

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2017.06.006

基于机器视觉的变电站隔离开关开合状态识别方法

方 盛, 舒小华, 李德武

(湖南工业大学 电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘 要: 针对无人值守变电站户外电气设备巡检过程中隔离开关开合状态的自动识别问题, 给出了一种基于机器视觉的开合状态识别方法。该方法通过双阈值变换对隔离开关图像二值化, 消除图像中绝缘子基座等灰度值较低和天空背景等灰度值较高的非目标物; 采用空域滤波去除隔离开关区域附近的输电线、支撑机构等干扰物, 实现对隔离开关的提取; 根据二值图像在水平方向和垂直方向上投影的连通区域个数, 判别隔离开关的开合状态。实验结果表明, 该方法能够对户外复杂背景下隔离开关的开合状态进行有效识别, 且识别率较高。

关键词: 隔离开关; 双阈值变换; 灰度投影; 状态识别

中图分类号: TP273

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2017)06-0032-05

A Method Based on Machine Vision for Opening-Closing Status Recognition of Substation Disconnecting Switches

FANG Sheng, SHU Xiaohua, LI Dewu

(School of Electrical and Information Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: In view of the problem of automatic recognition of opening-closing status for disconnecting switches in outdoor electrical equipment inspection in unattended substations, a method based on machine vision has thus been proposed for the opening-closing status recognition. The binary image of disconnecting switch can be obtained by dual threshold transformation, thus eliminating such unwanted targets as electrical insulators with lower gray value and sky background with higher gray value. The spatial filter has been employed to remove the interfering elements such as the transmission line and the supporting mechanism near the isolated switch areas, so as to extract the isolation switch. According to the number of connected regions projected in the horizontal and vertical directions of the binary images, a judgment can be made of the opening and closing status of the disconnecting switch. The experimental results show that this method can be used to recognize opening-closing status of disconnecting switches with a high accuracy under an outdoor complex background.

Keywords: disconnecting switch; dual threshold transformation; gray projection; status recognition

0 引言

当变电站中电气设备运行状态或者电力系统运行方式发生改变时, 需进行一系列的电气设备倒闸操

作^[1]。对于传统变电站, 倒闸操作以及电气设备巡检过程中隔离开关的开合状态需要进行人员目视核查, 这种人工操作模式存在自动化程度较低、劳动强度较大、操作时间较长等缺点^[2-4], 并且与变电站智能化、

收稿日期: 2017-05-03

基金项目: 湖南工业大学教学科研基金资助项目(2015B17)

作者简介: 方 盛(1991-), 男, 湖北宜昌人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为机器视觉在电力系统自动化领域中的应用, E-mail: 1520570539@qq.com

无人值守化的发展趋势相矛盾。此外, 已有通过在控制隔离开关“开”“合”的操作机构上安装辅助开关, 以间接检测隔离开关开合状态的方式, 也存在无法检测高压侧开合状态的缺陷^[5]。目前, 变电站中投运的巡检机器人大多用于检测电气设备的红外温度, 并据此判断电气设备是否出现过热缺陷, 但不能自动地对隔离开关等电气设备的开合状态进行识别^[6-7], 这极大限制了巡检机器人的巡视范围, 不能充分发挥巡检机器人的巡视潜能。

针对上述问题, 本研究拟采用一种基于机器视觉的隔离开关开合状态识别方法, 并利用图像处理技术, 实现对隔离开关开合状态的自动识别, 以期提高变电站电气设备状态巡检的智能化水平。

1 隔离开关的图像特点分析

变电站中安装的水平式隔离开关的图像特征不完全相同, 所获取的隔离开关图像中非开关区域分布着不同的电力器件、支撑机构以及电力塔架等非目标物体。但是从图像灰度值分布的角度分析, 隔离开关图像具有一个共同特征, 即隔离开关区域的灰度值要明显大于下方绝缘子基座的灰度值, 且小于背后天空背景的灰度值。

