

一种基于灰度形态学的小波域边缘检测算法

王树梅^{1,2}, 王志成², 蔡健¹

(1. 徐州师范大学, 江苏 徐州 221116;

2. 同济大学 CAD 研究中心, 上海 201804)

摘 要:根据灰度数学形态学良好的边缘检测特点以及小波的多分辨特性提出了一种效果更为良好的边缘检测算法。首先将待检测图像进行小波多尺度分解,得到了低频信息、中频信息和对角信息;然后对低频部分同时做膨胀和腐蚀边缘检测,并对得到的结果求其平均值;最后将得到的结果代替低频部分联合中频部分和对角细节部分做小波逆变换,得到边缘信息较强的图像,再做二值化操作即得到最后的边缘轮廓。最后选择一合适的模版对其进行细化。实验结果证明,这种检测结果比目前已经存在的检测算法效果好,而且使用简便。

关键词:小波变换;灰度形态学;自适应;边缘检测;结构元素

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2009)01-0032-04

A Novel Edge - Detection Algorithm in Wavelet Domain Based on Gray - Scale Morphology

WANG Shu-mei^{1,2}, WANG Zhi-cheng², CAI Jian¹

(1. Xuzhou Normal University, Xuzhou 221116, China;

2. CAD Research Center, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: In this paper, a better effective edge detection algorithm is presented based on the good boundary performance of gray - scale mathematical morphology, as well as the multi - resolution of wavelet decomposition. Firstly, the image which will be detected is done with multi - scale wavelet decomposition, and then, the low - frequency part and details are obtained. Secondly, the low - frequency part and details are edge - detected using dilation and erosion at the same time, further, the results are averaged. Lastly, the final result which is representative of the low - frequency is done with inverse wavelet transform joined with other details including middle - frequency and diagonal information, strong edge information of image is received, what is more, much clearer edge contour is obtained through binary operation. If the result has some noise, opening and closing operation will be used. The experimental results proved that this method is more effective than other ones, and simple to use.

Key words: wavelet transform; gray - scale morphology; self adaptive; edge detection; structure element

0 引言

边缘检测的算法国内外研究的很多。传统的边缘检测算法是基于空间运算的,借助空域微算子利用卷积来实现,目前常用的边缘检测算子有 Sobel 算子、Prewitt 算子、Robert 算子、Canny 算子以及 Zerocross 算子等^[1]。这些空域边缘检测抗攻击性较差,对噪声比较敏感,并且在边缘检测时提取的边缘的信息不够完整,影响了问题的研究和进程。

小波变换具有良好的局部频域化特性及多尺度分

析能力,具有检测局部突变的能力,适合于边缘检测。数学形态学作为一个基于几何结构的非线性滤波方法,是作为分析图像几何特征的有力工具^[2]。

这里将小波和数学形态学结合起来提取图像的边缘信息,使得边缘信息特征更为明显,边缘识别更为可靠。

1 图像小波变换

小波变换是正交变换,图像经过小波分解后可以得到低频信息和高频信息,低频信息还可以逐级分解,分解后得到的各级子图像都包含原始图像的空间结构信息,因此小波变换同时具有空域和频域的良好特性^[3]。

设二维图像 $D(m, n)$, 则对于给定的尺度函数

收稿日期:2008-05-14

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划基金(2006BAF01A42)

作者简介:王树梅(1972-),女,山东单县人,讲师,博士,研究方向为数字水印技术与图像处理等。

$h(u)$ 和小波函数 $g(v)$, 可用下式进行小波分解:

$$\begin{cases} d_{j;M,N}^{(0)} = \sum_m \sum_n h^{(0)}(m-2M, n-2N) d_{j+1;m,n}^{(0)} \\ d_{j;M,N}^{(1)} = \sum_m \sum_n h^{(1)}(m-2M, n-2N) d_{j+1;m,n}^{(0)} \\ d_{j;M,N}^{(2)} = \sum_m \sum_n h^{(2)}(m-2M, n-2N) d_{j+1;m,n}^{(0)} \\ d_{j;M,N}^{(3)} = \sum_m \sum_n h^{(3)}(m-2M, n-2N) d_{j+1;m,n}^{(0)} \end{cases} \quad (1)$$

