道交通建设管理有限公司双创项目 (SCJJ2020001)

的检测预警方法。

基于此,本文提出了一套基于 BIM(建筑信息模型)技术和智慧工地理念的地铁施工人员安全管理系统(以下简为“安全管理系统”),从施工人员的不安全行为入手,进行施工安全管理。安全管理系统通过在地铁施工现场安装的视频监控设备,应用 BIM、GIS(地理信息系统)和 AI(人工智能)等技术,将实时采集的监控视频与预设的安全隐患通用影像特征进行对比查验,对满足预设特征的目标进行记录。在远程监控中心搭建基于 BIM 的施工人员安全管理平台,可在三维场景下实现报警点的实时定位和报警视频片段的便捷查询,同时将报警信息推送至施工现场安全管理人员的移动端,施工管理人员查收报警信息并进行现场整改,之后在移动端上传整改记录,反馈至远程监控中心形成闭环。

1 地铁施工安全管理现状

随着城市轨道交通建设工程的数量和规模不断增大,施工现场安全隐患也随之猛增。目前,地铁施工过程中的安全管理主要包括安全风险巡视管理和安全风险视频监控管理。

1) 安全风险巡视:对在建的自身风险工程,以及特级和一级环境风险工程,第三方监测单位及监理单位每天进行 1 次巡视,安全风险咨询单位每周进行 1 次巡视;对在建的二级和三级环境风险工程,第三方监测单位及监理单位每 3 天进行 1 次巡视。若工点的安全风险状态评价结果为存在风险或存在较高风险,则应加密对该工点巡视的频次。

2) 安全风险视频监控:施工单位负责所辖标段的视频监控系统建设,并配备专职视频监控管理人员进行日常监控。根据一级自身风险,以及特级、一级环境风险工程影响范围内的自身风险工程及安全风险状态评价,第三方监测单位在所辖线路管理范围内,安排值班人员对存在风险及存在较高风险的作业面进行全天候视频监控,并填写视频值班记录表,若达到预警标准则应及时发布预警。

安全风险巡视及安全风险视频监控对施工安全管理人员的要求较高,受巡视频率、施工安全管理人员的责任心和专业程度影响,存在安全质量问题发现不及时、不能实时报警等问题。

从施工人员的不安全行为入手建立的安全管理系统可实现全天候不间断监控,能够及时发现人的不安全行为并自动报警,进而解决地铁施工安全

管理依赖人工识别、安全质量问题发现不及时和不能实时报警等问题。

2 安全管理系统搭建方案

2.1 安全管理系统整体架构

安全管理系统包括远程监控中心、监控终端和交互终端,其整体架构如图 1 所示。

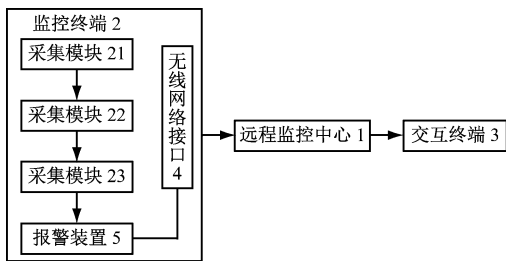


图 1 安全管理系统整体架构图

Fig. 1 Overall architecture diagram of safety management system

采集模块负责采集施工现场的实时监控视频,并传输到数据处理模块。其设备为安装于施工现场特定角度和位置的摄像机装置,存储模块负责数据存储,其设备为服务器。

数据处理模块负责对采集的监控视频进行预处理及特征提取,并与存储模块中预设的安全隐患通用影像特征进行对比查验,对满足预设特征的目标进行记录。其设备为独立计算机,远程监控中心为独立计算机或监控大屏。通过在远程监控中心搭建的施工人员安全管理平台可实现报警信息的记录和查询。

交互终端用于接收远程监控中心所发布的报警信息。其设备主要为手机。施工现场安全管理人员通过交互终端实时查收报警信息,并及时进行整改,整改后在交互终端上传整改记录,并推送至远程监控中心。

