

文章编号:1007-2780(2010)03-0439-05

基于小波变换与加权滤波的电机红外图像增强

孙玉胜^{1,2}, 白 克^{2*}

(1. 华中科技大学 控制科学与工程系, 湖北 武汉 430074;
2. 郑州轻工业学院, 河南 郑州 450002)

摘 要: 电机异常运行会导致电机温度变化, 红外图像像素点的灰度值反映了物体的相对温度高低, 通过电机红外图像的亮度变化获得电机温度变化信号是一种较好诊断方法。但仅依靠红外热像仪获得的红外图像的对比度低、噪声较为严重, 所以必须对图像进行增强处理。提出了一种基于小波变换与加权滤波相结合的红外图像增强算法, 该算法能较好地保留图像的高频与低频信息, 实验证明, 该增强算法具有良好的图像增强能力和视觉效果。

关 键 词: 电机红外图像; 小波变换; 加权滤波; 高低频信息; 图像增强

中图分类号: TP391; O177 **文献标识码:** A

Enhancement of Motor Infrared Image Based on Wavelet Transform and Weighted Filtering

SUN Yu-sheng^{1,2}, BAI Ke²

(1. Control Science & Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;
2. Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Abnormal running of the motor would cause it's temperature changing. The pixel gray values of a infrared image can reflect the relative temperature levels of the object. It is a good diagnosis method to obtain the motor temperature levels via the luminance variation of the motor infrared image. But the infrared images obtained by the IR imaging sensor are low contrast, and serious noisy, therefore, it is necessary to enhance the IR images. Based on wavelet and weighted filtering, a novel enhancement method is proposed in this paper, this algorithm could retain high and low frequency information well. The results show that this enhancement algorithm has excellent image enhancing function and visual effect.

Key words: motor infrared image; wavelet transform; weighted filtering; high and low frequency information; image enhancing

1 引 言

电气传动系统中的电机, 如泵站泵机、炉窑风机等, 常常是昼夜连续运行的。这类系统中, 如果电机出现异常运行情况未及时发现与排除, 可能

会造成电机及相关设备损坏, 产生重大经济损失。电机长时间过载、绝缘局部损坏等异常运行情况都会直接引起电机温度变化。对电机来说, 上述故障造成电机运行异常的大部分直观表现是电机的温度升高(各种故障使电机的温度升高的速度

收稿日期: 2010-01-02; 修订日期: 2010-01-18
基金项目: 河南省科技攻关项目(No. 0623031800)
作者简介: 孙玉胜(1964—), 男, 河南郑州人, 教授, 主要研究方向: 电机电器及其控制, 图像处理与模式识别。
* 通讯联系人, E-mail: michael_white@126.com

不同),加上环境温度以及电机自身由于长期运行所产生的热量,实时获得实时电机温度变化信号并及时加以处理,可以防止电机损坏,保证系统正常运行^[1]。

为保证电机安全高效运行,对电机状态检修提出了更高的要求。由于状态检修主要依赖于对运行中设备的状态检测以及在线监测手段,所以,电力设备运行状态检测和在线监测在电力安全生产中始终起着重要的作用。红外成像技术作为一门新技术,在电力设备运行状态检测中有着广阔的应用前景。红外成像是以设备的热状态分布为依据对设备运行状态良好与否进行诊断,它具有不停运、不接触、远距离、快速、直观地对设备的热状态进行成像的优点。由于设备的热像图是设备运行状态下热状态及其温度分布的真实描写,而电力设备在运行状态下的热分布正常与否是判断设备状态良好与否的一个重要特征,因而采用红外成像技术可以通过对设备热像图的分析来诊断设备的状态及其隐患缺陷^[2]。

由于受到材料和工艺的限制,仅依靠红外热像仪得不到理想的红外图像,对红外探测器输出图像进行增强处理尤为必要。图像增强作为一种基本的图像预处理手段,是指对图像的某些特征,如边缘、轮廓、对比度等进行强调或突显,以便于观察或做进一步的分析与处理。本文提出了一种基于小波变换与加权滤波相结合的红外图像增强算法,该算法能较好地保留图像的高频与低频信息,具有良好的图像增强能力和视觉效果。

2 图像增强算法

2.1 小波增强

传统的图像增强算法在改善图像对比度和增强图像细节的同时放大了噪声,且只能从图像整体角度修正图像,虽能较好地保持图像的原始概貌,但局部对比度的增强效果不佳。而小波变换具有良好的空间(时间)和频率局部特性,能检测到信号的局部突变,被誉为“数学显微镜”^[3]。小波变换的概念是 1984 年法国物理学家 J. Morlet 提出的,之后物理学家 A. Grossman 采用平移和伸缩不变性建立了小波变换的理论体系,1989 年 S. Mallat 提出了多分辨分析概念,统一了小波构造的方法,特别是二进小波变换的快速算法,使得小波变换走向实用性^[4]。与傅里叶变换、窗口傅

