

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

付文龙^{1,2}, 谭佳文^{1,2}, 吴喜春³, 陈 铁^{1,2}, 胡文斌^{1,2}, 钟 浩^{1,2}

(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;

3. 国网湖北省电力有限公司 宜昌供电公司, 湖北 宜昌 443000)

摘要:针对目前变电站二次保护压板仍多由人工进行位置读取和核对操作,存在误操作风险且制约着智能化水平提升的问题,提出了一种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方法。该方法首先对移动终端采集到的屏柜图像进行图像处理,将其转化为包含有效压板区域和背景干扰区域的二值图,进而采用8连通的方式进行连通区域提取并对所有区域进行形态特征分析,再依据形态特征从中提取出有效压板区域,最后依据有效压板区域方向角确定压板投退状态,同时结合各区域的重心确定屏柜上的有效压板顺序,进而得到表征屏柜压板投退状态的标识序列。不同场景和分辨率下的保护压板状态识别实例结果表明,所提方法具有较好的适用性。

关键词:智能变电站;保护压板;图像处理;二值图;形态特征分析;投退状态

中图分类号:TM 732;TM 764

文献标志码:A

DOI:10.16081/j.issn.1006-6047.2019.07.030

0 引言

随着我国经济社会的高速发展,电力系统结构日趋复杂,尤其是在间歇性新能源广泛接入的情况下,电力系统的安全稳定运行面临更大的挑战。在此背景下,具有显著优势的智能变电站正逐步成为建设热点^[1-4]。为促进变电站安全、稳定、高效运行,需有效提升二次设备运行与维护水平,尤其是继保装置巡检水平。作为对一次侧进行测控和继保操作的重要设备,变电站二次设备屏柜的结构愈发复杂,压板数量日渐增多。而保护压板管理作为继保装置巡检的重要内容,其信息化、智能化水平却相对较低,无法与变电站总体智能化水平相匹配,难以满足变电站智能化管理的需要。

在智能化发展机遇下,结合自动化和计算机信息技术,开展压板状态识别研究,准确识别电力二次压板的投退状态,有助于提升变电站运行的安全性和可靠性,具有较强的现实意义。然而,现有二次设

备压板状态监视仍主要由人工进行巡检完成,而人工监测时由于视觉疲劳、记忆混淆等原因,会导致压板漏操作、误操作的现象时有发生。而且当人为不可控因素导致出现压板误操作时,只有在相关事故出现后才能够被发现并予以恢复,严重危害电力系统安全稳定。因此,为减少误操作,需要减少人为干预。现有压板状态识别方法主要包括智能检测法^[5]和图像识别法^[6-7],其中,智能检测法需进行屏柜改造,增加了设备的复杂性;图像识别法指利用计算机对图像进行处理、分析和理解,以识别保护压板状态,其识别信息易于进行跨平台整合,有利于促进智能化运维系统建设。

为实现压板状态的准确识别,本文引入图像处理技术,提出一种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方法:首先通过对移动端采集的屏柜图像进行有效色块提取、二值化、形态学处理等操作,获得能反映图像整体和局部特征的二值图;然后依据形态特征进行面积、尺寸、形状分析,进而筛选有效压板区域;最后基于方向角和重心坐标分析确定有效压板状态标识序列。实例应用结果表明,所提方法实现了压板状态的准确识别,有效解决了人工巡检时的误操作问题,可为变电站智能化建设与运行提供一定的技术支持。

1 图像处理

由于采集的屏柜图像质量受到光线、拍摄角度、拍摄设备性能的影响,会出现如灰度偏移、几何变形和图像模糊等状况,因此需要事先采用数字图像处理技术对采集图像进行预处理,以便于提取图像中

收稿日期:2018-05-24;**修回日期:**2019-05-13

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51741907);梯级水电站运行与控制湖北省重点实验室开放基金资助项目(2017KJX06);湖北省技术创新重大专项(2017AAA132);宜昌市科技局应用基础研究项目(A17-302-a12)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51741907), the Open Fund of Hubei Provincial Key Laboratory for Operation and Control of Cascaded Hydropower Station(2017KJX06), Hubei Provincial Major Project for Technical Innovation(2017AAA132) and the Fundamental Research Project for Application Supported by Yichang Science and Technology Bureau(A17-302-a12)

的特征信息。

1.1 有效色块提取

采集的屏柜图像多为彩色图像,包含了不同的色块区域(具有不同的 RGB 值),其中备用压板区域为无效色块(白色)、有效压板区域为有效色块(红、绿、黄色)。通过设置一定的 RGB 阈值,即可从采集图像中筛选出有效色块区域,同时将图像中的非有效色块区域的 R 、 G 、 B 设为相等值,即将背景设为黑色。此时,图片上的其他元件、标识以及光线、拍摄角度等干扰因素会导致部分非压板区域被划分为有效色块。本文采用的阈值判断方式为:若像素点的 RGB 值中的最大值与最小值之差大于 40,则保持该点的 RGB 值不变,否则将该点的 RGB 值均设为 0。

