

多方向灰度形态学边缘检测算法^{*})王光勇¹ 汪林林² 王佐成² 宋 华³(重庆邮电大学计算机学院¹ 软件学院² 移通学院³ 重庆 400065)

摘 要 本文介绍了基于灰度形态学的多方向边缘检测算法。基于边缘的多方向特征,构造了多方向的结构元素,并将边缘检测的过程与形态学开闭滤波相结合,提出了一种新的边缘检测算法。该算法在较好地检测图像边缘的同时很好地抑制了噪声。

关键词 灰度形态学,多方向,边缘检测

Multi-directions Gray-scale Morphology Edge Detection Algorithm

WANG Guang-yong¹ WANG Lin-lin² WANG Zuo-cheng² SONG Hua³(College of Computer Sci. & Tech. ¹, Software College², College of Mobile Tele., Chongqing University of Post & Tele. ³, Chongqing 400065, China)

Abstract This paper introduces a multi-directions algorithm for image edge detection based on mathematical morphology. In this algorithm, we analyse the multi-direction of edge in image and the multi-directions characteristic of structure elements, then we use these structure elements with morphology open-close filters in edge detection. This algorithm has succeeded in edge detection, and suppresses noise very well, it has better effect than other traditional edge detection methods of mathematical morphology.

Keywords Gray-scale morphology, Multi-directions, Edge detection

1 引言

图像的边缘是图像很重要的特征,是图像分割、图像理解及图像检索的重要依据。通常,边缘是灰度图像中灰度发生突变的地方,它既可以区分两个不同的区域,也可以勾画出一个目标的轮廓,所以图像边缘检测是图像处理的一个重要任务。数学形态学是一种新的用于图像处理的理论,其应用于边缘检测的基本思想是对图像用一定的结构元素进行基本操作以后与原图像相减^[1]。通常,结构元素都是固定、对称的、单一的,有很多不足,因此提出了多结构元素的形态学边缘检测算法^[5,6]。为了更好地抑制噪声,软化形态学被应用于图像的边缘检测^[5,7,8]。另外, Song Xudong 等人提出了可选结果滤波法^[6]。近些年来模糊数学与数学形态学相结合的模糊数学形态学理论被引入到图像边缘检测领域,文献^[2]提出了一种基于模糊形态学的多方向边缘检测算法。本文基于灰度形态学,提出了多方向灰度形态学边缘检测算法,该算法在抗噪声和边缘检测两个方面的效果都优于传统的灰度形态学边缘检测算法。

2 灰度形态学基本操作

灰度形态学是对二值形态学的推广,其基本的操作和二值形态学一样有四个,即膨胀、腐蚀、开运算和闭运算。由此建立一些基本的灰度形态学运算法则。以下的公式里,我们假设 $f(x, y)$ 是输入图像, $b(x, y)$ 是结构元素,它可被看作是一个子图像函数。如果 Z 表示实整数的集合,同时假设 (x, y) 是来自 $Z \times Z$ 的整数, f 和 b 是坐标为 (x, y) 像素灰度值的函数。其中 D_f 和 D_b 分别是函数 f 和 b 的定义域。

2.1 膨胀和腐蚀

灰度图像的膨胀定义为 $f \oplus b$, 其运算公式如下:

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

由于膨胀操作是由结构元素性状定义的邻域中选择 $f+b$ 的最大值,因而通常对灰度图像的膨胀处理方法可得到两种结果:(1)如果所有的结果元素都为正,则输出图像将趋向比输入图像亮;(2)黑色细节减少或去除取决于在膨胀中结果元素相关的值和形状。

灰度图像的腐蚀定义为 $f \ominus b$, 其运算公式如下:

