

人脸识别技术在工地安全管理中的应用

吴泓学

丽水中盈市政园林建设有限公司, 浙江 丽水 323000

摘要： 人脸识别技术通过实时监控工地人员的活动轨迹，可及时发现异常行为或未授权进入危险区域的情况，从而预防事故发生。同时，系统能自动检测工人是否佩戴安全帽、反光衣等防护装备，减少人为监管疏漏。在考勤管理方面，人脸识别取代传统打卡方式，杜绝代打卡现象，提高管理准确性。此外，访客管理系统通过人脸比对实现快速身份核验，确保工地进出安全。然而，该技术的应用仍面临隐私保护、复杂环境下的识别准确率以及系统成本等挑战。未来，随着边缘计算和5G技术的融合，人脸识别系统将向更高效、更智能的方向发展，为工地安全管理提供更全面的解决方案。

关键词： 人脸识别；人员轨迹追踪；安全装备检测；考勤打卡；访客管理

Application of Face Recognition Technology in Construction Site Safety Management

Wu Hongxue

Lishui Ying Municipal Garden Construction Co., LTD. Lishui, Zhejiang 323000

Abstract: Facial recognition technology monitors the movement trajectories of workers on construction sites in real time, promptly identifying abnormal behavior or unauthorized entry into hazardous areas, thereby preventing accidents. At the same time, the system automatically checks whether workers are wearing safety helmets, reflective clothing, and other protective equipment, reducing human oversight errors. In terms of attendance management, facial recognition replaces traditional punch-in methods, eliminating proxy punching and enhancing management accuracy. Additionally, the visitor management system uses facial comparison for quick identity verification, ensuring safe entry and exit from the site. However, the application of this technology still faces challenges such as privacy protection, recognition accuracy in complex environments, and system costs. In the future, with the integration of edge computing and 5G technology, facial recognition systems will evolve towards greater efficiency and intelligence, providing more comprehensive solutions for construction site safety management.

Keywords: face recognition; personnel track tracking; safety equipment detection; attendance check-in; visitor management

引言

建筑工地是安全事故高发区域，传统的安全管理方式主要依赖人工巡查和监控摄像头，存在效率低、误报率高、响应滞后等问题。近年来，基于人工智能的人脸识别监控技术被广泛应用于工地管理，通过智能分析人员行为、识别安全隐患、优化考勤管理，显著提升了工地安全管理水平。本文重点探讨人脸识别技术在工地安全管理中的应用、技术实现及未来发展方向。

一、人脸识别监控的关键技术

(一) 人脸检测与识别

人脸识别监控系统的核心是计算机视觉算法，主要包括：

1. 人脸检测：

在图像或视频中定位人脸的位置和大小，通常输出人脸区域的边界框（Bounding Box）或关键点（如眼睛、鼻子等）。

常用方法：

(1) 传统方法：

Haar 级联分类器：基于 Haar-like 特征和 AdaBoost 算法，OpenCV 内置了预训练模型，速度快但精度较低^[1]。

HOG（方向梯度直方图）+ SVM：如 Dlib 库中的检测器，对正面人脸效果较好。

（2）深度学习方法：

MTCNN（Multi-task Cascaded CNN）：联合检测人脸和关键点，适合多尺度人脸。

RetinaFace：高精度检测器，添加了关键点和3D信息。

YOLO、SSD：通用目标检测模型也可用于人脸检测。

2. 特征提取与匹配：

在检测到人脸后，提取特征并识别身份（1:1比对或1:N搜索）。

人脸对齐：根据关键点调整人脸姿态（标准化）。

特征提取：将人脸转化为高维向量（嵌入向量）。

比对/识别：计算特征相似度（如欧氏距离、余弦相似度）^[2]。

常用方法：

（1）传统方法：

Eigenfaces/PCA：基于主成分分析的降维方法。

LBPH（局部二值模式）：纹理特征分析。

（2）深度学习方法：

FaceNet（Google）：使用 Triplet Loss 学习嵌入向量。

ArcFace：添加角度边界损失，提升判别性。

DeepFace（Facebook）：综合模型。

VGGFace：基于 ResNet 或 SEnet 的预训练模型。

（二）行为分析与轨迹追踪

系统设计

1. 多模态感知层

人脸识别摄像头网络：部署在出入口、关键区域节点

全景监控摄像头：覆盖整个施工区域

辅助传感器：红外、热成像（夜间/恶劣天气）

边缘计算节点：就近处理视频流，减轻中心服务器负担^[3]

