

文章编号: 1672-8785(2018)01-0019-05

基于红外图像的避雷器故障检测方法

卢 彬¹ 朱海峰¹ 谷振富¹ 高冠群¹ 李甲骏¹ 李世昌¹ 姚 强^{2,3}

(1. 河北张河湾蓄能发电有限责任公司, 河北 石家庄 050300;

2. 偏振光成像探测技术安徽省重点实验室, 安徽 合肥 230031;

3. 安徽大学电子信息工程学院, 安徽 合肥 230601)

摘 要: 在电力系统中, 利用计算机视觉和图像处理技术对避雷器进行故障检测, 在保障电力系统的安全运行方面具有非常重要的作用。提出了一种基于红外图像的避雷器故障检测方法。该方法首先对输入图像进行预处理, 利用尺度不变特征变换(Scale-invariant feature transform, SIFT)描述子和 K-means⁺⁺ 算法训练视觉字典精确定位避雷器, 然后利用线性谱聚类对选择出的区域进行分割, 最后通过分析避雷器热像的特征, 实现避雷器故障的检测。实验结果说明所提出的算法可以有效地检测避雷器故障。

关键词: 红外图像; 避雷器; SIFT; K-means⁺⁺ 聚类

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2018.01.003

Detection Method of Arrester Fault Based on Infrared Images

LU Bin¹, ZHU Hai-feng¹, GU Zhen-fu¹, GAO Guan-qun¹, LI Jia-jun¹,

LI Shi-chang¹, YAO Qiang^{2,3}

(1. Heibei Zhanghewan Energy Storage Power Generation Co Ltd, Shijiazhuang 050021, China;

2. Key Laboratory of Polarization Imaging Detection Technology in Anhui Province, Hefei 230031, China;

3. School of Electronics and Information Engineering, Anhui University, Hefei 230601, China)

Abstract: In power systems, to use computer vision and image processing technologies to detect the faults in arresters plays an important role in their safe operation. An arrester fault detection method based on infrared images is proposed. The algorithm firstly preprocesses the input images and uses Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) descriptors and K-means⁺⁺ algorithm to train a vision dictionary to precisely position the arrester. Then, it uses Linear Spectral Clustering (LSC) to segment the area selected. Finally, it implements the detection of arrester fault by analyzing the characteristics in the thermal image of the arrester. The experimental results show that the proposed algorithm can detect the faults in arresters effectively.

Key words: infrared image; arrester; SIFT; the K-means⁺⁺ clustering

收稿日期: 2017-11-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(61501003); 国家电网公司科技项目(5212D01502DB); 偏振光成像探测技术安徽省重点实验室开放课题(2016-KFJJ-002)

作者简介: 卢彬(1988-), 男, 河北石家庄人, 工程师, 本科, 主要研究方向为抽水蓄能电站设备的运维管理。E-mail: 343633557@qq.com

0 引言

避雷器是用于保护电气相关设备免受由雷电或内部操作引起的过电压的一种设备。若避雷器存在缺陷,就起不到保护电气设备的作用,并且还可能影响到其他设备的正常运行,对电力系统带来不利。红外检测技术是根据故障避雷器与正常避雷器热成像的差异进行检测的,具有可靠、高效、安全等优点。随着计算机视觉技术的发展,利用图像处理技术对避雷器状态进行检测,自动识别故障避雷器,对电力系统的安全运行具有十分重要的意义。

