

机器视觉在光伏电站不安全行为识别的应用

郑瑞新¹, 鲍鸿达¹, 贾振龙¹, 范科², 冯晓锐³, 张记³

1. 北京京能国际控股有限公司, 北京 102200

2. 北京京能国际控股有限公司北方分公司, 内蒙古 呼和浩特市 010010

3. 北京京能国际综合智慧能源有限公司, 北京 100000

DOI: 10.61369/SSSD.2026090020

摘 要 : 随着光伏发电技术在全球普及, 光伏电站装机容量也在逐渐增大, 对人员安全、设备安全和电站安全提出了更高要求, 安全运维技术成为制约其发展的要素之一。目前传统光伏电站的视频监控系统, 只能做到值班人员实时“监督”或者“事后取证”, 效率低下且受人为影响。文章提出基于机器视觉在光伏电站不安全行为识别的方案, 实现对传统摄像头的 AI 赋能, 希望能有效提高光伏电站的安全管理水平, 降低违章行为的发生, 促进光伏行业的健康发展。

关 键 词 : 机器视觉; 深度学习; 视频监控; 光伏电站; 不安全行为

Application of Machine Vision in Unsafe Behavior Recognition of Photovoltaic Power Stations

Zheng Ruixin¹, Bao Hongda¹, Jia Zhenlong¹, Fan Ke², Feng Xiaorui³, Zhang Ji³

1. Beijing Jingneng International Holdings Co., Ltd., Beijing 102200

2. Northern Branch of Beijing Jingneng International Holdings Co., Ltd., Hohhot, Inner Mongolia 010010

3. Beijing Jingneng International Integrated Smart Energy Co., Ltd., Beijing 100000

Abstract : With the global popularization of photovoltaic power generation technology, the installed capacity of photovoltaic power stations is gradually increasing, posing higher requirements for personnel safety, equipment safety and power station safety. Safety operation and maintenance technology has become one of the key factors restricting its development. At present, the video surveillance systems of traditional photovoltaic power stations can only achieve real-time "supervision" by on-duty personnel or "post-event forensics", which is inefficient and affected by human factors. This paper proposes a scheme for unsafe behavior recognition in photovoltaic power stations based on machine vision, realizing AI empowerment of traditional cameras. It is expected to effectively improve the safety management level of photovoltaic power stations, reduce the occurrence of violations, and promote the healthy development of the photovoltaic industry.

Keywords : machine vision; deep learning; video surveillance; photovoltaic power stations; unsafe behavior

一、不安全行为识别的重要性

光伏电站涉及的专业领域广泛, 对员工安全意识和操作技能有更高的要求, 在电站内进行电力操作和施工不安全行为可能导致电力设备的损坏、电力工作人员的人身伤亡以及经济损失等一系列严重后果。在传统视频监控系统中, 摄像头通常只能提供基本的监控功能录像和拍照, 只能为事后追查提供证据。对于光伏电站内容易产生安全隐患的关键问题如烟火、未一人操作一人监护、走错间隔、未带安全帽、未戴绝缘手套、未穿绝缘靴、未穿工衣等缺乏良好的管理手段。随着政府和电力企业对安全运维技术的持续投入和各类应用实践, 视频监控的应用方式正在由被动监控向主动监控转变, 由“看得见”、“看得清”、“看得明”向“提前看”发展, 通过智能化发现手段对视频进行分析, 即对视频中出现的 unsafe 行为和违规事件进行提取和记录, 从而达到及时告警发现, 解放人力提高生产工作效率, 进而杜绝危害事件的产生。

二、不安全行为识别的算法实现

(一) 不安全行为识别的场景选择

光伏电站在其运行和维护过程中涉及到许多安全风险, 根据光伏电站安全管理要求, 选择了易导致电站出现安全隐患的不安全行为场景, 进行识别算法开发, 分别为烟火、抽烟、未一人操作一人监护、走错间隔、未戴安全帽、未戴绝缘手套、未穿绝缘靴、未穿工衣。

光伏电站设备老化和故障, 设备选型和安装不当, 光伏组件热斑效应导致电池局部烧毁, 都容易造成火灾事故, 一旦出现火灾不仅可能造成设备损坏, 还可能危及人员的生命安全。

在操作过程中, 如果只有一人操作而没有监护人, 一旦发生意外情况, 操作人员可能无法及时应对导致事故扩大, 因此必须严格遵守一人操作一人监护的规定, 确保操作过程的安全和稳定。

走错间隔也是光伏电站中的一大安全隐患，在光伏电站中各个设备之间的间隔和位置都有严格的规定和要求，如果走错间隔可能会误触带电设备引发触电事故，因此必须严格遵守电站的布局 and 规定，确保走错间隔的可能性降至最低。

