

文章编号: 1672-8785(2016)04-0044-05

用于矿井电力系统的红外图像 增强方法研究

张 林

(商洛学院电子信息与电气工程学院, 陕西 商洛 726000)

摘 要: 随着我国煤矿事业的高速发展和煤矿电力系统的日趋复杂, 矿井电力系统故障的定位与预测变得更加困难, 因此如何实现对矿井电力系统故障的智能诊断显得尤为重要。大多数矿井电力系统故障都与温度有着重要关系, 具体体现在温度与其红外图像灰度值之间的非线性映射关系。针对矿井电力系统红外图像的对比度较差且细节不够明显的特点, 提出了一种基于非采样 Contourlet 变换 (Nonsubsampled Contourlet Transform, NSCT) 的红外图像增强算法, 并在算法模型中构造了一个非线性匹配函数。该函数能够对红外图像的边缘进行一定的增强处理, 并且能够抑制噪声的干扰。实验结果表明, 本文方法可以对矿井电力系统的过热故障进行智能诊断与定位, 并可为用户提供复选解决方案。

关键词: NSCT; 红外图像; 电力系统; 矿井

中图分类号: O432.1 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2016.04.008

Research on Enhancement Method of Infrared Images of Mine Power System

ZHANG Lin

(School of Electronic Information and Electrical Engineering,
Shangluo University, Shangluo 726000, China)

Abstract: With the rapid development of coal mine enterprises and the increasing complication of coal mine power systems in our country, the fault location and prediction of coal mine power systems become more difficult. Therefore, the realization of intelligent diagnosis of faults in mine power systems is very important. Most of faults in mine power systems have an important relationship with temperature. This relationship is embodied in the nonlinear mapping relationship between the temperature and its grey level in infrared images. In view of the poor contrast and unapparent details of infrared images of mine power systems, an infrared image enhancement algorithm based on Nonsubsampled Contourlet Transform (NSCT) is put forward. In the algorithm model, a nonlinear matching function is constructed. The function can be used to implement certain enhancement processing of the edge of an infrared image and suppress the interference of noises. The experimental results show that this method can implement intelligent diagnosis and location of the overheating faults in mine power systems and provide solutions for check.

Key words: NSCT; infrared image; power system; mine

收稿日期: 2015-09-22

作者简介: 张林(1986-), 男, 黑龙江讷河人, 助教, 硕士, 主要研究方向为多元化信息融合与信息处理。

E-mail: 759013520@qq.com

0 引言

随着我国煤矿的大规模开采以及电气化程度的不断提高, 矿井电气化与智能化已经成为了现代煤矿的发展方向。然而矿井电力系统日趋复杂, 这使其故障定位变得更加困难, 同时也给故障判别提出了新的考验。因此, 矿井电力系统故障的智能判别与定位是煤矿现代化的重要组成部分^[1]。由于在对电力系统的故障进行诊断时, 红外图像检测技术具有故障定位准确、操作简单等优点, 所以在电力系统故障诊断领域得到了广泛应用。但是经典的红外图像电力系统故障诊断往往是采用人工巡检的方法进行的。这种方法虽然能够发现故障点, 但是需要大量的人力和物力, 以确保对整个电力系统的全覆盖巡检, 因此该方法很难满足目前大型煤矿电力系统的要求。考虑到电力系统发生故障时通常会伴随发热现象, 导致设备局部温度迅速升高, 因此我们通过对电力系统的温度变化进行监测, 可以及时发现电力系统的故障, 并可以迅速对故障点进行定位^[2]。

由于具有无需接触、准确率高等优点, 红外图像故障检测技术已经在电力系统智能检测领域得到了极其广泛的应用^[3-4]。但是矿井的工作环境差、粉尘浓度大, 这会使红外图像的边缘变得更加模糊, 且对比度更差, 从而导致预测结果更容易受到影响。目前常用的去噪方法很难满足矿井环境的要求, 所以本文提出了一种用于矿井电力系统红外图像增强的非线性图像增强算法。实验中, 采用日本 NEC-Avio 公司生产的 InfReC R500 型红外热像仪 (见图 1) 完成了矿井电力设备红外图像的采集工作。