1.2 图像二值化

图像二值化处理有助于提高后续算法的速度,并提高压板特征提取的准确性^[8]。筛选出有效色块区域后,为便于提取相关特征信息,对图像进行灰度化处理,进而利用 Otsu^[9]所提方法推求二值化阈值。基于该阈值对 0~255 个亮度等级的灰度图像进行图像二值化处理,得到仍能反映图像整体和局部特征的二值化图像。

1.3 形态学处理

通常情况下,对图像进行二值化处理后,所得到的边界不平滑,一些色块区域还存在错判孔洞,这些孔洞会影响后续特征提取的效果,因此需要对二值图像进行形态学处理,实现填充孔洞。

数学形态学是一门建立在严格的数学理论基础上的学科,其基础思想是利用具有一定形态的结构元素找到图像中的对应形状以达到图像提取识别的目的,基本操作有膨胀、腐蚀,以及以膨胀和腐蚀为基础的开启和闭合^[10]。具体到图像处理上为:膨胀是将二值图像各 1 像素连接成分的边界扩大一层,用以填充边缘或 0 像素内部的孔洞;腐蚀是将二值图像各 1 像素连接成分的边界点去掉从而缩小 1 层,以提取骨干信息,去掉毛刺和孤立的 0 像素;开启指先腐蚀再膨胀,以去掉目标外的孤立点;闭合是先膨胀再腐蚀,以去掉目标内的孔洞。

1.4 连通区域提取

连通区域提取的过程实际上也是对连通区域进行标记的过程,即为图中的每个连通区分配一个唯一表征该区域的编号。本文研究中以 8 连通的方式基于形态学膨胀操作提取连通区域。其中,8 连通是指对于一个像素,如果该像素和其他像素在上、下、左、右、左上角、左下角、右上角或右下角连接,则认为它们是连通的。提取连通区域后,得到编号为 1、2、 $\dots$ 、 N 的 N 个连通区域。

这里以含有 2 个连通区域的图像 P 为例进行连通区域提取说明,图像 P 如图 1(a)所示,具体提取步骤如下。

步骤 1:从连通区域 P_1 内部某个点的图像 P' 开始,采用图 1(c)所示的结构元素 S 进行膨胀,不同区域之间至少有 1 个像素的间隙,确保了膨胀时不会进入到其他区域。

步骤 2:将膨胀后的结果图像与原始图像 P 相交,进而将膨胀限制在连通区域 P_1 内部。

步骤 3:重复步骤 1 和 2,直至图像 P' 充满整个连通区域 P_1 ,即膨胀时图像 P' 不再变化,则对连通区域 P_1 提取完成。

步骤 4:扫描其他区域内的点,重复步骤 1—3,直至完成所有连通区域的提取,所得结果见图 1(b)。

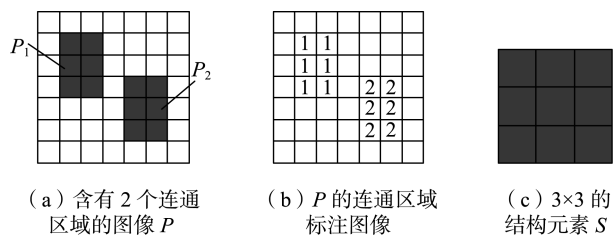


图 1 连通区域提取结果

Fig.1 Extraction results of connected regions

2 形态特征分析

对压板图像进行二值化、形态学处理和连通区域提取后,为从所有区域中准确提取出有效压板,并识别其投退状态,定义了区域形态特征指标,见表 1。表中, V_{area} 为二维意义下区域的像素面积(像素总数),其他为一维意义下的描述。

表 1 区域形态特征定义

Table 1 Definition of regional morphological features

形态特征	定义	单位
V_{area}	区域的像素面积(像素总数)	像素(二维)
X_{width}	区域边界沿着 X 方向的长度	像素(一维)
Y_{width}	区域边界沿着 Y 方向的长度	像素(一维)
A_{major}	像素意义下,与区域具有相同标准二阶中心矩的椭圆的长轴长度	像素(一维)
A_{minor}	像素意义下,与区域具有相同标准二阶中心矩的椭圆的短轴长度	像素(一维)
V_{angle}	与区域具有相同标准二阶中心矩的椭圆的长轴与 X 方向的交角	°
X_{core}	区域重心位置的 X 坐标值	像素(一维)
Y_{core}	区域重心位置的 Y 坐标值	像素(一维)

