

图像边缘检测二维小波算法研究与实现

张红岩, 张登攀

(焦作工学院机械系, 河南焦作 454000)

[摘要] 边沿作为图像视觉的最主要特征, 成为图像信息获取的重要内容。小波变换具有检测局域突变的能力, 而且可以结合多尺度信息进行检测, 因此成为图像信息边缘检测的优良工具。根据二维小波变换的特点, 分析了利用二维小波进行图像边缘检测的基本原理, 并设计了利用二维小波变换进行多尺度边缘匹配的检测算法。基于研究结果, 编写了计算机应用程序, 进行实例分析。

[关键词] 小波变换; 多尺度; 边缘检测

[中图分类号] TP751 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2003)04-0061-04

1 前言

近年来, 图像信息的分析与识别在现代科学技术的各个领域, 如机加工微观探伤图像、机加工微观形貌图像、材料的断面分析等方面得到广泛的应用。在实际应用中, 所关心的往往是图像信号的局部范围特征, 而图像边缘就是图像信息所包含的重要局部特征。由于实际获取的图像中的边缘往往是各种类型的边缘以及它们模糊化后结果的结合, 对边缘的确认往往因人而异, 给图像信息的识别带来较大的误差。实际图像信号存在噪声, 同边缘一样都属于高频信号, 很难用频带做边缘取舍, 与噪声的显著区别是两者的能量不同。边缘有较大的能量和范围, 通过平滑滤波图像边缘表现模糊化, 消除噪声。小波变换作为一种变换域信号处理方法, 近年来在信号处理、图像处理、模式识别、语音分析及众多非线性科学等领域得到广泛的应用^[1]。在图像处理方面, 边缘检测技术是其重要应用之一, 可通过大尺度下抑制噪声, 可靠识别边缘, 在小尺度下精确定位。这就避免了 Gauss 尺度空间计算量大、定位不够准确的特点。笔者针对二维小波

进行边缘检测问题进行了具体探讨, 并开发应用软件进行具体实验。

2 二维小波变换原理

2.1 基本定义^[2]

定义 $f(x_1, x_2)$ 为二维连续函数, x_1, x_2 分别为其横坐标与纵坐标; 取 $\tau\psi(x_1, x_2)$ 为基本小波, 考虑二维小波变换在尺度伸缩的同时还可以进行坐标旋转, 因此, 相应方向的图像 A 可做如下定义:

$$A = ar_\theta, \quad (1)$$

式中 $r_\theta = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$, 则 (x_1, x_2) 的尺度伸缩与二维位移为

$$\begin{aligned} \psi_{A,b}(\bar{x}) &= \frac{1}{|A|} \psi[A^{-1}(\bar{x} - \bar{b})] = \\ &= \frac{1}{a} \psi\left[r_\theta^{-1}\left(\frac{\bar{x} - \bar{b}}{a}\right)\right]. \end{aligned} \quad (2)$$

二维连续小波变换定义为

$$\begin{aligned} \text{wt } f(A, \bar{b}) &\leq f(\bar{x}) \psi_{A,b}(\bar{x}) \geq \\ &= \frac{1}{a} \int_{R^2} f(\bar{x}) \psi\left(r_\theta^{-1} \frac{\bar{x} - \bar{b}}{a}\right) d\bar{x}, \end{aligned} \quad (3)$$

[收稿日期] 2002-10-29; **修回日期** 2002-12-19

[基金项目] 河南省自然科学基金资助项目(984060400)

[作者简介] 张红岩(1963-), 男, 河南内乡县人, 河南焦作工学院机械系副教授

式中 $a = \det \mathbf{A}$, $\bar{\mathbf{x}} = [x_1, x_2]^T$, $\bar{\mathbf{b}} = [b_1, b_2]^T$ 。