图 1 InfReC R500 型红外热像仪

1 NSCT 红外图像增强原理

1.1 NSCT 变换介绍

NSCT 变换总共分为两个平移不变的部分: (1) 非下采样金字塔 (Non Subsampled Pyramid, NSP), 用于保证 NSCT 多尺度分析的性质; (2) 非下采样方向的滤波器组 (Non Subsampled Directional Filter Bank, NSDFB), 用于保证 NSCT 多方向分析的特性。由于以上两步操作只是对原有信息的平移, NSCT 变换具有平移时不变的特性, 使得 NSCT 变换后得到的图像与原始图像之间具有一一对应的关系, 而且 NSCT 的低频部分不会包含频率混淆现象, 因此具有更强的方向选择特性。图 2 为 NSCT 变换的结构图^[5]。

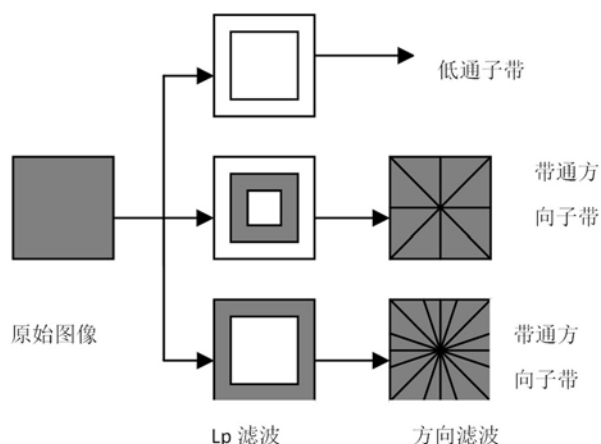


图 2 NSCT 变换的结构图

NSCT 变换的最明显的优点是各向异性和多尺度的变换。它能够在任何方向上实现对任何尺度的分解, 并可产生更多的低频系数以及各个带通方向上的子带, 以确保将红外图像的信息分解到每一个尺度子带的图像上的方向信息; 最后再根据统计分析得到的结果对红外图像不同细节的信息分别进行去噪或者增强处理, 以确保取得最为理想的整幅红外图像增强效果。

1.2 NSCT 图像增强原理

图像增强的目的是为了最大限度地减弱噪声对有效信息的影响, 并提高红外图像的信噪比。另一方面, 由于红外图像的对比度较低, 在对红外图像进行识别之前应该对图像进行增强和除噪处理, 以提高红外图像的信噪比, 从而得到更加清晰的红外图像^[6]。

目前常用的红外图像增强方法基本上都是用函数映射对原始的红外图像信息进行系数变换,然后对变换后的函数系数进行重构。由于红外图像的对比度较低,且含有较多的噪声信息,当采用传统的图像增强算法对红外图像进行增强处理时,也会对噪声信号进行一定倍数的放大,导致图像增强效果不明显,甚至还有图像效果变坏的可能。因此,在对红外图像进行增强处理时,需要考虑如何对红外图像中的噪声信息进行抑制。当采用 NSCT 变换对图像进行增强处理时,选择合适的增强函数对图像的增强效果有着极其重要的作用。因此,本文采用 Jean-Luc Starck 函数^[7],即利用非线性映射函数修正 NSCT 变换系数:

$$T(x) = \begin{cases} k; & x < c\delta \\ \frac{x - c\delta}{c\delta} \left(\frac{m}{x}\right)^p + \frac{2c\delta - x}{c\delta}; & c\delta < x < 2c\delta \\ \left(\frac{m}{x}\right)^p; & 2c\delta < x < m \\ \left(\frac{m}{x}\right)^s; & x \geq m \end{cases} \quad (1)$$

式中, δ 为图像各个子带的噪声标准差; c 为 δ 的系数, $c > 3$ 的噪声信息不会被放大。图像的每个子带上的噪声估计标准差 δ 的计算方法为

$$\delta = \frac{\text{median}(|Y_{m,n}|)}{0.6745} \quad Y_{m,n} \in \{d_{i,j}\} \quad (2)$$