2.1 有效压板区域提取

移动端采集到的屏柜图像上的压板具有一定的形态特征,具体表现在像素意义下的面积、尺寸、形状等方面。

(1) 面积分析。

对包含有效压板区域和背景干扰区域的二值图进行分析后发现,有效压板的像素面积 V_{area} 大小排在前列。考虑可能存在因光照、拍摄角度、屏柜其他标识等导致的背景干扰区域以及部分有效压板对应

色块较小的情况,定义面积阈值 $V_{\text{area-thre}}$ 进行有效压板区域筛选:

$$V_{\text{area-thre}} = 0.3 \times \sum_{i=1}^5 V_{\text{area}}(i)/5 \quad (1)$$

其中, $V_{\text{area}}(i)$ 为按照从大到小的排列区域面积。阈值 $V_{\text{area-thre}}$ 的含义为:像素面积大小排在前5位的区域面积平均值,再乘以0.3作为判断裕度。像素面积大于阈值 $V_{\text{area-thre}}$ 的区域即可视为备选有效压板区域,否则视为背景干扰区域。

(2) 尺寸分析。

由于有效压板具有一定的尺寸,对应区域在图像上应占有一定的像素比,即 X 、 Y 方向的区域边界长度 X_{width} 、 Y_{width} 分别与图像在 X 、 Y 方向的像素大小具有一定比值。为此,定义像素尺寸阈值 $X_{\text{width-thre}}$ 、 $Y_{\text{width-thre}}$ 如式(2)所示。

$$\begin{cases} X_{\text{width-thre}} = P_X/100 \\ Y_{\text{width-thre}} = P_Y/100 \end{cases} \quad (2)$$

其中, P_X 、 P_Y 分别为图像在 X 、 Y 方向的像素。若区域边界沿着 X 、 Y 方向的长度均大于对应阈值,则该区域为备选有效压板区域,否则视为背景干扰区域。

(3) 形状分析。

由于有效压板具有一定的形状,对应区域在图像上具有一定的等效长宽比(A_{major} 与 A_{minor} 的比值)。为提取有效压板区域,定义形状比例阈值见式(3)。

$$S_{\text{ratio-thre}} = 2 \quad (3)$$

即若区域对应的 A_{major} 与 A_{minor} 的比值大于2,则该区域为备选有效压板区域,否则视为背景干扰区域。

通过上述3种形态分析后同时被归为备选有效压板区域的为最终有效压板区域,否则为背景干扰区域。通过从像素面积、像素尺寸、等效长宽比三方面进行联合阈值设置,有效减小了屏柜上其他元件和光线、拍摄角度等干扰因素对识别效果的影响。

2.2 压板投退状态识别

为识别有效压板投退状态,定义压板图像区域的方向角 V_{angle} 。保护压板投退状态如图2所示。由图

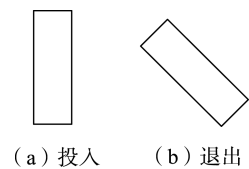


图2 保护压板投退状态
Fig.2 On/off states of protection platen

可知,压板为投入状态时,方向角为 $\pm 90^\circ$;压板为退出状态时,方向角为 $\pm 45^\circ$ 。为准确判断有效压板的投退状态,并考虑屏柜图像采集角度偏移的影响,设置一定的判断裕度,研究中取为 $\pm 10^\circ$,所得压板投退状态 V_{state} 识别判据如下:

$$V_{\text{state}} = \begin{cases} 1 & V_{\text{angle}} \in (80^\circ, 100^\circ) \cup (-100^\circ, -80^\circ) \\ 0 & V_{\text{angle}} \in (35^\circ, 55^\circ) \cup (-55^\circ, -35^\circ) \end{cases} \quad (4)$$

由式(4)所示判据识别出压板投退状态后,还需要确定有效压板在屏柜上的顺序。为此,定义区

域重心($X_{\text{core}}, Y_{\text{core}}$)。依据 X_{core} 和 Y_{core} 值按照从上至下、从左至右的顺序对有效压板进行排序,可得所有有效压板的投退状态序列(1为投入、0为退出)。

3 基于图像处理与形态特征分析的压板状态识别

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具体步骤如下。

步骤1:采集包含所有功能压板、出口压板、备用压板的屏柜图像。

步骤2:根据RGB值对采集图像提取有效色块。

步骤3:对所得图像进行灰度化、二值化处理,进而提高压板特征提取的准确性。

步骤4:对二值化图像进行形态学处理,实现孔洞填充,进而通过8连通的方式提取连通区域,以便进行形态特征分析。

步骤5:对所有连通区域进行面积分析、尺寸分析、形状分析,计算区域像素面积、区域边界像素尺寸、区域等效长宽比等,进而与式(1)~(3)所示阈值进行联合比较,确定有效压板区域数量。

