

文章编号: 2096-1618(2025)03-0322-04

基于计算机视觉的高空抛物检测方法

郑汇菲¹, 王娟^{1,2}, 王祖俪^{1,2}

(1. 成都信息工程大学网络空间安全学院/芯谷产业学院, 四川 成都 610225; 2. 先进微处理器技术国家工程研究中心工业控制与安全分中心, 四川 成都 610225)

摘要:针对高层建筑环境下高空抛物检测准确率低的问题,研究影响高空抛物检测准确率的干扰因素,改进传统高空抛物检测方法。基于目标检测和目标跟踪技术,增加抗抖动和形态学去噪,降低复杂环境对检测率的影响。进一步改进高空抛物判定方法,提取目标跟踪过程中高空抛物轨迹数据的特征向量,经由神经网络模型分类,过滤非高空抛物的相似轨迹。并对原始数据和提取数据做加密处理,采用端到端加密的方法,数据在采集、传输和存储的过程中得到可靠保护,确保只有授权用户才能解密和访问数据。实验证明,改进后的高空抛物检出率和误检率优化了32、35.4个百分点,高空抛物轨迹分类准确率达到81%以上。

关键词:高空抛物;目标检测;目标跟踪;加密

中图分类号:TP391.41

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2025.03.011

0 引言

随着城市高层建筑的日益增多,高空抛物事件频发给公共安全和城市管理带来严峻挑战。当前高空抛物检测的准确率相对较低,尤其在复杂的高层建筑环境下。高空抛物事件发生往往采用人工方式排查,耗时耗力^[1]。高空抛物检测系统主要部署在高层建筑群中,由于检测环境存在强光、风扰和抖动等干扰,大幅增加了检测系统的检出难度^[2]。通过计算机视觉领域的目标检测和目标跟踪方法框选高空抛物目标,实时预警,及时发现潜在的安全风险,有助于采取紧急措施,维护城市的公共安全^[3]。

1 现有检测方法的不足

目前高空抛物检测方法是直接对监控的原始数据进行操作,无法保障监控数据的完整性和未篡改性^[4]。当高空抛物事件发生后,检测结果不具备可信度。

如图1所示,现有的常见高空抛物检测方法主要由目标检测、目标跟踪和抛物公式判定组成。

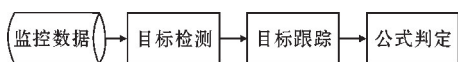


图1 现有高空抛物检测方法

具体来讲,目前检测方法存在一些问题:

(1) 准确率低:高空抛物物体的下落速度快、易旋转、易形变,使得检测算法不准确。尤其在恶劣天气条件下,严重影响检测的准确性。

(2) 实时性差:常见高空抛物检测系统存在延迟问题,不能及时采取措施。实时性是预警类系统非常关键的一个指标,尤其是在需要紧急干预的情况下。

(3) 误报率高:系统可能对一些非威胁的物体产生误报,例如飞鸟、无害的纸张等,导致浪费资源。

(4) 复杂环境影响:高空抛物物体一般在复杂的城市环境中,运动的干扰物使得检测任务更为复杂。

(5) 多目标追踪需求^[4]:可能存在多个高空抛物物体,需要对这些目标进行有效的跟踪和区分。

(6) 信息安全问题:作为电子证据时,高空抛物的检测数据需要安全性保障。确保在数据传输和存储过程中,即使数据被访问,也无法被篡改。

当前高空抛物检测方法急需提高准确率、实时性和可靠性。

2 基于计算机视觉的高空抛物检测框架

本文框架由原始视频帧序列防篡改、背景干扰消除、抛物检测和抛物片段防篡改4个部分组成,框架结构如图2所示。

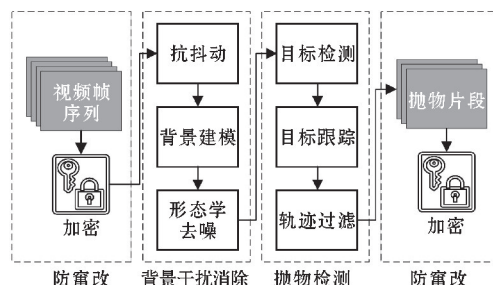


图2 高空抛物检测框架

2.1 防篡改

在检测之前,对原始监控视频进行加密处理,仅授权者有秘钥^[5]。确保视频数据在采集、传输或存储的过程中不被篡改,从而保持数据的完整性。在检测出高空抛物事件后,对提取的抛物片段进行加密,保证电子证据的安全性^[6]。