式中, $Y_{m,n} \in \{d_{i,j}\}$ 表示原始图像 $I_{m,n}$ 的 NSCT 变换系数; m 为临界点参数; 小于 m 的子带参数都会被放大, 图像的像素决定了 m 值的大小。在一般情况下, 将 NSCT 子带系数块内最大值的 80% 设置为 m 值。通过对参数 m 和 c 进行调整, 可以有效调整图像的细节增强与噪声抑制。通过调整 k 值, 可以改变系统对噪声的抑制程度。

2 矿井电力系统的故障诊断

物体各个部位的温度差异表现在红外图像上就是辐射能量等级的差异。也就是说, 红外图像的灰度值与物体温度之间存在一定的非线性对应关系。因此, 基于此理论就可以采用红外图像分析技术对矿井电力系统故障进行监测和

定位。然而, 在对设备红外图像进行采集的过程中, 容易受到设备其他部分的热辐射或环境热辐射的影响, 导致采集到的红外图像经增强处理后仍然包含许多孤立的脉冲噪声信号, 这就给后续的故障判别增加了难度。另一方面, 由于矿井电力系统的局部过热现象往往在红外图像上呈现出一定的区域性特点, 在实际操作中可以通过拓扑矩阵去除掉孤立的噪声脉冲信号, 最终实现对矿井电力系统的过热区域信息进行提取和定位的目的。

首先, 采用阈值法对矿井电力系统红外图像的过热区进行初步标记。用 $x(i, j)$ 表示第 (i, j) 个像素点的灰度值, 用矩阵 $I_{m \times n}$ 表示红外图像所有像素点的灰度值。设红外图像像素点的最大灰度值为 $Max_{m \times n}$, 阈值为 T_h , 因此将 $x(i, j) \geq T_h$ 的像素点标记为 1, 将 $x(i, j) < T_h$ 的像素点标记为 0, 从而得到一个 $m \times n$ 的矩阵 $P_{m \times n}$ 。然后遍历矩阵 $P_{m \times n}$ 的所有像素点, 寻找 4×4 的单位矩阵。如果存在这样的 4 阶单位矩阵, 那么就将矩阵 $P_{m \times n}^{new}$ 所对应的位置赋 1, 其余则赋 0。若不存在, 则令 $T_h = Max_{m \times n}$, $n = 1, 2, 3, \dots$, 并重新寻找赋值; 依此类推, 直到找到 4×4 的单位矩阵为止。图 3 所示为具体运算过程^[8]。

在采用非线性 NSCT 变换对红外图像进行增强处理后, 通过比较矿井电力系统红外图像的相对温度差就可以对故障进行判定。

相对温度差就是两个测量点之间的温度差与中热电之间的升温百分比:

$$\phi_t = \frac{\tau_1 - \tau_2}{\tau_1} \times 100\% = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_0} \times 100\% \quad (3)$$

式中, τ_1 和 T_1 分别为温度升高值和温度; τ_2 和 T_2 分别为正常相对应点的升温值和温度; T_0 为环境的参考温度值。根据矿井电力系统被测对象的相对温度差大小, 可以对矿井电力系统故障的严重程度进行等级划分。表 1 列出了矿井电力系统部分故障的温度差判据。

