

# 基于数学形态学的电力设备紫外图像放电区域提取

杨晓琳, 李燕青, 刘云鹏, 律方成

(华北电力大学 电气与电子工程学院, 河北省 保定市 071003)

## Ultraviolet Image Extraction of Power Equipment Discharge Region Based on Mathematical Morphology

YANG Xiao-lin, LI Yan-qing, LIU Yun-peng, LÜ Fang-cheng

(School of Electrical and Electronics Engineering, North China Electric Power University,  
Baoding 071003, Hebei Province, China)

**ABSTRACT:** UV imaging technique is an effective method to detect corona discharge and external insulating status for power equipments and mathematical morphology, which is regarded as a morphological image tool, is one of important methods for image processing. In this paper, the authors propose a novel mathematical morphology based method to extract the discharge region from ultraviolet discharge image of power equipment. By use of basic concepts of mathematical morphology, the real discharge region in ultraviolet image is extracted and the area of discharge region is calculated. Test results show that the proposed method is adaptive to the images taken by different types of ultraviolet imagers, it can not only quickly locate the discharge point, but also quantize the discharge strength by discharge area, thus a new thinking for on-site application of ultraviolet imager is opened up.

**KEY WORDS:** mathematical morphology; ultraviolet imaging; corona; power-equipment

**摘要:** 紫外成像检测技术是电力系统中检测电晕放电、电力设备外绝缘状态以及污秽程度十分有效的手段之一, 数学形态学是一种十分有效的图像处理工具。文章提出了一种基于数学形态学的电力设备紫外放电图像放电区域提取方法, 在数学形态学概念的基础上, 提取了图像的真实放电区域, 并计算了放电区域的面积。试验结果表明, 该方法对不同型号的紫外成像仪拍摄到的图像均有良好的适应性。不仅可以快速地定位放电点, 而且可以对放电强度用放电面积进行量化, 为紫外成像仪的现场应用开辟了新思路。

**关键词:** 数学形态学; 紫外成像; 电晕; 电力设备

## 0 引言

目前, 输电线路和变电站高压电力设备大多在大气环境下工作。随着设备自身绝缘性能的降低, 或者表面污秽和湿度的增加, 电力设备会产生电晕

放电现象<sup>[1]</sup>。长期放电会对设备的绝缘产生严重危害, 尤其在开阔、寒冷的地区, 架空输电线路和变电站经常会遇到恶劣的气候条件, 严重时可能造成绝缘子闪络并危及电力系统的安全运行<sup>[2-3]</sup>。因此, 及时准确地检测出电晕放电的位置和强弱对保证电力系统的可靠运行、减少人身事故和设备损坏有重要的意义。电晕放电过程中, 放电部位将向外辐射大量紫外线。因此, 电力系统中常用紫外成像仪进行输变电设备外部绝缘状态的检测, 通过记录电晕放电过程中辐射的紫外线, 并加以分析、处理, 从而达到评价设备状况的目的<sup>[4-5]</sup>。

由于紫外成像仪受到固有散粒噪声的影响, 拍摄的图像上除了能够显示放电区域外, 还会产生很多白色的噪声点, 这些噪声点会影响对真实放电点的判断<sup>[6]</sup>。为更准确地定位放电位置, 真实地还原放电形态, 有必要对真正的放电区域进行提取, 并在图像中对放电区域的边界进行圈定。近年来, 数学形态学在电力系统中得到了广泛的应用<sup>[7-9]</sup>, 利用数学形态学可以很好地去除掉这些噪声点<sup>[10]</sup>。本文将提出一种基于数学形态学的电力设备紫外放电图像放电区域提取方法, 并通过试验证明该方法的有效性。

## 1 图像的数学形态学处理

### 1.1 数学形态学的基本思想

数学形态学是一种以结构元素为基础的数学工具, 其基本思想是利用一个称作结构元素的“探针”收集信号的信息, 并通过探针在信号中不断移动来考察信号各个部分之间的相互关系, 然后提取有用信息并分析信号的特征<sup>[11-12]</sup>。其结构如图 1 所示。



