

基于改进形态学算子的多尺度边缘检测

白相志 周付根

(北京航空航天大学宇航学院, 北京 100083)

摘要 图像边缘检测的关键是在尽量多地检测到图像边缘的同时更有效地抑制噪声,为此提出了一种新的基于轮廓结构元素的多尺度形态学边缘检测方法。该方法重新组合了基于轮廓结构元素形态学各种运算的优点,实现了一种改进的形态学算子;在此基础上利用改进形态学算子的多尺度运算定义了一种新的边缘检测算子。与其他形态学方法相比,文中方法不仅具有更好的噪声抑制和边缘细节保护功能,而且对结构元素的形状不敏感。

关键词 边缘检测 多尺度 数学形态学

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2007)09-1610-04

A Multi-scale Edge Detection Method Based on Modified Morphological Transform

BAI Xiang-zhi, ZHOU Fu-gen

(School of Astronautics, Beihang University, Beijing 100083)

Abstract The key to edge detection is to filter more noises while obtaining more edge details. A new multi-scale morphological method of edge detection based on contour structuring elements is proposed in this paper. This method realizes a modified morphological transform through regrouping the priorities of several morphological transforms based on contour structuring elements firstly. And then a new edge detector is defined by using the multi-scale operation of the modified morphological transform. Comparative study with other morphological methods reveals its superiority over de-noising capacity, edge detail protection and un-sensitivity to the shape of the structuring elements.

Keywords edge detection, multi-scale, mathematic morphology

1 引言

图像边缘包含着大量的图像信息,对图像边缘完整和准确的检测是图像处理的重要内容。在尽量多地检测到图像边缘的同时能更有效地抑制噪声是图像边缘检测的关键所在。传统的边缘检测方法都会受到噪声的严重影响,为了克服其影响,各种基于形态学的方法^[1-4]被引入,但经典形态学方法对结构元素形状过于敏感的弱点大大限制了这些方法的应用。虽然基于轮廓结构元素形态学^[5](morphology based on contour structuring elements)即CB形态学的提出使得形态学运算对结构元素形状

的依赖性大大降低,但在此基础上建立的基于多尺度轮廓结构元素的数学形态学边缘检测算子^[6]对噪声的滤除功能仍较弱,当噪声较多时该算子会耗费大量的运算时间且检测到的边缘不完整。

本文在对CB形态学各种运算分析的基础上提出了一种新的CB形态学算子,并利用该算子的多尺度运算构造了一种边缘检测算子,该算子对结构元素不敏感且具有更强的噪声抑制功能,能够检测到更多的边缘细节。

2 基于轮廓结构元素的形态学

数学形态学是以形态为基础对图像进行分析的

收稿日期:2006-03-27; 改回日期:2006-05-26

第一作者简介:白相志(1981-),男,2003年获北京航空航天大学学士学位,现为北京航空航天大学导航、制导与控制专业博士研究生。主要研究方向为图像处理、目标识别。E-mail:jackybxz163@163.com

一种数学工具,其中最主要的概念是结构元素。CB形态学利用结构元素的轮廓重新组织形态学运算,削弱了经典形态学在运算中以形状为处理要素时对图像产生的模糊效应,更好地保护了图像细节,对图像的边缘检测非常有利。

对于给定的灰度图像 f ,定义 f 关于结构元素 B 的轮廓 ∂B 的CB形态学膨胀和腐蚀运算如下:

$$CBD_B(f) = f \oplus \partial B \quad (1)$$

$$CBE_B(f) = f \ominus \partial B \quad (2)$$

其中, \oplus 为膨胀运算符, \ominus 为腐蚀运算符。

进一步,可定义 f 关于结构元素 B 的轮廓 ∂B 的CB形态学开、闭运算及算子 O_B 和 C_B 如下:

$$CBO_B(f) = (f \ominus \partial B) \oplus B \quad (3)$$

$$CBC_B(f) = (f \oplus \partial B) \ominus B \quad (4)$$

$$O_B(f) = \max\{f, CBO_B(f)\} \quad (5)$$

$$C_B(f) = \min\{f, CBC_B(f)\} \quad (6)$$

3 基于轮廓结构元素的改进形态学算子

3.1 改进的形态学算子

CB形态学开、闭运算 $CBO_B(f)$ 和 $CBC_B(f)$ (式(3)、式(4))在实现经典形态学功能的同时还对图像上的“坑”和“堆”(即噪声)进行了拉平处理^[4],使得图像滤波功能增强,但也会损坏原始图像细节,尤其是当结构元素尺寸较大时。

