

基于数学形态学的图像边缘检测算法的研究

李 杰 苗长云 武志刚 郭翠娟

(天津工业大学电子与信息工程学院 天津 300387)

摘 要 为了提高图像边缘检测的效率、降低噪声对图像边缘检测的影响,提出了一种基于数学形态学的图像边缘检测算法。该算法引入多元结构元素的概念,提出了一种改进的形态学边缘检测算子,能够有效地检测出带有噪声的图像边缘,并保持边缘的平滑性。实验结果表明,与传统边缘检测算子相比较,该算法抗噪声性能良好,实时性较好,具有一定的实用性和可行性。

关键词 图像处理,边缘检测,数学形态学

中图法分类号 TP391 **文献标识码** A

Algorithm for Edge Detection of Image Based on Mathematical Morphology

LI Jie MIAO Chang-yun WU Zhi-gang GUO Cui-juan

(School of Electronics and Information Engineering, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China)

Abstract In order to improve the efficiency of edge detection, and decrease the noise impact of the image edge detection, the algorithm of image edge detection was proposed based on mathematical morphology. The concept of Multivariate structural elements was introduced, and an improved morphological edge detection operator was proposed, which can effectively detect the edges of the image with noise, and keep the edge smoothness. Experiments demonstrate that compared with traditional edge detectors, this edge detector has a good performance of noise immunity, a better real-time performance and a certain practicality and feasibility.

Keywords Image processing, Edge detection, Mathematical morphology

1 引言

图像的主要信息存在于它的边缘、细节和纹理等特征中,保持图像的特征对于图像分割、图像识别和图像理解等图像后续处理任务有非常重要的意义。图像边缘检测的关键是在去除图像噪声和锐化图像边缘的同时,保持并增强图像的重要特征。实现图像边缘检测的方法有很多种,一种是点操作,常用的有灰度级变换和直方图法,灰度级变换通过改变图像中每一个像素的值来增强图像,直方图法根据图像原始的直方图,将每一个灰度级映射为一个新的值,这种方法只对没有充分利用灰度级范围的图像有较好的效果;还有一种方法是邻域运算,常用的有图像滤波和微分方法,图像滤波把原始图像的一个高通滤波版本加到原始图像上去,这种方法多在频域使用,微分方法利用微分算子检测图像边缘,然后调整边缘像素的灰度值来增强边缘和轮廓。

传统的图像边缘检测算法在增强图像的同时也增强噪声;更重要的是,传统图像边缘检测方法主要增加跨过边缘的灰度差别,而边缘宽度保持不变,这对于增强宽度狭小的和对比度低的边缘是有效的,而对于宽度大的和模糊的边缘,只增加对比度带来的效果非常有限。

数学形态学是一种非线性图像处理理论,它从集合论的角度分析、刻画图像的性质和特征,是一种应用于图像处理和

模式识别领域的新方法。它的基本思想是,用一定形态的结构元素去度量和提取图像中的对应形状以达到对图像分析和识别的目的。基于这种方法对图像进行边缘检测,既能体现图像几何特征,很好地检测图像边缘,又能满足实时性要求,并且可以在边缘检测的基础上,通过改变形态尺度来克服噪声影响。

本文提出了一种基于数学形态学的图像边缘检测的算法,其在实际图像边缘检测的同时,避免了放大噪声的问题。

2 结构元素的选择

结构元素是数学形态学中最基本的概念,在图像的形态分析中,结构元素起着重要的作用。在处理灰度图像时,常用的结构元素有圆锥、圆柱、半球或抛物体,采用不同的结构元素进行图像处理可以获得不同的结果。当在一系列的形态学变换中选用一种结构元素时,会因结构元素与图像匹配程度的逐步降低,而使各后续运算的效果逐渐减弱,甚至消失。同样的结构元素,对图像中的正脉冲噪声滤除得比较干净,而对负脉冲噪声却无法完全滤除。之所以产生这样的结果,是因为开运算在滤除正脉冲噪声的同时,增大了负脉冲噪声的范围,原来呈离散状态的负脉冲噪声无法完全滤除是必然的。因此,在进行结构元素选取时,首先需要根据待处理图像的几何形状和变化特征选取与之相适应的结构元素;其次在进行

本文受天津市科技支撑项目(08ZCKFGX02400)资助。

李 杰(1979—),女,硕士,讲师,主要研究方向为信息与通信系统, E-mail: 15332139969@189.cn.

