

文章编号: 1672-8785(2017)12-0038-06

# 基于红外图像的零值绝缘子 自动检测算法

龙福海<sup>1</sup> 张鑫<sup>1</sup> 任刚<sup>1</sup> 黄嘉<sup>1</sup> 丁建波<sup>1</sup> 马玲官<sup>2</sup> 姚强<sup>3</sup>

(1. 河北张河湾蓄能发电有限责任公司, 河北石家庄 050021 ;

2. 安徽南瑞继远电网技术有限公司, 安徽合肥 230088 ;

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零值绝缘子进行检测, 对保障电力系统的安全运行具有非常重要的作用。提出了一种基于红外图像的零值绝缘子自动检测算法。该算法首先对输入图像进行预处理, 利用 GLOH 描述子结合机器学习精确定位绝缘子, 然后利用图谱方法提取图像的边界点, 并搜索初始轮廓线作为初始值, 利用 GVF Snake 模型检测绝缘子串的精确轮廓线, 以分割绝缘子, 最后通过分析统计直方图, 实现零值绝缘子的自动检测。实验结果表明, 所提出的算法可以有效地检测零值绝缘子。

**关键词:** 红外图像; 零值绝缘子; 图谱方法; K-means 聚类; GVF Snake

**中图分类号:** TP391.41 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2017.12.008

## Automatic Zero Value Insulator Detection Algorithm Based on Infrared Image

LONG Fu-hai<sup>1</sup>, ZHANG Xin<sup>1</sup>, REN Gang<sup>1</sup>, HUANG Jia<sup>1</sup>, DING Jian-bo<sup>1</sup>, MA Ling-guan<sup>2</sup>, YAO Qiang<sup>3</sup>

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

2. Anhui Nari Jiyuan Electric Network Technology Co. Ltd., Hefei 230088, China;

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

**Abstract:** In power systems, to use computer vision and image processing technology to detect zero-value insulators is very important for the safe operation of power systems. An automatic zero-value insulator detection algorithm based on infrared images is proposed. Firstly, an input image is preprocessed and the insulator is positioned precisely by combining the GLOH descriptors with machine learning. Then, the boundary points in the image are extracted by using a graphic method. The initial contour searched is used as the initial value. A GVF Snake model is used to check the precise contour of the insulator string so as to separate the insulators. Finally, automatic zero-value insulator detection is realized by analyzing the statistical histogram. The experimental results show that the proposed algorithm can detect the zero value insulators effectively.

**Key words:** infrared image; zero value insulator; graphic method; the K-means clustering; GVF Snake

**收稿日期:** 2017-09-20

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (61772032); 国家电网公司科技项目 (5212D01502DB)

**作者简介:** 龙福海(1983-), 男, 河北唐山人, 工程师, 学士, 主要研究方向为抽水蓄能电站的运维检修管理。

E-mail: 343633557@qq.com

## 0 引言

在电力系统中, 瓷质绝缘子是输电线路中广泛使用的绝缘部件。在运行过程中, 它会因长期受大气污染、电负荷、机械应力等因素的影响而逐渐劣化, 最终形成零值绝缘子。若绝缘子串中存在零值绝缘子, 极易引发闪络事故, 导致电网瘫痪, 对线路的绝缘设计及电力系统的安全运行形成很大的威胁。因而检测绝缘子串中是否存在零值绝缘子具有重要意义。

红外检测技术是依据零值绝缘子与正常绝缘子热成像特征的差异进行检测的, 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绝缘子状态进行检测, 自动识别零值绝缘子, 在保障电力系统的安全运行方面具有非常重要的作用。

