

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.01.002

基于红外图像识别的电气设备温升检测^{*}

段绍辉¹, 丁 庆¹, 夏 晶², 金立军^{2*}

(1. 深圳供电局有限公司, 广东 深圳 518010; 2. 同济大学 电子与信息工程学院, 上海 201804)

摘要:为了更好地利用红外热成像技术对电气设备故障进行识别和诊断的问题,提出了一种基于红外图像特征和种子区域生长法的设备温升检测方法。采用邻域平均法减少了红外图像的噪声干扰,提取出了红外图像 RGB 空间中的红色分量图及绿色分量图,应用种子区域生长法分别对两分量图进行了分割,先通过寻找局部最高温点划分区域,再计算各区域内形态学梯度筛选出有故障的高温点,并将该点所在区域作为种子区域从而实现种子区域的自动选取,将像素点4个方向上的最大梯度及像素点与种子点的灰度差作为种子生长的判定条件,用交集的方法将分割后的红色分量图和绿色分量图融合,提取出了设备温升过高区域。实验及研究表明,该方法能确定高温升区域,且轮廓清晰,为电气设备温升故障诊断提供依据。

关键词:红外图像;温升检测;种子区域生长法;电气设备;图像识别

中图分类号:TM93

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2014)01-0007-05

Temperature rising detection of electrical equipment based on infrared image recognition

DUAN Shao-hui¹, DING Qing¹, XIA Jing², JIN Li-jun²

(1. Shenzhen Power Supply Co., Ltd., Shenzhen 518010, China;

2. College of Electronic and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: In order to detect the failure of electrical equipment by infrared thermal imaging, a new temperature rising detection method was proposed based on IR image features and seeded region growing. The neighborhood average method was adopted to reduce the IR image noise. Red component were green component are selected to make segmentation using seeded region growing. Local high temperature points and morphological gradient were combined to achieve auto seeds selection and the growth criteria was based on the pixels' largest gradient of four directions and gray difference between initial seed and pixels. High temperature regions were extracted by fusing the segmented component images with intersection method. Experiment results indicate that the method can accurately recognize the high temperature area, and the outline is clear, thus provide the basis for fault diagnosis of electrical equipment.

Key words: infrared image; temperature rising detection; seeded region growing; electrical equipment; image recognition

0 引 言

红外热成像技术具有安全性高、响应快、操作方便、判断准确等优点,已被广泛应用于发电厂、变电站及输电线路的电气设备故障检测中^[1-2]。随着红外热成像技术应用的推广,针对红外图像处理方法的

研究也受到了有关部门的重视。

在已有对红外图像的研究和应用中,研究者通常仅对图像中的目标区域感兴趣,而红外图像与可见光图像相比,大多有图像模糊、对比度低等缺点,因此成像后需对图像进行增强与分割,降低噪声,突出目标与细节信息^[3-4]。Chung-Chia Kang^[5]等提出采用结合模

收稿日期:2013-07-30

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51177109)

作者简介:段绍辉(1961-),男,湖北恩施人,硕士,高级工程师,主要从事电力系统及其自动化方面的研究。E-mail:13502821051@139.com

通信联系人:金立军,男,教授,博士生导师。E-mail:jlinlj@tongji.edu.cn

糊边缘检测自动选取种子点的种子区域生长法进行复杂背景图像分割;Shah^[6]等提出了采用手动选取种子点的种子区域生长法进行医学图像的点检测;Sanz, P. R.^[7]等提出采用自动种子区域生长法进行图像的特征矢量提取;Deepa, J.^[8]等提出一种基于特征的种子区域生长法分割 DNA 微列阵图像。区域生长法直接作用于颜色空间,在分割过程的同时考虑了色彩分布以及其空域上的重新划分^[9],适用于多个领域的图像分割。采用基于灰度图的处理红外图像分割技术,当目标与背景的灰度相近时,难以达到精确分割的要求。而红外图像在 RGB 空间的分量值与温度存在一定的关系,采用种子区域生长法直接对彩色图进行分割,能够避免将低温度的背景误认为目标设备,从而达到更好的分割提取效果。

