

一种基于小波变换的 V 型坡口焊缝识别算法

蔡志勇^{1),2)} 陈荣¹⁾ 余伏章²⁾ 李冰¹⁾

¹⁾(南昌大学信息工程学院, 南昌 330029) ²⁾(洪都航空工业集团飞机设计研究所, 南昌 330024)

摘要 小波变换分析方法是现代迅速发展起来的一门新兴学科,在图像处理方面得到很好的应用。利用小波变换检测信号边缘的优势,对 V 型焊接激光图像的边缘检测技术进行了系统的研究,对 V 型坡口焊接激光图像的焊缝识别方法进行了系统的研究,给出了基于小波变换的焊缝识别算法,同时进行了大量的实验研究,提出了一种基于小波变换的 V 型坡口激光图像光纹提取以及计算焊接纠偏量的方法。

关键词 小波变换 V 型坡口 焊缝识别

中图分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2007)05-0866-05

A V-groove Welding Seam Recognition Algorithm Based on Wavelet Transform

CAI Zhi-yong^{1),2)}, CHEN Rong¹⁾, YU Fu-zhang²⁾, LI Bing¹⁾

¹⁾(School of Information & Engineering, Nanchang University, Nanchang 330029)

²⁾(Aircraft Design Department of Hongdu Aviation Industry Group, Nanchang 330024)

Abstract The wavelet analysis is a newly arisen subject and it has been applied to image processing very well. With the advantages of the wavelet analysis edge detecting, we conducted a systemic study on the technology of detecting the image edge and seam recognition of V-groove. A seam recognizing algorithms based on wavelet transform is proposed. Based on the experiments on seam recognition, a method for detecting the image edge of V-groove and calculating the welding deviation is presented.

Keywords wavelet transform, V-groove, seam recognition

1 引言

小波分析是自 1986 年以来由于 Meyer、Mallat 及 Daubechies 等人的奠基工作而迅速发展起来的一门新兴学科,它是 Fourier 分析划时代的发展结果。如果说小波分析是描述信号处理的一种新语言,那么多分辨率分析(multi-resolution analysis, MRA)与快速小波算法(fast wavelet algorithm, FWA)就是这种语言的语法规则^[1]。其中,MRA 是小波分析的核心内容之一,其系统和过程符合人类视觉和思维方式,被称为“数学显微镜”。而 FWA 又称为 Mallat 算法,它基于 MRA,通过调节尺度因子实施对信号由细至粗的分解和由粗

至细的重构。Mallat 算法在小波分析中的地位相当于快速傅里叶变换在经典傅立叶分析中的地位^[2]。

图像边缘的检测和提取一直是图像处理的热点研究方向,近年来发展的 B 样条小波用于图像边缘提取表现出优良的特性。

2 提取图像边缘原理

信号 $f(x)$ 在尺度 s 和位置 x 的小波变换是:

$$W_s f(x) = f(x) * \psi_s(x) = \int f(\tau) \psi_s(x - \tau) dt$$

其中, $\psi_s(x) = \frac{1}{s} \psi\left(\frac{x}{s}\right)$ 是满足容许条件的母小波经

基金项目:国家自然科学基金项目(50075037);国家“863”高技术研究发展计划(2001AA422220)

收稿日期:2005-11-16;改回日期:2006-03-09

第一作者简介:蔡志勇(1967 -),男,博士,高级工程师,硕士生导师。主要从事数字信号处理、无线电通信和飞机航电系统设计研究。

E-mail:czyong@263.net.cn

尺度因子伸缩所得。

设平滑函数 $\theta(x)$ 是一个实值函数, 满足积分为 1 且无穷远处趋于 0 的条件, 即 $\int_{-\infty}^{+\infty} \theta(x) dx = 0$ 。

令 $\theta_s(x) = \frac{1}{s} \theta\left(\frac{x}{s}\right)$ 。定义两个小波函数如下:

$$\begin{aligned} \psi^1(x) &= \frac{d\theta(x)}{dx} \\ \psi^2(x) &= \frac{d^2\theta(x)}{dx^2} \end{aligned} \quad (1)$$

