

高压设备电晕紫外成像检测图像增强方法的研究

王胜辉, 律方成, 李和明

(华北电力大学电气与电子工程学院, 河北 保定 071003)

摘要: 紫外成像仪在低照度环境下检测高压设备外部电晕放电时, 输出图像模糊, 不利于故障点的定位、分析和识别, 有必要采取一定图像处理算法改善图像质量。简要分析了这类紫外图像的特征, 提出了滤波和灰度变换的方法, 并对图像进行了增强处理。对比分析了目前常用的空域滤波、频域滤波和小波域滤波方法的去噪效果, 采用了图像的分段线性灰度变换和自适应直方图均衡算法改善了图像亮度和对比度, 工程实际应用验证了所提方法的有效性。

关键词: 电晕; 紫外成像; 图像去噪; 灰度变换

中图分类号: TM835

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2009)06-0015-05

Study on Image Enhancement Method of High Voltage Equipment Corona UV Imaging Detection

WANG Sheng-hui, LÜ Fang-cheng, LI He-ming

(School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: Under the low illumination environment, using the Ultraviolet imager to detect high-voltage equipment external corona discharge, the output image is blurred and affects the location, analysis and recognition of discharge fault, so it is necessary to take certain image processing algorithm to improve the image quality. After a brief analysis of the characteristics of this type of ultraviolet images, the method of image enhancement with filtering and gray level transformation is proposed in this paper. The de-noising effect of spatial filtering, frequency domain filtering and wavelet de-noising is compared and analysis, then by using segmentation gray scale linear transform and adaptive histogram equalization algorithm, the image brightness and contrast is improved. Through practical engineering application, the effectiveness of this method has been verified.

Key words: corona; ultraviolet imaging; image de-noising; gray level transformation

0 引言

紫外成像是一种有效的高压电气设备外部电晕放电检测方法, 该方法的优点是可以直接“看到”放电现象, 形象直观, 具有优良的放电检测定位能力^[1,2], 但紫外成像仪在外部光照不足情况下使用时, 输出图像中的背景图像往往比较模糊, 亮度不足, 对比度差, 不利于故障点的定位、分析和识别, 因此有必要采取一定图像处理措施对紫外图像进行增强处理, 达到改善图像质量的目的。

目前, 图像处理在电气设备故障诊断中主要应用于红外检测^[3-5], 而对紫外图像处理的相关研究比较少, 由于紫外图像与红外图像的特点有所不同, 在图像的处理方法和处理效果上也必然有所差异。笔者在借鉴有关红外图像处理方法后, 分析了南非

CSRI 公司生产的 CoroCAM504 “日盲”型紫外成像仪在低照度情况下拍摄的紫外图像的特点, 经多次实验后, 提出了基于图像数字滤波和灰度变换相结合的方法对图像进行增强处理, 取得了较好的效果。

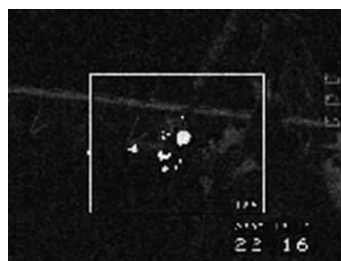
1 紫外图像

“日盲”(solar blind)型紫外成像仪采用双通道图像融合技术进行电晕成像检测, 图像的背景图像(也即具体的电气设备)由可见光通道采集, 而电晕放电图像由紫外通道采集^[6]。由于紫外成像法是一种非接触式的检测方法, 检测距离为几米到几十米, 在外部光照不足的情况下(如夜间拍摄), 进入可见光通道的光线很微弱, CCD 在完成图像数字化转换中容易受到噪声污染, 导致图像模糊。经分析, 噪声主要来源于 CCD 暗电流、热电子噪声、散粒噪声、杂

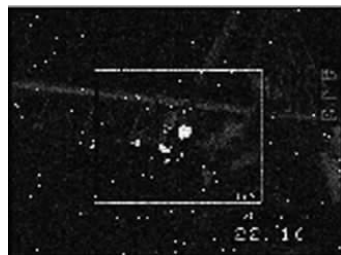
收稿日期: 2009-09-25; 修回日期: 2009-10-13

作者简介: 王胜辉(1977), 男, 讲师, 博士研究生, 主要从事电气设备在线监测与故障诊断方面的研究。

波噪声以及光响应的非均匀性, 噪声类型主要为高斯噪声、斑块噪声以及椒盐噪声^[7,8]。另外在低照度情况下, 输出图像的亮度低、对比度差, 导致图像的分辨率下降。图 1(a)为在保定某 500 kV 变电站夜间拍摄的原始紫外图像, 图像大小为 768×576 像素, 背景光由现场的照明设施和月光提供。虽然从图中可以比较清晰地看到电晕放电点, 但背景图像却比较模糊。



