

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.210355

基于多策略分割融合与形态特征辨识的变电站 保护压板状态识别

袁朝晖^{1,2}, 付文龙^{1,2}, 李佰霖^{1,2}, 文斌¹

(1. 三峡大学电气与新能源学院, 湖北 宜昌 443002;

2. 三峡大学梯级水电站运行与控制湖北省重点实验室, 湖北 宜昌 443002)

摘要: 目前变电站保护压板巡检仍主要采用人工进行, 耗时费力且容易出错, 制约着变电站二次设备智能化的发展。为此, 提出一种基于多策略分割融合与形态特征辨识的变电站保护压板状态识别方法。通过移动端设备采集屏柜压板图像后, 首先对压板区域进行透视变换, 消除拍摄角度产生的畸变影响。然后采用多策略分割融合方法获取有效压板区域, 即在 HSV 空间利用多阈值分割。同时在 Lab 空间采用 K 均值聚类分割, 再对两种分割结果进行融合, 获得有效压板区域。最后计算有效压板方向角和宽长比形态特征, 并分别判别两种特征对应的状态, 进一步融合两种状态结果, 辨识压板最终运行状态。通过对不同场景下的复杂背景压板图像进行实例研究, 结果表明该方法具有良好的准确率和适用性。

关键词: 保护压板; 多阈值; K 均值聚类; 形态特征; 运行状态

Protection platen status recognition for a smart substation based on multi-strategy segmentation and fusion and morphological feature identification

YUAN Zhaohui^{1,2}, FU Wenlong^{1,2}, LI Bailin^{1,2}, WEN Bin¹

(1. College of Electrical Engineering & New Energy, China Three Gorges University, Yichang 443002, China; 2. Hubei Key Laboratory of Cascaded Hydropower Stations Operation & Control, China Three Gorges University, Yichang 443002, China)

Abstract: The inspection of protection platens in substations at present still relies on manual operation, which is time-consuming and error-prone. It also restricts the development of more intelligent secondary equipment in substations. Given this, a novel status recognition method for a substation protection platen based on multi-strategy segmentation and fusion and morphological feature identification is proposed. With a cabinet image collected by the mobile terminal, the platen region is first dealt with perspective transformation to eliminate the distortion caused by the image acquisition angle. Then, a multi-strategy segmentation and fusion method is proposed to extract the valid platen region, within which multi-threshold segmentation is applied in the HSV space while K-means clustering is adopted for segmentation in Lab space. Thus, the valid platen region is obtained by fusing the two kinds of segmentation results. Subsequently, morphological features of the valid platens including direction angle and aspect ratio are calculated, based on which the state corresponding to different features is distinguished. Then the two state results are merged into the final operating state of platens. Results in application for different cases for cabinet images with complex background show that the proposed method achieves good accuracy and applicability.

This work is supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 51741907).

Key words: protection platen; multi-threshold; K-means clustering; morphological feature; operating state

0 引言

随着经济的快速发展, 电能的需求越来越大,

对变电站的运营和维护也提出了更高的要求。为保证变电站安全稳定运行, 定期巡检变电站二次设备的工作状态是重点工作。保护压板作为二次设备巡检的重要内容, 依靠传统的人工检测已难以满足智能化的要求, 而且人工巡检常因视觉疲劳、记忆错

基金项目: 国家自然科学基金项目资助(51741907)

误等原因出现错检、漏检的现象, 导致存在安全隐患。为此, 发展基于新技术的变电站设备远程监控技术^[1-2], 构建在线的运检系统架构, 以实现变电站二次设备智能巡检已是当务之急^[3]。近年来, 基于传统图像处理^[4]和深度学习^[5-7]的识别方法已经广泛应用于电气设备识别领域中。针对变电站保护压板状态识别方法, 现有研究常忽略了对压板图像的分割, 尤其是对存在背景干扰的压板图像, 难以保证较高的识别准确率。

利用图像处理技术识别压板状态, 核心技术在于准确的图像分割和高效的状态判别。图像分割是图像识别的前提, 有效压板区域的精确分割, 是提高识别准确率的重要保证。状态判别是指通过对压板区域形态特征进行分析, 设定判别规则, 判别压板的投入和退出状态。文献[8]设定阈值获取有效颜色压板区域, 再进行形态学处理, 得到完整连通区域, 通过对压板连通区域进行形态特征分析识别压板状态。文献[9]根据压板图像颜色特征分离出有效压板区域, 然后通过每块压板外接矩形框的形态特征判断出压板的开关状态。文献[10]提出一种基于模型聚类匹配和形态特征辨别的压板状态辨识技术识别压板状态, 但在实际应用中效果并不理想。文献[11]提出一种基于聚类和 D-S 证据理论的压板校核方法, 采用聚类方法进行图像分割, 结合证据理论融合多个压板状态指标进行状态判别, 相对于单一状态识别方法, 有较高的准确率。但是基于聚类的分割方法不适用于背景复杂的压板图像, 分割方法的泛用性还有待提高。文献[12]提出一种基于深度学习的压板状态识别方法, 有效提高了压板识别的准确率。但是这种方法的模型训练过程比较复杂, 需要对大量压板数据进行学习。文献[13]使用 AR 设备获取信息, 基于图像处理技术, 实现了二次设备如压板、开关的异常检测。