研究者们提出了不少基于红外图像的避雷器故障检测方法。文献[1]论述了红外技术在避雷器缺陷检测领域的应用,分析了相关检测原理,并通过实例证明红外测温技术可以作为避雷器缺陷检测的一种有效技术手段。文献[2]对多种类型的避雷器进行了模拟实验研究,总结了各类故障的热像特点,并指出 FS 型、FZ 型、金属氧化物避雷器等故障均表现为发热特征。文献[3]结合用红外测温技术诊断 500 kV 氧化锌避雷器运行状态的案例,分析了 500 kV 氧化锌避雷器受潮缺陷的红外热像特征,并指出了红外测温技术在检测避雷器故障方面的重要作用 and 必要性。文献[4]指出当发现避雷器的阻性电流非正常时,需结合红外热像技术对其进行诊断,并通过实验说明了红外热像在避雷器状态检测方面的重要性,其应成为避雷器设备故障诊断的一种重要手段。文献[5]指出内部受潮、电阻片老化及局部放电金属等是氧化物避雷器的主要故障,故障期间会出现局部温升现象,利用红外热像技术可以快速有效地发现相关故障。因此红外热像技术是检测氧化物避雷器故障的一种重要手段。

目前红外检测技术大多依赖于人工判断,因为机器自动判断存在避雷器定位不准、判断精度不高等问题。本文提出了一种基于避雷器的故障检测方法,利用 SIFT 描述子结合 K-means⁺⁺ 算法对避雷器进行精确定位,去除背

景因素的干扰,然后利用线性谱聚类对选择出的区域进行分割,以达到分割出避雷器的目的;最后通过分析避雷器的热像特征,实现避雷器故障检测。

1 图像预处理

避雷器的图像在拍摄过程中因易受噪声影响而变得模糊,从而影响后续的图像处理。因此在进行图像处理之前,就需对包含避雷器的图像进行必要的预处理,以减少噪声等因素的影响。

非局部均值(non-local means)^[6]由 Baudes 在 2005 年提出。该算法是使用自然图像中普遍存在的冗余信息去除噪声的。与常见的利用图像局部信息来滤波不同的是,该算法利用整个图像去噪,将图像进行分块,并以此为单位在图像中寻找相似区域,再对所寻找到的这些区域进行平均。相比于中值滤波和双线性滤波,该算法能较好地去除高斯噪声,而且能利用灰度变换增强图像。

2 避雷器的定位

2.1 避雷器的检测

避雷器的定位是避雷器故障检测的重要步骤。为了能有效地识别避雷器,需要构造描述子。在构造描述子之前,需对图像进行局部特征检测。最大稳定极值区域(Maximally Stable Extremal Regions, MSER)^[7]算法具有仿射不变性、稳定性较高、不需要进行任何平滑处理就能够实现多尺度检测等优点,因此本文采用 MSER 算法来获取特征区域。

图像拍摄易受拍摄角度、光照等因素的影响。因此在定位阶段,需用具有对亮度、尺度、遮挡和旋转等变化保持不变的局部特征来定位避雷器。SIFT^[8]是图像的局部特征,其对亮度、尺度缩放、旋转等变化均保持不变,对仿射变换、视角变化、噪声也在一定程度上保持稳定,本文采用 SIFT 对图像进行特征描述。

2.2 视觉字典训练

提取大量避雷器特征作为训练样本。为了

减少冗余特征, 利用 K-means⁺⁺ 算法训练避雷器的视觉字典。该算法由 D. Arthur 等人^[9]于 2007 年提出, 是 K-means 方法的改进型聚类方法。与 K-means 算法随机初始化 K 个中心点作为聚类中心有所不同, K-means⁺⁺ 按照以下方式确定 K 个中心: 随机初始化第 1 个中心点, 如果已选取了 k 个初始聚类中心 ($0 < k < K$), 则距离 k 个中心越远的特征点将有越大的概率被选为第 $k+1$ 个中心。该算法所获得的聚类中心之间分得很开, 具有更好的聚类效果。K-means⁺⁺ 具体方法如下:

(1) 随机初始化第 1 个中心点 \tilde{T}_1 。

(2) 选择 1 个新的聚类中心: 计算第 j 个样本点 T_j 到已有 N 个中心点的最近距离 $d(T_j) = \min\{\|T_j - \tilde{T}_i\|, i=1: N\}$ 则该样本点被选为作为聚类中心的概率为 $\frac{d(T_j)^2}{\sum_i d(T_j)^2}$, 选择概率最大的样本点作为新的聚类中心。