本研究针对红外图像处理技术进行研究,分别采用邻域平均法及种子区域生长法对电气设备红外图像进行去噪与分割,提取红外图像中的温升过高区域,即提取出存在故障隐患或已产生故障的区域。

1 红外图像去噪

红外图像预处理可以用于去除或减少红外图像中的噪声和杂波,提高图像质量和信噪比,减少需处理的数据量。本研究采用邻域平均法对图像进行滤波。

设原始图像为 $f(x, y)$, 以图像中每个像素为中心, 分别取一个邻域 S , 计算 S 中所有像素灰度的加权平均值, 作为空间域平滑处理后图像的像素值, 即:

$$g(x, y) = \frac{1}{M} \sum_{i,j \in S} f(i, j) \quad (1)$$

式中: M —邻域 S 中的像素点数。

邻域平均算法具有简单、计算速度快的优点, 同时对高斯噪声也具有较好的抑制作用。

邻域平均法的平滑效果与所使用的邻域半径大小有关, 半径越大, 噪声减小越显著, 但同时图像也更模糊, 特别是在边缘和细节处, 通过对比各邻域半径的平滑效果, 本研究采用 5×5 邻域平均法。

图像去噪处理效果如图 1 所示。

其中, 一接线端子可见光图像如图 1(a) 所示, 本研究以接线端子螺帽松动为例, 拍摄得到红外原图。将红外原图中的灰度值进行黑白转换后的图像如图 1(b) 所示。因转换后图像中温升变化的视觉效果更清晰^[10], 本研究后续显示的图像都为灰度值转换后的效果图。根据图 1(b) 中, 取第 210 行对应的像素点灰度值绘出的灰度曲线如图 1(c) 所示。采用 5×5 邻域平均法去噪后的红外图中取第 210 行对应的像素点

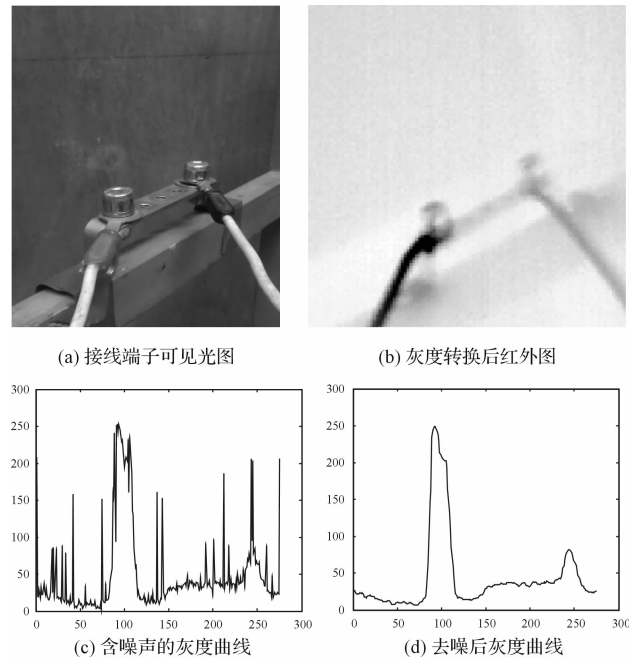


图 1 图像去噪效果图

灰度值绘出的灰度曲线如图 1(d) 所示。

由图 1 可看出, 红外原图中颜色越亮的部分曲线中灰度值越高, 去噪后的图像灰度曲线无毛刺。该结果说明, 邻域平均法能使灰度曲线变得平滑, 有效去除红外图像中的噪声干扰。

2 红外图像温升过高区域提取

2.1 彩色图像种子区域生长法

种子区域生长法的基本思想是将具有相似性质的像素集合起来构成区域^[11]。

彩色图像种子区域生长法可根据所解决问题的性质而选择一个或多个起点, 该起点由彩色图像的一个或多个空间量确定。RGB 是通过红绿蓝三原色来描述颜色的颜色空间; 而对于红外图像而言, 其 RGB 分量的值能够反映电气设备的温度信息, 并能据此寻找出一定的规律性。因此, 本研究在 RGB 颜色空间上采用种子区域生长法, 该方法能够有效提取出红外图像中的特征区域及数据信息。

