

基于小波变换的拓片文字边缘检测*

杨世军, 黄永东

(北方民族大学 信息与系统科学研究所, 银川 750021)

摘要: 针对拓片得到的文字图像具有模糊细节多、效果差等特征, 以及传统算法对其边缘检测的精度不高, 根据拓片文字边缘独立于尺度传播的特性, 提出了一种基于二进小波变换的拓片文字图像边缘提取和增强算法。首先用二进小波对拓片文字图像进行多尺度分解, 再结合小波变换模值跨尺度传递的不同特性, 进行多尺度下的图像边缘提取、增强和细化。实验表明, 该算法克服了传统算法的不足, 弱化了单尺度下噪声抑制与边缘细节提取精度之间的矛盾, 从而具有更好的实用性。

关键词: 拓片文字图像; 边缘检测; 二进小波变换; 多尺度融合; 去噪

中图分类号: TP391.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2010)02-0767-03

doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2010.02.102

Edge detection of rubbing text images based on wavelet transform

YANG Shi-jun, HUANG Yong-dong

(Institute of Information & System Science, North University of Nationalities, Yinchuan 750021, China)

Abstract: The text images obtained through rubbing were featured by many fuzzy details, bad effect and so on, so it might lose more details in the traditional handling process. Proposed a new algorithm of the rubbing text image edge detection and enhancement based on dyadic wavelet transform. Firstly, transformed the rubbing text image using dyadic wavelet. Then combined with the property of cross-scale transmission for wavelet transform modulus value to extract enhance and refine the multi-scale edge. Experiments show this algorithm overcomes the shortcomings of traditional method and weakens the contradiction between the noise suppression and the accuracy of detecting edge details, so it has better practicality.

Key words: rubbing text images; edge detection; dyadic wavelet transform; multi-scale integration; denoise

0 引言

拓片^[1]是记录中华民族文献的重要载体之一。其数量之多可谓浩如烟海, 其内容之丰富可谓包罗万象, 历史、地理、艺术、建筑等方面的研究者均可以从中找到有益的材料。拓片就是将宣纸贴在器物表面用墨拓印来记录花纹和文字, 大小和形状与原物相同, 是一种科学记录的好办法。除了有凹凸纹饰的器物外, 甲骨文字、铜器铭文、碑刻、墓志铭、古钱币、画像砖、画像石等都广泛使用这种办法记录。但是有些甲骨文字、铜器铭文、石碑、石刻上的图像与文字本身已模糊不清, 通过拓片得到的图像效果很差, 模糊细节很多, 因而需要对它们进行图像处理, 恢复其本来面目, 使其具有研究和利用价值。

边缘是图像基本的特征之一, 是分析和识别图像的基础, 图像边缘信息的改变意味着图像的基本内容或结构发生了变化, 因而研究有效的边缘检测算法具有重要意义。常被用于拓片文字边缘检测的传统方法^[2,3]有梯度算子, 即 Roberts 算子、Sobel 算子、Prewitt 算子; Laplacian 算子; LOG 算子; Canny 算子等。但这些经典的边缘检测方法在边缘检测精度与抗噪声性能的协调方面很不理想, 同时在处理过程中会丢失图像的很多细节。

由于小波变换具有时频局部化性质及多分辨的能力, 1989 年 Mallat 等人^[4]首先提出用小波检测多尺度边缘的理论, 并进一步发展了该理论, 将小波变换与梯度方法结合起来, 形成了多尺度边缘检测器利用小波变换得到不同分辨率图像。这是对应用于不同尺度的平滑图像的梯度, 为图像的边缘检测提供了新的途径。因此借助于小波研究图像的边缘检测具有重要的理论意义和应用背景, 同时笔者至今还没有查阅到基于小波变换的拓片文字图像边缘检测的算法, 本文利用拓片文字边缘所对应的小波系数的模值独立于尺度传播的特性和二进小波平移不变性, 提出一种适用于拓片文字图像边缘提取和增强的快速有效算法, 从而克服了传统的不足, 弱化了单尺度下噪声抑制与边缘细节提取精度之间的矛盾, 从而具有更好的实用性。

1 基本原理和算法

1.1 二维二进小波变换^[5]

图像的边缘就是图像中灰度变换剧烈的地方, 所以边缘检测本质上就是检测图像中的高频分量。图像的边缘是通过确定小波变换在细尺度下的局部极大值来检测^[6]。设 $\theta(x, y)$ 为二元可微平滑函数, 其满足条件

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \theta(x, y) dx dy = 1 \text{ 且 } \lim_{x^2+y^2 \rightarrow \infty} \theta(x, y) = 0 \quad (1)$$