步骤6:判断筛选出的有效压板数量是否等于已知数量,若相等则转至步骤7,否则重新进行图像采集。

步骤7:对有效压板区域依据式(4)所示判据识别各压板的投退状态。

步骤8:依据各区域重心,按照从上至下、从左至右的顺序确定有效压板顺序,识别结束。

4 应用实例

考虑到识别结果可能受采集图像分辨率影响,为充分验证所提方法的有效性,本文对不同分辨率下采集的变电站实际保护屏柜压板图像进行识别。

4.1 实例1

本实例中采集到的图像为4512×3008像素,水平和垂直分辨率为300 dpi(dpi为每英寸像素),见附录A中的图A1(a)。为验证所提方法的适用性,在不同拍摄角度下对压板进行图像采集,并进行压板识别,具体如下。

(1) 场景1。

该场景下所采集的图像如附录A中图A1(a)所示。由图可知,屏柜上含有17个有效压板,对应表征压板状态的标识序列为1000111111111110。通过图像的RGB值提取其中的有效色块部分,并将其余部分置为黑底,如附录A中的图A1(b)所示;进而对其进行二值化,结果见附录A中的图A1(c)。由图A1(c)可知,在有效压板内部存在很多黑点,这是由有效压板上的文字导致的。基于形态学方法进行孔洞填充,所得图像见附录A中的图A1(d)。

对所得孔洞填充后的二值化结果图进行连通区域提取,以边界线的形式对提取结果进行展示,如附录 A 中的图 A1(e) 所示,进而计算所有区域的形态特征,并根据所提压板状态识别方法从中选出有效压板区域,对应区域的编号、各区域的 V_{area} 、 X_{width} 、 Y_{width} 、 A_{major} 、 A_{minor} 见附录 A 中的表 A1。

由表 A1 可知,识别出的有效压板区域数量与待识别的有效压板数量相等,均为 17,进一步计算各有效区域的方向角 V_{angle} 及对应重心位置 $(X_{\text{core}}, Y_{\text{core}})$,如附录 A 中的表 A2 所示。将各有效区域的方向角代入式(4)中,识别出有效压板区域的投退状态 V_{state} ,然后根据各有效压板区域的重心按照从上至下、从左至右的顺序对有效压板进行排序,所得编号顺序为 40、208、818、926、51、239、391、511、619、850、969、1117、392、967、852、958、1069,对应投退状态序列为 10001111111111110。则所得有效压板状态序列与已知的序列完全一致,即所提方法准确识别出了所有有效压板的投退状态。

(2) 场景 2。

该场景下所采集图像见附录 A 中的图 A2(a) 所示。基于图像 RGB 值提取有效色块部分,并将其余部分置为黑底,如附录 A 中的图 A2(b) 所示;进而对其进行二值化,结果如附录 A 中的图 A2(c) 所示;再基于形态学方法进行孔洞填充,所得图像如附录 A 中的图 A2(d) 所示。

对进行孔洞填充后的二值化结果图进行连通区域提取,以边界线的形式对提取结果进行展示,如附录 A 中的图 A2(e) 所示,进而计算所有区域的形态特征,并根据所提压板状态识别方法从中选出有效压板区域,对应区域的编号和各区域的 V_{area} 、 X_{width} 、 Y_{width} 、 A_{major} 、 A_{minor} 见附录 A 中的表 A3。

由表 A3 可知,识别出的有效压板区域个数与待识别的有效压板个数均为 17,进一步计算各有效区域的方向角 V_{angle} 及对应重心位置 $(X_{\text{core}}, Y_{\text{core}})$,如附录 A 中的表 A4 所示。将各区域的方向角代入式(4)中,识别出有效压板区域的投退状态 V_{state} ,再根据各有效压板区域的重心按照从上至下、从左至右的顺序将有效压板排序,所得编号顺序为 51、201、1643、1922、54、261、582、909、1181、1714、2017、2324、595、2022、1743、2030、2252,对应投退状态序列为 10001111111111110。所得有效压板状态序列与已知的序列完全一致,即所提方法准确识别出了所有有效压板的投退状态。

4.2 实例 2

本实例中采集到的图像为 1 280×960 像素,水平和垂直分辨率为 96 dpi,见附录 B 中的图 B1(a)。由图可知,屏柜上含有 14 个有效压板,对应表征开关状态的标识序列为 11100111011000。本实例与实

例 1 相比,采集图像的分辨率偏低,且图像色质偏黄。

通过图像的 RGB 值提取其中的有效色块部分,并将其余部分置为黑底,结果如附录 B 中的图 B1(b) 所示,进而对其进行二值化,结果如附录 B 中的图 B1(c) 所示。由 B1(c) 可知,由于图像的分辨率较低且拍摄角度的原因,导致提取到的有效压板面积各异且边界较不规则。基于形态学方法进行孔洞填充,所得图像如附录 B 中的图 B1(d) 所示。