以 $\psi^1(x)$ 和 $\psi^2(x)$ 为小波函数, 则对于 $f(x) \in L^2(\mathbb{R})$, 小波变换为

$$W_1^1 f(s, x) = f * \psi_1^1(x) = s \frac{d(f * \theta_s)}{dx}(x) \quad (2)$$

$$W_1^2 f(s, x) = f * \psi_1^2(x) = s^2 \frac{d^2(f * \theta_s)}{dx^2}(x) \quad (3)$$

可见这样的小波变换实质上是信号被平滑函数低通

滤波后的导数, 因此, 小波变换的大小反映了信号上升或下降的速率的大小, 小波模最大值处对应着信号的突变点, 如果 $f(x)$ 是图像信号也就是图像的边缘点。若 x_1 是 $f(x)$ 突变点, $f(x)$ 进行上述的小波变换后, 则 x_1 对应于 $W_1^1 f(s, x)$ 的局部极大值点, $W_1^2 f(s, x)$ 的零点。因此, 通过分析 $W_1^1 f(s, x)$ 极大值点和 $W_1^2 f(s, x)$ 零点, 就可以找出信号突变点, 从而找到图像的边缘。

3 V 型坡口焊缝识别方法及实验分析

根据离散小波变换的 Mallat 算法可用待分析列灰度信号 a_0 经过滤波器组来进行多分辨分析, 分解为 5 层 (如图 1 所示)。本文采用三次样条小波作为检测焊缝位置的小波, 根据实验经验, 其对应的小波滤波器系数和尺度滤波器系数^[3]如表 1 所示。

表 1 三次样条小波滤波器系数

Tab.1 Cubic spline wavelet filter efficient

n	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
$g(n)$	0.000 0	0.062 5	0.250 0	0.375 0	0.250 0	0.062 5	0.000 0	0.000 0
$h(n)$	-0.000 08	-0.016 43	-0.108 72	-0.592 61	0.592 61	0.108 72	0.016 43	0.000 08

由上述可知, 离散小波变换的 Mallat 算法可用待分析信号经过滤波器组来表示, 所以小波算法实现焊缝识别的方法是, 将焊接图片的每列灰度信号

a_0 按照上述所讲述的多分辨分析进行 5 层分解, 这种算法又名小波变换多孔算法, 如图 1 所示, 再对分解后得出的数据进行处理。

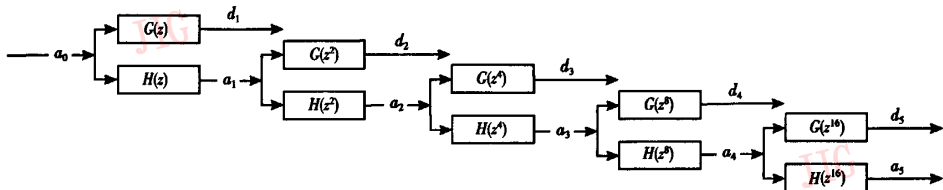


图 1 对列灰度信号的 5 层多分辨分析

Fig. 1 Five layers of analysis to column gray curve

因此, 针对 V 型坡口图像的特点, 提出了如下的小波算法。

(1) 取图 2 中的 V 型坡口图像的列灰度曲线, 如图 3 第一行所示 (灰度信号), 激光边缘在灰度曲线中的表现是阶跃性的跳变。采用三次样条小波函



图 2 V 型坡口图像

Fig. 2 The figure of V-groove

数对其进行尺度 2^j 的小波变换时, 在多尺度下小波变换的值在激光边缘处表现出较明显的峰值, 如图 3 第 2 行 (d_1) 所示, 其符号正负则决定于此跳变时是负跳变还是正跳变, 而噪声的小波变换则随尺度加大而迅速减小。

(2) 为了可靠地识别边沿, 可以把一部分尺度上对应于同一空间位置 k 处的小波变换相乘, 例如, 通过尺度 1 与尺度 2 的小波变换相乘, 即 $WT(j=1, k) \cdot WT(j=2, k)$, 就能将边沿表现得更突出, 并把噪声的表现削弱 (图 4)。图 4 第 3 行即为 $d_1 \times d_2$ 的结果。