目前基于图像处理的压板状态识别研究, 仍存在一定程度上的问题。通过移动端设备(如移动巡检机器人、手持式巡检仪)采集屏柜压板图像时, 首先会因拍摄场地的限制和光照影响而产生较大噪声, 其次可能由拍摄视角而造成图像畸变, 另外屏柜面板背景带有的标签、铭牌和条纹等都会给压板区域的分割和识别带来一定难度。屏柜面板背景的复杂度是压板识别困难的关键原因, 对于背景复杂、干扰区域较多的压板图像, 目前还没有较好的分割与识别方法。针对该问题, 本文提出一种基于多策略分割融合与形态特征辨识的变电站保护压板状态识别方法。首先采用透视变换的方法对压板区域进行校正, 然后融合多阈值分割和 K 均值聚类分割结果

得到有效压板区域, 最后利用形态特征辨识的方法, 融合多种特征判别结果, 辨识压板最终状态。实例分析证明, 本文所提方法对于存在背景干扰的压板图像具有良好的准确性和适用性。

1 图像处理

由于图像采集时受场地限制及光照影响, 采集所得图像常存在畸变和不同程度的模糊等问题。因此需先对采集的屏柜压板图像进行预处理, 校正包含所有压板的目标区域, 去除无效的干扰区域, 以便于后续屏柜压板的分割和状态识别。本文研究中采用数字图像处理技术进行预处理, 即对图像目标区域进行视角校正, 进而对校正的图像进行分割, 获得有效压板区域形态特征, 并依据判别规则辨识压板状态。

1.1 图像校正

通常情况下, 采集的屏柜压板图像有较大面积的无关区域, 且易出现畸变问题, 这对压板区域的分割和状态判别影响较大。为提高压板识别的准确率, 需先对压板图像进行预处理, 校正压板区域并去除无效的干扰区域。为实现畸变图像的校正, 本文采用透视变换^[14]的方法进行处理。透视变换的通用公式为

$$[x', y', w'] = [u, v, w] \begin{bmatrix} a_{11}, a_{12}, a_{13} \\ a_{21}, a_{22}, a_{23} \\ a_{31}, a_{32}, a_{33} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, $\begin{bmatrix} a_{11}, a_{12}, a_{13} \\ a_{21}, a_{22}, a_{23} \\ a_{31}, a_{32}, a_{33} \end{bmatrix}$ 为透视变换矩阵, 可实现图像的旋转、缩放校正。

1.2 多策略分割融合

有效而准确的压板区域分割是识别压板状态的前提, 因而研究高效的分割方法是图像识别领域的重要内容。图像分割的难点在于解决颜色辨识的问题, 由于光照阴影、背景边框和部分压板颜色相混淆, 常规分割方法难以分割出有效区域, 这也是压板识别率较难提高的主要原因。图像分割经历了漫长的研究历程, 传统方法趋于成熟。目前, 新颖的分割方法层出不穷, 其中多阈值^[15]和多方法融合^[16-17]的分割方式呈现巨大潜力, 相比于使用单一方法进行分割, 融合分割方法具有更理想的分割效果。因此, 本文提出一种多策略分割融合的方法, 结合多阈值和 K 均值聚类两种分割方法的优点, 有效解决了屏柜压板图像受背景干扰和光照影响的问题。

多策略分割融合方法的总体流程如图 1 所示。

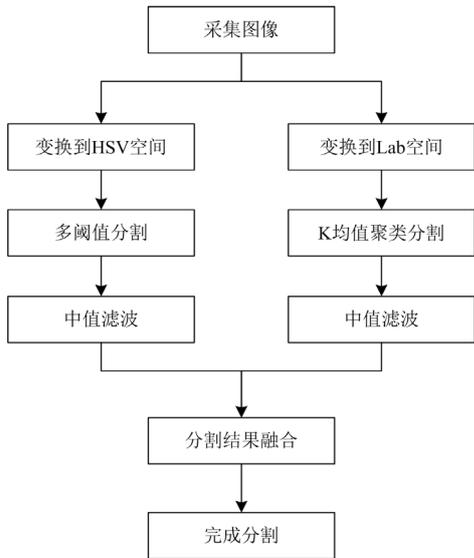


图1 多策略分割融合方法流程图

Fig. 1 Flow chart of multi-strategy segmentation and fusion method

1.2.1 基于HSV颜色空间的多阈值分割

采用适当的色彩空间是进行有效分割的基础。在以往的相关研究中，多直接采用 RGB 颜色空间进行分割。RGB 颜色空间中颜色分量的相关性较强，很难分割出有效的压板区域。由于 HSV 颜色空间各分量相关性弱，各分量保持相对独立性，使得 HSV 颜色空间能够很好地突出颜色特征^[18]。特别是对明亮颜色，如红、绿、蓝三色，转换到 HSV 颜色空间后具有增强效果。其中表征颜色色调的量为 H 分量，通过选取特定的 H 分量阈值，即可分割出特定的颜色区域。其中，RGB 颜色空间转换到 HSV 颜色空间的 H 值定义公式如式(2)所示。

$$H = \begin{cases} 0^\circ & \text{if max} = \text{min} \\ 60^\circ \times \frac{G - B}{\text{max} - \text{min}} + 0^\circ, & \text{if max} = R \text{ and } G \geq B \\ 60^\circ \times \frac{G - B}{\text{max} - \text{min}} + 360^\circ, & \text{if max} = R \text{ and } G < B \\ 60^\circ \times \frac{B - R}{\text{max} - \text{min}} + 120^\circ, & \text{if max} = G \\ 60^\circ \times \frac{R - G}{\text{max} - \text{min}} + 240^\circ, & \text{if max} = B \end{cases} \quad (2)$$

