

# 一种基于改进算子的形态学边缘检测算法

张 伟,王军锋,王 涛,白 青  
(西安理工大学理学院,陕西 西安 710054)

**摘 要:**针对传统的边缘检测算法存在的不足,文中基于修正的边缘检测算子和形态滤波思想,采用多尺度和多结构元素,提出了一种新的多结构多尺度形态学灰度图像边缘检测算法,通过构造新算子实现边缘检测。在该算法中,分别将各个结构元素下的检测结果进行加权求和,得到图像的边缘。实验表明,和其他的传统或形态学边缘检测算法相比,文中方法具有更好的噪声抑制能力,而且边缘定位准确,检测到的边缘轮廓更加清晰完整。

**关键词:**图像处理;数学形态学;边缘检测;多结构元素;多尺度;加权合成

中图分类号:TN911.73

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)06-0023-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.06.006

## An Improved Edge Detection Algorithm Based on Morphologic Operators

ZHANG Wei, WANG Jun-feng, WANG Tao, BAI Qing

(College of Science, Xi'an University of Technology, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** For the problem of the traditional edge detection algorithm, on the basis of the improved edge detection operator and the idea of morphological filter, propose a new multi-scale morphological edge detection algorithm of gray image, through the construction of the new operator realize edge detection. The ideal image edge is obtained by integrating the detection result of each element. The experimental results show that compared with other traditional or morphological edge detection methods, the proposed method has better noise suppression ability, and edge location is accurate, detected edge profile is more clear and complete.

**Key words:** image processing; mathematical morphology; edge detection; multi-structure elements; multi-scale; weighted combination

### 0 引 言

边缘是指图像局部亮度变化最显著的部分。图像的边缘部分集中了图像大部分信息,图像边缘的确定与提取对于整个图像场景的识别与理解非常重要。

经典的边缘检测<sup>[1]</sup>算子,如 Sobel、Prewitt、Roberts 等由于引入了微分运算,因此对噪声比较敏感,抗噪性差。Log 和 Canny 边缘检测算子,利用高斯函数对原图像做平滑或卷积,计算量大<sup>[2]</sup>。相比传统算法,数学形态学<sup>[3]</sup>在图像边缘检测中具有独特的优势,它基于集合运算,具有非线性特征,能很好地检测边缘。现有的数学形态学边缘检测算法<sup>[4,5]</sup>多采用复合抗噪性算子<sup>[6-8]</sup>。如文献[9]将多形状和多尺度结构元素结合起来的检测边缘;文献[10,11]则在最终图像融合中分别利用权值与图像差值成反比的原则和信息熵。

文中通过改进现有算法,提出了一种基于多尺度多结构的边缘检测算法,该算法不仅增强了抗噪性,提高了检测的精度,同时提取的边缘比较连续。

### 1 形态学边缘检测算子

数学形态学是一门具有严格理论基础的新兴图像处理方法和理论。数学形态学的语言是集合论,包括膨胀、腐蚀、开和闭四种基本运算。

设  $f(x, y)$  是输入图像,  $B(x, y)$  是结构元素,对于灰度形态学,膨胀定义为:

$$(f \oplus B)(x, y) = \max \left\{ f(x-i, y-j) + B(i, j) \mid \begin{array}{l} (x-i, y-j) \in D_f \\ (i, j) \in D_B \end{array} \right\} \quad (1)$$

收稿日期:2012-09-21

修回日期:2012-12-26

网络出版时间:2013-03-05

基金项目:国家自然科学基金资助项目(91120014)

作者简介:张 伟(1984-),男,陕西西安人,硕士研究生,研究方向为小波分析、形态学与偏微分方程理论及其在图像处理中的应用;王军锋,博士,副教授,硕士研究生导师,研究方向为小波与偏微分方程理论及其在信号和图像处理中的应用。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130305.0817.037.html>