里叶变换相比,小波变换是空间(时间)和频率的局部变换,因而能有效地从信号中提取信息^[5]。它通过平移和伸缩等运算功能对函数或信号进行多尺度细化分析,解决了傅里叶变换所不能解决的许多困难问题。小波变换是把一种称为基本小波的函数 $\Psi(t)$ 做位移后,再在不同尺度 a 与待析信号 $x(t)$ 做内积:

$$WT_x(a,\tau) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \Psi^* \left(\frac{t-\tau}{a} \right) dt \quad (a > 0) \tag{1}$$

尺度和位移经过离散化后,可以得到离散小波的变换定义为:

$$WT_f(a_0^j, k\tau_0) = \int f(t) \Psi_{a_0^j, k\tau_0}^*(t) dt \quad j = 0, 1, 2, \dots, k \in Z \tag{2}$$

图像是二维信号,对任意一点 (x, y) 有一个图像信号的灰度值 $f(x, y)$ 与之对应。令函数 $f(x, y) \in L^2(R^2)$ 表示一个二维信号, x, y 分别是其横坐标和纵坐标。其二维小波变换的定义是以函数簇 $\Psi_{a,b_1,b_2}(x, y) = \frac{1}{a} \Psi\left(\frac{x-b_1}{a}, \frac{y-b_2}{a}\right)$ 为积分核的积分变换,则二维连续小波变换为:

$$WT_f(a; b_1, b_2) = \langle f(x, y), \Psi_{a,b_1,b_2}(x, y) \rangle = \frac{1}{a} \iint_{R^2} f(x, y) \Psi\left(\frac{x-b_1}{a}, \frac{y-b_2}{a}\right) dx dy \tag{3}$$

式中, a 是尺度伸缩因子, b 为平移因子。其对应的逆变换为:

$$f(x, y) = \frac{1}{c_\Psi} \int_0^{+\infty} \frac{da}{a^3} \iint WT_f(a; b_1, b_2) \cdot \Psi\left(\frac{x-b_1}{a}, \frac{y-b_2}{a}\right) db_1 db_2 \tag{4}$$

其中 $c_\Psi = \frac{1}{4\pi^2} \iint \frac{|\Psi(\omega_1, \omega_2)|^2}{|\omega_1^2 + \omega_2^2|} d\omega_1 d\omega_2$ 。在实际应用的信号处理中,更多考虑的是离散小波变换,它是连续小波变换的离散化,以满足数据分析和处理的需要。

根据 Mallat 的金字塔分解算法^[6,7],可以利用 $\sum h_n = 1, \sum g_n = 0$ 的双正交滤波器实现图像的分离二维正交小波快速分解。如一幅二维离散图像 $c(m, n)$,二维小波变换可以将它分解为各层各个分辨率上的近似分量。 cA_j 是平滑逼近, cH_j 是水平方向细节分量, cV_j 是垂直方向细节分量, cD_j 是对角线方向细节分量,其二层小波图像分解过程如图 1 所示。

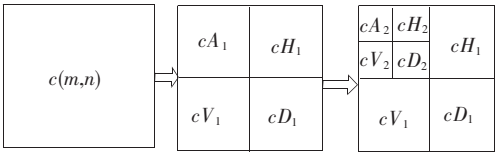


图 1 小波图像分解过程

Fig. 1 Wavelet image decomposition process

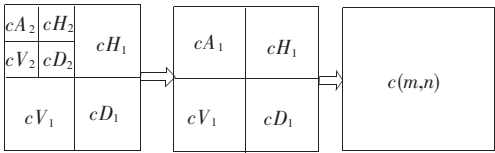


图 2 小波图像重构过程

Fig. 2 Wavelet image reconstruction process

其二层小波图像重构过程正好与此相反。如图 2 所示,基于小波变换的图像处理,是通过对其图像分解过程中所产生的近似分量与细节分量系数的调整,使重构图像满足特定条件,而实现图像处理。

小波变换将一幅图像分解为大小、位置和方向均不同的分量。做逆变换之前,可以根据需要对不同的位置、不同的方向上的某些分量改变其系数大小,从而使得某些感兴趣的分量被放大而使某些不需要的分量减小^[8]。

由于图像经过二维小波分解后,图像的轮廓主要体现在低频部分,而细节部分则体现在高频部分。因此,可以通过对低频分解系数进行增强处理,对高频分解系数进行衰减处理,达到图像增强的结果^[8]。

本文采用美国 FLIR 公司提供的电机红外图像(motor infrared image)进行增强处理。因为原始图像为伪彩色图像,因此要灰度化处理,图 3 为经过灰度化的原始图像,小波增强效果如图 4 所示。