(a)紫外图像原始 RGB 图像



(b)加噪灰度图像

图 1 日盲型紫外成像仪在低照度情况下拍摄的紫外图像

为便于分析, 对于紫外图像, 可以利用(1)式的数学模型来描述 $f(x,y)$ ^[9]

$$f(x,y)=f_r(x,y)+n(x,y) \tag{1}$$

式(1)中, (x,y) 是图像像素的坐标; $f_r(x,y)$ 是图像中设备的输出信号; $n(x,y)$ 是图像中的噪声信号。对紫外图像进行增强处理, 一方面就是要尽可能地滤除噪声 $n(x,y)$, 另一方面就是对滤波后的图像进行灰度变换处理, 改善对比度和亮度。

紫外成像仪输出的是 RGB 图像, 在计算机中以 $M \times N \times 3$ 的矩阵形式保存, 其 M 和 N 为图像的行列像素的个数, 对该图像进行真彩色增强有两种方法可实现^[9], 但增加了计算量。由于夜间拍摄的紫外图像从视觉上看近似于灰度图像, 将 RGB 图像转换为灰度图像, 然后再进行增强处理。为了对比不同方法的滤波效果, 对原始图像添加了高斯噪声(用于模拟暗电流, 热电子噪声等)和椒盐噪声(用于模拟散粒噪声), 见图 1(b)。

2 图像滤波处理

虽然噪声信号与图像信号是交织在一起的, 但

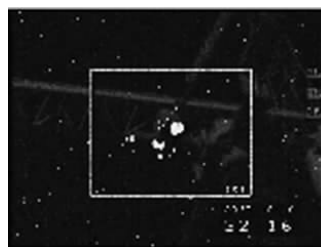
噪声与紫外图像相比在空域和频域上的分布仍存在差别。在空域上, 噪声信号的灰度值在一个较小的邻域内往往有较大的波动性, 而图像灰度值的变化则相对比较平缓; 变换到频域, 则图像信号的能量将主要分布于低频部分, 而噪声信号将主要分布于高频部分, 根据这些特性, 可采用滤波方法滤除噪声 $n(x,y)$, 以达到改善图像效果的目的。

2.1 空域滤波

空域滤波就是在图像矩阵中借助于窗口 (或者称之为模板的一个较小二维矩阵) 对图像的每一个像素值的邻域进行操作, 并用计算后的像素代替该点的像素值。空域滤波主要有均值滤波、中值滤波和维纳滤波三种方法^[9,10]。空域滤波后的紫外图像见图 2。



(a)中值滤波



(b)维纳滤波

图 2 空域滤波后的紫外图像

2.1.1 均值滤波

邻域均值滤波的基本思想是计算图像中的某一点邻域内的像素平均灰度值, 然后用该值代替当前灰度值。该方法计算简单, 运算速度快, 对服从正态分布的随机干扰有较好的滤波效果。由于该方法通过取平均值的方法来滤波, 在滤除噪声的同时, 会导致图像的边缘部分也产生一定的模糊效应。

2.1.2 中值滤波

中值滤波就是将图像中某一点邻域中的像素按照灰度级从小到大排列, 取其平均值来代替该点的像素值。中值滤波可以表示为 $Y_i = Med_A \{X_{ij}\}$, A 为滤波窗口。从该算法定义可知, 中值滤波可让与周围像素灰度值的差别比较大的像素改成与周围像素接近的值, 因此该方法对脉冲型的干扰 (如椒盐噪声) 有较好的滤波效果。由于中值滤波不是简单地取平均

值,产生的模糊比较少。

2.1.3 维纳滤波

维纳滤波是一种使原始图像 $f(x,y)$ 与恢复图像 $g(x,y)$ 之间的均方误差最小的一种滤波方法,该方法可实现对噪声的自适应滤除,其基本原理是根据图像的局部方差来调整滤波器的输出。该方法首先估算出图像中某个窗口内局部的均值 μ 及方差 σ^2 ,然后用公式(2)对图像中的每个像素来估计其中各点的灰度值。

$$b(n_1, n_2) = \mu + \frac{\sigma^2 - \nu^2}{\sigma^2} [a(n_1, n_2) - \mu] \quad (2)$$

