

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2025.03.021

陈卫东, 丁俊丹, 韩志强, 等. 基于视频异常行为检测在粮食仓储行业的应用研究进展[J]. 粮油食品科技, 2025, 33(3): 204-210.

CHEN W D, DING J D, HAN Z Q, et al. Research progress on video-based abnormal behavior detection in the grain storage industry[J].

Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2025, 33(3): 204-210.

基于视频异常行为检测在粮食仓储行业的应用研究进展

陈卫东^{1,2}, 丁俊丹¹, 韩志强³, 何 为¹, 张 峰³

- (1. 河南工业大学 信息科学与工程学院, 河南 郑州 450001;
2. 河南工业大学 粮食储运国家工程研究中心, 河南 郑州 450001;
3. 中山市粮食储备经营管理有限公司, 广东 中山 528400)

摘 要: 加强有限空间作业安全管理是预防和减少生产安全事故的重要基础, 在粮仓封闭大空间内, 由于光线不足和空气流通受限, 作业过程中存在较大的安全风险, 利用仓内监控视频对作业人员的行为进行检测和分析, 是确保安全作业的重要技术手段。本文总结了基于视频的粮仓作业异常行为检测的数据集建立与预处理方法, 阐述了机器学习和深度学习技术在该领域的应用进展, 包括异常行为识别、实时预警等方面的技术创新与实践应用。同时, 汇总了该领域研究成果及存在的问题, 如数据集不完善、模型准确性不足等, 对未来研究方向进行了展望。

关键词: 粮食仓储; 视频; 异常行为检测; 深度学习

中图分类号: TS201.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7561(2025)03-0204-07

网络首发时间: 2025-04-24 10:33:20

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.TS.20250424.0908.004>

Research Progress on Video-based Abnormal Behavior Detection in the Grain Storage Industry

CHEN Wei-dong^{1,2}, DING Jun-dan¹, HAN Zhi-qiang³, HE Wei¹, ZHANG Feng³

- (1. Henan University of Technology, College of Information Science and Engineering, Zhengzhou, Henan 450001, China; 2. Henan University of Technology, National Engineering Research Center for Grain Storage and Transportation, Zhengzhou, Henan 450001, China;
3. Zhongshan Grain Reserve Management Co., Zhongshan, Guangdong 528400, China)

Abstract: Strengthening the safety management in confined space operations is an important foundation for preventing and reducing production safety accidents. In the grain silo, which are large enclosed spaces with insufficient lighting and restricted air circulation create significant safety risks during the operation. Utilizing in-silo surveillance video to detect and analyze the behavior of workers is a crucial technical measure to

收稿日期: 2024-09-25; 修回日期: 2024-11-15; 录用日期: 2024-11-18

基金项目: 河南工业大学企业合作项目“《立体仓库成品大米储藏技术规范》标准研究”(51100225)

Supported by: Henan University of Technology Horizontal Subject Project “Standard Research on Technical Specification for Finished Rice Storage in Stereo Warehouses” (No. 51100225)

第一作者: 陈卫东, 男, 1972 年出生, 硕士, 副教授, 研究方向为图像处理与模式识别, E-mail: chenweid@haut.edu.cn

ensure safe operations. This paper summarizes the methods for establishing and preprocessing datasets for video-based abnormal behavior detection in grain storage operations, explains the progress of machine learning and deep learning technologies in this field, including technological innovation and practical applications in areas such as abnormal behavior detection and real-time early warning. In addition, the paper reviews the research findings and existing problems in this field, such as incomplete datasets, insufficient model accuracy, etc., and provides an outlook on future research directions.