图 1 为变电站实地采集的隔离开关实物图像及其对应的灰度直方图。

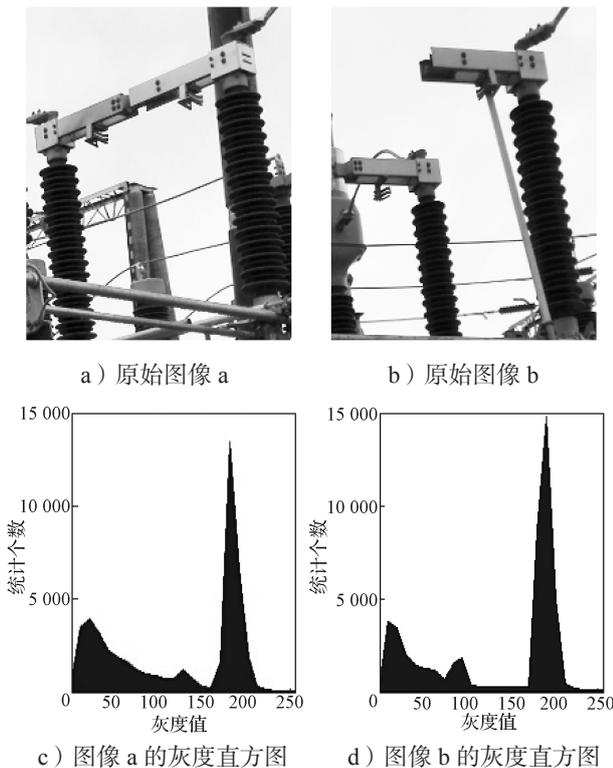


图 1 隔离开关图像及其灰度直方图

Fig. 1 Disconnecting switch images and gray histograms

通过对比分析两图像的灰度直方图, 可以看出图像中隔离开关区域的灰度值基本介于 80~110 之间, 而隔离开关下方的绝缘子基座的灰度值基本在 50 以下, 天空背景的灰度值则在 150 以上, 且隔离开关区域和其它主要非目标区域的灰度值高低对比明显。

2 隔离开关区域的提取

针对图像中隔离开关等电力设备目标的提取问题, 候一民等^[8]采用尺度不变特征转换算法来实现, 但该算法存在错误匹配问题, 而错误匹配的消除算法十分复杂。鉴于图像中目标区域和其它非目标区域灰度值的差异^[9], 本设计中隔离开关区域提取流程如下: 设置双阈值, 分割隔离开关灰度图像; 再由形态学处理和空域滤波消除图像中的非开关区域, 获取开关区域。具体的算法流程如图 2 所示。

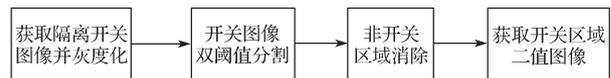


图 2 开关区域提取的算法流程图

Fig. 2 Extraction algorithm flow chart of switch regions

2.1 开关区域分割

为分割出图像中的开关区域, 传统方法大多利用单阈值进行分割获取二值图像, 但得到的二值图像中存在大量非目标区域, 分割效果较差。鉴于上述开关图像特点的分析, 本研究采取双阈值进行分割, 即包括一个较低的阈值 T_1 和一个较高的阈值 T_2 , 且阈值 T_1 小于阈值 T_2 ; 分割后, 非目标区域的灰度值变换为 255, 开关区域的灰度值变换为 0, 灰度变换函数如下:

$$f(x) = \begin{cases} 255, & x \leq T_1; \\ 0, & T_1 < x < T_2; \\ 255, & x \geq T_2. \end{cases} \quad (1)$$