众所周知, 像素的某一个 RGB 值并不是对应一个固定的温度值。在实际拍摄中, 由该方法生成的红外图像的 RGB 值会根据背景温度的变化自动产生变化, 生成不同的温度标定, 以便明确地显示出与环境温度相差较大的特征区域。图 1(b) 中像素的 RGB 值与温度的对应关系图如图 2 所示。

通过对大量红外图像 RGB 分量值与温度关系的研究发现, 其 RGB 分量走势与图 2 基本相似, 即红外

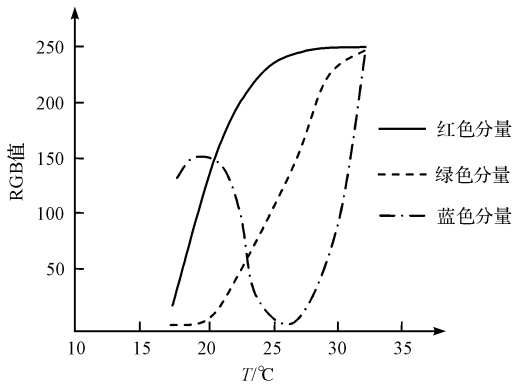


图2 RGB分量值与温度的对应关系

图像的红色 R 分量和绿色 G 分量会随着温度的升高而升高,绿色 G 分量随温度的变化梯度较大,红色 R 分量变化梯度较小,蓝色 B 分量呈现非单调性。因此,本研究采用的种子区域生长法只针对红外图像的红色和绿色分量进行分割。

彩色图像种子区域生长法提取高温区域的算法流程如图3所示。

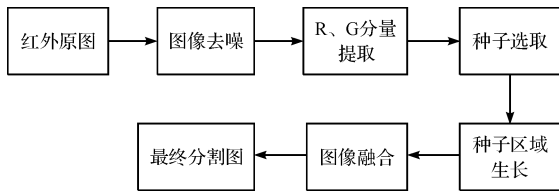


图3 种子区域生长法的算法流程

2.2 与形态学梯度相结合的种子区域自动选取

种子区域选取是红外图像识别中最重要的部分。本研究采取局部最高温点与形态学梯度相结合的方法选取种子区域,以确保种子点为高温故障点。

设: $f(z)$ 为原始图像, $f_d(z)$ 为膨胀后图像, $f_e(z)$ 为腐蚀后图像, b 为结构元素, D_f 和 D_b 分别为原始图像 $f(z)$ 和结构元素 b 所在的区域。

膨胀和腐蚀^[12]的定义为:

$$\begin{cases} f_d(x, y) = \max \{f(x-i, y-j) + b(i, j) \mid (x-i, y-j) \in D_f; (i, j) \in D_b\} \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} f_e(x, y) = \min \{f(x+i, y+j) - b(i, j) \mid (x+i, y+j) \in D_f; (i, j) \in D_b\} \end{cases} \quad (3)$$

则基本形态学梯度可表示为:

$$g(x, y) = f_d(x, y) - f_e(x, y) \quad (4)$$

局部最高温点均为可能的故障点。令以第 n 个局部最高温点为中心的区域 D_n 为:

$$\begin{cases} D_n = \{ (x, y) / R(x, y) > \beta_R R(x_n, y_n) \& \\ G(x, y) > \beta_G G(x_n, y_n) \} \end{cases} \quad (5)$$

式中: $R(x, y)$, $G(x, y)$ 一点 (x, y) 的红色分量值及绿

色分量值; $R(x_n, y_n)$, $G(x_n, y_n)$ 一局部最高温点的红色分量及绿色分量值; β_R, β_G 一红色分量及绿色分量系数, 且 $0 < \beta_G < \beta_R < 1$ 。 β_R 的值通常接近于 1, 因为目标的红色分量值都较高, 波动幅度小, 而 β_G 最佳选值为 0.7 ~ 0.9。

由于背景与目标的绿色分量值差距明显, 阈值系数较小不会引起目标与背景的误判, 且目标的绿色分量值波动较大, 通过选择较小的阈值系数能更完整地提取目标。

电气设备红外图像色彩信息的实质是景像的热信息。形态学梯度的值越大, 对应像素点所示设备区域温度变化越大。由于故障导致设备小范围温升较高, 除去设备与背景的交界像素点, 故障点所在的形态学梯度通常较大。