Key words: grain storage; video; abnormal behavior detection; deep learning

近年来, 安全生产态势总体平稳, 但粮食仓储日常生产过程中, 人员进出仓、机械和车辆进出库等作业频繁, 安全生产风险、隐患随之增加。为确保粮食仓储企业作业安全和人员安全, 视频监控技术在粮食仓储管理中的应用逐渐深入。利用视频监控技术进行异常行为检测已成为一种有效的管理手段。视频监控系统可以实时监测粮仓内的各项作业活动, 并通过机器学习和深度学习算法分析监控画面, 识别出异常行为和潜在的安全风险。

在粮食仓储行业中, 随着“粮安工程”的推进以及粮库智能化升级和粮食购销领域信息化监管项目的实施, 仓内视频监控系统的应用变得日益广泛。然而, 如何利用传统的机器学习与深度学习技术高效、实时、精确地识别出异常行为确保安全生产仍然是当前研究的重要课题。具体来说, 粮仓内部视频异常行为检测面临几个主要挑战: 首先, 由于光线暗和图像质量不高导致识别困难; 其次, 多目标跟踪困难增加了漏检和误检的风险; 最后, 远距离目标的细节感知能力下降, 难以准确识别。同时, 关于粮仓环境异常行为检测的文献资料较少, 需要借鉴其他领域相关研究文献来丰富和完善这一领域的理论基础和实践方法。

本文重点总结了粮食仓储行业安全生产事件中常见的安全帽佩戴、吸烟和人体姿态(倒伏)等异常行为检测的相关文献, 并深入探讨了视频异常行为检测数据集获取和预处理的方法, 以及机器学习和深度学习技术在该领域的应用。分析了现有文献的主要成果与待解决的问题, 并对粮食仓储行业基于视频异常行为检测的未来研究方向进行了展望。

1 数据集获取与预处理

在视频异常行为检测领域, 开源数据集资源相对匮乏, 很多研究者通常需要针对特定场景或行为(如人员未佩戴安全帽、吸烟、跌倒等异常行为)进行数据的获取与预处理。

1.1 数据集获取

安全帽佩戴异常检测中常用的公开数据集有 Hard Hat worker image dataset 和 Safety Helmet Wearing Dataset^[1]。然而, 开源数据集有限, 许多研究人员选择自行构建数据集, 丁玲等^[2]从监控视频中截图得到 10 885 幅不同的图像, 并用 LabelImg 工具分别标注为未佩戴安全帽、未规范佩戴安全帽、规范佩戴安全帽 3 种场景, 从实际场景中获取的方式增加了数据集的适用性, 使其在训练模型时能够更好地泛化到真实场景的任务中; 乔炎等^[3]通过实地拍摄收集了 6 000 张图像, 涵盖了不同的尺度、场景、明暗度和密度等因素, 更加贴近实际工作环境的复杂性, 这种多维度的数据集有助于模型学习如何在复杂环境中准确识别安全帽佩戴情况, 从而提高模型的鲁棒性和准确性。

为了满足研究需求, 大多数研究人员往往需要自建吸烟行为检测的数据集。Gong 等^[4]通过在线图像收集和模拟吸烟行为的图像拍摄, 共获得了 7 000 张图像的吸烟数据集 YOLOv5s Dataset, 结合在线资源和实地模拟的方法, 以增加数据集的多样性和应用范围; 赵鉴福等^[5]使用 Azurite Kinect 传感器录制吸烟行为的待检测视频并分帧处理, 最后获得 500 张图像, 标注为吸烟和未吸烟两大类, 使用先进传感器技术的方法能够在特定环境下提供高质量的数据集。

人体姿态异常数据集涵盖了各种各样异常的人体姿态和动作。Abid Mehmood^[6]利用数据集 (Uncrowded scene falling loitering violence dataset, UFLV-DS), 研究了 3 种异常行为, 包括跌倒、徘徊和暴力; Jiyoo Lee^[7]使用的数据集 AI Hub 是由韩国国家信息社会局在 2017 年建立的 AI 集成平台提供的, 包含了 700 h (8 400 个片段) 的视频数据, 涵盖了晕厥、徘徊、非法侵入、倾倒等 12 种异常行为, 为相关领域的研究提供了精确的数据支持。

现有的安全帽佩戴、吸烟行为、人体姿态异常检测技术主要基于建筑工地或工厂车间等规

范环境的视觉数据集, 而粮仓环境存在光照昏暗、粉尘干扰等差异, 要求更高的模型鲁棒性和准确性。未来的研究应着重解决粮仓作业场景数据的收集与标注问题, 以及技术在不同环境中的适配性。