式(2)中, ν^2 为整个图像的方差。维纳滤波由于具有自适应性,它可以更好地保存图像的边缘和细节信息。在大多情况下,该法可以取得令人满意的滤波效果,但对脉冲型噪声的滤波效果不是很理想。

2.2 频域低通滤波

将图像从空域变换到频域后,低频分量对应于图像中灰度值变换比较缓慢的区域,而高频分量则表征了图像中物体的边缘和随机噪声等信息。因此将图像变换到频域后,在某种程度上,噪声频谱与图像的频谱实现了分离,在频域中通过对高频分量进行截断或者抑制,然后再反变换到空域,则可以实现滤波效果,这就是频域低通滤波的基本思想^[11]。低通滤波的数学表达式为

$$G(u, \nu) = H(u, \nu) \cdot F(u, \nu) \quad (3)$$

式(3)中, $G(u, \nu)$ 是滤波后图像的傅里叶变换, $H(u, \nu)$ 是低通滤波器的传递函数,完成对高频分量的抑制, $F(u, \nu)$ 是含噪声图像的傅里叶变换。

频域低通滤波的关键是选择滤波器的类型和截止频率,最简单的滤波器是二维理想滤波器(ILPF),但该低通滤波器没有过渡带,图像反变换到空域后容易产生“同心圆”效应。在实际中多采用指数低通滤波器、梯形低通滤波器和巴特沃斯低通滤波器。对图1(b),笔者选择了巴特沃斯低通滤波器

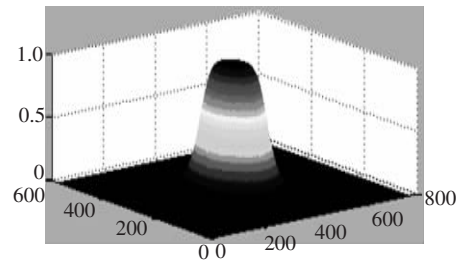
$$H(u, \nu) = \frac{1}{1 + (\sqrt{2} - 1) [D(u, \nu)/D_0]^{2n}} \quad (4)$$

式(4)中, $D(u, \nu)$ 是 (u, ν) 点距频率矩形原点的距离,滤波器的阶数设置为3阶($n=3$),截止频率 D_0 设置为80 Hz,滤波器见图3(a)。

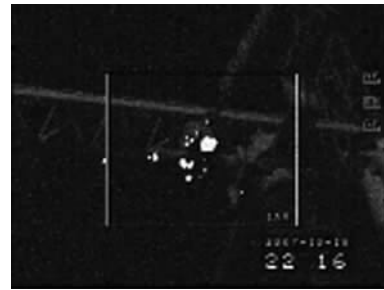
频域低通滤波是针对整个频域进行的,在频域图像频谱与噪声频谱往往有一定的重叠,在滤除噪声的同时,图像会损失部分细节信息。

2.3 小波域图像滤波

近几年,小波分析成为信号处理强有力的工具,并应用于图像去噪中^[12-14]。与传统的频域滤波相比,



(a)巴特沃斯低通滤波器



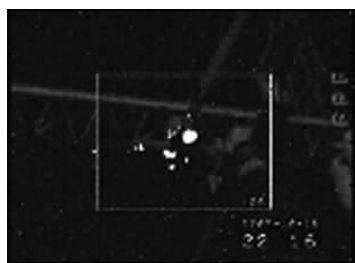
(b)频域低通滤波后的紫外图像

图3 频域低通滤波

小波分析采用的多分辨率分析(Multi-resolution Analysis)思想可将交织在一起的频率分量分解到不同的子带上,通过对不同子带的处理,可取得较好的滤波效果。小波滤波的过程与频域低通滤波类似,首先将图像进行多尺度分解,采用一定的算法对小波高频系数进行处理,然后重构图像,达到滤波效果。

