

Research on Management and Application of Railway Concealed Work Inspection Based on Smart Identification Tags

Rongbo Wang Ping Bai Wenxin Xiong*

Institute of Computing Technologies, China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing, 100081, China

Abstract

Focus on the problems in traditional inspection methods for railway concealed works, such as personnel dereliction of duty, distorted spatiotemporal records, and standard execution deviation, this study innovatively introduces the Smart Identification Tag as the core component. The tag integrates fingerprint/face dual-modal biometric recognition technology to enable real-time online verification of personnel identities. It also incorporates Beidou/GPS dual-mode positioning technology to ensure high-precision and reliable spatiotemporal data for the inspection. Furthermore, an intelligent matching technology for inspection checklists is developed to achieve accurate and automatic association between to-be-inspected projects and inspection standards. Based on the application of smart identification tags, improvements are made to optimize management mechanisms and inspection processes. Management innovation system is constructed based on smart identification tags. This system enhances the efficiency and accuracy of railway concealed work inspection, improves the precision of review and analysis of image data, and further strengthens the quality control and management of concealed works.

Keywords

Railway concealed work; Smart Identification Tag; Dual-mode biometric recognition; Dual-mode positioning; Inspection checklist intelligent match; Inspection management

基于智慧标识牌的铁路隐蔽工程验收管理及应用研究

王荣波 白平 熊文昕*

中国铁道科学研究院集团有限公司电子计算技术研究所, 中国·北京 100081

摘要

针对铁路隐蔽工程传统验收方式存在的人员履职缺位、时空记录失真、标准执行偏差等问题, 创新性地引入智慧标识牌作为核心载体, 集成指纹/人脸双模态生物识别技术实现验收人员身份实时在线验证, 融合北斗/GPS双模定位技术确保验收时空信息高精度可信, 开发验收清单智能匹配技术实现待验工程与验收标准的精准自动关联, 并基于智慧标识牌的应用, 从管理机制、验收流程进行优化改进, 构建基于智慧标识牌的管理创新体系, 提升铁路隐蔽工程验收效率及其准确性, 提高影像资料的审查与分析准确度, 进一步加强隐蔽工程质量控制管理。

关键词

铁路隐蔽工程; 智慧标识牌; 双模态生物识别; 双模定位; 验收清单智能匹配; 验收管理

1 引言

隐蔽工程是指在施工过程中某一项工序所完成的工程实物, 被后续的工序或分项形成的工程实物所覆盖、包裹、遮挡, 而且不可逆向作业, 对铁路工程建设至关重要, 直接影响建设质量和运维安全 [1]。

为加强隐蔽工程的质量控制, 铁总建设〔2017〕151号、工管科信函〔2018〕178号等政策文件提出留存铁路隐蔽工程高清影像, 实施质量终身制的要求, 并对铁路隐蔽工程开展专项排查与信用评价工作, 对违规行为进行严惩。为加强隐蔽工程的质量控制, 在铁路、电力、建筑等行业应用便携式图像采集、探测工具等技术, 提升现场数据收集、质量复核与检测准确率, 减少人工误差 [2-6]; 华中科技大学研究采用区块链技术实现多方签名验证, 解决存档可靠性差、质量问题可追溯性差问题 [7]; 铁路行业基于隐蔽工程验收采集图像中的标识牌和钢筋实体进行识别分析, 提升了识别分析效率与准确率 [8,9]。故本文创新性地融合生物特征识

【作者简介】王荣波 (1989-), 男, 中国山东青州人, 硕士, 高级工程师, 从事工程建设信息化研究。

【通讯作者】熊文昕 (1980-), 男, 中国江西南昌人, 本科, 工程师, 从事工程建设信息化研究。

别、北斗/GPS 定位等技术的智慧标识牌应用于铁路隐蔽工程验收，并开展验收流程与管理机制优化研究，构建铁路隐蔽工程验收管理创新体系，解决传统隐蔽工程验收中的人员履职缺位、时空记录失真、标准执行偏差等痛点，为铁路行业数字化验收提供可复用的方法论。

2 基于智慧标识牌的管理创新体系设计

2.1 基于双模定位的时空真实性验证

由于缺乏验收人员是否在待验时间真实到场验证，存在“提前签”“远程签”“事后补签”等操作漏洞，本文称为时空记录失真。为解决时空记录失真痛点，智慧标识牌采用双模定位技术，将定位数据与验收时间进行联合验证，结合构建的应用流程，实现对验收人员精准、可靠的时空真实性核验。