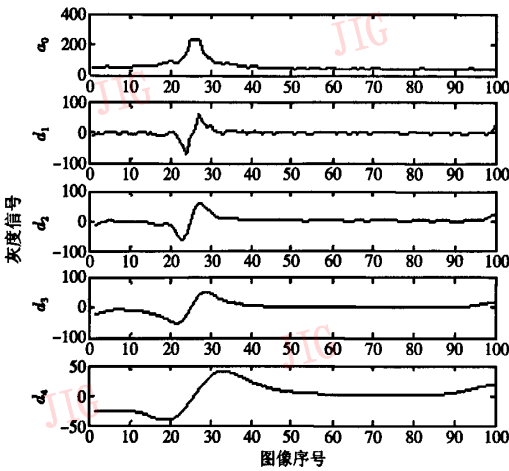


图 3 列灰度曲线的小波变换
Fig. 3 Wavelet transform of column gray curve

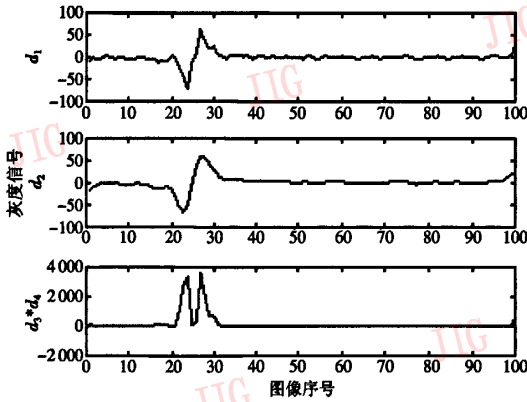


图 4 列灰度曲线尺度 1 与尺度 2 的小波变换相乘
Fig. 4 The wavelet transform product of column gray curve scale 1 and 2

(3) 图 4 中的两个峰值点即为 V 型坡口激光图像某列的上下两个边沿点。将这两个点位置的灰度值置为最亮,其他点变为黑色。文献[4]、[5]运用小波的阈值于图像边缘提取得到了较好的效果。

(4) 搜索 V 型坡口图像每一列的上下边沿点,并将这些点进行连接。这样就把 V 型坡口光纹图样提取出来了(如图 5(a)所示)。

(5) 为了更好地检测图像曲线和计算,对 V 形特征曲线的中心取样显得格外重要,在计算机中,实现中心取样很简单,只要把条纹同一纵向坐标的边缘值相加除以 2 就得到中心值的纵坐标,再将除中心点外的点全部变为黑色。中心取样后的图像如图 5(b)所示。

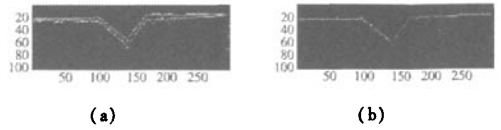


图 5 V 型坡口光纹图样
Fig. 5 The figure of V-groove

(6) 通过上述 5 步,利用小波变换方法已把 V 型坡口光纹图样提取出来了,但从图中可以看出,其线段并不直,有轻微波动,所求出的 V 型坡口位置(即线段的交点)将会出现误差。因此,再做一次 Hough 变换,进行直线拟合,得到图 6 所示的图样(图 6 已给出)。这样求出的交点坐标将是准确稳定的。图 6 的左交点、底部交点和右交点坐标(像数点)分别是(103,76)、(139,34)和(160,76)。



图 6 Hough 变换后的 V 型坡口图样
Fig. 6 The figure of V-groove after hough transform

对 V 型坡口焊接图像的处理,最终目的是得出焊枪与焊缝的位置关系,找出偏差信息,引导焊枪自动跟踪焊缝^[6]。

当提取出结构光纹图样,计算出特征点的位置后,与初始值进行比较,当没发生偏差时,应与初始值相等。根据这两个位置的关系判断焊缝发生了左偏还是右偏。

为了验证焊缝识别算法的准确、有效,以及在不同偏差下焊缝识别算法的效果,做了一系列 V 型坡口焊缝识别实验。选取不同的实验样本图像,进行焊缝识别实验,识别结果表明:V 型坡口处于任何位置,识别均能保持很高的准确率;同时不管弧光干扰强弱,都能准确地将 V 型坡口识别出来,焊缝识别的效果良好,能够满足实际焊接时的跟踪需要^[7]。图 7 是一组 V 型坡口焊接图像实验样本和识别出来的 V 型坡口对照图。根据识别得到的 V 型坡口,焊接跟踪可以 C 点(V 型坡口底部点)为参考点。图 8 是识别的 V 型坡口位置横坐标的曲线,表 2 是其相对应的数据。根据实验实际情况,V 型坡口底部点初始位置为 140(像素点),得到焊接偏差曲线如图 9 所示,表 3 是其相对应的数据。V 型坡口位置的准确识别是实现焊缝跟踪的前提,特别是在强

