

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.10.023

基于小波变换的紫外光和 可见光图像融合算法*

马立新, 黄大海, 王 伟, 周小波

(上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200093)

摘要: 针对高压设备电晕放电和故障点定位的问题,设计了一种基于紫外电晕技术的高压放电检测系统,并提出了一种适用于紫外光图像和可见光图像融合的小波算法。利用240 nm~280 nm这一盲波段获取紫外放电图,引入了图像融合技术,实现了对电晕区域精确地定位。小波变换具有很好的时频特性,可以用于同时提取不同尺度上的有用信息,为图像融合提供了有利条件。通过仿真实验,将该算法与以往的加权平均方法和拉普拉斯金字塔变换方法进行了比较。研究表明,由该方法得到的融合图像可以有效地保留细节和边缘,图像更加清晰,细节更加丰富,融合效果明显优于其他两种方法。该方法满足紫外检测系统的需要,能够广泛应用于电晕放电的检测和定位,从而为解决电晕问题提供依据。

关键词: 电晕放电;故障定位;检测系统;小波

中图分类号: TM835 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2014)10-1339-04

Image fusion algorithm of ultraviolet and visible images based on wavelet transform

MA Li-xin, HUANG Da-hai, WANG Wei, ZHOU Xiao-bo

(Department of Electrical Engineering School of Optical-Electrical and Computer Engineering,
University of Shanghai for Science & Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Aiming at the phenomena of the corona discharge on high-voltage apparatus and fault location, the detection system to high-voltage discharge based on UV corona technology was designed to solve the problem, and a new image fusion method based on wavelet transform which applies to UV and visible image was proposed. Ultraviolet discharge images were acquired by using the sun-blind band from 240 nm to 280 nm. In order to locate the position of the corona precisely, image fusion technology was introduced. Useful information on different scales can be extracted by wavelet transform with good time-frequency characteristics, and favorable conditions were provided for image fusion. The algorithm was compared with weighted average method, Laplacian-based and wavelet-based through simulation experiments. The results indicate that the proposed algorithm is better than others. Its fused image is clearer and more detailed, preserving the detail and edge effectively. The new method can meet the needs of ultraviolet detection system and improve the locating precision of the corona detection system, so as to provide the basis for solving the problem of corona.

Key words: corona discharge; fault location; detection system; wavelet

0 引 言

紫外成像是一种有效的高压电气设备外部放电

检测方法,该技术从20世纪80年代开始进入实质性的研究,当时主要用于军事领域,近年来这项技术推广并应用在电力行业。本研究应用紫外成像技术,设

收稿日期: 2014-04-21

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61205076);上海市研究生创新基金资助项目(JWCXSL1302)

作者简介: 马立新(1960-),男,陕西安康人,博士,教授,主要从事电力系统稳定性与优化运行、电气系统故障诊断与模式识别、群体智能与智能电网方面的研究。E-mail: malx_ali@sina.com

计高压放电故障紫外检测系统,该系统能实现远距离检测高压设备外部绝缘状态、精确定位放电位置,而且检测过程中不影响设备的正常运行^[1-2]。

高压电气设备的绝缘结构通常情况下是不均匀的,从而导致电场也是不均匀的,而且有的间隙很大,电场分布极不均匀,像高压架空输电线就是这种情况。电晕放电一般是产生在极不均匀的电场环境下,当电压还未能引起击穿前,电离现象已经非常强烈,大量空间的电荷积聚一起,使得间隙中的电场发生畸变。现实生活中,可以看到输电线路时不时地有“嘶嘶”的响声,夜晚还能看见微弱的辉光,这就是电晕放电现象^[3]。

电晕放电对现实生活有诸多的影响,电晕放电所产生的光、声、热等效应会引起功率损失;会引起无线电干扰;会影响其设备的绝缘性能,从而会缩短电气设备的使用寿命。因此,有必要及时检测电晕并定位电晕的位置^[4-5]。

针对设备采集到的可见光图和紫外光图,本研究提出一种适用于紫外信号融合的方法,合成一幅新图像。经实验验证,该方法能够用于准确判断电气设备放电故障点的位置。

1 系统原理

紫外成像法检测的基本原理是:设备放电发出的紫外光首先经过物镜照射到对紫外光敏感的光电阴极上进行光电转换,所生成的光子经高压电场加速后通过微通道板增强器(MCP)进行电子倍增,实现对弱小目标的放大;倍增后的电子打到荧光屏上,将紫外光信号转换成可见光信号;最后光子照射在CCD上成像^[6]。