以闭合状态下的开关图像为例, 传统的单阈值分割与本文算法分割开关区域的效果对比见图 3。

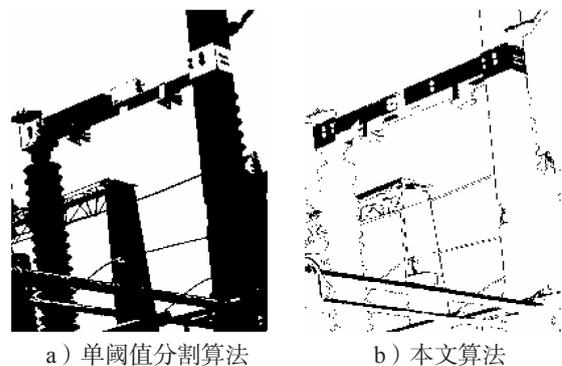


图 3 不同算法的开关区域分割效果图

Fig. 3 Segmentation effect diagram of switch regions under different algorithms

由图3可知,相对于传统的单阈值分割,经双阈值分割后,图像中隔离开关目标区域与电力器件、支撑机构以及电力塔架等非目标区域的分割更为明显,效果更好。

2.2 非开关区域消除

从图3中可知,经双阈值分割后,开关图像中分布着大量模糊的孤立像素点和细小线段,这些像素点和线段是开关区域附近的绝缘子以及支撑机构的边缘轮廓。考虑到这些边缘轮廓被周围白色背景所包围,易于合并到背景之中,可用形态学膨胀消除这些孤立的像素点和线段。膨胀时隔离开关二值图像中物体的边界被扩充,将与物体接触的所有背景点合并到该物体中,即边缘轮廓与白色背景合并,式(2)被广泛用来描述膨胀形成过程。

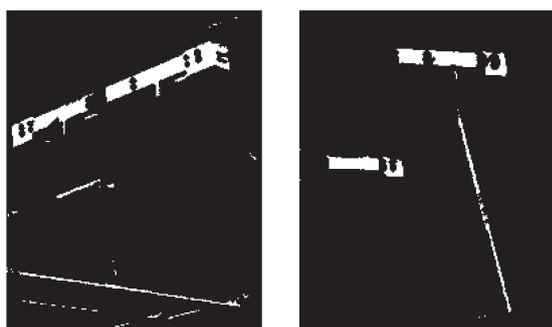
$$\{(x, y) | (x, y) \in A, S(x, y) \cap A \neq \emptyset\}. \quad (2)$$

式中: A 为 (x, y) 平面上的目标区域; S 为指定大小和形状的结构元素; $S(x, y)$ 表示定义于坐标 (x, y) 上的结构元素 S 所表示的区域。

设计大小为 3×3 的结构元素 S , 即一个3维数组 S :

$$S = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

利用结构元素 S 判断开关区域分割图像中像素点的上、下和前、后4点中是否有相交点,有则将该像素点的灰度值变换为0,否则保持不变。开关图像经过形态学膨胀处理,反色后的效果图见图4。



a) 开关闭合状态 b) 开关断开状态

图4 开关图像形态学膨胀效果图

Fig. 4 Effect diagram of morphological expansion of disconnecting switches

观察图4可知,开关区域下方的杆状结构长度较长,相对于模糊的边缘轮廓,像素点较为集中,并不能通过膨胀处理得到消除。鉴于二值图像中杆状结构与其领域的灰度值差别较大,因此可用空域滤波对其加以消除。根据作用效果的不同,空域滤波器可分为

平滑滤波器和锐化滤波器。平滑滤波器中的平滑处理会模糊开关边缘,而锐化滤波器中的锐化处理刚好相反,因而可设计一个拉普拉斯锐化滤波器来完成开关区域的提取。对于一个表示隔离开关图像的二维函数 $f(x, y)$, 拉普拉斯锐化算子会产生一个标量函数:

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}. \quad (4)$$

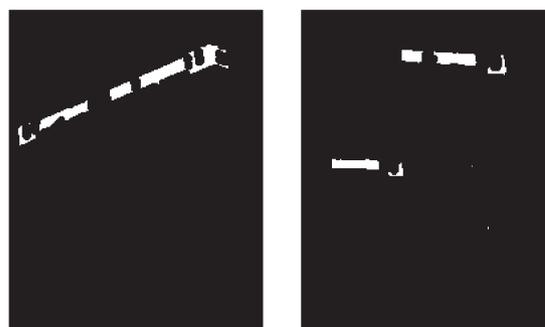
二维函数 $f(x, y)$ 在离散情况下,二阶微分变成二阶差分,表示为

$$\nabla^2 f = 9f(m, n) - f(m-1, n-1) - f(m-1, n+1) - f(m-1, n) - f(m+1, n-1) - f(m+1, n) - f(m+1, n+1) - f(m, n-1) - f(m, n+1). \quad (5)$$