2.2 采集模块的设备安装

监控摄像机一般分为球机、枪机及半球摄像机 3 类。球机由云台支撑,可以自由转动和变焦,安装时角度无要求。枪机和半球摄像机要求安装高度为 3~4 m,安装角度为向下俯视倾斜 $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 。监测目标的高度不得超过整体画面高度的 $1/3$,宽度不得超过整体画面宽度的 $1/3$ 。成像目标垂直于视频画面。以安全帽识别为例,安全帽在画面内成像特征必须完整,且在监测视频中安全帽的分辨率应大于 40 像素。

2.3 创建 BIM 模型

利用 Autodesk Revit 软件对地铁项目所在场地环境和施工区域建立 BIM。基于 BIM,智慧管理系统可实现对施工场地的虚拟化构建,直观地展示摄像机的位置。通过摄像机编号和名称可与视频监控厂家平台接口对接,方便管理人员快速定位和及时响应。施工场地建模范围如表 1 所示。

表 1 施工场地建模内容及信息

Tab. 1 Modeling content and information of the construction site

类型	分类	子类	几何信息
场地环境	场地位置	位置、场地边界、地形、高程、项目正北方向等	位置、场地边界、地形、高程、项目正北方向等定位信息
	场地布局	场地内道路、停车场、广场、绿地、消防车道等基础设施	基础设施的几何尺寸、定位信息
	施工围挡	工程筹划中施工占地围挡	构件的几何尺寸、定位信息
	市政管线布置	场地内既有管线、规划管线	构件的几何尺寸、定位信息
	规划控制线	城市规划用地“七线”	规划用地控制线的位置信息
施工区域	周边环境建(构)筑物	周边主要既有建(构)筑物(含既有地铁结构)、规划建(构)筑物(含既有地铁结构),建筑物模型应包含基础部分	建(构)筑物的层数、几何尺寸、定位信息;基础的几何尺寸、定位信息
	办公区	办公用房柱、墙、板、楼梯、标志牌、消防器材等	构件的几何尺寸、定位信息
	生活区	体育设施、健身器材、厨卫设施、消防器材、生活用房等	构件的几何尺寸、定位信息
	材料堆放区	库房、道路、消防设施等	构件的几何尺寸、定位信息
	施工作业区	门禁、加工棚、消防设施、发电设备、施工机械、视频监控终端等	构件的几何尺寸、定位信息

2.4 安全管理平台

安全管理平台为搭建在远程监控中心的一套 B/S(浏览器/服务器)架构平台,可实现施工人员不安全信息的报警、记录及查询。

2.4.1 技术架构

安全管理平台的技术架构如图 2 所示,由基础

层、数据层、服务层及应用层构成。

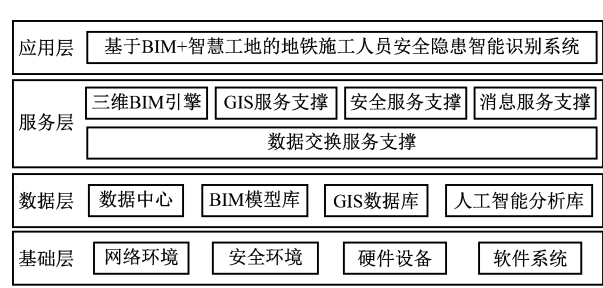


图 2 安全管理平台的技术架构

Fig. 2 Technical architecture of safety management platform

基础层是系统运行的软硬件环境和网络环境;数据层涵盖了本系统所涉及的全部数据库,包括 BIM 模型库、GIS(地理信息系统)数据库、人工智能分析库等;服务层包括本系统使用的各种中间件,如三维 BIM 引擎、GIS 服务支撑、安全服务支撑、消息服务支撑等;应用层实现了业务应用系统的功能,面向用户层的各类用户提供各类定制化的系统服务功能。