2.1.1 智慧标识牌集成北斗/GPS 定位技术

智慧标识牌集成了北斗、GPS 定位技术，大幅降低信号丢失风险，提供更稳定、更高精度的位置结果。针对隧道、深基坑等卫星信号遮蔽场景，引入基于卡尔曼滤波的 IMU/DR 组合导航补偿模型，解决短时信号中断的定位问题，实现复杂施工环境下时空信息动态采集。

2.1.2 智慧标识牌时空真实性验证应用流程

- (1) 基于设计施工图纸，在系统中维护待验收工程的坐标。
- (2) 当验收人员登录 APP 匹配连接智慧标识牌后，智慧标识牌自动开启双模定位功能。
- (3) 智慧标识牌实时获取定位结果和时间戳，在后台进行位置与时间的一致性校验、时空窗符合性校验、定位质量可信度校验。
- (4) 仅位置一致性、时间一致性、时空窗符合性校验全部通过，且定位质量可信度达标时，系统判定“时空真实性验证”成功；验证成功后，系统自动生成不可篡改电子凭证，并获取该待验收工程匹配的验收人员信息，触发人员验证。

2.2 基于双模态生物识别的人员验证

因缺少验收人员身份验证措施，存在岗验分离、程序虚化、代签验收文件等违规风险，本文称为人员履职缺位。为解决验收人员履职缺位痛点，提出将双模态生物识别技术深度集成于智慧标识牌系统，并建立应用流程，构建一个不可抵赖、实时可溯的验收人员现场履职验证体系，实现对验收环节的精准管控。

2.2.1 智慧标识牌集成双模态生物识别

在智慧标识牌上集成“人脸识别、指纹识别”双模态生物识别技术。在指纹匹配参数方面，基于获取的验收人员指纹与标准指纹库中的指纹信息，采用凸包几何特征分析技术，提取凸包中心点与辐射线特征，利用动态差值量化模型生成匹配参数。在人脸识别参数方面，基于动态网格的灰度增强模块，使用自适应阈值分割定位阴影区域，结合设计的

指数型灰度修正函数（如下所示）完成验收人员人脸图像的光照鲁棒性增强，并通过构建的 CNN-LSTM 混合神经网络模型，利用历史数据的时间序列特性进行多尺度样本训练，将经增强处理的人脸灰度图像输入训练完成的评估模型，得到对应的人脸匹配参数。

$$G^*=G\exp\left(\frac{Q}{Q_\alpha}\right)$$

其中， G^* 为阴影像素点修正后的灰度值； G 为阴影像素点的原灰度值； Q 为其余网格块的平均灰度值， Q_α 为预设标准修正系数， \exp 为自然指数函数。

基于双模态特征，结合部署的可解释性规则引擎，通过决策级融合形成最终验证结果。双模态生物识别的协同验证机制显著提升了智慧标识牌的安全性与环境适应性，有效防范照片欺骗等攻击手段。

2.2.2 智慧标识牌人员验证应用流程

采集具备验收资格的人员信息及其对应的两种生物特征模板信息，形成标准指纹库。在施工单位提出验收申请后，由系统根据待验工程类型自动匹配验收人员，构成验收组。当验收人员携带智慧标识牌到达指定验收的隐蔽工程位置时，登录 APP 并匹配连接智慧标识牌，根据智慧标识牌提示依次采集现场各验收人员生物特征。

2.3 基于精准定位的验收清单智能匹配

受专业能力差异与监管工具落后的双重制约，存在漏检、验收程序形式化等风险，本文称为标准执行偏差。基于 BIM 模型构建隐蔽工程的高精度空间数据、工程进度状态数据、结构化验收清单库；以身份验证、时空真实性验证通过为触发条件，通过空间、工程进度状态匹配，自动推送标准化电子验收清单至验收人员 APP，辅助验收人员进行验收核查，减少人工失误。

2.4 配套管理机制

为确保智慧标识牌在铁路隐蔽工程验收工作中的有效应用，建立了相应的配套机制。

2.4.1 身份与时空双重验证机制

通过身份与时空双重验证机制的建立，在铁路隐蔽工程验收管理中形成了动态、智能的安全防线，防范身份盗用、抵御时空维度的异常行为。

2.4.2 动态的验收计划与地理围栏机制

基于施工进度计划，生物特征验证必须在计划的时间窗口内、且在指定的地理围栏范围内成功完成，方视为有效，有效杜绝“提前签”“远程签”“事后补签”。

2.4.3 清单全生命周期管理机制

建立铁路隐蔽工程标准化验收清单全生命周期管理机制，由技术专家基于设计文件、施工规范、质量验收标准统一编制标准化验收清单，明确清单的适用工程类型、部位、阶段等，并建立严格的内部审核和批准管理制度。