对图像进行多分辨率分析相当于将图像在不同的尺度空间和小波空间进行投影。在尺度空间得到的是图像的概貌系数,而在小波空间得到的分别是水平、垂直和对角线的细节分量系数。图像经上述小波分解后,虽然其高频系数中既有噪声分量也有图像分量,但与传统的傅里叶变换不同的是小波变换具有“集中”能力,也即图像能量在小波域中将集中在一些幅值较大的小波系数中,而噪声的能量却分布于整个小波域内,其幅值系数较小,因此,图像经小波变换后,虽然图像的频谱与噪声的频谱具有重叠性,但系数在幅值上存在差别,可根据幅值不同,采用阈值处理方法将幅值比较小的系数进行萎缩,然后再进行反变换。阈值萎缩算法中最核心的问题就是如何选择阈值和阈值处理函数。目前阈值的选择有全局阈值和局部阈值法以及自适应阈值法(如贝叶斯阈值,邻域自适应阈值等)。阈值选择后,对小波系数如何进行萎缩则依赖于阈值处理函数,现主要有硬阈值法、软阈值法和改进阈值法。对图1(b)中的图像,采用了紧支性较好的db4小波对图像进行处理,分解层数为3层,阈值的计算采用了文[5]提出的一种贝叶斯自适应阈值算法,滤波结果见图4

(b), 比较可知, 贝叶斯自适应阈值算法的滤波效果要好于统一阈值滤波。



(a) 统一阈值滤波



(b) 贝叶斯自适应阈值滤波

图 4 小波阈值萎缩法滤波后的紫外图像

小波滤波方法与其他几种方法相比, 由于采用的多分辨率分析方法可对信号进行灵活地分解和重构, 相比较而言, 该方法的滤波效果一般要优于其他几种方法。一般来说, 采用局部阈值、自适应阈值法并结合软阈值法和改进阈值法进行图像滤波可取得较好的效果。

3 图像灰度变换增强

图像经滤波处理后, 信噪比有了提高, 但背景图像较暗, 这是由于在低照度情况下可见光通道图像的灰度值太低造成的, 采取灰度变换算法可使图像灰度值的动态范围得以扩展或压缩, 是一种简便而有效的提高图像对比度的方法。常用的灰度变换方法有直接灰度变换和直方图灰度变换两种。

3.1 直接灰度变换

直接灰度变换是指应用某种数学变换对图像像素灰度进行修正, 如增加像素的灰度, 则图像变亮, 反之则变暗。该变换可使图像的动态范围加大, 图像对比度扩展、图像清晰、特征明显。直接灰度变换有 3 种基本类型的变换函数: 线性变换、分段线性变换和非线性变换(指数变换、对数变换等)^[10]。紫外图像由于采用了双通道成像技术, 输出图像的背景图像与电晕图像的灰度值存在明显的差别, 直方图分析表明, 背景图像的灰度值集中于 30 左右, 电晕图像灰度值集中于 245 左右, 需要增强的是背景图像, 也即只需增强灰度值中的一部分而保持高灰度值部

分不变, 研究表明, 采用分段线性变换可取得较好的效果, 而直接的线性变换和对数变换效果都不是理想。对图 1(b), 将灰度属于 $[0, 120]$ 的值变换为 $[0, 220]$, 也即变换直线的斜率为 1.83。图像灰度变换增强后的紫外图像见图 5, 分段线性增强图像见图 5(a)。



(a) 分段线性增强



(b) 自适应直方图均衡化增强

图 5 图像灰度变换增强后的紫外图像

3.2 直方图灰度变换

对图像的直方图进行处理同样可实现灰度变换, 该方法以概率论为基础, 一般是将图像的直方图进行一定的均衡化处理, 从而扩大灰度的变换范围。由于紫外图像的直方图中背景图像的灰度与电晕图像的灰度存在明显差别, 实验表明, 直接对整个直方图进行均衡化拉伸会导致高亮度电晕图像的灰度值降低, 使得整个图像变模糊。根据紫外图像的特点, 研究表明, 采用局部自适应直方图均衡化(AHE)技术可取得较好的效果^[15]。该方法通过以下步骤实现: 首先定义一个大小合适的移动子图块, 然后在以每个像素点为中心的子图块上进行直方图均衡化, 并将处理结果代替相应子图块中心点的灰度值。局部直方图均衡化能够克服全局直方图均衡化难以适应局部灰度分布的缺陷, 可以获得较好的对比度增强效果。对图 1(b)采用 8×8 大小的移动子图块对图像进行了处理, 处理结果见图 5(b)。

4 结论

对紫外图像进行滤波和灰度变换处理可提高信噪比, 增加图像的对比度和清晰度, 改善了紫外图像。

(1)空域滤波法简单,编程实现容易,滤波效果与模板的大小和形状选取有较大的关系。

(2)频域低通滤波需对图像进行空域与频域上的变换处理,滤波效果与截止频率的选择和滤波函数有较大的关系,但若噪声的频谱域图像的频谱存在重叠,该方法在滤除噪声的同时对图像的细节和边缘有一定模糊。

