

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2025.05.058

基于优化 YOLO 算法的电力现场智能安全监控系统研究

刘建军

(大唐河北新能源(张北)有限责任公司,河北 张家口 076450)

摘要:为了提高电力工作场所的安全性和管理效率,研究提出基于优化 YOLO 算法的电力现场智能安全监控系统。设计一种混合特征提取方法,结合背景差值法和帧间差值法进行目标人员检测。引入特征金字塔网络对 YOLOv3 算法进行优化,采用支持向量机对安全行为进行分类。实验结果显示:检测模型平均检测正确率为 99.42%,对未戴安全帽、高处作业未系安全带、高处作业未挂双钩、工作现场未穿绝缘鞋的行为检测均有较好的效果,平均识别准确率分别为 0.87、0.81、0.84、0.86,平均精度为 0.85。研究提出的电力现场智能安全监控系统能够有效识别人员并监测其安全行为。

关键词:YOLOv3;特征金字塔;电力场所;安全监控;特征融合

中图分类号:TP277.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2025)05-0299-04

Research on Intelligent Safety Monitoring System for Power Field Based on Optimized YOLO Algorithm

LIU Jianjun

(Datang Hebei New Energy (Zhangbei) Co., Ltd., Zhangjiakou 076450, China)

Abstract:To improve the safety and management efficiency of power workplaces, this research proposes an intelligent safety monitoring system for power sites based on optimized YOLO algorithm. A hybrid feature extraction method was designed, combining background difference method and inter frame difference method for target personnel detection. Feature pyramid network was introduced to optimize YOLOv3 algorithm, and support vector machine was used to classify security behaviors. The experimental results showed that the average detection accuracy of the detection model was 99.42%, very effective in detecting behaviors of failing to wear safety helmets, safety belts during high-altitude operations, insulated shoes at the work site, and hang double hooks during high-altitude operations, and with the average recognition accuracy as 0.87, 0.81, 0.84, 0.86 respectively, and the average accuracy as 0.85. The proposed intelligent safety monitoring system for power field can effectively identify personnel and monitor their safety behaviors.

Keywords:YOLOv3; feature pyramid; electric power facilities; security monitoring; feature fusion

0 引言

电力施工现场安全隐患多发,传统人工巡检方式难以实现全时段、全覆盖的高效监管。为了提高监控的智能化与实时响应能力,亟需引入计算机视觉与深度学习等智能分析技术^[1]。当前部分研究尝试利用知识图谱、可视化方法等手段构建安全监控系统,虽在特定场景中取得一定成效,但在图像处理效率、算法实时性及复杂环境适应能力方面仍存在不足^[2-3]。YOLO 系列算法具有结构轻量、检测迅速、定位精准等特点,特别适用于动态复杂场景下的电力现场安全监控需求^[4-5]。为此,研究设计了一套包含人员检测、安全行为识别和异常报警三大模块的智能安全监控

系统。系统融合 Gabor 与 Haar 特征构建混合特征提取方法,并在 YOLOv3 基础上引入特征金字塔结构以提升检测精度。通过深度优化模型结构与行为分类机制,本系统能够有效识别现场作业人员及其违规行为,为实现电力施工现场的智能化安全管理提供了新的技术支撑与实现思路。

1 基于优化 YOLO 算法的电力现场智能安全监控系统

1.1 基于混合运动目标检测算法的电力现场人脸检测技术

为识别施工现场进出人员身份,采用融合 Gabor 与 Haar 特征的方法提取图像纹理与边缘信息^[6-7],并结合背景差分法(background

基金项目:河北省“十四五”国家可再生能源示范项目(HBXNY-20200125)