膨胀运算可以合并图像周围的背景点,连接两个相近的物体。通常对图像进行膨胀处理的结果是双重的:

(1)如果所有结构元素的值为正,则输出图像会趋向于比输入图像亮;

(2)暗的细节部分全部减少了还是被消除了,取决于膨胀所用的结构元素的值和形状。

腐蚀定义为:

$$(f \ominus B)(x, y) =$$

$$\min \left\{ f(x+i, y+j) - B(i, j) \mid \begin{matrix} (x+i, y+j) \in D_f \\ (i, j) \in D_B \end{matrix} \right\} \quad (2)$$

腐蚀可以消除图像中的无用信息,分离两个细小连通的物体。通常对图像进行腐蚀运算也是双重的:

(1)如果所用的结构元素为正,则输出图像会趋向于比输入图像暗;

(2)在输入图像中亮细节的面积如果比结构元素的面积小,则亮的效果将被削弱。

开运算定义为:

$$(f \circ B) = (f \ominus B) \oplus B \quad (3)$$

开操作常用于去除较小的亮细节,同时相对地保持整体的灰度级和较大的明亮区域不变。

闭运算定义为:

$$(f \bullet B) = (f \oplus B) \ominus B \quad (4)$$

闭操作经常用于除去图像中的暗细节部分,而相对地保持明亮部分不受影响。

根据形态运算,有以下三种形态学边缘检测算子:

$$G_d(x, y) = f(x, y) \oplus$$

$$B(x, y) - f(x, y) \quad (5)$$

$$G_e(x, y) = f(x, y) - f(x, y) \ominus B(x, y) \quad (6)$$

$$G_{de}(x, y) = f(x, y) \oplus$$

$$B(x, y) - f(x, y) \ominus B(x, y) \quad (7)$$

其中,式(5)会使检测到的边缘错位及误检,式(6)会使距离较近的目标边缘合成一条粗边缘,而腐蚀型检测算子很好地保留了边缘细节。

以上三个算子具有实现简单,运行速度快等特点,但是对噪声敏感,适用于噪声较小的图像。为了满足边缘检测算子具有去噪能力要求,文献[12]对以上算子作如下改进:

$$G_d^1(x, y) = f(x, y) \circ B(x, y) \bullet B(x, y) \oplus$$

$$B(x, y) - f(x, y) \circ B(x, y) \bullet B(x, y) \quad (8)$$

$$G_e^1(x, y) = f(x, y) \circ B(x, y) \bullet B(x, y) \ominus B(x, y) -$$

$$f(x, y) \circ B(x, y) \bullet B(x, y) \quad (9)$$

$$G_{de}^1(x, y) = f(x, y) \circ B(x, y) \bullet B(x, y) \oplus$$

$$B(x, y) - f(x, y) \circ B(x, y) \bullet B(x, y) \ominus B(x, y) \quad (10)$$

上面3个公式在保留图像边缘细节的前提下,有效地提高了算子的抗噪性。由于形态学运算的优势不仅在于灵活多变的形态学变换方式,结构元素的选取同样会影响形态学操作的效果。基于此对上述算子再做如下修改:

$$G_d^2 = f(x, y) \circ B_1(x, y) \bullet B_2(x, y) \oplus b_i(x, y) - f(x, y) \circ B_1(x, y) \bullet B_2(x, y) \quad (11)$$

$$G_e^2 = f(x, y) \circ B_1(x, y) \bullet B_2(x, y) \ominus b_i(x, y) - f(x, y) \circ B_1(x, y) \bullet B_2(x, y) \quad (12)$$

$$G_{de}^2 = f(x, y) \circ B_1(x, y) \bullet B_2(x, y) \oplus b_i(x, y) - f(x, y) \circ B_1(x, y) \bullet B_2(x, y) \ominus b_i(x, y) \quad (13)$$

式中  $B_1, B_2$  和  $b_i$  为不同的结构元素。其中:

$$B_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, B_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