1.2 数据预处理

数据预处理不仅是提高数据质量的关键步骤, 也是优化机器学习和深度学习算法的重要手段。通过数据的预处理, 如归一化、灰度值范围统一和尺寸标准化等, 可以显著提高模型的准确性和泛化能力。数据预处理相关信息比较如表 1 所示。

表 1 数据预处理相关信息比较表
Table 1 Data Preprocessing Comparison Table

异常行为	预处理方式	优点	缺点	来源
安全帽佩戴	随机裁剪、Cut Mix、噪声模拟环境、高斯滤波去噪	操作简单、成本低, 能够模拟真实环境	可能丢失重要信息	[8]
	Mosaic 数据增强技术、随机缩放、剪切和排列等方式	提高模型的泛化能力、检测精度、提升实时检测能力		[9]
吸烟行为	灰度值和尺寸标准化	提高模型准确性和稳定性	造成细节损失	[10]
	多尺度放缩、平移旋转、对称、随机擦除以及 Cut Mix	增强了检测模型的泛化能力和准确率	时间成本较高	[11]
人体姿态异常	高斯混合模型、二值化处理和形态学处理	提高准确性和实时性	无	[12]
	进行裁剪与传输、背景生成与二值化、特征提取与网络训练	在行人检测与跟踪方面表现出色	低光照条件下效果不好	[13]

2 基于机器学习的视频异常行为检测

通过利用机器学习算法, 研究人员已经能够设计出高效的系统来识别各种异常行为, 如作业人员未规范佩戴安全帽、吸烟、跌倒等。本章将从监督学习和无监督学习两个方面, 对近年来机器学习在视频异常行为检测领域的研究进展进行综述。

2.1 监督学习

在智能监控和异常行为识别领域, 监督学习技术的应用日益成熟。越来越多的研究开始集中于如何利用先进的算法和技术手段来提高监控系统的效率和准确性。

赵鉴福等^[5]采用基于傅里叶描述子与支持向量机 (Support vector machine, SVM) 的方法, 以解决烟雾传感器易受粉尘和水雾干扰的问题,

从而显著提高了烟雾检测的准确性和鲁棒性。为了解决传统方法在处理多尺度信息和预测未来帧时的不足, Li 等^[14]提出了一种创新的时空统一网络用于视频异常检测, 这种方法结合了 U 形卷积自编码网络的空间信息表示能力和卷积长短期记忆网络的时间运动数据建模能力, 有效提高了视频异常检测的准确性和效率。Gong 等^[15]为了解决视频中存在复杂的背景和多种人物行为导致网络容易分散注意力、辨别能力不足以及样本不平衡等问题, 提出了局部区分增强网络的方法, 并引入人类检测模块, 从而显著提高了人类异常行为检测的精确度。

2.2 无监督学习

无监督学习方法在异常行为检测领域也展现出了巨大的潜力。Zhu 等^[12]为了提高人体姿态异常检测算法的实时性, 提出了一种基于移动对象

最小包围矩形交叉区域的多目标跟踪算法, 该算法能够实现有效判断并排除多目标间的交叉和干扰, 从而提高跟踪算法的准确性。Fan 等^[16]提出基于高斯混合全卷积变分自编码器进行视频异常行为检测, 通过结合空间流和时间流的信息, 达到高效、准确的异常行为检测。Wu 等^[17]提出了新型异常人体行为检测框架, 利用高斯混合模型分割视频中每帧的背景图像, 使用模糊 C 均值 (Fuzzy c-means clustering algorithm, FCM) 算法对数据集进行聚类, 实现在室内环境中人群异常行为检测。

以上这些技术虽然在各自领域内取得了显著成果, 但在粮仓作业环境中应用时可能面临一些挑战。如光照、粉尘、气象等因素影响传感器和视频采集的准确性。此外, 人员行为多样且背景复杂, 可能导致传统检测方法出现识别不准或实时性差的问题。因此, 未来需在现有技术基础上进行适应性优化, 提升鲁棒性和实时性, 解决多尺度信息处理和复杂背景下的精确检测问题。