作者简介:刘建军(1970—),男,河北张家口人,本科,研究方向为机械制造及企业安全生产,eight200888@163.com。

subtraction, Bs) 与帧间差分法 (frame difference method, FD) 实现运动目标检测^[8-9]。Bs 通过当前帧与背景图的像素差异提取前景目标,适用于静态场景。FD 通过相邻帧差分提取运动轮廓。二者结合可提高动态目标检测精度^[10-12]。通过图像分块、特征合并及数据库匹配完成身份识别。混合特征定义如式(1)所示。

$$z = (t, x, y, p_1, p_2) \quad (1)$$

式中: z 表示混合特征; t 的取值表示特征类别, 如 $t=1$ 时为 Gabor 特征, $1 < t < 8$ 的整数则表示 Haar 特征; (x, y) 表示位置参数; (p_1, p_2) 表示滤波器参数。根据参数的不同可以对混合特征进行表示。Bs 检测运动目标框图如图 1 所示。

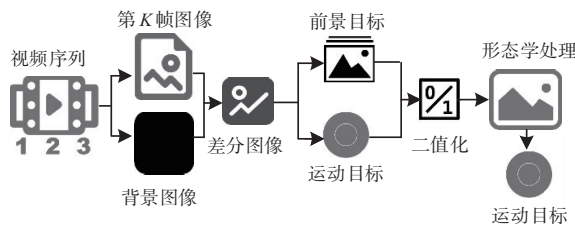


图1 背景差分法检测运动目标框图

图1中,对视频序列进行提取,构建背景模型并提取背景图像,以背景模型作为参考,与当前帧进行比较。将当前图像和背景图像作差,差值较大的像素点被看作前景目标,差值较小的像素点看作背景即运动目标。随着时间的推移和环境的变化,背景模型可以进行相应地更新。这可以通过使用新的图像帧来逐步更新背景模型,以适应环境的变化,如光照变化、新物体的出现等。Bs 计算式如式(2)所示。

$$G(x, y) = H(x, y) - I(x, y) \quad (2)$$

式中: G 表示图像与背景模型的像素差; I, H 分别表示当前帧与背景图像像素点。针对实际检测中多运动目标检测的问题,引入 FD。FD 是一种通过对视频图像序列中相邻两帧作差分运算来获得运动目标轮廓的方法^[13-15]。设第 n 帧和第 $n-1$ 帧像素灰度分别为 $f_n(x, y)$ 和 $f_{n-1}(x, y)$, 其差值经绝对值计算后得到差分图 D_n 。图像经二值化处理,亮度为 255 的为前景目标,亮度为 0 的为背景,最终生成目标区域图像 R_n 。对像素点进行二值化处理如式(3)所示。

$$R_n(x, y) = \begin{cases} 255, & D_n(x, y) > T \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

研究结合 Bs 和 FD 优化目标检测。首先提取前景图并分块处理,FD 提取轮廓后与背景图分

块对比,筛选出像素值超出阈值的区域进行合并,消除干扰。最终生成清晰前景图,通过混合特征识别并与数据库匹配,判断人员身份。

1.2 基于优化 YOLO 算法的电力现场安全行为检测技术

为提升在强噪声环境下的行为检测效果,引入 YOLOv3 算法并融合特征金字塔网络 (feature pyramid network, FPN), 以提升对多尺度目标的检测能力^[16-17]。YOLOv3 使用了 Darknet-53 前面的 52 层作为 Backbone 部分^[18-19]。系统结构包括现场摄像采集、目标检测、行为识别与异常报警模块。识别结果经由支持向量机分类反馈给安全人员,实现对不规范行为的自动检测与预警。利用 FPN 原理进行改进的网络结构如图 2 所示。

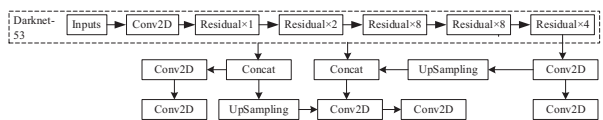


图2 改进YOLOv3网络结构图

图2中,通过 YOLOv3 自有的 Darknet-53 网络获得特征金字塔。通过 Conv53 层连续进行卷积处理,利用不同层数的卷积操作得到尺度不同的 YOLO 层。同时,对得到的 YOLO 层进行位置类别的判断。根据以上内容可构建电力现场智能安全监控系统,系统结构如图 3 所示。

