

# 基于多结构元素的数学形态学图像边缘检测

王 新,黄兆云

WANG Xin,HUANG Zhao-yun

中国石油大学 计算机科学与技术系,北京 102249

Department of Computer Science and Technology,China University of Petroleum,Beijing 102249,China

E-mail:xinwang@cup.edu.cn

WANG Xin,HUANG Zhao-yun.Image edge-detection based on mathematical morphology of multi-structure element algorithm.Computer Engineering and Applications,2008,44(7):89-90.

**Abstract:** The paper presents a method of image edge detection based on multi-structure and multi-grade weighted combination of mathematical morphology,in which the idea of morphological filter is used and on the anti-noise operators of morphological based on single-structure are improved.In this method,the fixed mean with the peak-value SNR (Signal-to-Noise) is replaced,which is tested a self-adaptive method.The experiment result compared with traditional morphological methods shows that this method remains good detected edge of image and can improve the denoising power as well.

**Key words:** image processing;edge detection;mathematical morphology;multi-structuring arithmetic;multi-grade weighted combination

**摘 要:**基于改进的单结构元素抗噪型形态边缘检测算子和形态滤波思想,提出了一种多结构元素的多路加权合成形态边缘检测算法。在该算法中,采用峰值信噪比代替固定均值来确定加权参数,是一种自适应方法。与传统的边缘检测算法的对比实验表明,该算法图像边缘检测效果较好,降噪能力也得到了提高。

**关键词:**图像处理;边缘检测;数学形态学;多结构元素;多路加权合成

**文章编号:**1002-8331(2008)07-0089-02 **文献标识码:**A **中图分类号:**TP391.41

图像最基本的特征是边缘,边缘检测是图像处理与识别中最基础的内容之一。经典的微分边缘算子如 Roberts 算子、Sobel 算子、Prewitt 算子、LOG 算子和 Canny 算子等,这些空域边缘算子对噪声都比较敏感,常常会在检测边缘的同时加强噪声。

数学形态学是一种非线性滤波方法。它的基本思想是用具有一定形态的结构元素去量度、提取图像中对应的形状以达到对图像分析和目标识别的目的。形态学运算是物体形状集合与结构元素之间的相互作用,对边缘方向不敏感,并能在很大程度上抑制噪声和探测真正的边缘。同时数学形态学在图像处理方面还具有直观上的简单性和数学上的严谨性,在描述图像中物体形状特征上具有独特的优势。因此,将数学形态学用于边缘检测,既能有效地滤除噪声,又可保留图像中的原有细节信息,具有较好的边缘检测效果。

## 1 基于多结构元素的形态学边缘检测

基于形态学的图像边缘检测的关键是如何利用形态学的各种基本运算的组合构造形态学边缘检测算子以及如何选取结构元素来较好地解决边缘检测精度与抗噪声性能的协调问题。

### 1.1 形态学边缘检测算子

形态学边缘检测算子(形态学梯度)由形态学的膨胀、腐蚀、

开启、闭合四种运算通过各种组合构成。用  $f(n)$  表示图像函数,  $B$  表示结构元素。

基本的形态学边缘检测算子<sup>[1-5]</sup>如下:

$$\text{膨胀型: } Grad_1=f(n)\oplus B-f(n) \quad (1)$$

$$\text{腐蚀型: } Grad_2=f(n)-f(n)\ominus B \quad (2)$$

$$\text{膨胀腐蚀型: } Grad_3=f(n)\oplus B-f(n)\ominus B \quad (3)$$

$$\text{开运算型: } Grad_4=f(n)-f(n)\circ B \quad (4)$$

$$\text{闭运算型: } Grad_5=f(n)\cdot B-f(n) \quad (5)$$

$$\text{开闭运算型: } Grad_6=f(n)\cdot B-f(n)\circ B \quad (6)$$

可见,形态学边缘检测算子是一种非线性的差分算子,而且其检测出的边缘与结构元素  $B$  有关。其中,前 3 种算子可以分别提取图像外边缘、内边缘和骑跨在实际欧氏边界上的边缘,但是对噪声都很敏感,适用于噪声较小的图像,后 3 种算子的抗噪性能好于前 3 种算子,但存在偏移现象。