式中：R、G、B 分别为红、绿、蓝色通道值；max 为 R、G、B 中最大值；min 为 R、G、B 中最小值。颜色选取的 H 通道阈值如图 2 所示。

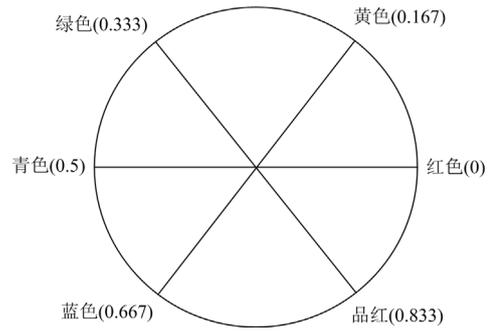


图2 颜色选取的 H 通道阈值

Fig. 2 H channel threshold for color selection

阈值分割的思想是确定一个阈值，然后把每个像素点的灰度值和该阈值相比较，根据比较的结果将该像素划分为两类，前景和背景。因其实现简单、计算量小、性能稳定，阈值分割成为图像分割领域最基本和应用最广泛的分割技术。由于压板图像的背景较为复杂，分割过程中，深红边框条纹对红色压板产生较大的干扰，使用单一阈值分割效果不够理想。针对该问题，本文选择多阈值分割方式进行处理，即设置一个阈值区间，将红色压板区域从背景中分离出来。观察图 2 可知，获得红色压板区域的 H 分量选择范围为 0~0.167。从理论上讲，选取的阈值为这两个值，就可以分割出红色压板区域，但是过大的阈值区间范围会将部分无关颜色区域也分割出来，增大了识别的难度。本文研究中是通过缩减区间范围确定最佳分割区间，研究发现，极小阈值选为 0.01，极大阈值选为 0.1，分割效果最好。

1.2.2 基于Lab颜色空间的K均值聚类分割

Lab 颜色空间是一种基于人类对光的视觉光谱敏感度的数学色彩模式，在图像分割领域应用广泛。压板图像主要由红、绿、黄三色的有效压板、驼色压板和背景组成，直接采用 RGB 颜色空间进行分割，会产生较大噪声干扰。将 RGB 颜色空间的压板图像转换到 Lab 颜色空间，对背景部分有较好的掩盖效果，能最大程度降低噪声的干扰^[19]。

K 均值聚类^[20]是一种无监督的学习算法，因其容易实现，分类效率高，广泛应用于图像分割领域。该算法以空间中的 k 个点为中心进行聚类，对最靠近它们的对象归类，类别数为 k。然后不断进行迭代运算，逐次更新各聚类中心的值，直至得到最好的聚类结果。算法执行过程中，采用欧氏距离计算数据样本之间的距离，利用误差平方和评价聚类效果。在给定的样本集 $D = \{X_1, X_2, \dots, X_m\}$ 中，聚类中心集为 $U = \{U_1, U_2, \dots, U_m\}$ ，簇的集合为 $C = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ ，希望每个样本点离它所在簇的

聚类中心越近越好, 即最小化平方误差最小。

$$\min E = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in C_i} \|x - \mu_i\|_2^2 \quad (3)$$

式中: $\mu_i = \frac{1}{|C_i|} \sum_{x \in C_i} x$, x 为簇内 C_i 的均向量; E 越小, 簇内相似度越高^[21]。

聚类的对象是压板图像的颜色像素值, 主要是利用聚类分割出黄色和绿色压板区域, 考虑到压板图像主要颜色种类不多于 5 种, 聚类初始值 k 初步确定为 2~4 之间。聚类数目和中心的选择直接影响最终分割的结果, 为了得到精确的分割结果图, 针对多组图像分别选择 $k=2$ 、 $k=3$ 和 $k=4$ 进行压板图像分割, 研究发现具有普适性、最佳的聚类初始值为 2。

K 均值聚类的具体步骤如下:

(1) 从初始样本集 $D = \{X_1, X_2, \dots, X_m\}$ 中选择 k 个点作为 k 个类的初始聚类中心;

(2) 在第 i 次迭代中, 对任意一个样本点, 求其到 k 个聚类中心的距离, 将该样本点归到距离最短的聚类中心所在的类;

(3) 利用均值等方法更新该类的聚类中心;

(4) 利用步骤(2)和(3)的迭代法更新, 值保持不变或相差很小, 则迭代结束, 否则继续迭代。

1.2.3 分割结果融合

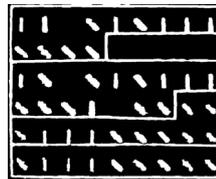
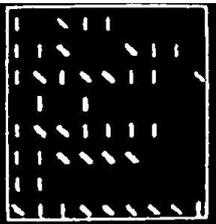
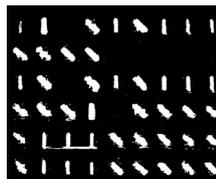
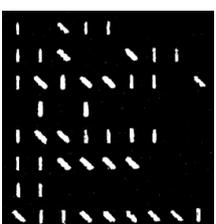
图像融合是使用特定的算法将两幅(或多幅)图像综合成一幅新的图像。融合结果由于能利用两幅(或多幅)图像在时空上的相关性及信息上的互补性, 并使得融合后得到的图像对场景有更全面、更清晰的描述。本文的研究中, 基于 HSV 颜色空间的多阈值分割, 能有效分割出红色的压板区域, 而基于 Lab 颜色空间的 K 均值聚类分割, 能有效分割出黄色和绿色的压板区域, 进一步融合两种分割方式所得结果, 便能补全所有有效压板区域。为防止区域合并后增强噪声和扩大干扰区域, 在进行融合前, 分别对两次分割后的压板区域进行中值滤波, 再进行图像融合, 获得完整的有效压板区域分割结果。

