

基于无人机巡检的配电线路隐患智能识别技术探索

陈立峰

内蒙古锡林郭勒盟阿巴嘎旗供电公司, 内蒙古 锡林郭勒 011400

[摘要]随着配电网规模的不断扩大和复杂化,传统人工巡检手段在效率和准确率方面已难以满足现代电力系统的运行需求。无人机巡检技术因其灵活高效、安全可靠等优势被广泛应用于配电线路运维中。文中围绕基于无人机巡检的配电线路隐患智能识别技术展开探讨,详细阐述图像采集、数据处理、智能识别算法及风险评估机制等关键环节,构建以人工智能为核心的配电线路隐患识别系统架构,实现对导线异物、绝缘老化、杆塔倾斜等常见隐患的快速检测与分类识别。研究结果为配电线路智能化运维提供了技术支持,具有显著的工程应用价值。

[关键词]无人机巡检; 配电线路; 隐患识别; 图像处理; 智能算法

DOI: 10.33142/sca.v8i5.16415

中图分类号: TM75

文献标识码: A

Exploration on Intelligent Identification Technology for Hidden Dangers in Distribution Lines Based on Unmanned Aerial Vehicle Inspection

CHEN Lifeng

Inner Mongolia Xilingol League Abaga Banner Power Supply Branch, Xilingol League, Inner Mongolia, 011400, China

Abstract: With the continuous expansion and complexity of the distribution network, traditional manual inspection methods are no longer able to meet the operational needs of modern power systems in terms of efficiency and accuracy. The unmanned aerial vehicle inspection technology is widely used in the operation and maintenance of power distribution lines due to its advantages of flexibility, efficiency, safety, and reliability. The article explores the intelligent identification technology of hidden dangers in distribution lines based on unmanned aerial vehicle inspection, elaborating on key aspects such as image acquisition, data processing, intelligent identification algorithms, and risk assessment mechanisms. It constructs an artificial intelligence based system architecture for identifying hidden dangers in distribution lines, achieving rapid detection and classification of common hidden dangers such as wire foreign objects, insulation aging, and tower tilting. The research results provide technical support for intelligent operation and maintenance of distribution lines, and have significant engineering application value.

Keywords: unmanned aerial vehicle inspection; distribution lines; hazard identification; image processing; intelligent algorithms

引言

随着智能电网和数字电网建设的推进,配电线路运维技术也在持续升级。配电线路作为电网的重要组成部分,其运行安全直接关系到电力系统的稳定性。传统人工巡检方式存在作业强度大、效率低、受地形环境限制等问题,难以满足精细化管理需求。近年来,无人机巡检凭借其低空飞行、图像采集快速等特点,在电力巡检领域展现出巨大潜力。本文立足于无人机在配电线路巡检中的应用,探索将图像识别与智能算法相结合的隐患自动识别技术,以期提升巡检质量与响应速度,助力配电网隐患智能化治理。

1 无人机巡检系统构建与作业流程优化

1.1 无人机硬件平台配置

配电线路的巡检环境复杂多变,常常面临线路纵深长、地域分布广、地形起伏大、自然遮挡物众多等实际困难。因此,在无人机平台的选型与配置方面,必须重点考虑其适应复杂环境作业的能力。首先,在机型结构上,应优先采用具备多旋翼构型的无人机,该类型飞行器具有良好的悬停稳定性和灵活操控性,能够在山地、林区、城乡交界

等复杂场景中精确作业。其次,为确保图像采集的连续性与清晰度,需配备高精度三轴云台系统,有效缓解飞行过程中的抖动影响,提升图像质量。在载荷系统方面,主摄像头应支持 4K 或更高分辨率,并具备红外、紫外、多光谱等传感扩展能力,以便实现对设备热缺陷、外部遮挡物、老化损坏等多类型隐患的精准识别。同时,应搭载 GPS/RTK 高精度定位模块,用于实现厘米级定位精度;配置激光雷达避障系统和智能飞控系统,增强飞行路径安全性;配合大容量长续航电池,有效支持长时间、多节点的连续巡检任务,全面提升系统作业能力与安全保障水平。

