

铁路货场无人机巡检系统研究与应用

陈豪光

广西沿海铁路股份有限公司, 中国·广西 南宁 535000

摘要: 铁路货运传统人工巡检作业存在效率低、安全隐患大、监管难等突出问题, 难以适配铁路货运智能化、高效化发展需求。本文提出了一种基于无人机的智能巡检系统解决方案, 系统由机库、无人机、服务器和平台软件组成, 通过预设航线实现列车预检、货场日常安全巡检、货物超限判定等作业。基于无人机对铁路货装质量问题识别算法, 覆盖装车现场的车厢、集装箱、篷布、加固件等场景, 实现装载状态、破损缺陷、篷布加固、异物残留等问题进行智能识别。同时通过无人机进行铁路超限货物运输数据采集, 完成外形精准测量, 自动生成货物线型三视图, 计算超限等级, 智能计算生成货物装载加固方案, 解决超限货物运输难的一系列问题。系统融合深度学习、多源数据融合、三维建模等技术, 实现车号、箱号自动识别、货装质量检测、超限判定、人员违章识别及巡检报告自动生成。实际应用表明, 智能无人机一键巡航覆盖一趟 50 节车厢货运列车仅需 15 分钟, 比人工检查效率提升了 57%, 可有效降低劳动强度、消除登高作业风险、提升货运安全管控水平, 对推动铁路货运智能化升级具有重要实践意义。

关键词: 铁路货场; 无人机; AI 识别; 货装质量; 超限检测; 货运检查

Research and Application of Unmanned Aerial Vehicle Inspection System for Railway Freight Yard

Chen Haoguang

Guangxi Coastal Railway Co., Ltd., China Guangxi Nanning 535000

Abstract: Traditional manual inspection operations in railway freight transportation have prominent problems such as low efficiency, high safety hazards, and difficult supervision, which are difficult to adapt to the intelligent and efficient development needs of railway freight transportation. This article proposes a solution for an intelligent inspection system based on unmanned aerial vehicles. The system consists of a hangar, unmanned aerial vehicles, servers, and platform software. It realizes train pre inspection, daily safety inspection of cargo yards, and determination of cargo exceeding limits through preset routes. Based on the unmanned aerial vehicle (UAV) algorithm for identifying quality issues in railway cargo loading, covering scenarios such as carriages, containers, tarpaulins, and reinforcement parts at the loading site, intelligent recognition of loading status, damage defects, tarpaulin reinforcement, foreign object residue, and other issues is achieved. At the same time, unmanned aerial vehicles are used to collect data on railway transportation of oversized goods, achieve precise measurement of the shape, automatically generate three views of the cargo line, calculate the level of oversized goods, intelligently calculate and generate cargo loading and reinforcement solutions, and solve a series of problems related to the difficulty of transporting oversized goods. The system integrates technologies such as deep learning, multi-source data fusion, and 3D modeling to achieve automatic recognition of vehicle and container numbers, quality inspection of cargo loading, over limit determination, identification of personnel violations, and automatic generation of inspection reports. Practical applications have shown that intelligent unmanned aerial vehicles can cover a 50 carriage freight train with just 15 minutes of one click cruising, which is 57% more efficient than manual inspection. It can effectively reduce labor intensity, eliminate the risk of high-altitude operations, and improve the level of freight safety control. It has important practical significance for promoting the intelligent upgrading of railway freight transportation.

Keywords: Railway freight yard; UAV; AI recognition; Quality of cargo loading; Over limit detection; Freight inspection

0 引言

铁路货场作为铁路货物运输集散、装卸、存储的核心节点, 其作业效率、安全管控水平直接决定铁路货运网络

的运转效能。随着我国铁路货运量持续增长、中欧班列规模化开行及低空经济政策落地, 依赖人工攀爬、步行巡检的传统作业模式, 已无法满足货运检查的时效性、精准性

与安全性要求。无人机具备灵活机动、全域覆盖、非接触式作业等优势,结合人工智能视觉识别、高精度定位、激光点云建模等技术,可实现铁路货场巡检的无人化、智能化、标准化。