令形态学梯度阈值为 θ_g , 若区域 D_n 中存在像素点满足: $g(x, y) > \theta_g, (x, y) \in D_n$, 则将 D_n 选为种子区域。

采用上述方法能实现种子区域的自动选取, 并能在图像中存在正常稳定的高温设备时, 准确地提取出温度过高的故障区域。

2.3 红外图像种子生长条件

在确定了过热区域即种子之后, 就需要找到一个使种子生长的条件, 来完成最终的故障设备区域提取, 以便后续的故障类型识别。

本研究中种子生长条件主要须从两方面来确定: 一是像素点与初始种子点在分量图上的灰度差值 D_s ; 二是像素点 4 个方向梯度上的最大值 D_m 。对于 3×3 邻域:

$$\begin{Bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{Bmatrix}$$

则:

$$\begin{aligned} D_m = \max \left\{ \frac{1}{6} [|a-b| + |b-c| + |d-e| + |e-f| + \right. \\ \left. |g-h| + |h-i|], \frac{1}{6} [|a-d| + |d-g| + \right. \\ \left. |b-e| + |e-h| + |c-f| + |f-i|], \right. \\ \left. \frac{1}{4} [|a-e| + |e-i| + |d-h| + |b-f|], \right. \\ \left. \frac{1}{4} [|a-e| + |e-i| + |d-h| + |b-f|] \right\} \end{aligned} \quad (6)$$

本研究实验获得的多张红外图像中, 绝大部分器件与背景的温差不仅较大且是突变的, 即器件边缘与背景值发生迅速且明显的变化 0, 因而可通过设定 D_s 和 D_m 的阈值来达到分割的目的。根据以上的分析与

实验验证,得到红色分量上的种子生长条件如下:

- (1) 找出种子区域边缘,作为初始种子点 (x_0, y_0) ;
- (2) 判断初始种子点 (x_0, y_0) 3×3 邻域内的像素点是否满足以下条件:

$$\begin{cases} D_s < \delta_R \\ D_m < \theta_R \end{cases} \quad (7)$$

若满足,则将点 (x, y) 视为新的种子点,其中阈值 δ_R 和 θ_R 为统计的经验值。

- (3) 对新的种子点重复步骤(2),直到不再有像素点满足条件则停止生长,从而得到最终的红色分量种子区域 I_{sR} 。

在绿色分量上的采用同样的方法进行种子生长,从而得到最终的绿色分量种子区域 I_{sG} 。

令 H 表示分割得到的红外图像高温区域,则:

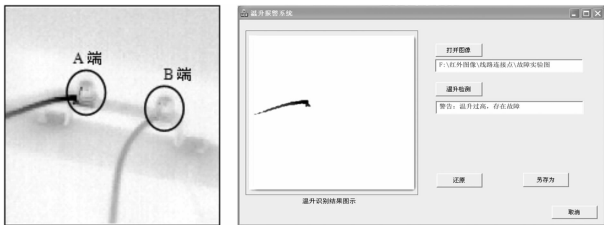
$$H = I_{sR} \cap I_{sG} \quad (8)$$

即融合后的图像为红色分量种子区域与绿色分量种子区域的交集。

3 实验及结果分析

为验证种子区域生长法图像识别的准确性,本研究分别对某模拟输电线路连接以及支柱绝缘子进行基于图像识别的温升检测。

在模拟输电线路连接点温升实验中,电压为交流 100 V,负荷为电阻,环境温度为 25 ℃。切断回路中的一条接线,用接线端子相连,通过松动接线端子上的螺帽来制造电气故障。笔者采用本研究算法提取图像中温升过高区域,效果图如图 4 所示。图 4(a)中 B 端螺帽正常, A 端螺帽松动,可看出故障端亮度较高,由此反映出在 RGB 空间即 A 端的红色分量和绿色分量都偏高。根据本研究方法得到的结果如图 4(b)所示,说明该算法能识别出红外图像中温升过高的区域并提取出图形,可为进一步定位故障位置及分析故障原因提供依据。