收稿日期: 2009-06-16; **修回日期:** 2009-07-23 **基金项目:** 国家教育部科学技术研究重点项目(209152); 国家自然科学基金资助项目(10961001); 宁夏自然科学基金资助项目(NZ0846)

作者简介: 杨世军(1983-), 女, 安徽六安人, 硕士研究生, 主要研究方向为小波分析、图像处理等(yangshijun1813@sina.com); 黄永东(1974-), 男, 宁夏银川人, 教授, 博士, 主要研究方向为小波分析、信息处理。

再定义水平和垂直两个方向的小波函数分别为

$$\Psi^x(x, y) = -\frac{\partial\theta(x, y)}{\partial x}, \Psi^y(x, y) = -\frac{\partial\theta(x, y)}{\partial y} \quad (2)$$

通过对其离散化可以得到

$$\Psi_j^x(x, y) = 2^{-j}\Psi^x(2^{-j}x, 2^{-j}y), \Psi_j^y(x, y) = 2^{-j}\Psi^y(2^{-j}x, 2^{-j}y) \quad (3)$$

图像进行二维二进小波变换所得到的水平和垂直方向的分量分别为

$$\overline{W^x f(2^j, x, y)} = \overline{f \times \Psi_j^x(x, y)}, \overline{W^y f(2^j, x, y)} = \overline{f \times \Psi_j^y(x, y)} \quad (4)$$

其中: $\overline{\Psi_j^x(x, y)} = \overline{\Psi_j^x(-x, -y)}, \overline{\Psi_j^y(x, y)} = \overline{\Psi_j^y(-x, -y)}$ (5)

用二进小波变换的模极大值点表示该点处的边缘强度,小波变换向量的模为

$$Mf(2^j, x, y) = \sqrt{|W^x f(2^j, x, y)|^2 + |W^y f(2^j, x, y)|^2} \quad (6)$$

小波变换向量的幅角为

$$Af(2^j, x, y) = \arctan\left(\frac{W^y f(2^j, x, y)}{W^x f(2^j, x, y)}\right) \quad (7)$$

模极大值的提取过程就是按幅角方向寻求局部极大值的过程,即可以找到图像中的高频分量(图像在小波变换下的细节部分)。又因为噪声也是图像中的高频部分,在单尺度下无法辨识和去除伪边缘。

1.2 à trous 算法^[7]

二维离散二进小波变换可以设计为一维二进小波的可分程。设 h, g, l 分别表示一维的滤波器,它们由适当的小波函数推导出来; $h_j(n)$ 和 $g_j(n)$ 分别表示在 $h(n)$ 与 $g(n)$ 相邻数间插入 $2^j - 1$ 个零点而得到的尺度 2^j 上的离散滤波器,即

$$h_j(n) = \begin{cases} h(2^{-j}n) & n = 2^j k, k \in Z \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

从而,相应的 à trous 算法可表示为如下离散卷积形式:

$$a_{j+1}(n, m) = a_j * \overline{h_j} h_j(n, m)$$

$$d_{j+1}^x(n, m) = a_j * g_j l(n, m)$$

$$d_{j+1}^y(n, m) = a_j * l g_j(n, m)$$

其中: $\overline{h_j} h_j(n, m) = \overline{h_j(n)} h_j(m)$

$$g_j l(n, m) = g_j(n) l(m)$$

$$l g_j(n, m) = l(n) g_j(m)$$

$$\overline{h_j}(n) = h_j(-n), \overline{g_j}(n) = g_j(-n)$$

也就是说, a_{j+1} 是 a_j 沿横向和纵向低通滤波的结果; d_{j+1}^x 是 a_j 沿横向高通滤波的结果, d_{j+1}^y 是 a_j 沿纵向高通滤波的结果。

1.3 边缘的基本几何结构^[8]

无论是一维信号还是二维图像,边缘都是一类特殊的奇异点,所以通常可以用 lipschitz 指数来刻画边缘。

定义^[9] 函数 $f(x, y)$ 称做在 (x_0, y_0) 处是 lipschitz α , 如果存在常数 $k > 0$, 使得对所有的 $(x, y) \in R^2$, 有

$$|f(x, y) - f(x_0, y_0)| \leq K(|x - x_0|^2 + |y - y_0|^2)^{\alpha/2} \quad (8)$$

如果存在常数 $k > 0$, 使得对所有的 (x_0, y_0) 成立, 则 f 称在 Ω 上是一致 lipschitz α 的。

在具体的应用中,笔者考虑 lipschitz 指数 α 的三种特殊取值可以将边缘几何结构分为三类^[8]:

- a) $\alpha = 0$ 相应于阶梯型边缘;
- b) $\alpha = 1$ 相应于屋脊型边缘;
- c) $\alpha = -1$ 相应于跳跃型边缘。

1.4 用小波变换分析边缘的结构

定理^[9] 函数 $f(x, y)$ 在 R^2 的一个有界区域内是一致 lip-

schitz α 的, 当且仅当存在一个常数 $k > 0$, 使得对该区域的一切 (x, y) 满足

$$|Mf(2^j, x, y)| \leq k 2^{j(\alpha+1)} \quad (9)$$

即

$$\log_2 |Mf(2^j, x, y)| \leq \log_2 k + j(\alpha + 1) \quad (10)$$

从上面的定理可看出,小波变换的模值在尺度传播中具有不同的特性。当 $\alpha > 0$ 时,小波变换模极大值将随着尺度 j 的增大而增大;当 $\alpha < 0$ 时,小波变换模极大值将随着尺度 j 的增大而减小;阶梯型边缘的 lipschitz 指数 $\alpha = 0$, 其小波变换模极大值与尺度 j 无关。正是由于这种性质,在拓片文字图像小波分解的高频部分是可以去除伪边缘,同时增强真实边缘。

2 基于小波变换的拓片文字边缘检测算法

考古拓片中的碑文图像为灰度图像,从视觉角度来看背景主要为黑色调,文字本身主要为白色调,边缘看似比较易分辨,但是碑文拓片是宣纸贴在石块等材料表面用墨拓印而来,记录了文字的同时也记录了石块等材料本身的细节,(图 1 和 7),从而在拓片背景中也大量存在许多较亮的细节,容易与文字混淆。因此,在传统的数字图像处理中,首先查看灰度直方图的分布再滤波,最后进行边缘检测的方式,势必会造成很多细节丢失。

2.1 算法的思想

通过大量的观察和验证,绝大多数的考古拓片中的碑文图像中的文字边缘正是属于一类特殊的边缘即阶梯型边缘。由于这种类型的边缘所对应的小波变换系数的模值不随着尺度的改变而改变,即独立于尺度传播的特性,可以通过对各个尺度上模的比值为 1,从而达到保留文字边缘去除伪边缘。又因为与其他小波变换相比,二进小波变换^[10]分解时不进行下采样,具有平移不变性,可以有效避免非线性变换引起的视觉形变,适用于不同尺度直接求比值,从而本文结合了快速的二维二进小波变换的 à trous 算法的和阶梯型边缘独立于尺度的特性,提出了考古拓片中的碑文图像中的文字边缘检测算法。

2.2 算法的描述

a) 输入拓片文字图像 $f(x, y)$ 。

b) 选择检测的小波,采用 à trous 算法对图像 $f(x, y)$ 进行在尺度 j 上的二维二进小波变换。

c) 计算各个尺度上的模 $Mf(2^j, x, y)$, 并在幅角方向确定局部极大值。

d) 选择 $R \rightarrow 1$ (在实际中,可能不会精确到 1), 保留满足下列条件的点 (x, y) :

$$\frac{1}{R} \leq \frac{|Mf(2^j, x, y)|}{Mf(2^j, x, y)} \leq R \quad (11)$$

则 (x, y) 就是检测出的文字边缘点。

e) 综合各个尺度上的边缘点并加以细化,从而得到边缘的二值图像。

3 仿真实验结果与分析

为了验证本文提出的用于拓片文字图像边缘检测方法的有效性,在 MATLAB 环境下,分别就本文的算法与经典的边缘检测算子作了对比。

目标图均为拓片文字图像(256 × 256, bmp), 实验的结果如

下:图1和7为拓片原图;图2和8为Sobel算子的边缘检测图像;图3和9为Prewitt算子的边缘检测图像;图4和10为LOG算子的边缘检测图像;图5和11为Canny算子的边缘检测图像;图6与12为本文所提算法得到的边缘检测图像,采用的小波基为二次B样条小波,分解层数为3层。



图1 原图



图2 Sobel算法



图3 Prewitt算法



图4 LOG算法



图5 Canny算法



图6 本文的算法



图7 原图



图8 Sobel算法



图9 Prewitt算法



图10 LOG算法



图11 Canny算法



图12 本文的算法

从图中可以明显看出,目标图像的背景本身就存在许多模糊的细节,同时也有较多的噪声,笔者直接对目标图进行处理,经典的边缘检测算子所得到的图2、3、8和9存在边缘信息有丢失、边缘很不连续问题;图4、5、10和11存在较多的伪边缘等问题,难以完整检测出图像目标;而由图6和12明显看出,本文改进的边缘检测算法所得到的文字边缘清晰,较连续,有较强的抗噪能力,并能突出目标图像边缘信息和检测出更丰富的图像边缘,同时也减少了伪边缘的存在,获得了较好的效果。