其中, $d_{j;M,N}^{(0)}$ 为逼近项; 而 $d_{j;M,N}^{(l)}, l=1,2,3$ 为细节项。

$h^{(l)}(m,n), l=0,1,2,3$ 由下式确定:

$$\begin{cases} h^{(0)}(m,n) = h(m)h(n) \\ h^{(1)}(m,n) = h(m)g(n) \\ h^{(2)}(m,n) = g(m)h(n) \\ h^{(3)}(m,n) = g(m)g(n) \end{cases} \quad (2)$$

二维小波逆变换算法如下:

$$d_{j+1;m,n}^{(0)} = \sum_{l=0}^3 \sum_{M,N} h^{(l)}(m-2M, n-2N) d_{j;M,N}^{(l)} \quad (3)$$

令 H_r 和 H_c 分别代表对 $d_{j;M,N}^{(l)}$ 的行和列作用的算子, 而 G_r 和 G_c 分别代表对 $d_{j;M,N}^{(l)}$ 的行和列作用的算子, 设 $D_j^l = \{d_{j;m,n}^{(l)}; m,n \in \mathbb{Z}\}$, 则(1)式可以写为:

$$\begin{cases} D_j^0 = H_r H_c D_{j+1}^0 \\ D_j^1 = H_r G_c D_{j+1}^0 \\ D_j^2 = G_r H_c D_{j+1}^0 \\ D_j^3 = G_r G_c D_{j+1}^0 \end{cases} \quad (4)$$

(3)式可改写为:

$$D_{j+1}^0 = H_r^* H_c^* D_j^0 + H_r^* G_c^* D_j^1 + G_r^* H_c^* D_j^2 + G_r^* G_c^* D_j^3 \quad (5)$$

二维小波分解和重构算法如图 1 所示。

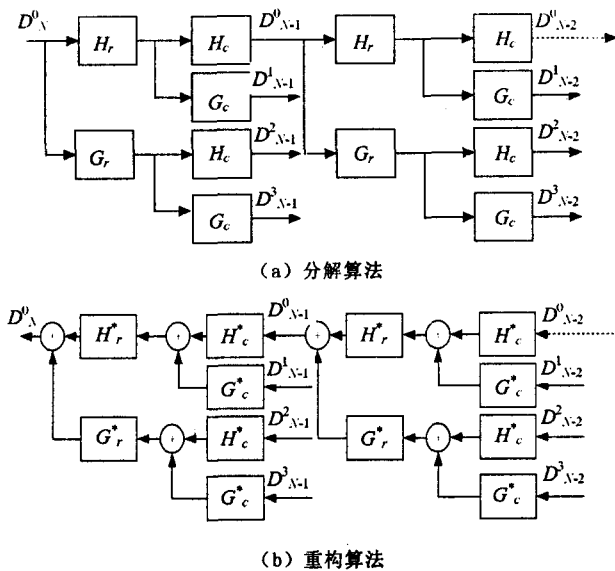


图 1 二维小波变换示意图

2 灰度形态学

2.1 膨胀

用结构元素 b 对输入的灰度图像 f 进行膨胀记为 $f \oplus b$, 其定义为:

$$(f \oplus b)(s,t) = \max\{f(s-x, t-y) + b(x,y) \mid (s-x, t-y) \in D_f \text{ 和 } (x,y) \in D_b\} \quad (6)$$