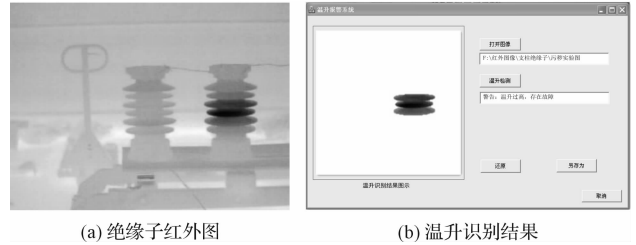
(a) A 端故障 B 端正常红外图

(b) 温升识别结果

图 4 线路连接点温升识别

在支柱绝缘子实验中,本研究选择一定污秽等级的支柱绝缘子,电压为单相交流 20 kV,效果图如图 5 所示。

图 5(a)中,绝缘子 A 为干净绝缘子,绝缘子 B 为重度污秽绝缘子。本研究方法检测结果如图 5(b)所



(a) 绝缘子红外图

(b) 温升识别结果

图 5 污秽绝缘子温升识别

示,所提取的故障区域平均温升较干净绝缘子高 1.8 ℃。以上两个实验说明:本研究算法能够发现不同电气设备温升故障隐患,并提取出轮廓清晰的温升过高区域,具有普遍适用性。通过对不同温升实验图像进行统计,结果表明,该方法在故障端较正常端的温升达到 1.3 ℃ 以上时检测效果较佳。

4 结束语

为了更好地利用红外成像对电气设备故障进行识别和诊断,本研究提出了一种基于彩色图像种子区域生长法的红外图像温升识别方法。通过对红外图像红色分量及绿色分量各阈值的设定,确定两分量图种子选取方法及种子生长条件,最后进行图像融合的方法,可以更精确地识别出电气设备的温升过高区域,更准确地体现发热位置与范围;同时该方法还具有普遍适用性,这可为电气设备进一步的故障诊断提供依据。

参考文献 (References):

- [1] 朱建军,王赞中,崔绍平,等. 红外技术诊断高压电气设备内部缺陷[J]. 高电压技术,2004,30(7):34-36.
- [2] 张文豪,闫书佳,金立军. 基于多元信息的绝缘子红外故障诊断[J]. 系统仿真学报,2012,24(9):1810-1813.
- [3] 张 浩,王 玮,徐丽杰,等. 图像识别技术在电力设备监测中的应用[J]. 电力系统保护与控制,2010(6):88-91.
- [4] 徐步洋,赵军红. 几种边缘检测算法在变压器故障红外诊断图像处理中的应用[J]. 机电工程技术,2008,37(10):108-110.
- [5] KANG C C, WANG W J, KANG C H. Image segmentation with complicated background by using seeded region growing [J]. *International Journal of Electronics and Communications*,2012,66(9):767-771.
- [6] SHAH B N, SHAH S K, KOSTA Y P. A Seeded Region Growing Algorithm for Spot Detection in Medical Image Segmentation[C]// *International Conference on Image Information Processing*,2011.
- [7] SANZ P R, PENA J M, MEZCUA B R. Efficient Characteristics Vector Extraction using Auto-seeded Region-Growing [C]// *ACIS. 9th International Conference on Computer and Information Science. Portugal*: [s. n.],2010:215-221.

- [8] DEEPA J, THOMA S, TESSAMM A. Automatic segmentation of DNA microarray images using an improved seeded region growing method[C]// 2009 World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing. Portugal: [s. n.], 2009:1469-1474.
- [9] JIANG Su-rong, WANG Song, FEN Gang. An improved region growing approach for color image segmentation[J]. **Computer Engineering and Application**, 2003, 39(7): 96-97.
- [10] 李 寒, 王 库, 刘韶军. 基于灰度冗余和 SURF 算法的电气设备红外和可见光图像配准[J]. **电力系统保护与控制**, 2011(11): 111-115, 123.
- [11] TREMEAU A, BOLEL N. A region growing and merging algorithm to color segmentation[J]. **Pattern Recognition**, 1997, 30(7): 1191-1203.
- [12] EVANS A N, LIU X U. A morphological gradient approach to color edge detection[J]. **IEEE Transactions on Image Processing**, 2006, 15(6): 1454-1463.

[编辑:罗向阳]

本文引用格式:

段绍辉, 丁 庆, 夏 晶, 等. 基于红外图像识别的电气设备温升检测[J]. **机电工程**, 2014, 31(1): 7-11.