每一步形态学运算时,选取不同的结构元素,以提高结构元素与输入图像的匹配程度;对于几何形状复杂的图像,就需要选择多元结构元素。

设选取 n 个结构元素用于数学形态学运算,则采用的多元结构元素 B_n 定义为:

$$B_n = b_1 \oplus b_2 \oplus b_3 \oplus \dots \oplus b_n \quad (1)$$

式中, b 为十字形 3×3 结构元。结构元尺寸可以是 $3 \times 3, 5 \times 5, 7 \times 7$ 或更大。形态操作的时间常与结构元尺寸成正比,通过分解结构元可以减少计算时间。用较小尺寸的结构元对图像进行处理,能较好地保护图像的细节。

3 边缘检测算子

常用的边缘检测算子有阶梯形边缘、屋顶形边缘和线性边缘。边缘是图像上灰度变化最剧烈的地方,传统的边缘检测算法就是利用了这一特点,对图像各个像素点进行微分或求二阶微分来确定边缘像素点。这些边缘检测算子算法简单、运算量小、几何意义明显,但其由于均采用了固定的结构元素来构造边缘检测算子,因此抗噪声的性能有限,而且用单一的边缘检测算子很难检测出各种几何形状的边缘,在实际处理中效果也不甚理想。因此本文使用构造的组合结构元素构造边缘检测算子。

设 $f(x, y)$ 是输入的图像灰度函数, $B(x, y)$ 是结构元素函数,取 n 元结构元素且都定义在 R^2 或 Z^2 上, D_f 和 D_b 分别是函数 $f(x, y)$ 和 $B(x, y)$ 的定义域。

n 元结构元素函数的加权平均值为:

$$B_{avr}(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\lambda_i B_i(x, y)) \quad (2)$$

根据图像中结构元素的重要程度设定权重,其中 $\lambda_i \in [0, 1], i \in [1, n], i$ 为整数。

若采用膨胀运算,则边缘检测算子为:

$$E_i(x, y) = (f(x, y) \circ B_i(x, y)) \oplus B_{avr}(x, y) - (f(x, y) \circ B_i(x, y)) \cdot B_{avr}(x, y) \quad (3)$$

若采用腐蚀性运算,则边缘检测算子为:

$$E_i(x, y) = (f(x, y) \cdot B_i(x, y)) \circ B_{avr}(x, y) - (f(x, y) \cdot B_i(x, y)) \ominus B_{avr}(x, y) \quad (4)$$

若采用膨胀腐蚀运算,则边缘检测算子为:

$$E_i(x, y) = (f(x, y) \circ B_i(x, y)) \oplus B_{avr}(x, y) - (f(x, y) \cdot B_i(x, y)) \ominus B_{avr}(x, y) \quad (5)$$

对综合计算出的 n 个边缘检测算子,加入适当的权值,得到多元边缘检测算子:

$$E_{avr}(x, y) = \sum_{i=1}^n a_i E_i(x, y) \quad (6)$$

式中,权值 a_i 的计算方法如下:

设图像的灰度范围为 $[1, L]$, 各灰度级像素出现的概率为 $P_0, P_1, P_2, \dots, P_L$, 设根据边缘检测算子 $E_i(x, y)$ 处理后的图像为 $I_i, i \in [1, n]$ 。