与双通道系统采用两个CCD在同一时间采集可见光图和紫外光图不同,单通道系统只采用一个CCD,在同一空间、不同时间点上采集图像。单通道系统通过步进电机控制两种滤光片切换,先后采集可见光信号和紫外光信号,将采集到的可见光信号成像作为背景图像,将采集到的紫外光信号成像作为目标图像,经转换盒将图像传输到计算机上进行融合,融合的图像上既有紫外光信号又有可见光信号,可以实时地显示在计算机设备上,从而实现实时地检测高压设备,并准确定位故障位置^[7]。

2 图像融合

图像融合是信息融合的重要分支,是将两幅或两幅以上图像按照一定的算法,合成一幅包含更多信息

的新图像^[8]。图像融合技术提高了对图像的信息使用率、目标识别的可靠性及系统的自动化程度等。近几年,图像融合技术应用广泛,已成为目标识别、医学成像、信息安全以及工业电力监控等领域研究的热门问题。

图像融合分为3个层次:像素级、特征级和决策级^[9]。像素级图像融合是最基本的图像融合方法,是将各源图像中对应的像素进行融合处理,保留了更多原图像的原始信息和细节信息。像素级融合大致分为3大类:简单的图像融合、基于塔形分解的图像融合、基于小波变换的图像融合。本研究中采用的是基于小波变换的图像融合算法。

3 基于小波变换的图像融合

小波变换具有多分辨率分析的特点,可以用于将图像分解成一系列具有不同空间分辨率和频域特性的子图像,因此研究者可在不同的频域采用不同的融合策略,提取可见光和紫外图像的有用信息,减少有价值信息的丢失^[10-11]。图像经小波分解后,紫外信号和可见光信号的细节信息主要体现在高频区域,模糊信息体现在低频区域。

假设两幅经配准的图像 A 、 B ,图像 A 和 B 的低频系数矩阵的区域方差显著性为 $S(A,r)$ 和 $S(B,r)$ 。 $Z(A)$ 和 $Z(B)$ 分别表示图像 A 、 B 的小波低频部分的系数矩阵, $r=(a,b)$ 表示小波系数的空间位置。则有:

$$Q(r) = \frac{2 \times \sum_{r \in R} w(r) |Z(A,r) - u(A,r)| |Z(B,r) - u(B,r)|}{S(A,r) + S(B,r)} \quad (1)$$

式中: $Q(r)$ —图像 A 和 B 的低频系数矩阵在 r 点的区域方差匹配度,其值在0和1之间变化,其值越小两幅图像的低频系数相关程度越低; $w(r)$ —权值; $Z(A,r)$, $Z(B,r)$ —图像 A 、 B 的小波低频系数矩阵下标为 (a,b) 元素的值; $u(A,r)$, $u(B,r)$ —图像 A 、 B 的低频系数矩阵以 r 为中心 R 区域的平均值。

本研究取方差匹配度阈值 H 为0.5,融合后的图像为 F 。

当 $Q(r) \geq 0.5$ 时,采用平均融合策略:

$$Z(F,r) = \begin{cases} Y_{\min} Z(F,r) + Y_{\max} Z(F,r) & S(A,r) < S(B,r) \\ Y_{\max} Z(F,r) + Y_{\min} Z(F,r) & S(A,r) \geq S(B,r) \end{cases} \quad (2)$$

式中: $Y_{\min} = 0.5 - 0.5 \times [1 - Q(r)] / (1 - H)$, $Y_{\max} = 1 - Y_{\min}$ 。

当 $Q(r) < 0.5$ 时,采用选项融合策略:

$$Z(F,r) = \begin{cases} Z(B,r) & S(A,r) < S(B,r) \\ Z(A,r) & S(A,r) \geq S(B,r) \end{cases} \quad (3)$$

确定融合图像的各小波系数后,本研究对图像进行逆小波变换,合成图像 F 。本研究提出的方法与以往的加权平均法和拉普拉斯金字塔变换法比较,融合图像可以有效地保留细节和边缘,图像更加清晰,细节更加丰富,融合效果更好。