2.4.2 平台功能及应用

安全管理平台的功能模块包括摄像机连接显示模块、摄像机部署显示模块、实时视频显示模块、云台控制模块及功能告警模块。

1) 摄像机连接显示模块。通过该模块可直接查看连接到系统的摄像机路数和摄像机的地址,如图 3 所示。



图 3 摄像机连接显示模块的工作界面截图

Fig. 3 Screenshot of camera connection display module working interface

2) 摄像机部署显示模块。通过该模块,可在平面 GIS 地图中查看连接到系统的摄像机的部署位置。摄像机的部署位置截图如图 4 所示。

3) 实时视频显示模块。该模块支持在 BIM 三维真实感场景中显示施工场地现状及摄像机部署位置,可进行实景漫游、移动、旋转、放大、缩小等基本功能,可通过点选的方式选择摄像机,查询系统接收到的各路摄像机传回的现场实时画面,包括已

标记的监控区域以及人员监控情况,如图 5 所示。当某摄像机识别出安全隐患,系统将自动定位至报警摄像机,并高亮闪烁,同时自动弹出报警信息框及报警期间截取的图片及视频片段。

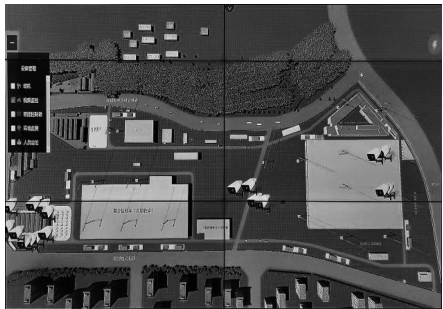


图 4 摄像机部署显示模块的工作界面截图

Fig.4 Screenshot of camera deployment display module working interface



图 5 视频显示模块工作界面截图

Fig.5 Screenshot of video display module working interface

4) 云台控制模块。通过该模块可控制接入的摄像机云台,方便监控位置的调整。

5) 功能告警模块。通过该模块可详细看到告警摄像机的地址、告警规则类型、起止时间、告警画面截图、摄像机位置等详细信息,可在告警列表中查看、导出告警图片和视频。

3 试点应用情况

安全管理系统在北京地铁 19 号线一期工程新宫车辆段施工现场进行了试点应用。新宫车辆段为北京地铁 19 号线一期工程唯一的车辆停放、检修基地,位于北京市南四环外,19 号线一期工程南端,新宫站西北象限地块内。新宫车辆段主要生产设施有运用库、联合检修库、综合办公楼、工程车库、司乘公寓食堂及浴室、易燃品库、物资总库、牵引降压混合变电站、轮对及受电弓在线检测库、锅炉房及水泵房、污水处理站及垃圾站、门卫室、雨水泵房及调蓄水池、镗轮库、洗车库、公安派出所等。新宫

车辆段的 BIM 如图 6 所示。

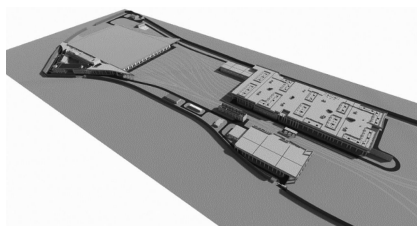


图 6 新宫车辆段的 BIM

Fig.6 Xingong Depot BIM

3.1 摄像机的部署方案

1) 实名制出入口。实名制出入口安装的监控摄像机以枪机和半球摄像机为主,支持安全帽识别、反光衣识别及人脸识别功能。

2) 工地通道。工地通道安装的监控摄像机类型为枪机,支持为安全帽识别、人员摔倒检测等功能。

3) 钢筋加工区。钢筋加工区安装的监控摄像机类型为枪机,支持安全帽识别及危险区域防护功能。

4) 危险区域。危险区域安装的监控摄像机类型为枪机,支持基坑边坡防护、暗渠边界防护及高危区域人员闯入检测等功能。

5) 塔吊监控。塔吊监控摄像机一般为球机,安装在高点塔吊上,支持工作面安全帽识别、工作面安全带识别、危险区域防护及基坑防护等功能。

6) 门卫室。门卫室监控摄像机为半球摄像机,支持的应用功能有离睡岗检测等。

3.2 安全隐患识别效果

安全管理系统在新宫车辆段部署后运行 30 d 时的报警分类统计情况如图 7 所示。相关管理人员对所有报警进行逐一处理,通过检查报警图片和回放视频来排除误报事件,统计得出,安全管理系统的报警有效率达到 98% 以上。

