

基于图像特征的风电场电气设备故障红外图像目标识别

曾兴旺

(福建大唐国际新能源有限公司, 福建 厦门 361000)

摘要: 为实现对风电场电气设备故障红外图像目标的准确识别, 为电气设备运行维护提供更可靠依据, 引入图像特征技术, 开展风电场电气设备故障红外图像目标识别研究。采用最大类间方差阈值分割法, 增强风电场电气设备故障红外图像, 结合图像特征, 提取故障区域, 最后实现电气设备故障诊断与目标识别。将所提识别方法应用于实际, 可以精确识别各电气设备接头是否存在过热现象、是否因松动或损坏而温度异常, 具有极大应用价值。

关键词: 图像特征; 电气设备; 红外图像; 风电场

中图分类号: TN219

DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2025.04.43

Target Recognition of Wind Farm Electrical Equipment Fault in Infrared Image Based on Image Features

ZENG Xingwang

(Fujian Datang International New Energy Co., Ltd., Xiamen 361000, China)

Abstract: In order to achieve accurate identification of fault infrared image targets of electrical equipment in wind farms and provide more reliable basis for the operation and maintenance of electrical equipment, image feature technology was introduced to carry out research on fault infrared image target recognition of electrical equipment in wind farms. The maximum inter-class variance threshold segmentation method is used to enhance the infrared image of electrical equipment fault in wind farm. Fault regions are extracted by combining image features. Finally, the fault diagnosis and target identification of electrical equipment are realized. The application of the new identification method can accurately identify whether the electrical equipment joints are overheating, whether the temperature is abnormal due to loosening or damage, which has great application value.

Key words: image feature; electrical equipment; infrared image; wind farms

0 引言

风电场电气设备故障若不能及时发现并处理, 不仅会导致设备损坏, 还可能对整个风电场的运行造成严重影响, 因此开发一种高效、准确的故障检测方法对于风电场的安全运行至关重要。现有风电场电气设备故障检测方法较多。文献[1]通过融合 Canopy 的 K-means 算法, 提出电力设备故障检测方法, 该方法不仅需要大量的人力物力投入, 而且难以在故障发生的早期阶段及时发现。文献[2]基于分解产物分析, 研发了针对 SF_6 的电气设备故障检测方法, 但风电场环境复杂, 检测容易受到噪声、阴影等干扰因素的影响, 导致该方法的识别精度下降。近年来, 随着计算机视觉和图像处理技术的发展, 基于图像识别的故障检测方法逐渐受到关注。特别是红外成像技术, 由于能够反映设备表面的温度分布, 对电气设备故障的检测具有

独特的优势。基于此, 本文将对基于图像特征的风电场电气设备故障红外图像目标识别技术进行研究。

1 风电场电气设备故障红外图像增强

在实际使用环境中, 电气设备自身的红外辐射与其周围的背景有很大的差别。基于此, 文献[3]采用了一种高效的图像处理方法——最大类间方差阈值分割法, 从红外图像中准确分割出待检测的电气设备。类间方差的大小直接反映了背景与电气设备图像间的差异程度, 因此通过最大化类间方差, 可以更准确地识别并提取目标电气设备^[4]。将红外图像的灰度级个数设置为 L , 假设灰度值为 i 的数量为 n_i 个, 则总像素数位可表示为:

$$N = \sum_{i=0}^{L-1} n_i \quad (1)$$

式中, N 为总像素数位; L 为图像显示的灰度序列。各个灰度值出现的频率可以通过下述公式计算得出:

$$P_i = n_i / N \quad (2)$$

收稿日期: 2024-05-08

作者简介: 曾兴旺(1989—), 研究方向为新能源、风力发电。

式中, P_i 为灰度值 i 出现的频率。在式(2)中, P_i 为大于 0 的数。假设灰度值 t 为门限, 以此将红外图像区域划分为 2 个区域, 即 $0 \sim t$ 的像素为一个区域, 表示背景, $t \sim L-1$ 的像素为一个区域, 表示目标。在对图像中识别出的电气部分进行特征提取时, 为了获得对故障诊断更为关键的信息, 采用了改进的直方图均衡化方法^[5]。直方图均衡化技术虽然能增强图像对比度, 但往往会因减少灰度级而损失图像的层次感和细节信息。为了克服这一局限性, 引入了阈值 C_1 和 C_2 ($C_1 > C_2$), 以精准控制直方图均衡化过程。

具体而言, 当直方图的灰度等级超出上限 C_1 时, 将其调整至 C_1 , 以显著减少背景和噪声对图像核心信息的干扰, 从而防止对图像主要特征的过度增强, 确保图像分析的准确性和可靠性^[6]。而当直方图中某一灰度级的数值低于下限 C_2 时, 将其提升至 C_2 , 从而增强图像中电气设备细节部分的可见性, 相当于对这些细节像素进行了有针对性的放大处理。在 C_1 和 C_2 之间的灰度级直方图数值则保持原样, 不进行任何调整, 以确保图像的整体对比度和自然性。根据上述论述得出:

$$H(r_k) = \begin{cases} C_1, h(r_k) \geq C_1 \\ h(r_k), C_2 < h(r_k) < C_1 \\ C_2, h(r_k) \leq C_2 \end{cases} \quad (3)$$