4 仿真结果及融合图像的客观评估

本研究采用的实验图像来自外施电压 100 kV,相对湿度 40%,温度 22 ℃ 条件下拍摄的来自同一场景的不同光谱图像,可见光背景图如图 1 所示,电晕放电图如图 2 所示,所有算法均由 Matlab 仿真。运用加权平均方法得到的融合图像如图 3(a) 所示,运用拉普拉斯金字塔变换方法得到的融合图像如图 3(b) 所示,运用本研究提出方法得到的融合图像如图 3(c) 所示。



图1 可见光图

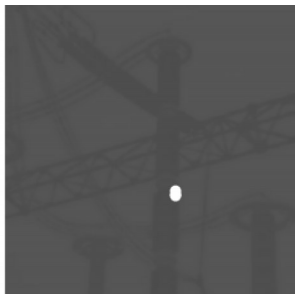
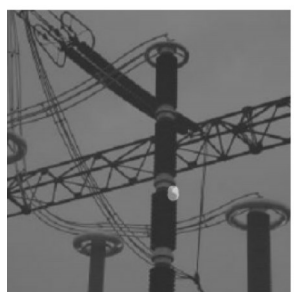


图2 电晕放电图



(a) 加权平均



(b) 拉普拉斯变换



(c) 本研究方法

图3 融合图像

本研究采用信息熵 S 、空间频率 SF 和平均梯度 AG 评价融合图像的质量^[12]。信息熵^[13]反映了图像携

带信息量的多少,空间频率反映了图像空间域的总体活跃程度,平均梯度反映了图像的细节信息和清晰度。

$$S = - \sum_{i=1}^m p_i \log_2 p_i \quad (4)$$

$$SF = \sqrt{RF^2 + CF^2} \quad (5)$$

$$RF = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=2}^N [F(i,j) - F(i,j-1)]^2} \quad (6)$$

$$CF = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{j=1}^N \sum_{i=2}^M [F(i,j) - F(i-1,j)]^2} \quad (7)$$

$$AG = \frac{1}{(M-1)(N-1)} \sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=1}^{N-1} [((F(i,j) - F(i+1,j))^2 + (F(i,j) - F(i,j+1))^2)/2]^{1/2} \quad (8)$$

式中: F —融合图像; M , N —图像的行数和列数; P_i —灰度等于 i 的像素数与图像总的像素数的比值; m —图像的灰度等级。

图像融合评价指标对比如表 1 所示。从表 1 中的数据中可以看出,本研究提出的算法的图像的熵、空间频率和平均梯度均明显大于其他两种融合算法,说明该算法融合的图像携带了更多的信息,图像更清晰,融合效果更好。由图 3 可以看出加权平均算法的融合图像模糊,不利于识别;拉普拉斯算法的融合图像放电点不明显;本研究算法融合的图像清晰、平滑,能够准确地定位故障点。

表1 图像融合评价指标对比

融合方法	熵	空间频率	平均梯度
加权平均法	5.570 8	12.931 1	5.171 5
拉普拉斯变换	6.501 8	24.986 9	10.002 9
小波方法	6.561 8	25.802 3	10.326 2

5 结束语

笔者研究了一种基于紫外电晕技术的高压放电检测系统,并对可见光图像和紫外光图像的 3 种融合方法进行了实验。通过对实验数据的比较分析,结果表明了该方法的有效性和优越性,可以清楚地确定电晕放电区域以及放电面积的大小,同时融合效果很好,图像过渡平滑、清晰,可识别度高,利于在电力系统中检测高压设备电晕放电和及时检修、维护电气设备。

市场上常见的日盲型紫外成像仪的融合模式大多是加权融合,且能够根据环境的需要调节紫外和可见的叠加百分比。与这种融合方法相比,本研究提出的融合算法得到的图像更清新,对电晕故障点的可识别度更高。

参考文献(References):

