融合计算机视觉的施工现场安全行为识别与预警系统研究

潘海华

（宁阳县房产管理服务中心，山东 泰安 271400）

摘　要：针对施工现场人员行为复杂、危险源多及人工监管难度大等问题，文章提出一种融合计算机视觉技术的施工现场安全行为识别与预警系统。该系统基于深度学习目标检测和行为识别模型，对人员安全帽佩戴、违规进入危险区域及危险操作行为等进行实时识别，并结合边缘计算与规则引擎实现多级预警机制。实验结果表明，该系统在典型施工场景下具有较高的识别准确率和实时性，可有效提升施工现场安全管理水平。

关键词：计算机视觉；施工安全；行为识别；深度学习；安全预警；智能监控

中图分类号：TU71　　**文献标识码：**A

Research on safety behavior recognition and warning system for construction sites integrating computer vision

PAN Haihua

（Ningyang Real Estate Management Service Center，Tai'an，Shandong 271400，China）

Abstract：Aiming at the problems of complex personnel behavior，numerous hazard sources，and high difficulty of manual supervision at construction sites，this paper proposes a safety behavior recognition and warning system for construction sites integrating computer vision technology. Based on deep learning object detection and behavior recognition models，the system performs real-time identification of personnel safety helmet wearing，unauthorized entry into hazardous areas，and dangerous operation behaviors，and combines edge computing with a rule engine to achieve a multi-level warning mechanism. Experimental results show that the system has high recognition accuracy and real-time performance in typical construction scenarios，and can effectively improve the safety management level of construction sites.

Key words：computer vision，construction safety，behavior recognition，deep learning，safety warning，intelligent monitoring

1　引言

随着建筑工程规模不断扩大，施工现场人员密集、设备复杂，安全事故频发问题日益突出。传统依赖人工巡检与视频监控的管理方式存在滞后性强、覆盖不足、响应慢等缺陷，难以满足现代施工安全管理需求。近年来，随着人工智能和计算机视觉技术的发展，基于深度学习的目标检测和行为分析方法在智能安防领域得到广泛应用，为施工现场安全管理提供了新的技术路径[1]。因此，构建一种自动化、智能化的安全行为识别和预警系统具有重要的现实意义。

2　系统总体架构设计

本文设计并实现了一种施工现场安全行为智能识别与预警系统。该系统采用“感知层—分析层—决策层—应用层”四层一体化架构。其中，感知层通过多源摄像设备实时采集施工现场视频数据；分析层基于深度学习模型完成人员检测、安全帽佩戴识别、工具设备识别及攀爬、闯入危险区等典型危险行为识别；决策层引入规则引擎和风险等级评估模型，将风险划分为一级未佩戴安全帽、二级进入禁区、三级高空危险行为，并进行分级判定和联动处理；应用层构建可视化监控和预警平台，实现实时报警弹窗、声光联动提示及事件自动记录与回溯分析。由此形成“感知—识别—判断—响应”的闭环安全管理机制，有效提升施工现场安全监管的智能化和实时性[2]。

3　关键技术

为实现系统架构功能，本文分别采用目标检测、行为识别、多目标跟踪及边缘计算优化等技术。其中，目标检测用于识别人员和安全装备，行为识别用于判定危险行为，多目标跟踪用于跨帧关联与身份保持，边缘计

算优化则保障系统实时推理和低延迟响应。

3.1　目标检测模块

目标检测模块采用改进型YOLO系列目标检测模型（如YOLOv5，YOLOv8），用于施工现场人员与安全装备的实时检测和识别。该模型通过端到端的单阶段检测结构，将目标定位和分类任务统一建模，在保证检测精度的同时显著提升推理速度，适用于复杂施工环境下的实时监控需求[3]。同时，该模型输入为施工现场视频帧，输出包括人员边界框、安全帽佩戴状态及工具设备类别等信息。为提升复杂光照、遮挡及多目标场景下的鲁棒性，该模型损失函数综合考虑分类误差、定位误差和置信度误差：

$$L=L_{\text{cls}}+\lambda_1 L_{\text{box}}+\lambda_2 L_{\text{obj}} \tag{1}$$

其中，L_{cls}表示分类损失；L_{box}表示边界框回归误差；L_{obj}表示目标置信度损失；λ_1与λ_2为权重系数。

3.2　行为识别方法

在目标检测结果基础上，行为识别模块进一步引入时序行为分析模型，实现对施工人员危险行为的动态识别和理解。针对施工行为具有明显时间连续性的特点，分别采用“CNN+LSTM”、3D CNN及Transformer结构进行建模，其中CNN负责提取空间特征，LSTM用于建模时间依赖关系，Transformer用于捕捉长时序行为关联，从而提升复杂行为识别能力。该模块重点识别攀爬脚手架、高空抛物、闯入禁区及违规作业姿态等典型危险行为。行为识别过程可表示为序列概率建模：