为了减少边缘的模糊性并保留更多的边缘细节,得到最终的改进算子为:

$$G(x, y) = G_{de}^2(x, y) + \min\{G_d^2(x, y), G_e^2(x, y)\} \quad (14)$$

## 2 基于改进算子的形态学边缘检测算法

在边缘检测中引入多尺度多结构元素的思想,可解决传统形态学边缘检测算法中结构元素单一的问题。文中结合大小两种尺度结构元素优点,在改进的算子中采用多尺度和多结构思想进行形态学边缘检测。

基于以上分析,首先构造  $3 \times 3$  以及  $5 \times 5$  大小的结构元素,它们分别如下:

$$b_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, b_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$b_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, b_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$b_5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, b_6 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$b_7 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, b_8 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

把各个结构元素带入改进算子(14)检测各个方

向边缘,首先用  $3 \times 3$  大小的结构元素进行检测,将检测结果进行融合,得到这一尺度下的边缘;再用  $5 \times 5$  大小的结构元素进行检测,将检测结果进行融合,得到这一尺度下的边缘,最后,将大小尺度下的边缘进行融合,得到最终图像边缘。

算法的具体实现步骤描述如下:

步骤一:分别构造大小为  $3 \times 3$  和  $5 \times 5$ ,方向为水平、垂直、 $45^\circ$ 、 $135^\circ$  的八个结构元素;

步骤二:将4个不同形状的  $3 \times 3$  大小结构元素带入算子(14)分别检测图像边缘,然后将结果加权得到该尺度下的图像边缘;

步骤三:再用  $5 \times 5$  大小的4个结构元素按步骤二检测得到图像边缘;

步骤四:将两个尺度下得到的图像边缘进行加权合成,得到最终的图像边缘。

多尺度边缘检测算法,加权合成公式如下:

$$F(x, y) = \sum_{n=k}^l \alpha_n ED_n(x, y)$$

其中  $F(x, y)$  是合成的新边缘图像;  $[k, l]$  是尺度  $n$  的取值范围;  $\alpha_n$  是各尺度下的权重。 $\alpha_n$  的计算方法如下:

(1) 分别求出不同尺度下结构元素对图像进行开闭、闭开滤波的均值图像  $f_i(x, y) = (f \circ b_i \bullet b_i + f \bullet b_i \circ b_i) / 2$ ;

(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  $\alpha_i$  为:  $\alpha_i = \frac{\Delta_{l-n}}{\sum_{n=k}^l \Delta_n}$  或  $\alpha_i = \frac{\Delta_{l-n}^2}{\sum_{n=k}^l \Delta_n^2}$ 。

### 3 实验结果与分析

实验的运行环境为 Pentium(R) Dual-Core(TM) 2, CPU 2.70GHz, 内存为 2GB, 利用 MATLAB 7.0 编程实现。

为了验证算法的可行性,实验在两种情况下进行,第一种情况是在无噪声情况下进行检测,第二种是在噪声的情况下进行,分别使用文中算法、传统形态学边缘检测算子以及 Canny 算子对图像进行边缘检测,检测结果如图 1 ~ 图 4 所示。图 1 为原始图像 Lena.jpg  $512 \times 512$  和不同算法的检测结果;图 2 为原始图像 rice.png  $256 \times 256$  和不同算子的检测结果;图 3 和图 4 为分别加入 10% 的椒盐噪声,各算法的检测结果。实验表明,相比其它算法,文中算法能够较完整地提取出图像的边缘信息,边缘连续,定位准确,在抑制噪声、保持图像的边缘细节方面取得了较好的效果。



