

基于数学形态学的显微图像边缘检测技术分析

于子翊, 李晓娟

(首都师范大学 信息工程学院, 北京 100037)

摘 要:根据微生物显微图像中微生物形态各异、容易重叠、边缘灰度接近等特性,利用数学形态学方法的思想,用灰度形态学作初步边缘处理,用二值形态学的方法进行边缘修复。并对原始图像用其它微分算子进行边缘检测,实验结果表明基于数学形态学的边缘提取算法对于微生物显微图像边缘检测有很好的效果,能够满足后期识别处理的需求。

关键词:数学形态学;边缘检测;微分算子

中图分类号:TP18;TN911.73

文献标识码:A

文章编号:1005-3751(2006)02-0100-03

Analysis of Mathematical Morphological Algorithm for Edge Detection in Micrograph

YU Zi-yi, LI Xiao-juan

(Dept. of Info. Eng., Capital Normal University, Beijing 100037, China)

Abstract: Because bacterium in microbe image has different shapes, is apt to overlap, and edge gray levels are very close, so choose the method of mathematics morphology. Firstly, detect the edge by gray scale morphology, then modify the edge in binary morphology method. And also detect the edge by Sobel operator, Log operator to compare the results. The experimental result shows that the algorithm of edge detection based on mathematics morphology is effective, and can be satisfied in the later stage.

Key words: mathematics morphology; edge detection; differential operator

0 引言

随着数字图像处理技术和模式识别的发展,利用图像采集分析系统进行显微图像的处理也成为图像工程的一个典型应用。显微图像是指将组织、细胞制成染色切片或涂片在显微镜下所看到的图像。人工处理显微图像不仅费时费力,而且采集数据的精度较低,数据不易保存和跟踪处理。电子显微图像的采集分析主要是通过高倍显微镜获取原始图像,然后由图像采集系统(主要包括 CCD 数码相机和图像采集卡)把图像数据传入计算机,然后进行图像处理和识别。

边缘检测是图像处理的基础,检测的结果直接决定着后续处理的精度与结果。显微图像往往因光照等原因造成亮度不均,而且细胞或微生物的形状不均、容易重叠,所以传统的边缘检测对显微图像的处理效果不太理想。数学形态学(mathematics morphology)是图像处理和模式识别领域中的一门新兴学科,具有严格的数学理论基础,最早由 Matheron and Serra 提出,现已在形状识别、边缘检测、纹理分析、图像恢复和增强等领域得到了广泛应用,如

基于三维的彩色图像分割技术^[1],视频图像目标的分割与追踪^[2],遥感图像的边缘检测^[3],医学图像处理^[4]等。其基本思想是用具有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。所获得的关于图像结构的信息与结构元素的尺寸和形状都有关系,构造不同的结构元素,便可完成不同的图像分析,得到不同的分析结果^[5]。形态学方法比其他空域或频域图像处理和分析方法具有一些明显的优势,它不像微分算法对噪声敏感,同时提取的边缘也比较平滑,易于用并行处理方法有效地实现,从而提高处理速度,而且硬件实现容易。数学形态法包括二值形态学、灰度形态学和彩色形态学。文中将灰度形态学和二值形态学相结合,用于显微图像处理,并和其它常见的算法进行了比较,验证了算法的有效性。

1 灰度形态学和形态学边缘检测方法

1.1 灰度形态学

数学形态学的基础是二值形态学,基本变换包括膨胀、腐蚀、开启、闭合,由基本变换还可以组成形态学中的另 5 种运算:开、闭、薄化、厚化、即离,从而完成在图像分析中的各种应用。由于现实中处理的图像大多为灰度图像,就需要将二值形态学理论推广到灰度形态学,因此将图像的函数空间从二维平面推广到三维空间,函数的值域

收稿日期:2005-05-22

基金项目:北京市教委科技项目(KM200510028015)

作者简介:于子翊(1978—),女,河北磁州人,硕士研究生,研究方向为人工智能、模式识别、图像处理;李晓娟,博士,高级工程师,研究方向为人工智能、模式识别、图像处理。

由 $[0,1]$ 推广到了 $[0,255]$ 。灰度图像的形态学处理运用的是结构函数,设 $f(x,y)$ 是输入图像, $b(i,j)$ 是结构元素,可被看作是一个子图像函数, f 和 b 是坐标为 (x,y) 像素灰度值的函数。