3 基于深度学习的视频异常行为检测

相比于机器学习, 深度学习可以很好的解决在粮仓这样低光照环境下对异常行为的精确识别。目前, 在异常行为检测方面深度学习通常被分为二阶段和一阶段这两种主要算法。二阶段算法首先生成候选区域, 然后对每个候选区域进行分类和边界框回归。最典型的二阶段算法主要包括更快的区域卷积神经网络 (Faster region-based convolutional neural network, Faster R-CNN), 这种方法通过区域提案网络 (Region proposal network, RPN) 生成高质量的候选区域, 然后对这些候选区域进行进一步的分类和边界框调整, 以提高检测精度, 但由于需要两次处理, 计算速度相对较慢。一阶段算法则直接在图像上进行目标检测, 不需要生成候选区域, 这类算法包括 YOLO 系列、SSD 系列等。该算法通过将图像划分为多个网格, 并在每个网格上预测多个边界框及其类别概率, 从而直接输出检测结果。这种方法的优势在于速度快, 但可能在复杂场景下的检测精度略低于二阶段算法。

3.1 基于改进 Faster R-CNN 的视频异常行为检测

Faster R-CNN 是一个综合了特征提取、候选区域生成、分类和边框回归的完整目标检测系统, Faster R-CNN 结构图如图 1 所示。

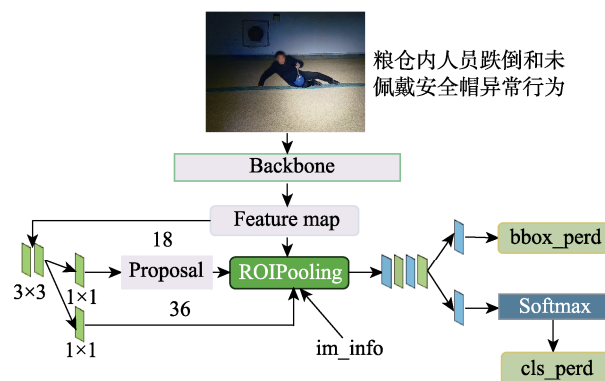


图 1 Faster R-CNN 结构图

Fig.1 Faster R-CNN Architecture Diagram

近年来, 为了提高视频异常行为检测的精度, 许多研究者专注于改进 Faster R-CNN 算法, 主要通过增强特征提取网络、修改 Anchors 的数量、添加特征融合金字塔等方式。

余保玲等^[18]提出基于改进 Faster R-CNN 和多目标人体关节节点检测算法 (Deep learning for human pose estimation, DeepPose), 主要解决传统模型在处理多个目标时面临的问题, 有效提高了对多目标关节节点的检测精度。韩贵金等^[19]提出了一种改进的快速吸烟检测算法, 通过结合人脸检测以缩小烟支检测范围, 有效解决了经典卷积神经网络在速度、误检率和硬件占用率上的不足。实验结果显示, 该算法在误检率、检测时间和 CPU 使用率方面显著降低。

现有的 Faster R-CNN 改进算法小目标识别以及多目标检测等方面取得了显著进展, 但在粮仓这样的特殊环境下, 此类方法需要进一步优化, 以提高鲁棒性、适应性和实时性, 特别是在处理遮挡和小目标检测方面。

3.2 基于改进 YOLO 的视频异常行为检测

与 Faster R-CNN 算法相比, YOLO 系列算法在速度和实时性能方面具有更明显优势。近几年改进 YOLO 系列算法在视频异常行为检测领域取得了广泛的应用。以典型的 YOLOv5 为例, YOLOv5 的网络结构图如图 2 所示。