### 1.2 抗噪型形态边缘检测算子

由灰度形态学基本运算的定义可知,腐蚀运算可以去掉图像中比结构元素小的亮细节,膨胀运算可以去掉比结构元素小的暗细节。开启运算可以消除比结构元素小的亮细节,而保持图像整体灰度和大的亮区域基本不受影响。闭合运算以消除比结构元素小的暗细节,而保持图像整体灰度和大的暗区域基本

**作者简介:**王新(1966-),女,副教授,主要研究方向:数据库与信息系统、图像处理等;黄兆云(1978-),男,硕士研究生,主要研究方向:图像与图像处理。

**收稿日期:**2007-06-21 **修回日期:**2007-09-11

不受影响。利用形态膨胀、腐蚀和开、闭运算的特性,对上述后三种基本算子进行改进,得到抗噪型形态边缘检测算子<sup>[6]</sup>如下:

$$\text{抗噪膨胀型: } OGrad_1 = f(n) \oplus B - f(n) \cdot B \quad (7)$$

$$\text{抗噪腐蚀型: } OGrad_2 = f(n) \circ B - f(n) \ominus B \quad (8)$$

$$\text{抗噪膨胀腐蚀型: } OGrad_3 = (f(n) \circ B) \oplus B - (f(n) \cdot B) \ominus B \quad (9)$$

式(7)~式(9)中,抗噪膨胀型形态边缘检测算子  $OGrad_1$  对正脉冲的响应为 0,抗噪腐蚀型形态边缘检测算子  $OGrad_2$  对负脉冲的响应为 0,抗噪膨胀腐蚀型形态边缘检测算子  $OGrad_3$  则对正负脉冲的响应都为 0。本文利用抗噪膨胀腐蚀型形态边缘算子来进行边缘检测。

### 1.3 结构元素的选择

选取不同的尺寸和形态的结构元素可以根据不同的图像情况和处理精度要求。用较大尺寸的结构元素对图像进行处理,会损失更多的图像细节,但是能滤除较大尺寸的噪声点;反之,用较小尺寸的结构元素对图像进行处理,能较好地保护图像的细节,检测到好的边缘细节,但对尺寸较大的噪声的抑制能力相对较弱。

采用不同取向的小尺度结构元素,将每一结构元素作为一种尺度对图像细节进行匹配,即可在多结构元素下实现图像几何特征的保持。本文采用小尺度(小于  $3 \times 3$  窗口)的结构元素,下面是定义的 6 种小尺度结构元素:

$$B_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, B_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}, B_3 = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, B_4 = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$B_5 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}, B_6 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$$

结构元素  $B_1, B_2$  分别选择尺度为  $3 \times 3$  的邻接像素模板和弱像素模板,  $B_3 \sim B_6$  是不同走向的  $2 \times 2$  小尺度结构矩阵,目的是能准确地检测到不同走向的边缘。

### 1.4 多结构元素的多路加权合成形态边缘检测算法

本文在改进的抗噪型形态边缘检测算子和形态滤波思想的基础上,提出基于多结构元素的多路加权合成边缘检测算法。算法的思想如下:

(1)首先将含噪图像针对某一结构元素  $B_i(i=1, 2, \dots, 6)$  分  $A, B$  两路进行处理,一路进行开-闭运算,另一路进行闭-开运算。开、闭运算可分别对图像的内外进行滤波达到去除噪声的目的,两种运算都可除去比结构元素小的图像细节,同时保证不产生全局的几何失真。对每一路运算中的每一个结构元素的滤波结果,按以下方法求其最大值<sup>[7]</sup>,得到  $f'_a(n)$  和  $f'_b(n)$ 。