近期, 研究者提出了不少基于红外图像的零值绝缘子识别方法。文献 [1] 提出了一种相对温度分布特征与人工神经网络相结合的零值绝缘子识别方法, 该方法模拟 110 kV 线路悬式绝缘子的红外运行图像, 通过图像去噪、分割, 提取绝缘子串区域的相对温度分布特征参数、环境相对湿度等值, 作为识别模型的输入向量, 实际测定绝缘子串是否含零值, 并将其作为输出向量, 通过训练得到识别模型, 用于零值绝缘子的识别。该方法的处理对象是模拟的红外运行图像。实际图像中, 复杂背景会影响绝缘子分割的效果, 导致识别率下降。文献 [2] 分析了 XP-160 绝缘子在不同情形下的红外图像, 并研究了相对湿度对红外成像的影响, 建议避免在高温环境下检测红外零值, 但并未自动检测零值绝缘子。文献 [3] 分析了劣化绝缘子红外热像诊断的判别方法, 以瓷质绝缘子为对象, 进行了绝缘子红外热像诊断的实验室模拟实验及现场实测, 阐述了不同缺陷工况下劣化绝缘子串的红外热像特征差异。文献 [4] 对劣化绝缘子的红外热像诊断判别方法进行了分析探讨, 以瓷质绝缘子为对象, 进行绝缘子红外热像诊断的实验室模拟试验及现场实测, 分析了不同缺陷工况下劣化绝缘子串的红外热像特征差异, 为绝缘子的检测提

供了基本根据。文献 [5] 利用红外热像技术对悬式瓷绝缘子较易出现的发热缺陷进行了检测, 结果表明红外热像技术是检测悬式瓷绝缘子发热缺陷的快速有效方法, 能够及时消除绝缘子的缺陷, 但该方法依赖于人工判断。文献 [6] 验证了红外热像检测低 (零) 值瓷绝缘子的有效性, 结果表明紫外成像检测对低 (零) 值瓷绝缘子能起到一定的辅助检测作用, 并提出了一些绝缘子红外图谱的有效分析方法。

目前红外检测技术大多依赖于人工判断。即使通过机器自动判断, 也存在绝缘子定位不准、判断精度不高等问题。本文提出了一种基于红外图像的零值绝缘子自动检测算法, 利用 GLOH 描述子结合机器学习进行精确定位绝缘子, 去除背景因素的干扰, 然后利用图谱方法 [7] 提取图像的边界点, 通过边界搜索方法选出绝缘子串的初始轮廓线作为初始值, 利用 GVF Snake 模型检测绝缘子串的精确轮廓线, 达到分割绝缘子的目的, 最后通过分析统计直方图, 实现零值绝缘子的自动检测。

## 1 图像预处理

绝缘子图像易受噪声的影响。但红外摄影仪在拍摄过程中不可避免地会引入高斯噪声和脉冲噪声。这些噪声会造成图像模糊, 影响后续的图像分割、特征提取等。由于图像往往是在不同环境、不同距离条件下拍摄的照片, 其颜色及其深浅度都存在差异。想要克服噪声、颜色等因素的影响, 就需对包含绝缘子的图像进行必要的预处理, 以减少噪声。

首先对图像进行中值滤波。中值滤波可以去除边缘模糊和噪声等问题, 而且对图像的边缘有较好的保护。利用直方图均衡化来增强图像的对对比度, 便于绝缘子的定位。

## 2 绝缘子定位

### 2.1 绝缘子检测

绝缘子定位是零值绝缘子检测的重要步骤。在描述绝缘子的构造之前, 需要对图像进行局部特征检测。研究人员提出了很多局部特征检测方法, 如高斯差分 (Difference of Gaussian,

DoG) 特征检测<sup>[8]</sup>、Harris 角点检测<sup>[9]</sup>、Harris-affine 区域检测<sup>[10]</sup>、Hessian-affine 区域检测<sup>[11]</sup>等。由于仿射协变区域的形状自适应于图像几何形变、视角变化和亮度变化等，Hessian-Affine 区域检测算法通过多尺度迭代的方式获得仿射不变特征，能有效检测出仿射协变区域。因此本文采用 Hessian-Affine 区域检测算法来获取特征区域及其特征。

考虑到拍摄图像时易受光照、角度等因素的影响，因此在检测定位阶段，需使用具有一定尺度、亮度、旋转和遮挡不变的局部特征帮助定位绝缘子。本文采用梯度定位方向直方图 (Gradient Location and Orientation Histogram, GLOH) 描述子<sup>[12]</sup>进行特征描述。GLOH 算子所描述的图像特征能够对尺度缩放、旋转、光照等变化保持不变性，抗噪能力强<sup>[13]</sup>。