图 3 电机红外图像

Fig. 3 Motor infrared image



图 4 小波增强后图像

Fig. 4 Wavelet enhanced image

从图 4 可以看到,经过小波分解与重构后,其主要信息(即轮廓)由低频部分来表征,而其细节部分则由高频部分表征。通过对小波函数的阈值适当选取使得背景与目标完全分离开来,目标得到了较好的提取,但是由于高频信息的丢失造成细节上的弱化,所以图像给人以模糊的感觉。

2.2 高通滤波

由于在小波变换中图像的高频信息被衰减,图像细节显得很不清,所以需要对该图像进行高通滤波,来弥补小波增强的不足。频域滤波可用下述关系式表示:

$$G(u,v) = H(u,v)F(u,v) \quad (5)$$

式中 $F(u,v)$ 是需要锐化处理的图像 $f(x,y)$ 的变化。通过函数 $H(u,v)$ 使 $F(u,v)$ 的低频分量无衰减,输出 $G(u,v)$, $G(u,v)$ 经过反变化得到锐化图像 $g(x,y)$ 。由于滤除了低频分量,而高频分量可以无损地通过,所以称为高通滤波。

高通滤波法常用巴特沃斯(Butterworth)高通滤波器。截止频率 D_0 的 n 阶巴特沃斯高通滤波器传递函数为:

$$H(u,v) = \frac{1}{1 + (\sqrt{2} - 1)[D_0/D(u,v)]^{2n}} \quad (6)$$

式(6)中, D_0 为截止频率; $D(u,v) = \sqrt{u^2 + v^2}$, 在 $D(u,v) = D_0$ 处, $H = \sqrt{2}/2H_{\max}$; n 为阶数且取正整数,用来控制衰减速度。本文中 Butterworth 高通滤波器截止频率 $D_0 = 5$, $n = 2$ ^[9]。高通滤波过程如图 5 所示。

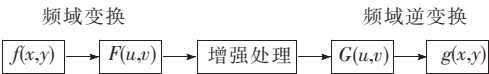


图 5 频域高通滤波示意图

Fig. 5 High pass filter of frequency domain

由于高通滤波将图像大量的低频分量信息都滤除了,所以整个图像显得十分昏暗(如图 6 所示)。红外图像对比度低,受背景的影响很大,在背景被成功滤除的同时,目标图像也损失了大量的有用信息;为使图像清晰,必须在处理后的图像中保留一定的原图像成分。

为了保留图像的低频分量,考虑将 Butterworth 高通滤波器的传递函数做加权处理。将 $H(u,v)$ 加权,变为 $kH(u,v)$,具体加权系数视图像而定。过小则图像显得昏暗,过大则图像整体发亮,影响对电机异常发热的观测。

图像加权滤波之后低频分量得以保存,处理后的图像比原图更加清晰,对比度更强。经过反复试验得出结果,取 $3 \leq k \leq 4$ 时效果最佳。图 7 中取 k 为 3.75,与图 6 相比,可以看出加权效果较好,图像的对比度得到了加强,具有一定的立体感;但由于还是损失了一定的低频成分,所以图像边缘信息较少,仍然显得不够清晰。

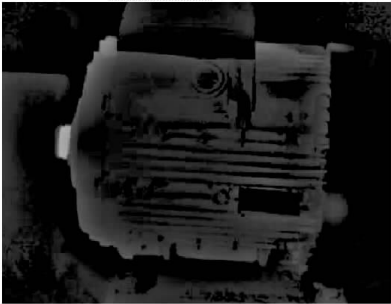


图 6 经典 Butterworth 滤波后图像

Fig. 6 Image after Butterworth classical filter

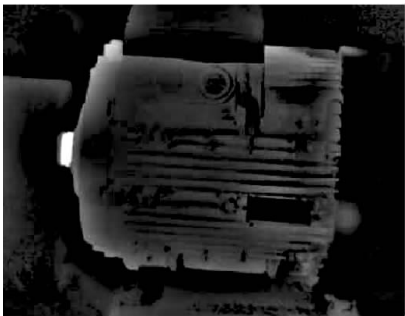


图 7 加权方法改进滤波后图像

Fig. 7 Image after weighted improved filter

3 小波变换与加权 Butterworth 滤波相结合的红外图像增强算法

传统预处理方法主要是取图像信噪比与图像

分辨率中的较重要者,二者无法兼顾。高通滤波虽然增强了目标边缘,但同时也放大了噪声;而低通滤波则在平滑噪声的同时也模糊了边缘。Butterworth 高通滤波滤除了图像的低频部分,而小波增强会使图像的高频信息即图像细节受到一定的损失,二者各有缺点,所以考虑将改进后的 Butterworth 滤波图像与小波增强图像相结合来对图像进行增强。图 8 为本文算法处理框图,图 9 为小波变换与经典 Butterworth 滤波相结合的图像,图 10 为本文提出的小波变换与加权 Butterworth 滤波相结合的图像。从图 10 可以看到,图像分别经过小波增强和加权高通滤波后,低频和高频分量得到较好的保存,即图像的边缘和细