(3) 重复步骤(2), 直到聚类中心的个数达到 K , 记为 $\{\tilde{T}_1, \tilde{T}_2, \dots, \tilde{T}_i, \dots, \tilde{T}_K\}$ 。

(4) 计算 K 个类的中心点 $\{\tilde{T}'_1, \tilde{T}'_2, \dots, \tilde{T}'_i, \dots, \tilde{T}'_K\}$, 并与原始 K 个中心点 $\{\tilde{T}_1, \tilde{T}_2, \dots, \tilde{T}_i, \dots, \tilde{T}_K\}$ 进行比较。若均相同, 则执行步骤(5); 否则, 将计算得到的 K 个类的中心点 $\{\tilde{T}'_1, \tilde{T}'_2, \dots, \tilde{T}'_i, \dots, \tilde{T}'_K\}$ 赋值给所述 K 个中心点 $\{\tilde{T}_1, \tilde{T}_2, \dots, \tilde{T}_i, \dots, \tilde{T}_K\}$, 更新后, 返回步骤(2)。

(5) 计算所述 K 个类的中心点 $\{\tilde{T}'_1, \tilde{T}'_2, \dots, \tilde{T}'_i, \dots, \tilde{T}'_K\}$ 中每个类的平均值, 得到平均值向量 $\{\bar{T}_1, \bar{T}_2, \dots, \bar{T}_i, \dots, \bar{T}_K\}$; \bar{T}_i 表示第 i 个类的平均值。

将训练得到避雷器的视觉字典记为 L :

$$L = \{(\bar{T}_1, \mu_1), (\bar{T}_2, \mu_2), \dots, (\bar{T}_i, \mu_i), (\bar{T}_K, \mu_K)\} \quad (1)$$

式中, μ_i 为第 i 个类的匹配阈值, 匹配阈值 μ_i 为第 i 个类中所有特征向量与第 i 个类的平均值之间差值的最大模。

2.3 避雷器定位

在避雷器定位阶段, 通过视觉字典匹配消

除非避雷器特征。对于输电线路上一幅避雷器图像, 先利用 2.1 节方法得到该图像中的一系列特征描述子, 记为 $\{T^{(1)}, T^{(2)}, \dots, T^{(k)}, T^{(m)}\}$ 。 $T^{(k)}$ 表示测试图像中第 k 个特征点的特征描述子。将这些特征描述子与视觉字典进行匹配, 通过 L 中的相应阈值来判断其是否为避雷器的特征。

利用式(2)计算测试图像的特征区域中任意一个像素点 (x, y) 的投票值 $V(x, y)$:

$$V(x, y) = \sum_{m=1}^M \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{(x-x_m)^2 + (y-y_m)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (2)$$

式中, x_m 和 y_m 表示更新后的特征向量中第 m 个避雷器特征在测试图像中所对应的像素点的横坐标和纵坐标, $1 \leq m \leq M$, M 表示避雷器特征的总数。 σ 表示特征区域的尺度。

判断 $V(x, y)$ 是否大于等于所设定的阈值。若大于等于设定阈值, 则表示像素点 (x, y) 属于避雷器所在的区域, 保留该像素点 (x, y) 。重复判断, 从而完成特征区域中所有像素点的检测, 并得到避雷器区域。

3 避雷器分割

通过第 2 节避雷器的定位处理, 提取了避雷器所在的区域, 但未将避雷器准确分割出来, 还需对所提取的区域进一步分割, 将避雷器从图像中提取出来。

Li 等人于 2015 年提出了一种超像素的图像分割算法——线性谱聚类 (Linear Spectral Clustering, LSC) 算法^[10]。该算法区别于传统谱方法, 通过核函数将图像中像素值机器坐标映射到一个高维特征空间, 证明了加权 K-means 算法和 K-way NCut (K-way Normalized Cut) 算法^[11]的目标函数相同的最优值, 迭代地使用加权 K-means 算法在高维特征空间聚类代替 NCut 算法中特征值和特征向量的求解, 具有线性的计算复杂性和很好的分割效果^[12]。本文采用 LSC 算法进行避雷器图像的分割, 以获取准确的避雷器图像, 方便后续的故障检测。