- [1] 靳贵平, 庞其昌. 紫外成像检测技术[J]. 光子学报, 2003, 32(3): 294-296.
- [2] 王少华, 梅冰笑, 叶自强, 等. 紫外成像检测技术及其在电气设备电晕放电检测中的应用[J]. 高压电器, 2011, 47(11): 92-97.
- [3] PINNANGUDI B, GORUR R S. Quantification of corona discharges on non-ceramic insulators [J]. **IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation**, 2005(3): 513-523.
- [4] 王胜辉, 律方成, 李和明, 等. 高压电气设备紫外成像检测管理系统开发与应用[J]. 高压电器, 2009, 45(4): 146-149.
- [5] 张海峰, 庞其昌, 陈秀春. 高压电晕放电特征及其检测[J]. 电测与仪表, 2006, 43(2): 6-8.
- [6] LINDNER M, ELSTEIN S, LINDER P, et al. Daylight corona Discharge imager[J]. **EPRI**, 1998(8): 4349-4352.
- [7] 马立新, 徐如钧, 胡 博, 等. 单通道双谱紫外电晕放电检测方法[J]. 测控技术, 2012, 31(3): 32-35.
- [8] 马立新, 陶博豪, 徐如钧, 等. 放电故障紫外检测系统及其状态识别方法[J]. 计算机测量与控制, 2012, 20(7): 1803-1805.
- [9] 郭 雷, 李晖晖, 鲍永生. 图像融合[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [10] 马立新, 胡 博, 徐如钧, 等. 双通道电晕放电紫外检测及其图像融合方法[J]. 测控技术, 2012, 31(10): 16-19.
- [11] 李田科, 刘 辉, 王 亮, 等. 基于小波变换的自适应 Kalman 滤波算法研究[J]. 兵工自动化, 2013, 32(1): 32-35.
- [12] OTAZU X. Introduction of sensor spectral response into image fusion methods. Application to wavelet-based methods, *Geoscience and Remote Sensing* [J]. **IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation**, 2005(10): 2376-2385.
- [13] 王静雷, 厉小润. 基于 Kmeans 和图像熵聚类的热红外目标检测算法[J]. 机电工程, 2012, 29(12): 1490-1493.

[编辑: 李 辉]

本文引用格式:

马立新, 黄大海, 王 伟, 等. 基于小波变换的紫外光和可见光图像融合算法[J]. 机电工程, 2014, 31(10): 1339-1342.

MA Li-xin, HUANG Da-hai, WANG Wei, et al. Image fusion algorithm of ultraviolet and visible images based on wavelet transform [J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2014, 31(10): 1339-1342.《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

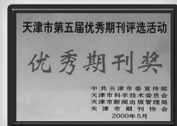
欢迎订阅《机械设计》杂志

国际标准刊号: ISSN 1001-2354

国内统一刊号: CN 12-1120 / TH

《机械设计》杂志是中国机械工程学会机械设计分会会刊、中文核心期刊、中国科技论文统计源期刊、中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊, 学位与研究生教育指定中文重要期刊, 国内外公开发行人。本刊已被“中国核心期刊(遴选)数据库”、“中国科技期刊精品数据库”、“中国期刊网”、“中国学术期刊(光盘版)”、“中国学术期刊综合评价数据库”等全文收录。《机械设计》的影响因子在同类科技期刊中名列前茅, 并多次荣获天津市一级期刊、天津市优秀期刊奖。本刊为月刊, 每月20日出版, A4开本, 每期传递信息量近20多万字。

本刊主要栏目: 设计领域综述(含动态、方针政策等); 专题论文(含设计方法、CAD、模块化设计、有限元、可靠性、失效分析、优化设计、并行设计、疲劳设计、反求工程、价值工程、人机工程、智能工程、专家系统、机构学、机械动力学、摩擦学、结构、传动、零部件、机电一体化等); 现代装备制造技术与实例分析(含专题论文中各种设计技术, 在实际应用中的实例分析与经验); 工业设计论坛与资讯(含设计理论与方法、零部件设计、新技术新工艺、产品设计等)。



国内总发行: 天津市邮政报刊发行局

邮发代号: 6—59

国外总发行: 中国国际图书贸易总公司

邮发代号: M7315

订购处: 国内各地邮局及本编辑部均可订购, 国外可与本社联系

单册订价: 10.00元, 全年订价: 120元

杂志社地址: 天津市河北区南口路40号

电话: (022)27343427

邮政编码: 300232

E-mail: jxsj@chinajournal.net.cn

欢迎订阅·欢迎投稿·欢迎刊登广告