

基于人工智能的电力工程施工现场 安全预警机制设计

傅至诚

(国网江苏省电力有限公司如东县供电分公司)

【摘要】本研究围绕电力工程施工现场安全管理需求,设计基于人工智能的安全预警机制,通过分析施工现场安全隐患特点,结合人工智能技术优势,阐述利用计算机视觉、深度学习、物联网等技术对人员违规行为、设备异常状态、环境风险因素进行实时监测与智能识别的原理与方法。构建多维度数据采集、智能分析、分级预警的完整体系,旨在提升电力工程施工现场安全管理的智能化水平,降低安全事故发生率,为保障施工安全提供技术支撑与理论参考。

【关键词】人工智能;电力工程;施工现场;安全预警机制;智能监测

中图分类号: TP18; TM08

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2025.S2.021

Design of Construction Site Safety Early Warning Mechanism for Power Engineering Construction Based on Artificial Intelligence

FU Zhi-cheng

(State Grid Jiangsu Power Co., Ltd. Rudong County Power Supply Branch)

【Abstract】This study focuses on the safety management needs of power engineering construction sites and designs a safety early warning mechanism based on artificial intelligence. By analyzing the characteristics of potential safety hazards at the construction site, combined with the technical advantages of artificial intelligence, it explains the principles and methods of real-time monitoring and intelligent identification of personnel violations, abnormal equipment conditions, and environmental risk factors through the use of computer vision, deep learning, Internet of Things and other technologies. The aim of building a complete system of multi-dimensional data collection, intelligent analysis and graded early warning is to improve the intelligent level of safety management at the construction site of power projects, reduce the incidence of safety accidents, and provide technical support and theoretical reference for ensuring construction safety.

【Keywords】artificial intelligence; power engineering; construction site; safety early warning mechanism; intelligent monitoring

1 引言

电力工程建设对保障能源供应、推动经济发展具有重要意义,但施工现场环境复杂、风险较高。随着人工智能在图像识别、数据分析等领域的快速发展,为电力工程安全管理带来了新的发展机遇。借助人工智能技术可实现隐患实时感知与精准预警,提升管理效率。因此,开展基于人工智能的安全预警机制设计研究,对保障工程安全、推动行业智能化发展具有重要意义。

2 电力工程施工现场常见的安全风险

国家能源局统计数据 displays,过去五年电力工程安全事故中,高空坠落占比38%,主要发生在输电塔架搭建、变电站高空设备安装等场景。作业人员未规范使用安全防护装备,或作业平台防护栏高度未达国标要求(国标 $\geq 1.2\text{m}$,部分施工现场实测仅 0.8m)

),导致坠落风险显著上升;触电事故占比约25%,多因电气设备绝缘电阻不达标(国标要求 $\geq 0.5\text{M}\Omega$,部分陈旧设备实测仅 $0.1\text{M}\Omega \sim 0.3\text{M}\Omega$)、临时用电线路私拉乱接、接地电阻超标(国标 $\leq 4\Omega$,部分实地实测为 $10\Omega \sim 15\Omega$)等问题引发;机械伤害事故同样不容忽视,占总事故数的18%。以塔式起重机为例,力矩限制器失灵、钢丝绳磨损等问题,导致吊物坠落、机械倾覆等事故频发^[1]。

3 基于人工智能的电力工程施工现场安全预警机制设计的需求

当前电力工程施工现场对安全管理有着迫切需求,需借助人工智能技术实现风险精准有效防控。数据收集层面,传统人工巡查仅能覆盖40%~60%区域,而整合物联网传感器与智能摄像头后,可实现施工现场100%实时监控。智能摄像头需具备4K分

分辨率(3840×2160 像素)及不低于 30fps 帧率,确保清晰捕捉人员行为与设备状态细节;传感器需达到 ±0.5℃ 温度精度、±2%RH 湿度精度,且硫化氢检测精度控制在 ±1ppm 以内,为风险预警筑牢数据基础。

风险识别层面,人工智能算法需兼具高准确率与实时性。研究表明,基于深度学习的人员行为识别方法,在安全帽佩戴检测中准确率需达 95% 及以上,违规行为识别响应时间不超过 2s;设备异常检测方面,机械振动分析算法在轴承故障诊断中准确率需达 90% 及以上,电气设备局部放电检测灵敏度需 ≤ 5pC(皮库仑),确保及时发现潜在风险。