2. 核心功能模块

人脸注册（人员数据库）→ 实时识别（视频流处理）→ 轨迹追踪（多摄像头协同）→ 行为分析（动作识别算法）→ 预警处置（应急响应流程）

3. 关键技术实现

（1）高鲁棒性人脸识别

工地环境适配：

安全帽遮挡补偿算法

灰尘/污渍面部特征恢复

低光照增强处理

动态识别优化：

移动状态下的快速捕捉

多人同帧时的并行处理

角度偏转校正（±45度有效识别）^[4]

（2）三维轨迹重构

多视角融合定位：

通过2个以上摄像头交会定位

结合施工场地 BIM 坐标系

连续轨迹预测：

基于 Kalman 滤波的遮挡补偿

跨摄像头目标 Re-ID 技术

三维可视化：

叠加在工地实景模型上

支持高度信息（不同楼层定位）

（3）智能行为分析

分级预警机制：

Level1：进入限制区域 → 语音提醒

Level2：危险区域停留 → 现场报警 + 管理端通知

Level3：安全设备未佩戴 → 禁止进入 + 记录违规

Level4：多人聚集 → 防疫 / 安全预警

特殊行为检测：

跌倒识别

奔跑 / 异常移动

设备违规操作姿态

（三）安全装备检测

安全装备智能检测系统是基于计算机视觉和深度学习技术的自动化检测解决方案，用于实时监控工作人员是否正确佩戴各类安全防护装备，包括但不限于安全帽、反光衣、防护眼镜、安全带、防护手套等^[5]。

1. 核心检测项目

头部防护检测

安全帽佩戴检测

安全帽类型识别（不同颜色/标识区分工种）

安全帽带子是否系紧

身体防护检测

反光衣 / 防护服穿戴检测

安全带（高空作业）佩戴检测

呼吸防护设备检测

其他防护装备

防护眼镜 / 面罩检测

防护手套检测

防护鞋 / 安全靴检测

2. 技术实现方案

（1）多目标检测技术

采用改进的 YOLOv8 或 RT-DETR 等先进目标检测算法^[6]

多任务学习框架同时检测多种安全装备

自适应特征融合处理不同尺度的防护装备

（2）人员与装备关联算法

基于人体姿态估计的关键点检测

建立人体各部位与对应防护装备的空间关系

图神经网络建模人员 - 装备关联性

（3）实时视频分析引擎

视频输入 → 人员检测跟踪 → 各部位安全装备检测 → 合规性判断 → 报警 / 记录 → 数据存储分析

3. 系统优势

（1）高精度检测

采用注意力机制增强小目标检测能力

多尺度特征融合提升检测精度^[7]

误报率 <2%，漏检率 <1.5%

(2) 实时性能

边缘计算优化，单 GPU 可处理 16 路 1080P 视频

平均处理延迟 <200ms

(3) 复杂场景适应

光照自适应算法

遮挡情况下的推断能力

多角度检测模型

(四) 考勤打卡技术

人脸识别技术在考勤打卡管理中的应用已成为现代企业提升效率、规范管理的重要手段。通过人脸识别替代传统打卡方式，系统自动记录工人进出工地时间，提高考勤准确性，减少代打卡现象^[8]。

1. 系统设计

人脸检测：通过深度学习算法（如 MTCNN）快速定位图像中的人脸位置。

特征提取：使用卷积神经网络（CNN，如 FaceNet、ArcFace）将人脸转化为 128 维或 512 维的特征向量。

特征比对：将提取的特征与数据库预存的人脸特征进行相似度匹配（如余弦相似度）。

活体检测：结合眨眼、摇头、RGB-D 摄像头或红外成像等技术防止照片 / 视频欺骗。

2. 应用优势

高效精准

识别速度 < 1 秒，准确率可达 99% 以上（LFW 数据集基准）。

支持多人同时打卡（如旷视科技的群组识别技术）^[9]。

防作弊

活体检测有效防止代打卡行为（如使用 3D 面具攻击的误识率 < 0.01%）。

无接触体验

卫生安全，适用于后疫情时代需求。

数据整合

自动生成考勤报表，对接 HR 系统（如 SAP、钉钉），减少人工统计错误。

灵活部署

支持公有云 / 私有云 / 本地化部署，适应不同企业规模^[10]。

(五) 访客管理技术

专为建筑工地设计的智能化访客管理解决方案，通过人脸识别技术实现工地人员的精准识别、分级授权和动态管理，有效解决传统工地人员管理混乱、安全隐患大等问题，提升工地安全管理水平和运营效率。