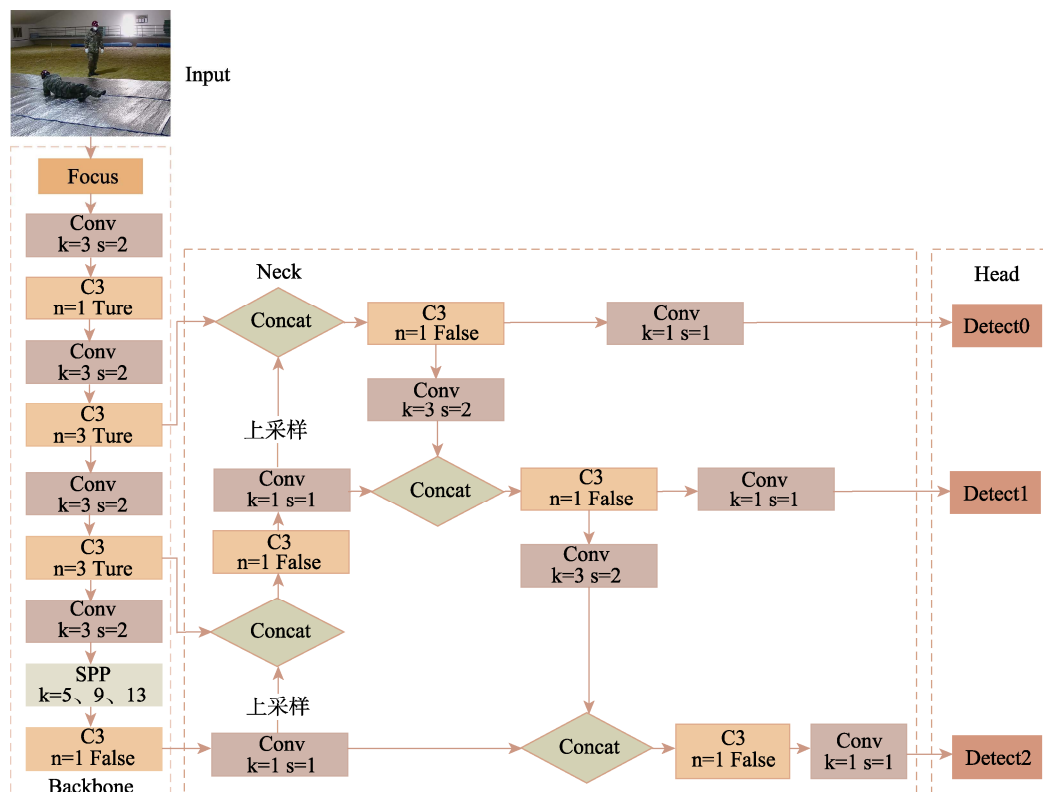


图 2 YOLOv5 网络结构图

Fig.2 YOLOv5 Network Architecture Diagram

YOLOv3 以其实时性和高效性赢得了广泛的关注。赵红成等^[20]基于 YOLOv3 引入密集对象检测的焦点损失 (Focal loss for dense object detection, FOCAL LOSS), 使模型更加专注于困难正样本的训练, 实验显示, 改进后的模型平均精度 (Mean average precision, mAP) 较原始模型提高了 13.3%。侯晓龙等^[21]在 YOLOv3tiny 模型的基础上通过整合 Sort 算法进行精确的运动轨迹跟踪, 并利用实时多人二维姿态估计模型 (AlphaPose real-time multi-person 2D pose estimation, AlphaPose) 获取人体的关节坐标和权重数据, 使得在粮仓等特定场景下视频异常行为识别不仅精确度高, 而且处理速度极快。

YOLOv4 在处理复杂背景、小目标以及低光照环境等问题时, 表现出色。Kim 等^[13]为了解决低光照环境下对人体姿态异常检测不精确的问题, 通过整合 YOLOv4 检测器和动作识别模块 (3D residual networks for action recognition, 3D ResNet), 构建人员异常行为分析的深度学习模型。王建波等^[22]提出了一种改进的 YOLOv4-tiny 轻量级安全帽检测模型, 主要通过增加小目标检

