

一种基于数学形态学的灰度图像边缘检测算法

付永庆, 王咏胜
(哈尔滨工程大学 信息与通信工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要: 基于数学形态学的方法, 利用形态运算膨胀、腐蚀、开、闭等变换以及它们的组合, 该文提出了一种改进的形态学边缘检测算子, 能够有效地检测出图像边缘, 并保持边缘的平滑性. 同时引入多尺度的概念, 对形态结构元素尺度的大小进行调整, 从而在噪声存在的条件下得到较理想的图像边缘. 实验结果表明, 与传统的边缘检测算子相比较, 该算法抗噪性能良好, 计算量较小, 因此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

中图分类号: TN 911 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7043(2005)05—0685—03

An algorithm for edge detection of gray-scale image based on mathematical morphology

FU Yong-qing, WANG Yong-sheng
(School of Information and Communication Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract: On the basis of mathematical morphology, an improved edge detection operator is proposed that uses morphological operations such as dilation, erosion, opening, closing and their combination. The method can detect the edge efficiently and keep the detected edge smooth. Also introduced was the concept of multi-scale. In order to obtain an ideal image edge under the circumstances of existing noise, the size of structuring elements was adjusted. Experiments demonstrate that compared with traditional edge detectors, this edge detector has a good performance of noise reduction and requires fewer calculations, enhancing its practicality.

Keywords: image processing; edge detection; mathematical morphology

边缘是图像灰度不连续性的反映, 它包含了图像的大量信息, 反映了物体的特征. 传统的边缘检测算法^[1]一般利用梯度极大值或二阶导数过零点值来检测边缘, 对噪声比较敏感, 在处理含有噪声的图像时, 易造成检测出的边缘模糊, 效果不太理想. Canny 最优边缘检测算子, 采用与 Gaussian 函数的一阶导数相近的滤波函数, 性能优于传统的边缘检测算子, 但定位不够精确, 且计算量较大^[2]. 数学形态学建立在集合论的基础上, 其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^[3]. 基于形态学的边缘信息提取不像微分算法那样对噪声敏感, 同时计算量较小, 并且可以通过改变结构元素和形态尺度的大小来克服噪声的影响^[4-8].

在数学形态学的基础上, 文中提出了一种多尺

度边缘检测算法, 并通过自适应方法逐步调整结构元素的尺寸, 以有效地减轻边缘检测的模糊性并消除噪声的影响. 与传统的边缘检测算子相比, 该算子检测出的边缘平滑, 特征清晰, 且计算量较小, 实时性好.

1 形态学边缘检测算子

设 $f(x, y)$ 是输入的图像灰度函数, $b(x, y)$ 是给定的结构元素, 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. 则 $b(x, y)$ 对 $f(x, y)$ 进行灰度膨胀的运算式为

$$(f \oplus b)(s, t) = \max\{f(s-x, t-y) + b(x, y) \mid (s-x, t-y) \in D_f; (x, y) \in D_b\}. \quad (1)$$

$b(x, y)$ 对 $f(x, y)$ 进行灰度腐蚀的运算式为

$$(f \ominus b)(s, t) = \min\{f(s+x, t+y) - b(x, y) \mid (s+x, t+y) \in D_f; (x, y) \in D_b\}. \quad (2)$$

其中, 结构元素的选择是关键, 它直接影响形态运算

的效果.

根据形态运算, 引入图像边缘提取的形态学算法: 设 $E(x, y)$ 表示图像的边缘函数, 则按照形态膨胀构造的图像边缘检测算子为

$$E_d(x, y) = f \oplus b(x, y) - f(x, y). \quad (3)$$

按照形态腐蚀构造的图像边缘检测算子为

$$E_e(x, y) = f(x, y) - f \ominus b(x, y). \quad (4)$$

膨胀腐蚀型边缘检测算子(又称为形态学梯度)为

$$G(x, y) = (f \oplus b) - (f \ominus b). \quad (5)$$

灰度膨胀运算在结构元素的值为正时, 使输出图像趋向比输入图像亮, 同时暗细节被削减或去除; 灰度腐蚀运算在结构元素的值为正时, 使输出图像趋向比输入图像暗, 同时亮细节被削弱或去除. 因此, 基于膨胀运算的边缘检测往往使图像边缘变模糊, 而基于腐蚀运算的边缘检测则又使输出图像边缘丢失了一些细节. 为了减小图像边缘的模糊性并保留更多的边缘细节, 以得到理想的图像边缘, 对上述边缘检测算子加以修正, 令

$$E_{\min}(x, y) = \min\{E_d(x, y), E_e(x, y), G(x, y)\}, \quad (6)$$

$$E_{\max}(x, y) = \max\{E_d(x, y), E_e(x, y), G(x, y)\}, \quad (7)$$

$$E_{\text{dec}}(x, y) = E_{\max}(x, y) - E_{\min}(x, y). \quad (8)$$

则定义新的边缘检测算子为

$$E(x, y) = E_d(x, y) + 0.5E_{\text{dec}}(x, y). \quad (9)$$

修正后的边缘检测算子因为迭加了一些边缘细节, 所以在一定程度上减轻了边缘的模糊性, 在此基础上, 引入多尺度的方法能够提高抗噪能力, 更有效地检测图像边缘.