从式(5)和式(6)可以看出,算子 $O_B(f)$ 和 $C_B(f)$ 只保留 $CBO_B(f)$ 和 $CBC_B(f)$ 对图像上的“坑”和“堆”的处理功能,而并不改变 f 的其他部分,从而很好地保留了图像细节,但却降低了滤除噪声的能力。

为了将图像的滤波功能和保护图像细节的功能合理地组合在一起,本文定义了如下两个算子:

$$MCBO_{B_j}(f) = CBO_{B_j}(O_{B_j}(CBC_{B_j}(f))) \quad (7)$$

$$MCBC_{B_j}(f) = CBC_{B_j}(C_{B_j}(CBO_{B_j}(f))) \quad (8)$$

其中,两个结构元素 B_i 和 B_j 可以为同一结构元素,也可以是不同结构元素。

从式(7)可以看出,由于 $O_{B_j}(f)$ 运算对图像上“坑”的处理与 $CBO_{B_j}(f)$ 相同,但 $O_{B_j}(f)$ 还具有保护图像边缘细节的功能,因此在 $CBO_{B_j}(f)$ 运算之前插入 $O_{B_j}(f)$ 运算,使得在 $CBO_{B_j}(f)$ 对图像边缘细节破坏之前进行了一次边缘细节保护,降低了 $CBO_{B_j}(f)$ 对边缘的破坏程度;同时,在 $CBC_{B_j}(f)$ 运算之后再行 $O_{B_j}(f)$ 可以修补 $CBC_{B_j}(f)$ 对图像边缘的损坏,也降低了 $CBC_{B_j}(f)$ 对边缘

的破坏程度。这样, $MCBO_{B_j}(f)$ 既由于 $CBO_{B_j}(f)$ 和 $CBC_{B_j}(f)$ 运算的级联而具有较强的滤波功能,又由于 $O_{B_j}(f)$ 的介入保护了图像边缘。同样,从式(8)也可以看出 $MCBC_{B_j}(f)$ 具有类似的性质。

从式(7)和式(8)也可以看出由于 $O_{B_j}(f)$ 和 $C_{B_j}(f)$ 的介入使得 $MCBO_{B_j}(f)$ 和 $MCBC_{B_j}(f)$ 分别具有开运算和闭运算的性质。 $O_{B_j}(f)$ 和 $C_{B_j}(f)$ 同样具有滤波性质,但它们的滤波能力还决定于图像上“坑”和“堆”的周围环境,为了增强复杂环境下的滤波功能需要使用各种尺寸的结构元素,且小尺寸的结构元素 B_j 可以尽量减弱 $MCBO_{B_j}(f)$ 和 $MCBC_{B_j}(f)$ 对图像边缘的破坏,因此为了更好地利用 $MCBO_{B_j}(f)$ 和 $MCBC_{B_j}(f)$ 对图像的滤波功能及其对图像边缘细节的保护功能,必须进行多尺度运算。

3.2 改进算子的多尺度运算实现

由于灰度图像具有多变的结构和细节,为了提高算子的稳定性及其在复杂环境下的有效性,必须要进行多尺度运算。设给定一个多尺度结构元素序列 $s = \{B_i, i \in Z \text{ 且 } i \geq 0\}$,其中, $B_0 = \{0\}$, $B_i = iB_1 = B_1 \oplus B_1 \oplus \dots \oplus B_1$ (共膨胀 $i-1$ 次),即结构元素序列中结构元素的尺寸是递增的,且结构元素形状相似。改进算子基于 s 的 n 尺度变换 $MO_n^*(f)$ 和 $MC_n^*(f)$ 定义如下:

$$MO_n^*(f) = \max_{1 \leq i \leq n} \{MCBO_{B_i}(f)\} \quad (9)$$

$$MC_n^*(f) = \min_{1 \leq i \leq n} \{MCBC_{B_i}(f)\} \quad (10)$$

从式(9)、式(10)可以看出 $MO_n^*(f)$ 和 $MC_n^*(f)$ 仍保留了 $MCBO_{B_j}(f)$ 和 $MCBC_{B_j}(f)$ 的特点,且 $MO_n^*(f)$ 和 $MC_n^*(f)$ 分别取 $MCBO_{B_j}(f)$ 和 $MCBC_{B_j}(f)$ (其中 $1 \leq i \leq n, j = 1$)的最大和最小值,更增强了对“坑”和“堆”的滤除功能,而在运算中用最小尺寸的结构元素作为 $MCBO_{B_j}(f)$ 和 $MCBC_{B_j}(f)$ 中的结构元素 B_j 也进一步降低了对图像边缘的破坏。