因此,拉普拉斯锐化算子可以通过一个二维卷积模板来执行,设计模板矩阵 B 如下:

$$B = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

通过卷积模板可知,拉普拉斯锐化处理时,由于开关区域较大,且灰度大致相同,故该区域整体上不受锐化处理影响,而杆状结构区域灰度值为0,邻域内其它像素的灰度值均为255,锐化平均后此区域的灰度值变为255,杆状结构得到消除。反色后开关区域提取效果如图5所示。



a) 开关闭合状态 b) 开关断开状态

图5 开关区域提取效果图

Fig. 5 Effect diagram of region extraction areas

3 开合状态的识别

文献[1]等根据细化处理后开关区域是否存在直线来识别开关的开合状态。即若开关区域存在直线,则判定开关闭合;反之,则判定开关处于断开状态。该判断方法简单直观,但在开关区域存在输电线、支撑机构装置等干扰物时,判断准确率会急剧下降,且这种直线判别法主要适用于老式隔离开关,在识别新型隔离开关的开合状态时,效果较差,具有一定的

局限性; 鉴于开关闭合状态与断开状态下二值图像的差别主要表现为空间位置的不同, 故可用图像投影特征来识别隔离开关的开合状态。

图像投影分为水平投影与垂直投影^[10], 分别用 x 轴与 y 轴方向灰度值的累积值描述。对于大小为 $M \times N$ 的图像, 投影函数定义为:

$$\begin{cases} P_H = \sum_{x=1}^M f(x, y), \\ P_V = \sum_{y=1}^N f(x, y). \end{cases} \quad (7)$$

式中: P_H 表示水平投影函数; P_V 表示垂直投影函数。

以水平投影为例, 闭合和断开状态下开关区域二值图像在水平方向上的投影如图 6 所示。



a) 开关闭合状态 b) 开关断开状态

图 6 开关区域水平投影效果图

Fig. 6 Horizontal projection effect diagram of disconnecting switch areas

根据投影特征的不同, 隔离开关开合状态的识别流程如图 7 所示。

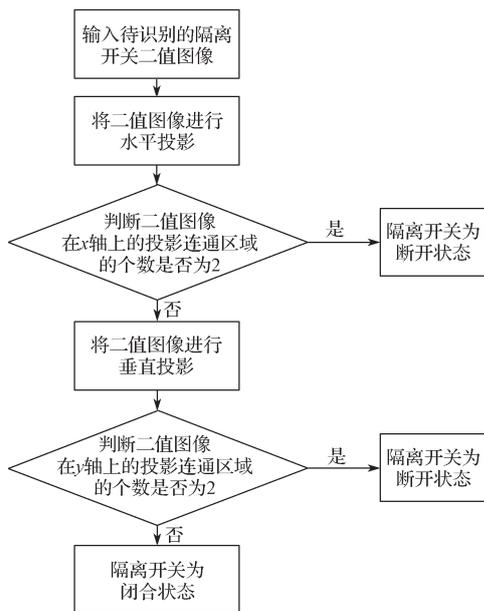


图 7 开合状态识别流程图

Fig. 7 The opening-closing status recognition flow chart

4 实验结果与分析

为验证识别算法对隔离开关开合状态识别的有效性, 实地采集 220 kV 变电站中高压隔离开关实物图像共 104 份, 其中, 断开状态下的隔离开关图像 46 份, 闭合状态下的隔离开关图像 58 份, 识别系统的硬件采用 PC 机, 通过 Visual Studio 2010 编程软件平台实现隔离开关开合状态的识别。将本文给出的方法与文献 [1] 等采用的直线判别法进行实验对比, 所得结果如表 1 所示。

表 1 不同识别方法的测试结果对比

Table 1 Comparison of test results produced by different recognition methods

开合状态	识别方法	实际值	测试值	误识 / 拒识	准确率 / %
闭合	直线判别法	58	50	8	86.21
	本文方法	58	56	2	96.55
断开	直线判别法	46	41	5	89.13
	本文方法	46	45	1	97.83

分析表 1 中的数据可知, 隔离开关在断开状态以及闭合状态下, 与文献 [1] 等采用的直线判别法相比较, 本文给出的识别方法的准确率相对较高, 均在 96% 以上。这一结果说明, 采用双阈值分割和灰度投影对隔离开关图像进行变换, 更适合于隔离开关开合状态的识别。