1.3 不同分割方法对比

为进一步验证本文所提分割方法的有效性, 现将本文所提方法与传统的几种主流分割方法进行对比, 相关结果如表 1 所示。结果表明, 采用 RGB 颜色聚类的分割方法效果很不理想; 基于 Lab 颜色空间的聚类方法能够获取完整的有效压板区域, 但是不能将压板区域与背景边框线区分开; 而采用多阈值的分割方法对部分压板分割效果不够理想, 受噪声干扰较大。本文所提的多策略分割融合方法,

结合了阈值分割和聚类分割的优点, 较好地解决了边框线干扰和噪声干扰问题, 具有良好的适用性和鲁棒性。

表 1 不同分割方法获取有效压板区域结果对比
Table 1 Comparison of acquirement results of effective platen by different segmentation methods

方法	图像(1)	图像(2)
原图		
基于 RGB 量聚类分割		
基于 Lab 空间聚类分割		
多阈值分割		
本文所提方法		

1.4 形态学处理

通常情况下, 对获得的分割结果图进行二值化处理^[22]后, 存在噪声和较小无效连通区域。这些干

扰区域会对后续压板区域特征计算和状态判别产生不利影响。为提高压板识别的精度,本文采用开运算、闭运算、膨胀和孔洞填充等方式进行形态学处理。考虑到噪声和干扰区域较小,且干扰区域主要为线型区域,故先采用长度为5、角度为 90° 的直线结构元素进行开运算,去除干扰线段区域;再以半径为3的圆形结构元素进行闭运算,去掉毛刺和孤立点;最后以半径为2的圆形结构元素进行膨胀处理及孔洞填充操作,抑制深度噪声,填充目标区域深度空洞。

1.5 连通区域标记

连通区域标记即为每一个压板区域分配一个表征数字进行编号,与后期压板识别的结果关联对应。本文以8连通的方式判别连通区域,编号选择的方向为从左至右,以1,2,⋯,N进行标记。

2 形态特征辨识

保护压板有投入和退出两种状态,如图3所示。其中直立形态为投入状态压板,倾斜形态为退出状态压板。同一压板只有一种状态,投入或退出。因此,可以选定指定的压板形态特征判别压板状态。考虑到投入和退出状态压板方向角有明显区别,故将方向角作为判别特征。使用单一特征判别存在偶然性和随机性,易出现误判和漏判的现象,辨识结果可靠性较低。为此,将压板外接矩形的宽长比也作为判别依据。依据判别规则分别获取两种特征对应的状态结果,然后融合这两种结果辨识压板最终状态。

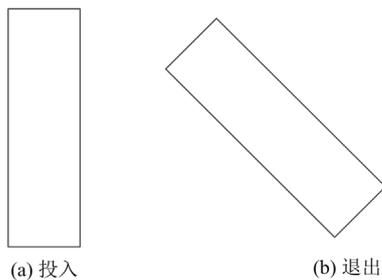


图3 保护压板投退状态

Fig. 3 On/off states of protection platen

2.1 方向角特征判别

保护压板方向角定义为与压板区域具有相同标准二阶中心矩的椭圆的长轴与x轴的交角。标准状态下,投入状态压板方向角为 $\pm 90^\circ$,退出状态压板方向角为 $\pm 45^\circ$ 。考虑到校正后仍有微小倾斜,分割过程也会造成角度偏移,所以设置10%的裕度^[8]。投入状态压板记为1,退出状态压板记为0。判别公

式如式(4)所示。

$$V_s = \begin{cases} 1 & V_o \in (80^\circ, 100^\circ) \cap (-100^\circ, -80^\circ) \\ 0 & V_o \in (35^\circ, 55^\circ) \cap (-55^\circ, -35^\circ) \end{cases} \quad (4)$$

式中: V_s 为压板状态; V_o 为压板区域方向角。

2.2 宽长比特征判别

观察图3可知,投入状态和退出状态保护压板最小外接矩形存在差异,退出状态压板外接矩形宽度大于投入状态的宽度^[11]。压板宽长比定义为压板区域最小外接矩形的宽与长的比值。投入状态压板宽长比接近0.33,退出状态压板宽长比接近1。考虑到分割过程中存在的压板区域缺陷影响,设置一定的裕度。当宽长比小于0.6时,压板为投入状态,记为1;当宽长比大于0.8时,压板为退出状态,记为0。判别公式如式(5)所示。

$$V_s = \begin{cases} 1 & V_a < 0.6 \\ 0 & V_a > 0.8 \end{cases} \quad (5)$$

式中: V_s 为压板状态; V_a 为压板区域宽长比。

2.3 形态特征融合辨识

不同特征数据对变化信息的表征能力不同,导致最终检测的结果可能存在一定差异。使用单一特征进行检测常存在精度低的问题。现阶段,信息融合^[23]和多特征模糊融合^[24]的检测方法表现出良好的优越性。考虑到使用单一特征辨识压板状态具有偶然性,可能存在误判现象,本文提出一种形态特征融合检测方法,通过对方向角和宽长比两种特征判别结果进行融合,用以辨识压板最终状态。为提高辨识的准确率和可信度,防止出现误判现象,辨识过程如下:当方向角和宽长比两种特征判别结果同为投入状态时,辨识的压板最终状态为投入状态,记为1,否则为退出状态,记为0。最终辨识公式如式(6)所示。

$$V_s = \begin{cases} 1 & V_{s1} \cdot V_{s2} = 1 \\ 0 & V_{s1} \cdot V_{s2} = 0 \end{cases} \quad (6)$$