1 研究背景与意义

1.1 研究背景

近年来,随着我国经济的快速发展和“一带一路”倡议的深入推进,铁路货运量持续增长。特别是中欧班列的开通和电子商务的蓬勃发展,铁路货物运输市场需求急剧上升,客户对货物运输的时效性、准确性以及服务质量的要求也不断提高。2024年,低空经济被写入政府工作报告,成为国家战略性新兴产业,为无人机在铁路行业的应用提供了政策支撑和发展机遇。当前铁路货场巡检仍以人工为主,存在三大核心痛点:一是劳动强度大、作业效率低,货运“三检”制度要求人工绕行、登高检查,耗时久且易受环境影响;二是安全风险高,登高作业、夜间作业、恶劣天气作业易引发坠落、碰撞事故;三是监管存在盲区,人工巡检受主观责任心、业务能力限制,易出现漏检、错检,尤其对货装质量缺陷、超限货物等隐蔽性问题识别能力不足。

1.2 研究意义

引入无人机巡检技术,对于提升铁路货场作业效率和安全性具有重要意义。无人机能够快速覆盖列车两侧及顶部,实现全方位、无死角的巡检,从源头消除高空作业安全隐患,大幅提升巡检效率。依托货装质量问题识别算法,可实现装车现场下的车厢、集装箱、篷布、加固件等货装异常自动检测,替代人工完成装载规范性、完整性、安全性判定。通过超限货物运输数据采集技术,可精准测量货物外形尺寸、判定超限等级、生成装载加固方案,解决传统超限检测依赖人工测量、误差大、效率低的问题。系统融合AI识别与多源数据感知技术,实现货运检查全程可追溯、异常自动告警,推动铁路货场从“人工巡检”向“智能巡检”转型,为铁路货运安全、高效、智能化发展提供核心技术保障。

2 系统总体架构与工作原理

2.1 系统设计目标

铁路货场无人机智能巡检系统旨在实现列车及货场的自动化、智能化、常态化巡检。系统设计遵循以下目标:一是实现无人机自主飞行、自动起降、自动充电,达到无人值守的自动巡检目标;二是完成车号/箱号识别、货装质量检测、超限货物判定、人员违章识别四大核心功能;

三是实现巡检数据自动归档、报表自动生成、异常闭环处置,为货场管理提供决策支持。

2.2 系统总体架构

无人机智能巡检系统由自动化机库、工业级无人机、服务器集群、后端管理平台四个后续部分组成。系统以无人机为依托,综合利用自主导航技术、机载传感技术、AI识别等多种先进技术,辅助货运员对列车进行快速预检,系统结构图如图1所示。

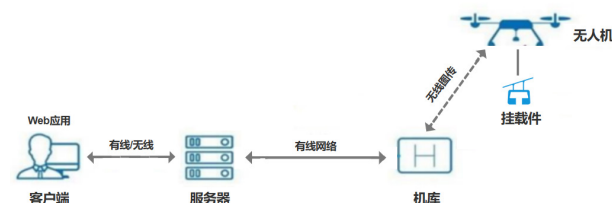


图1 系统结构图

(1) 无人机采用工业级多旋翼无人机,配备可见光相机、RTK(实时动态差分定位)高精度定位模块、补光灯、喊话器、激光雷达模块等多种挂载设备,可满足可见光检测、红外测温、激光点云三维建模、尺寸测量等需求。机载可见光相机支持手动拍照、定时拍照和定距拍照三种模式,确保数据采集的连续性和均匀性。无人机具备自主导航、自主避障、精准悬停等功能,能够在复杂环境下稳定飞行。

(2) 自动化机库是系统的核心基础设施,具备自动开闭舱门、自动起降平台、自动充电、气象监测、数据传输等功能。机库内置电池管理系统,可实时监测电池电量和温度,在电量低于阈值或温度异常时禁止起飞,保障飞行安全。机库还集成了风速、雨量等气象传感设备,在恶劣天气条件下自动暂停飞行任务。