(3)小波滤波采用多分辨率分析,可将图像进行多尺度分解,同时具有时域和频域上的分析能力,与传统的方法相比,一般来说,该方法滤波的灵活性和滤波效果优于其他几种方法,但计算量较大。

(4)对图像进行分段线性灰度变换和局部自适应直方图均衡化可改善背景图像的对比度和亮度。

需要说明的是,虽然采用的方法是针对“日盲型”紫外成像仪图像进行了处理,但对夜间型紫外成像仪(俄罗斯的非林-6紫外电子光学探伤仪)拍摄的图像进行处理同样取得了较好的效果,限于篇幅,在此不再详细论述。

参考文献:

- [1] 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(20):97-98.
- [2] PINNANGUDI B,GORUR R S.Quantification of Corona

Discharges on Nonceramic Insulators [J].IEEE Trans. on D & EI,2005,12(3):513-523.

- [3] 高强,赵振兵,李然,等.基于独立分量分析的近红外图像去噪方法的研究与应用[J].中国电机工程学报,2005,25(22):94-98.
- [4] 李明喜,毛罕平.近红外图像消噪方法的对比实验研究[J].红外技术,2007,29(11):657-661.
- [5] 欧阳晶.小波变换在图像去噪中的应用研究[D].南昌:江西师范大学,2006.
- [6] 陈书汉,庞其昌,靳贵平.一种双波段图像实时融合实验系统光学技术[J].2006,32(2):277-279.
- [7] 项震.基于CCD器件特征的图像噪声消除[J].光电工程,28(6):66-68.
- [8] 彭波,王一鸣.低照度图像去噪算法的研究与实现[J].计算机应用,2007,27(6):1455-1457.
- [9] 罗军辉,冯平,哈力旦A. MATLAB7.0在图像处理中的应用[M].北京:机械工业出版社,2005.
- [10] 盛道清.图像增强算法的研究[D].武汉:武汉科技大学,2007.
- [11] 刘云鹏,马国明,刘肇欧,等.低通滤波在紫外成像降噪处理中的应用[J].高电压技术,2007,23(6):129-132.
- [12] 飞思科技产品研发中心.小波分析理论与MATLAB7实现[M].北京:电子工业出版社,2005.
- [13] 彭玉华.小波变换于工程应用[M].北京:科学出版社,1999.
- [14] 刘成云.基于小波变换的图像去噪方法研究[D].武汉:武汉科技大学,2005.
- [15] 蔡超峰.局部直方图均衡化算法研究及其应用[D].郑州:郑州大学,2005.

(上接第14页)

磁环饱和后将失去对高频暂态的作用,应该避免。快速暂态过电压主要出现在开关投切小电流的场合,此场合不会出现工频电流导致磁环饱和的情况。然而,如果通过磁环串的快速暂态电流幅值很大,则可能导致磁环饱和,这是应用的一个关键问题。磁环串的并联电阻可分流磁环串中的高频电流,对消除磁环饱和有利。

进一步的工作是,针对电力系统条件,进行试验和仿真计算,深入研究采用强化集肤效应抑制快速暂态过电压的可行性。

参考文献

- [1] 刘卫东,金立军,钱家骊,等.铁氧体磁环抑制GIS的VFTO的可能性[J].中国电工技术学报,2002,17(4):22.
- [2] 项祖涛,刘卫东,钱家骊,等.用磁环抑制GIS的VFTO的高电压模拟试验[J].中国电工技术学报,2004,19(7):1.
- [3] 项祖涛,刘卫东,钱家骊,等.磁环抑制GIS中特快速暂态过电压的模拟试验和仿真[J].中国电机工程学报,2005,25(19):101.
- [4] 董琴,刘卫东,孙会刚.磁环抑制真空重燃过电压的陡度[J].高压电器,2007,43(1):1.

2009年输变电技术交流会暨专委会工作会议召开

简讯

挂靠在西安高压电器研究院的中国电机工程学会变电专业委员会、中国电工技术学会输变电设备专业委员会、中国电工技术学会大容量试验技术专业委员会、中国电工技术学会电工陶瓷专业委员会和陕西省电工技术学会共同组织的2009年输变电技术交流会暨专委会工作会议于10月30-11月1日在江苏省常州市召开,出席会议的共有72个单位的114名代表。会议共征集论文76篇,汇编成会议论文集,并评出了15篇优秀论文,在会议上作大会宣读。同时,各分专委会还分别召开了2009年工作会议,审议并通过了2009年工作总结和2010年工作要点报告。