1.2 作业路径规划与任务调度

科学高效的巡检作业流程离不开合理的路径规划与任务调度机制,这是提升无人机作业效率和巡检覆盖率的关键。在任务准备阶段,系统依托 GIS 电网地理信息系统数据,结合配电线路的空间布局、杆塔编号、地形起伏及环境特征,自动生成最优飞行路径。飞行航线不仅包括起点、终点和中继点的设置,还细化了飞行高度、角度、速度以及障碍物标注等参数,实现了全方位可视化航线管理。

为适应实际巡检环境中常见的树木遮挡、高压线交叉、建筑干扰等问题，系统集成智能地形适应算法，可实时调整航线以避免潜在风险区域，保障飞行安全性。任务调度方面，通过任务管理平台实现对无人机作业单元的分区分配，包括作业时间窗口、起降点位置、单架次任务量等内容，并支持多架无人机的并行调度与协同作业，从而显著提升整体作业效率。当系统接收到突发故障信息时，可自动触发快速响应机制，优先调配就近无人机前往指定位置执行紧急巡检，实现无人机巡检任务从“计划执行”到“应急处置”的全流程智能化。

1.3 飞行数据获取与实时监控系统

飞行过程中数据采集与实时监控功能至关重要，是保障无人机作业精准性、稳定性与安全性的核心环节。在执行配电线路巡检任务时，无人机需持续采集高清图像、视频流及多类传感器数据（如温度、湿度、姿态、GPS 位置等），并通过高速无线链路（如 4G/5G 网络或专用自组网）实时回传至地面控制中心。系统通过边缘计算设备对数据进行初步处理与压缩，确保传输高效且稳定。在飞行状态监控方面，系统可对无人机的飞行速度、高度、航向、电量、姿态角、信号强度等参数进行实时动态监测。一旦发现飞行偏航、电量过低、信号丢失或其他异常状态，系统将自动发出警报，并快速启动紧急控制机制，如自动返航、悬停待命或切换手动操控，保障飞行安全。所有飞行数据均进行全程记录，并通过加密传输存储至云端平台，便于后期的数据检索、隐患比对、趋势分析与问题溯源。

2 图像采集与数据预处理技术

2.1 高分辨率图像获取技术

在配电线路隐患识别过程中，图像的清晰度直接影响识别的准确性与后续处理效果。为获取高质量图像，应选用具备高清采集能力的光学成像设备。常用的图像传感器包括 1 英寸 CMOS 和大光圈镜头，其分辨率一般不低于 4K，以确保能够捕捉到细微的设备老化、接触不良、断股、锈蚀等隐患特征。同时，为适应不同光照和环境条件，可配置红外热成像仪、紫外成像设备等辅助视觉设备，实现白天、夜间及多天气情况下的全天候作业。通过设定图像采集的重叠率、拍摄角度和飞行高度，可优化图像覆盖率与边缘细节完整性，有效避免数据空缺区域，为后续图像处理提供高质量原始素材。

2.2 图像去噪与增强方法

无人机在飞行过程中受气流扰动、振动、电磁干扰等因素影响，采集到的图像往往存在噪点、模糊、曝光不均等问题，需在数据进入识别系统前进行预处理。图像去噪方面常用的算法有中值滤波、均值滤波、高斯滤波等，能够有效抑制高频噪声，同时保持边缘信息的完整性。在此基础上，图像增强处理通过对比度拉伸、直方图均衡化、锐化等方法进一步强化目标特征，提高隐患目标与背景之

间的区分度。对于热成像图像，还可通过伪彩色增强处理，提升温度差异的可视化表达效果，使得热点隐患更加醒目突出。在图像预处理阶段，除了常规的去噪与增强方法，还可结合图像复原与超分辨率重建技术，进一步提升图像清晰度与细节保留效果。例如，通过自适应滤波算法实现更精准的噪声抑制，结合边缘保持机制防止目标模糊；在图像增强方面，可引入多尺度 Retinex 算法实现更自然的亮度均衡。此外，针对特定任务场景，利用深度学习模型进行学习式去噪与增强也日益成熟，显著提升复杂环境下图像处理的智能化水平。