(3) 服务器集群包括应用服务器和算法服务器,承载数据存储、AI模型推理、多源数据融合计算等职责。基于深度学习的AI视觉识别算法是系统的核心技术支撑,系统对无人机采集的高清视频和图像进行实时分析,实现对车号、箱号、异物、车门状态、装载状态、人员行为等的智能识别。

(4) 后端管理平台负责任务调度、实时监控、数据管理、告警处置等核心功能。用户可通过Web端访问平台,实现航线规划、任务下发、视频查看、报表统计等操作。

2.3 工作流程

本无人机巡检系统依托标准化的六步工作流程,实现铁路货场巡检全流程自动化、智能化作业。核心环节包括:计划制定、自动起飞、巡检采集、AI识别、结果告

警、数据归档。作业开展时,货运员在后端管理平台根据现场作业需求,选定待巡检的列车股道与任务类型,确认后一键下发巡检作业指令。无人机接收指令后从自动化机库自主起飞,严格按照预先规划的航线,沿列车两侧及顶部开展全覆盖、无死角的巡检拍摄,过程中采集的图像、视频、激光点云等多源数据,通过无线传输技术实时回传至后台管理平台。平台依托 AI 识别算法对回传数据进行分析,精准识别车顶异物、集装箱偏载、角件未入位、货物超限等问题,一旦发现异常情况,系统将立即自动触发告警,并将异常信息推送至相关作业人员。巡检任务完成后,所有巡检数据将自动分类归档存储,同时生成包含巡检范围、问题详情的标准化巡检报告,系统工作流程图如图 2 所示。



图2 系统工作流程图

3 系统关键技术研究

3.1 基于深度学习的货装质量问题 AI 识别技术

货装质量是铁路货运安全的核心管控环节,算法以装车现场的车厢、集装箱、篷布、加固件等为核心检测目标,基于 YOLOv8、Faster R-CNN、Transformer 等深度学习模型,构建多类别、高精度异常识别算法体系,实现货装质量全维度智能检测。

(1) 箱顶/车顶异物识别:构建安全风险前置检测机制,实现车厢内异物自动识别。可检测石块、煤块、手套、工具、钳子、锤子、铁丝、绳子等常见异物,避免运输过程中异物脱落引发行车事故。

(2) 装载状态及问题识别:系统采用深度学习技术,对列车装载状态进行全面检测。通过图像轮廓分割、重心点位计算,判定货物中心与车辆中心偏移量,可对车门未关、敞车小门关闭不良、集装箱角件未入位、集装箱装载不居中、货物装载不均衡等情况进行识别报警。

(3) 篷布与加固状态识别:针对篷布覆盖货物、加固件固定货物的场景,实现防护与加固状态智能检测。系统通过 AI 图像分析技术,结合纹理特征分析与形态学检测,可识别篷布掀翻、破损及加固件缺失、断裂等问题。

3.2 无人机全自动作业与智能调度技术

为实现货场巡检的无人化、常态化运行,需要一套完整的无人机自动作业与调度系统。铁路货场环境复杂,存在列车、集装箱、龙门吊、线缆等多种障碍物,信号可能受遮挡,系统采用高精度定位、自主避障等多项技术保障无人机的安全、稳定运行。

(1) 自动起降与充电技术:无人机基于 RTK 高精度定位,可实现厘米级精准自主降落至机库。机库具备自动充电或换电功能,确保无人机随时处于待命状态。同时,机库内置气象站,可实时监测风速、雨量等环境数据,为任务决策提供依据。

(2) 高精度导航与自主避障:系统采用 RTK 高精度定位技术,确保无人机在复杂环境下能够精准悬停和飞行。同时,无人机配备激光雷达和视觉传感器,可实时感知周围环境,当发现障碍物时,根据预设策略自主决策并执行避障动作,保障飞行安全。