首先计算 I_i 的熵值:

$$e(I_i) = - \sum_{k=0}^{L_i} P_i \log_2 P_i \quad (7)$$

$k=1, 2, \dots, L; i=1, 2, \dots, n$

由熵计算提取出的权值 a_i 为:

$$a_i = e(I_i) / \left[\sum_{k=1}^n e(I_k) \right] \quad (8)$$

$$i, k=1, 2, \dots, n$$

4 实验分析

为了验证上述提出的基于数学形态学的多元图像检测算法,利用 VC++ 6.0 环境开发了基于该算法的图像处理程序对原始图像(见图 1)进行图像处理测试。图 2 是通过传统的图像边缘检测算法处理后的图像,图 3 取 $n=3$, 即 3 元结构元素时得到的图像。对比图 2 和图 3 不难看出,图 3 的效果比图 1 的更大限度地保留了图像的特征,同时避免了出现毛刺噪声的现象。



图 1 原始图像



图 2 传统图像边缘检测算法处理后的图像



图 3 ($n=3$)本文图像边缘检测算法处理后的图像

结束语 图像边缘检测的关键是在去除图像噪声的同时,尽可能多地保持图像的重要特征。本文针对传统图像边缘检测算法的缺陷,提出了基于数学形态学的多元图像边缘检测算法。该算法可根据图像的实际情况选择结构元素,计算边缘检测算子,对图像边缘的检测具有针对性强、边缘平滑性好、抗噪声和实时性好等特点。但该算法也存在一些不足之处,如计算量会随着 n 的增大而增大,当 $n=5$ 时,边缘检测算子的运算时间是 $n=3$ 时的 1 倍;当 $n=9$ 时,边缘检测算子的运算时间超过 $n=3$ 时的 3 倍,因此,通常采用 $n=3$, 这样既可以保证图像处理的实时性,又保证了图像处理的质量。

参考文献

- [1] 杨健雯,程涛波,钟振宇,等. 数学形态学和 LoG 算子结合的边缘检测技术[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(36): 177-179
- [2] 欧温暖. 几种常见边缘检测算子的分析比较[J]. 现代计算机, 2010(5): 75-77
- [3] 孙红艳,张海英. 图像边缘检测算法的比较与分析[J]. 菏泽学院学报, 2010, 32(2): 49-52
- [4] Zhang Jun-ying. Edge detection in glass fragmentation images based on one order differential operator[J]. IEEE Computer So-

- [5] 王慧锋, 战桂礼, 罗晓明. 基于数学形态学的边缘检测算法研究及应用[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(9): 223-226
- [6] 朱红高. 图像边缘检测技术研究现状[J]. 制造业自动化, 2010, 32(1): 45-47
- [7] 魏强强. 数学形态学及其在图像边缘检测中的应用[J]. 科技信息, 2010(9): 42-43

- [8] 范立南, 韩晓薇, 王忠石, 等. 基于多结构元的噪声污染灰度图像边缘检测研究[J]. 武汉大学学报, 2003, 36(3): 86-90
- [9] Gonzalez R C, Woods R E. Digital Image Processing (2nd Edition) [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004
- [10] 姚敏, 等. 数字图像处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006: 55-65

(上接第 514 页)

系数采用逆曲波变换, 便可生成融合图像。

3 实验结果和数据分析

本文在 MATLAB7. 0. 1 平台上实现该图像融合算法。图像多尺度分解采用第二代 Curvelet 变换, 用于实验的源图像 I_1 是可见光图像, I_2 是红外图像, 如图 3 所示。

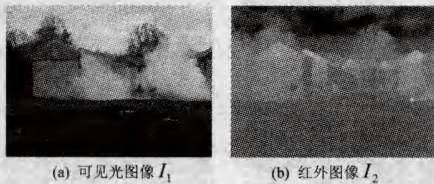


图 3 源图像

对比以下几种方法: 基于小波变换融合方法和传统的低频取平均高频取绝对值大者的融合方法, 以及本文融合方法。融合后的结果如图 4 所示。

性能评价从独立因素(IF)、联合因素(UF)以及综合评价(CA) 3 个角度进行分析, 具体评价指标包括均值(MV)、平

均梯度(MG)、信息熵(IE)、均方根误差(RMSE)、偏差指数(DI)、边缘保持度(EP)和相关系数(Corr)^[11], 实验数据如表 1 所列。从表中可以看出, 本文提出的方法在独立因素中的均值、平均梯度有一定的提高, 信息熵有稍微的降低; 联合因素和综合评价中, 均方根误差、偏差指数、边缘保持度和相关系数上相对于传统方法都有相应的改进, 较基于小波框架变换的融合方法各项指标都有所改善。