2.2 背景干扰消除

首先进行抗抖动处理,通过比较图像的局部特征点,估计图像之间的变换关系,从而抵消图像的抖动。背景建模使用改进的高斯混合模型(MOG2)^[7],对于每个高斯分布*i*,计算新的权重*w*,权重更新公式为

$$w_i = (1 - \alpha) \cdot w_i + \alpha \cdot \gamma(x)$$

其中,*x*是当前像素的值, $\gamma(x)$ 是一个衡量像素是否属于背景的函数。这通常涉及到学习速率 α 和像素的权重更新比例。

对于每个高斯分布*i*,计算新的均值 μ 。这也涉及到学习速率 α 和像素的均值更新比例。计算均值更新公式为

$$\mu_i = (1 - \alpha) \cdot \mu_i + \alpha \cdot x$$

对于每个高斯分布*i*,计算新的协方差矩阵 Σ_i 。同样,涉及到学习速率 α 和像素的协方差矩阵更新比例。计算协方差矩阵更新公式为

$$\Sigma_i = (1 - \alpha) \cdot \Sigma_i + \alpha \cdot (x - \mu_i)(x - \mu_i)^T$$

去噪算法过滤画面抖动和干扰物抖动,降低运动目标检测误报和漏报;然后进行形态学处理,去除前景图像中的干扰。

2.3 目标检测

在过滤干扰后,找到目标的外接轮廓,同时过滤小的斑点干扰后,提取目标的外接矩形。至此,基于计算机视觉的目标检测完成。

2.4 目标跟踪

跟踪算法流程如图3所示,解决高空抛物检测中抛物物体速度较快、运动轨迹复杂等问题。

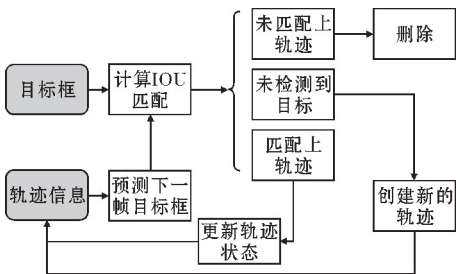


图3 跟踪算法流程示意图

具体流程包括对当前帧检测到的目标框与预测的下一帧目标框进行IOU匹配。匹配的结果可分为三类情况:未匹配上轨迹、未检测到目标和匹配上轨迹。

未匹配上轨迹就直接删除。未检测到目标的情况被视为新的轨迹,如果在接下来的连续三帧中检测到相应目标框,则与匹配上轨迹的算法流程一致:会将该轨迹信息从暂定状态更新为确认状态。在状态更新后,经过目标预测得到轨迹的状态,并再次与目标框的IOU匹配。通过不断迭代这一过程,能够有效增强高空抛物检测的准确性和实时性,从而实现对抛物物体的准确跟踪和预测。

2.5 轨迹过滤

针对错误跟踪干扰物目标的问题,从跟踪阶段提取目标运动轨迹,提取特征向量。

从跟踪过程中提取物体运动特征并将其保存为特征向量。考虑到高空抛物场景中物体的运动方向不确定,本文采用了5个运动特征。假设给定的点集为 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$,其中 $p_i = (x_i, y_i)$ 为二维平面的点, $i = 1, 2, \dots, n$ 。

(1) 轨迹长度:

$$\text{length} = \sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}$$

(2) 运动时间 Δt : 目标在飞行过程中的总时间。

(3) 运动方向 a_i :

$$a_i = \arctan(y_{i+1} - y_i, x_{i+1} - x_i)$$

(4) 平均速度 v : $\frac{\text{length}}{\Delta t}$ 。

(5) 相邻点之间的平均夹角:

$$\theta = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \arctan \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i}$$

最后交由符合高空抛物运动的逻辑公式判定。若提取的目标轨迹通过逻辑判定,则进行轨迹分类。通过神经网络模型实现轨迹分类,输入层的节点数与轨迹特征的维度应匹配。轨迹特征有5个,输入层也有5个节点数。

3 实验与分析

实验针对文中高空抛物检测框架的检测效果进行验证,在复杂高层建筑群中进行检测。

目前缺乏公开的高空抛物数据集,因此采取以下方法创建本实验数据集。

(1) 数据采集: 利用多种渠道获取高空抛物事件的视频素材,包括实验楼和小区的抛物录像、志愿者在不同建筑不同楼层拍摄的视频。

(2)数据清洗与标记:在收集到的视频素材中,清除非高空抛物事件或质量差的视频片段。对每个抛物事件进行标记,包括抛物事件类型(分为高空抛物、无害抛物和干扰物)、抛物背景、风扰等关键信息。

(3)数据集划分:为确保数据集的多样性和泛化性,以70%、15%和15%的比例将其划分为训练集、验证集和测试集。

(4)特征工程:提取每个抛物事件的运动时间、轨迹长度等物理特征,以及从视频中提取的视觉特征,以增强数据集的信息价值。

通过以上步骤,创建本高空抛物数据集,为相关研究和实践提供重要的资源和基础。

实验环境包括树枝晃动、横移飞鸟、强光天气等各种复杂干扰因素。模拟实验如图4所示,分别为mask目标框选结果和实际监控中高空抛物跟踪结果,连续方框表示高空抛物轨迹。可以看出在多目标和复杂场景下均有较好的检测效果。