对所得孔洞填充后的二值化结果图进行连通区域提取,以边界线的形式对提取结果进行展示,如附录 B 中的图 B1(e) 所示;进而计算所有区域的形态特征,并根据所提压板状态识别方法从中选出有效压板区域,对应区域的编号、各区域的 V_{area} 、 X_{width} 、 Y_{width} 、 A_{major} 、 A_{minor} 见附录 B 中的表 B1。

由表 B1 可知,识别出的有效压板区域数量与待识别的有效压板数量均为 14,进一步计算各有效区域的方向角 V_{angle} 及对应重心位置 $(X_{\text{core}}, Y_{\text{core}})$,结果如附录 B 中的表 B2 所示。将各有效区域的方向角代入式(4)中,识别出有效压板区域的投退状态 V_{state} ,然后根据各有效压板区域的重心按照从上至下、从左至右的顺序将有效压板排序,所得编号顺序为 2、6、20、23、40、36、42、1、4、15、30、35、41、29,对应投退状态序列为 11100111011000。所得有效压板状态序列与已知的序列完全一致,即所提方法准确识别出了所有有效压板的投退状态。

通过对不同分辨率下的保护屏柜压板图像进行投退状态识别研究,均取得了较好的效果,验证了本文所提方法的有效性。

5 结论

随着变电站智能化、信息化建设程度的不断提升,部分运维功能正逐渐实现智能化操作,然而其中的二次保护压板运维仍主要依靠人工巡检,存在人为因素误判的风险,影响了变电站运行的安全稳定。为此,本文提出了一种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方法,通过对移动端采集的屏柜图像进行图像处理,获得能反映图像整体和局部特征的二值图并进行连通区域提取,进而基于所提形态特征分析方法确定有效压板状态标识序列。不同场景和分辨率下的保护压板状态识别应用结果表明,所提方法具有较好的适用性。将所提方法与移动巡检终端相结合,可有效解决人工巡检时的误操作问题,并为变电站智能化运维提供一定的技术支持。

附录见本刊网络版(<http://www.epae.cn>)。

参考文献:

[1] 陈福锋,俞春林,张尧,等. 变电站继电保护就地化整体解决方

- 案研究[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(10): 204-210.
- CHEN Fufeng, YU Chunlin, ZHANG Yao, et al. Research on integrated solution of on-site substation relay protection[J]. Electric Power Automation Equipment, 2017, 37(10): 204-210.
- [2] 王玉磊, 应黎明, 陶海洋, 等. 基于效能-成本的智能变电站二次设备运维策略优化[J]. 电力自动化设备, 2016, 36(6): 182-188.
- WANG Yulei, YING Liming, TAO Haiyang, et al. Operation-maintenance strategy optimization based on efficiency-cost sensitivity analysis for secondary equipment of intelligent substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2016, 36(6): 182-188.
- [3] 卜强生, 高磊, 闫志伟, 等. 智能变电站继电保护软压板防误操作策略及实现[J]. 电力自动化设备, 2016, 36(12): 156-160.
- BU Qiangsheng, GAO Lei, YAN Zhiwei, et al. Strategy and implementation of soft-clamp misoperation prevention for smart substation protections[J]. Electric Power Automation Equipment, 2016, 36(12): 156-160.
- [4] 笃峻, 叶翔, 葛立青, 等. 智能变电站继电保护在线运维系统关键技术的研究及实现[J]. 电力自动化设备, 2016, 36(7): 163-168.
- DU Jun, YE Xiang, GE Liqing, et al. Key technologies of online maintenance system for relay protections in smart substation and its implementation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2016, 36(7): 163-168.
- [5] 牛志刚, 贾腾飞, 徐庆录, 等. 智能压板系统在齐齐哈尔冯屯 500 kV 变电站中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(23): 219-222.
- NIU Zhigang, JIA Tengfei, XU Qinglu, et al. The application of intelligent platen system in Qiqihar Fengtun 500 kV substation[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(23): 219-222.
- [6] 邓应松, 段秦刚, 宋小松. 基于图像识别的保护压板投退状态辨识方法[J]. 陕西电力, 2015, 43(10): 49-53.
- DENG Yingsong, DUAN Qingang, SONG Xiaosong. State identification of relaying plate based on image recognition[J]. Shaanxi Electric Power, 2015, 43(10): 49-53.
- [7] 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.
- XU Chao, CHEN Hao, LIU Shaoqing, et al. Relaying plate condition recognition technology based on model-based cluster matching and morphological characteristics recognition[J]. Shaanxi Electric Power, 2017, 45(1): 32-36.
- [8] 郭佳, 刘晓玉, 吴冰, 等. 一种光照不均匀图像的二值化方法[J]. 计算机应用与软件, 2014, 31(3): 183-186.
- GUO Jia, LIU Xiaoyu, WU Bing, et al. Binarisation method for images acquired under non-uniform illumination[J]. Computer Applications and Software, 2014, 31(3): 183-186.
- [9] OTSU N. A threshold selection method from gray-level histograms[J]. IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics, 1979, 9(1): 62-66.
- [10] 林玉池, 崔彦平, 黄银国. 复杂背景下边缘提取与目标识别方法研究[J]. 光学精密工程, 2006, 14(3): 509-512.
- LIN Yuchi, CUI Yanping, HUANG Yinguo. Study on edge detection and target recognition in complex background[J]. Optics and Precision Engineering, 2006, 14(3): 509-512.