式中, D_f 和 D_b 分别是 f 和 b 的定义域。膨胀灰度图像的结果是, 比背景亮的部分得到扩张, 而比背景暗的部分得到收缩(如图 2 所示)。

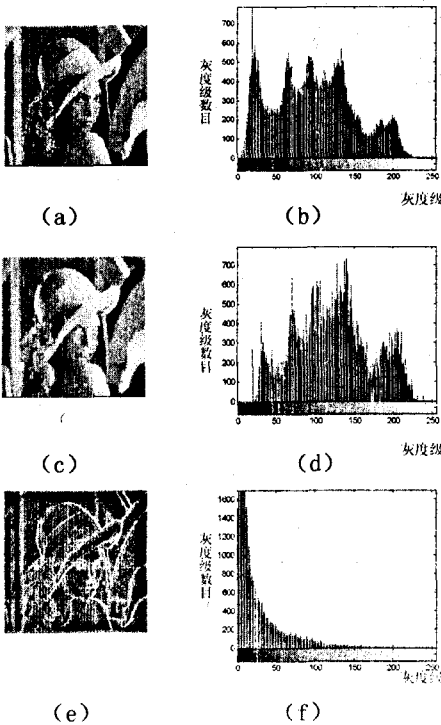


图 2 灰度图像膨胀

图中, (a) 为 Lena 图像; (b) 为 (a) 图的直方图; (c) 为对 (a) 膨胀后的图像; (d) 为 (c) 图的直方图; (e) 为 (c) 图与 (a) 图的差; (f) 为 (e) 图的直方图。

从图 2 中可以看出, 对 Lena 原始图像进行膨胀运算得到 (c) 图像, 从人眼直接观察可以看出, (c) 比 (a) 亮了很多, 从其相应的直方图来说更为充分地说明膨胀后的结果像素值大的像素数量增加, 而数值小的数量减少。将原始图像与膨胀结果做差运算, 得到 (e), (e) 体现出图像边缘轮廓结构, 且从其直方图 (f) 中可以看出膨胀对原始图像的影响曲线。

2.2 腐蚀

用结构元素 b 对输入的灰度图像 f 进行腐蚀记为 $f \ominus b$, 其定义为:

$$(f \ominus b)(s,t) = \min\{f(s+x, t+y) - b(x,y) \mid (s+x, t+y) \in D_f \text{ 和 } (x,y) \in D_b\} \quad (7)$$

式中, D_f 和 D_b 分别是 f 和 b 的定义域。腐蚀灰度图像的结果是, 比背景暗的部分得到扩张, 而比背景亮的部

分得到收缩(如图 3 所示)。

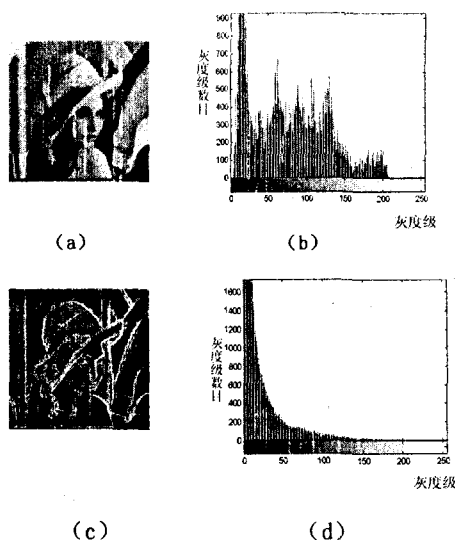


图 3 灰度图像腐蚀

图中,(a)为 Lena 图像的腐蚀;(b)为(a)图的直方图;(c)为 Lena 图像与(a)的差;(d)为(c)图的直方图。

从图 3 中可以看出,对 Lena 原始图像进行腐蚀运算得到(a)图像,从人眼直接观察可以看出,图 3 中的(a)比图 2 中的(a)暗了很多,从其相应的直方图来说更为充分地说明腐蚀后的结果像素值较小的像素数量增加,而数值较大的数量减少。将原始图像与腐蚀结果做差运算,得到图 3 的(c),体现出图像边缘轮廓结构,且从其直方图(d)中可以看出腐蚀对原始图像的影响曲线。

2.3 结构元素

在灰度图像形态学中,结构元素可以是任何的 3-D 结构,常用的有圆锥、圆柱、半球或抛物体。其大小总是奇数,这样中心正好对应一个像素^[4]。

设 $b(x, y)$ 代表一个 $n \times n$ 模板在 (x, y) 位置的值,令 $k = (n-1)/2$,则 $x \in [-k, k], y \in [-k, k]$ 。一个半球模板中的每一项可由下式计算:

$$b(x, y) = \sqrt{g^2 - x^2 - y^2} \quad (8)$$

其中 g 代表在模板中心的 $(0, 0)$ 处的最大值。一个圆柱模板中的每一项可由下式计算:

$$b(x, y) = \begin{cases} h & x^2 + y^2 \leq k^2 \\ 0 & x^2 + y^2 > k^2 \end{cases} \quad (9)$$