## 2.2 视觉字典训练

在训练阶段，提取大量特征作为训练集。为了减少冗余的特征，利用 kmeans 方法训练绝缘子的视觉字典，具体方法如下：

(1) 随机初始化  $K$  个中心点  $\{T_1, T_2, \dots, T_i, \dots, T_K\}$ ， $T_i$  表示第  $i$  个中心点， $i = 1, 2, \dots, K$ 。

(2) 计算每个特征  $T_j$  分别到  $K$  个中心的距离  $d_i = \|T_j - T_i\|$ ，将每个特征归类到距离它最近的中心点那一类。

(3) 按照当前的特征对中心点  $\{T_1, T_2, \dots, T_i, \dots, T_K\}$  进行更新，直至中心点不再变化。

将训练获得的绝缘子视觉字典记为  $L$ ：

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

式中， $\mu_i$  为第  $i$  个类的匹配阈值，匹配阈值  $\mu_i$  为第  $i$  个类中所有特征向量与第  $i$  个类的平均值  $\bar{T}_i$  之间差值的最大模。

## 2.3 绝缘子定位

以输电线路上一幅绝缘子图像作为测试图像，按照 2.1 节方法得到测试图像的一系列特征向量，记为  $\{T^{(1)}, T^{(2)}, \dots, T^{(k)}, \dots, T^{(m)}\}$ 。其中  $T^{(k)}$  表示测试图像中第  $k$  个特征点的特征向

量，然后将这些特征与视觉字典进行匹配，并通过  $L$  中的阈值来判断其是否为绝缘子的特征。

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

$$V(x, y) = \sum_h^H \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{(x-x_h)^2 + (y-y_h)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

式中， $x_h$  和  $y_h$  表示更新后的特征向量中第  $h$  个绝缘子特征在测试图像中所对应的像素点的横坐标和纵坐标， $1 \leq h \leq H$ ， $H$  表示绝缘子特征的总数； $\sigma$  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。若大于等于该阈值，则表示像素点  $(x, y)$  属于绝缘子所在的区域，保留该像素点；反之则表示像素点  $(x, y)$  属于非绝缘子所在区域。用同样的方法判断其他像素点，从而完成测试图像特征区域中所有像素点的检测，得到绝缘子区域。

## 3 绝缘子分割

通过第 2 节绝缘子的定位处理，可获得绝缘子所在的区域，但未将绝缘子准确分割出来，还需对所提取的区域进一步分割，将绝缘子从图像中提取出来。

将像素点作为顶点，顶点之间按照一定的规则设定边以构造图，以反映像素点之间的相互关系。文献 [14] 利用线图谱来获取图像的边缘信息。本文将采用文献 [14] 中的图谱方法来获取图像的初始边界点。

Xu 等学者提出了梯度矢量流动场 (Gradient Vector Flow Field, GVF)，并提出用 GVF 作为外部约束力的 GVF Snake 模型<sup>[15]</sup>来提取目标轮廓曲线。GVF Snake 模型对初始轮廓线并不要求十分准确，但若初始轮廓线不靠近真实边缘，则后续 GVF 力场计算和轮廓收敛所需的时间较长。利用上述图谱方法给出图像的边界点，然后通过平面离散点集的边界搜索算法<sup>[16]</sup>搜索出图像的初始边界，能较精确地分割出图像的前景与背景，且轮廓线靠近真实边缘。

## 4 零值绝缘子的检测

对于一幅输入图像, 首先利用第 1 节中图像预处理方法对其进行预处理, 然后通过第 2 节中的方法进行绝缘子定位, 再通过第 3 节的方法对绝缘子进行分割。

零值绝缘子是与相邻良好绝缘子相比呈暗色调(负温升)的热像。温度分布不连续且有暗色调的热像者, 均可判定其为零值绝缘子<sup>[17]</sup>。根据上述经验, 将统计直方图的各个峰值区域进行比较, 如某个峰值区域的值明显小于其他区域, 则可判定该绝缘子为零值绝缘子。本文的算法流程图如图 1 所示。