以未佩戴安全帽这类人员的不安全行为为例,当现场监控捕捉到人员未佩戴安全帽的情况时,安全管理系统立即自动发送微信和短信给相关管理人员,并同时网页端以弹窗的形式进行实时报警。安全管理系统的报警检索功能可为相关人员提供安全隐患的检索和查看服务。安全管理系统的报警检索界面如图 8 所示。该界面可显示报警事件的设备名称、预警图片、时间、处理状态、是否误识别、查看预警视频等操作。安全管理系统报警时的视频截图如图 9 所示。图 9 的未佩戴安全帽识别

报警准确无误。

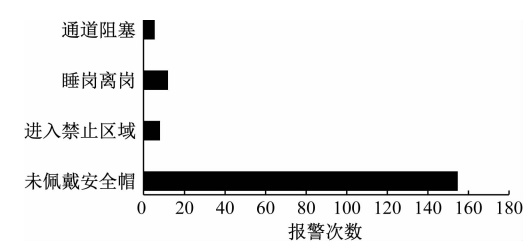


图 7 安全管理系统在新宫车辆段部署后运行 30 d 时的报警分类统计情况

Fig. 7 Alarm classification statistics for 30 days after the deployment of safety management system in Xingong Depot



图 8 安全管理系统的预警检索界面截图

Fig. 8 Screenshot of early warning retrieval interface of safety management system



图 9 安全管理系统预警时的视频截图

Fig. 9 Video screenshot of safety management system during early warning

4 结语

本文从人的不安全行为入手,阐述了安全管理系统的搭建方法,分析了安全管理系统在北京地铁 19 号线一期工程新宫车辆段施工工地的应用效果。应用效果表明,安全管理系统能针对未佩戴安全帽、进入禁止区域、睡岗离岗等人员的不安全行为进行智能识别并正确报警,且识别准确率较高。

安全管理系统可为安全隐患排查工作提供一系列便捷、高效、智能的可视化功能,提高了隐患识别的精度和效率。相关人员通过交互终端能够实时查阅监控视频,实时接收报警信息,快速定位隐患发生位置并处置。

目前,安全管理系统仅聚焦人员不安全行为的智能识别。随着新技术和新设备的使用,未来的安全管理系统还能实现对物的不安全状态、环境的不安全因素,以及质量和管理上的缺陷等方面的智能识别。

参考文献

[1] 李皓燃, 李启明, 陆莹. 2002—2016 年我国地铁施工安全事故规律性的统计分析[J]. 都市快轨交通, 2017, 30(1): 12.
LI Haoran, LI Qiming, LU Ying. Statistical analysis on regularity of subway construction accidents from 2002 to 2016 in China[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2017, 30(1): 12.

[2] 刘仲武, 吴萍, 陈帅, 等. 基于地铁施工安全事故统计规律的致险因素关系研究[J]. 现代城市轨道交通, 2021(2): 75.
LIU Zhongwu, WU Ping, CHEN Shuai, et al. On the relationship amid risk factors based on safety accidents statistical data and patterns in subway construction[J]. Modern Urban Transit, 2021 (2): 75.

[3] 夏润禾, 乔晓延, 吴洪群. 地铁车站施工工人不安全行为致因分析及防范研究[J]. 隧道建设(中英文), 2021, 41(6): 1024.
XIA Runhe, QIAO Xiaoyan, WU Hongqun. Causes and prevention of unsafe behavior of metro station construction workers[J]. Tunnel Construction, 2021, 41(6): 1024.

[4] 谢逸, 张竞文, 李韬, 等. 基于视频监控的地铁施工不安全行为检测预警[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2019, 47(10): 46.
XIE Yi, ZHANG Jingwen, LI Tao, et al. Research on detection and early warning of unsafe behavior in metro construction based on video monitoring[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2019, 47(10): 46.

· 收稿日期:2021-07-27 修回日期:2021-11-20 出版日期:2024-01-10
Received:2021-07-27 Revised:2021-11-20 Published:2024-01-10

· 通信作者:代永双,高级工程师,153560220@qq.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