

小波变换在数字图像边缘探测中的应用

王树梅, 张文斌

(江苏师范大学 计算机科学与技术学院, 江苏 徐州 221116)

摘要:文中提出一种基于离散小波变换的针对数字图像边缘的有效检测算法。主要利用小波变换的多尺度分辨特性,对数字图像进行小波变换后的水平方向、垂直方向以及对角方向的细节信息进行提取,然后对图像中的边界点进行探测,达到提取出边界信息的目的。在处理过程中,首先对除噪以后的图像作一级2-D小波变换分解,得到一个低频和三个高频部分;然后分别计算水平和垂直部分的绝对值均值,再分别计算水平和垂直方向的绝对值标准方差,根据绝对值标准方差构造四个新的二值矩阵,根据构造的矩阵修正水平和垂直方向细节信息,最后利用离散小波逆变换重构,得到检测后的图像。将重构后的图像进行边界提取。实验结果表明,算法效果良好。

关键词:小波变换;数字图像;边缘探测;纹理特征

中图分类号:TP39

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)06-0016-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.06.004

Application of Wavelet Transform in Edge Detection for Digital Image

WANG Shu-mei, ZHANG Wen-bin

(College of Computer Science and Technology, Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116, China)

Abstract: An effective detection algorithm is proposed based on discrete wavelet transform for digital image edges. In this paper, the wavelet multiscale resolution is used for its characteristics of horizontal, vertical and diagonal direction in order to extract the details, and then detect the boundary points of image, which will get the purpose for extracting boundary information. In the process, firstly, transforming the processed image without less noise into wavelet transform decomposition, the result is that a low frequency and three high frequency components are produced. The next work is calculating the mean of the absolute value of the horizontal and vertical portions respectively, and calculating the standard deviation of horizontal and vertical direction, according to the standard deviation, four new binary matrix are constructed, the image matrix is corrected according to the horizontal and vertical detail information, the image will be obtained by the way of the inverse wavelet transform. And the boundary extraction is finished on the reconstructed image. The test results show that this method is effective.

Key words: wavelet transform; digital image; boundary detection; texture features

0 引言

图像检测在当前的许多领域应用比较广泛,比如,遥感图像远距离获取到结果中,难免会有部分人眼视觉所不能清楚看到的信息。对于这类图像的处理,有的信息是需要对图像进行恢复重构得以重现原来没有显现的信息,有的则仅仅需要得到图像中部分信息的轮廓结构,即边界图形的提取。比如,对于建筑类的图像,图像元素都是具有较为规则结构的特点,获取其边界信息即可满足需要。也有部分图像元素之间的边界不能清晰分开,也可以通过图像检测的办法得到解决。

在图像处理过程中,小波变换是一种被常用到图

像分析、去噪图像压缩以及图像分割等^[1-3]领域的工具。在图像边界检测中,由于被小波分解后的高频细节具有较强的方向特性^[4-9],而边界上的点往往都具有明显梯度^[10],小波吸引了越来越多的致力于图像检测的图像处理专家^[11-14]。因此,在对图像进行边界提取时,对图像进行适当级别的小波分解会得到不同方向的边界信息,为下一步处理打下良好基础。目前,已有一些学者^[15-17]利用小波实现了对图像的边界提取。在文献[18]中,主要考虑到细节信息的方向性,把水平方向和垂直方向的高频信息保留下来,并修改低频信息为细节部分的较大值,然后重构。虽然得到

收稿日期:2014-06-19

修回日期:2014-09-23

网络出版时间:2015-05-06

基金项目:江苏省自然科学基金项目(10KJB520019)

作者简介:王树梅(1972-),女,博士,副教授,研究方向为数字图像处理。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20150506.1621.006.html>

的结果边界信息更加突出,但原来的信息已部分改变。也有用小波变换模极大值法(Wavelet Transform Modulus Maxima,WTMM)改变低频系数。这些方法很大程度上改进了图像边界提取算法的性能。