这里, h 表示圆柱的高度。

结构元素实际上是一个小窗口内的灰度‘形态’^[5],窗口的大小一般采用 $3 \times 3, 5 \times 5, 7 \times 7$ 的窗口,其中 3×3 窗口是最快速的,提取出的边缘也是最细致的。窗口大了会影响边缘提取的精确度。由于图像中的边缘特征各异,一般在边缘检测选取中心对称的结构元素。结构元素的核值一般大于其余点的值,但也

不要超出太大,需要根据图像本身的特征来确定。

图 4 为常用的 6 种 3×3 结构元素示意图(图中,位于四周的点表示有效的邻域像素,中心的点为中心像素)^[6,7]。

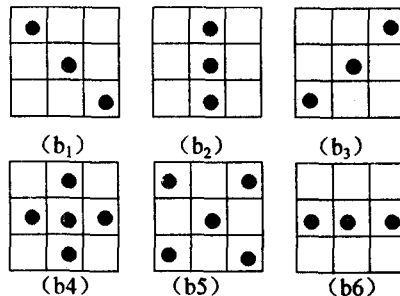


图 4 6 种 3×3 结构元素

图中,(b1)表示方向为 -45° ; (b2)表示垂直; (b3)表示方向为 45° ; (b4)表示圆柱型; (b5)表示对角型; (b6)表示水平。

利用多个结果元素可以检测出多种类型的边缘,同时消除了噪声。

3 边缘检测系统方案

下面是边缘检测算法描述,设 $f(x, y)$ 为原始图像的数据矩阵。

1) 原始图像的预处理:将原始图像归一化处理。

$$f_1(x, y) = \text{double}(f(x, y)) / 255 \quad (10)$$

2) 将 $f_1(x, y)$ 进行三级离散小波变换。

3) 利用结构元素(b4)和(b5)对低频部分分别进行膨胀和腐蚀形态学运算,并与低频做差,得到两个灰度边界图像。

$$LLD = LL \oplus b_4$$

$$LLE = LL \ominus b_5$$

$$LLDD = LLD - LLE$$

$$LL' = \frac{1}{2}(LLD + LLE) \quad (11)$$

4) 小波逆变换,得到具有边缘信息较强的灰度图像 $f'(x, y)$ 。

5) 二值化由 4) 得到的灰度边缘图像,二值化的关键在于阈值的选取。这里采用最优阈值 $T^{[4]}$ 来二值化,计算方法如下:

$$T = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2} + \frac{\sigma^2}{\mu_1 - \mu_2} \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) \quad (12)$$

式中, μ_1 和 μ_2 分别是背景和目标区域的平均灰度值, σ^2 为关于均值的均方差, P_1 和 P_2 分别为背景和目标区域灰度值的先验概率。

6) 边界细化。其实细化的过程就是用结构元素将梯度不是最大值的像素除去。

7) 去噪处理,结束。

4 实验仿真结果

为了说明本算法的有效性,这里采用 lena. bmp 图像来作为仿真对象(见图 5)。

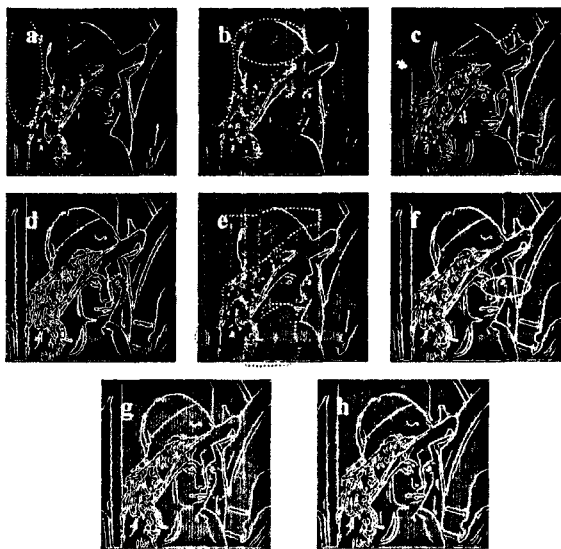


图5 Lena 图像边缘检测仿真结果

图中,(a)为 Sobel 算子结果;(b)为 Robert 算子结果;(c)为 Log 算子结果;(d)为 Canny 算子结果;(e)为 Prewitt 算子结果;(f)为高斯滤波和 Canny 算子结果;(g)为将前六种结果进行或运算的结果;(h)为本算法结果。