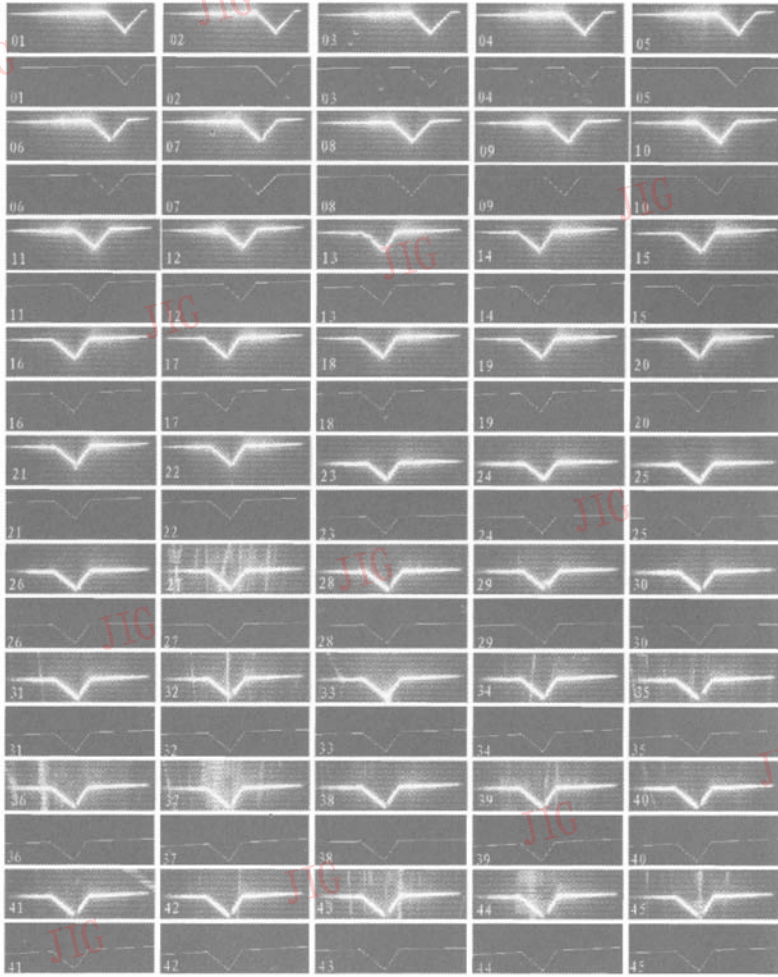


图 7 V 型坡口实验图像样本及其识别结果对照

Fig. 7 Comparison of V-groove's experiment and result figure

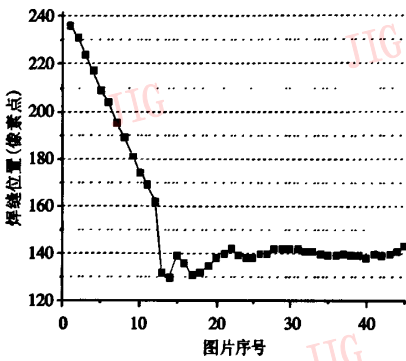


图 8 V 型坡口焊缝识别位置

Fig. 8 The location to identify V-groove

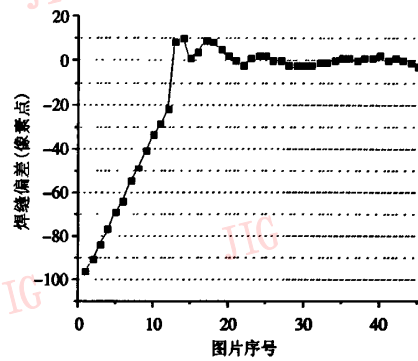


图 9 V 型坡口偏差曲线

Fig. 9 The deviation curve of V-groove

表 2 识别的 V 型坡口 C 点 (V 型坡口底部点) 横坐标 (像素点)