式中: V_s 为压板最终状态; V_{s1} 为方向角特征判别结果; V_{s2} 为宽长比特征判别结果。

压板状态识别流程如图4所示。

3 实例分析

考虑到压板识别结果受环境因素和拍照设备的影响,本文对不同情况下的变电站屏柜压板图像进行识别。

3.1 实例一

本实例中采集到的压板图像如图5(a)所示,图

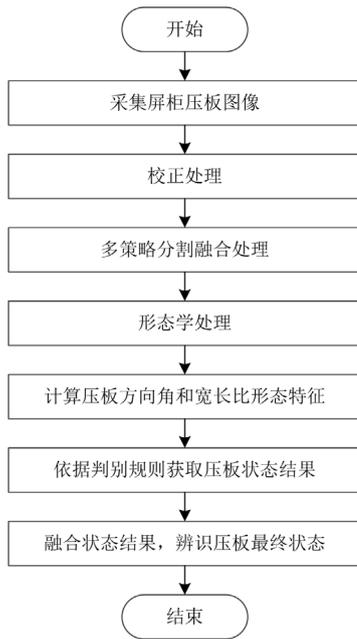


图 4 压板状态识别流程图

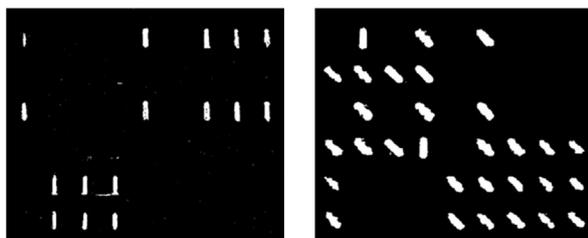
Fig. 4 Flow chart of pressure platen status recognition

像分辨率为 1920×1080 像素, 水平和垂直分辨率为 96 dpi。该屏柜共有 6 排压板, 每排有 9 个, 整块屏柜中有效的压板个数为 46 个。屏柜压板图像中有较多无关区域, 且存在轻微角度畸变。首先截取其中包含所有压板的四边形区域并使用透视变换方法进行校正, 处理结果如图 5(b)所示; 然后分别使用多阈值方法和 K 均值聚类方法进行分割, 得到的分割图像如图 5(c)和图 5(d)所示; 最后对两种方法得到的分割结果进行融合, 得到完整的分割结果如图 5(e)所示。观察可知, 仍有噪声和线型小连通区域, 进而使用形态学处理手段去除干扰, 并进行适当的膨胀处理, 处理结果如图 5(f)所示。



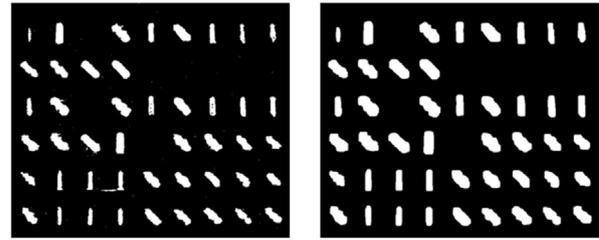
(a) 屏柜压板图像

(b) 校正处理结果



(c) 多阈值分割结果

(d) K均值聚类分割结果



(e) 分割融合结果

(f) 形态学处理结果

图 5 采集图像的有效压板图像处理结果

Fig. 5 Image processing results of the effective platens within the collected image

接下来对形态学处理后的二值图像压板区域进行状态判别。首先计算有效压板连通区域的方向角和宽长比形态特征, 然后依据式(4)和式(5)分别判别这两种特征对应的压板状态 V_{s1} 和 V_{s2} , 最后依据式(6)辨识压板最终状态 V_s 。相关数据如表 2 所示, 总共识别出 46 个有效压板, 其中投入状态压板有 18 个, 退出状态压板有 28 个, 所有压板的识别状态完全正确。

表 2 压板形态特征及状态识别结果

Table 2 Morphological features and state recognition results of the platens

序号	方向角/(°)	宽长比	V_{s1}	V_{s2}	V_s
1	-41.17	1.06	0	0	0
2	-44.51	1.02	0	0	0
3	-44.36	0.98	0	0	0
4	-50.37	0.90	0	0	0
5	-87.97	0.36	1	1	1
6	-89.15	0.31	1	1	1
7	-45.16	1.00	0	0	0
8	-44.98	1.02	0	0	0
9	-44.41	1.02	0	0	0
10	89.23	0.40	1	1	1
11	89.43	0.30	1	1	1
12	-89.67	0.30	1	1	1
13	-41.95	1.04	0	0	0
14	-43.51	1.02	0	0	0
15	89.71	0.33	1	1	1
16	87.80	0.33	1	1	1
17	-46.43	0.95	0	0	0
18	-46.13	0.98	0	0	0
19	-45.71	0.98	0	0	0
20	88.99	0.45	1	1	1
21	-89.49	0.36	1	1	1
22	-89.64	0.32	1	1	1
23	-46.45	0.98	0	0	0
24	-47.21	0.96	0	0	0