DUAN Shao-hui, DING Qing, XIA Jing, et al. Temperature rising detection of electrical equipment based on infrared image recognition[J]. **Journal of Mechanical & Electrical Engineering**, 2014, 31(1): 7-11.

《机电工程》杂志; <http://www.meem.com.cn>

(上接第6页)

感应差压的峰值也在增大,并且波形向后移,具有比较好的差异性,说明该涡流测厚系统具有较高的灵敏度。

容易看出,实验涡流测厚系统得到的感应差压信号波形与仿真得到的感应差压信号波形又存在差别,这是因为 Ansoft Maxwell 软件仿真求解时采用的是近似算法,且仿真设置的材料参数是理想情形下的,与实际实验系统中的材料参数存在一定差距。再者,使用实验涡流测厚系统测量被测铝箔的厚度时,存在外部噪声干扰,且最终采集存储的感应差压信号经过了采集板的放大滤波,所以与仿真波形存在一些差异。

4 结束语

本研究通过 Ansoft Maxwell 软件对比仿真了3种不同激励下,H型传感器测量端和参考端4个绕组上计算得到的感应电压信号,计算测量端和参考端的感应电压信号,并将测量端的感应电压信号减去测量端的感应电压信号,得感应差压信号;改变被测铝板的厚度,得到的感应差压信号也随之改变,由此验证了H型传感器的检测原理及其用于测厚的可行性。

同时,从仿真结果还可以看出,在时域法下,脉冲波激励计算得到的感应差压信号更有利于处理,并且通过试验也验证了该结论的正确性。

参考文献(References):

- [1] 章学铜,尹武良,赵丽婷,等. 基于时域和频域综合分析的金属探伤研究[J]. **机电工程**, 2013, 30(3): 253-256.
- [2] 尹武良. 低频电磁传感检测技术[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [3] 蔡家利,刘 壮,张仲超,等. 电磁铁涡流制动分析与设计[J]. **机电工程**, 2007, 24(8): 84-86.
- [4] 严国斌,方攸同. 高速列车混合励磁涡流制动系统的设计与分析[J]. **机电工程**, 2010, 27(8): 19-22.
- [5] 陈立晶,王化祥,尹武良. 基于FPGA的金属膜厚检测系统[J]. **测试技术学报**, 2011, 25(4): 323-324.
- [6] 阮佳莉,田 京. 脉冲电磁场与软骨代谢[J]. **中国组织工程研究**, 2012, 17(15): 2811-2818.
- [7] YIN W, PEYTON A J. Thickness measurement of non-magnetic plates using multi-frequency eddy current sensors[J]. **NTD&E International**, 2007, 40(1): 43-48.
- [8] YIN W, PEYTON A J. A planar EMT system for the detection of faults on thin metallic plates[J]. **Measurement Science and Technology**, 2006, 17(8): 2130-2135.
- [9] 王梦文. 磁力联轴器隔离套涡流场与温度场的数值计算[J]. **机电工程**, 2010, 27(8): 39-42.
- [10] 吴永霞,张 甲,倪光正,等. 大型汽轮发电机端部电磁场数值分析[J]. **机电工程**, 2012, 29(3): 249-252.
- [11] 王书林. 发电机转子负序列涡流场分析与计算[J]. **机电工程**, 2006, 23(12): 49-50.
- [12] 李安阳,尹武良,陈立晶,等. 基于电磁差动传感器和FPGA的金属探伤研究[J]. **测试技术学报**, 2013, 27(1): 61-66.
- [13] 康学福,陈丽晶,尹武良,等. 基于脉冲涡流信号的金属膜厚测量[J]. **机电工程**, 2012, 29(1): 4-7.
- [14] 李国华,吴 森. 现代无损检测与评价[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [15] 合 烨,陈小安,李云松,等. 基于有限元的异步型电主轴电机电磁场分析和参数优化[J]. **机械**, 2013, 40(2): 1-5, 8.
- [16] 赵 博,张洪亮. Ansoft 12 在工程电磁场中的应用[M]. 北京: 中国水力水电出版社, 2010.

[编辑:罗向阳]