2.2 小波边缘检测算法

为准确对利用小波对图像信号进行边缘信息提取, 首先取二维连续函数 $\theta(x, y)$ 沿 x 和 y 方向的偏导数作为基本小波:

$$\begin{aligned}\psi^1(x, y) &= \frac{\partial \theta(x, y)}{\partial x}, \\ \psi^2(x, y) &= \frac{\partial \theta(x, y)}{\partial y}.\end{aligned}\quad (4)$$

$$\begin{aligned}\text{取 } \psi_a^1(x, y) &= \frac{1}{a^2} \psi^1\left(\frac{x}{a}, \frac{y}{a}\right) = \frac{\partial \theta_a(x, y)}{\partial x}, \\ \psi_a^2(x, y) &= \frac{1}{a^2} \psi^2\left(\frac{x}{a}, \frac{y}{a}\right) = \frac{\partial \theta_a(x, y)}{\partial y}.\end{aligned}$$

式中 $\theta_a(x, y) = \theta\left(\frac{x}{a}, \frac{y}{a}\right)$ 。

对任意的二维函数 $f(x, y) \in L^2(\mathbb{R})^2$, 其小波有两个分量:

沿 x 方向

$$\text{wt}^1 f(a, x, y) = f(x, y) * \psi_a^1(x, y), \quad (5)$$

沿 y 方向

$$\text{wt}^2 f(a, x, y) = f(x, y) * \psi_a^2(x, y). \quad (6)$$

式中 * 代表二维卷积。

式(5)和式(6)写成矢量形式为

$$\begin{aligned}\begin{bmatrix} \text{wt}^1 f(a, x, y) \\ \text{wt}^2 f(a, x, y) \end{bmatrix} &= \\ a \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} [f(x, y) * \theta_a(x, y)] \\ \frac{\partial}{\partial y} [f(x, y) * \theta_a(x, y)] \end{bmatrix} &= \\ a \text{grad}[f(x, y) * \theta_a(x, y)] &= \\ a \text{grad}[f^s(x, y)], &\quad (7)\end{aligned}$$

式中 $f^s(x, y)$ 是 $f(x, y)$ 被 $\theta_a(x, y)$ 平滑后的图像。

由式(7)可以看出小波变换的两个分量与 $f(x, y)$ 的梯度向量的坐标成正比。在 $f(x, y)$ 尺度 a 的边缘点就是式(7)中所示的梯度的最大值点, 而这一梯度的向量的方向正是 $f(x, y)$ 的偏导数变化最迅速的方向。所以边缘点实际是曲面 $f^s(x, y)$ 的拐点。

由于通常所获得的图像是数字图像, 以像素形式表现出来, 因此, 在边缘检测时把连续小波变换改写成二进制形式, 取 $a = 2^j (j \in \mathbb{Z})$, 式(7)矢量写作如下形式:

$$\begin{bmatrix} \text{wt}^1 f(2^j, x, y) \\ \text{wt}^2 f(2^j, x, y) \end{bmatrix} = \text{wt} f(2^j, x, y), \quad (8)$$

式(8)称为 $f(x, y)$ 的二进小波变换。

由式(8)求得小波变换在尺度 2^j 下的模和幅角为:

$$\begin{aligned}\text{mod}_{2^j} f(x, y) &= \\ (|\text{wt}_{2^j}^1 f(x, y)|^2 + |\text{wt}_{2^j}^2 f(x, y)|^2)^{1/2}, &\quad (9)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{arg}_{2^j} f(x, y) &= \\ \arctg[\text{wt}_{2^j}^2 f(x, y) / \text{wt}_{2^j}^1 f(x, y)]. &\quad (10)\end{aligned}$$

由式(9)和式(10)可以看出, 小波变换的模正比于梯度向量的模, 幅角是梯度向量与水平方向的夹角正是图像边缘的方向。所以检测图像边缘只需求出梯度向量 $\text{grad}[f^s(x, y)]$ 的模的局部最大值。在每一个尺度 2^j , 小波变换的最大值都定义为模 $\text{mod}_{2^j} f(x, y)$ 在沿着梯度方向 $\text{grad}[f^s(x, y)]$ 的局部最大值点。