作者简介:



付文龙

付文龙(1988—),男,湖北仙桃人,讲师,博士,主要研究方向为电力系统仿真、运行控制与保护(E-mail: ctgu_fuwenlong@126.com);

谭佳文(1991—),男,湖北宜昌人,硕士研究生,研究方向为电力系统运行控制与保护(E-mail: tjwbylz232@126.com);

吴喜春(1990—),男,湖北武穴人,工程师,硕士,主要研究方向为变电站智能化建设;

陈铁(1975—),男,湖北宜昌人,副教授,硕士,研究方向为电力系统运行控制与保护;

胡文斌(1988—),男,湖北孝感人,讲师,硕士,研究方向为电力系统运行控制与保护。

Protection platen status recognition based on image processing and morphological feature analysis for smart substation

FU Wenlong^{1,2}, TAN Jiawen^{1,2}, WU Xichun³, CHEN Tie^{1,2}, HU Wenbin^{1,2}, ZHONG Hao^{1,2}

(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; 3. Yichang Power Supply Company, State Grid Hubei Electric Power Co., Ltd., Yichang 443000, China)

Abstract: In order to solve the problem that secondary protection platen in substations is still mainly read and checked manually, which has the risk of misoperation and restricts the improvement of intelligent level, a novel recognition method of protection platen based on image processing and morphological feature analysis for smart substation is proposed. In this method, the cabinet image collected by mobile terminal is first processed and converted into a binary image containing valid platen regions and background interference regions. Then extraction of connected regions is achieved through eight-connection pattern and the morphological features of all regions are analyzed, according to which the valid platen regions are extracted. Finally, the platen's on/off state is determined based on the direction angle of the valid platen region respectively. Meanwhile, the order of valid platens on the cabinet is determined according to the center of gravity in each region, thus the identification sequence indicating the on/off state of the platens on the cabinet is obtained. The results of different collected image scenes and resolutions show that the proposed method possesses better applicability.

Key words: smart substations; protection platen; image processing; binary image; morphological feature analysis; on/off state

附录 A

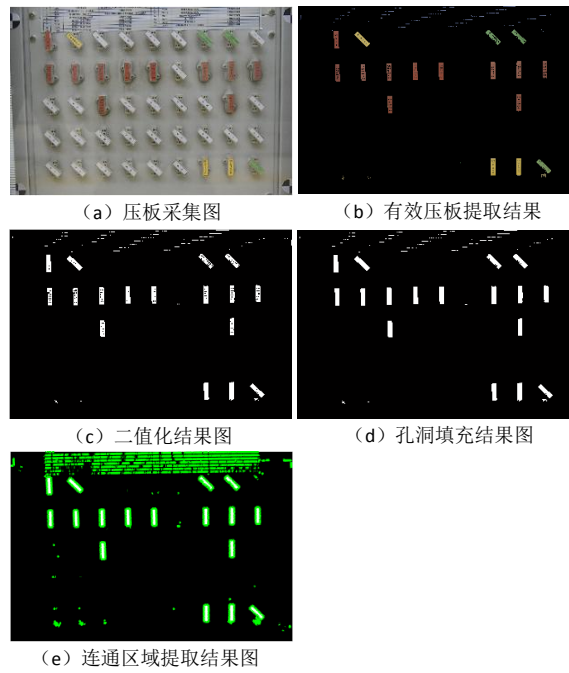


图 A1 场景 1 中采集图像的有效压板图像处理结果

Fig.A1 Image processing results of effective plates within collected image, in Scene 1

表 A1 场景 1 中有效压板区域的形态学特征
Table A1 Morphological features of effective plate regions, in Scene 1

