

Research on Safety Behavior Recognition and Management Mechanism of Construction Site Based on Deep Learning

Lina Wang Zitao Guo

Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan, 650201, China

Abstract

The construction site has a complex working environment and high personnel mobility. High risk work behaviors have the characteristics of suddenness and concealment. The traditional safety management mode that relies on manual inspection and post disposal is no longer able to meet the needs of refined and real-time safety control. With the rapid development of computer vision and deep learning technology, automatic recognition of personnel behavior based on video perception provides a new technological path for construction safety management. The results of this study indicate that deep learning based safety behavior recognition technology can significantly improve the timeliness of hazard detection and the accuracy of management decisions, and has important engineering application value in promoting the transformation of construction safety management from experience driven to data-driven.

Keywords

Deep learning; Construction site; Safety behavior recognition; Computer vision; Security management mechanism

基于深度学习的施工现场安全行为识别与管理机制研究

王立娜 郭子涛

云南农业大学, 中国·云南昆明 650201

摘要

施工现场作业环境复杂、人员流动性大, 高风险作业行为具有突发性和隐蔽性特征, 传统依赖人工巡查与事后处置的安全管理模式已难以满足精细化、实时化的安全管控需求。随着计算机视觉与深度学习技术的快速发展, 基于视频感知的人员行为自动识别为施工安全管理提供了新的技术路径。本研究结果表明, 基于深度学习的安全行为识别技术能够显著提升隐患发现的及时性与管理决策的精准性, 对推动施工安全管理由经验驱动向数据驱动转型具有重要工程应用价值。

关键词

深度学习; 施工现场; 安全行为识别; 计算机视觉; 安全管理机制

1 引言

施工安全始终是建筑工程项目管理中的核心问题之一。随着工程规模大型化、结构形式复杂化以及交叉作业频繁化趋势的加剧, 施工现场安全风险呈现出类型多样、耦合性强和动态演化明显等特点。从事故统计结果来看, 大量安全事故并非源于设备本体缺陷, 而是由作业人员违规操作、防护措施缺失或危险行为未被及时纠正所引发。因此, 对施工现场人员安全行为的有效识别与干预, 是降低事故发生率的关键环节。研究有必要从工程管理与智能建造的视角, 对基于深度学习的施工现场安全行为识别技术及其管理机制进行系统研究。

2 基于深度学习的施工现场安全行为识别技术框架

2.1 施工现场安全行为视频数据获取与特征表达基础

施工现场安全行为识别的前提在于高质量、多样化的视频数据获取与有效特征表达。与标准化实验场景不同, 施工现场在空间布局、作业工序及人员组织方式上具有显著的非结构化特征, 视频数据往往呈现出视角复杂、光照条件多变、目标尺度差异明显以及遮挡频繁等工程特性。这些因素决定了安全行为识别系统在数据层面必须具备较强的环境适应能力, 才能为后续深度学习模型训练提供可靠基础^[1]。

从数据来源角度看, 施工现场视频通常由固定式监控摄像头、临时布设摄像设备以及移动采集终端共同构成。固定摄像头多用于覆盖重点作业区域, 如基坑周边、高处作业面及大型机械作业区, 其优势在于视角稳定、数据连续性强; 移动采集设备则更适合用于复杂工序或短周期高风险作业场景的补充采集。多源视频数据的引入, 有助于提高安全行

【作者简介】王立娜(1982—), 女, 中国吉林永吉人, 博士, 副教授, 从事岩土工程研究。

为样本的多样性和代表性，但同时也对数据融合与统一处理提出更高要求。在特征表达层面，施工现场安全行为通常表现为人员姿态变化、防护用品佩戴状态以及人与环境、设备之间的空间关系变化。传统基于人工特征的方法难以对上述复杂信息进行有效刻画，而深度学习通过端到端特征学习机制，能够在原始视频数据中自动提取多层次语义特征^[2]。通过对人员轮廓、关键点分布以及时序运动模式的联合建模，深度学习模型可实现对安全行为的隐含特征表达，为后续分类与判别奠定基础。

2.2 基于深度学习的安全行为识别模型构建与运行流程

在完成视频数据采集与特征表达准备的基础上，安全行为识别模型的构建成为技术框架的核心环节。针对施工现场安全行为的动态性与复杂性，深度学习模型通常采用“空间特征提取—时序行为建模—行为类别判别”的分层处理思路，以实现不安全行为的精准识别^[3]。

