

基于机器视觉的瓦斯继电器油位异常检测

蒙媛,莫钦森,陈坤

(国网四川省电力公司广安供电公司,四川 广安 638000)

摘要:针对传统的瓦斯继电器油位异常时机械故障引起的误报警情况,文中提出基于机器视觉的瓦斯继电器油位测量方法,为瓦斯继电器油位异常检测提供一种新的方法,有效提高其工作可靠性和安全性。由于瓦斯继电器窗口内部背景复杂干扰较大,使得传统的基于图像处理液位提取方法误差很大,无法得出满意的结果。为此提出颜色空间域转换和 Canny 检测边缘结构复杂度相结合的算法,提取出瓦斯继电器油位。实验结果显示,所提算法在瓦斯继电器油位提取方面优于传统方法,满足实际工程需求。

关键词:Rect 函数;直方图均衡化;颜色空间转换;Canny 边缘检测

中图分类号:TM 731 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-6954(2023)01-0069-04

DOI:10.16527/j.issn.1003-6954.20230113

Abnormal Oil Level Detection of Gas Relay Based on Machine Vision

MENG Yuan, MO Qinsen, CHEN Kun

(State Grid Guang'an Electric Power Supply Company, Guang'an 638000, Sichuan, China)

Abstract: Aiming at the false alarm caused by mechanical fault when the oil level of traditional gas relay is abnormal, a method for measuring the oil level of gas relay based on machine vision is proposed, which provides a new method for detecting the abnormal oil level of gas relay and effectively improves its working safety. Due to the complex background and large interference in gas relay window, the traditional liquid level extraction method based on image processing has a large error and can not obtain satisfactory results. Therefore, an algorithm combining color space domain conversion and structure complexity of Canny edge detection is proposed to extract the oil level of gas relay. The experimental results show that the proposed algorithm is better than the traditional method in the extraction of oil level of gas relay, and can meet the actual engineering needs.

Key words: Rect function; histogram equalization; color space conversion; Canny edge detection

0 引言

瓦斯继电器是变压器安全运行的重要保护组件,在变压器内部发生故障,如绕组断线、铁芯接地、套管引线故障、匝间和层间短路及绝缘劣化、导线焊接不良或分接开关接触不良、油面下降或漏油等,变压器内部会产生故障气体或造成油流涌动,从而触发继电器动作告警或跳闸,保护变压器设备安全^[1]。然而传统的瓦斯继电器报警方式经常因为其内部机械故障而失效,导致严重的电力事故^[2-3],

基金项目:国网四川省电力公司研究开发专项项目(521916220002)

因此研究一种非接触式监测瓦斯继电器油位方式作为传统瓦斯继电器报警方式的补充是十分必要的。

目前,瓦斯继电器状态的检测方法,国内外多是通过在瓦斯继电器内部加入传感器来实现,但这种方式造价高且可靠性低。传统的液位测量方式,多采用灰度阈值法或彩色阈值法^[4],都是阈值分割后求出液位区域面积比^[5],但瓦斯继电器的复杂背景会极大地影响图像处理的精度。

针对以上问题,下面提出颜色空间转换和边缘复杂度分割提取液位的方法,有效地解决了瓦斯继电器背景杂乱难分割的问题。

1 工作原理

所采用的瓦斯继电器油位测量方法流程如图 1 所示。首先从采集到的图像中利用 Rect 函数提取感兴趣区域(region of interest, ROI)区域,再通过直方图均衡化对图像进行增强;然后通过颜色空间转换得到更适合提取液位的 HSV (Hue, Saturation, Value)彩色图像,再通过 Canny 检测结合统计学规律得到最终的液位结果。

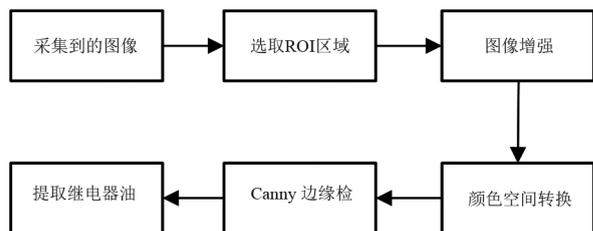


图 1 油位提取流程

2 图像处理

2.1 ROI 区域提取

在现场采集到的图像中含有大量的无关背景信息等,但只需要研究窗口部分的图像信息。由于相机和瓦斯继电器的位置相对固定,所以可以使用 Rect 函数提取出感兴趣的矩形区域。该过程可以有效去除大量干扰,减少程序处理时间,简化后续工作。