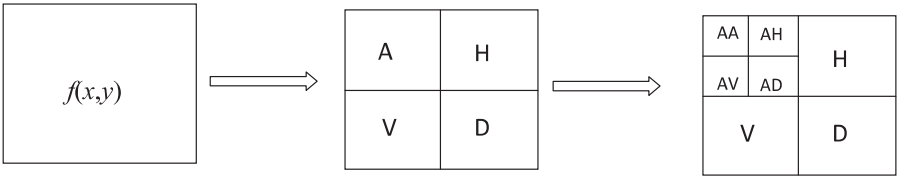
文中提出一种基于小波变换的图像边界提取的算法。该算法中仍然将重点放在小波高频信息的处理上。高频部分包含了图像的边缘信息,对于图像中的各个元素的边缘检测具有重要影响。首先,进行小波变换分析,尤其是二维小波变换的特点及其对图像处理的作用;其次,对分解后的低频和高频部分系数根据一定的规则进行改变以更好地提取出边缘信息,这部分是文中的重点内容;然后,用典型的图像实例对算法进行验证,说明其有效性;最后,总结归纳,指出算法的优点和继续改进的地方。

1 2-D 离散小波变换

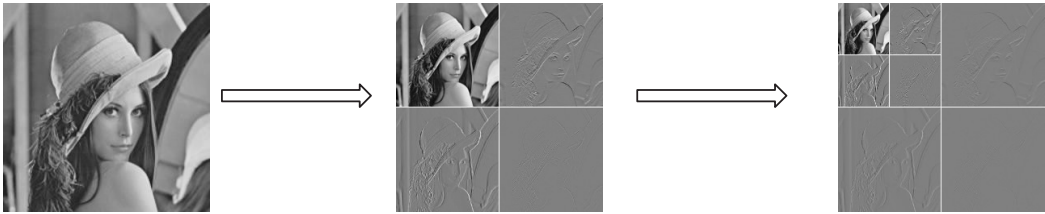
离散小波变换(Discrete Wavelet Transform,DWT)是数字图像多分辨率观察和处理的工具,它不但可以

高效、直观地描述多分辨图像,还有助于了解图像的空间域和频域特性,这相对于只显示频域特性的傅里叶变换具有明显的优势。图像数据可以看作一二维矩阵,同样可以利用2-D小波变换对其进行分解,但不同的小波基会有不同的结果,这是在处理图像时要注意到的。

具体地讲,2-D小波变换过程是将数字图像分解为四部分,分别是低频、水平、垂直和对角。其中,低频部分含有图像最基本的特点,也是包含信息量最大的部分;其余三个部分是三个不同方向上的细节信息展示,更加突出图像中的细微之处,这有利于图像边缘信息的提取和处理。在Gonzalez教授编写的《数字图像处理》一书中对离散小波变换有比较详细的讲述。图1(a)是二级二维离散小波变换过程示意图,(b)是对Lena图像的二级小波分解。从图1(b)中可以看出,每经过一级分解,就会增加三个细节子图,三个子图之间的区别就是从不同方向显示图像的细节,而低频是原图像的近似。



(a) 2-D 小波变换示意图



(b) Lena 2-D 小波变换

图1 二维小波变换

从示意图上,看到同一级别的四个部分尺寸是相同的,但不一定是上一级尺寸的1/2,这要依据分解时用到的小波基。不同的小波基,分解到的子图尺寸不同。常见的正交小波基有“haar”“db”和“sym”。另外,比较清晰显示信息的是水平方向和垂直方向的细节,而对角方向的细节几乎不显示。因此,小波分解后的处理对象主要是低频、水平和垂直三部分。特别是对于边缘信息检测,如何处理这三个部分是文中算法的关键所在。