5 结语

针对变电站中隔离开关开合状态的非接触式检测与识别, 通过对开关图像的特点以及传统识别方法的分析, 在得到隔离开关区域二值图像的基础上, 采用基于灰度投影特征的判别方法可对隔离开关的断开和闭合状态进行有效识别, 且识别率较高, 有助于提高无人值守变电站中隔离开关这一重要电气设备运行状态监测的自动化水平和变电站电气设备巡检的智能化程度。但此方法主要适用于单个隔离开关开合状态的识别, 且对采集隔离开关图像的角度有一定要求。当获取的图像中存在多组隔离开关或者隔离开关区域被部分遮挡的情况时, 识别的准确率存在一定问题, 这将是今后进一步研究的重点。

参考文献:

[1] 陈安伟, 乐全明, 张宗益, 等. 基于机器人的变电站开关状态图像识别方法 [J]. 电力系统自动化, 2012, 36(6): 101-105.
CHEN Anwei, YUE Quanming, ZHANG Zongyi, et

- al. An Image Recognition Method of Substation Breakers State Based on Robot[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(6): 101-105.
- [2] 鲁守银, 钱庆林, 张 斌, 等. 变电站设备巡检机器人的研制 [J]. 电力系统自动化, 2006, 30(13): 94-98. LU Shouyin, QIAN Qinglin, ZHANG Bin, et al. Development of Mobile Robot for Substation Equipment Inspection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(13): 94-98.
- [3] 崔巨勇, 曹云东, 王文杰. 基于分水岭与 Krawtchouk 不变矩相结合的改进方法在变电站巡检图像处理中的应用 [J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(6): 1329-1335. CUI Juyong, CAO Yundong, WANG Wenjie. Application of an Improved Algorithm Based on Watershed Combined with Krawtchouk Invariant Moment in Inspection Image Processing of Substations[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(6): 1329-1335.
- [4] 李 丽, 王滨海, 王万国, 等. 基于变电站巡检机器人的室外断路器状态自动识别算法 [J]. 科技通报, 2011, 27(5): 732-736. LI Li, WANG Binhai, WANG Wanguo, et al. An Automatic Status Recognition Approach for Outdoor High Voltage Circuit Breaker Based on Power Station Equipment Monitoring Robot[J]. Bulletin of Science and Technology, 2011, 27(5): 732-736.
- [5] 刘 斌, 孙承超, 肖 驰, 等. 基于激光感应技术的高压隔离开关状态监测装置 [J]. 智能电网, 2014, 2(11): 48-51. LIU Bin, SUN Chengchao, XIAO Chi, et al. Laser Sensing Technology Based Condition Monitoring Device of High-Voltage Disconnect Switch[J]. Smart Grid, 2014, 2(11): 48-51.
- [6] 周立辉, 张永生, 孙 勇, 等. 智能变电站巡检机器人研制及应用 [J]. 电力系统自动化, 2011, 35(19): 85-88, 96. ZHOU Lihui, ZHANG Yongsheng, SUN Yong, et al. Development and Application of Equipment Inspection Robot for Smart Substations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(19): 85-88, 96.
- [7] 张 浩, 王 伟, 徐丽杰, 等. 图像识别技术在电力设备监测中的应用 [J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(6): 88-91. ZHANG Hao, WANG Wei, XU Lijie, et al. Application of Image Recognition Technology in Electrical Equipment On-Line Monitoring[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(6): 88-91.
- [8] 候一民, 邸建明. 改进的尺度不变特征转换精确图像匹配在电力设备目标定位中的应用 [J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(19): 134-138. HOU Yimin, DI Jianming. Application of Improved Scale Invariant Feature Transform Accurate Image Matching in Target Positioning of Electric Power Equipment[J]. Proceedings of the CSEE, 2012, 32(19): 134-138.
- [9] 陈建平, 秦 斌, 王 欣. 非均匀光照图像的自适应阈值分割 [J]. 湖南工业大学学报, 2016, 30(4): 37-38. CHEN Jianping, QIN Bin, WANG Xin. An Adaptive Threshold Segmentation Method Based on Inhomogeneous Illumination Images[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2016, 30(4): 37-38.
- [10] 童文超, 舒小华, 龙永红, 等. LED 显示仪表的字符识别方法 [J]. 湖南工业大学学报, 2014, 28(1): 68-69. TONG Wenchao, SHU Xiaohua, LONG Yonghong, et al. The Method of Character Recognition Displaying on LED[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2014, 28(1): 68-69.

(责任编辑: 廖友媛)