2.3 多角度图像拼接与整合

由于配电线路结构复杂、构件空间分布广泛，单一角度拍摄往往无法完整覆盖所有巡检目标。因此，采用多角度图像采集与拼接技术成为提升整体识别完整性的关键路径。通过预设不同倾斜角、俯仰角和旋转角的飞行拍摄策略，获取同一目标从多个视角的图像数据。在图像拼接阶段，采用 SIFT（尺度不变特征变换）、SURF（加速稳健特征）等算法进行图像特征点匹配与几何配准，实现图像间的精准对齐。在整合过程中，需执行重叠区域去重、边缘融合及亮度均衡操作，确保图像无明显接缝且具备良好的连续性。最终生成的全景图像或三维重建模型，可为智能识别提供更加完整的目标数据基础，提高对隐患部位的定位精度及分析深度。

3 隐患智能识别核心算法

3.1 基于深度学习的目标检测模型（如 YOLO、Faster R-CNN）

在无人机巡检图像的隐患识别过程中，深度学习模型以其优异的特征提取与检测能力成为关键技术支撑。目前主流的目标检测算法主要包括 YOLO (You Only Look Once) 系列与 Faster R-CNN 等。YOLO 作为单阶段检测模型，具备高检测速度和较强的实时性，特别适合在大批量巡检图像中快速定位导线断股、鸟巢遮挡、异物悬挂等常见缺陷。而 Faster R-CNN 作为两阶段检测算法，在检测精度方面表现更为优越，尤其适合识别复杂结构区域内的微小隐患，如绝缘子裂纹、线夹松动等。实际应用中，往往通过迁移学习技术，利用已训练好的模型权重进行参数微调，以适配配电线路图像的专业特征，提升模型在特定场景下的泛化能力和识别精度。通过部署 GPU 加速推理平台，可实现对图像的高速识别与结果输出，满足现场实时分析的应用需求。

3.2 缺陷特征提取与分类策略

在图像识别过程中，对缺陷特征的有效提取与分类直接关系到识别系统的准确性与可靠性。隐患目标在图像中的形态、颜色、纹理等特征具有一定差异性，通过构建多层神经网络，可实现对这些高维特征的自动提取。针对常见配电线路缺陷，可将识别对象大致划分为表面结构损伤类（如锈蚀、断股）、遮挡类（如树枝、鸟巢）、位置偏移

类(如杆塔倾斜、拉线松动)等多种类型。模型通过设置多通道卷积层对输入图像进行多尺度卷积操作,从而捕捉到不同尺度和位置的特征信息。在分类策略方面,结合 Softmax 或 Sigmoid 激活函数,实现对各类隐患的独立或多标签分类判断,并结合置信度评分进行后续筛选与排序。同时,通过不断迭代训练与误差反向传播机制,模型可自我优化,提高在复杂背景下的识别准确率和鲁棒性。

3.3 多类别隐患智能标注与学习优化

为了进一步提升模型的识别性能,训练样本的高质量标注与模型的持续学习优化成为关键环节。在数据准备阶段,通过人工智能辅助标注平台对采集图像中的隐患目标进行框选、分类与标注,形成标准化的数据集。同时引入标签审查机制,确保样本标注的一致性与准确性,防止误标和漏标对模型训练产生负面影响。在模型训练过程中,引入数据增强策略,如图像旋转、缩放、裁剪、光照变化等,以提升模型的泛化能力和应对多变场景的能力。通过引入联邦学习机制或增量学习算法,可实现模型在不断积累新样本的基础上持续优化识别能力,避免“遗忘效应”,保持对新型或罕见隐患的识别效果。最终,形成一套闭环式的智能学习系统,实现从图像采集、特征提取、隐患识别到模型更新的全流程自动化运转。