2 边缘检测算法

2.1 掩模检测法

在图像处理中,边缘信息在一定意义上代表着图像的整体结构,所以边缘提取信息量的多少会影响到

人眼对图像信息的分析结果。边缘检测的方法有很多,最常见的是检测像素值的不连续性,利用一阶和二阶导数计算出的梯度向量,再由向量计算出幅值。再有一种方法就是,事先设计好检测某一方向的掩模模板,使其掩模遍历每一个像素值并对结果的绝对值做阈值处理。保留下来的是对该方向响应最强烈的点,这些点与掩模定义的方向最为一致,也是要搜索的该方向的目标点。

设 w_1 为一水平方向的掩模模板, w_2 为一垂直方向的掩模模板, w_3 为正45度方向的掩模模板, w_4 为负45度方向的掩模模板。

$$w_1 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 2 & 2 & 2 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$w_2 = \begin{bmatrix} -1 & 2 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{matrix} & -1 & -1 & 2 & & 2 & -1 & -1 \\ w_3 = & -1 & 2 & -1 & w_4 = & -1 & 2 & -1 \\ & 2 & -1 & -1 & & -1 & -1 & 2 \end{matrix}$$

$f(x,y)$ 是一幅灰度图像。式(1)是掩模函数,有两个参数 f 和 w , f 代表图像矩阵, w 是掩模模板。

$$g = G(f,w) \tag{1}$$

图 2 是线检测结果。(a)是测试图像,(b)是用模板 w_1 掩模原测试图像的结果,从(b)看出,水平掩模模板对检测水平方向的线具有明显效应;(c)是利用 w_3 模板掩模测试图像的结果,垂直方向的线被检测

出。对于斜线的检测分两种,一是正 45 度,一是负 45 度;(d)是正 45 度方向斜线检测结果,利用 w_3 模板掩模;(e)是利用模板 w_4 实现的负 45 度方向斜线检测。设计不同方向的模板可以检测不同方向的线,将所有检测结果与原图做加运算得到(f)。(f)与(a)的不同之处在于,边缘线更加突出,实现了边的线检测。但这种方法比较适用于具有比较规则的图结构,对于纹理复杂的图,效果就不是太明显。下面是利用小波实现的一种边检测算法。