2.2 图像增强

在图像处理过程中,图像增强是其重要的组成部分^[6]。由于大多数采集到的图像不够理想,可能存在一些噪声干扰。还可能由于采集时的阳光强度较差,存在视觉效果不理想的问题。

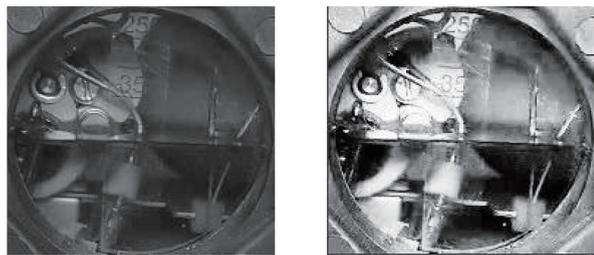
直方图均衡化是一种经典的图像增强算法^[7],通过将原始图像的灰度级均匀地拉伸到整个灰度范围内,从而实现视觉均衡的效果。首先计算图像的累计直方图,计算每个灰度级在图像中出现的概率,可通过式(1)表达。

$$p_i = n_i/N \quad (1)$$

式中: N 为像素总数; p_i 为第 i 级灰度的出现概率; N_i 为第 i 级灰度像素点总数。之后通过式(2)计算出各级灰度的累计统计直方图。

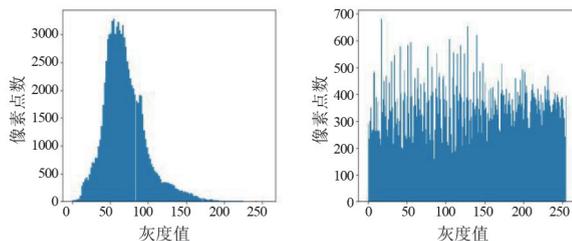
$$c_i = \sum_{n=0}^i p_n \quad (2)$$

在累计直方图的基础上,对原有图像在灰度空间进行拉伸映射,即可实现图像的直方图均衡化,其效果如图 2 所示。从图中可以明显看出,通过直方图均衡化后,图像的直方图变得均匀,图中液位部分对比度变得明显。



(a) 原图

(b) 增强后图像



(a) 原图直方图

(b) 增强后直方图

图 2 图像增强结果对比

2.3 图像颜色空间转换

通过工业相机采集到的图像为 RGB 彩色图像,但是在 RGB 图像中,瓦斯继电器内部的复杂背景在常用的阈值分割液位提取算法中干扰极大。阈值分割是液位分割中最为常用的方法,其通用公式为

$$s = \begin{cases} 1 & c > c_1 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

式中: s 为彩色图像阈值处理后的结果; c 为某一个颜色通道; c_1 为选择的阈值。但是瓦斯继电器油位变化区域,对于 RGB 3 色通道中任何一个通道上的数值变化都是不明显的,进行阈值分割后的结果很差。而通过大量实验发现,HSV 图像结合 Canny 算子检测的方式可以有效解决瓦斯继电器背景复杂的问题。

HSV 色彩空间不同于 RGB 色彩空间,体现人眼

视觉感知的三要素^[8], H 为色调, S 为饱和度, V 为亮度。其转换方法如式(4)一式(7)所示。颜色空间转换结果如图 3 所示。

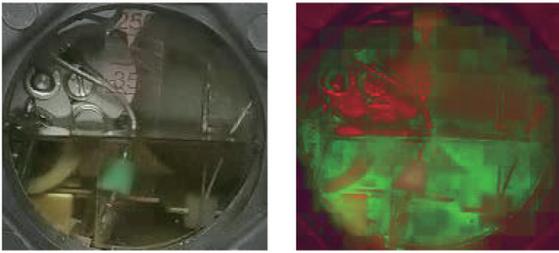
$$\begin{cases} C_{\max} = \max(R, G, B) \\ C_{\min} = \min(R, G, B) \\ X = C_{\max} - C_{\min} \end{cases} \quad (4)$$