4 隐患识别结果分析与系统集成

4.1 识别结果可视化与数据追踪

在无人机巡检过程中获取的大量图像数据经智能识别算法处理后,其识别结果需通过可视化方式直观呈现,便于运维人员快速理解与判断。系统可将每一次巡检任务所识别出的隐患点以图形标记形式叠加于 GIS 地图界面上,明确显示具体杆塔编号、位置坐标、隐患类型和识别时间。对于同一设备或线路的历史巡检记录,可通过时间轴方式追踪隐患变化趋势,实现对隐患发展情况的动态跟踪与比对。系统支持图文联动查看功能,点击地图标注即可同步调取原始图像、识别结果图、模型置信度评分等详细信息,极大提升巡检数据的使用效率。此类可视化功能不仅有助于一线运维人员进行快速响应,也为管理层提供了宏观掌控线路运行状态的技术支撑。

4.2 风险等级自动评估与预警机制

隐患识别只是配电线路运维智能化的第一步,更重要的是对隐患严重程度进行科学评估,从而制定合理的处置优先级。系统内置风险等级评估模型,依据隐患类型、影响范围、发生频率、线路电压等级及历史维修记录等多维指标,综合计算隐患风险评分。以评分结果为基础,系统将隐患划分为轻微、中等、严重三级,并自动生成对应的处理建议和响应时限要求。对于评分高、影响大的隐患点,系统可自动触发高优先级预警,通过短信、平台弹窗、邮

件等多种方式同步推送至相关责任人,实现快速闭环响应。同时,预警信息与巡检平台、检修系统深度联动,实现告警到工单的自动转换,构建高效的数字化运维工作链条,大幅度提升运维响应的主动性与及时性。

4.3 系统平台联动与运维集成应用

为实现从巡检到运维的无缝衔接,隐患识别系统需与现有配电管理平台深度融合,形成统一、协同、高效的作业体系。在系统架构上,识别平台支持与电力企业的 SCADA 系统、设备档案系统、工单管理系统进行数据对接,确保隐患识别结果可以直接引导后续维修计划与资源调度。例如,系统可将识别出的严重隐患自动转化为维修工单,并推送至现场作业人员的移动终端,附带定位信息、隐患描述及处置建议,实现现场精准作业。同时,运维完成后,系统支持上传处理结果及复检图像,自动更新设备健康状态,实现隐患处理的闭环管理。系统平台支持边缘计算架构与云端部署结合模式,满足不同部署场景下的数据处理与安全需求,为电力企业构建全面的数字化、智能化线路运维体系提供强大支撑。

5 结束语

基于无人机的配电线路隐患智能识别技术不仅显著提升了巡检效率,也为运维人员提供了准确、实时的隐患定位信息。通过构建图像处理与智能识别融合的技术体系,实现了对线路运行状态的自动监测与智能预警。本文在无人机平台配置、图像采集与预处理、智能识别算法优化以及系统集成等方面进行系统性探讨,为后续智能电网中高效可靠的隐患识别提供了技术借鉴。未来,应进一步结合边缘计算、5G 通信等先进技术,不断拓展无人机在电力运维领域的应用深度和智能化水平。

[参考文献]

- [1]冯竞平,胡阳,胡进林. 无人机自主巡检规模化[J]. 中国电力企业管理,2024(32):28-29.
 - [2]吕越,杨永健,吕超,等. 吉林省电机工程学会 2023 年学术年会获奖论文集[C]. 吉林省电机工程学会:吉林省电机工程学会,2023.
 - [3]陶金龙,王学峰,余子彬,等. 无人机飞控系统配电线路巡检抗干扰的关键策略研究[J]. 信息记录材料,2023,24(1):100-103.
 - [4]洪智勇,林青瑜. 无人机在配电线路运检中的应用[J]. 电子技术与软件工程,2021(20):217-218.
 - [5]苏超. 架空输电线路无人机自主巡检关键技术研究与应用[D]. 杭州:浙江大学,2023.
- 作者简介:陈立峰(1978.7—),男,锡林浩特市,汉族,本科,工程师,就职于内蒙古锡林郭勒盟阿巴嘎旗供电公司,从事电力领域方向的工作。