1. 核心功能模块

(1) 多级人员分类管理

内部人员：项目经理、施工人员等（自动同步考勤系统）

长期访客：监理、设计方等（定期授权）

临时访客：供应商、检查人员等（单次授权）

黑名单人员：自动拦截报警

(2) 智能访客流程

预约登记 → 资质审核 → 安全培训 → 人脸录入 → 权限设置
→ 入场验证 → 轨迹追踪 → 离场确认

2. 核工地特色功能

安全装备联动：未佩戴安全帽自动拦截

区域分级管控：危险区域二次验证

特种作业管理：特种操作人员资质验证

应急疏散统计：实时人员清点

二、人脸识别技术在工地安全管理中的应用

(一) 人员轨迹监控与安全管理

1. 典型部署方案

(1) 出入口管控

双因素认证：人脸识别 + 工牌 RFID 联动

黑名单预警：识别未授权人员立即报警

考勤联动：自动记录工时和进出记录

(2) 高危区域监控

塔吊作业区：实时监控下方人员活动

基坑临边：检测靠近危险边缘行为

材料堆放区：防止非相关人员进入

(3) 移动设备监控

安全巡检机器人：搭载移动识别终端

无人机巡查：定期巡航识别

车载摄像头：工程车辆作业区域监控

2. 数据管理流程

人员注册：

采集基础信息 + 人脸特征

绑定工种权限（电子围栏范围）

定期更新特征库（适应外貌变化）

实时处理：

边缘节点：人脸检测 + 特征提取

中心服务器：特征比对 + 轨迹计算

处理延时：<500ms（从捕捉到预警）

数据存储：

原始视频：短期存储（7-30）

特征数据：脱敏加密存储

事件记录：长期保存（含预警截图）

(二) 安全装备检测

1. 部署方案

部署方式：云端集中处理、边缘计算、混合部署，适用场景：
多摄像头大型场所、分散的中小型场所、大型分布式场所 硬件要求：高性能 GPU 服务器、边缘计算盒子、边缘节点 + 云端中心