3 小波多尺度边缘检测计算机实现

3.1 多尺度分析^[3]

从分析中可以得出, 小波边缘检测是多尺度边缘检测的方法, 为了将不同尺度的输出集成为一个简单的边缘图像, 采用多尺度边缘匹配方法进行边缘识别。

若函数 $f(x, y)$ 的 Lipschitz 正规性是 α , 则小波变换模值极大值满足^[4]:

$$\text{mod}_{2^j} f(x, y) \leq K(2^j)^\alpha. \quad (11)$$

若边缘是平滑的, 则其可以看作是原始边缘特性与高斯平滑核函数的卷积。高斯函数方差就决定了平滑边缘的平滑程度, 且

$$\text{mod}_{2^j} f(x, y) \leq 2^j K S_0^{\alpha-1}, \quad (12)$$

式中 $S_0 = \sqrt{2^{2j} + \sigma^2}$, σ 为位置偏差。

根据 Canny 定位准则^[4], 对于阶跃边缘, 小波边缘检测在多尺度下的定位性能不会下降, 可以认为相临尺度下的边缘移位不超过一个像素。故在相邻尺度之间作边缘匹配时, 只需要在 8 个邻域中的进行匹配, 就可以利用式(11)估计 α 。

3.2 检测步骤^[5]

具体实现步骤如下: 根据式(9)从两个方向小波变换图像求出模值图像 M , 根据式(10)求出相应方向的图像 A , 若 M 中 1 点大于其 8 个邻域中的相邻 2 个点, 则判为边缘点; 为克服因噪声引起的过多细小边缘或非边缘点, 对小波变换后的图像阈值

m ，仅对大于一定值的小波变换系数才进一步判断；保留下的点，如果大于在角度方向上相邻的 2 个点，超出阈值 n 的点才视为边缘点；再根据式 (11) 估计出 α 值，结合目标特点就可以得到规定的边缘输出。计算机实现的步骤见图 1。

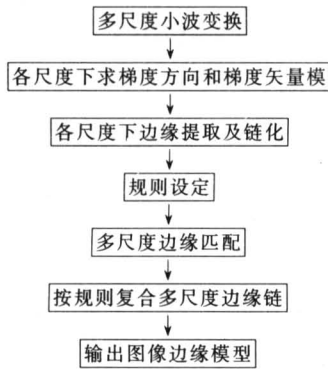


图 1 小波边缘检测实现流程

Fig.1 Realization flow of edge detection by using wavelet transform

4 小波检测实例与分析

根据所研究的小波分析方法，利用 VC++ 进行了小波图像处理软件开发。实验图像数据来自金属加工中电子显微图片。由于原图像含有大量噪声，在处理时，首先采用高斯及平均图像增强技术进行噪声抑制^[6]，然后用小波变换技术进行图像边缘识别^[7]。

图 2 和图 3 分别为被冲蚀的 1015# 钢试样和片状磨粒的扫描电子显微照片^[7]。图 1a 和图 2a 为照片原图，图 1b 和图 2b 为利用所研制软件中高斯及平均除噪的结果，图 1c 和图 2c 为二维小波形貌识别结果。