$$P(Y|X)=\prod P\left(y_t|x_{1:t}\right) \tag{2}$$

其中，X表示输入视频帧序列；Y表示行为标签序列；y_t为第t时刻的行为状态。

3.3　多目标跟踪技术

为实现施工现场人员行为的持续性分析，多目标跟踪模块采用DeepSORT多目标跟踪算法，对检测到的人员目标进行跨帧关联和身份保持。该算法结合卡尔曼滤波预测与匈牙利算法匹配策略，在复杂遮挡和目标交叉场景下仍可保持稳定跟踪性能，从而为行为分析提供连续轨迹信息[4]。通过目标ID一致性维护，可有效支持违规行为持续时间判定和轨迹回溯分析。卡尔曼滤波状态更新过程可表示为：

$$\hat{x}_k=A\hat{x}_{k-1}+Bu_k+K\left(z_k-\boldsymbol{H}\hat{x}_{k-1}\right) \tag{3}$$

其中，$\hat{x}_k$为当前状态估计；z_k为观测值；A为状态转移矩阵；$\boldsymbol{H}$为观测矩阵；K为卡尔曼增益。

3.4　边缘计算优化

为满足施工现场对实时性和低延迟的要求，边缘计算模块在边缘端部署轻量化目标检测模型（如YOLOv5n），以减少云端依赖并降低网络传输压力。通过模型剪枝、量化与知识蒸馏等方法压缩模型规模，使其在嵌入式设备或边缘计算节点上仍能高效运行，从而实现本地快速推理和即时预警响应。该模块计算延迟可表示为：

$$T_{\text{total}}=T_{\text{infer}}+T_{\text{comm}}+T_{\text{proc}} \tag{4}$$

其中，T_{infer}为模型推理时间；T_{comm}为数据传输时间；T_{proc}为后处理时间。

4　预警机制设计

在识别施工现场危险行为的基础上，本文系统构建了三级预警机制，以实现安全风险的分级识别与差异化响应。

一级风险针对未佩戴安全帽行为，系统通过视觉检测触发本地提示，并同步上传至管理平台进行记录和追踪；二级风险针对人员进入危险区域行为，系统联动现场声光报警装置，同时向管理端推送实时告警信息；三级风险针对高空作业违规、攀爬及高危操作等行为，系统触发强制报警机制，并自动进行视频片段联动上报，以便管理人员快速介入处置。

在风险判定过程中，引入“置信度阈值+持续时间判定机制”，即仅当检测置信度满足阈值且行为持续时间超过设定时间窗口时才触发报警，从而有效降低瞬时误检带来的误报率。其风险触发可表示为：当$R=P\cdot T\geqslant\theta$时判定为有效风险，其中$P$为识别置信度，$T$为持续时间权重，$\theta$为预设阈值。通过该机制，系统在保证灵敏度的同时提升稳定性与可靠性，实现施工现场安全预警的精细化和工程化管理。

5　实验与结果分析

5.1　实验环境

为验证所提系统的有效性与稳定性，本文在某建筑施工模拟场景中搭建实验环境并进行部署测试。实验场景模拟真实施工现场的复杂条件，包括脚手架作业区、材料堆放区及机械作业区等典型功能区域，以增强实验的真实性和代表性。系统接入5路监控视频流，分别覆盖不同视角与高度位置，用于模拟多摄像头协同监控场景，从而提升对多目标、多区域行为的感知能力。同时，实验设置3类典型施工行为作为识别对象，包括正常作业行为、违规进入危险区域行为及高空危险作业行为，以验证模型对不同风险等级行为的区分能力。此外，实验环境中特别引入多光照变化（强光、弱光、逆光）及目标遮挡情况（人员交叉、设备遮挡），以模拟复杂实际工况。

5.2　评价指标

为全面衡量所提系统在施工安全行为识别任务中的性能表现，本文选取多个具有代表性的评价指标进行综合评估。首先，精确率（Precision）用于衡量系统在所有被判定为风险行为的样本中真实正确识别的比例，反映误报控制能力；召回率（Recall）用于衡量系统对实际风险行为的检测覆盖能力，体现漏检控制水平。其次，