在模型结构设计上，首先通过深度卷积神经网络对视频帧中的关键目标进行空间特征提取，实现对作业人员、机械设备及安全防护用品的有效感知。该过程不仅能够完成目标定位，还能够提取与安全状态相关的高维语义特征，为后续行为分析提供空间约束条件。在此基础上，引入时序建模机制，对连续视频帧中人员动作变化进行建模，以捕捉安全行为在时间维度上的演化特征。这种时序特征建模方式能够有效区分瞬时动作与持续性违规行为，提升识别结果的工程可解释性。在模型训练过程中，施工安全行为的标注体系对识别效果具有重要影响。不同于通用动作识别任务，施工安全行为具有明确的工程语义和管理指向，其类别划分需与施工安全规范和管理制度保持一致。因此，在模型训练阶段，应以典型不安全行为为核心构建标签体系，使模型输出结果能够直接服务于安全管理决策，而非停留在抽象的动作分类层面。而在系统运行层面，识别模型需具备一定的实时处理能力，以满足施工现场安全管理对时效性的要求。通过将模型部署于边缘计算节点或与现场监控系统深度集成，可在保证识别精度的同时降低数据传输延迟，实现对高风险行为的快速响应。识别结果经结构化处理后，可直接推送至安全管理平台，形成标准化数据接口，为后续预警、统计分析和干预提供数据支持。

3 安全行为识别驱动的施工安全管理机制构建

3.1 施工现场安全管理的智能化转型需求

传统的施工安全管理模式通常依赖人工巡查与现场记录，通过安全员对现场情况的直接感知与判断进行安全管控。但随着建筑项目规模不断扩大，施工现场作业环境愈加复杂，人员流动性增加，传统人工监控手段面临严峻挑战。人工巡查不仅存在时间间隔较长、遗漏隐患的风险，还由于安全员的经验差异，容易导致对现场隐患的判断失误。

尤其在高风险作业环境下，如深基坑、高处作业或大型机械操作等，传统的安全管理方式无法有效应对瞬时发生的违规行为，往往只能事后追溯，导致安全问题未能及时得到处理。因此，智能化安全管理的转型需求迫在眉睫，尤其是在深度学习等先进技术的推动下，施工现场安全管理从传统的依赖人工经验管理，逐渐向智能感知与数据驱动的模式转变。为了满足这一需求，基于深度学习的安全行为识别技术作为一种创新手段，能够对现场作业人员的行为进行精准识别，并结合数据分析、预警机制和实时反馈系统，实现全过程的安全管控。通过该技术，不仅可以提高施工现场安全行为的识别效率，还能为施工单位提供实时数据支持，有效提升安全决策的精准度和时效性。

3.2 安全行为识别与管理机制的闭环系统构建

基于深度学习的施工安全行为识别系统，不仅是一项技术工具，更是支撑施工现场安全管理流程优化的核心组成部分。为确保识别结果能充分发挥作用，必须建立一个集识别、预警、干预、反馈为一体的安全管理闭环系统。该系统在技术上要求数据采集、行为识别、风险预警和干预响应能够相互协同，形成一个多层次、多角度的监控体系，最终实现对施工现场安全行为的全面管控。

首先，在识别阶段，通过部署视频监控系统和人工智能设备，基于深度学习模型对施工现场的安全行为进行实时识别。通过检测作业人员的动作轨迹、姿态变化、工具使用等行为，识别出潜在的违规行为，如未佩戴安全帽、未系安全带、未按规定作业等。这一阶段，深度学习模型发挥了核心作用，通过对视频流的分析，可以自动检测并识别出人员的行为特征。紧接着，预警阶段将基于识别结果生成实时预警信号。当系统检测到潜在的违规行为时，会自动触发预警机制，向施工现场的安全员或管理人员推送预警信息，并在必要时通过声光警报、电子屏幕等方式提示作业人员。预警信号将根据行为的风险等级进行分类，确保高风险行为能够优先处理。此阶段的关键是确保预警响应的及时性与准确性，以便尽早发现并消除安全隐患。随后，干预阶段对违规行为进行干预处理。根据行为的风险等级和具体情境，安全管理人员可通过现场指挥、调度人员或设备进行干预。例如，针对高处作业未佩戴安全带的违规行为，安全员可立即指令相关人员暂停作业，并要求佩戴安全防护装备。干预操作也可以通过现场语音提醒或自动化控制系统（如机电设备自动停机）来完成，从而最大限度地减少事故的发生。最后，反馈阶段通过对识别数据的统计和分析，为安全管理决策提供数据支持。系统将自动记录所有安全行为识别结果，包括违规行为发生的频次、地点、时间以及相关人员的行为模式。通过对这些数据的分析，安全管理部门可以识别出安全管理的薄弱环节，为施工安全规范的制定、工人安全教育和未来项目管理提供科学依据。该闭环管理机制的优势在于，能够对施工现场进行全时段、全方位的实时监管，且具备快