3 结果与讨论

本文对矿井电力系统中容易发生故障的部

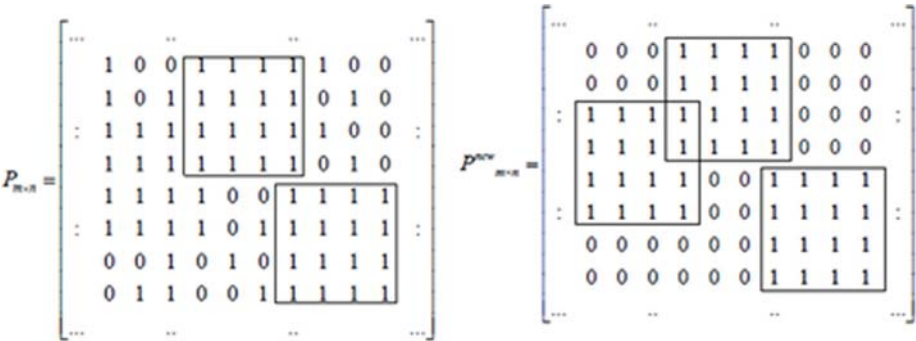


图 3 拓扑矩阵修正图

表 1 矿井电力系统故障的相对温度差判据

故障部位	矿井电力系统的故障类型			
	小故障	大故障	重大故障	特大故障
隔离开关	>35%	>60%	>80%	>95%
充油套管	>20%	>60%	>80%	>95%
高压开关柜	>30%	>65%	>80%	>95%
SF6 断路器	>20%	>65%	>80%	>95%
真空断路器	>20%	>60%	>80%	>95%
其他电力系统	>35%	>60%	>80%	>95%

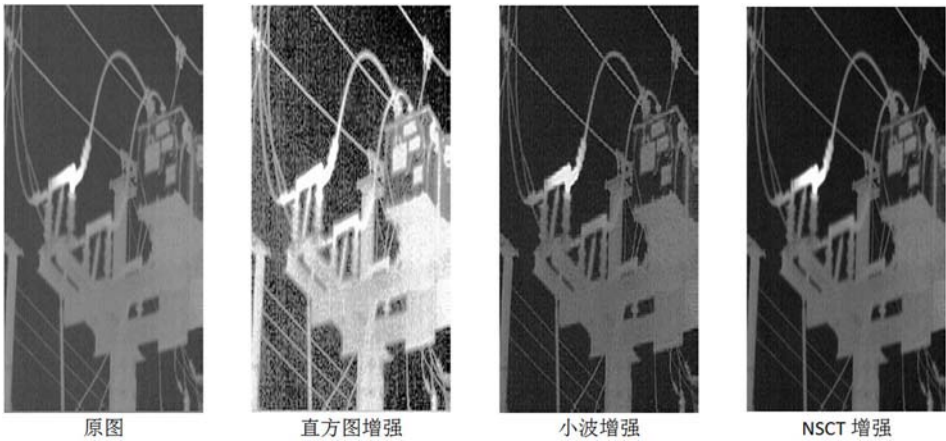


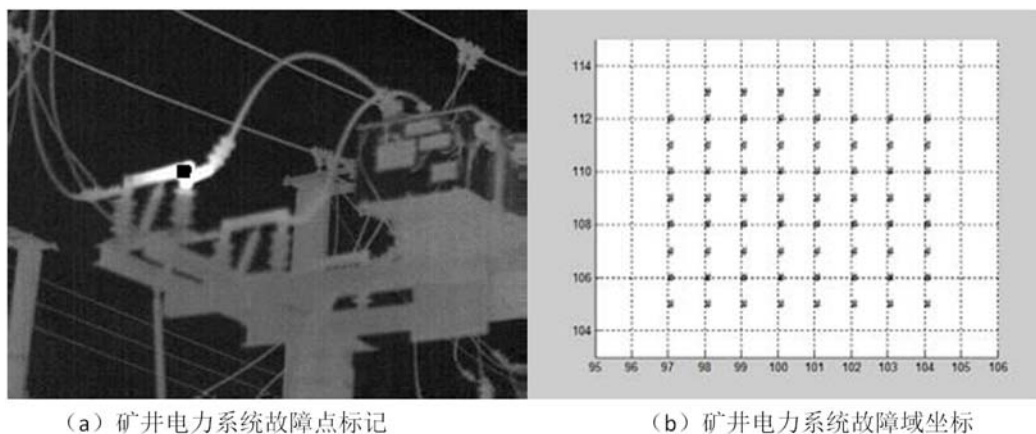
图 4 不同增强算法的结果对比

位进行了实验，并选取其中一个部位的故障进行了讨论和分析。经对比可得出以下结论：

(1) 图 4 所示为红外图像的增强效果对比。可以看出，基于直方图均衡化的图像增强方法对红外图像的增强效果较好，但是我们也发现其噪声信息也会得到同等倍数的放大，且信噪比改善不明显；在采用小波增强方法时，虽然红外图像的信息得到了增强，但是小波增强缺少图像的方向信息，导致图像的信噪比改善不明