平均精度(mAP)作为目标检测任务的核心指标,用于综合评估模型在不同类别上的检测准确性和整体性能。此外,引入实时帧率(Frames Per Second,FPS)衡量系统的实时处理能力,该指标直接反映模型在施工现场视频流处理中的运行效率与响应速度。

5.3 实验结果

实验结果表明,不同方法在施工现场安全行为识别任务中的性能存在明显差异。传统“HOG+SVM”方法在复杂场景下表现较弱,其mAP仅为72.4%,FPS为18,误报率达到12.3%,难以满足实时性和高精度要求。基于深度学习的YOLOv5方法在检测性能上有显著提升,mAP达到91.6%,FPS提升至35,误报率下降至4.8%,体现出较好的工程应用潜力。相比之下,本文方法通过模型优化与系统级改进,mAP进一步提升至94.8%,FPS达到42,在保证高精度的同时实现了更优的实时处理能力,误报率也降至3.1%。整体结果表明,本文系统在复杂施工环境下能够更准确地识别危险行为,具备更强的实时响应能力和稳定性,相较传统方法不仅具有明显优势,还具有良好的工程推广价值。

6 结束语

本文提出了一种融合计算机视觉的施工现场安全行为识别与预警系统,实现了对施工现场多类型危险行为的实时感知和智能预警。该系统基于改进型YOLO目标检测、行为识别、多目标跟踪及边缘计算等关键技术,并结合三级预警机制,有效提升了复杂施工环境下的识别精度与响应速度。整体研究表明,本文系统能够较好地满足施工现场安全管理的实时性和可靠性需求,但在极端遮挡与跨场景泛化能力方面仍有提升空间。

未来可进一步融合多模态数据、数字孪生和大模型技术,增强系统的环境感知能力与语义理解能力,从而实现更高层次的智能化安全管理和风险预测,为智慧工地建设提供更加坚实的技术支撑。

参考文献:

[1] 陈显斌.基于计算机视觉的施工现场安全风险行为智能识别与预警[J].建筑,2026(4):116-118.
[2] 王佩.人工智能赋能的施工现场安全行为识别与预警系统研究[J].新发现,2025(2):70-72.
[3] 王杰.智慧工地环境下人员安全行为监测与预警系统设计[C]//AI+智慧建造与建筑数字化转型交流会论文集,2026:1-3.
[4] 郑银华.基于深度学习的建筑工程施工现场危险行为识别与检测方法[J].建设科技,2026(4):111-115+119.

作者简介:

潘海华(1980—),本科,研究方向:市政基建工程施工管理、旧城更新改造、产业园区工程建设管控。

(上接第191页)

数据分析依据。

参考文献:

[1] 肖遥,洪灿,温倚嘉,等.基于图卷积神经网络的配电网工程造价合理区间分布分析[J].电气技术与经济,2025(3):267-268+271.
[2] 殷敏,方天睿,施晓敏.基于融合特征值提取的配电网工程数据分析算法[J].电子设计工程,2024,32(20):98-102.
[3] 谭心,朱振经,孙国鑫,等.基于模糊层次分析法的太阳能-空气源热泵复合供暖系统多目标优化[J].太阳能学报,2022,43(10):94-103.
[4] 叶万红,耿娟娟,徐东胜.基于聚合单值中智集的多属性决策新方法及其应用[J].模糊系统与数学,2022(4):1-7.
[5] 吕启君,胡文权,张瑜,等.基于AHP-BP神经网络的配电网绝缘作业评估[J].计算机测量与控制,2026,34(4):279-286.
[6] 高翔,安育伦,张义涛,等.基于多目标约束的分布式储能容量配置技术研究[J].高压电器,2025,61(6):200-209.
[7] 李小龙,张喻,万亮,等.基于ISSA的含分布式电源配电网优化重构[J].黑龙江电力,2025,47(2):125-130.
[8] 陈思宇,孙勇,荆江平,等.基于安全访问能力框架的配电网分层算力网络协同调度关键技术研究[J].自动化与仪器仪表,2025(1):232-236+241.
[9] 刘先进.基于层次分析法的城市综合管廊造价控制管理研究[J].住宅与房地产,2021(34):40-41.
[10] 张秋雁,李权,陈宇,等.基于多元线性回归法的配电网导线剥皮控制方法[J].电力学报,2024,39(1):52-63.

作者简介:

田璐佳(1989—),本科,研究方向:数据分析、项目管理。