抽烟、未戴安全帽、未戴绝缘手套、未穿绝缘靴、未穿工衣行为也是光伏电站中的安全隐患，在接触电气设备或进行电气操作时，如果不佩戴相应的防护用品，可能会发生触电事故，严重时可能危及生命，因此，必须严格遵守安全操作规程，佩戴相应的防护用品，确保工作场所的安全。为了确保电站的安全和稳定运行，必须严格遵守相关的安全规定和操作规程，实现当前不安全行为监管和异常及时发现。

（二）机器视觉识别技术的选择

传统的机器视觉方法主要依赖于人工设计和选择的特征提取方法，而这些方法往往无法适应复杂多变的场景和任务。而深度学习可以通过自动学习和提取图像中的特征，解决了传统机器视觉方法在处理复杂场景和大规模数据时存在的计算复杂度高、精度不足等问题。

深度学习可以通过训练大量的数据集，学习到从图像中提取有效特征的方法，进而实现目标检测和识别任务。同时，深度学习还可以通过端到端的训练，实现从图像输入到目标输出的直接映射，无需进行复杂的预处理和后处理。这使得深度学习可以进一步优化传统机器视觉方法，提高其性能和泛化能力。在机器视觉领域，基于深度学习识别技术，通过精心设计的卷积神经网络（Convolutional Neural Networks, CNN），并利用大量的标注数据进行不断地学习和优化这个网络的参数，最终实现网络对视觉数据的预测达到人类的预期，从而达到对“目标物体”的精准识别。卷积神经网络是一种类似于人工神经网络的多层感知器，被用来分析视觉图像，主要由卷积（convolution）、激活（activation），和池化（pooling）三种结构组成。卷积操作中的卷积核是网络的主要参数，通过卷积操作可以对图像空间进行特征提取；激活是指对上一层输出的特征进行非线性映射，增加特征的表示能力；池化是一种降采样操作，主要目标是降低特征图的分辨率，因为特征图参数太多，而图像细节不利于高层特征的抽取。最后通过标注数据和构建损失函数来实现参数的优化，实现对这个深度网络的输出与我们的预期一致。

（三）不安全行为的智能分析

不安全行为的智能分析主要是利用深度学习图像语义分割全卷积神经网络技术，对电站上烟火、未一人操作一人监护、未戴安全帽、未戴绝缘手套、未穿绝缘靴等相关违规事件进行识别。语义分割主要包含编码和解码两个部分。编码部分主要将大尺度的原始图像通过大量的卷积和池化操作表示成高维度低分辨率的特征图像，可以看作是图像下采样过程的高层语义抽象。解码部分是在图像中实现更精准目标区域预测，需要将低分辨率的特征图恢复到原始尺度，并能够识别对应区域的场景类别。这个过程要对特征图进行上采样，为了获取更多的细节信息，可以利用编码过程的多个不同分辨率的特征图（即池化层输出），实现更精准目标区域识别。学习部分通过采集和标注违规场景的图

像，设计反馈机制，对编码和解码部分中的神经网络参数进行学习。最终实现违规场景识别模型，使得预测结果达到人工预期效果，从而实现违规场景智能分析。

三、不安全行为识别监控软件开发

（一）不安全行为识别监控软件技术架构

不安全行为识别监控软件采用云边协同的 AIOT 技术架构。云边协同技术架构是一种将云计算和边缘计算相结合的技术架构，旨在实现更高效、更智能的计算服务。在这种技术架构中，云计算负责处理大规模的数据存储和计算任务，而边缘计算则负责处理实时性要求较高的智能发现的分析任务，充分利用云计算和边缘计算的优势。如图2所示，物联网接入层通过物联网采集技术接入光伏区、升压站摄像头的实时监控数据，边缘计算层实现视频图像的实时计算识别，并和云端应用层进行交互。最终实现在云端应用层对光伏电站不安全行为和违规事件进行监控和预警。其中在云计算和边缘计算之间的数据传输和通信也是关键要素，为了保证数据的安全性和隐私性，采用加密技术和安全协议来保护数据传输和通信过程。

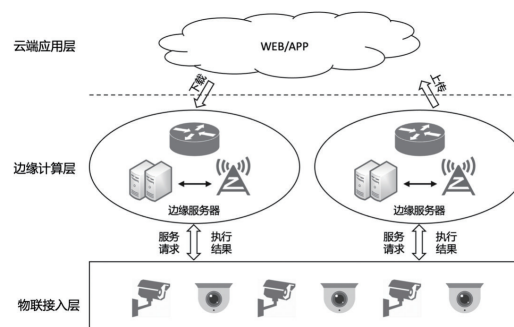


图1 不安全行为识别系统整体技术架构

（二）不安全行为识别监控软件功能应用

基于云边协同的技术架构，结合光伏电站不安全行为识别管理需求，不安全行为识别监控工软件主要包括综合信息、智能识别、视频监控、智能告警、移动 APP 功能，从而实现不安全行为的及时发现，保证光伏电站安全稳定运行。