由以上分析可知, $MCBO_{B_j}(f)$ 和 $MCBC_{B_j}(f)$ 并不是CB形态学算子的简单级联,而是重新组合了 $CBO_{B_j}(f)$, $CBC_{B_j}(f)$, $O_{B_j}(f)$ 和 $C_{B_j}(f)$ 的功能,在尽量发挥它们各自优点的同时抑制了它们的缺点, $MO_n^*(f)$ 和 $MC_n^*(f)$ 更进一步地提升了 $MCBO_{B_j}(f)$ 和 $MCBC_{B_j}(f)$ 的优点,使其具有更好的滤波功能及边缘保护功能,这对边缘检测是相当有利的。

4 基于轮廓结构元素改进形态学算子的边缘检测方法

利用改进算子的多尺度运算提出以下边缘检测

算子(MMS算子)

$$\text{edge}(f) = \text{CBD}_B, [(MO_r^n(MC_r^n(f)))'] - (MO_r^n(MC_r^n(f)))' \quad (11)$$

该算子首先用改进算子的多尺度运算对图像进行处理,然后用结构元素序列中尺寸较小的元素对图像进行CB膨胀操作以提取图像边缘。它将CB开、闭运算有效滤除噪声的功能、 $O_B(f)$ 和 $C_B(f)$ 算子对图像细节的保护功能以及多尺度运算对复杂环境的适应性结合在一起,更好地提取了图像边缘。

MMS算子中参数的选取方法:

(1) n 值的选取

CB形态学对信号的处理是基于信号相对于结构元素的延展度大小的,也就是信号沿空间伸展的广度,在滤除噪声时体现为噪声团块的大小。如果噪声团块越大, n 值越大;相反,如果噪声团块越小, n 值越小。实验证明,大部分情况下, n 取小于5的值即可。

(2) r 值的选取

r 值的大小决定了 $MO_r^n(MC_r^n(f))$ 对图像重复处理的次数。由于 $MO_r^n(MC_r^n(f))$ 有较强的滤波功能,且大的 r 值会使图像损失较多细节,因此小的 r 值对算法更有利。实验证明, r 在大多数情况下取1或2即可。同时, r 与 n 在选择时应相互协调,当 n 较大时, r 取1,当 n 较小时, r 可取2。

(3) 结构元素的选取

CB形态学基于延展度准则的特点使得MMS算子对结构元素的形状依赖性不强,因此可以根据应用要求灵活选择结构元素的形状。文中实验均采用菱形结构元素。

5 实验结果

5.1 改进算子多尺度运算实验

通过对加入20%椒盐噪声的Lena图像(图1(a)512×512,256灰度)的处理来说明 $MC_r^n(f)$ 算子的优点。将式(10)中 $MCBC_{n,r}(f)$ 中的 $C_B(f)$ 换为 $CBC_B(f)$ 后再利用式(10)处理图1(a)得到图1(b),直接利用式(10)处理图1(a)得到图1(c),将式(10)中 $MCBC_{n,r}(f)$ 中的 $CBO_B(f)$ 和 $CBC_B(f)$ 分别换为 $O_B(f)$ 和 $C_B(f)$ 后再利用式(10)处理图1(a)得到图1(d),其中, n 为4。从图1中可以看出,(b)图确实滤除了大量的噪声,但与(c)图相比图像细节保护不太好,尤其表现在帽子中间的褶皱区域,这将使边缘检测中漏检的边缘增多;(d)图虽然保护了图像细节但图像剩余噪声仍很多,会严重影响边缘检测算法的有效性;(c)图中图像噪声大部分已被滤除且图像细节保护很好,这将大大有利于图像边缘的检测。类似实验证明, $MO_r^n(f)$ 也具有相同的优点。



图1 改进算子的处理效果对比

Fig. 1 Processing results comparison of the modified calculator

5.2 边缘检测实验

将文献[4]中提出的MG(multi-grade)算子、文献[6]中提出的EMC(edge detector based on multi-scale contour structuring elements)算子和文中提出的MMS算子分别应用于无噪声和有噪声的Lena图像(512×512,256灰度),实验结果如图2,为了兼顾处理效果和运算速度,MMS算子的 n 取5, r 取1。从图中可以看出,无论是无噪声还是有噪声,MMS

算子检测到的边缘细节都更多,检测到的边缘都更加完整和连贯。

5.3 算法运算时间对比实验

由于形态学运算要对图像的每个点进行对应结构元素的运算,因此基于形态学的边缘检测算法时间开销会较大,尤其是在进行多尺度运算和大尺度结构元素运算时时间开销会更大。而MMS算子具有很好的噪声抑制功能和边缘细节保护功能,所以