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

由于腐蚀操作是在结构元素定义的邻域内选择 $(f-b)$ 的最小值,因而通常对灰度图像的膨胀处理可得到两种结果:(1)如果所有的结构元素都为正,则输出图像将趋向比输入图像暗;(2)在比结构元素还小的区域中,明亮细节经腐蚀处理后其效果将减弱,减弱的程度取决于环绕亮度区域的灰度值以及结构元素的性状和幅值。

2.2 开运算和闭运算

灰度图像开运算和闭运算的表达式与二值图像相比具有相同的形式。结构元素 b 对图像 f 做开运算处理,可定义为 $f \circ b$, 即

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

在实际应用中,开运算处理常用于去除较小的亮点(相对结构元素而言),同时保留所有的灰度和较大的亮区域特征不变。腐蚀操作去除较小的亮的细节,同时使图像变暗。如果再施以膨胀处理,将增加图像的亮度而不再引入已去除的部分。

^{*})重庆市自然科学基金资助(No. 2005BB2065)。王光勇 硕士研究生,研究方向为数字图像处理;汪林林 教授,研究方向为数据库、空间数据库与 GIS、计算机网络、系统结构、计算机软件与理论等;王佐成 博士,研究方向为空间数据库、遥感图像处理。

b 对 f 的闭运算, 定义为 $f \cdot b$, 即:

$$f \cdot b = (f \oplus b) \odot b \quad (4)$$

在实际应用中, 闭运算处理常用于去除图像中较小的暗点(相对结构元素而言), 同时保留原来较大的亮度特征。最初的膨胀运算去除较小的细节, 同时也使图像增亮。随后的腐蚀运算将图像调暗而不重新引入已去除的部分。

2.3 灰度形态学梯度

膨胀和腐蚀处理常用于计算图像的形态梯度, 梯度用 g 表示, 则形态学梯度有以下四种形式:

$$g1 = (f \oplus b) - (f \odot b) \quad (5)$$

$$g2 = (f \oplus b) - f \quad (6)$$

$$g3 = f - (f \odot b) \quad (7)$$

$$g4 = \min\{[f \oplus b - f], [f - f \odot b]\} \quad (8)$$

传统的形态学边缘检测算法的基本思想: 图像通过上述公式计算形态学梯度, 即对图像做形态学梯度处理, 使输入图像灰度变化更加尖锐, 进而得到图像的边缘。通常, 结构元素都是大小固定而且是对称的, 也就是说它们传统的灰度形态学结构元素是各向同性的。而实际的图像中, 其边缘具有多向性, 因此检测图像边缘时, 灰度形态学的结构元素应该是各向异性的。传统的形态学算法没有考虑抗噪声的问题, 因此对噪声的抑制能力也较差。由于传统的方法存在以上的不足, 本文提出了结合形态学开闭滤波器的多方向灰度形态学边缘检测算法, 包括两个算法: 四方向和八方向灰度形态学边缘检测算法。

3 四方向灰度形态学边缘检测算法

对于图像中的任一像素, 与其相关的方向有四个, 即图 1 所示的四个方向。根据这四个方向, 构造了如图所示的四个结构元素。这里我们构造的结构元素大小是 3×3 的, 也可以构造 5×5 的结构元素, 参看文献[6]。

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(a) 0° 方向 (b) 45° 方向 (c) 90° 方向 (d) 135° 方向

图 1 四方向边缘检测算法 3×3 结构元素

图像由于受到天气、温度等诸多因素的影响, 往往带有大量的噪声, 在边缘检测中一些孤立的噪声, 应先去除, 以免影响边缘检测的精度, 因此有必要使用形态学开-闭形态滤波器。

(1) 形态学滤波

首先, 对输入图像 $f(x, y)$ 进行闭运算, 运算式为:

$$f_1 \cdot b = (f \oplus b) \odot b \quad (8)$$

第一步的膨胀运算除掉了小的暗细节并同时增强了图像亮度, 第二步的腐蚀运算恢复了图像的亮度但又不重新引入前面去除的细节, 这样就消除了与结构元素相比尺寸较小的暗细节, 而保持图像整体灰度值和大的暗区域基本不受影响。

