

基于AI视频分析的公路抛洒物自动检测系统应用

程宇佳 刘伟杰

陕西高速公路工程试验检测有限公司 陕西 西安 710086

摘 要：针对传统公路抛洒物人工巡检效率低、响应慢、复杂场景检测效果差的问题，本文基于AI视频分析技术，融合图像预处理与轻量化深度学习算法，设计一套公路抛洒物自动检测系统。通过优化多尺度特征融合与注意力机制，解决小目标漏检、复杂环境干扰等难题。经多场景测试与工程试点应用，系统可实现全天候实时检测，有效提升公路运维效率，降低道路安全隐患，为智慧公路运维提供技术支撑。

关键词：基于AI视频分析；公路抛洒物；自动检测系统；应用

引言：公路抛洒物是引发道路交通事故、影响通行秩序的重要隐患，传统人工巡检模式耗时费力、覆盖范围有限，难以适配现代化智慧公路的运维需求。为解决复杂天气、光影变化下抛洒物检测精度低、实时性不足等行业痛点，本文依托视频图像处理与深度学习目标检测技术，搭建智能化自动检测系统，优化算法模型并完成实景测试，旨在实现抛洒物精准、快速识别预警，助力公路运维智能化、高效化升级。

1 相关技术与理论基础

1.1 视频图像预处理技术

（1）图像灰度化、去噪处理：针对公路监控视频易产生噪点、冗余色彩信息的问题，通过灰度化简化图像数据维度，去除无效色彩冗余，结合适配户外场景的去噪算法过滤画面杂讯，有效优化原始画面质量，为后续目标检测降低运算压力。（2）图像增强与尺度归一化：针对公路昼夜明暗不均、雨雪天气画面模糊、抛洒物目标尺寸差异较大等场景问题，通过图像增强提升画面对比度与清晰度，配合尺度归一化统一目标尺寸标准，消除场景干扰，保障检测稳定性。（3）视频帧提取与关键帧筛选：公路监控为连续动态视频流，通过智能帧提取与关键帧筛选技术，剔除重复、无效画面，保留含有效目标的关键帧数据，大幅提升视频检测效率与输入数据的有效性。

1.2 深度学习目标检测算法基础

（1）经典检测算法对比：主流算法中，YOLO算法实时性突出，适配公路动态监测场景；FasterR-CNN检测精度更高，适合精细目标识别；SSD算法兼顾速度与精度，适配多尺度目标检测，可根据检测需求灵活选用。（2）轻量化网络结构原理：主干网络负责基础特征提取，特征融合模块整合深浅层特征信息，注意力机制聚焦有效目标区域、抑制背景干扰，三者协同实现模型轻量化、

高精度、快推理的检测效果。（3）算法性能评价指标：行业统一采用精确率、召回率衡量检测精准度，通过FPS判定实时检测能力，结合误检率、漏检率，全方位量化评估算法的综合检测性能^[1]。

1.3 智慧公路视频监测技术规范

（1）公路监控视频采集标准：严格遵循行业规范，对监控设备的视频分辨率、采集帧率、摄像头安装视角及点位布局制定统一标准，保障采集画面全面、清晰，满足检测基础数据要求。（2）抛洒物检测技术指标要求：规范明确抛洒物检测的精度阈值、系统响应速度，同时要求算法具备雨雪、强光、夜间等复杂场景的环境适应性，保障全天候稳定检测。（3）交通异常事件预警机制：制定标准化的抛洒物预警与处置流程，规范事件识别、分级预警、信息推送、闭环处置全流程，为公路运维工作提供标准化技术依据。

2 基于 AI 视频分析的公路抛洒物自动检测系统设计

2.1 系统整体架构设计

（1）数据采集层：作为系统数据输入源头，依托公路现有路侧监控摄像头、移动车载巡检设备及无人机航拍设备，多维度采集路面实时视频数据，覆盖固定点位与动态巡检视角，保障数据采集的全面性与完整性。（2）算法处理层：为系统核心核心运算模块，集成图像预处理、深度学习目标检测、目标轨迹分析、异常事件判定等核心算法，完成原始视频数据的智能化分析处理，精准甄别路面抛洒物异常事件。（3）功能应用层：集成各类实用运维功能，涵盖实时检测展示、智能分级预警、检测数据统计、异常事件溯源、后台设备与用户管理等功能，全方位支撑公路抛洒物运维管理工作。（4）终端展示层：搭建多终端可视化界面，适配电脑端后台管理系统与移动端运维终端，实现检测结果、预警信息、统计数据的直观展示，方便运维人员随时查看、