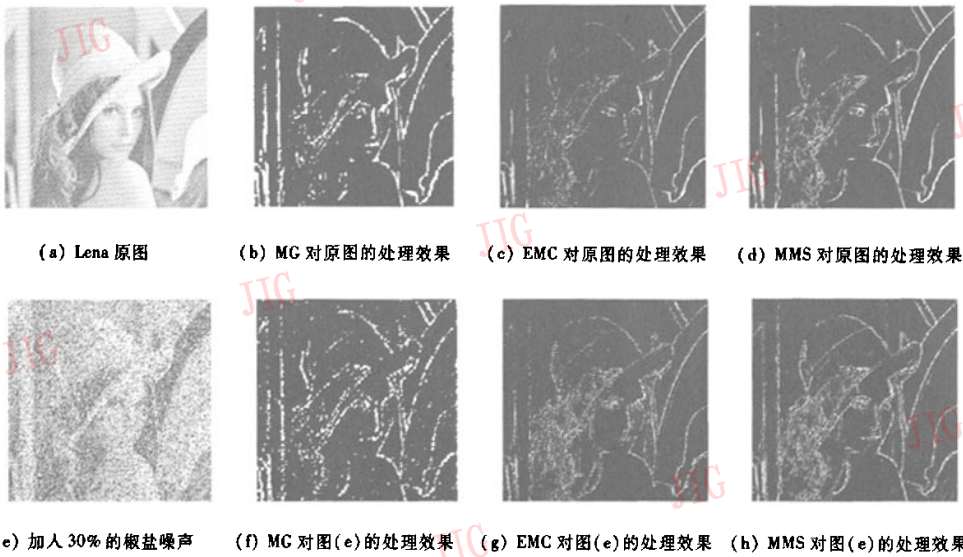


图2 边缘检测实验结果
Fig. 2 Edge detection results comparison

MMS算子中的 n 和 r 可取小值,这样就在保证处理效果的前提下节省了运算时间。表1是在得到5.2节实验结果的情况下各算子运行于CPU为Intel Pentium 4, 2.6GHz,内存为512MB的计算机上得到的平均运算时间,单位为秒(s)。从表1中可以看出,MMS算子的运算时间最少,即MMS算子在较短的时间里检测到了更好的边缘。

表1 运算时间比较

Tab.1 Calculating time comparison

单位:s		
MG	EMC	MMS
15.59	25.78	7.39

6 结论

本文利用改进形态学算子的多尺度运算定义了一种新的边缘检测算子——MMS算子,该算子建立在改进形态学算子多尺度运算的基础之上。改进形态学算子多尺度运算重新组合了CB形态学运算的优点,使得MMS算子能更加方便地检测到更加丰富、更加完整和更加连贯的边缘。改进形态学算子多尺度运算的实验,边缘检测实验和运算时间对比实验验证了MMS算子兼有以下两方面的优越性:(1)是一种能适应强噪声的良好边缘检测算子,不仅在没有噪声时能检测到更好的边缘,而且在有强

噪声时仍能得到比其他方法更完整的边缘;(2)对结构元素形状依赖性不强,而且运算时间较短。

参考文献 (References)

- James S J Lee, Robert M Haralick, Linda G Shapiro. Morphologic edge detection[J]. IEE Journal of Robotics and Automation, 1987, RA-3(2): 142 ~ 156.
- Malay K Kundu, Bhabatosh Chanda Y. Vani Padmaja. Morphologic edge detection with multi-scale approach[A]. In: 1998 IEEE Region 10 International Conference on Global Connectivity in Energy, Computer, Communication and Control [C], New-Delhi, India, 1998: 53 ~ 56.
- Chen T, Wu Q T, Rahmani-Torkaman R, et al. A pseudo top-hat morphological approach to edge detection in dark region[J]. Pattern Recognition, 2002, 35(1): 199 ~ 210.
- Jiang M Y, Yuan D F. A multi-grade mean morphologic edge detection[A]. In: 2002 6th International Conference on Signal Processing [C], Beijing, China, 2002: 1079 ~ 1082.
- Gong Wei, Shi Qing-yun, Cheng Min-de. Mathematic Morphology in Digital Space-Theory and Application[M]. Beijing: Science Press, 1997: 429 ~ 463. [龚伟,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: 429 ~ 463.]
- Xiao Mei, Han Chong-zhao, Zhang Lei. Morphologic edge detect based on multi-scale contour structuring elements [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2005, 39(6): 659 ~ 660. [肖梅,韩崇昭,张雷. 基于多尺度轮廓结构元素的数学形态学边缘检测[J]. 西安交通大学学报, 2005, 39(6): 659 ~ 660.]