然后对闭运算的结果实施开启运算, 运算式为

$$f_2 \cdot b = (f_1 \odot b) \oplus b \quad (9)$$

其中, b 为降噪模板, 亦即结构元素。第一步的腐蚀运算除掉了小的亮细节并同时减弱了图像亮度, 第二步的膨胀运算恢复了图像的亮度但又不重新引入前面去除的细节, 这样就消

除或削弱了与结构元素相比尺寸较小的亮细节, 而保持图像整体灰度值和大的亮区域基本不受影响。

(2) 计算各方向形态学梯度

通过各向异性的形态学结构元素得到不同方向的形态学梯度, 对它们求和平均, 得到最终的形态学梯度。对形态学梯度的计算采用公式(6)。

(3) 多方向灰度形态学边缘检测算法

四方向灰度形态学边缘检测算法的具体步骤:

setp1 用一个方向的结构元素对图像 A 作膨胀操作得到图像 B。对图像 B 作两次腐蚀操作得到图像 C。

setp2 对图像 C 作膨胀操作得到图像 D。

setp3 $E0 = D - C$, 得到一个方向的边缘。

setp4 用同样的方得到四个方向的边缘, 依次将它们放在 $E1, E2, E3$ 。

setp5 得到最后的边缘 $E = (E0 + E1 + E2 + E3) / 4$ 。

4 八方向灰度形态学边缘检测算法

对于一个像素而言, 可以是四邻域的, 也可以是八邻域的。图 2 显示了与当前像素 p 相关的八个方向, 从 0 到 7, 这正好是 p 的八邻域。那么, 为了更好地刻画边缘的方向性, 本文将四方向拓展到八方向, 也就是图 2 所示的从 0 到 7 的八个方向。

$$\begin{array}{ccc} 5 & 6 & 7 \\ 4 & p & 0 \\ 3 & 2 & 1 \end{array}$$

图 2 八邻域与八方向示意图

八方向形态学结构元素如图 2 所示。八方向的形态学结构元素还可以有另外一种构造方法, 参看文献[6]。

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(a) 0° (b) 45° (c) 90° (d) 135°

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(e) 180° (f) 225° (g) 270° (h) 315°

图 3 八方向边缘检测算法 3×3 结构元素

采用图 2 所示的八方向各向异性的形态学结构元素, 用本文提到的多方向灰度形态学边缘检测算法即可得到图像边缘。

八方向灰度形态学边缘检测算法的具体步骤:

setp1 用一个方向的结构元素对图像 A 作膨胀操作得到图像 B。对图像 B 座两次腐蚀操作得到图像 C。

setp2 对图像 C 作膨胀操作得到图像 D。

setp3 $E0 = D - C$, 得到一个方向的边缘。

setp4 用同样的方法得到四个方向的边缘, 依次将它们放在 $E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7$ 。

Setp5 得到最后的边缘 $E = (E0 + E1 + E2 + E3 + E4 + E5 + E6 + E7) / 8$ 。

5 实验结果及分析

实验在 matlab6.5 环境下实现,分别对四方向灰度形态学和八方向灰度形态学边缘检测算法进行了仿真分析。

5.1 四方向灰度形态学边缘检测效果

形态学边缘检测方法的基本思想都是先对图像做形态学运算(膨胀、腐蚀、开或闭),这个过程实际上增强了原图像的灰度(或者减弱了灰度),然后再与原图像相减,得到形态学梯度,形态学梯度大的地方就是边缘。