2 多尺度边缘检测算法

结构元素是数学形态学中一个最重要也是最基本的概念, 它的选择直接影响了图像边缘检测的结果, 不同的结构元素可用于提取不同的图像特征. 小尺寸的结构元素去噪声能力弱, 但检测的边缘细节较好, 大尺寸的结构元素去噪声能力强, 但检测的边缘较粗糙. 因此为了有效克服噪声的影响, 得到准确的边缘检测信息, 必须合理调整结构元素尺度的大小.

经过分析与比较, 在这里采用的多尺度结构元素定义为:

$$b_n = b \oplus b \oplus b \oplus \cdots \oplus b. \quad (10)$$

式中: n 称为尺度参数, 是一正整数; b 为有限结构元素, 取 b 为十字形 3×3 结构元. 上式的含义即大尺度的结构元素由小尺度的结构元素多次膨胀得到, 再根据式(9), 得到的多尺度边缘检测算子为

$$E_M(x, y) = \sum_{i=1}^n a_i E_i(x, y). \quad (11)$$

式中: a_i ($i=1, 2, \cdots, n$) 为权系数,

$$E_i(x, y) = f \oplus b_i - f + 0.5[\max\{f \oplus b_i - f, f - f \ominus b_i, G(x, y)\} - \min\{f \oplus b_i - f, f - f \ominus b_i, G(x, y)\}]. \quad (i=1, 2, \cdots, n). \quad (12)$$

权系数 a_i 可以按照如下算法选择:

1) 根据式(10), 分别求出用不同尺度的结构元素对图像进行开闭、闭开滤波的均值图像

$$f_i(x, y) = (f \circ b_i \circ b_i + f \circ b_i \circ b_i) / 2;$$

2) 计算不同尺度下的标准差 $\Delta_i = |f - f_i|$ 和方差 $\Delta_i^2 = |f - f_i|^2$;

3) 依据权重与对应的图像差值成反比的原则, 确定权系数 a_i 为

$$a_i = \Delta_{i-1} / \sum_{i=k}^l \Delta_i \text{ 或 } a_i = \Delta_{i-1}^2 / \sum_{i=k}^l \Delta_i^2.$$

3 实验与分析

仿真试验是在 celeron667 MHz 处理器 128 MB 内存的环境下进行的. 作为比较, 同时给出采用 LOG 算子和 Canny 算子的边缘检测图像.

图 1 为无噪声情况下的边缘检测. 可以看出, Canny 算子的边缘检测性能优于 LOG 算子, 但两者检测出的边缘都有较多的断点, 细节表现不好. 文中提出的多尺度边缘检测算法检测出的边缘较为平滑, 保留了更多的边缘细节. 图 1(d) 为单尺度时的检测结果, 逐步增大尺度, 当尺度参数 $n=5$ 时已经可以获得较满意的结果. 图 1(f) 给出了 $n=9$ 时的边缘检测结果, 继续增大尺度参数, 效果并不明显, 却使计算量显著增加(一般取 n 为 $3 \sim 5$). 另一方面, Canny 算子利用高斯函数做卷积运算, 计算量大, 时间消耗也大, 而形态学多尺度边缘检测算子只做普通的加减运算及求最大最小值运算, 时间消耗较少. 实验所得出的参考时间如表 1 所示, 图像尺寸为 512×512 (像素).

表 1 边缘检测算子的运算时间对比表

Table 1 Comparison of operation time for edge detectors

LOG 算子	Canny 算子	形态学多尺度边缘检测算子			
		$n=1$	$n=3$	$n=5$	$n=9$
3.5	7	2	3.5	6	10

图 2 为有噪声情况下的边缘检测. 图 2(a) 为高斯噪声图像, 图 2(b)~(d) 为各算子分别对高斯噪声图像的边缘检测. 从试验结果可以看出, 与 Canny 算子相比, 形态学多尺度边缘检测算子的去噪能力基本令人满意, 尤其对椒盐噪声能达到很好的效果, 并且检测出的边缘平滑, 人物脸部特征清晰, 计算时间也少.