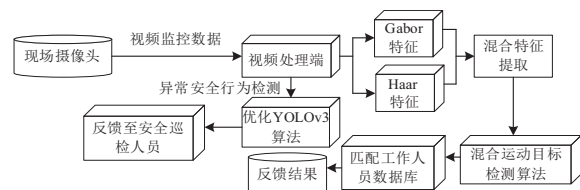


图3 电力现场智能安全监控系统结构图

图3中,现场摄像头采集监控视频,经混合运动目标检测算法识别人员身份,判断是否为授权作业人员。系统提取 Gabor 与 Haar 混合特征以提升识别精度,随后采用优化 YOLOv3 算法检测安全行为,并通过支持向量机 (support vector machine, SVM) 分类,异常结果实时反馈至巡检终端。

2 基于优化 YOLO 算法的电力现场智能安全监控系统分析

为验证电力现场人脸检测技术的有效性,采用平均检测正确率、假警报率和错误匹配率为指

标对混合检测方法进行测试。实验数据来自某电力施工现场监控视频,选取不同时段视频分段抽帧,筛选出4 000张包含典型不安全行为的图像,

其中3 200张用于训练,800张用于测试。检测模型经不同特征提取方式训练后进行对比,结果如图4所示。

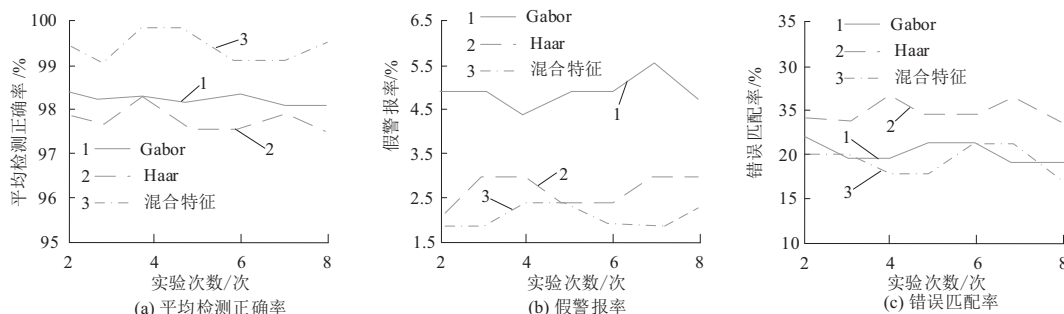


图4 不同特征提取方法下检测模型的检测效果

由图4(a)可知,采用Gabor特征和Haar特征的检测模型平均检测正确率分别为98.48%和97.95%,而混合特征模型达99.42%。图4(b)、图4(c)显示,混合特征模型的假警报率和错误匹配率最低,分别为1.65%和20%。实验结果表明:混合特征提取方法有效提升了检测精度,有助于施工人员的准确识别。为进一步验证模型性能,开展了多类安全行为检测实验,结果如图5所示。

测系统的检测性能,以平均识别准确率和平均精度均值作为指标进行实验,结果如图6所示。

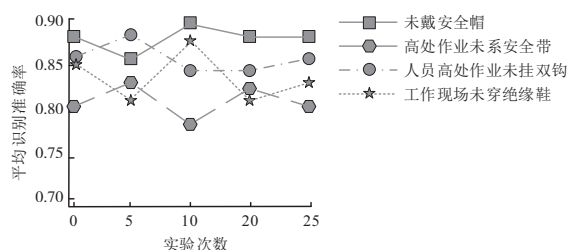


图6 平均识别准确率和平均精度对检测模型的评价结果

由图6可知,经加权平均计算,模型对未戴安全帽行为的平均识别准确率为0.87,波动较小。对高处作业未系安全带、未挂双钩、未穿绝缘鞋行为的识别准确率分别为0.81、0.84、0.86,较未戴安全帽略有下降,整体曲线变化平稳。四类行为的平均检测精度为0.85,表明模型具备较高的识别能力,能有效完成现场人员安全行为监测。