续表 2

序号	方向角/(°)	宽长比	V_{s1}	V_{s2}	V_s
25	-89.23	0.37	1	1	1
26	-89.47	0.36	1	1	1
27	-45.49	1.02	0	0	0
28	-48.60	0.95	0	0	0
29	-45.48	0.98	0	0	0
30	-43.15	1.04	0	0	0
31	-44.93	0.98	0	0	0
32	-42.38	1.06	0	0	0
33	-47.47	0.96	0	0	0
34	-46.32	0.96	0	0	0
35	-88.09	0.36	1	1	1
36	-88.40	0.38	1	1	1
37	-44.43	0.98	0	0	0
38	-46.44	1.00	0	0	0
39	-50.26	0.87	0	0	0
40	-85.26	0.32	1	1	1
41	-87.10	0.36	1	1	1
42	-43.19	1.02	0	0	0
43	-41.77	1.07	0	0	0
44	-42.01	1.07	0	0	0
45	-85.00	0.39	1	1	1
46	-87.78	0.33	1	1	1

3.2 实例二

本实例中采集到的压板图像如图 6(a)所示, 图像分辨率为 1920×1080 像素, 水平和垂直分辨率为 96 dpi。该屏柜共有 8 排压板, 每排有 9 个, 整块屏柜中有效的压板个数为 44 个。屏柜压板图像中有较多无关区域, 且存在轻微角度畸变。首先截取其中包含所有压板的四边形区域并使用透视变换方法进行校正, 处理结果如图 6(b)所示; 然后分别使用多阈值方法和 K 均值聚类方法进行分割, 得到的分割图像如图 6(c)和图 6(d)所示, 最后对两种方法得到的分割结果进行融合, 得到完整的分割结果如图 6(e)所示。观察可知, 仍有噪声和线型小连通区域, 进而使用形态学处理手段去除干扰, 并进行适当的膨胀处理, 处理结果如图 6(f)所示。

接下来对形态学处理后的二值图像压板区域进行状态判别。首先计算有效压板连通区域的方向角和宽长比形态特征, 然后依据式(4)和式(5)分别判别这两种特征对应的压板状态 V_{s1} 和 V_{s2} , 最后依据式(6)辨识压板最终状态 V_s 。相关数据如表 3 所示, 总共识别出 44 个有效压板, 其中投入状态压板有 25 个, 退出状态压板有 19 个, 所有压板的识别状态完全正确。

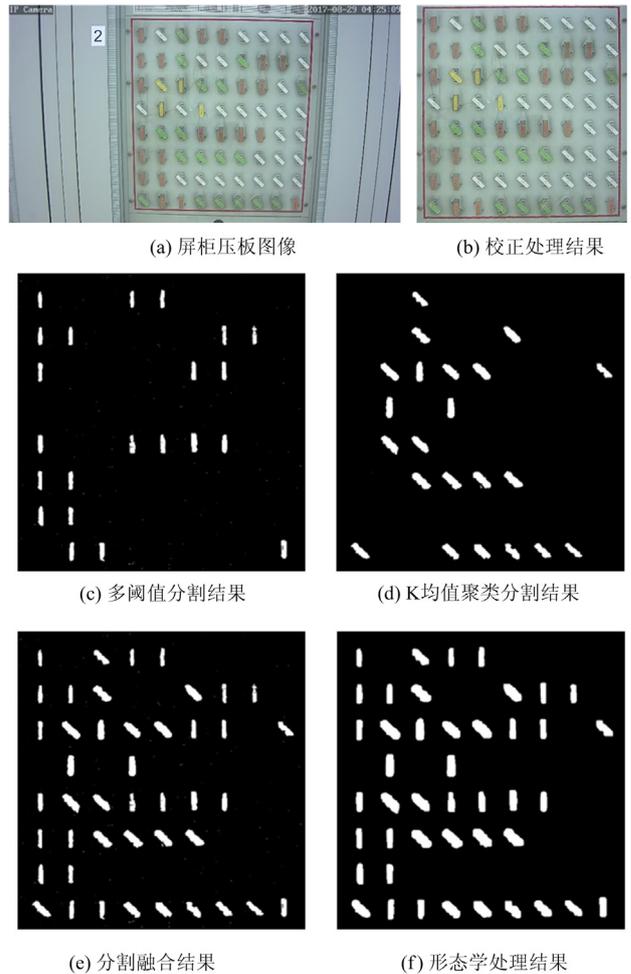


图 6 采集图像的有效压板图像处理结果

Fig. 6 Image processing results of the effective platens within the collected image

表 3 压板形态特征及状态识别结果

Table 3 Morphological features and state recognition results of the platens

序号	方向角/(°)	宽长比	V_{s1}	V_{s2}	V_s
1	-43.28	1.05	0	0	0
2	-89.41	0.34	1	1	1
3	-88.70	0.29	1	1	1
4	-88.61	0.31	1	1	1
5	-89.96	0.32	1	1	1
6	89.39	0.30	1	1	1
7	-89.13	0.31	1	1	1
8	-43.15	1.03	0	0	0
9	-47.73	0.89	0	0	0
10	89.49	0.38	1	1	1
11	-89.94	0.33	1	1	1
12	-89.64	0.35	1	1	1
13	89.80	0.28	1	1	1
14	88.23	0.30	1	1	1