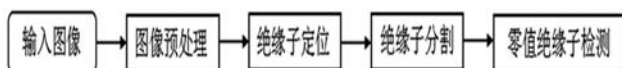


图 1 本文算法流程图

## 5 实验

实验选用海康威视公司的热成像双光谱一体化单目筒机 (DS-2TD2136T-25) 和氧化钒非制冷焦平面探测器, 其响应波段范围为  $8\sim 14\ \mu\text{m}$ 。

采集大量含有绝缘子的红外图像, 以这些图像为训练样本, 获取绝缘子的视觉字典。通过与视觉字典的比对, 确定绝缘子区域。图 2 是利用本文算法检测零值绝缘子的结果。图 2(a) 是原始图像, 图像中含有一个绝缘子串, 还有线缆、线杆等背景。图 2(b) 是预处理后的灰度图像。图 2(c) 是定位的含有绝缘子的区域, 图 2(d) 是用图谱方法给出的初始边界点; 图 2(e) 是通过 GVF Snake 获取的绝缘子分割图像。图 2(f) 是检测结果, 图像中存在一个零值绝缘子。

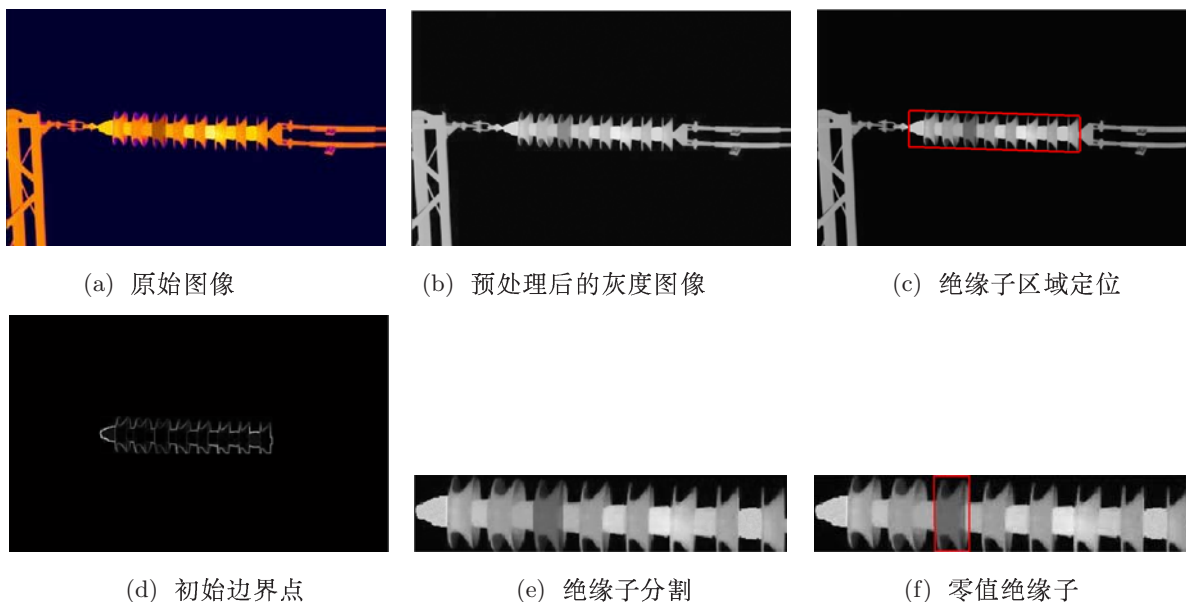


图 2 零值绝缘子的检测

## 6 结论

零值绝缘子检测是电力传输系统中非常重要的问题, 提出了一种基于红外图像的零值绝缘子自动检测算法。该算法融合了 GLOH 描述子、K-means 聚类分析方法、图谱方法、GVF Snake 等技术, 能实现零值绝缘子的自动检测。实验结果也证实了本文算法的有效性。本文算

法虽然只对零值绝缘子进行了检测, 但相关技术如绝缘子定位方法、绝缘子分割方法等也可用于检测其他异常绝缘子, 如低值绝缘子、破损绝缘子等。

### 参考文献

- [1] 姚建刚, 关石磊, 陆家政, 等. 相对温度分布特征与神经网络相结合的零值绝缘子识别方法 [J]. 电网技术, 2012, 36(2): 171-175.