式中, $H(r_k)$ 为改进后直方图的数值; $h(r_k)$ 为图像统计直方图的数值。通过上下限限值后的统计直方图可以获得对图像调整所需累计直方图。在设定直方图均衡化的上下限时, 特别考虑了后续需要叠加的细节图像部分^[7]。对于下限的选取, 采取了相对宽松的策略, 经过一系列实验验证, 发现当下限设定在像素数的 5%~15% 之间时, 通常能够获得令人满意的视觉效果。特别是当下限设定在像素数的 15%~26% 范围内时, 图像的质量往往能够得到显著提升。

使用以上方法虽然在一定程度上提高了图像的质量, 但是还没有达到期望的效果。其根本原因在于, 在进行直方图均衡时, 将频率偏小的灰度图像融合在一起, 使其在全灰度范围内的分布不均。这些不均匀性往往会使电子设备图像四周出现不希望出现的斑点, 从而降低图像的总体质量^[8]。所以, 要使图像质量更好地达到最优, 就必须对图像的灰度间隔作均匀处理。这种处理方式能够确保直方图在整个灰度区间内分布更均匀, 减少色斑的产生, 从而进一步提高图像的质量, 为后续的电气设备故障诊断提供更加准确和可靠的依据。

2 基于图像特征的故障区域提取

在电气设备红外图像分析中, 利用图像特征识别潜在的故障区域。为了量化这些区域的特性, 结合 MATLAB 中的 regionprops 函数来计算区域属性。特别地, 故障区域的大小是评估其严重性的关键指标之一。为了简化面积的计算过程, 采用基于区域像素计数的直接方法。在

MATLAB 中, 可以使用 regionprops 函数的特定语法来执行这一操作。具体来说, 通过调用 STATS=regionprops(L,'Area'), 可以对电气设备红外图像中的故障区域进行计算, 其中 L 是标记矩阵, 它标识了图像中的不同区域, 而 'Area' 指定了要提取的属性^[9]。执行此函数后, STATS 结构将包含有关每个区域的面积信息, 可以从中提取出故障区域的面积值 Area。

故障区域的质点坐标可根据所在区域点计算出, 其公式为:

$$\bar{x} = \frac{1}{A} \sum_{x,y \in R} x \quad (4)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{A} \sum_{x,y \in R} y \quad (5)$$

式中, \bar{x} 为故障区域质点横坐标; \bar{y} 为故障区域质点纵坐标; A 为故障区域面积; R 为故障区域总数; x 为横轴计数像素值; y 为纵轴计数像素值。结合式(4)、式(5), 利用语法 STATS=regionprops(L,'Centroid') 对故障区域质点进行表示和计算, 得出质心坐标。

3 电气设备故障诊断与目标识别

在实际运行中, 电气设备的许多潜在故障与温度变化紧密相关, 设备温度异常升高通常被视为故障即将出现的征兆。红外故障诊断技术正是一种基于物体辐射能与温度间关系的检测方法。

由于红外热图像中的灰度值与设备的实际温度存在明确的对应关系, 因此通过增强热图像的显示效果, 可以更清晰地观察设备温度的变化情况。进一步地, 可以依据普朗克定律来分析这些温度数据。普朗克定律是描述黑体辐射与温度间关系的物理定律, 提供一种从红外热图像中提取温度信息并据此进行故障诊断的理论依据^[10]。因此, 红外故障诊断识别技术不仅能够在故障发生前及时发现温度异常, 而且能通过普朗克定律的应用, 为故障诊断提供更加准确和可靠的数据支持。普朗克定律计算公式为:

$$W_\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \times \frac{1}{e^{hc/\lambda k_a T} - 1} \quad (6)$$

式中, W_λ 为黑体光谱入射度; h 为普朗克常数; c 为光速; λ 为辐射电磁波波长; k_a 为玻耳兹曼常数; T 为黑体热力学温度。在电气设备的故障诊断过程中, 首先通过先进的温度检测技术来计算并构建设备的温度场, 进而实现对其表面的温度成像。电气设备在发生故障时, 故障点通常会表现出温度异常升高的特征, 这一特性在灰度图像上表现为较为明亮的区域, 与背景形成鲜明的对比。

为了精准定位这些高温区域, 对处理后的图像应用梯度法。梯度法是一种边缘检测算法, 能够有效识别图像中灰度值发生显著变化的位置, 这些位置往往对应于设备表面温度变化的边缘。在精准定位出风电场电气设备的高温区域后, 结合这些区域的红外图像特征, 就能够实现对电气设备故障红外图像目标的准确诊断和识别, 从而提高风

电场设备的运行安全性和可靠性。

4 实例应用分析

某日,将本文识别方法应用于主变高压套管,其红外图像识别结果如图 1 所示。可以看出,该主变高压套管出现了温度超过 20.0℃ 的情况,且通过图像可以直接将温度超标位置展现。