3 结语

本研究针对电力施工现场的安全监控问题,提出了基于混合运动目标检测算法和优化YOLO算法的电力现场智能安全监控系统。结果显示,采用混合特征的检测模型平均检测正确率为99.42%,假警报率为1.65%,错误匹配率为20%。检测模型对施工人员未戴安全帽、高处作业未系安全带、未挂双钩、未穿绝缘鞋的行为检测PR曲线所围面积均较大,平衡点值分别为0.92、0.94、0.93、0.91。对不安全行为的平均识别准确率分别为0.87、0.81、0.84、0.86。平均精度为0.85。由此证明,所提检测模型对现场电力施工人员安全行为有较好的检测效果,能够准确识别出违规行为。

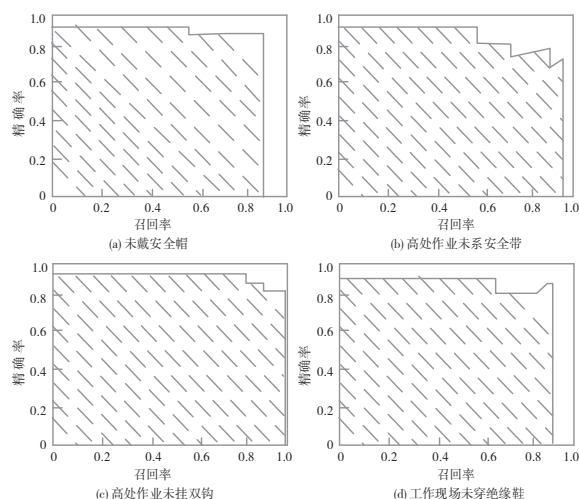


图5 对现场电力施工人员安全行为检测的PR曲线

由图5(a)可知,检测模型对施工人员未戴安全帽的行为检测PR曲线所围面积较大,平衡点值为0.92。由图5(b)可知,模型对人员高处作业未系安全带的行为检测PR曲线所围面积同样较大,平衡点值为0.94。由图5(c)可知,平衡点值为0.93。由图5(d)可知,曲线趋近右上角,平衡点值为0.91。实验数据表明,本研究所提检测模型对现场电力施工人员安全行为有较好的检测效果,能够准确识别出违规行为。为进一步验证检

然而,由于硬件设备、光照、温湿度等环境的影响,安全监控系统检测效果可能会受到影响。未来的研究方向可以着重解决在复杂环境下的检测准确性。

参考文献:

- [1] 谷菁芳,严力,凌人. 基于 AI 识别的自动扶梯安全运行监控系统设计[J]. 自动化技术与应用, 2023, 42(9):131-134,151.
- [2] 龚士林,孙辅庭,黄维,等. 基于知识图谱的大坝安全智能监控预警方法[J]. 工程科学与技术, 2024, 56(3):32-40.
- [3] PIOTR T O Ś, MANOWSKA A, HASSAN M W, et al. HADES: security and monitoring system for selected technological processes in polish underground mining[J]. Mining Machines, 2024, 42(2):129-138.
- [4] 辛恩承. 基于改进 YOLOV3 算法的受电弓安全状态检测技术研究[J]. 铁道机车车辆, 2024, 44(2):94-100.
- [5] 宋一鸣,刘永红. 基于人—资源—环境视角的智能矿山系统设计研究[J]. 包装工程, 2023, 44(增刊1):277-284.
- [6] 张卫国. 一种煤矿安全监控系统设备故障智能诊断实现方法[J]. 煤矿安全, 2024, 55(8):221-226.
- [7] 蔡晨晖,梁晓刚,师剑雄,等. 矿山视频大数据智能分析与安全生产监控平台研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2024, 20(1):65-70.
- [8] 曹小明,张华兵,叶思斯,等. 结合 ECC 算法的电力监控网络智能接入协议[J]. 沈阳工业大学学报, 2024, 46(1):60-65.
- [9] 李玉星,董邵灿,胡其会,等. 油气管道第三方破坏预警技术现状[J]. 中国安全生产科学技术, 2023,