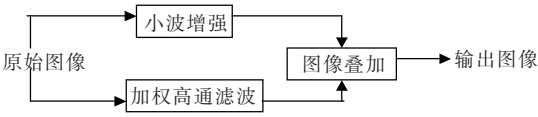


图 8 本文算法处理框图

Fig. 8 Block diagram of the algorithm proposed in this paper

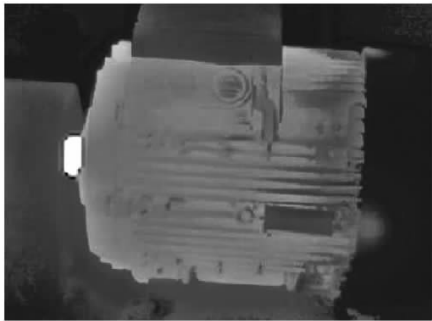


图 9 小波与经典 Butterworth 滤波结合图像

Fig. 9 Image based on combination with wavelet and classical Butterworth filter

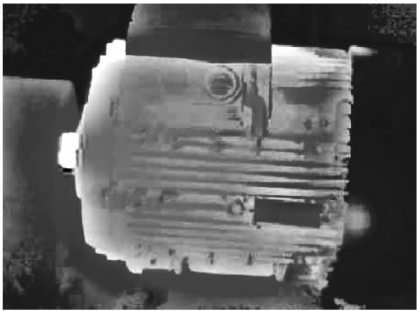


图 10 本文算法增强图

Fig. 10 Enhanced image based on algorithm proposed in this paper

节分别得以显示。将两种处理后的图像叠加所得到的最终图像层次分明,不但图像边缘提取较好,而且细节部分也得到了较多的保留,整体图像看起来视觉效果得到了很大的改善,具有一定的立体感。图 9 为未经过加权的 Butterworth 滤波与小波增强相结合的图像,与图 10 相比,明显不如加权后结合的图像清晰。

4 图像增强效果的定量评价

目前评价图像增强效果除了肉眼观察之外,还需要有定量的评价。本文利用均方根误差和峰值信噪比来对图像的信息量和清晰度进行分析。

表 1 实验增强数据比较				
Table 1 Enhancement data comparison in the experiment				
图像增强	普通 Butterworth 滤波增强	加权 Butterworth 滤波增强	小波增强	本文方法增强
峰值信噪比	9.194 2	10.110 3	14.580 3	15.109 2

5 结 论

提出了一种基于小波变换与加权滤波相结合的红外图像增强算法,该算法能较好地保留图像的高频与低频信息。实验中对数幅 FLIR 红外电机图像进行了增强,通过调节加权系数,均取得了

增强图像 B 与原始图像 A 之间的均方根误差 RMSE 定义为:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M [A(i,j) - B(i,j)]^2}{M \times N}} \tag{7}$$

式(7)中,M、N 为图像的行数和列数。峰值信噪比 PSNR 定义为:

$$PSNR = 10\lg \frac{255 \times 255}{RMSE^2} \tag{8}$$

PSNR 越高,则增强效果越好。文中算法与各种增强方法(峰值信噪比)比较如表 1 所示。

较好的增强效果。所提出的算法突出了图像的细节信息,有助于对图像的分辨,使图像整体视觉效果得到改善,有利于对电机正常运行的监测和检修工作的进行。实验结果证明了所提出算法的有效性和实用性。

参 考 文 献:

[1] 马义方,汪雄海. 基于信息融合技术的电机温度远程监控系统 [J]. 2005,32(3):26-29.

[2] 韦先霜. 电机红外图像检测诊断系统的研究 [D]. 武汉:华中科技大学,2009.

[3] Lian Jing. Research of spline wavelet adaptive thresholds multi-scale edge detection image analysis techniques [J]. J. System Simulation, 2005,18(6):1473-1477.

[4] 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.

[5] 陈武凡. 小波分析及其在图像处理中的应用 [M]. 北京:科学出版社,2002.

[6] 彭玉华. 小波变换与工程应用 [M]. 北京:科学出版社,2007.

[7] Mallat S. A theory for multiresolution decomposition: the wavelet representation [J]. IEEE Trans. on Patern Anal. Mach. Intell., 1989,11(7):674-693.

[8] 飞思科技产品研发中心. MATLAB6. 5 辅助图像处理 [M]. 北京:电子工业出版社,2003.

[9] Chen Chuanfeng, Zhu Changren, Song Hongqin. Image enhancement based on butterworth low pass filter [J]. Modern Electron Technology, 2007,24:163-165.