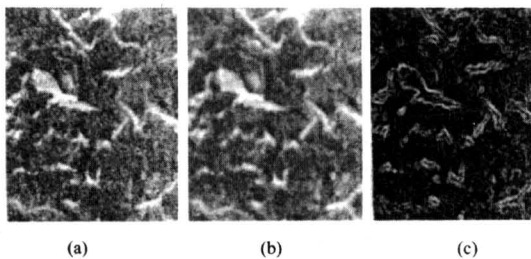


图 2 经冲蚀 1015# 钢试样小波形貌识别结果

Fig.2 The edge detecting result of the eroded steel sample of 1015#

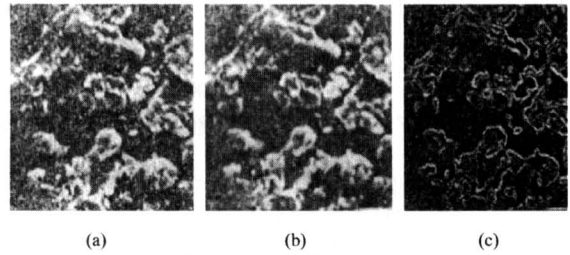


图 3 片状磨粒小波形貌识别结果

Fig.3 The edge detecting result of flaking granule from friction

从图 2 和图 3 可以看出，应用所提出的方法进行边缘识别的图像，可以有效地去除电子扫描图像的噪声影响，突出实验照片的形貌特征，有效地改善由于人为因素造成的分析判断误差。

5 结语

边沿作为图像视觉的最主要特征，成为图像信息获取的重要内容。小波变换具有检测局域突变的能力，而且可以结合多尺度信息进行检测。应用所提出的方法进行边缘识别的图像，可以有效地去除电子扫描图像的噪声影响，突出实验照片的形貌特征，有效地改善由于人为因素造成的分析判断误差，它可成为图像信息边缘检测的优良工具。小波变换在二维情况下除了“显微”能力外还具有“极化”能力，即方向选择性。因而引人注目，但是目前把多维小波理论应用于机械加工领域的文献较少，因此在机械加工中大量应用，既丰富了小波理论在工程中实用意义，也促进了小波分析理论的进一步发展。

随着计算机科学和图像处理技术的进步，小波变换将作为图像信号局部分析的最有效工具有效地应用到工程中来，这将大大提高信息分析技术的进步。

参考文献

[1] Mallat S, Hwang W L. Singularity detection and processing with wavelets [J]. IEEE Trans, 1992, IT-38 (2): 617~643

[2] 程正兴. 小波分析算法与应用 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1998

[3] Within A. Scale space filtering [A]. Proc Int Joint Conf Artif Intell [C]. Karlsruhe, Germany, 1983

[4] Mallat S, Zhong S. Characterization of signals from

- multiscale edges [J]. IEEE Trans on PAMI, 1992, 14 (7): 710~732
- [5] Canny. A computational approach to edge detection [J]. IEEE Tran on PAMI, 1986, 8 (6): 679~698
- [6] 何振亚. 多维数字图像处理技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1995
- [7] 蔡泽高, 刘以宽. 金属磨损与断裂 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1985

The Application of Two Dimensions Wavelet in Image Edges Detection

Zhang Hongyan, Zhang Dengpan

(*Department of Mechanical Engineering, Jiaozuo Institute of Technology,
Jiaozuo, Henan 454000, China*)

[Abstract] Edges as the main characterization of image vision have been thought as the main content in obtaining image information. Wavelet transform has the capacity for detecting local signal mutation and detects information using multiscale character, so it is taken as the excellent tool to detect the edges of the image information. This paper analyzes the basic theory using two dimensions wavelet to detect image edges on the basis of wavelet transform and then designs the detecting algorithm of the multi-scale edge matching. On the basis of researching results, the application programme is made to analyse the true examples.

[Key words] wavelet transform; multi-scale; edges detection

(cont. from p. 49)

The Frontage of Textile Science and Technology in 21st Century

Yao Mu

(*Xi'an University of Engineering Science and Technology, Xi'an 710048, China*)

[Abstract] Textile science and technology made very important progress in the 20th century. Faced to the 21st century, textile science and technology will be developing in four aspects: (1) researching and developing new products with better performances; (2) introducing high and new-techniques, modifying the textile science and technology; (3) developing manufacture techniques and apparatuses for spinning, weaving, dyeing and finishing; (4) changing into the new management mode for textile manufacture, management, market, transport and capital.

[Key words] textile science and technology; smart wears; industrial textiles; textile fibre, spinning; weving; dyeing; finishing