图1 数学形态学的基本思想

Fig. 1 The basic idea of mathematical morphology

在利用数学形态学进行图像处理时,用具有一定形态的结构元素去度量和提取图像中的对应形状。当探针在图像中不断移动时,便可考察图像各个部分之间的相互关系,并将图像中复杂的形状进行简化和分解,将有意义的形状分量从复杂的图像信息中提取出来,从而了解图像的基本特征或基本结构,以达到分析和识别图像的目的<sup>[13-14]</sup>。

结构元素的选择和图像的信息有密切的关系,构造不同的结构元素可以完成不同的图像分析,得到不同的结果<sup>[15]</sup>。结构元素实际上是定义形态操作所用到的一个邻域矩阵。该矩阵仅由0和1组成,具有任意的大小和维数,1代表邻域内的像素,形态学运算都是对数值为1区域的运算。它的形状和大小将直接影响图像的形态学运算结果。

## 1.2 数学形态学的基本运算

数学形态学的数学基础和所用语言是集合论,其基本运算包括膨胀、腐蚀。在实际运用中,基于这些基本运算的推导和组合还可以形成各种数学形态学的实用算法<sup>[16-17]</sup>。

结构元素 $B$ 对输入图像 $A$ 的开启运算用“ $A \circ B$ ”表示,定义为

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (1)$$

$A$ 被 $B$ 做开启运算就是 $A$ 被 $B$ 腐蚀后的结果再被 $B$ 膨胀<sup>[18]</sup>。这种互逆运算处理没有滤除的区域是信息无损的,即处理后该区域的形状和大小均保持不变。因此数学形态学的这种基本处理可以在不影响目标区域的情况下,滤除一部分其它区域。其特点是可以把比结构元素小的突刺滤掉,消除散点,使图像平滑<sup>[19]</sup>。因此,本文利用开启运算的这个特点,在保持图像主要细节不变的基础上,把比结构元素小的孤立图像滤除掉。

## 2 基于数学形态学的紫外图像放电区域提取

### 2.1 紫外图像预处理

由于数学形态学处理的对象主要为二值图像,因此在对紫外放电图像进行形态学运算之前,首先应提取其亮度信息,将彩色图像转化为灰度图像,然后根据紫外图像中放电区域和噪声点亮度信息明显大于其周围区域这一特点,通过设置一定的阈值,对灰度图像进行二值化处理,将目标区域从图

像背景中整体提取出来,得到包含放电点和白色噪声点的二值化图像。该图像背景是黑色,像素值为0,放电区域和噪声点是白色,像素值为1。这样后续的放电区域提取只需要限制在目标区域内进行,可以提高运算速度。

### 2.2 结构元素的选取

经上述处理后得到的二值图像中除了包含亮度最高、区域面积最大的放电点外,还有许多噪声点,可以通过选取合适的结构元素进行数学形态学处理将这些噪声点去除。

选取结构元素时并没有一定的规则,但是结构元素形状的复杂程度和尺寸的大小会对计算量产生重要影响<sup>[20]</sup>。因此选取合适形状和尺寸的结构元素就成为图像处理的关键问题。

根据二值化后的紫外图像的特点,并利用不同结构元素形成的对紫外图像进行大量对比试验发现,圆盘形结构元素没有方向性,可以保证算子对图像的旋转是不变的,处理效果最好。

结构元素尺寸大小的选取应根据目标图像的特点确定。结构元素尺寸如果选的太小就不能有效滤除背景噪声,图像效果得不到明显的改善;反之,如果结构元素尺寸太大,则会造成图像的重要细节丧失,严重时甚至会目标图像过滤。通过分析紫外放电图像的特点发现,即使最大的噪声点也比放电点小。因此,要想达到较好的去除噪声效果,结构元素的尺寸应该介于最大的噪声点和放电点之间。

但是在实际情况中,不同放电图像的放电面积大小是不一样的,因此结构元素的尺寸应该根据目标图像的先验知识确定。计算时,首先根据放电点面积选取尽可能大结构元素,对图像进行开启运算,并根据预先设置的判据判断运算后的图像效果,然后逐渐减小结构元素的尺寸,直到消除掉所有的噪声点且不破坏放电点图像为止。