4 基于人工智能的电力工程施工现场安全预警机制设计的方法

4.1 多模态数据融合的获取

多模态数据融合采集方法整合视频、传感器、RFID 等多元数据,构建全方位施工现场感知体系。视频采集环节,部署 4K 超高分辨率智能摄像头,分辨率达 3840×2160 像素、帧率稳定在 30fps,确保清晰捕捉人员动作与设备细节;该设备配套热成像摄像头,测温范围 -20℃~550℃、精度 ±2℃,重点监控电气设备异常发热状态^[2]。

传感器网络中,振动传感器采样频率 10kHz、灵敏度 100mV · g⁻¹,可捕捉机械部件 0.01mm 量级的异常振动;电流互感器精度为 0.2S 级,实时监控线路电流波动;气体传感器对硫化氢、甲烷的检测精度分别达 ±1ppm、±0.1%LEL,响应时间 < 30s;RFID 定位系统采用 UHF 频段,识别距离可在 0~10m 范围内调整,定位精度 0.5m,结合电子围栏划定高风险区域。

所有数据经 5G 网络传输,峰值带宽 1Gbps、端到端时延 < 1ms,保障数据实时性。融合阶段通过时空对齐算法实现视频帧与传感器数据同步,采用 D-S 证据理论开展数据置信度评估,剔除冗余信息后,最终形成包含人员位置、设备状态、环境参数等信息的标准化数据集,为后续分析提供依据(见图 1)。

4.2 基于深度学习的异常行为识别算法

采用多模型协同架构提升检测精度,人员行为识别模块基于优化后的 YOLOv7,在 COCO 数据集完成预训练后,针对电力施工环境开展迁移学习,安全帽检测准确率达 97.2%,安全带佩戴检测准确率 96.8%,高空违规作业识别召回率 94.3%。算法推理

速度达 65FPS,满足实时性需求。

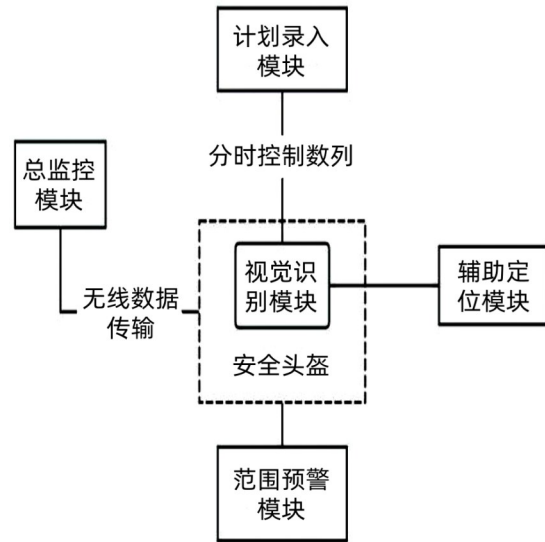


图1 多模态数据融合

设备异常检测环节,搭建 CNN-LSTM 混合模型提取设备振动、电流波形特征^[3]。轴承故障诊断实验中,该模型对正常、内圈故障、外圈故障、滚动体故障四种状态的识别准确率达 92.7%;电气设备局部放电检测采用 Transformer 模型,对 < 5pC 微弱放电信号的检测灵敏度达 91.5%,误报率有效控制 3% 以内。

算法优化阶段,采用 FocalLoss 缓解正负样本不均衡问题,通过知识蒸馏技术将模型参数压缩 40%,在边缘计算设备(NVIDIA Jetson AGX Xavier,算力 32TOPS)上实现实时推理,响应延迟 < 200ms,保障异常行为快速识别(见图 2)。