- [2] 夏德分, 覃其婷, 郑小草, 等. 湿度对红外成像检测零值绝缘子的影响分析 [J]. *电力科学与技术学报*, 2015, **30**(2): 55–60.
- [3] 陈金法. 基于红外热像技术的绝缘子状态检测与诊断 [J]. *电工电气*, 2011, **11**: 42–47.
- [4] 黄军凯, 曾华荣, 杨佳鹏. 红外热像技术在低零值绝缘子检测中的应用 [J]. *电瓷避雷器*, 2013, **2**: 40–44.
- [5] 王爱凤, 于金, 李唐兵, 等. 红外热像技术在劣化悬式瓷绝缘子检测中的应用 [J]. *江西电力*, 2016, **6**: 49–52.
- [6] 郭磊, 张晓鹏, 王云涛, 等. 低(零)值盘形悬式绝缘子带电检测及试验研究 [J]. *电瓷避雷器*, 2015, **4**: 14–18.
- [7] Chung F R K. Spectral Graph Theory [M]. Providence: American Mathematical Society, 1997.
- [8] Lowe D G. Distinctive Image Features from Scale-invariant Keypoints [J]. *Int J Comput Vis*, 2004, **60**(2): 91–110.
- [9] Harris C, Stephens M. A Combined Corner and Edge Detection [C]. Manchester: 4th Alvey Vision Conference, 1988.
- [10] Mikolajczyk K, Schmid C. Scale and Affine Invariant Interest Point Detectors [J]. *Int J Comput Vis*, 2004, **60**(1): 63–86.
- [11] Mikolajczyk K, Tuytelaars T, Schmid C, et al. A Comparison of Affine Region Detectors [J]. *Int J Comput Vis*, 2005, **65**(1/2): 43–72.
- [12] Kristina Mikolajczyk, Cordelia Schmid. A Performance Evaluation of Local Descriptors [J]. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2005, **27**(10): 1615–1630.
- [13] 郜晓晶, 潘新, 王亮. 基于 GLOH 算子和局部特征融合的人脸识别 [J]. *计算机应用与软件*, 2013, **30**(5): 271–274.
- [14] 朱明, 梁栋, 范益政, 等. 基于谱特征的图像匹配算法 [J]. *华南理工大学学报 (自然科学版)*, 2015, **43**(9): 60–66.
- [15] Xu C Y, Prince J L. Snakes, Shapes and Gradient Vector Flow [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1998, **7**(3): 359–369.
- [16] 陈涛, 李光耀. 平面离散点集的边界搜索算法 [J]. *计算机仿真*, 2004, **21**(3): 21–23.
- [17] 马钊. 超高压输电线路绝缘子红外在线检测技术 [J]. *河北电力技术*, 2007, **26**: 18–24.

(上接第 37 页)

- [21] Atkinson R. Atmospheric Chemistry of VOCs and NO<sub>x</sub> [J]. *Atmospheric Environment*, 2000, **34**: 2063–2101.
- [22] 杰尔·沃克曼, 洛伊斯编著. 褚小立等人译. *近红外光谱解析实用指南* [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [23] Atkinson R, Arey J. Atmospheric Degradation of Volatile Organic Compounds [J]. *Physical Chemistry*, 2003, **103**: 4605–4638.
- [24] Huang M Q, Zhang W J, Wang Z Y, et al. Mass Spectrometry Study of OH-Initiated Photooxidation of Toluene [J]. *Chinese Journal of Chemical Physics*, 2011, **24**(6): 672–678.
- [25] Maxut A, Nozriere B, Fenet B, et al. Formation Mechanism and Yield of Small Imidazoles from Reactions of Glyoxal with NH<sub>4</sub><sup>+</sup> in Water at Neutral pH [J]. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2015, **17**: 20416–20424.
- [26] Liu Y, Liggio J, Staebler R, et al. Reactive Uptake of Ammonia to Secondary Organic Aerosols: Kinetics of Organonitrogen Formation [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2015, **15**(23): 13569–13584.