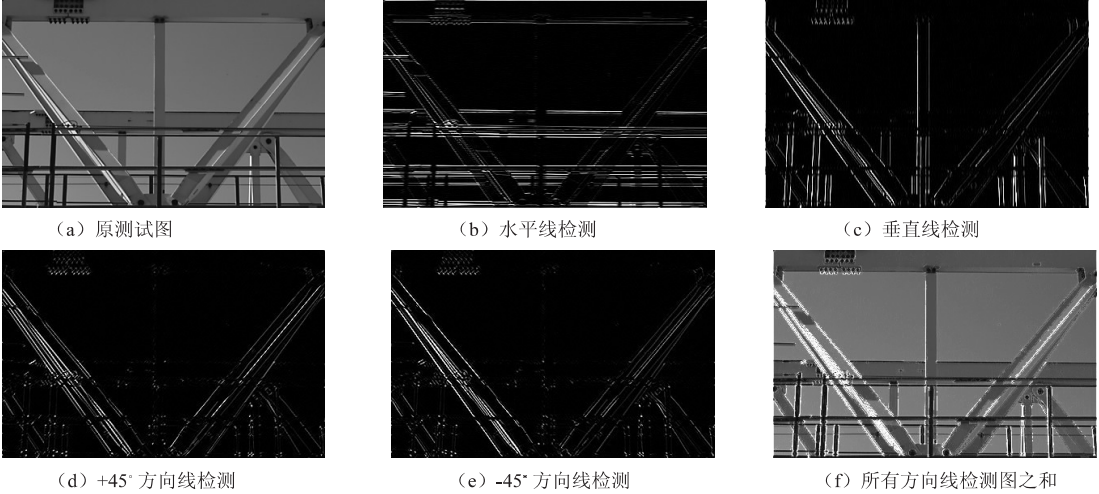


图 2 线检测

2.2 基于小波的边缘检测

在前面已经提到,2-D 离散小波变换能够将原图像矩阵多尺度分解为若干部分,如果按照一级分解,得到四个部分,而且四个部分的元素个数相同。这里用 $f_{m,n}(x,y)$ 表示原图像, $a_{p,q}(i,j)$, $h_{p,q}(i,j)$, $v_{p,q}(i,j)$ 分别表示一级分解后的近似低频、水平方向细节和垂直方向细节。从图 1(b)可以看出,对角方向的细节部分能量近似为零,几乎不显示任何明显信息,所以不再把对角部分纳入处理范围。

检测边缘点的重要条件是它与周围元素值之间有一定的差距,而不是依据它本身值的大小。即在处理数据时,不可以由于其值的大小而盲目将其归纳为背景范围,这样处理的结果往往会丢失很多边缘信息。基于这种想法,在小波分解的基础上,对低频、水平和垂直方向的数据进行分析,找出值得保留的边缘点,最后达到边缘检测的目的。再有,由于小波分解选择的小波基不同,水平和垂直方向的细节部分有负值元素。在图像处理中,负值仍然可以显示信息,只要其绝对值足够大,就在处理范围之内。

这里主要就低频近似、水平和垂直三部分数据进行分析,利用式(2)和(3)分别计算出各个部分所有元素绝对值的平均值和标准差。将元素值绝对值与计算出的均值的差和整体标准差进行比较,同时,将元素绝对值与同一方向的均值进行比较。通过这两种比较,检测出边缘点的位置,并改变低频中相应位置的值。具体步骤如下:

Step1: 载入图像文件,得到图像矩阵 $f_{m,n}(x,y)$, m 、 n 分别是图像矩阵的行和列。

Step2: 对 $f_{m,n}(x,y)$ 作一级 2-D 小波分解,得到 $a_{p,q}(i,j)$, $h_{p,q}(i,j)$, $v_{p,q}(i,j)$, $d_{p,q}(i,j)$ 。

Step3: 分别计算 $h_{p,q}(i,j)$, $v_{p,q}(i,j)$ 的绝对值均值 m_h , m_v :

$$m_h = \frac{1}{p \times q} \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q |h(i,j)| \tag{4}$$

$$m_v = \frac{1}{p \times q} \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q |v(i,j)| \tag{5}$$

Step4: 分别计算 $h_{p,q}(i,j)$, $v_{p,q}(i,j)$ 的绝对值标准方差 s_h , s_v :

$$s_h = \sqrt{\frac{1}{p \times q} \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q (|h(i,j)| - m_h)^2} \tag{6}$$

$$s_v = \sqrt{\frac{1}{p \times q} \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q (|v(i,j)| - m_v)^2} \tag{7}$$

$$\mu = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n f(i,j) \tag{2}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (f(i,j) - \mu)^2} \tag{3}$$

Step5:构造矩阵 $h_m(i,j)$ 和 $v_m(i,j)$:

$$h_m(i,j) = \begin{cases} 1, & \text{if } |h(i,j)| \geq a_1 m_h \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

$$v_m(i,j) = \begin{cases} 1, & \text{if } |v(i,j)| \geq a_2 m_v \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

Step6:构造矩阵 $h_s(i,j)$ 和 $v_s(i,j)$:

$$h_s(i,j) = \begin{cases} 1, & \text{if } ||h(i,j)| - m_h| \geq \beta_1 s_h \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

$$v_s(i,j) = \begin{cases} 1, & \text{if } ||v(i,j)| - m_v| \geq \beta_2 s_v \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