由图 5 可以看出常用的 Sobel 算子边缘检测、Robert 算子边缘检测、Log 算子边缘检测以及 Prewitt 算子边缘检测结果都很不理想,有部分边缘没有检测出来。这里 Sobel 算子边缘检测时使用的阈值为 0.12365,Robert 算子边缘检测使用的阈值为 0.13899,Log 算子边缘检测时使用的阈值为 0.0059765,Prewitt 算子边缘检测使用的阈值为 0.12049。而 Canny 算子边缘检测结果(如图 5 中的 d)相比前述的效果好一些,因为采用的阈值不是一个,而是一个阈值域[0.05625, 0.14063]。(f)子图为经过高斯滤波器将图像

平滑以后再用 Canny 算子进行边缘检测的结果,可以看出边缘信息比较明显,所有的边缘都可以清晰地看到,但是还有很多的噪音。(g)子图为将前面的所有的结果进行逻辑运算(或,与)后得到的结果,效果优良了很多,噪音也少了很多,所以在逻辑运算对二值图像的优化能力还是比较强的。(h)是文中所提出的算法边缘检测结果,相比之下,边缘信息比较完整、清晰,足以证明本算法的有效性和实用性。

5 结束语

提出一种效果较好的边缘检测算法,本算法将具有良好边缘检测能力的小波变换和灰度数学形态学结合起来,并且在二值化的时候采用最优阈值,使得边缘检测结果更为清晰。由实验结果可以看出,比较常用的几种边缘检测方法,本算法具有边缘细节丰富、边缘轮廓准确和抗噪强等优点。

参考文献:

- [1] Gonzalez R C, Woods R E, Eddin S L. 数字图像处理(Matlab 版)[M]. 阮秋琦,译. 北京:电子工业出版社,2006.
- [2] 林世毅,苏广川,陈东,等. 基于小波变换和数学形态学的边缘检测法[J]. 仪表仪器学报,2004,25(4):685-687.
- [3] 孙圣和,陆哲明,牛夏牧,等. 数字水印技术及应用[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [4] 章毓晋. 图像工程(上册)[M]. 第2版. 北京:清华大学出版社,2006.
- [5] Pei S C, Chen F C. Hierarchical Image Representation by Mathematical Morphology Subband Decomposition[J]. Pattern Recognit Lettm,1995,16:183-192.
- [6] 范立南,韩晓徽,张广洲. 图像处理与模式识别[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [7] 林卉,杜培军,舒宁,等. 基于多结构元素的数学形态学的遥感图像边缘检测方法[J]. 遥感技术与应用,2004,19(2):114-118.

(上接第 31 页)

- [1] 计算机应用,2003,23(52):173-174.
- [2] Stevens W R. TCP/IP Illustrated, Volume 1: The Protocols [M]. 北京:机械工业出版社,2004.
- [3] 张曾科. 计算机网络[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
- [4] Strvens R W. UNIX network programming volume 1: The Sockets Networking API[M]. Third Edition. 北京:机械工业出版社,2004.
- [5] Hong-Tack Ju. Embedded Web server architecture for Web-based element and network management [D]. Korea: DP&NM Lab, CSE, POSTECH, 2001.

- [6] Jones M T. 嵌入式系统 TCP/IP 应用层协议[M]. 路晓村等译. 北京:电子工业出版社,2003.
- [7] Tabara D, Rijanto H, Sabbattini B. Embedded Web technology: adding a new dimension to protection and control[J]. ABB Review,2001(2):16-19.
- [8] Liu M L. 分布式计算原理与应用[M]. 顾铁成等译. 北京:清华大学出版社,2004.
- [9] Spitzner L. Know your Enemy: Passive Fingerpringing[J/OL]. 2002-03. <http://project.honeynet.org/paper/figer>.
- [10] W3C. Hypertext Transfer Protocol[S]. RFC2616,1999.