Tab. 2 Abscissa of C point after identifying V-groove

序号	位置	序号	位置	序号	位置	序号	位置	序号	位置	序号	位置	序号	位置	序号	位置	序号	位置
01	236	06	204	11	169	16	136	21	140	26	140	31	142	36	139	41	140
02	231	07	195	12	162	17	131	22	142	27	140	32	141	37	140	42	139
03	224	08	189	13	132	18	132	23	139	28	142	33	141	38	139	43	140
04	217	09	181	14	130	19	135	24	138	29	142	34	140	39	139	44	141
05	209	10	174	15	139	20	138	25	138	30	142	35	139	40	138	45	143

表 3 识别的 V 型坡口偏差数据 (相对 V 型坡口底部点初始值为 140 的偏差)

Tab. 3 The deviation data after identifying V-groove

序号	位置	序号	位置	序号	位置	序号	位置	序号	位置	序号	位置	序号	位置	序号	位置	序号	位置
01	-96	06	-64	11	-29	16	4	21	0	26	0	31	-2	36	1	41	0
02	-91	07	-55	12	-22	17	9	22	-2	27	0	32	-1	37	0	42	1
03	-84	08	-49	13	8	18	8	23	1	28	-2	33	-1	38	1	43	0
04	-77	09	-41	14	10	19	5	24	2	29	-2	34	0	39	1	44	-1
05	-69	10	-34	15	1	20	2	25	2	30	-2	35	1	40	2	45	-3

干扰的情况下,可靠地识别焊缝显得非常重要。从图 7 中的实验效果来看,本文的 V 型坡口的识别算法是可靠的,具有很强的抗干扰能力。

4 结 论

对 V 型坡口焊缝图片的每列灰度图像进行改进的小波变换处理,首先提取出边沿亮线,中心取样后提取出光纹图样,但其线段并不直,有轻微波动,所求出的 V 型坡口位置将会出现误差。因此,再做一次 Hough 变换,进行直线拟合,得到了很好的效果。为了验证焊缝识别算法的准确、有效,以及在不同偏差下焊缝识别算法的效果,做了一系列 V 型坡口焊缝识别实验。实验结果表明,V 型坡口处于任何位置,识别均能保持很高的准确率;同时不管弧光干扰强弱,都能准确地将 V 型坡口识别出来,焊缝识别的效果良好,能够满足实际焊接时的跟踪需要。因为两块平板间的焊缝类似于 V 型坡口焊缝,所以此方法也同样适用于两块平板间 (II 型) 的焊缝焊接。

参考文献 (References)

1 Chen Zheng-xing. The Arithmetic and Application of Wavelet Analysis

[M]. Xi'an: Publishing Company of Xi'an Jiaotong University, 1999. [程正兴. 小波分析算法与应用[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1999.]

2 Liu Zhen-qing, Huang Rui-ju. The transform and application of wavelet[J]. Nondestructive Testing, 2001, 23(4): 174~177. [刘镇清, 黄瑞菊. 小波变换及其应用[J]. 无损检测, 2001, 23(4): 174~177.]

3 Yang Fu-sheng. The Engineering Analysis and Application of Wavelet Transform[M]. Beijing: Science Publish, 2001: 151~153. [杨福生. 小波变换的工程分析与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 151~153.]

4 Chang S G. Adaptive wavelet thresholding for image denoising and compression[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(9): 1532~1546.

5 Chang S G. Spatially adaptive wavelet thresholding with context modeling for image denoising[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(9): 1522~1531.

6 Li Lai-ping. Wavelet analysis and application in welding[J]. Electric Welding Machine, 2003, 33(11): 1~5. [李来平. 小波分析及其在焊接中的应用[J]. 电焊机, 2003, 33(11): 1~5.]

7 LIU Dong-mei. Application of the wavelet transform to pattern correlation recognition[J]. Laser Technology, 2004, 28(6): 641~644. [刘冬梅. 小波变换在图像相关识别中的应用[J]. 激光技术, 2004, 28(6): 641~644.]