处置事件。

2.2 系统核心模块详细设计

(1) 视频数据接收与预处理模块：负责实时接收多路视频流，完成视频解码、帧提取、画面降噪、图像增强等优化处理，同步筛选无效冗余数据，为后续AI检测提供高质量数据支撑。(2) AI抛洒物检测识别模块：通过深度学习算法提取多尺度抛洒物特征，针对不同大小、类型的路面抛洒物完成特征匹配、目标分类与精准位置定位，保障复杂场景下的检测精度。(3) 智能预警与消息推送模块：系统预设检测与预警阈值，识别到有效抛洒物异常后自动触发预警机制，通过多渠道将预警信息精准推送至运维管理人员，缩短事件处置响应时间。(4) 数据存储与统计模块：实时存储各类检测数据与异常事件信息，自动整理汇总检测频次、预警数量、路段异常概率等数据，生成标准化运维统计报表，为路段运维分析提供数据支撑^[2]。

2.3 系统数据库设计

(1) 基础数据表：主要存储系统基础运维信息，包含公路监控设备参数、路段基础信息、平台用户账号及权限管理等基础数据，保障系统基础功能稳定运行。(2) 检测数据表：用于存储视频分析全过程数据，涵盖有效视频帧信息、抛洒物检测结果、算法检测置信度、目标检测时间、精准位置坐标等核心检测数据。(3) 事件预警数据表：专门记录各类抛洒物预警事件信息，包含预警触发记录、事件处置状态、最终处置结果、处置人员及时间等溯源数据，实现事件闭环管理。

3 系统核心算法优化与实现

3.1 公路抛洒物检测难点分析

(1) 复杂环境干扰：公路检测场景具有极强的开放性与不确定性，昼夜光照剧烈变化、雨雪雾等恶劣天气会造成画面模糊、对比度下降，同时行驶车辆的临时遮挡、路面标线、阴影及杂物背景干扰，极易影响算法对目标的有效识别，降低检测稳定性。(2) 目标检测难点：公路抛洒物种类繁多，纸箱、石块、杂物等形态不规则、尺寸跨度极大。多数路面抛洒物属于小目标，在监控画面中占比极低，纹理特征微弱，极易与路面背景、附属设施混淆，导致模型漏检、误检问题频发^[3]。(3) 实时性难点：公路监控为高帧率、大容量连续视频流，数据处理体量较大。传统检测算法网络结构繁琐、运算量大，处理单帧图像耗时较长，无法适配高速车流场景的快速检测需求，难以满足实时预警的工程应用标准。

3.2 改进型轻量化检测算法设计

(1) 主干网络轻量化优化：对原始主干网络进行结

构精简，剔除冗余卷积层与参数，压缩模型体积与计算量，在基本保留检测精度的前提下，大幅提升模型推理速度，适配边缘设备实时部署。(2) 多尺度特征融合优化：构建多尺度特征融合模块，充分提取浅层细节特征与深层语义特征，强化小尺寸、远距离抛洒物的特征表征能力，弥补传统算法对小目标特征提取不足的缺陷，有效减少漏检情况。(3) 注意力机制嵌入：在特征提取阶段嵌入轻量化注意力机制，自适应强化抛洒物有效特征权重，抑制路面背景、光影、标线等无效干扰信息，精准聚焦检测目标，显著降低复杂场景下的误检率。

3.3 算法训练与数据集构建

(1) 数据集采集与筛选：采集高速、国道、城市道路等多场景视频样本，覆盖晴天、阴天、雨雪及昼夜不同时段，筛选清晰、典型的抛洒物画面，完成精准分类标注，构建贴合实际路况的原始数据集。(2) 数据增强处理：采用图像翻转、随机裁剪、亮度与对比度调整、噪声添加等数据增强方式，扩充数据集样本数量，丰富样本场景多样性，有效提升模型的鲁棒性与泛化能力。(3) 模型训练参数设置：合理配置模型迭代次数、初始学习率、批次大小等核心参数，通过动态调优学习率、防止模型过拟合，持续迭代训练，直至模型精度与损失值趋于收敛，完成最优模型保存^[4]。

3.4 算法检测流程实现

(1) 视频流实时输入与帧处理流程：系统实时接收路侧监控视频流，自动完成视频解码、帧抽取与预处理操作，优化画面质量，为后续目标检测提供标准化输入数据。(2) 抛洒物目标检测、分类、定位完整流程：预处理图像输入优化模型，通过特征提取与融合完成目标检测，精准判定抛洒物类别，同时输出目标在路面的坐标位置，实现精准定位。(3) 动态干扰过滤与异常事件判定流程：结合时序轨迹分析过滤车辆阴影、瞬时光影等动态干扰，通过预设阈值判别有效异常事件，最终完成抛洒物事件判定，为后续预警提供依据。