测尺度、优化特征融合结构和引入解耦预测头等创新方法解决了小目标物体检测困难的问题, 实验显示改进后的模型 mAP 可达到 92.82%。

YOLOv5 在准确性和速度上具有卓越表现。但是, 在实际应用中, YOLOv5 仍面临诸如目标轨迹复杂、遮挡、姿态变化多等挑战。Li 等^[1]为了解决在复杂场景中目标轨迹的复杂性、目标遮挡以及目标姿态变化多等问题, 使用 YOLOv5s 检测模型和跟踪算法 (Strongly recurrent object tracking using adaptive multi-object tracker, Strong SORT), 提高检测的精度。谭梦颖等^[23]通过引入注意力机制捕捉更多的细节信息并聚焦于烟支目标特征, 解决了低照明复杂环境下的吸烟行为难以实时检测的问题, 有效提高了网络对目标特征的提取能力, 降低了漏检率。

综上所述, YOLOv3 引入的焦点损失虽然提高了困难正样本的检测精度, 但在粮仓这种背景复杂、光照变化大的环境中, 仍可能存在目标检测不精确的问题; YOLOv4 在复杂背景下的表现有所提升, 但其对小目标的检测仍然受到局限, 尤其是在粮仓这种密集的作业环境中; YOLOv5

虽然在准确性和速度上有所突破，但仍需解决目标遮挡、姿态变化等复杂情况。因此，针对粮仓作业环境，未来需要进一步优化小目标检测、背景干扰抑制、低光照适应性等方面的技术。

随着技术的不断进步，未来有望出现更多创新的方法和应用，为视频异常行为检测提供更加强大的技术支持。基于深度学习异常行为检测算法的相关比较如下表 2 所示。

表 2 基于深度学习视频异常行为检测算法的相关比较表
Table 2 Comparison table of deep learning-based video anomaly detection algorithms

异常行为	关键技术	优点	缺点	mAP/%	来源
安全帽佩戴	Faster R-CNN+Mask R-CNN+SE	提供较高的检测精度	较低的处理速度	93.6	[24]
	YOLOv7_ours 模型+面部识别技术+文本转语音技术+SIOU	克服在不同光照条件、背景复杂度及距离变化的问题	对于小尺寸或密集分布的目标检测可能仍然存在挑战	97.5	[25]
吸烟行为	DeepPuff 模型+CNN+LSTM 网络结构	增强 DeepPuff 模型在时间序列数据中检测吸烟吸入行为的能力	背景噪音、身体运动等，这可能会影响到模型的性能	93.8	[26]
	YOLOv5s 模型+Transformer 算法+坐标注意力模块+改进的数据增强策略	多目标和小目标场景中，有效提高吸烟行为的实时检测精度	技术引入可能会增加模型的计算复杂度和对硬件的要求	93.7	[27]
人体姿态异常	多分支卷积融合神经网络+GRU+UCF-Crime	在处理监控视频中的异常行为时表现出较高的效率和准确性	处理速度较慢	86.7	[28]
	TimeSformer+注意力机制+ASGD	具有良好的泛化能力和准确率	速度较慢	94.2	[29]

4 总结与展望

本文结合粮食仓储管理作业中常见的安全帽佩戴异常、吸烟和人体姿态异常等行为检测的实际需求，深入探讨了基于视频的异常行为检测技术的研究进展，分析了该技术在提升作业安全性和效率方面的显著作用。这些技术的应用不仅加强了作业人员行为的监管，还有助于实时预防潜在的安全隐患，为粮食仓储企业安全生产提供技术支撑。

虽然基于视频的异常行为检测技术日趋成熟，并且在粮食仓储行业的应用也取得了一定进展，但因为粮仓环境的特殊性，应用推广过程中仍存在一些问題，未来可以从以下几个方面加以改进：

- （1）通过实地考察、监控视频录制和模拟行为等方式获取更真实的粮仓环境的异常行为数据集；
- （2）解决粮仓环境中光线不足、处理遮挡多目标跟踪困难以及远距离目标识别不精确等问题；
- （3）结合物联网（Internet of things, IoT）技术和边缘计算提升实时数据处理能力，从而更有效地支撑粮仓环境下安全作业行为的监控和管理；
- （4）利用深度学习方法在特征提取和时序数

据分析的优势，加强算法模型的优化改进从而更准确地识别和分类复杂的粮仓作业活动。

参考文献：

[1] LI F, CHEN Y, HU M, et al. Helmet-wearing tracking detection based on StrongSORT[J]. Sensors, 2023, 23(3): 1682.