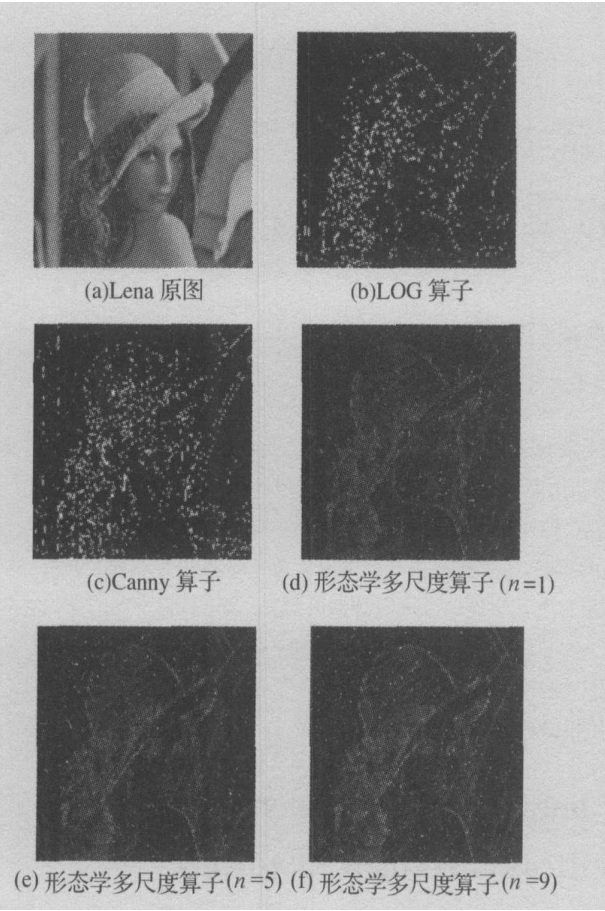


图 1 无噪声时的边缘检测

Fig. 1 Edge detection of image without noise

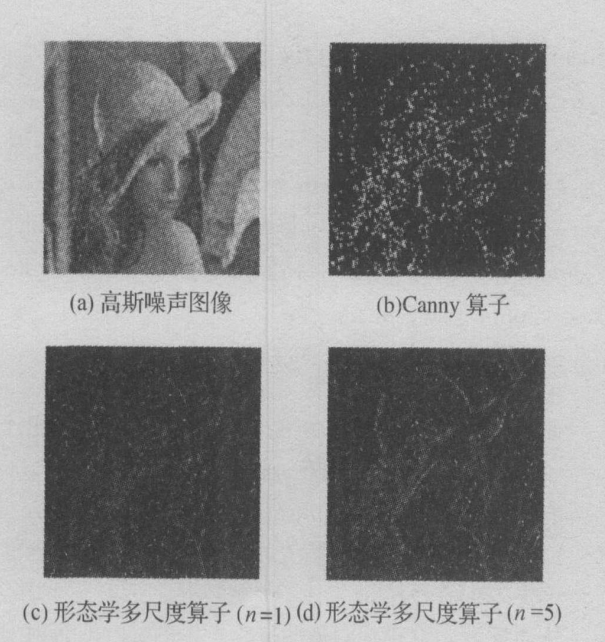


图 2 有噪声时的边缘检测

Fig. 2 Edge detection of image with existing noise

4 结束语

边缘检测在图像处理与计算机视觉中占有特殊

的位置,它是底层视觉处理中最重要的环节之一,而数学形态学是数字图像处理的一种有效方法.文中提出的基于数学形态学的多尺度边缘检测算法,与传统的边缘检测算子相比,具有更好的抗噪性和实时性,且检测出的边缘平滑性好,因而有一定的实用性.不足之处在于对高斯噪声图像的去噪效果不是十分理想,一种切实可行的解决方案是对检测出的边缘图像再做二值化处理,这样做的结果类似于Canny算子的处理效果,边缘的平滑性稍差,更有效的方法有待于进一步的研究.

参考文献:

[1] 阮秋琦. 数字图像处理学[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001.
RUAN Qiuqi. Digital image processing[M]. Beijing: Electronic Industries Press, 2001.

[2] 龚 炜, 石青云, 程明德. 数字空间中的数学形态学——理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
GONG Wei, SHI Qingyun, CHENG Mingde. Theory and application of mathematical morphology in the digital space [M]. Beijing: Science Press, 1997.

[3] 杨 , 梁德群, 杨万海. 边缘检测中 Canny 算子、二次样条小波算子性能分析[J]. 通信学报, 1999, 20(8): 47— 51.
YANG Xuan, LIANG Dequn, YANG Wanhai. Performance comparison for Canny operator and spline wavelet operator in edge detection[J]. Journal of China Institute of Communications, 1999, 20(8): 47— 51.

[4] 范立南, 韩晓微, 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.
FAN Linan, HAN Xiaowei, WANG Zhongshi, et al. Research on edge detection of noise gray-scale image based on multistructuring elements [J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2003, 36(3): 86— 90.

[5] 杨述斌, 彭复员, 张增常. 多尺度自适应加权形态边缘检测方法[J]. 华中科技大学学报, 2002, 30(10): 87— 89.
YANG Shubin, PENG Fuyuan, ZHANG Zengchang. Morphological edge detector with multiscale adaptive weighting [J]. Journal of Huazhong University of Science & Technology, 2002, 30(10): 87— 89.

[6] LOUVERDIS G, VARDAS M I, ANDRESDIS I, et al. A new approach to morphological color image processing[J]. Pattern Recognition, 2002, 35: 1733— 1741.

[7] CHEN T, WU Q H, TORKAMAN R R, et al. A pseudo top— hat mathematical morphological approach to edge detection in dark regions[J]. Pattern Recognition, 2002, 35: 199— 210.

[8] ACTON S T, MUKHERJEE D P. Area operators for edge detection[J]. Pattern Recognition Letters, 2000, 21: 771— 777.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net