4 系统测试与应用效果分析

4.1 测试环境与测试方案

(1) 硬件测试环境：本次测试搭建完整配套硬件环境，核心包含用于算法训练与推理的服务器设备、供运维人员操作的电脑及移动终端，同时配备公路通用高清监控摄像头，覆盖常规路侧采集设备参数标准，满足不同分辨率与帧率的视频采集测试需求，保障测试硬件贴合实际工程场景。(2) 软件测试环境：系统测试依托成熟软件开发环境，搭载适配的计算机操作系统，配置对应深度学习算法框架与程序编译运行环境，配套数据

处理、可视化展示与后台管理工具,为模型推理、功能调试和数据统计提供稳定的软件运行支撑^[5]。(3)整体测试方案:为全面验证系统性能,本次测试涵盖功能、性能及实景对比三类测试。通过功能测试校验模块完整性,通过性能测试量化系统指标,通过多场景实景对比测试验证系统在真实路况中的适配效果,保证测试结果科学可靠。

4.2 系统功能测试

(1)视频采集与预处理功能测试:针对多路实时视频流进行接收测试,检验系统视频解码、帧提取、降噪及图像增强效果,验证系统可稳定接入监控视频,有效优化画面质量,消除基础画面干扰。(2)抛洒物检测识别功能测试:选取石块、纸箱、塑料袋等多类型、多尺寸抛洒物样本,在不同路况下开展识别测试,检验模型对小目标、异形目标的识别与定位能力,验证检测功能的完整性与准确性。(3)预警与数据存储功能测试:模拟各类抛洒物异常场景,测试系统预警触发速度、消息推送效果,同时核查检测时间、目标位置、预警状态等数据的存储记录情况,确保预警及时、数据留存完整可追溯。

4.3 系统性能测试与结果分析

(1)精度测试:在晴天、夜间、雨雪等多场景下开展批量检测试验,统计并分析系统检测精确率、召回率、误检率与漏检率,验证优化算法在复杂干扰环境下的检测精度优势。(2)实时性测试:实测系统单帧推理帧率与异常预警响应时长,统计不同视频流负载下的运行速度,检验系统是否满足公路实时监测、快速预警的工程应用要求。(3)稳定性测试:开展长时间不间断连续运行测试,模拟高负载、多场景交替运行状态,观测系统运行状态、卡顿及异常报错情况,验证系统的抗干扰能力与长期运行稳定性。

4.4 实际工程应用效果分析

(1)试点路段应用部署情况:选取典型公路试点路段完成系统落地部署,结合路段车流特征、监控点位分布情况,完成设备接入、算法部署与终端调试,实现路段抛洒物全天候自动化监测全覆盖。(2)应用成效分析:相较于传统人工巡检模式,本系统可实现24小时不间断检测,大幅提升抛洒物事件发现效率,缩短道路隐患处置时长,有效降低人工巡检成本与道路事故发生率,提升公路智能化运维水平。(3)应用现存问题与优化方向:试点应用发现,极端浓雾、强逆光场景下仍存在少量漏检问题,后续可通过扩充极端场景数据集、进一步优化特征提取算法,提升系统极端环境适配与检测能力。

结束语

本文完成了AI视频分析公路抛洒物检测系统的架构设计、算法优化与实景验证,有效解决了传统检测方式的诸多弊端,实现路面抛洒物全天候、自动化精准检测。系统可显著提升公路隐患排查效率,降低运维成本与事故风险,具备良好的工程应用价值。后续将针对极端浓雾、强逆光等薄弱场景优化模型,扩充数据集,进一步提升系统的环境适配性与检测精度。

参考文献

- [1]李旭,宋焕生,史勤,等.面向高速公路的抛洒物检测算法[J].计算机工程与应用,2024,60(5):216-224.
- [2]刘向东.基于人工智能的路面抛洒事件检测及应用研究[J].交通技术,2023,12(5):449-455.
- [3]王磊,张军,陈阳.基于改进YOLOv8的公路抛洒物视频实时检测方法[J].公路交通科技,2024,41(8):132-139.
- [4]赵鑫,林晓峰.复杂路况下基于视频分析的道路抛洒物智能识别系统[J].计算机应用与软件,2025,42(2):189-195.
- [5]陈浩,杨峰,李浩然.面向高速监控视频的小尺度抛洒物智能检测算法[J].交通运输工程与信息学报,2023,21(3):156-162.