(a)原始图像

(b)文中算法检测结果



(c)传统形态学边缘检测

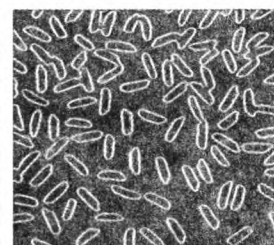


(d) Canny 算子检测结果

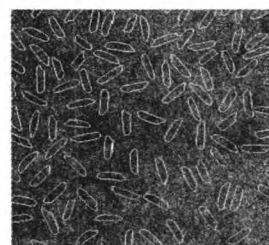
图 1 原始图像(Lena.jpg)的不同边缘检测方法比较



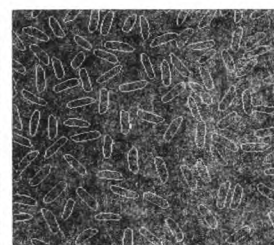
(a)原始图像



(b)文中算法检测结果



(c)传统形态学边缘检测



(d) Canny 算子检测结果

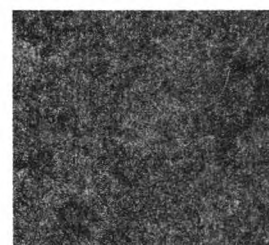
图 2 原始图像(rice.png)的不同边缘检测方法比较



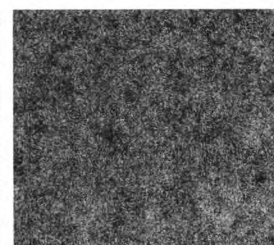
(a)加噪图像



(b)文中算法检测结果



(c)传统形态学边缘检测



(d) Canny 算子检测结果

图 3 加噪图像(Lena.jpg)的不同边缘检测方法的比较

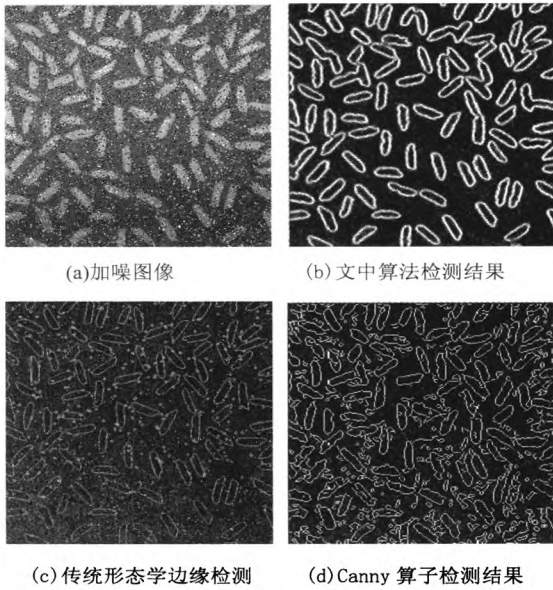


图 4 加噪图像(rice.png)的不同边缘检测方法比较

### 4 结束语

边缘检测是图像处理和计算机视觉的重要研究课题,而数学形态学是数字图像处理的一种有效方法。文中提出了一种基于数学形态学的边缘检测改进算法,构造新的边缘检测算子,结合多尺度多结构思想,通过构造不同方向的结构元素,用于检测边缘。新方法能有效地抑制噪声,提取的边缘连续性好,边缘定位准确,是边缘检测一种很好的实用方法。

#### 参考文献:

[1] 张太发,高朝阳. 数字图像边缘检测方法的分析与研究[J]. 计算机技术与发展,2010,20(10):141-145.

(上接第 22 页)

广阔的应用前景。

#### 参考文献:

[1] 百度百科. 域名解析[EB/OL]. 2012-09-01. <http://baike.baidu.com/view/30676.htm>.  
 [2] 王培新,刘颖,张思东,等. Web 通信中可疑域名监控技术的研究[J]. 计算机技术与发展,2012,22(4):231-234.  
 [3] Deccio C, Sedayao J, Kant K, et al. Quantifying DNS name-space influence[J]. Computer Networks, 2012, 56(2): 780-794.  
 [4] Chen C S, Tseng S S, Liu C L. A unifying framework for intelligent DNS management[J]. International Journal of Human-computer Studies, 2003, 50(4): 415-445.  
 [5] 苑卫国,孙国念. CN 域名解析服务的体系结构[EB/OL]. 2012-09-01. <http://www.kaifajie.cn/dns/4363.html>.  
 [6] 刘晓霞,孙海骏. 域名解析系统的实现[J]. 计算机应用, 2001, 21(7): 48-50.