4 避雷器故障检测

对于一幅输入图像, 首先利用第 1 节中的图像预处理方法对其进行预处理, 然后通过第 2 节中的方法进行避雷器定位, 再通过第 3 节中的方法对避雷器进行分割。

故障避雷器的热像与正常避雷器相比呈亮色调, 常见温度分布不连续。若避雷器图像中某部分的亮度明显高于其他区域, 则认为该部分存在故障。本文的算法流程如图 1 所示。



图 1 本文算法流程图

5 实验

使用大量含有避雷器的红外图像作为训练样本, 获取避雷器的视觉字典。通过和视觉字典比对, 确定避雷器区域。本文使用海康威视热成像双光谱一体化单目筒机采集图像(图 2)。

图 3 是用本文算法对避雷器故障检测的

结果。图 3(a)是原始图像, 从图中可以看出, 图像中含有一个避雷器和其他电力设备景象。图 3(b)是灰度图像; 图 3(c)是预处理后的图像; 图 3(d)是定位出的含有避雷器的区域, 图 3(e)避雷器的分割结果; 图 3(f)为算法检测出的故障区域。



图 2 热成像双光谱一体化单目筒机

6 结论

避雷器故障检测是电力系统中十分重要的问题。提出了一种基于红外图像的避雷器故障检测方法。该方法结合 SIFT 描述子、K-means⁺⁺ 聚类分析方法、线性谱聚类等技术, 实现了避雷器的故障检测。实验结果证实了本