Step7:设定阈值 t ,修正 $h_{p,q}(i,j)$, $v_{p,q}(i,j)$:

$$t = (m_h + m_v)/2$$

$$h(i,j) =$$

$$\begin{cases} h(i,j) + t, & \text{if } h_m(i,j) = 1 \text{ \& } h_s(i,j) = 1 \text{ \& } h(i,j) > 0 \\ h(i,j) - t, & \text{if } h_m(i,j) = 1 \text{ \& } h_s(i,j) = 1 \text{ \& } h(i,j) < 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

$$v(i,j) =$$

$$\begin{cases} v(i,j) + t, & \text{if } v_m(i,j) = 1 \text{ \& } v_s(i,j) = 1 \text{ \& } v(i,j) > 0 \\ v(i,j) - t, & \text{if } v_m(i,j) = 1 \text{ \& } v_s(i,j) = 1 \text{ \& } v(i,j) < 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (13)$$

Step8:利用离散小波逆变换将 $a_{p,q}(i,j)$, $h_{p,q}(i,j)$, $v_{p,q}(i,j)$, $d_{p,q}(i,j)$ 进行重构,得到检测后的图像 $ff_{m,n}(i,j)$ 。

Step9:设计掩模模板 p ,利用式(1)对 $ff_{m,n}(i,j)$ 作掩模计算:

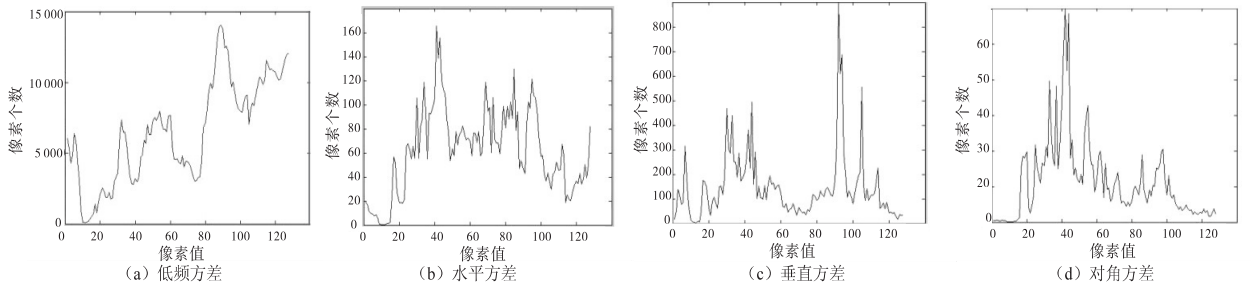


图3 小波分解各部分方差模型

图4是算法部分实验结果,(a)是处理完细节部分后重构的Lena图像,人眼视觉能力范围看不出与原图像的区别,但将重构图像减去原始图像,得到结果就是图4(b)。从图4(b)看出,重构的图像在边缘信息位置有较明显的加强。利用式(14)~(16)对重构图像和原始图像进行计算,结果分别是图4(c)和(d),以边界点亮度大于其周围值的表现形式显现,(c)和(d)的区别在图4(e)中可以看到。图4(b)和(e)说明文中算法对边缘信息的检测结果非常有效。

$$gg_1 = G(ff,p) \quad (14)$$

$$gg_2 = G(ff,p') \quad (15)$$

$$gg(i,j) = \sqrt{gg_1(i,j)^2 + gg_2(i,j)^2} \quad (16)$$

需要指出的是,为了保留更多的边界点,在判断某个点是否是边界点时,判定条件中需要设置阈值系数。在式(8)~(11)中,有四个系数 $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$, 它们的作用在于限制阈值的大小,以检测出更多的边界点。一般情况下,它们的取值在(0,1]区间内,太小会导致边界点过多,太大会漏检,根据图像数据确定适当的值。