### 2.3 紫外图像形态学处理

紫外图像形态学处理的具体过程如下:

(1) 对二值化后图像进行开启运算。

创建一个足够大的平面圆盘形结构元素,利用式(1)对二值化后图像进行开启运算,以消除图像中面积小于圆盘形的小噪声点,只剩下比较大的区域。

(2) 对开启运算后的图像进行重建。

由于开启运算在消除噪声点的同时也会使图像的尖角部分转化为背景,造成图像失真,因此必须将开启运算后的图像与二值化后的图像进行重建。重建的过程可以补偿开启运算时原图像中由于

磨光内边缘的作用而使图像面积区域减少的部分。

(3) 放电区域边界的提取。

可以运用四邻域法<sup>[21]</sup>对重建后的图像进行边界提取。提取边界时, 逐个考察图像的每一个像素点和它四个相邻邻域内的图像值, 如果该点的值为非零且在该点的四邻域内至少有 1 个点的值为 0, 则判定该点在边界上。依次找出所有的边界点就可以提取出放电区域的边界。

(4) 通过判断封闭区域的个数, 确定放电点的边界。

如果出现没有封闭区域的情况, 说明在第一步中圆盘半径选择不合适, 需要重新选择更小的圆盘半径, 然后重复步骤 (1) ~ (3), 直到封闭区域的个数不为 0 为止。

如果封闭区域的个数大于 1, 则按照封闭区域的面积进行排序, 只保留面积最大的边界, 将该边界转化为图像并进行区域填充, 使得边界内部的像素值为 1。这一边界内部即为放电区域。

如果封闭区域的个数等于 1, 说明步骤 (1) 选择的结构算子尺寸大小合适, 该封闭区域即为放电区域。

本文基于数学形态学的电力设备紫外图像基本处理过程如图 2 所示。

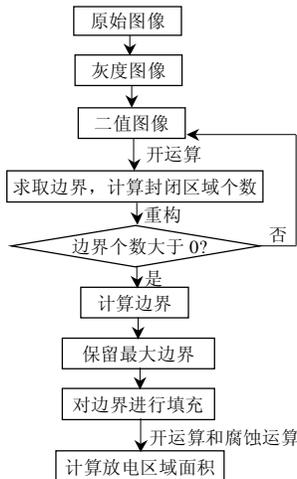


图 2 紫外图像处理算法流程图

Fig. 2 UV image processing algorithm flowchart

### 3 放电图像边界提取处理结果与分析

用本文方法对紫外成像仪拍摄的图像进行形态学图像处理, 结果如图 3 所示, 其中图 3(a)为原始导线放电图像, 图 3(b)为二值化处理后的图像, 图 3(c)为提取真实放电区域后的图像, 放电区域面积为 2875 个像素点(放电区域面积的计算是通过统

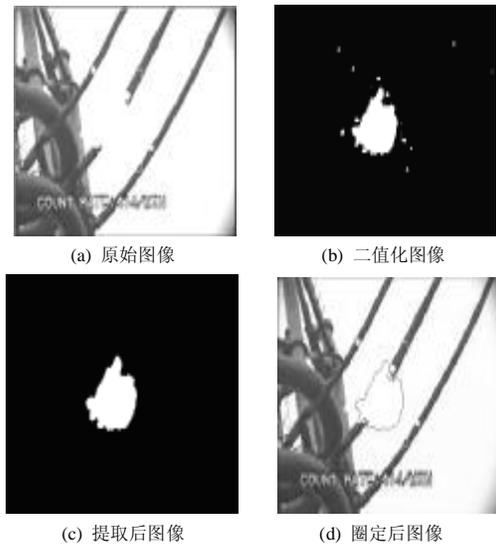


图 3 放电面积为 2875, 图像大小为 320×240 像素时的图像处理前后对比

Fig. 3 Image processing contrast, the area of discharge is 2875, the size of image is 320×240

计在边界区域内的图像的像素数得到的), 图 3(d)为放电区域圈定后的图像。

从处理结果可以看到, 利用本文方法在去除小的噪声点的同时, 可以完整准确地将目标放电区域的形状提取出来, 并可用圈定了图像的放电区域计算放电面积。从处理后的图像中可以很直观地看到设备的放电情况, 很容易识别出放电点。