续表 3

序号	方向角/(°)	宽长比	V_{s1}	V_{s2}	V_s
15	-41.65	1.12	0	0	0
16	-44.28	0.97	0	0	0
17	-42.90	1.08	0	0	0
18	-43.89	1.02	0	0	0
19	89.69	0.40	1	1	1
20	89.85	0.35	1	1	1
21	-42.54	1.06	0	0	0
22	-42.89	1.03	0	0	0
23	-43.41	1.02	0	0	0
24	-89.43	0.41	1	1	1
25	-86.76	0.37	1	1	1
26	-89.69	0.32	1	1	1
27	-43.66	1.03	0	0	0
28	-44.37	1.05	0	0	0
29	-42.01	1.09	0	0	0
30	89.03	0.30	1	1	1
31	-86.99	0.33	1	1	1
32	-44.97	1.00	0	0	0
33	-41.62	1.12	0	0	0
34	-46.39	0.91	0	0	0
35	-89.09	0.32	1	1	1
36	-88.20	0.37	1	1	1
37	-43.78	1.07	0	0	0
38	-88.17	0.32	1	1	1
39	-88.68	0.29	1	1	1
40	89.59	0.34	1	1	1
41	-41.78	1.08	0	0	0
42	-89.42	0.31	1	1	1
43	-44.29	1.04	0	0	0
44	-89.24	0.37	1	1	1

4 结论

变电站保护压板的智能巡检是变电站安全稳定运行的重要保障, 当前基于图像处理的压板识别方法忽视压板图像的分割, 尤其是对存在背景干扰影响的压板图像, 难以保证较高的识别准确率。为此, 本文提出一种基于多策略分割融合与形态特征辨识的变电站保护压板状态识别方法。首先通过多策略分割融合的处理方法, 准确得到有效压板区域; 然后计算有效压板方向角和宽长比形态特征, 进而采用多特征融合辨识的方法辨识压板运行状态。相比于单一特征判别压板状态, 该方法更具可靠性。不同场景下的压板状态识别结果表明, 所提方法能够准确辨识压板状态, 具有较好的准确性和鲁棒性。

参考文献

- [1] APSTOLOV A. Efficient maintenance testing in digital substations based on IEC 61850 edition 2[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2017, 2(4): 407-420.
- [2] WANG Haifeng, ZHOU Bin, ZHANG Xie, et al. Research on the remote maintenance system architecture for the rapid development of smart substation in China[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2018, 33(4): 1845-1852.
- [3] 刘琨, 黄明辉, 李一泉, 等. 智能变电站继电保护在线运检方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(7): 58-65.
- [4] LIU Kun, HUANG Minghui, LI Yiquan, et al. Research on online operation method for protective relay of smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(7): 58-65.
- [5] 腾云, 雷丞, 李洪涛, 等. 基于HOG和SVM的高压隔离开关分合闸状态自动识别技术研究[J]. 高压电器, 2020, 56(09): 246-252.
- [6] TENG Yun, LEI Cheng, LI Hongtao, et al. Research of automatic identification for the on/off state of high-voltage disconnecter based on HOG and SVM[J]. High Voltage Apparatus, 2020, 56(9): 246-252.
- [7] 武建华, 梁利辉, 张喆, 等. 基于深度学习的变电站设备油液渗漏检测识别[J]. 广东电力, 2020, 33(11): 9-15.
- [8] WU Jianhua, LIANG Lihui, ZHANG Zhe, et al. Object detection of oil leakage in substation equipment based on deep learning[J]. Guangdong Electric Power, 2020, 33(11): 9-15.
- [9] 顾晓东, 唐丹宏, 黄晓华, 等. 基于深度学习的电网巡检图像缺陷检测与识别[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(5): 91-97.
- [10] GU Xiaodong, TANG Danhong, HUANG Xiaohua, et al. Deep learning-based defect detection and recognition of a power grid inspection image[J]. Power System Protection and Control, 2021, 49(5): 91-97.
- [11] 田野, 孙瑞志. 基于卷积神经网络的认知智能信息融合系统结构研究[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2021, 49(5): 33-39.
- [12] TIAN Ye, SUN Ruizhi. Research on the structure of cognitive intelligence information fusion system based on convolutional neural network[J]. Journal of Henan Normal University (Natural Science Edition), 2021, 49(5): 33-39.
- [13] 付文龙, 谭佳文, 吴喜春, 等. 基于图像处理与形态特征分析的智能变电站保护压板状态识别[J]. 电力自动化设备, 2019, 39(7): 203-207.
- [14] FU Wenlong, TAN Jiawen, WU Xichun, et al. Protection platen status recognition based on image processing and morphological feature analysis for smart substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2019, 39(7): 203-207.
- [15] 潘成成, 卢泉, 胡立坤, 等. 基于颜色分离与形态特征分析的保护压板定位及状态识别研究[J/OL]. 电测与仪表: 1-8[2021-03-27]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1202.TH.20201127.1043.010.html>.
- [16] PAN Chengcheng, LU Quan, HU Likun, et al. Platen location and status recognition based on image processing and morphological features analysis[J]. Electrical Measurement & Instrumentation: 1-8[2021-03-27]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1202.TH.20201127.1043.010.html>.
- [17] 许超, 陈昊, 刘少情, 等. 基于模型聚类匹配和形态特征识别的保护压板状态辨识技术[J]. 陕西电力, 2017,