19(增刊2):115-121.

- [10] 王蓓,韩俊飞,李勇,等. 基于智能监控平台的电网安全预警技术研究[J]. 电网与清洁能源, 2023, 39(6):33-38.
- [11] 张晓辉,王恒,赵月川,等. 面向选煤厂的全数字化安全监控系统设计[J]. 洁净煤技术, 2023, 29(增刊2):739-744.
- [12] 张美莲,宋晨星. 隧道智能监测系统的数据采集、提取与分发研究[J]. 公路, 2023, 68(5):407-411.
- [13] 钟莉. 智能监控技术在提升公共安全中的作用及应用;评城市公共安全保障技术[J]. 中国安全科学学报, 2024, 34(6):251-252.
- [14] 王秀,刘保罗,刘永鹏,等. 汽车行止安全智能监控系统[J]. 计算机应用与软件, 2024, 41(2):340-344.
- [15] 牛广利,李天旻,薛广文,等. 长距离引调水工程智能安全监控预警系统研发及应用[J]. 长江科学院院报, 2025, 42(2):204-210.
- [16] 党王聪,董博,乔佳妮,等. 基于千眼视频智能分析的综合安全管理系统[J]. 煤矿安全, 2024, 55(12):236-242.
- [17] 姜枫,贺鹏,王刚,等. 隧道施工全过程安全管控与智能决策系统及其工程应用[J]. 隧道建设(中英文), 2024, 44(增刊2):266-285.
- [18] 贺耀宜,代左朋,杨耀,等. 采煤工作面 CH₄大样本数据感知关键技术及监测模式研究[J]. 工矿自动化, 2024, 50(11):17-25,91.
- [19] 冯陈佳,朱江,朱寅,等. 电力监控网安设备策略统一管理体系及其实践[J]. 信息安全研究, 2024, 10(5):481-488.

收稿日期:2024-09-27

(上接第281页)

- [13] 李二庭,史权,马聪,等. 生物降解稠油极性化合物负离子电喷雾傅里叶变换离子回旋共振质谱分析[J]. 石油实验地质, 2022, 44(3):515-521.
- [14] 胡天行,盛正卯,吴栋. 基于流守恒和傅里叶谱分析的混合型 Wigner-Poisson 方程组求解[J]. 计算物理, 2023, 40(2):248-257.
- [15] 陈方林,曹怡青,王雨田,等. 非线性傅里叶变换及其在光通信和超短脉冲表征领域的应用[J]. 中国激光, 2022, 49(12):238-257.
- [16] 张苏,张民,史亚香,等. 基于快速傅里叶变换-卷积神经网络的医疗设备多维生命周期管理系统的构建

研究[J]. 中国医学装备, 2025, 22(4):117-122.

- [17] 李雅倩,刘娟,郑君,等. 傅里叶变换红外光谱仪快速筛查化妆品中的磨砂颗粒[J]. 中国无机分析化学, 2024, 14(8):1109-1115.
- [18] 韩云翠,吕志远,刘玉涛,等. 基于傅里叶变换中红外光谱技术的浓香型基酒快速检测[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(1):272-278,285.
- [19] 刘庆森. 基于拉曼光谱和傅里叶变换红外光谱对牛肉腐败的快速无损预测研究[D]. 泰安:山东农业大学, 2023.

收稿日期:2024-05-15