速响应与精准干预的能力，从而有效降低施工过程中的安全隐患。

3.3 工程实践中的管理协同与技术适配

虽然基于深度学习的安全行为识别技术具备较高的识别精度和实时性，但其在工程实践中的应用也面临一些挑战，尤其是在施工现场的管理协同与技术适配方面。首先，施工现场安全管理的职责通常涉及多个层级和部门，如项目经理、安全员、分包商等，如何确保行为识别系统与这些管理层级协同工作是实现闭环管理的关键。

在此背景下，安全管理系统必须具备良好的可扩展性与模块化设计，以适应不同项目的需求。如在一些大型复杂的施工项目中，可能涉及多个工区、多个班组和不同的作业场景，系统需要能够根据项目的特点动态调整数据采集的范围和行为识别的侧重点。同时，数据应能与项目管理平台互通，以便安全数据能与施工进度、成本控制等信息共享，形成跨部门、跨层级的信息流通体系。在技术适配层面，由于施工现场的作业环境具有很强的变化性，如光照条件变化、作业人员的工作节奏不同等因素，系统需要具备较强的适应能力。这就要求深度学习模型不仅要能够从大量数据中提取有效特征，还要能通过增量学习和迁移学习等技术，随着环境变化和 data 积累不断优化模型，从而保证模型的精确度和实时性。

4 基于深度学习的施工安全行为识别系统的工程应用与优化

4.1 工程应用案例分析与实施效果评估

在理论研究和技術框架的基础上，基于深度学习的安全行为识别系统已经在多个工程项目中得到应用，并取得了显著的成果。在本节中，我们通过分析某建筑施工项目的实际应用案例，评估基于深度学习的安全行为识别系统在施工现场的实际效果与价值。

某大型建筑施工项目引入了基于深度学习的安全行为识别系统，并将其集成到现有的施工管理平台中。在项目初期，系统通过部署多台监控摄像头和无人机采集施工现场的视频数据，结合现场作业人员的动态行为进行实时监控。系统首先进行了为期两周的样本数据采集与预处理，并通过人工标注对违规行为进行了训练，确保模型在实际应用中能够达到较高的识别精度。经过一定时间的运行，系统能够实时识别出高处作业未佩戴安全带、未穿防护鞋、未戴安全帽等不安全行为，并通过与安全管理平台的对接，实时向现场安

全员推送预警信息。根据施工现场的反馈，系统能够在违规行为发生的第一时间发出警报并通过声光提示对施工人员进行干预，有效减少了人为安全疏忽带来的风险。

通过该项目的数据分析，系统的识别准确率达到95%以上，且预警系统的响应时间控制在5秒内，有效地提高了施工现场的安全管理水平。通过与传统人工巡查的对比，系统的干预率和即时响应能力显著提高，减少了安全隐患的遗漏，进一步证明了深度学习技术在施工安全管理中的实际应用价值。

4.2 系统优化与技术升级

尽管基于深度学习的施工安全行为识别系统在实践中展现出了可观的效果，但随着工程规模的扩大和施工环境的多变，系统仍面临一些挑战，主要体现在以下几个方面：数据质量问题、模型适配性差异以及实时性要求等。为了进一步提升系统的稳定性、准确性和适应性，本节将探讨如何对现有系统进行优化，并提出相应的技术升级路径。在深度学习模型的训练过程中，数据质量直接影响到识别模型的精度与泛化能力。施工现场的实际视频数据通常存在质量参差不齐的问题，尤其是在低光照、遮挡、人员聚集等环境中，传统的视频数据预处理方法难以有效提取有价值的特征。因此，提高数据质量，尤其是优化视频采集与增强数据处理方式，是提高识别精度的关键。

5 结语

本文围绕施工现场安全管理需求，系统研究了基于深度学习的安全行为识别技术及其管理机制。通过分析施工安全行为特征，构建了以视频感知和深度学习模型为核心的行为识别技术框架，并提出将识别结果嵌入施工安全管理全过程的闭环管理机制。研究表明，该技术路径能够显著提升安全隐患识别的及时性和管理干预的针对性，为施工安全管理模式的智能化转型提供了可行方案。未来研究可进一步结合多模态感知数据与工程案例实证分析，不断提升识别精度和管理适配性，为智能建造背景下施工安全治理提供更加坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] 赵记广. 山区高速公路高墩大跨桥梁施工安全风险防控研究[J]. 价值工程, 2026, 45(03): 52-54.
- [2] 叶文字. 基于FAHP-指标体系法的桥梁施工复工复产安全评估[J]. 建筑安全, 2025, 40(12): 74-79.
- [3] 周若星. 高速公路桥梁施工中的地基处理技术[J]. 时代汽车, 2025, (24): 153-155.