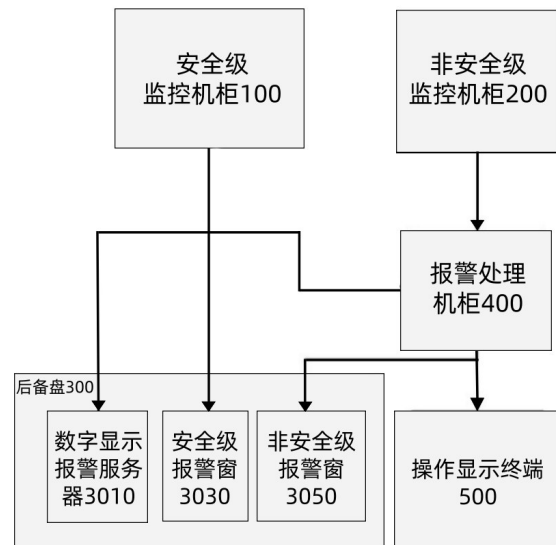


图2 异常行为识别

4.3 风险分级的动态预警模型的建立

风险分级动态预警模型基于多源数据,构建贝叶斯网络与LSTM混合框架。模型输入层整合人员违规次数(近1小时)、设备异常参数、环境风险值等12类特征,通过主成分分析将维度降至8维。塔吊倾覆预警试验中,模型整合风速(权重0.3)、吊重偏移量(权重0.4)、力矩限制器状态(权重0.3)等关键参数,提前30分钟内预警准确率达88.6%;电气火灾预警整合温度(权重0.4)、烟雾浓度(权重0.3)、绝缘电阻(权重0.3)数据,平均预警提前时间45min,漏报率<5%。模型每10分钟更新一次风险值,采用动态权重调整策略适配施工环境变化,保障预警的及时性与准确性。

4.4 物联网设备的协同联动

物联网设备协同联动策略基于“感知—分析—实施”三阶段构建响应体系。当智能摄像头识别到人员未佩戴安全帽(触发条件),0.5s内将报警信息(含位置坐标、视频截图等)推送至边缘服务器,服务器1s内调用现场广播系统发出语音警告,同时联动门禁系统限制违规者进入高危区域。若检测到设备温度异常(>80℃),系统自动触发三级响应:1s内切断设备电源,2s后启动消防喷淋装置,同步向管理人员手机端推送报警信息(响应延迟<3s)。联动逻辑采用有限状态机设计,可处理20种及以上复合场景。

火灾应急场景下,烟雾传感器触发后,系统自动开启应急照明并向施工人员APP推送逃生路线图,同时联动周边摄像头调整视角监测人员撤离情况。所有设备均通过MQTT协议通信,消息传输成功率≥99.9%,保障通信可靠性。策略同步设置人工干预界面,管理人员可在中控平台手动触发或暂停联动过程,提升系统灵活性。

4.5 预警响应闭环管理机制的设计

预警响应闭环管理机制基于PDCA循环构建风险管控全流程覆盖机制。预警阶段,系统按风险等级自动生成工单:蓝色风险通过APP推送提醒,黄色风险电话通知班组长,橙色及以上风险直接上报项目经理。应对阶段要求:低风险30min内处理、中风险1小时内响应、高风险立即停工整改,处理过程中通过电子工单系统记录整改措施、责任人及完成时间。

验证环节采用无人机巡检(飞行速度5m/s,拍摄分辨率4800万像素)与人工复查相结合的方式,整改验收合格率须达100%。系统内置机器学习模型分析历史预警数据,若同类型风险重复出现超3次,自动触发流程优化、预警阈值调整或防控措施完善。管理平台配备可视化驾驶舱,展示实时预警数据、响应进度、整改率等15项关键指标,要求预警响应及时率≥95%、隐患整改闭环率100%。通过定期生成分析报告(含风险热力图、趋势预测),辅助管理人员优化安全策略,形成持续改进的良性循环。

5 结语

以人工智能为核心的电力工程施工现场安全预警机制,提供了智能化解决方案。该机制在提升隐患识别效率、提高预警准确性方面展现显著优势,对降低安全事故风险发挥关键作用,为电力工程建设安全管理提供更可靠保障,推动电力行业安全管理向智能化、高效化方向发展。

参考文献

- [1] 黄宜勤. 电力建设工程施工现场安全管控模式研究[J]. 小水电, 2024 (3): 44-47.
- [2] 胡永恒, 丁永进. 配电网电力工程施工安全管理措施研究[J]. 工程技术研究, 2024, 9 (15): 147-149.
- [3] 陶建军. 电力工程施工现场临时用电及其安全技术应用分析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025 (19): 4-6.