3 实验结果

文中的实验对象仍然采用比较典型的Lena图像,一是因为它具有丰富的纹理,二是因为它其中有若干部分的边界较模糊,有边界检测的需要。

下面是实验结果,图3是对各部分数据的分析,对数据之间区别进行统计。针对Lena,图3是低频、水平、垂直和对角的均方差曲线。从图3(a)可以看出,低频均方差曲线变换幅度较大,最大值接近15 000;图3(d)对角方差曲线变化幅度仍然较明显,但最大值只有60,显然,低频和对角部分的处理价值低于垂直和水平两部分。所以,选择水平和垂直两部分作为处理对象是比较合理的。

利用文中算法对Lena图像进行处理,重点是对其小波分解后水平方向和垂直方向细节进行处理,目的在于让边缘点的绝对值按照一定程度增加,使得重构的图像更加突出边缘信息。

图5是对重构图像的进一步边界检测。

边界检测常见的是“Canny”算子。图5(a)是用“Canny”算子对原始图像的边界提取,提取结果边界点个数为6 059。图5(b)是用文献[8]提到的算法对边界提取的结果,边界点个数为7 308。文献[9]中算法的结果是图5(c),边界点个数是8 059,比算法[8]有了改进,边界点个数增加了很多。图5(d)是文中算法的边界检测结果,检测出的边界点个数为8 458,显然,比前三种方法的边界点个数多很多。实验结果证

明,文中算法边界检测是有效的。

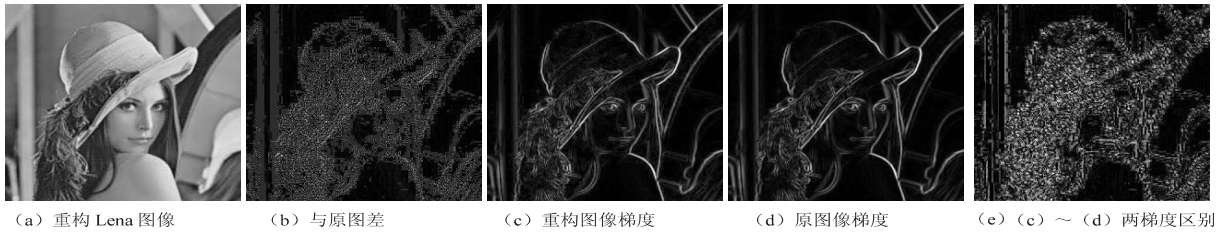


图 4 算法实验结果

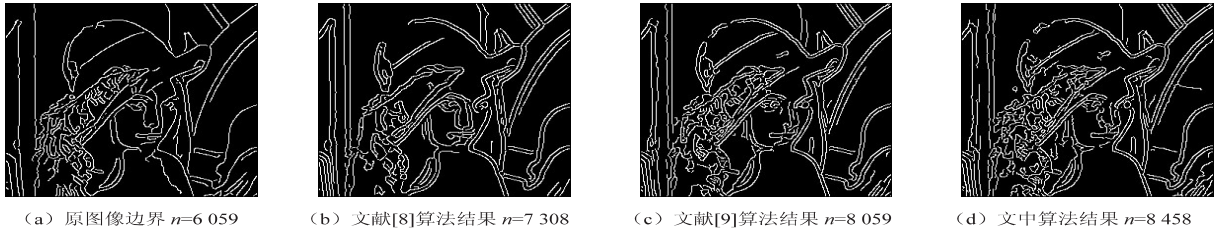


图 5 边界检测

4 结束语

文中提出一种基于小波变换的边界检测算法,算法重点在于如何依据水平方向和垂直方向数据特点,尽量多地提取边界点。而对低频和对角部分没有处理,原因是低频部分是原图像的近似,具有较大的数据量;对角部分信息量过小,失去处理的价值。从实验结果看出,算法具有较强的边界检测有效性。

另外,在对原始图像进行小波变换时,变换级别的选择是一个重要因素。文中是对原图像的一级小波变换,也有文献是二级小波变换或三级小波变换。下一步研究工作重点在于,小波变换的级别对边界检测的影响程度。再有,由于获取图像的条件不同,获取的图像中会有不同形式的噪音。噪音对图像的提取影响非常明显,甚至会因为噪音,不能够提取任何有意义的信息,导致提取失败。所以,对于有噪音的图像进行边界检测时,需要首先对其去噪,或者做平滑处理,使其消除噪音减少影响边界点提取的因素。