灰度膨胀定义为:

$$(f \oplus b)(x,y) = \max\{f(x-i,y-j) + b(i,j) \mid (x-i),(y-j) \in D_f, (i,j) \in D_b\}$$

其中 D_f 和 D_b 分别是 f 和 b 的定义域,限制 $(x-i)$ 和 $(y-j)$ 在 f 的定义域之内,类似于在二值膨胀定义中要求两个运算集至少有1个(非零)元素相交。

膨胀的计算是在由结构元素确定的领域中选取 $f+b$ 的最大值,所以对灰度图像的膨胀操作的效果是:如果结构元素的值都为正的,则输出图像会比输入图像亮度增加;根据输入图像中暗细节的灰度值以及它们的形状相对于结构元素的关系,它们在膨胀中或被消减或被除掉。

灰度腐蚀定义为:

$$(f \ominus b)(x,y) = \min\{f(x+i,y+j) - b(i,j) \mid (x+i),(y+j) \in D_f, (i,j) \in D_b\}$$

其中 D_f 和 D_b 分别是 f 和 b 的定义域,这里限制 $(x+i)$ 和 $(y+j)$ 在 f 的定义域之内,类似于在二值腐蚀定义中要求结构元素完全包括在被腐蚀集合中。

腐蚀的计算是在由结构元素确定的领域中选取 $f-b$ 的最小值,所以对灰度图像的腐蚀操作的效果是:如果结构元素的值都为正的,则输出图像会比输入图像亮度减少;如果输入图中亮细节的尺寸比结构元素小,则其影响会被减弱,减弱的程度取决于这些亮细节周围的灰度值和结构元素的形状和幅值。

形态学的另外两个基本运算就是开启和闭合。灰度开启就是先对图像进行腐蚀,然后膨胀其结果,可以把比结构元素小的突刺滤掉,切断细长搭接而起到分离作用,消除了尺寸较小的亮细节。灰度闭合就是先对图像进行膨胀,然后腐蚀其结果,可以把比结构元素小的缺口或孔填充上,搭接短的间断而起到连通作用,消除了尺寸较小的暗细节^[6]。

1.2 形态学边缘检测方法

边缘是灰度值不连续的结果,两个具有不同灰度值的相邻区域之间总存在边缘。边缘检测的基本思想是首先利用边缘增强算子,突出图像中的局部边缘,然后定义像素的“边缘强度”,通过设置门限的方法提取边缘点集。传统的边缘检测常借助空域微分算子进行,通过将其模板与图像卷积完成,如:Sobel算子、LOG算子、Canny算子等^[7]。但在实际应用中,由于噪声和边缘像素都是高频信号,灰度值变化剧烈,所以使用微分算子检测边缘的同时也使噪声加强了。

形态学边缘提取的思想是:经过某种变换后,待提取的边缘的灰度值的变化程度比图像中非边缘部分的要明显得多。换句话说,输出图像边缘部分与输入图像的灰度值之差要大于非边缘部分的差。因此,须选择一种形态变

换,能扩大这个差值,又对非边缘的影响很小。一般的形态变换分为3种: $f \oplus b - f$; $f - f \ominus b$; $f \oplus b - f \ominus b$ 。

(1)基于膨胀的边缘提取:通过结构算子对图像进行增强膨胀运算,使边缘上灰度值得到增强,再用膨胀后的图像减去原图,则可得到图像的轮廓。此时的图像边缘将比原图的边缘稍大,其放大的程度以及边缘的粗细由结构算子决定。

(2)基于腐蚀运算的边缘提取:通过结构算子对图像进行腐蚀运算,使边缘上的灰度值得到削弱,再用原图减去腐蚀后的图像,则可得到图像的轮廓。此时得到的图像边缘将比原图的边缘稍小,边缘缩小的程度以及边缘的粗细同样由结构算子决定。

(3)基于膨胀和腐蚀共同作用的边缘提取,又称为形态学梯度运算:通过结构算子对图像分别进行膨胀和腐蚀运算,用膨胀后的图像与腐蚀后的图像作差,得到图像的轮廓。此时图像边缘加粗,有可能锐化细节相似的边缘。

