

基于二值化的数学形态学生物图像边缘检测算法

汪 毅, 郭显久, 于晓静, 尹祥贵

(大连水产学院 信息工程学院, 辽宁 大连 116023)

摘要:针对边缘检测算子对噪声敏感且检测边界相对模糊的缺点,提出了基于动态二值化的数学形态学边缘检测算法。该算法首先利用动态二值化方法确定将灰度图像转化为二值图像的阈值,然后利用数学形态学的腐蚀和去空洞相结合的方法去除二值化图像的噪声,最后用细化方法检测单像素图像边缘。仿真结果表明,该算法能降低噪声及图像模糊对边缘检测的影响,实现边缘的准确定位,并保留足够的图像细节,具有更强的去除噪声能力,为显微生物单体图像处理提供了一种有效的边缘细化检测方法。

关键词:边缘检测;数学形态学;动态二值化;去空洞

中图分类号: TP391.4 **文献标志码:** A

显微生物图像边缘检测属于图像分割的技术范畴,是对图像进行视觉分析和模式识别的基本前提^[1-2],也是一个普遍性难题。应用于不同领域的视觉分析和模式识别系统,一般不存在完全通用有效的图像分割方法。针对边缘检测算子对噪声敏感且检测边界相对模糊的缺点,作者提出了基于动态二值化的数学形态学显微生物图像边缘检测算法,其目的是为显微生物图像分析与识别奠定基础。

1 灰度图像二值化

将灰度图像转换为黑白的二值化图像是图像数字化处理的重要环节之一。目前常用的算法是采用阈值法对图像进行二值化处理,即通过设定某个 θ 阈值,并以该阈值为门限,把灰度图像转换成二灰度级的黑白图像。在处理过程中,不同的样品图像根据灰度分布峰值的不同,按图像特征的相应要求,可以选择不同的二值化转换阈值 θ 。对于256级的灰度图像,将图像上位于 S 处的灰度值记为 y_s ($0 \leq y_s \leq 255$),则设定二值化阈值为 θ ($0 \leq \theta \leq 255$)。当 $y_s \geq \theta$ 时,记 $y_s^* = 1$;当 $y_s \leq \theta$ 时,记 $y_s^* = 0$ 。由此在图像上得到了以二值化数据 y_s^* 标定的黑白二值化图像 S ,从而完成了图像的数字化处理过程。

如何使二值图像能最大限度地保持原图像的重要特征或细节是值得研究的问题^[3]。保证图像二值化质量的关键是阈值的选取,常用的阈值选取方

法有固定(或全局)阈值法和变阈值法两种。固定阈值法是指在一幅图像内使用一个固定不变的阈值 θ 对该图像进行二值化处理,该固定阈值的确定是通过对不同的阈值 θ 进行反复试验,最后确定一个满意的阈值 θ 。固定阈值法适用于内容相对简单、目标景物变化相对较少的情况。显然,使用固定阈值法处理过的图像仍然会残留一定的无意义信息,或损失一部分有用的信息。为此,本研究中作者采用变阈值法对图像进行二值化处理。

灰度直方图是数字图像处理中一个简单、普遍使用的工具。它表示图像中具有每种灰度级的像素个数,反映图像中每种灰度出现的频率。灰度直方图的横坐标是灰度级,纵坐标是该灰度级出现的频率。

$$Y = y_i, i = 0, 1, \dots, 255, \tag{1}$$
$$F = n_i / N, \tag{2}$$

其中: n_i ——灰度为 y_i 的像素个数; N ——图像像素总个数。

由灰度和灰度出现的频率构成的直方图是图像最基本的统计方法。在确定阈值时,如果目标物体内部灰度值分布比较均匀,背景灰度值分布也比较均匀,这时图像的直方图就会显示出明显的双峰。当一幅图像的直方图具有双峰时,可选择双峰之间的谷底作为阈值。本研究中所要分析的藻类数字图像是藻类单体本身,而背景是承载藻类单体的海水。显然,海水的灰度值趋于相等,而藻类单体的

灰度值分布相对均匀，因此，可以通过计算得出藻类图像的直方图，将双峰之间的谷底作为阈值。但由于不同藻类图像的形状以及拍照时的光照变化等影响，本研究中采用变阈值方法对藻类图像进行二值化处理。具体描述如下：1) 确定二值化的阈值 θ ，即搜索双峰之间谷底的位置；2) 把所有像素的灰度值 y_i 与该阈值 θ 进行比较；3) 像素归类，即把像素值大于阈值的像素值记为 255，小于阈值的记为 0。

利用该算法对图 1 (a) 所示的藻类图像进行二值化处理，经过计算得到的灰度直方图如图 1 (b) 所示，二值化处理结果如图 1 (c) 所示。从图 1 (c) 可以看出，图像中的噪声以及原图像中包含的不具有分析价值的像素点仍然残留在图像中，主要以黑点或面积相对较小的黑斑的形式出现。