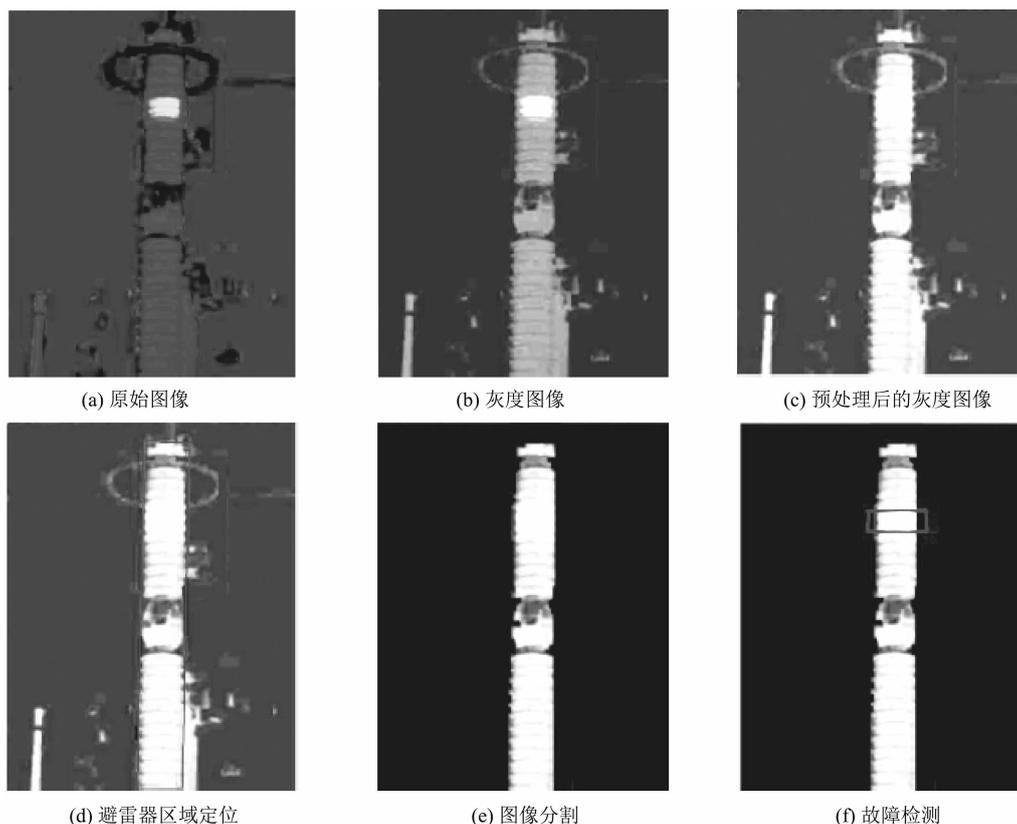


图 3 避雷器故障检测

文检测方法的有效性。该方法只依据红外图像对避雷器故障区域进行检测,并未分析具体是哪种原因导致热像异常,这将是后续研究的内容。

参考文献

- [1] 阙金辉. 红外测温技术在避雷器带电检测中的应用 [J]. *通信电源技术*, 2011, **28**(5): 68–69.
- [2] 陈新岗, 李凡. 避雷器故障的红外诊断研究 [J]. *电瓷避雷器*, 2003, **33**(6): 34–37.
- [3] 张金岗. 红外测温技术在氧化锌避雷器带电检测中的应用 [J]. *高压电器*, 2015, **41**(6): 200–204.
- [4] 刘海龙, 李海兵, 曹泽曦, 等. 基于阻性电流检测与红外热像技术的避雷器故障诊断 [J]. *电瓷避雷器*, 2016, **46**(6): 75–78.
- [5] 左文启, 顾渊博. 220 kV 金属氧化物避雷器红外热缺陷及处理分析 [J]. *电瓷避雷器*, 2010, **40**(1): 26–28.
- [6] Buades A, Coll B, Morel J M. A Non-local Algorithm for Image Denoising [C]. San Diego: IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005.
- [7] Matas J, Chum O, Urban M. Robust Wide Baseline Stereo from Maximally Stable Extremal Regions [J]. *Image and Vision Computing*, 2004, **22**(10): 761–767.
- [8] Lowe D G. Distinctive Image Features from Scale-invariant Keypoints [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2004, **60**(2): 91–110.
- [9] Arthur D, Vassilvitskii S. K-means⁺⁺: the Advantages of Careful Seeding [J]. *Eighteenth Acm-siam Symposium on Discrete Algorithms*, 2007, **11**(6): 1027–1035.
- [10] Li Z Q, Chen J S. Superpixel Segmentation Using Linear Spectral Clustering [C]. Boston: IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2015.
- [11] Ren X, Malik J. Learning a Classification Model for Segmentation [C]. Washington: Ninth IEEE International Conference on Computer Vision, 2003.
- [12] 姜枫, 顾庆, 郝慧珍, 等. 基于内容的图像分割方法综述 [J]. *软件学报*, 2017, **28**(1): 160–183.

(上接第 18 页)

参考文献

- [1] 斯祝华, 丰平, 朱莲支. 摆动扫描式地球敏感器电信号源研究 [J]. *空间控制技术与应用*, 2013, **39**(5): 29–33.
- [2] 丁泽伟. 面向微小卫星的超大视场敏感器研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- [3] 中科院上海技物所两台姿轨控单机成功应用于创新一号 04 星 [J]. *红外*, 2014, **35**(10): 封底.
- [4] 郭振东. 应用于微小卫星的地球敏感器设计与优化 [D]. 杭州: 浙江大学, 2013.
- [5] 汤振华, 郑伟波, 崔文楠, 等. 一种微小型红外地平仪的系统设计 [J]. *红外*, 2013, **34**(4): 7–13.
- [6] 李鑫, 崔文楠, 周士兵. 静态红外地平仪大角度测量模型及误差研究 [J]. *红外技术*, 2015, **37**(1): 73–77.
- [7] 孔晓健, 周士兵, 崔维鑫. 新型线阵红外地球敏感器高精度激励源设计 [J]. *科学技术与工程*, 2016, **16**(19): 300–304.