2.4.4 现场执行与监督机制

要求验收人员依据系统智能匹配推送的清单进行验收

操作,禁止手工选择或使用非系统推送的清单;要求清单必检项强制完成,并通过系统校验进行卡控;建立复核机制,可通过系统实时查看各点验收进度和初步结果,并进行现场抽查复核,验证验收人员是否严格按照匹配的清单执行检查。

2.4.5 异常预警及应急处置机制

建立异常预警及应急处置机制,构建异常情景及预警库,对铁路隐蔽工程验收时间超窗、智慧标识牌处于单模定位状态或卫星数不足等异常情况进行异常预警;针对异常情形建立应急处置方案,在发生异常预警时,指导验收人员采取相应的应急处置措施,并做好应急处置及其原因记录。

2.4.6 反馈与持续优化机制

建立反馈与持续优化机制,通过多种渠道允许验收人员反馈智慧标识牌应用问题,并定期分析智慧标识牌应用情况,评估其适用性和有效性;基于反馈和评估结果,对智慧标识牌应用过程中建立的标准化验收清单、应用流程、管理机制等进行持续优化。

3 智慧标识牌的应用实施效果

为验证智慧标识牌的应用实施效果,在2个铁路工程项目的3个标段采用智慧标识牌开展验证,累计完成526处隐蔽工程验收,并从技术与应用两个维度总结实施效果。

3.1 技术方面

(1) 定位精度满足设计要求。在开放环境中,定位精度约1-2m;在隧道内,由于存在信号遮挡、电磁干扰及湿度高等问题,定位精度保持在5m内。

(2) 验收人员身份认证满足设计要求。针对户外施工场景的挑战,指纹模块能有效抑制污渍干扰,误拒率降低至2.1%;人脸模块在强光照、强逆光、油污遮挡场景下仍可保持稳定识别,识别率可达94.7%。

(3) 验收信息的匹配满足设计要求。在试点实施的隐蔽工程验收中,验收信息匹配准确率可达99%以上。



采用智慧标识牌进行隐蔽工程验收验证

3.2 应用方面

3.2.1 提高了验收效率

在验收过程中,通过验收清单、验收内容的自动获取,验收结论的自动同步,减少了验收人员资料查找、在传统标识牌人工书写验收信息的时间,大大提高了验收时间。

3.2.2 确保了验收一致性

一是计划验收人员与实际验收人员的一致,解决了验收人员履职缺位问题;二是实际验收内容与规范要求的验收内容一致,规范条款执行完整率达到了100%;三是计划验收工程、验收时间与实际一致,解决了时空记录失真问题。

3.2.3 提高了隐蔽工程影像资料的审查、分析的准确度

解决了传统标识牌因人工书写验收信息导致的识别不准确问题,便于开展隐蔽工程影像资料的批量审查、自动化数据分析工作,提高了准确度。

4 结论和展望

4.1 结论

本研究总结了传统铁路隐蔽工程验收现状与存在的问题,研究提出基于智慧标识牌的铁路隐蔽工程验收管理及应用方法,通过融合定位、生物特征识别、人工智能匹配等技术,完善了铁路隐蔽工程验收流程,形成“人员-时空-规范”三维联动的数字化验收范式,实现铁路隐蔽工程验收人员可信、位置可信、时间可信、数据可信、流程可信,有效解决传统验收模式中存在的人员履职缺位、时空记录失真、标准执行偏差等问题,使隐蔽工程验收效率与一致性大大提高,并提高了隐蔽工程影像资料的审查、分析的准确度。

4.2 展望

尽管取得显著进展,仍需从技术、管理、应用三个维度进行深入研究:一是在技术方面,应深入研究在智慧标识牌上集成超声测距、红外热成像与毫米波雷达等自动测量技术,减少人工录入误差;二是在管理方面,基于BIM与工程仿真技术的应用,实现质量缺陷的自动预警,辅助验收人员的重点检查项,进一步提高验收质量;三是应用方面,需进一步推广应用,验证本研究的普适性。

参考文献

- [1] 聂现会,解亚龙,陈云,等.基于YOLOv8的铁路隐蔽工程影像目标检测方法及应用[J].铁道建筑,2024,64(11):152-157.
- [2] 广东电网有限责任公司阳江供电局.配网隐蔽工程验收管理平台:CN202111412471.X[P].2022-03-25.
- [3] 比姆泰客信息科技(上海)有限公司.基于AR技术施工现场隐蔽工程三维可视化安装与验收方法:CN202211095668.X[P].2023-05-30.
- [4] 华北电力大学(保定).一种隐蔽工程探测成像装置:CN202320048429.2[P].2023-09-08.