2 算法实现

文中所选用的显微图像是通过放大三百倍的球状微生物的图像,分析图像发现,源图像的背景不均匀,噪声信号较少,目标图像单一且分布较集中。

2.1 不均匀亮度的校正和图像增强

首先,把采集到的24位真彩色图像转换为灰度图像。转换公式为:

$$\text{Gray}(i,j) = 0.299 \times R(i,j) + 0.587 \times G(i,j) + 0.114 \times B(i,j)$$

式中, $\text{Gray}(i,j)$ 为转换后的灰度图像在 (i,j) 点处的灰度值; $R(i,j)$ 、 $G(i,j)$ 、 $B(i,j)$ 分别表示转换前的彩色图像在 (i,j) 点处的红、绿、蓝亮度值。由于微生物图像中的目标明显,色彩单一,所以转换所获得的灰度图像与原始图像相比差异很小,各对应像素点的灰度一致性较好。

显微图像由于使用载玻片在拍摄过程中光照的原因往往造成亮度不均匀,在这种情况下首先使用差影法对不均匀亮度进行校正。通过使用分区域的方法找到不同区域像素的灰度值的最小值,再由区域灰度值的最小值通过图像插值法得到与原图像大小一样的背景图像,再与原图像做减法得到校正后的图像。在具体实验中,由于图像大小为 172×196 ,所以每个区域大小为 43×24 ,计算每个区域像素灰度的最小值,并以此数据利用双三次插值得到与原图大小一致的图像,插值后的图像即是背景图像,再与原图像相减得到校正后的图像。由于通过减法运算后的图像灰度值明显减小,因此可以采用简单有效的直接灰度调整以增加目标与背景的灰度对比度,达到图像增强的目的。

直接灰度调整是把直方图的灰度范围从较小的 $[a,b]$ 变换到扩大后的范围 $[a',b']$,以得到清晰的图像。变换公式为 $f' = \frac{b'-a'}{b-a} \times (f-a) + a'$, f 为像素的初始灰度值, f' 为像素变换后的灰度值。实验中 a 取为图像灰度

的最小值, b 为图像灰度的最大值, $[a', b']$ 为 $[0, 255]$ 。

2.2 采用灰度形态学初步提取边缘

在数学形态学边缘提取的过程中, 结构元素的选取是十分关键的。结构元素是形态学图像的基本算子, 不同结构元素的选择导致运算对不同几何信息的分析和处理, 同时结构元素也决定了变换所使用的数据使用量, 因此对结构元素的分析是图像边缘检测的重要内容, 结构元素的尺寸大小和结构形状都会影响图像边缘检测效果。由于图像中微生物结构的形态结构较简单, 边界相对光滑, 所以我们选择了统一的结构元素: 十字型结构元素, 即为 $\{0 \ 1 \ 0; 1 \ 1 \ 1; 0 \ 1 \ 0\}$ 。这是因为十字型结构元素既能够满足形态改变的尺度要求, 又不会产生冗余的细节变化, 不会改变球形边界的弧度。

在实验中, $f(x, y)$ 是选取的微生物图像, $b(i, j)$ 是结构元素 $\{0 \ 1 \ 0; 1 \ 1 \ 1; 0 \ 1 \ 0\}$, 分别使用三种形态变换。图 1 是经过基于膨胀变换的结果, 边界清晰平滑, 但是由于膨胀变换使内部细节和背景中的毛刺被放大, 这样不利于后期的处理。图 2 是基于腐蚀变换的结果, 边界同样清晰, 同时背景毛刺被较好的抑制, 内部细节保持了最初状态。图 3 的形态学梯度变换产生了大量的细节聚集, 内部细节模糊化, 背景毛刺也被放大, 但是边界对比度增强, 较明显。经过比较, 认为基于腐蚀变换的结果, 达到了边界提取和噪声抑制的目的, 实验结果优于另外两种变换。但是同样因为通常减法运算后图像灰度值降低, 所以可以采用图像增强的算法增大图像灰度值的对比度。