显，且噪声抑制效果也不如基于非线性 NSCT 的红外图像增强算法。后者可以很好地对红外图像细节进行增强处理，且对图像中的噪声具有很好的抑制效果，信噪比改善也较为明显。

(2) 在对矿井电力系统的疑似故障点进行标记(见图 5(a))后，得到了矿井电力系统过热点的坐标图(见图 5(b))。矿井电力系统红外图像的温度分布图由其灰度值反映出来，因此通过对比坐标图中的数据就可完成对故障点的预判与定



(a) 矿井电力系统故障点标记

(b) 矿井电力系统故障域坐标

图 5 矿井电力系统的疑似故障区域的提取结果

位, 从而为接下来的矿井电力系统故障点定位提供理论依据。

(3) 在提取矿井电力系统的过热区域之后, 通过式 (3) 可对图 4 中矿井电力系统部件的故障进行判别和定位。

参考文献

- [1] 王炳建, 刘上乾, 周慧鑫. 基于平台直方图的红外图像自适应增强算法 [J]. 光子学报, 2005, 34(2): 299-302.
- [2] 刘健, 解辰, 蔺丽华, 等. 基于红外图像的电力变压器油位自动检测方法 [J]. 高电压技术, 2010, 36(4): 964-970.
- [3] Chang S G, Yu B, Vetterli M. Spatially Adaptive Wavelet Thresholding With Context Modeling for Image Denoising [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(9): 1522-1531.

- [4] Jean-Lue S. Gray and Color Image Contrast Enhancement by the Curvelet Transform [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2003, 12(6): 706-717.
- [5] 李殿均, 贾振红, 覃锡忠, 等. 一种新的基于 NSCT 域的遥感图像增强算法 [J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(33): 203-206.
- [6] 李佐胜, 李文利, 姚建刚, 等. 应用绝缘子红外热像处理的现场污秽等级检测方法 [J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(4): 132-138.
- [7] Chen J Y, Sun H. Multi-Resolution Edge Detection Based on Alpha-Stable Model in SAR Image Using Translation-Invariance Contourlet Transform [C]. Vancouver: IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology, 2006.
- [8] 杨振亚, 陈裕泉, 潘敏, 等. 基于 Curvelet 变换的 X 射线图像增强 [J]. 计算机科学, 2010, 37(3): 275-277.

(上接第 10 页)

3 结论

结合制冷机一阶时滞控制模型, 给出了制冷机 PID 温度控制器的频域设计方法。该方法的优点是在制冷机一阶时滞模型参数确定后, 可以直接分析出 PID 各参数完整的取值范围。首先确定比例增益 K_p 的取值范围, 当 K_p 在其值域内取某一给定值时, (K_i, K_d) 的取值范围是一个封闭的多边形区域。参数取值越接近稳定区域内部, 系统的稳定性越高。该方法在实际应用中可为 PID 控制参数的在线整定提供指导。

参考文献

- [1] 杨鲁伟. 斯特林型高频脉冲管制冷机的现状与样机研制 [J]. 低温与超导, 2003, 31(3): 1-6.
- [2] 陈国邦, 颜鹏达, 李金寿. 斯特林低温制冷机的研究与发展 [J]. 低温工程, 2006, 25(5): 1-10.
- [3] 侯森, 王波, 甘智华, 等. 斯特林与脉管制冷机控制系统的研究进展 [J]. 低温工程, 2014, 33(1): 6-15.
- [4] 方康玲. 过程控制系统 [M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2002.
- [5] Ang K H, Chong G, Li Y. PID Control System Analysis, Design, and Technology [J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2005, 13(4): 559-576.
- [6] 李友善. 自动控制原理 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1980.
- [7] 胡寿松. 自动控制原理 (第 5 版) [M]. 北京: 科学出版社, 2007.