- 45(1): 32-36, 85.
- XU Chao, CHEN Hao, LIU Shaoqing, et al. Relaying plate condition recognition technology based on model-based cluster matching and morphological characteristics recognition[J]. Smart Power, 2017, 45(1): 32-36, 85.
- [11] 梁辰, 孙建文, 王兰玉, 等. 应用聚类和证据理论实现变电站保护压板状态校核[J]. 电网技术, 2020, 44(6): 2343-2349.
- LIANG Chen, SUN Jianwen, WANG Lanyu, et al. Application of clustering and evidence theory to checking the status of substation protection platen[J]. Power System Technology, 2020, 44(6): 2343-2349.
- [12] 王伟, 张彦龙, 翟登辉, 等. 基于 OpenCV+SSD 深度学习模型的变电站压板状态智能识别[J/OL]. 电测与仪表: 1-10[2020-10-23]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1202.TH.20200827.1838.052.html>.
- WANG Wei, ZHANG Yanlong, ZHAI Denghui, et al. Intelligent identification of substation platen state based on OpenCV+SSD deep learning model[J]. Electrical Measurement & Instrumentation: 1-10[2020-10-23]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1202.TH.20200827.1838.052.html>.
- [13] 简学之, 刘子俊, 文明浩, 等. AR 增强现实技术在变电站二次设备运检中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(15): 170-176.
- JIAN Xuezhi, LIU Zijun, WEN Minghao, et al. Application of operation and maintenance of intelligent substation equipment based on augmented reality technology[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(15): 170-176.
- [14] 代勤, 王延杰, 韩广良, 等. 基于改进 Hough 变换和透视变换的透视图像校正[J]. 液晶与显示, 2012, 27(4): 552-556.
- DAI Qin, WANG Yanjie, HAN Guangliang, et al. Perspective image rectification based on improved hough transformation and perspective transformation[J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays, 2012, 27(4): 552-556.
- [15] 彭浩, 和丽芳. 基于改进树种算法的彩色图像多阈值分割[J]. 计算机科学, 2020, 47(增刊 1): 220-225.
- PENG Hao, HE Lifang. Multi-threshold segmentation for color image based on improved tree-seed algorithm[J]. Computer Science, 2020, 47(S1): 220-225.
- [16] 庞晓敏, 闵子建, 阚江明, 等. 基于 HSI 和 LAB 颜色空间的彩色图像分割[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2011, 36(6): 976-980.
- PANG Xiaomin, MIN Zijian, KAN Jiangming, et al. Color image segmentation based on HSI and LAB color space[J]. Journal of Guangxi University (Natural Science Edition), 2011, 36(6): 976-980.
- [17] 夏亚飞. 基于 K 均值聚类和二维 Otsu 的棉花 HSV 图像分割[J]. 软件, 2020, 41(7): 170-173.
- XIA Yafei. Cotton HSV image segmentation based on K-means clustering and two-dimensional Otsu[J]. Computer Engineering & Software, 2020, 41(7): 170-173.
- [18] 齐锐丽, 陈曼龙, 杨宗浩, 等. 基于 HSV 模型与改进的 OTSU 算法花椒图像分割[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(11): 155-160.
- QI Ruili, CHEN Manlong, YANG Zonghao, et al. Image segmentation of Sichuan pepper based on HSV model and improved OTSU algorithm[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2019, 40(11): 155-160.
- [19] 吴迪, 刘伟峰, 胡胜, 等. 基于 Lab 空间的 K 均值聚类彩色图像分割[J]. 电子科技, 2017, 30(10): 29-32.
- WU Di, LIU Weifeng, HU Sheng, et al. Color image segmentation using K-mean clustering based on Lab space[J]. Electronic Science and Technology, 2017, 30(10): 29-32.
- [20] 任磊, 赖惠成, 陈钦政, 等. 基于改进 K 均值聚类与 HSV 模型的棉花分割算法[J]. 计算机工程与设计, 2013, 34(5): 1772-1776.
- REN Lei, LAI Huicheng, CHEN Qinzheng, et al. Based on improved K-means clustering cotton image segmentation algorithm[J]. Computer Engineering and Design, 2013, 34(5): 1772-1776.
- [21] 曹帅帅, 陈雪鑫, 苗圃, 等. 基于 PSO 与 K-均值聚类算法优化结合的图像分割方法[J]. 计算机与现代化, 2020(1): 22-27.
- CAO Shuaishuai, CHEN Xuexin, MIAO Pu, et al. Image segmentation method based on optimization of PSO algorithm and K-means clustering algorithm[J]. Computer and Modernization, 2020(1): 22-27.
- [22] 王胜辉, 牛雷雷, 李浩, 等. 基于放电紫外成像特征的污秽线路盘形绝缘子绝缘状态评估[J]. 高压电器, 2019, 55(2): 201-207.
- WANG Shenghui, NIU Leilei, LI Hao, et al. Insulation condition evaluation of contaminated disc insulator for transmission lines based on the characteristic of discharge UV imaging characteristics[J]. High Voltage Apparatus, 2019, 55(2): 201-207.
- [23] 陈飞建, 吕元双, 樊国盛, 等. 基于信息融合的智能变电站继电保护设备自动测试系统[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(5): 158-163.
- CHEN Feijian, LÜ Yuanshuang, FAN Guosheng, et al. Automatic test system of relay protection device for smart substation based on information fusion technology[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(5): 158-163.
- [24] 赵静, 黄国满, 赵争, 等. 多特征模糊融合的 SAR 影像变化检测[J]. 测绘科学, 2018, 43(7): 115-120.
- ZHAO Jing, HUANG Guoman, ZHAO Zheng, et al. SAR image change detection based on fuzzy set theory by fusing multiple image feature[J]. Science of Surveying and Mapping, 2018, 43(7): 115-120.

收稿日期: 2021-04-01; 修回日期: 2021-06-25

作者简介:

袁朝晖(1997—), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统运行控制、保护; E-mail: 2443568837@qq.com

付文龙(1988—), 男, 通信作者, 博士, 副教授, 研究方向为电力系统仿真、运行控制与保护。E-mail: ctgu_fuwenlong@126.com

(编辑 魏小丽)