$$H = \begin{cases} 60 \times \left(\frac{B - R}{X} + 2 \right), C_{\max} = G \\ 60 \times \left(\frac{G - B}{X} + 0 \right), C_{\max} = R \\ 60 \times \left(\frac{R - G}{X} + 4 \right), C_{\max} = B \end{cases} \quad (5)$$

$$S = \begin{cases} 0 & C_{\max} = 0 \\ \frac{X}{C_{\max}} & C_{\max} \neq 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$V = C_{\max} \quad (7)$$

式中, R 、 G 、 B 分别为红色、绿色、蓝色强度。



(a) RGB图像

(b) HSV图像

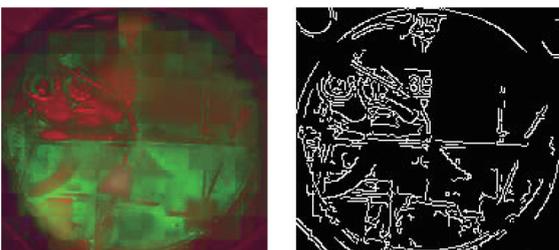
图 3 颜色空间转换结果

2.4 Canny 边缘检测

Canny 边缘检测是基于多级边缘检测的算法, 首先对图像进行灰度化^[9], 如式(8)所示。

$$G_{\text{ray}} = (G + B + R)/3 \quad (8)$$

再通过对图像进行高斯滤波去除高频噪声, 然后通过 sobel 算子得到图像的方向和梯度, 最后引入非极大值抑制和双阈值算法提取边缘信息^[10]。Canny 检测结果如图 4 所示。



(a) HSV图像

(b) Canny边缘图像

图 4 Canny 检测结果

3 油位测量

下面提出一种基于边缘复杂度的分割方法应用于顶部和底部。该方法基于以下观测结果: 由瓦斯继电器的工作原理可知, 当油位发生变化时, 油杯会随之运动, 导致其透明窗口内的机械结构发生运动。观察发现随着油杯的向上运动, 透明窗口内的结构边缘复杂度降低。同时由于光的折射作用, 有油区域的背景, 经光的折射会导致边缘结构的模糊化。两种作用的相互叠加, 最终使得同一区域有油状态和无油状态的边缘复杂度存在明显的差异。经过 Canny 检测处理后可观察到结构复杂度的情况, 图 5 中可明显看出瓦斯继电器同一区域窗口内结构边缘复杂度在无油状态下和有油状态下存在明显差异, 区域状态由无油变为有油后, 结构复杂度有所下降。使用 Canny 边缘像素点的个数来表示区域结构复杂度, 通过阈值处理的方式来判断该区域是否为有油区域。

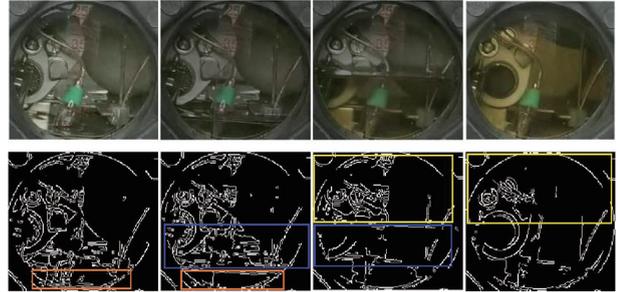


图 5 瓦斯继电器在不同液位状态下的 Canny 检测结果

$$q_i = \sum_{10i}^{10(i+1)} x_k \quad (9)$$

$$l = \begin{cases} 1 & q_i > f_i \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (10)$$

式中: x_k 代表第 k 个像素点的状态, 是边缘则为 1 否则为 0; q_i 为以 10 为步长的第 i 个区间, 步长过长会降低精度, 步长过短会造成误判; f_i 为第 i 个区域所采用的阈值, 值得注意的是, 每个区间由于物理结构的不同, 应该使用不同的阈值。这里采集了大量不同液位的素材, 并统计同一区间在不同液位状态下的边缘复杂度, 选出合适的阈值。