（1）综合信息，以可视化形式全方位地直观展示不安全行为的实时运行情况、违规图片及历史统计数据，包括设备工况统计、电站告警统计、AI 识别人物统计等，在发现不安全行为时并以声音、弹窗形式推送给管理人员。

（2）智能识别，支持对电站不安全行为结果的查询，支持对算法类型、识别结果等筛选。支持对实时、历史识别结果的查询、筛选，支持设备详情的查看。可以针对单个摄像头配置不同的异常识别算法、预置位、识别区域、巡检周期等，同时支持对识别结果的审核、统计等。支持针对两票、巡检等不同的工作内容，对摄像头编排不同的识别能力，监管现场的不安全行为。

（3）视频监控，支持通过光伏电站平台图查询摄像头，并支持图形的下钻和自定义。可以进行实时浏览、视频源选择及画面分割监视，支持1、4、8、9、16画面。支持远程控制监控设备包

括云台转动，聚焦、变焦、调光圈，设置预置位等动作。支持按照文件类型、文件位置、开始时间、结束时间查询各个摄像头的录像信息，支持录像在线回放和下载。支持视频自动巡视功能，在可设定的间隔时间内对电站的监控点进行图像巡检，参与轮巡的对象可以任意设定。支持配置摄像预置位，实现摄像头的预置位巡检。

（4）智能告警，支持按照设备维度展示告警列表，支持告警筛选、导出、查看处理建议。支持提供告警时间段内的录像和历史图像查看。支持按电站、设备、测点不同维度屏蔽告警。支持按设备配置告警策略，在满足触发条件时，则平台将产生对应的告警信号，支持配置告警建议处理方式。

（5）移动 APP，支持通过移动 APP 查看电站的识别结果，支持按实时告警、历史告警进行查询识别结果，并支持实时视频

浏览、历史录像查询等功能，实现随时随地接收现场的不安全行为告警。

四、结语

综上所述，随着光伏电站规模的不断扩大和智能技术的不断进步，安全管理的重要性将更加凸显。采用机器视觉技术对现有视频监控系统进行升级改造，可逐步实现环境、人员以及行为等不安全要素的自动智能告警，提高多场站统一监视、远程查看不安全行为分析报警情况等能力。在日后的应用与探究过程中，可以对机器视觉在不安全行为识别的应用进行深度探索，希望能为光伏电站提供更完善、更准确的不安全监控应用。

参考文献

[1] 牟少樊. 基于机器视觉的驾驶员不安全行为识别预警研究 [D]. 武汉工程大学, 2023.DOI: 10.27727/d.cnki.gwhxc.2023.000138.

[2] 方伟立, 丁烈云. 工人不安全行为智能识别与矫正研究 [J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2022, 50(8):5.

[3] 崔刚. 融合车辆轨迹与机器视觉的驾驶安全检测技术及应用 [D]. 内蒙古大学, 2021.DOI: 10.27224/d.cnki.gnmdu.2021.000132.

[4] 张国玲, 元文斌. 基于物联网的高危产业生产事故隐患监测及预警系统的研发 [J]. 电子制作, 2021(14):4.DOI: 10.3969/j.issn.1006-5059.2021.14.031.

[5] 庄廷琳, 宁福华, 谢俏敏, 等. 基于机器视觉的建筑工人不安全行为智慧识别与管理 [J]. 价值工程, 2025(18).

[6] 华北科技学院. 一种基于机器视觉的井下人员不安全行为快速分析与识别方法 :202211013155.X[P].2022-10-21.

[7] 隋龙琨. 基于机器视觉的井下人员不安全行为识别方法及应用研究 [D]. 华北科技学院, 2024.DOI: 10.27861/d.cnki.gnckj.2024.000068.

[8] 魏涵. 基于机器视觉和本体的施工场景危险源识别方法研究 [D]. 中南大学, 2022.

[9] 张泽明, 曹金凤, 贾舒安, 等. 基于 YOLOv5 的加油站不安全行为检测算法研究 [J]. 工业安全与环保, 2024, 50(05):80-85+91.

[10] 武耀明, 徐明智, 幸贞雄. 加油站员工不安全行为智能监测预警系统设计 [J]. 应用化工, 2022, 51(S02):308-311.