区域编号	V_{area} /像素	X_{width} /像素	Y_{width} /像素	A_{major} /像素	A_{minor} /像素
40	20429	86.0	279.0	318.1	85.4
51	19230	78.0	275.0	314.5	81.2
208	21147	250.0	244.0	322.5	87.2
239	19361	81.0	274.0	312.5	82.0
391	20195	79.0	276.0	316.4	85.1
392	20267	84.0	275.0	312.9	86.0
511	20682	82.0	277.0	318.4	86.4
619	20620	81.0	278.0	318.0	86.2
818	18479	243.0	239.0	322.2	80.5
850	21210	81.0	279.0	318.9	88.3
852	21231	81.0	277.0	314.5	89.7
926	18778	244.0	239.0	323.9	81.6
958	21767	86.0	283.0	320.0	90.8
967	19526	75.0	274.0	312.8	83.2
969	20263	75.0	279.0	317.9	84.5
1069	17935	235.0	228.0	308.8	78.8
1117	19010	75.0	271.0	307.1	81.9

注：各形态特征的单位说明见表 1，后同。

表 A2 场景 1 中有效压板的方向角与重心
Table A2 Direction angle and core of effective plates, in Scene 1

区域编号	$V_{\text{angle}}/ (^{\circ})$	V_{state}	X_{core} /像素	Y_{core} /像素
40	-87.2	1	617.9	538.5
51	-88.6	1	637.5	1065.1
208	-43.8	0	1034.5	530.7
239	-87.5	1	1048.5	1060.2
391	-88.8	1	1464.6	1050.3
392	-88.0	1	1478.2	1572.3
511	-88.4	1	1881.6	1040.7
619	-88.5	1	2297.9	1039.4
818	-44.0	0	3130.2	496.4
850	-89.6	1	3127.0	1029.7
852	-89.5	1	3133.2	2567.3
926	-44.4	0	3546.1	491.7
958	89.7	1	3540.3	2560.1
967	-89.6	1	3543.9	1541.1
969	90.0	1	3545.0	1019.0
1069	-43.3	0	3942.2	2553.2
1117	-89.2	1	3959.0	1012.9

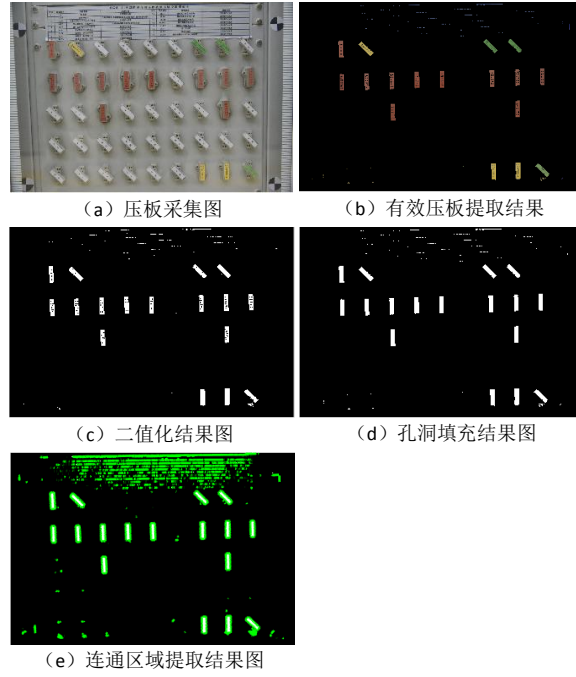


图 A2 场景 2 中采集图像的有效压板图像处理结果

Fig.A2 Image processing results of effective plates within the collected image, in Scene 2

表 A3 场景 2 中有效压板区域的形态学特征

TableA3 Morphological features of effective plate regions, in Scene 2

区域编号	$V_{\text{area}}/\text{像素}$	$X_{\text{width}}/\text{像素}$	$Y_{\text{width}}/\text{像素}$	$A_{\text{major}}/\text{像素}$	$A_{\text{minor}}/\text{像素}$
51	18281	84.0	264.0	301.6	80.7
54	17636	76.0	265.0	303.0	77.3
201	18740	236.0	230.0	304.3	81.8
261	17732	81.0	264.0	301.2	78.0
582	18514	78.0	266.0	305.2	81.0
595	18483	83.0	265.0	301.1	81.6
909	18946	80.0	268.0	306.8	82.2
1181	18870	80.0	268.0	306.3	82.0
1643	17148	228.0	220.0	296.1	77.8
1714	19420	78.0	270.0	307.4	83.9
1743	19279	80.0	266.0	302.8	84.6
1922	16916	222.0	224.0	294.4	77.0
2017	18528	74.0	269.0	360.1	80.2
2022	17826	74.0	264.0	301.4	78.8
2030	19836	82.0	274.0	308.2	85.9
2252	16434	227.0	219.0	295.6	75.5
2324	17482	74.0	261.0	296.0	78.1