图 4 为对另一种紫外成像设备拍摄的图像进行处理的试验结果。

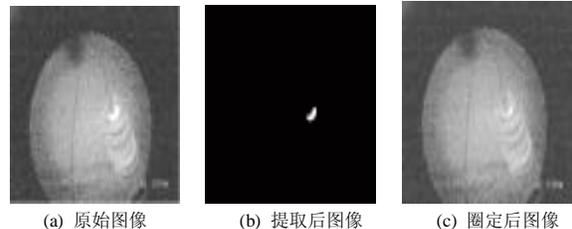


图 4 放电面积为 8303, 图像大小为 2592×1944 像素时的图像处理前后对比

Fig. 4 Image processing contrast, the area of discharge is 8303, the size of image is 2592×1944

从图中可以看出, 放电点可以完整准确地识别出来。由此表明本文提出的基于数学形态学的算法对不同型号的紫外成像仪拍摄到的放电图像均能取得较好的处理效果。

### 4 结论

(1) 本文针对电力设备紫外图像的特点, 引入数学形态学运算对其进行消噪处理, 并通过试验证明其有效性。该方法有效地去除了白色噪声的干

扰, 快速地定位放电点, 提取目标的放电信息。

(2) 本文方法在处理图像时, 能够根据不同的放电面积, 自动调整最佳的圆盘结构元素尺寸, 有效地保证了在进行图像处理时, 真实放电点的形状和面积不发生畸变。

(3) 利用本文方法可以帮助现场检测人员排除噪声点的干扰, 快速地判断设备的放电位置和放电的严重程度, 为紫外成像仪的现场应用开辟了新思路。试验结果表明, 该方法不仅具有较好的去噪和边缘提取能力, 且算法简单, 易于实现, 运算速度快, 实用性较强。