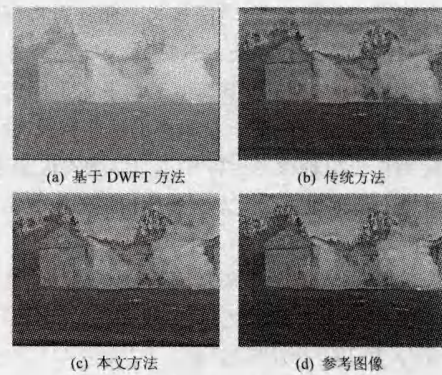


图 4 采用不同方法融合后的图像对比

表 1 各种图像融合方法性能指标对比

	独立因素		联合因素			综合评价	
	均值	平均梯度	信息熵	均方根误差	偏差指数	边缘保持度	相关系数
可见光图像	114.2854	23.7326	7.1832	35.5489	11.8623	/	0.8971
红外图像	112.1173	9.3217	6.3753	37.2577	2.2881	/	0.0261
基于小波框架变换的方法	111.6341	15.6375	6.3029	16.2798	1.2065	0.1247	0.8532
传统方法	113.2013	24.8050	6.7062	8.5159	0.6317	0.5541	0.9639
本文提出的方法	113.2013	24.2267	6.5761	7.7336	0.0148	0.5619	0.9649

结束语 综上所述, 用第二代 Curvelet 变换对图像进行多尺度分解, 并采用显著性测度和基于窗口匹配度联合分析的方法可以较好地保持图像的边缘、纹理等高频信息, 而且对近似系数进行强度一致性变换后再加权平均可以有效地增加图像的动态范围, 减少细节损失。文章讨论的融合规则提高了融合图像的各项性能指标, 特别是针对可见光和红外图像, 要获得各目标和场景均清晰的图像可以采用本文方法, 分辨率和清晰度将有较好的提高, 视觉效果可以达到较高的水平。

参考文献

- [1] Linas J, Edward W. Multi-sensor data fusion[M]. Boston: Artech House, 1990
- [2] Candes E J, Donoho D L, Ying L. Fast discrete curvelet transforms[R]. Applied and Computational Mathematics, California Institute of Technology, 2005
- [3] 安红岩, 张正肖, 杨武年. Curvelet 变换在多聚焦图像融合中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(8): 170-172
- [4] Flesia A G, Hel-Or H, Averbuch A, et al. Digital implementation

of ridgelet packets[M]//Wavelets B, Stoeckler J, Welland G V, eds. Academic Press, San Diego, CA, 2003

- [5] 付梦印, 赵诚. 基于二代 Curvelet 变换的红外与可见光图像融合[J]. 红外与毫米波学报, 2009, 28(5): 254-258
- [6] Zhang Guang-ming, Cui Zhi-ming, Li Fang-zhang, et al. DSA Image Based on Dynamic Fuzzy Logic and Curvelet Entropy[J]. Journal of Multimedia, 2009, 4(3): 129-133
- [7] 李晖晖, 郭雷, 刘航. 基于二代 Curvelet 变换的图像融合研究[J]. 光学学报, 2006, 26(5)
- [8] Nencini F, Garzelli A, Baronti S, et al. Remote sensing image fusion using the curvelet transform[J]. Science Direct, Information Fusion, 2007(8): 143-150
- [9] 闫莉萍, 刘宝生, 周东华. 一种新的图像融合及性能评价方法[J]. 系统工程与电子技术, 2007: 509-513
- [10] 敬忠良, 肖刚, 李振华. 图像融合——理论与应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007: 109-110
- [11] 何贵青, 陈世浩, 田沅, 等. 多传感器图像融合效果综合评价研究[J]. 计算机学报, 2008, 31(3): 486-491