表 A4 场景 2 中有效压板的方向角与重心

TableA4 Direction angle and core of effective plates, in Scene 2

区域编号	$V_{\text{angle}}/ (^{\circ})$	V_{state}	$X_{\text{core}}/\text{像素}$	$Y_{\text{core}}/\text{像素}$
51	-86.7	1	665.6	750.9
54	-88.0	1	678.8	1276.3
201	-44.1	0	1059.0	746.1
261	-86.9	1	1069.6	1267.0
582	-88.2	1	1465.1	1252.9
595	-87.4	1	1483.9	1755.3
909	-87.8	1	1861.5	1239.0
1181	-87.9	1	2257.4	1233.1
1643	-44.2	0	3019.3	702.3
1714	-89.0	1	3045.5	1214.7
1743	-88.9	1	3068.7	2695.4
1922	-44.8	0	3404.1	698.6
2017	-89.4	1	3442.9	1199.9
2022	-88.9	1	3447.7	1702.7
2030	-89.6	1	3455.8	2684.0
2252	-43.0	0	3837.9	2673.0
2324	-88.5	1	3836.6	1189.3

附录 B

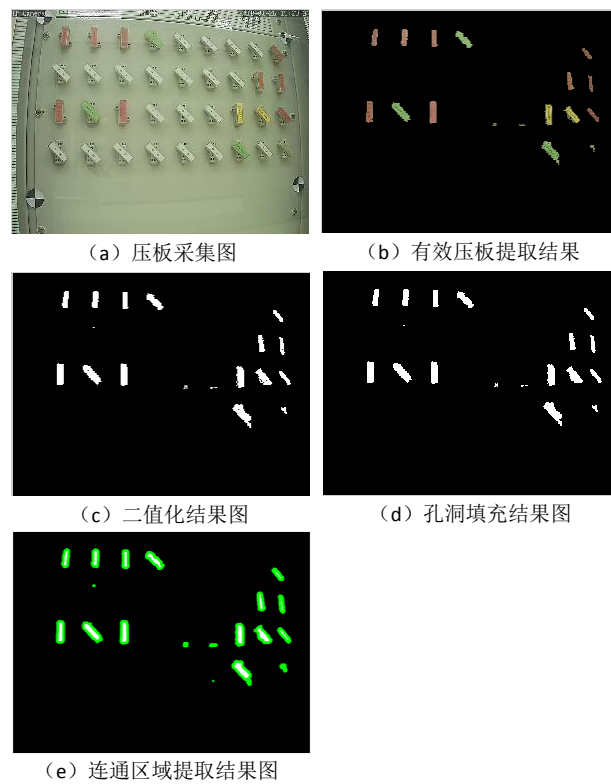


图 B1 实例 2 中采集图像的有效压板图像处理结果

Fig.B1 Image processing results of the effective plates within the collected image, in Case 2

表 B1 实例 2 中的有效压板区域的形态学特征

Table B1 Morphological features of effective plate regions, in Case 2

区域编号	$V_{area}/\text{像素}$	$X_{width}/\text{像素}$	$Y_{width}/\text{像素}$	$A_{major}/\text{像素}$	$A_{minor}/\text{像素}$
1	2437	28.0	95.0	105.2	30.7
2	1593	28.0	76.0	83.7	25.0
4	3005	82.0	86.0	110.4	35.8
6	1736	28.0	76.0	83.6	27.7
15	2675	30.0	99.0	109.2	32.6
20	1694	26.0	76.0	87.2	26.1
23	2363	76.0	74.0	99.6	32.1
29	3427	78.0	104.0	118.1	41.2
30	2684	35.0	96.0	102.3	34.5
35	2519	74.0	74.0	89.3	38.1
36	1557	30.0	76.0	85.3	24.4
40	943	44.0	49.0	66.0	18.9
41	1219	52.0	62.0	81.0	19.9
42	1091	24.0	74.0	82.4	17.7

表 B2 有效压板的方向角与重心

TableB2 Direction angle and core of effective plates, in Case 2

区域编号	$V_{angle}/(^{\circ})$	V_{state}	$X_{core}/\text{像素}$	$Y_{core}/\text{像素}$
1	89.1	1	205.0	435.0
2	83.0	1	227.8	115.5
4	-47.1	0	340.7	434.7
6	87.2	1	355.7	114.9
15	89.6	1	480.0	436.7
20	-90.0	1	485.4	118.8
23	-44.5	0	611.5	123.3
29	-52.6	0	988.7	604.5
30	-88.5	1	978.9	446.6
35	-51.2	0	1078.8	449.9
36	-82.1	1	1068.9	304.6
40	-50.1	0	1142.6	184.8
41	-51.2	0	1170.6	449.2
42	-82.9	1	1158.9	313.8