## 参考文献

- [1] 刘振亚. 特高压电网[M]. 北京: 中国经济出版社, 2005.
- [2] 赖向平, 舒立春, 蒋兴良, 等. 冰凌针-板间隙直流正极性下起始电晕特性的研究[J]. 电网技术, 2006, 30(7): 32-36.  
Lai Xiangping, Shu Lichun, Jiang Xingliang, et al. Research on initial corona characteristics of icicle to ice-covered plane model under positive polarity[J]. Power System Technology, 2006, 30(7): 32-36(in Chinese).
- [3] 龚坚强, 包建强. 合成绝缘子“不明原因”工频闪络的试验探索与分析[J]. 电网技术, 2001, 25(6): 52-54.  
Gong Jiangang, Bao Jianqiang. Experimental seeking and analysis of unidentified power frequency flashover of composite insulators[J]. Power System Technology, 2001, 25(6): 52-54(in Chinese).
- [4] 迟殿林, 曾庆立. 用紫外成像检测电气设备外绝缘状况[J]. 东北电力技术, 2005, 26(1): 22-23, 28.  
Chi Dianlin, Zeng Qingli. Detecting outer insulating status for electric appliances by way of UV imaging[J]. Northeastern Electric Power Technology, 2005, 26(1): 22-23, 28(in Chinese).
- [5] 戴利波. 紫外成像技术在高压设备带电检测中的应用[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(22): 97-98.  
Dai Libo. Application of UV imaging in high voltage equipment detection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(22): 97-98(in Chinese).
- [6] 闫丰, 于子江, 于晓, 等. 电晕探测紫外 ICCD 相机图像噪声分析与处理[J]. 光学精密工程, 2006, 14(4): 709-713.  
Yan Feng, Yu Zijiang, Yu Xiao, et al. Noise analysis and processing of ultraviolet ICCD for corona detection[J]. Optics and Precision Engineering, 2006, 14(4): 709-713(in Chinese).
- [7] 林湘宁, 刘沛, 刘世明, 等. 电力系统超高速保护的形态学-小波综合滤波算法[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(9): 19-24.  
Lin Xiangning, Liu Pei, Liu Shiming, et al. A novel integrated morphology-wavelet filter algorithm used for ultra-high speed protection of power system[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(9): 19-24(in Chinese).
- [8] 邹力, 赵青春, 林湘宁, 等. 基于数学形态学的电力系统振荡中故障识别和改进的选相方法[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(13): 37-42.  
Zou Li, Zhao Qingchun, Lin Xiangning, et al. Mathematical morphology based fault detector and improved phase selector in power swing[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(13): 37-42(in Chinese).
- [9] Edward R D. Optimal mean-square N-observation digital morphological filters[J]. I: Optimal Binary Filters, 1992, 55(1): 36-72.
- [10] Haralick R M, Sternberg S R, Zhuang Xinhua. Image analysis using mathematical morphology[J]. IEEE Trans, PAMI-9, 1987, (4): 532-550.
- [11] 李庚银, 罗艳, 周明, 等. 基于数学形态学和网格分形的电能质量扰动检测及定位[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(3): 25-30.  
Li Gengyin, Luo Yan, Zhou Ming, et al. Power quality disturbance detection and location based on mathematical morphology and grille fractal[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(3): 25-30(in Chinese).
- [12] 崔屹. 图象处理与分析-数学形态学方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [13] 刘云鹏, 律方成, 李成榕. 局部放电灰度图像数学形态谱的研究[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(5): 179-183.  
Liu Yunpeng, Lü Fangcheng, Li Chengrong. Study on pattern spectrum of partial discharge grayscale image[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(5): 179-183(in Chinese).
- [14] 阮秋琦. 数字图像处理学[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001.
- [15] Maragos P. A representation theory for morphological image and signal[J]. IEEE Trans PAMI-II, 1989, 11(6): 586-599.
- [16] 陈平, 李庆民. 基于数学形态学的数字滤波器设计与分析[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(11): 60-65.  
Chen Ping, Li Qingmin. Design and analysis of mathematical morphology-based digital filters[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(11): 60-65(in Chinese).
- [17] 凌玲, 徐政. 基于数学形态学的动态电能质量扰动的检测与分类方法[J]. 电网技术, 2006, 30(5): 62-66.  
Ling Ling, Xu Zheng. Mathematical morphology based detection and classification of dynamic power quality disturbances[J]. Power System Technology, 2006, 30(5): 62-66(in Chinese).
- [18] Giland J, Kimmel R. Efficient dilation, erosion, opening, and closing algorithms[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 11(24): 1606-1617.
- [19] 欧阳森, 王建华, 宋政湘, 等. 基于数学形态学的电力系统采样数据处理方法[J]. 电网技术, 2003, 27(9): 61-65.  
Ouyang Sen, Wang Jianhua, Song Zhengxiang, et al. A new power system sampled data processing method based on morphology theory[J]. Power System Technology, 2003, 27(9): 61-65(in Chinese).
- [20] 李天云, 杨梅, 周喜超, 等. 基于小波变换和数学形态学的局部放电信号分析方法[J]. 电网技术, 2007, 31(6): 56-60.  
Li Tianyun, Yang Mei, Zhou Xichao, et al. Method of partial discharge signal analysis based on wavelet transform and mathematical morphology[J]. Power System Technology, 2007, 31(6): 56-60(in Chinese).
- [21] 唐振军, 张显全. 一种二值图像边界提取算法[J]. 微计算机信息, 2006, 22(3): 281-283.  
Tang Zhenjun, Zhang Xianquan. A new boundary extraction algorithm in a binary image[J]. Control & Automation, 2006, 22(3): 281-283(in Chinese).

收稿日期: 2007-08-10.

作者简介:

杨晓琳(1980—), 女, 硕士研究生, 研究方向为电气设备在线检测与故障诊断, E-mail: [yuanzonghui@126.com](mailto:yuanzonghui@126.com);

李燕青(1974—), 男, 副教授, 从事电力系统规划与可靠性、电气设备在线检测和故障诊断、电力系统运行风险评估等方面的研究;

刘云鹏(1976—), 男, 讲师, 博士, 从事特高压输电技术、电气设备在线检测与故障诊断等方面的研究;

律方成(1963—), 男, 教授, 从事电气设备绝缘机理、电气设备在线检测与故障诊断、电气设备状态检修等方面的研究。

(实习编辑 王晔)