(上接第766页)

参考文献:

- [1] REINDERS M J T, KOCH R W C, GERBRANDS J J. Locating facial features in image sequences using neural networks[C]//Proc of the 2nd International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition. Washington DC: IEEE Computer Society, 1996:230-235.
- [2] WANG Jun, YIN Li-jun. Eye detection under unconstrained background by the terrain feature[C]//Proc of IEEE Conference on Multimedia and Expo. Amsterdam, Netherlands: IEEE Computer Society, 2005:1528-1531.
- [3] ZHOU Zhi-hua, GENG Xin. Projection functions for eye detection[J]. *Pattern Recognition*, 2004, 37(5): 1049-1056.
- [4] PARK C W, KWAK J M, PAK H, et al. An effective method for eye detection based on texture information[C]//Proc of International Conference on Convergence Information Technology. Gyeongju, Korea: IEEE Computer Society, 2007: 586-589.
- [5] 王静, 谭同德. 基于梯度和模板二次匹配的人眼定位[J]. *计算机技术与发展*, 2007, 17(10): 144-146.
- [6] 张丹丹, 张菱燕, 彭延军. 一种基于圆检测的眼睛定位方法[J]. *山东科技大学学报*, 2007, 26(3): 95-97.
- [7] HUANG J, WECHSLER H. Eye detection using optimal wavelet

4 结束语

本文针对传统的边缘检测算子对拓片文字检测精度不高,提出了一种基于二维二进小波变换和尺度独立小波变换算法的快速拓片文字图像边缘检测算法。通过对拓片文字边缘结构性质的分析,采用了多尺度的思想,综合大小尺度下的信息来定边缘,能实现比经典的边缘检测算子更精确的边缘图像。实验证明该算法检测能力较强,具有边缘细节丰富、边缘轮廓准确和抗噪性强等优点,是一种比较实用的拓片文字边缘检测算法。

参考文献:

- [1] TI DSP 大奖赛组委会. TI DSP 大奖赛获奖成果汇编[C]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [2] GONZALEZ R C, WOODS R E. 数字图像处理[M]. 2版. 阮秋琦, 阮宇智, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [3] 张艳群, 孟凡荣. MATLAB在图像边缘检测中的应用[J]. *计算机应用研究*, 2004, 21(6): 144-146.
- [4] MALLAT S, ZHONG S. Characterization of signals from multiscale edges[J]. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1992, 14(7): 710-732.
- [5] 唐晓初. 小波分析及其应用[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2006.
- [6] 程正兴, 杨守志, 冯晓霞. 小波分析的理论算法进展和应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- [7] SHENSA M J. The discrete wavelet transform: wedding the à trous and Mallat algorithms[J]. *IEEE Trans on Signal Processing*, 1992, 40(10): 2464-2482.
- [8] 唐逸炎, 王玲. 小波分析与文本文字识别[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [9] 潘泉, 张磊, 孟晋丽, 等. 小波滤波方法及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [10] 王诗俊, 杨树元. 边界保存的二进小波图像去噪算法[J]. *计算机应用研究*, 2008, 25(5): 1596-1597.

packets and radial basis functions (RBFS) [J]. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 1999, 13(7): 1009-1026.

- [8] LAND E. The retinex [J]. *American Scientist*, 1964, 52(1): 247-264.
- [9] Yale University. The Yale face database B [DB/OL]. [2009-03-08]. <http://vision.ucsd.edu/~leekc/ExtYaleDatabase/ExtYaleB.html>.
- [10] Artificial Intelligence Laboratory of FEI. The FEI face database [DB/OL]. [2009-03-09]. <http://www.fei.edu.br/~cet/facedatabase.html>.
- [11] KAMACHI M, LYONS M, GYOBA J. The JAFFE face database [DB/OL]. [2009-03-10]. http://www.kasrl.org/jaffe_download.html.
- [12] JESORSKY O, KIRCHBERG K J, FRISHHOLZ R W. Robust face detection using the Hausdorff distance[C]//BIGNN J, FEDS S. Proc of the 3rd International Conference on Audio and Video-based Biometric Person Authentication. Berlin: Springer-Verlag, 2001: 90-95.
- [13] 许高凤, 黄磊, 刘昌平, 等. 一种联合的人眼定位算法[J]. *小型计算机系统*, 2008, 29(6): 1158-1162.
- [14] WU Yan, YANG Yang, WANG Li-ping. An eye location algorithm based on the gray information and the pupil filter[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2005, 41(33): 45-47.