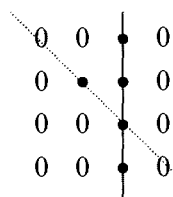


图4 实验效果分析示意图

图4中,假设0对应背景点,·代表边缘点,实线对应的是真实的边缘,虚线上对应的黑点是由三噪声产生的。那么在四方向算法中,由于膨胀操作是图像变亮,黑色细节减少,采用135度对应的结构元素就可以很好地抑制噪声对真实边缘的影响,效果上相当于对边缘进行了细化。同理,对边缘方向刻画得越细致,对噪声引起的形态学梯度较大的点(通常被认为是边缘点)有更好的减弱效果,得到的边缘像素点更少,效果上边缘得到了细化,监测到的边缘就更细、更接近单像素边缘。因此,本文提出了八方向形态学边缘检测算法。

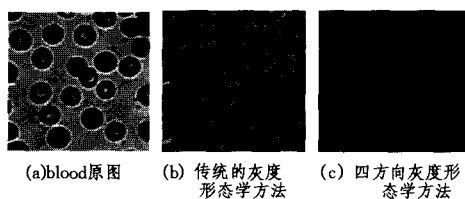


图5 无噪声效果对比

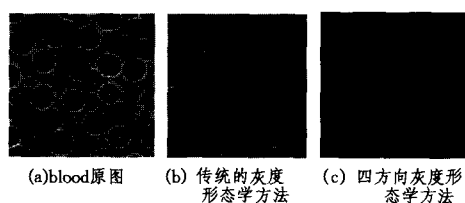


图6 加入均值为0、方差为0.01的高斯噪声

本文算法在无噪声的情况下,检测到的边缘比传统的算法更接近单像素边缘,图4显示了对比效果。本文算法利用了形态学开闭滤波器良好的滤波作用,使得该算法在有噪声时边缘检测的效果更好。图5和图6分别展示了在不同噪声影响下本文算法边缘检测的效果。

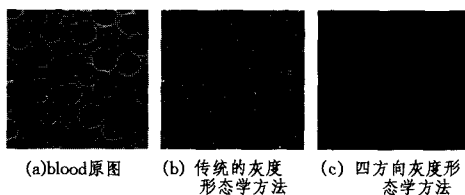


图7 加入噪声密度为0.02的椒盐噪声

5.2 八方向灰度形态学边缘检测效果

八方向形态学算法充分考虑了与当前像素相关的八个方向。与四方向相比,八方向算法在八个方向上抑制了噪声引起的边缘点的影响,有些地方甚至去除了噪声引起的边缘点。这样实际检测到的边缘点就变少了,因此检测到的边缘更接近单像素边缘,图7展示了对比结果。传统的方法采用单一的结构元素,这在实际图像中边缘的情况并不相符。在图像中,边缘是有方向性的,正是考虑到边缘在各个方向上的不同,本文算法才运用不同的结构元素来体现这种差别。与此同时,加入了形态学滤波,这样算法抗噪声的能力大大增强。图8和图9展示了对受噪声干扰的图像。本文算法的边缘检测效果,对比试验中可以很清楚地看到本文算法比传统的形态梯度边缘检测算法的效果要好。

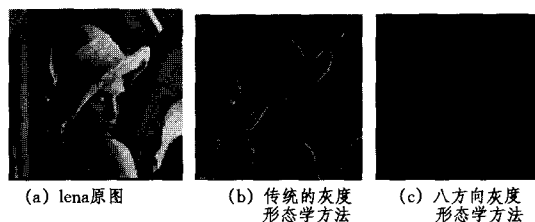


图8 无噪声效果对比



图9 加入均值为0,方差为0.01的高斯噪声

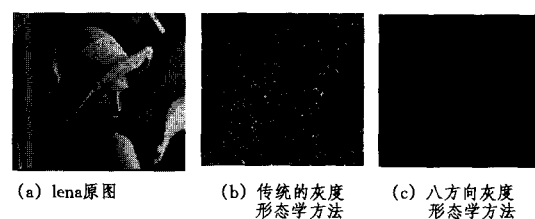


图10 加入噪声密度为0.02的椒盐噪声

5.3 实验结果分析

由于采用了不同方向的多个结构元素,使得本文算法具有如下优点:

(1)本文算法考虑了边缘在不同方向上是不同的,因此采用多个结构元素来代替传统方法中的单一结构元素,不同的结构元素在不同的方向上去掉了一些多余的像素点。这样,在没有噪声情况下,与传统的灰度形态学边缘检测算法相比,本文算法对单像素边缘响应的像素点更少,一些地方达到了单像素边缘的效果。例如 lena 图中边缘比较细的头发等区域,本文算法检测到的边缘更接近单像素边缘。

(2)本文算法是在形态学滤波的过程中得到被形态学运算增强后的图像和原图像的差别,进而得到图像边缘的,所以在有噪声的情况下,本文算法表现了很明显的优势,在很好地

(下转第243页)

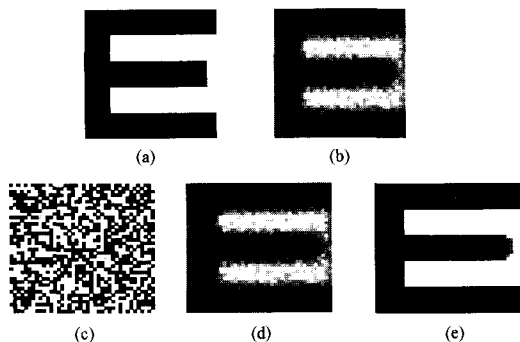


图1 恢复图像质量主观效果图:(a)原始图像;
(b)退化图像;(c)SGA1 恢复结果;(d)SGA2 恢复结果;
(e)本文算法恢复结果

表1 恢复图像质量客观评价表

P	A	Z	SGA1	SGA2	本文算法
0.1			3.2400	13.0425	22.5899
0.2			3.1135	11.6128	19.8566

图1为加入标准差为0.1的高斯白噪声的恢复结果。从图1中可以看出,在相同的适应度函数、种群规模和进化代数的前提下,本文算法恢复图像质量的主观效果比SGA1有较大提高,比在同等条件下产生初始种群的SGA2也有较大改善。SGA1根本就没有恢复出原始图像的大致轮廓,需要漫长的进化收敛期才能达到和其它算法相同的恢复结果;SGA2在退化图像的基础上产生的初始种群,由于个体间的极度相似,无法克服进行过程中的早熟现象;而本文算法能完全克服进化过程中的早熟现象,除了个别像素点以外,能得到与原始图像完全相同的恢复结果。

表1为加入不同程度的高斯白噪声的客观指标PSNR的评价表。从表1中可以看出,不论加入标准差为0.1的高斯白噪声还是加入标准差为0.2的高斯白噪声,本文算法恢复图像质量的客观评价指标PSNR分别比SGA1,SGA2提高了16dB,8dB以上。从PSNR的差异性可以看出,本文算法均远

(上接第234页)

去除噪声的同时,图像边缘效果较好,对噪声引起的形态梯度较大的点有很好的抑制减弱作用,表现在实验结果上就是边缘更接近单像素边缘。

较之传统的形态学算法,本文算法的不足是计算量较大。以一个 3×3 的结构元素为例,假设图像的大小为 $M \times N$,用传统的方法,其实际复杂度为 $9 \times M \times N$;运用本文的算法,如果计算四个方向,其时间复杂度为 $4 \times 9 \times M \times N$ 。同理,如果计算八方向,时间复杂度为 $8 \times 9 \times M \times N$ 。

结束语 本文指出了传统形态学边缘检测算法存在的不足,提出了多方向灰度形态学边缘检测算法,并分析了四方向和八方向算法。分析和实验都表明,本文算法对噪声抑制能力强且检测到的边缘更接近单像素边缘,因此在抗噪声和边缘检测效果两方面都优于传统的灰度形态学边缘检测算法。本文算法存在的不足是计算量较大。下一步的工作将研究如何提高算法效率,减少计算量。从抗噪声和边缘检测效果来看,本文算法是一个有一定优势且可行的算法。