[2] 张起丽,康宝生. 基于多结构元的形态图像边缘检测算法[J]. 计算机工程与应用,2009,45(34):166-168.  
 [3] 崔屹. 图像处理与分析-数学形态学方法及应用[M]. 北京:科学出版社,2000.  
 [4] Soille P, Vogt P. Morphological segmentation of binary patterns[J]. Pattern Recognition Letters, 2009, 30(4): 356-359.  
 [5] Zhang Guimei, Chen Shaoping, Liao Jiani. Otsu Image Segmentation Based on Morphology and Wavelet Transformation[J]. ICCRD, 2011, 47(1): 279-283.  
 [6] 薛丽霞,李涛,王佐成. 自适应形态学边缘检测算法[J]. 计算机工程, 2010, 36(23): 214-216.  
 [7] Lee C K, Wong S P. A mathematical morphological approach for segmenting heavily noise-corrupted image[J]. Pattern Recognition, 1996, 29(8): 1347-1358.  
 [8] Mukhopadhyay S, Chanda B. An edge preserving noise smoothing technique using multi-scale morphology[J]. Signal Processing, 2005, 82(4): 527-544.  
 [9] Zhao Yuqian, Gui Weihua, Chen Zhencheng. Edge Detection Based on Multi-structure Elements Morphology[C]//Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation. Dalian, China: [s. n.], 2006.  
 [10] Naegel B. Using mathematical morphology for the anatomical labeling of vertebrae from 3D CT-scan images[J]. Computerized Medical Imaging and Graphics, 2007(3): 141-156.  
 [11] Jesmin F, Reza R, Sharif M A. A customized gabor filter for unsupervised color image segmentation[J]. Image and Vision Computing, 2009, 27(4): 489-501.  
 [12] 黄海龙,王宏,郭璠,等. 一种基于数学形态学的多形状多尺度边缘检测算法[J]. 东北大学学报, 2010, 31(10): 1483-1486.

[7] Wang A P, Li Y, Lin L, et al. A study on the expansion and deployment model of root DNS servers[J]. The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, 2010, 17(2): 110-117.  
 [8] 甘井中,黄立和. 域名解析研究及服务器配置实践[J]. 玉林师范学院学报(自然科学版), 2007, 28(5): 136-141.  
 [9] 刘飞. 巧用域名解析提高上网速度[EB/OL]. 2012-09-02. [www.ccidnet.com](http://www.ccidnet.com).  
 [10] 百度百科. hosts[EB/OL]. 2012-09-02. <http://baike.baidu.com/view/597330.htm#3>.  
 [11] Shang Hao, Wills C E. Piggybacking related domain names to improve DNS performance[J]. Computer Networks, 2006, 50(11): 1733-1748.  
 [12] 任永昌. 软件工程[M]. 北京:清华大学出版社,2012.  
 [13] 范文庆,周彬彬,安靖. Windows API 开发详解-函数、接口、编程实例[M]. 北京:人民邮电出版社,2011.

# 一种基于改进算子的形态学边缘检测算法

作者: [张伟](#), [王军锋](#), [王涛](#), [白青](#), [ZHANG Wei](#), [WANG Jun-feng](#), [WANG Tao](#), [BAI Qing](#)  
作者单位: [西安理工大学理学院, 陕西西安, 710054](#)  
刊名: [计算机技术与发展](#)   
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)  
年, 卷(期): 2013, 23(6)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjz201306006.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjz201306006.aspx)