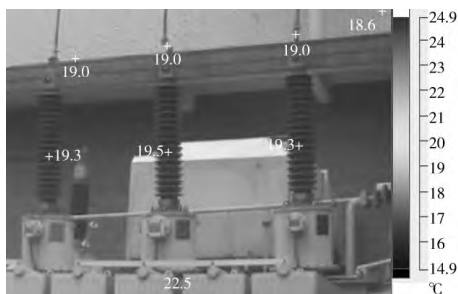


图 1 主变高压套管故障红外图像识别结果

在某次例行检查中,对 11 号塔进行跳线时,发现 B 相引线和跳线连接处温度不正常上升,超过 200℃,相关红外图像如图 2 所示。对疑似过热区域进行多次不同角度的温度测量,温度已飙升至 300℃ 以上,明显超出了安全范围。为了确保线路安全,迅速采取了降低负载措施,以缓解过热现象。在检修 B 相接线路线夹和跨接线接头线夹,对线夹进行打磨、涂抹导电膏、更换螺栓后,大负荷测温结果显示原缺陷位置温度在 30℃ 左右。

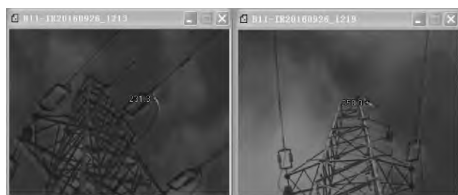


图 2 杆塔故障红外图像

通过实例可以看出,对风电场内关键导线和电缆接头进行系统的温度监测,并结合热成像技术的深入分析,能够精确识别各接头是否存在过热现象、是否因松动或损坏而温度异常。这一举措不仅有助于及时发现潜在的设备安

全隐患,更能有效预防火灾等严重事故的发生,从而显著提升风电设备运行的安全稳定性。

5 结语

本文研究了基于图像特征的风电场电气设备故障红外图像目标识别技术,并取得了一定的研究成果,实现了对电气设备故障目标的自动识别和定位。未来,将继续深入研究基于图像特征的红外图像目标识别技术,在特征提取、算法优化、实时性等方面进一步改进和完善。同时,也将探索将深度学习等先进技术应用于红外图像目标识别中,以提高识别精度和效率。

参考文献

- [1]朱愈,张耘.融合 Canopy 的 K-means 算法在电力设备故障检测中的应用研究[J].自动化与仪器仪表,2024(4):62-66.
- [2]肖驰夫,黄建波,周忠武.浅议基于分解产物分析的 SF₆ 电气设备故障检测方法[J].中国设备工程,2022(7):163-164.
- [3]燕洁,李娟.基于电力系统二次设备功能缺陷文本数据的设备智能诊断[J].电工技术,2023(19):142-144.
- [4]生俊阳.基于智能技术的发电设备故障诊断与维修策略分析[J].集成电路应用,2024,41(3):396-397.
- [5]马占海,邵忠雪,严嘉正,等.基于改进遗传算法的高压电气设备故障信号低复杂度快速提取模型[J].微型电脑应用,2024,40(2):129-133.
- [6]贺明强,靳君,关新宇,等.基于计算机视觉的电力设备状态监测与故障诊断策略分析[J].集成电路应用,2024,41(2):224-225.
- [7]刘宸轩.基于小波分析的电气设备故障检测方法研究[J].专用汽车,2023(1):58-60.
- [8]阮佳.基于人工鱼群算法的船舶电子设备故障智能诊断方法[J].舰船科学技术,2023,45(24):188-191.
- [9]曾乔迪,陈煜敏,蒋文辉,等.基于多源判据的变电站二次设备故障自动化诊断研究[J].自动化与仪表,2023,38(10):57-61.
- [10]秦潘昊,陈威宇,胡秦然,等.新型电力系统设备状态监测与故障诊断传感芯片关键技术与展望[J].电力系统自动化,2024,48(6):83-95.

(上接第 159 页)

- [3]马小荣,马晟,赵小平.高压断路器机械振动信号特征与故障诊断方式[J].石河子科技,2023(5):36-38.
- [4]李茂,于甜甜.振动信号特征提取下的高压断路器可控开断运行故障检测方法[J].电工技术,2024(4):165-168,172.
- [5]裴瑶,武建文,马速良,等.基于多特征评估与 XGBoost 的高压断路器故障诊断[J].高压电器,2023,59(4):1-9.

- [6]林婧,张佳瀛,黎旭,等.基于振动信号的高压断路器螺栓松动故障诊断研究[J].高压电器,2023,59(3):28-33.
- [7]田园,黄祖源,张航,等.基于混合特征和集成极限学习机的高压断路器机械故障检测[J].电子器件,2023,46(1):203-209.
- [8]豆龙江,何玉灵,万书亭,等.基于振动信号的高压断路器弹簧疲劳程度检测方法[J].电工技术学报,2022,37(24):6420-6430.