[2] 丁玲, 缪小然, 胡建峰, 等. 改进 YOLOv8s 与 DeepSORT 的矿工帽带检测及人员跟踪[J]. 计算机工程与应用, 2024, 60(5): 328-335.

DING L, MIU X R, HU J F, et al. Improved miner chin strap detection and personnel tracking with YOLOv8s and DeepSORT[J]. Computer Engineering and Applications, 2024, 60(5): 328-335.

[3] 乔炎, 甄彤, 李智慧. 改进 YOLOv5 的安全帽佩戴检测算法[J]. 计算机工程与应用, 2023, 59(11): 203-211.

QIAO Y, ZHEN T, LI Z H. Improved helmet wear detection algorithm for YOLOv5[J]. Computer Engineering and Applications, 2023, 59(11): 203-211.

[4] GONG F, LI Y, YUAN X, et al. Human elbow flexion behavior recognition based on posture estimation in complex scenes[J]. IET Image Processing, 2023, 17(1): 178-192.

[5] 赵鉴福, 梁金幸, 史宝军. 基于傅里叶描述子的吸烟行为检测方法[J]. 传感器与微系统, 2023, 42(10): 7-150+155.

ZHAO J F, JIANG J X, SHI B J. Smoking behavior detection method based on fourier descriptor[J]. Sensors and Microsystems, 2023, 42(10): 7-150+155.

[6] MEHMOOD A. Abnormal behavior detection in uncrowded videos with two-stream 3D convolutional neural networks[J]. Applied Sciences, 2021, 11(8): 3523.