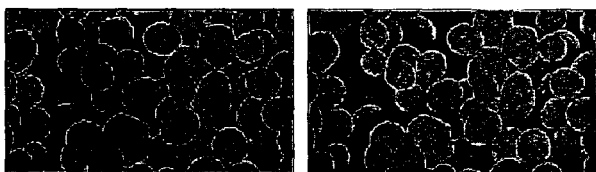


图 1 基于膨胀变换结果



图 2 基于腐蚀变换结果

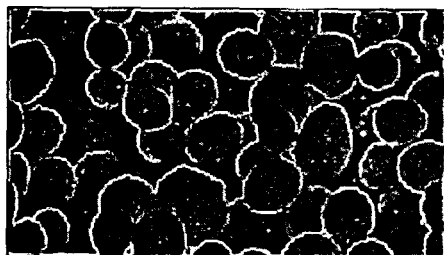


图 3 基于形态学梯度变换结果

2.3 采用二值形态学的后期处理

形态学的边缘提取不仅能够保存边缘信息同时对于图像内部的细节信息也保存较好, 但是经过二值处理细节信息容易变为噪声, 所以可以先通过多次连续的开启运算, 去掉小的孤立像素, 然后再利用闭合运算进行不连续细节的封闭。初步提取边缘后图像边缘轮廓基本清晰, 但是经过多次闭合运算边界容易出现聚集块, 为了使边界更平滑利于后续处理, 所以需要进行边缘细化。

细化, 就是把粗细不一的轮廓线整理成同样粗细的线

(一般为一个像素的宽度), 在进行阈值处理后, 变成二值图像。细化算法有很多种, 我们选择了数值形态学的细化处理: 第一步对图像中边沿像素进行标签化, 可以采用 4-连接或 8-连接的边沿约定, 由于显微图像目标弧线较多, 采用了 8-连接的约定, 即与目标像素点接触的 8 个像素点均有可能成为连接的像素; 第二步正常腐蚀, 但是对被标为可除去的像素点并不立即消去; 第三步通过连通性判断, 将那些消除后并不破坏连通性的点消除, 其余的点保留^[8]。

3 实验结果分析

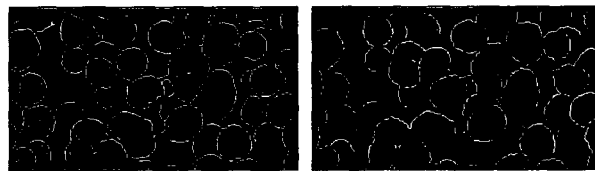


图 4 文中算法结果图像 图 5 Sobel 算子检测结果图像

实验在 Windows2000, Matlab6.5 软件平台下完成, 如图 4, 5 所示, 结果图像通过和 Sobel 算子边缘检测得到的图像对比, 可以看出 Sobel 算子虽然平滑噪声能力较强, 但是大量的边缘细节被过滤, 造成边缘不连续、模糊, 这样对于进行边界分析非常不利。此外实验中也尝试了 Log 算子, 但 Log 算子虽然消除了内部孤立像素, 边缘附近噪声增多, 同时边界不够平滑影响弧度的计算。文中算法检测边缘较清晰, 但是由于内部细节被完整保留, 所以容易出现内部的噪声, 但是可以通过模板 $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ 反复腐蚀消除。所以, 文中提出的数学形态学法的边缘检测方法, 能够有效地去除噪声, 所获边缘清晰、连续, 易于编程实现, 能够满足微生物显微图像识别的需要。

参考文献:

- [1] Yun Dong, Park S H, Lee S U. Color Image Segmentation Based on 3D Clustering: Morphological Approach[J]. Pattern Recognition, 1998, 31(8): 1061 - 1076.
- [2] Gu Chuang, Lee M C. Semantic Video Object Segmentation and Tracking Using Mathematical Morphology and Perspective Motion Model[J]. IEEE Trans on Image Proceeding, 1997, 8(5): 514 - 517.
- [3] 王 宇, 王 乘, 刘吉平. 一种基于数学形态学的遥感图像边缘检测算法[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(30): 91 - 93.
- [4] 张 翔, 刘媚洁, 陈立伟. 基于数学形态学的边缘提取方法[J]. 电子科技大学学报, 2002, 31(5): 491 - 493.
- [5] 崔 屹. 数字图像处理技术与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 1997. 56 - 160.
- [6] Lee S H, Shapiro L G. Morphologic Edge Detection[J]. IEEE J Robot Automat, 1987, 3(2): 142 - 155.
- [7] 章毓晋. 图像分割[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [8] 飞思科技产品研发中心. MATLAB6.5 辅助图像处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003. 190 - 219.