远优于其它两种算法,并且本文算法对图像的模糊程度依赖性小,可以恢复严重模糊的图像。进一步说明了本文算法中随机种群的引入、改进的变异算子的有效性。证明了本文算法是一种有效的图像恢复方法。

结束语 针对遗传算法在图像恢复时存在的早熟现象,本文从改进遗传操作结构及提高搜索效率两个方面入手,提出了一种用于图像恢复的改进遗传算法。从实验结果看,本文算法能克服进化过程中的早熟现象,比SGA1,SGA2的恢复图像质量有较大的改善,并且在一定程度上减少了计算量。但是该算法也有一定的限制性,对于复杂的多灰度级图像,本文算法的恢复结果不是特别理想。因此,下一步的工作是如何充分利用遗传算法的特点,在降低计算复杂度的基础上,设计出适用于更多待恢复图像的遗传算法。

参考文献

- [1] 赵保军,史彩成,沈胜宏,等.一种基于CMAC的图像恢复算法[J].中国图象图形学报,2001,6(A8):780-783
- [2] Chen Y W, Nakao Z, Arakaki K, et al. Restoration of gray images based on a genetic algorithm with Laplacian constraint[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1999, 103(2): 285-293
- [3] Wang Zhe, Yu Yinglin. A Relaxation Evolutionary Image Restoration Method[J]. IEEE, 1997, 2(10): 1100-1104
- [4] Enokura T, Chen Y W, Nakao Z. A Fast Image Algorithm for Image Restoration based on a Hybrid GA and SA[J]. IEEE, 1999, 4(10): 891-894
- [5] Chen Y W, Nakao Z, Fang X, et al. A Parallel Genetic Algorithm for Image Restoration[C]//Proceedings of ICPR '96. IEEE: 694-698
- [6] 陈国良,王熙法,庄镇泉,等.遗传算法及其应用[M].北京:人民邮电出版社,1996
- [7] 孟伟,韩学东,洪炳熔.蜜蜂进化型遗传算法[J].电子学报,2006,34(7):1294-1300
- [8] Chen Y W, Enokura T, Nakao Z. Blind Deconvolution Based on a Hybrid GA/SA Approach[J]. IEEE, 1998, 3(10): 2190-2195
- [9] Gonzalez R C, Woods R E, Eddins S L. 数字图像处理(MATLAB版)[M].阮秋琪,译.北京:电子工业出版社,2005
- [10] 李威,郁道银,谢洪波,等.基于领域信息优化方法的图像恢复与增强[J].天津大学学报,2001,34(4):495-498

参考文献

- [1] Gonzalez R C, Woods R E. Digital Image Processing. 2nd ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ
- [2] Hu Dong, Tian Xiangzhong. A Multi-directions Algorithm for Edge Detection Based on Fuzzy Mathematical Morphology[J]//Proceedings of the 16th International Conference on Artificial Reality and Telexistence-Workshops. IEEE, 2006
- [3] 章毓晋. 图像分割[M]. 北京:科学出版社
- [4] Cheng Ke, Wang Shi-tong, Yang Jing-yu. Simulation Study of a New Algorithm NDA Based on Fuzzy Mathematical Morphology for White Blood Cell Detection[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(5)
- [5] Michael A. Efficient Algorithms for the Soft Morphological Operators. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1996, 18(11): 1142-1147
- [6] Song Xudong. Robust edge detector based on morphological filters. Pattern Recognition Letters 14, November 1993: 889-994
- [7] 舒昌献,莫玉龙.基于软化形态学的边缘检测.中国图象图形学报,1999,4(2):139-142
- [8] 黄凤岗,杨国,宋克欧.柔性(soft)形态学在图像边缘检测中的应用.中国图象图形学报,2000,5A(4):284-287