[7] LEE J, SHIN S J. A study of video-based abnormal behavior

- recognition model using deep learning[J]. International Journal of Advanced Smart Convergence, 2020, 9(4): 115-119.
- [8] 葛青青, 张智杰, 袁琰, 等. 融合环境特征与改进 YOLOv4 的安全帽佩戴检测[J]. 中国图象图形学报, 2021, 26(12): 2904-2917.
GE Q Q, ZHANG Z J, YUAN L, et al. Safety helmet wearing detection method of fusing environmental features and improved YOLOv4[J]. Journal of Image and Graphics in China, 2021, 26(12): 2904-2917.
- [9] 宋晓凤, 吴云军, 刘冰冰, 等. 改进 YOLOv5s 算法的安全帽佩戴检测[J]. 计算机工程与应用, 2023, 59(2): 194-201.
SONG X F, WU Y J, LIU B B, et al. Improved YOLOv5s algorithm for helmet wearing detection[J]. Computer Engineering and Applications, 2023, 59(2): 194-201.
- [10] LI F, YAO D, JIANG M, et al. Smoking behavior recognition based on a two-level attention fine-grained model and EfficientDet network[J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2022, 43(5): 5733-5747.
- [11] 陈睿龙, 罗磊, 蔡志平, 等. 基于深度学习的实时吸烟检测算法[J]. 计算机科学与探索, 2021, 15(2): 327-337.
CHEN R L, LUO L, CAI Z P, et al. Algorithm for real-time smoking detection based on deep learning[J]. Computer Science and Exploration, 2021, 15(2): 327-337.
- [12] ZHU Y Y, ZHU Y Y, ZHEN-KUN W, et al. Detection and recognition of abnormal running behavior in surveillance video[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2012, 2012(1): 296407.
- [13] KIM D, KIM H, MOK Y, et al. Real-time surveillance system for analyzing abnormal behavior of pedestrians[J]. Applied Sciences, 2021, 11(13): 6153.
- [14] LI Y, CAI Y, LIU J, et al. Spatio-temporal unity networking for video anomaly detection[J]. IEEE Access, 2019, 7: 172425-172432.
- [15] GONG M, ZENG H, XIE Y, et al. Local distinguishability aggrandizing network for human anomaly detection[J]. Neural Networks, 2020, 122: 364-373.
- [16] FAN Y, WEN G, LI D, et al. Video anomaly detection and localization via gaussian mixture fully convolutional variational autoencoder[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2020, 195: 102920.
- [17] WU C, CHENG Z. A novel detection framework for detecting abnormal human behavior[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2020, 2020(1): 6625695.
- [18] 余保玲, 虞松坤, 孙耀然, 等. 基于 DeepPose 和 Faster RCNN 的多目标人体骨骼节点检测算法[J]. 中国科学院大学学报, 2020, 37(6): 828-834.
YU B L, YU S K, SUN Y R, et al. Human body joint nodes detection based on DeepPose and Faster RCNN[J]. Journal of University of Chinese Academy of Sciences, 2020, 37(6): 828-834.
- [19] 韩贵金, 李倩. 基于 Faster R-CNN 的吸烟快速检测算法[J]. 西安邮电大学学报, 2020, 25(2): 85-91.
HAN G J, LI Q. A rapid detection algorithm for smoking based on Faster R-CNN[J]. Journal of Xi'an University of Posts and Telecommunications, 2020, 25(2): 85-91.
- [20] 赵红成, 田秀霞, 杨泽森, 等. 改进 YOLOv3 的复杂施工环境下安全帽佩戴检测算法[J]. 中国安全科学学报, 2022, 32(5): 194-200.
ZHAO H C, TIAN X X, YANG Z S, et al. Safety helmet wearing detection algorithm in complex construction environment based on improved YOLOv3[J]. Journal of Safety Science in China, 2022, 32(5): 194-200.
- [21] 侯晓龙, 杨卫东, 李磊, 等. 基于骨架序列多算法的粮仓作业人员异常行为视频识别[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(3): 201-210.
HOU X L, YANG W D, LI L, et al. The video recognition of abnormal behavior of granary workers based on skeleton sequence multi-algorithm fusion[J]. Grain and Oil Food Science and Technology, 2024, 32(3): 201-210.
- [22] 王建波, 武友新. 改进 YOLOv4-tiny 的安全帽佩戴检测算法[J]. 计算机工程与应用, 2023, 59(4): 183-190.
WANG J B, WU Y X. Safety helmet wearing detection algorithm of improved YOLOv4-tiny[J]. Computer Engineering and Applications, 2023, 59(4): 183-190.
- [23] 谭梦颖, 王祥, 聂磊. 低照明复杂环境下吸烟行为检测技术研究[J/OL]. 安全与环境学报, 1-11 [2024-07-19].
TANG M Y, WANG X, NIE L. Enhancement of smoking behavior detection technology in low-light complex environments [J/OL]. Journal of Safety and Environment, 1-11 [2024-07-19].
- [24] LEE J Y, CHOI W S, CHOI S H. Verification and performance comparison of CNN-based algorithms for two-step helmet-wearing detection[J]. Expert Systems with Applications, 2023, 225: 120096.
- [25] CHEN X, XIE Q. Safety helmet-wearing detection system for manufacturing workshop based on improved YOLOv7[J]. Journal of Sensors, 2023, 2023(1): 7230463.
- [26] BELSARE P, SENYUREK V Y, IMTIAZ M H, et al. DeepPuff: utilizing deep learning for smoking behavior identification in free-living environment[C]//202345th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC). IEEE, 2023: 1-5.
- [27] 杨国亮, 龚志鹏, 黄聪, 等. 基于深度学习的吸烟行为实时检测[J]. 安全与环境学报, 2023, 23(10): 3696-3705.
YANG G L, GONG Z P, HUANG C, et al. Real-time smoking behavior detection based on deep learning[J]. Journal of Safety and Environment, 2023, 23(10): 3696-3705.
- [28] XU Z, LU Y. Abnormal behavior detection algorithm based on multi-branch convolutional fusion neural network[J]. Multimedia Tools and Applications, 2023, 82(15): 22723-22740.
- [29] 廖晓群, 徐清钊, 杨浩东, 等. 基于改进 TimeSformer 算法的人体异常行为识别研究[J/OL]. 计算机工程, 1-14 [2024-08-19].
LIAO X Q, XU Q C, YANG H D, et al. Research on abnormal human behavior recognition based on improved TimeSformer algorithm[J/OL]. Computer Engineering, 1-14 [2024-08-19].
- 备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lspkj.kjournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。