4 系统应用场景与效果分析

4.1 应用场景

(1) 装卸作业前后的“三检”应用:装卸作业前后的“三检”是无人机巡检系统的主要应用场景。传统人工巡检一列 50 节车厢的列车需要 35 分钟左右,而使用无人机巡检仅需 15 分钟,效率提升了 57%。在实际应用中,系统多次发现人工难以检查的车顶异物、集装箱偏载、角件未入位等问题,系统及时告警后作业人员迅速处置,避免了一起可能的安全事故。

(2) 货场日常安全巡检应用:货场日常安全管控是无人机巡检系统的重要应用方向。系统可对作业区域进行定时定点安全巡查,利用 AI 识别技术实时监测人员安全装备穿戴情况和作业行为。系统具备固定航线巡检、人员违章识别、安全提醒等功能。巡检过程中,系统可自动识别未佩戴安全帽、未穿反光服等违章行为,并实时推送告警信息。据统计,系统投用后,货场违章行为发现率提高约 60%,有效提升了安全管理水平。

4.2 效益分析

(1) 经济效益:无人机巡检系统的应用可显著降低人力成本,提高货运周转效率。据测算,一个中型货场采用无人机巡检后,每年可节省人工成本约 60-100 万元。同时,检车效率的提升可缩短列车在站停留时间,提高货场吞吐能力,货装质量问题与超限检测自动化可减少人工复检成本,降低因装载违规、超限运输引发的事故损失,带来间接经济效益。

(2) 安全效益: 无人机替代人工登高作业, 从根本上消除了高空坠落等安全风险。传统货检作业中, 登高作业相关事故占比较高。采用无人机巡检后, 相关事故率大幅下降。同时, AI 识别技术的应用消除了监管盲区, 货装质量问题识别算法与超限检测技术实现隐蔽性问题精准识别, 解决人工漏检、错检难题, 提升了问题发现率, 保障了行车安全。

5 结论与展望

5.1 结论

实际应用表明, 该系统具有以下特点: 一是可行性强, 系统架构合理, 技术路线成熟, 已在多个货场成功应用; 二是先进性高, 采用深度学习、云边协调等前沿技术, 识别准确率高、响应速度快; 三是实效性好, 检车效率提升了 57%, 人力成本降低 60% 以上, 安全事故风险大幅下降。无人机巡检系统在铁路货场的应用, 对于推动铁路货运智能化升级具有重要意义。

5.2 展望

尽管无人机巡检系统在铁路货场已取得初步应用成效, 但仍有一些方面值得进一步研究和完善:

(1) 数据深度融合: 未来应进一步加强与铁路现有货运管理系统的数据对接, 实现业务流程的无缝衔接和信息资源的充分共享, 构建更加完善的智慧货场管理体系。

(2) 算法持续优化: 针对复杂天气、复杂光照等恶劣环境条件, 需要持续优化 AI 识别算法, 提高模型的泛化能力和鲁棒性。同时, 可探索采用大模型、多模态融合等新技术, 进一步提升识别准确率。

(3) 规模化推广: 在政策引导、技术完善、标准制定等方面持续努力, 推动无人机巡检系统在更多铁路货场的规模化应用, 为铁路货运高质量发展提供有力支撑。

参考文献:

[1] 黄嘉怡, 汤银英, 郭赫臣等. 基于深度学习的铁路货场作业安全状态识别与监控技术研究[J]. 铁道货运, 2024, 42(8): 41-49.

[2] 秦暄阳, 张喆, 王浩宇等. 国内外铁路巡检无人机应用现状分析[J]. 铁道技术监督, 2024, 52(1): 48-51.

[3] 宫志锋, 杨志勇, 邢爱华等. 依托无人机提升铁路货运外勤作业品质分析与思考[J]. 铁道货运, 2023, 41(2): 48-53.

[4] 唐晓勇, 刘浩. 基于深度学习的集装箱箱号识别系统设计[J]. 集装箱化, 2022, 33(10): 18-22.

[5] 王尚荣. 计算机图像处理技术的应用研究[J]. 科技展望, 2017, 27: 1.

作者简介: 陈豪光 (1983.11-), 男, 汉族, 广东省茂名市人, 大学本科, 工程师, 研究方向: 铁路货物运输。