对开-闭运算结果采用最大值:  $f'_a(n) = OC_{\max} = \max\{OC_i | i=1, 2, \dots, 6\}$

对闭-开运算结果采用最小值:  $f'_b(n) = CO_{\min} = \min\{CO_i | i=1, 2, \dots, 6\}$

对滤波结果的上述优化考虑到了不同形态滤波针对噪声类型(亮、暗噪声)的差异,进行开闭滤波后的子图像没能够全部滤除黑噪声,通过求取各像素点的最大值可以有效改善这个问题;同样地,闭开滤波后的子图像也没有能全部滤除白噪声,使用改进后的方法能够降低白噪声污染。该步骤中,开-闭运算和闭-开运算中不同的形态操作也可以选择不同的结构元素。

(2)用  $f'_a(n)$  和  $f'_b(n)$  分别近似无噪声的原始图像,并计算各个结构元素滤波效果的峰值信噪比  $psnr_i(i=1, 2, \dots, 6)$ , 以其比例确定权值  $w_i(i=1, 2, \dots, 6)$ :

$$w_i = \frac{psnr_i}{\sum_{i=1}^6 psnr_i} \quad (10)$$

其中:

$$PSNR = 10 \ln \left[ \frac{255^2}{\frac{1}{M \times N} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} (O(x, y) - f(x, y))^2} \right] \quad (11)$$

$O(x, y)$  表示滤波后输出图像,  $f(x, y)$  表示输入图像。

(3)本文利用抗噪膨胀腐蚀型的边缘检测算子,针对各结构元素再对  $A$  路的结果  $f'_a(n)$  进行开启和膨胀操作;对  $B$  路结果  $f'_b(n)$  进行闭合和腐蚀操作。计算  $edge_i = (f'_a(n) \circ B_i) \oplus B_i - (f'_b(n) \cdot B_i) \ominus B_i$ , 其中  $B_i(i=1, 2, \dots, 6)$  为前面定义不同的结构元素,  $edge_i$  是不同结构元素检测到的边缘。将求得的  $edge_i$ , 按照权值  $w_i$  进行合成,生成每一路的边缘图像。在该形态操作中,结构元素的选择需要变换尺度和结构,采用不同于上步中的结构元素,目的是为了进一步去除噪声。

(4)最后针对各路求得的图像边缘再次进行合成,得到最终的图像边缘。合成最后的边缘图像 =  $\alpha * A$  路边缘图像 +  $(1 - \alpha) * B$  路边缘图像,其中  $\alpha \in (0, 1)$ , 可以根据检测出边缘效果或不同要求进行合理的参数调整。

(5)如果要得到灰度边缘图像,需要对结果图像进行灰度范围的调整,以提高图像的可视性;如果要得到二值边缘图像,需要根据结果图像求取阈值,进行二值化处理,得到最终的边缘图像。

形态操作的流程图如图 1 所示。

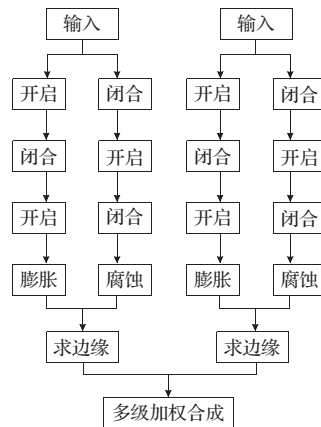


图 1 多结构元素多路加权合成形态边缘检测算法流程图

## 2 实验结果与分析

用加入随机密度为 10% 的椒盐噪声 Lenna 图像对以上算法进行验证,并使用经典的 Roberts 算子, Sobel 算子, Prewitt 算子, LOG 算子和 Canny 算子分别进行检测来和本算法相比较。实验结果如图 2 和图 3 所示。图 2(a)~(f)依次为:加入 10% 椒盐噪声的 Lenna 图像; Roberts 算子的检测结果; Sobel 算子的检测结果; Prewitt 算子的检测结果; LOG 算子的检测结果; Canny 算子的检测结果。

图 3 为  $A, B$  单路运算下的合成边缘结果和最终的两路合成边缘结果。其中图 3(a)、(b)分别为  $A, B$  单路运算下的加权合成结果,图 3(c)、(d)为两路加权合成结果,前者的  $\alpha$  取值为 0.4, 后者的  $\alpha$  取值为 0.6。