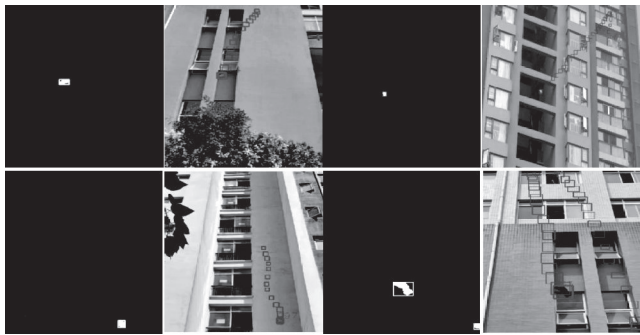


图4 复杂场景检测结果

对实验结果进行数据统计和分析,传统检测框架和本文改进框架高空抛物识别检测指标比较见表1。检出率指检测系统正确识别真实抛物体的比率,误检率指错误报告虚假抛物体的比率。高检出率、低误检率代表高效准确,反之代表虚假报警可靠性低。

实验数据显示,本文改进框架的平均检出率、误检率、小目标检测率分别为83.3%、13.7%、80.9%,比传统检测框架分别优化了32、35.4、28.5个百分点。

表1 检测指标比较		单位:%
检测指标	传统检测框架 ^[8]	本文改进框架
平均检出率	51.3	83.3
误检率	49.1	13.7
小目标检出率	52.4	80.9

通过神经网络模型对高空抛物、无害抛物和干扰物运动轨迹进行分类,分类精确度分别为86.92%、73.11%、81.43%。在分类过程中,模型表现出色,特别是在区分高空抛物轨迹方面,取得了86%以上的高

分类精确度。这表明模型在准确识别高空抛物轨迹方面效果较好。

实验证明,传统框架和本文方法在检测高空抛物均具有有效性。表现最好的是本研究框架,平均检出率和小目标检出率较高,误检率较低。总体而言,在真实复杂环境下本文改进框架高空抛物平均检出率大于83%,高空抛物轨迹分类精确度大于81%。

4 结束语

本文针对高空抛物检测,提出基于计算机视觉的高空抛物检测框架。优化检测和跟踪过程,搭建神经网络模型,改进了相似轨迹的分类能力。在真实复杂高层建筑群中分别进行高空抛物、无害抛物和干扰物测试。本研究在实际应用场景中克服了高空抛物检测的种种困难,有效提升高空抛物事件的检出率,显著降低了误检率。所提出的检测框架在实际检测场景中表现出实时、准确的特性,为城市安全的有效维护提供了关键支持。该检测框架为城市管理者提供了一种高效且可靠的手段,以确保城市安全。

参考文献:

[1] 季天宇. 基于深度学习的高空抛物检测技术研究与应用[D]. 无锡:江南大学,2023.

[2] 苏崧. 基于机器视觉的高空抛物检测技术研究[D]. 南京:南京理工大学,2022.

[3] 王志芳,代翔. 一种端边云结合的高空抛物检测解决方案[J]. 中国安全防范技术与应用,2021,(4):26-28.

[4] 刘菁琪,冯禧龙,张泊墉,等. 基于超声波探测和云物联的高空抛物监测系统[J]. 科技与创新,2023(5):53-55.

[5] 赵殿国. 数据防篡改技术综述及其应用探析[J]. 内蒙古统计,2023(4):18-20.

[6] 苏鹏飞. 基于加密算法的智慧园区视频监控上云系统设计[J]. 电子产品世界,2023,30(2):21-24.

[7] 葛泉波,王贺彬,杨秦敏,等. 基于改进高斯混合模型的机器人运动状态估计[J]. 自动化学报,2022,48(8):1972-1983.

[8] 李晁铭,苏康友,张黎. 一种基于计算机视觉的高空抛物智能识别方法[J]. 信息与电脑(理论版),2023,35(13):156-159.

Computer Vision-based High-Altitude Object Detection Method

ZHENG Huifei¹, WANG Juan^{1,2}, WANG Zuli^{1,2}

(1. College of Cybersecurity (Xin Gu Industrial College), Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. National Engineering Research Center for Advanced Microprocessor Technology Industrial Control and Security, Chengdu 610225, China)

Abstract: Aiming at the problem of low accuracy of overhead throwing detection in high-rise building environments, we study the interference factors affecting the accuracy of overhead throwing detection and improve the traditional overhead throwing detection method. Based on the target detection and target tracking technology, anti-jitter and morphological denoising are added to reduce the influence of the complex environment on the detection rate. Further, improve the overhead throwing determination method, extract the feature vectors of the overhead throwing trajectory data during the target tracking process, classify them by the neural network model, and filter the similar trajectories of non-overhead throwing objects. The original and extracted data are encrypted, and the end-to-end encryption method is adopted, so that the data are reliably protected during the whole process of being collected, transmitted, and stored, ensuring that only authorized users can decrypt and access the data. The experiments proved that the improved overhead throwing detection rate and false detection rate were optimized by 32% and 35.4%, and the accuracy of overhead throwing trajectory classification reached more than 81%.

Keywords: high-altitude object; target detection; target tracking; encryption