参考文献:

- [1] 王俊卿,黄莎白,史泽林,等. 基于小波变换的图像边缘检测[J]. 系统工程与电子技术,2004,26(7):887-888.
- [2] 郑南宁. 计算机视觉与模式识别[M]. 北京:国防工业出版社,1998.
- [3] 段瑞玲,李庆祥,李玉和. 图像边缘检测方法研究综述[J]. 光学技术,2005,31(3):415-419.
- [4] 王雪松,宋凯. 基于多尺度小波变换的边缘检测算法[J]. 沈阳理工大学学报,2008,27(4):16-19.
- [5] 郝燕玲,周文君,马海峰. 一种新的基于小波变换的图像边缘检测算法[J]. 传感器与微系统,2008,27(3):104-106.
- [6] 周洪成,董慧颖. 一种改进的基于小波变换图像边缘检测[J]. 沈阳理工大学学报,2005,24(4):23-25.

- [7] 吴高洪,章毓晋,林行刚. 利用小波变换和特征加权进行纹理分割[J]. 中国图象图形学报,2001,6(4):333-337.
- [8] 郭显久. 一种新的基于小波变换的边缘检测算法[J]. 大连水产学院学报,2005(2):158-162.
- [9] Gonzalez R C, Woods R E. Digital image processing[M]. 3rd ed. New Jersey: Pearson Education, Inc, 2008.
- [10] Mallat S, Hwang W L. Singularity detection and processing with wavelets[J]. IEEE Trans on Information Theory, 1992, 38(2):617-643.
- [11] Chen Musheng. A new method of image denoising based on wavelet transform[J]. Optical Technique, 2006, 32(5):796-798.
- [12] Zhang L, Bao P. Edge detection by scale multiplication in wavelet domain[J]. Pattern Recognition Letters, 2002, 23(14):1771-1784.
- [13] Zhu Lihua, Ji Xiaoping. The application of wavelet modulus maxima algorithm in the image retrieval[J]. SCI-Tech Information Development and Economy, 2007, 17(3):169-170.
- [14] Ge Wen, Gao Liqun. Fusion based algorithm of edge detection combining wavelet transform with morphology[J]. Journal of Northeastern University: Natural Science, 2008, 29(4):477-479.
- [15] Akhtar P, Ali T J, Bhatti M I, et al. A framework for edge detection and linking using wavelets and image fusion[C]//Proc of 2008 international congress on image and signal processing. Sanya, Hainan, China: [s. n.], 2008.
- [16] Brannock E, Weeks M. Edge detection using wavelets[C]//Proc of the 44th annual southeast regional conference. Melbourne, Florida, USA: ACM, 2006.
- [17] Akhtar P, Ali T J, Bhatti M I. Edge detection and linking using wavelet representation and image fusion[J]. Computing and Commutation Journal, 2008, 3(3):6-11.
- [18] Liew A, Nguyen D T. Reconstruction from wavelet transform modulus maxima using nonexpansive projections[J]. Electronic Letters, 1995, 31(13):1038-1039.

小波变换在数字图像边缘探测中的应用

作者: [王树梅](#), [张文斌](#), [WANG Shu-mei](#), [ZHANG Wen-bin](#)
作者单位: [江苏师范大学 计算机科学与技术学院, 江苏 徐州, 221116](#)
刊名: [计算机技术与发展](#) 
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)
年, 卷(期): 2015 (6)

引用本文格式: [王树梅](#), [张文斌](#), [WANG Shu-mei](#), [ZHANG Wen-bin](#) [小波变换在数字图像边缘探测中的应用](#) [期刊论文] - [计算机技术与发展](#) 2015 (6)