4 实验结果

本实验数据均在 PyCharm Community Edition

表 1 不同液位提取方法的结果及误差

方法	油位比												平均误差 /%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
灰度阈值 液位提取 算法	0.27	0.28	0.28	0.31	0.30	0.36	0.41	0.46	0.55	0.41	0.79	0.88	28.03
彩色图像 液位提取 算法	0.29	0.39	0.29	0.38	0.42	0.50	0.53	0.54	0.57	0.65	0.85	1.00	20.06
本位液位 提取算法	0.23	0.35	0.35	0.41	0.47	0.53	0.59	0.65	0.76	0.82	0.88	0.88	4.64
实际液位	0.11	0.21	0.32	0.39	0.47	0.55	0.64	0.71	0.79	0.86	0.92	0.98	

2021.2.3 平台上进行处理,PC 处理器为 Intel(R) Core(TM) i5-4590 CPU 3.30 GHz,内存大小为 8 GB,操作系统为 Windows 10 企业版。得到的油位比如表 1 所示,其中实际值有油区域的高度 H_1 (mm) 和整个瓦斯继电器窗口高度 H_2 (mm) 由直尺实际测量得到,则实际油位比 $h = H_1/H_2 \times 100\%$ 。

从表 1 中可以看出,当油位从低到高变化时,所示的油位提取结果也符合变化规律,能够有效监控瓦斯继电器的油位变化。同时误差可以控制在 1/17 以内,所提算法在油位提取方面精度明显优于传统算法,更具有针对性,能够满足实际的现场需求。

5 结 论

上面针对瓦斯继电器油位状态提取问题,提出颜色空间域转换和 Canny 检测边缘结构复杂度相结合的方式,有效解决了瓦斯继电器的复杂背景在图像处理中的影响,成功提取出瓦斯继电器油位,且精度相对于传统算法有较大提升。

参考文献

- [1] 李胜男,韩冬冬,周鑫,等.基于 CFD 的瓦斯继电器反向油流动作研究[J].能源研究与信息,2020,36(4):222-227.
- [2] 侯为林,李刚,李坤鹏,等.500 kV 变压器瓦斯继电器误动作原因分析与处理方案[J].水电与新能源,2022,36(3):45-48.
- [3] 吴嘉竣.500 kV 变电站主变重瓦斯误动作情况分析及

改进措施研究[D].广州:华南理工大学,2019.

- [4] 黄玲,张叶林,胡波,等.基于机器视觉的透明瓶装液体液位自动检测[J].自动化与仪表,2012,27(2):57-60.
- [5] 代素梅,张贵涛,钟旭,等.基于图像识别的液位在线读取[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2009,28(2):284-287.
- [6] 马龙,马腾宇,刘日升.低光照图像增强算法综述[J].中国图象图形学报,2022,27(5):1392-1409.
- [7] 江巨浪,刘国明,朱柱,等.基于快速模糊聚类的动态多直方图均衡化算法[J].电子学报,2022,50(1):167-176.
- [8] 周志强,王昕,杨天,等.融合偏振距离与颜色空间的阴影下目标增强算法[J/OL].激光与光电子学进展:1-14[2022-09-23].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1690.tn.20220722.2126.034.html>.
- [9] 郝泽兴,郭改枝,代妍玮,等.一种改进 Canny 算子的边缘检测算法[J/OL].内蒙古大学学报(自然科学版):1-9[2022-09-23].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/15.1052.n.20220725.1343.002.html>.
- [10] 徐武,张强,王欣达,等.基于改进 Canny 算子的图像边缘检测方法[J].激光杂志,2022,43(4):103-108.

作者简介:

蒙 媛(1978),女,硕士研究生,高级工程师,主要研究方向为软件工程与电能计量;

陈 坤(1993),男,学士,助理工程师,主要研究方向为继电保护与变电二次检修;

莫钦森(1977),男,硕士,高级工程师,主要研究方向为继电保护与输变电检修。

(收稿日期:2022-09-26)