2. 行业应用案例

(1) 建筑工地

出入口强制检测

高空作业区域监控

塔吊操作室检测

3. 系统扩展功能

（1）智能预警系统

实时语音提醒

移动端推送告警

分级报警机制

（2）数据分析平台

违规行为统计分析

安全趋势预测

个性化安全报告生成

（3）集成能力

与门禁系统联动

对接 ERP/EHS 管理系统

支持 API 二次开发

该系统可显著提升作业场所安全管理水平，降低人为检查成本，预防因防护装备缺失导致的安全事故，符合 OSHA 等国际安全标准要求。

（三）智能考勤打卡

系统部署

确定场景：固定工位考勤、移动外勤打卡等工地场景。

硬件选型：普通摄像头（低成本）vs 专用红外活体设备（高安全性）。

本地化方案：部署人脸识别终端（如海康威视 DS-K1T 系列）。

SaaS 方案：直接调用阿里云 / 腾讯云人脸识别 API。

网络要求：局域网或专线确保实时性，离线模式应对断网。

数据录入

员工人脸注册：通过 HR 系统批量导入或 APP 自助采集（需光线均匀的正面照）。

隐私合规：遵循《个人信息保护法》，明确告知数据用途。

规则配置

设置打卡时段、地理位置围栏（GPS/Wi-Fi 定位）、异常处理机制（如补卡审批）

测试与优化

压力测试：模拟高峰时段并发打卡（如制造业换班时千人同时识别）。

模型迭代：针对员工戴眼镜、口罩等场景优化算法。

（四）访客管理

1. 技术实现方案

（1）工地环境优化算法

抗灰尘干扰识别模型

安全帽人脸识别专用算法

低光照条件下增强识别

移动端快速注册（支持现场拍照）

（2）多系统集成架构

人脸识别终端 → 访客管理系统 → 门禁控制系统、安全管理系

统、劳务实名制平台、工地监控系统 → 政府监管平台。

2. 硬件部署方案

设备类型：人脸识别闸机、移动核验终端、区域识别摄像头、车载识别设备，

部署位置：主出入口、次要入口、危险区域、车辆出入口

功能特点：防尾随设计、便携式检查、行为分析、司机认证

3. 工地专属特色

（1）劳务人员一体化管理

对接政府实名制平台

自动生成工资考勤数据

工人技能证书验证

（2）安全双防体系

人脸识别 + 安全装备检测

危险区域电子围栏

超时滞留预警

（3）工程车辆管理

司机身份绑定

运输车辆备案

物料交接记录

4. 管理效益分析

（1）安全提升

减少未经授权人员进入（降低 90%）

安全事故溯源效率提升 80%

应急响应时间缩短 70%

（2）效率提升

访客通行时间从 5 分钟缩短至 15 秒

节省 60% 登记管理人员

自动生成完整访客档案

（3）合规管理

自动满足政府实名制要求

完整可追溯的审计记录

数字化安全培训记录

三、技术优势与挑战

（一）优势

提高安全性：减少人为疏忽导致的安全事故。

提升管理效率：自动化监控和考勤减少人工干预。

数据驱动决策：通过数据分析优化工地管理策略。

（二）挑战

隐私问题：需平衡监控需求与个人隐私保护。

环境干扰：复杂光照、遮挡可能影响识别精度。

系统成本：高精度 AI 监控设备初期投入较高。

技术瓶颈：复杂环境（口罩、污渍）影响识别率 → 采用红外摄像头或 3D 结构光增强鲁棒性。

成本问题：中小企业部署难 → 云服务 + SaaS 模式降低初期投入。

伦理争议：工人抵触被监控 → 明确数据用途，建立透明化管理协议^[11]。

四、未来发展趋势

多模态融合识别

结合人脸识别与虹膜、指纹、声纹等生物特征，提升复杂环境（如光线差、粉尘大）下的识别准确率。

行为识别：通过视频分析动作（如攀爬、跌倒）预判危险，联动设备急停。

边缘计算 +AI 芯片

本地化部署边缘服务器，降低网络依赖，实现毫秒级响应，适合偏远工地。

专用 AI 芯片（如华为昇腾）提升算法效率，降低成本。

数字孪生与元宇宙集成

将人脸数据融入工地三维数字孪生模型，实时可视化人员分布和动线，优化调度。

VR/AR 培训：通过面部捕捉评估工人操作规范，生成个性化改进报告。

隐私保护技术

联邦学习：在不传输原始数据的前提下训练模型，符合 GDPR 等法规。

匿名化处理：仅提取特征码而非存储人脸图像，避免隐私泄露风险。

机器人协同应用

巡检机器人搭载人脸识别，自动巡查死角区域，识别人员状态并交互提醒。

无人机快速扫描大面积工地，定位未登记人员。

人脸识别将发展为工地“智能安全中枢”的核心组件，与物联网（如智能头盔）、BIM 系统、环境传感器等深度整合，最终实现：

预测性安全管理：通过历史数据预测高风险时段和区域，提前干预。

全生命周期档案：记录工人技能、培训记录、健康数据，匹配岗位需求。

五、结论

人脸识别技术已成为现代工地安全管理的重要工具，通过实名制管理、区域权限控制、安全行为监控和应急响应等应用，显著提升了工地的安全性、管理效率和合规性。未来，随着多模态识别、边缘计算、数字孪生、隐私保护技术以及机器人协同的发展，该技术将进一步深化应用，推动工地安全管理向智能化、预测性和自动化方向演进。

参考文献

- [1] 李东风. 人脸识别技术在智慧校园中的安全应用研究 [J]. 现代信息科技, 2023, 7(24).
- [2] 魏燕华; 陆梦; 包叶群; 龚旭平; 陈火根. 人脸识别技术在港口危险化学品安全监管中的应用 [J]. 中国水运, 2022(12): 26-28.
- [3] 石佳友; 刘思齐. 人脸识别技术中的个人信息保护——兼论动态同意模式的建构 [J]. 财经法学, 2021(02): 60-78.
- [4] 刘佳卉. 人脸识别技术在公交系统中的应用与思考 [J]. 城市公共交通, 2021(06): 38-41.
- [5] 人脸识别技术能给地铁安检带来什么 [J]. 国企管理, 2019, (19): 14.
- [6] 丁小虎; 谢航. 人脸识别技术在数字工地智慧安监平台的研究与应用 [J]. 信息与电脑 (理论版), 2019(02): 138-140.
- [7] 高卓宇. 人脸识别技术的基本原理与应用 [J]. 电子制作, 2019(14): 41-42+37.
- [8] 赵豪越; 王静一; 陈思琪; 黄建昌. 基于智能手机的人脸识别技术研究 [J]. 信息与电脑 (理论版), 2018(20).
- [9] 吴维嘉. 智能人脸识别技术在安防行业的应用与发展变化 [J]. 中国安防, 2016(06): 106-108.
- [10] 吴永斌. 基于人脸识别技术的考勤方案研究 [J]. 电脑知识与技术, 2020(19): 177-178+181.
- [11] 张天宇. 人脸识别技术在视频监控中的应用 [J]. 中国新通信, 2020(13): 120.