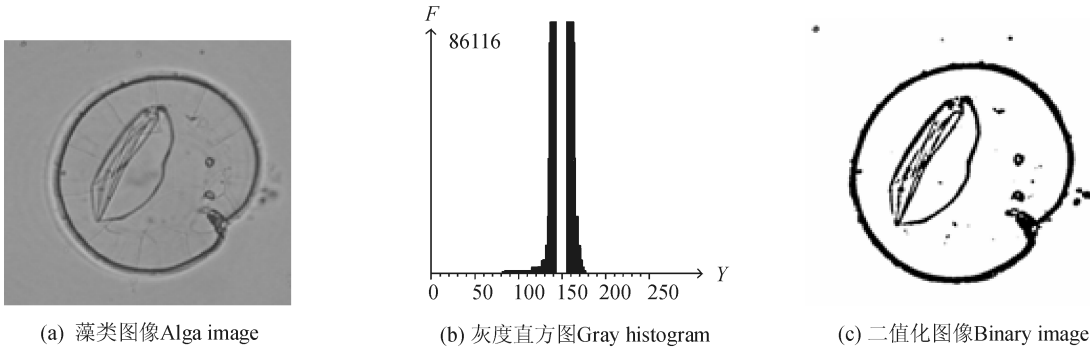


图 1 藻类图像的二值化
Fig.1 Binary of alga image

2 二值图像内噪声的去除

2.1 腐蚀运算法

二值图像形态学是依据数学形态学的集合论方法发展起来的针对二值图像的处理方法。其主要内容是设计一整套的变换（运算）、概念和算法，用以描绘图像的基本特征。二值图像形态学以图像形态特征为研究对象，描述图像的基本特征和基本结构，也就是描述图像中元素与元素、部分与部分之间的关系^[4-5]。数学形态学的用途主要用于获取二值图像中物体拓扑和结构信息，通过物体和结构元素相互作用的某些运算，得到物体更本质的形态。数学形态学处理通常表现为一种邻域运算形式，即在每个像素位置上，对某一结构元素单元与二值图像对应区域的所有像素进行特定的逻辑运算，运算的结果即为处理后的二值图像。

二值图像形态学的运算以腐蚀和膨胀两种基本运算为基础，引出了其它几个常用的数学形态学运算，最常见的运算有腐蚀、膨胀、开运算、闭运算、击中、细化和粗化，它们是全部数学形态学的基础。用这些运算及其组合可以进行图像形状和结构的分析及处理。

腐蚀的作用是消除物体的边界点，它是使边界向内收缩的过程，可以把小于结构元素的物体去除。这样选取不同大小的结构元素，就可以去除不

同大小的物体。腐蚀的数学表达式为

$$S=X\ominus B=\{x,y\mid B_{xy}\in X\}, \tag{3}$$

其中： S 为腐蚀后的二值图像集合； B 为用来进行腐蚀的结构元素，结构元素内的每个元素取值为 1 或 0； X 为原图像经过二值化处理后的像素集合。式(3)的含义是用 B 来腐蚀 X 得到集合 S (图 2)。

膨胀在二值图像形态学中的作用与腐蚀正好相反，它是对二值化物体边界点进行扩充，将与物体接触的所有背景点合并到该物体中，使边界向外部扩张的过程。如果两个物体之间的距离比较近，则膨胀运算有可能使这两个物体连通到一起。膨胀的数学表达式为

$$S=X\oplus B=\{x,y\mid B_{xy}\cap Y\neq\emptyset\}, \tag{4}$$

其中： S 为膨胀后的二值图像集合； B 为用来进行膨胀的结构元素，结构元素内的每个元素取值为 1 或 0； X 为原图像经过二值化处理后的像素集合。式(4)的含义是用 B 来膨胀 X 得到集合 S (图 2)。

由于每操作一次腐蚀运算，能使目标图像的边界向内收缩一个单位结构元素的距离，因此，可以运用腐蚀运算去掉二值图像中一些很小的黑点。当这些黑点较大（即为黑斑）时，就需要反复进行很多次腐蚀操作才能将这些黑斑去除，同时也去除了许多有价值的目标图像的外围边界轮廓，使图像失去了大量有用信息。为了避免该现象的发生，本研究中作者利用去空洞方法和腐蚀运算相结合来处理二值图像的黑斑。

00000000000		00000000000
00000011110		00000000000
00000011110		00000001110
00000011110		00000001110
00000111100		00000011100
00000111100		00000011100
00111111100		00000111100
00111100000	010	00011100000
00111100000	110	00011100000
00000000000	000	00000000000
X	B	$X \ominus B$
00000000000		00000000000
00000011110		00000011111
00000011110		00000011111
00000011110		00000011111
00000111100		00000111110
00000111100		00000111110
00111111100		00111111110
00111100000	010	00111111100
00111100000	110	00111110000
00000000000	000	00111100000
X	B	$X \oplus B$

图 2 $X \ominus B$ 、 $X \oplus B$ 示意图

Fig. 2 The process of $X \ominus B$, and $X \oplus B$

2.2 去空洞法

去空洞处理是图像测量技术的一种应用方法,用来消除整幅图像中一定面积的图像目标。在二值图像中,相互连接的黑像素集合成为一个黑区域。在二值图像区域标记的基础上,通过对二值图像内每个黑区域进行标记操作(标号)计算,得到一系列带有标号的黑区域,称之为标号区域。通过计算可以求得标号区域的数目数(λ),然后再计算每个标号区域的像素个数,并对应相应的标号区域记录下该标号区域像素的个数作为后续操作的依据。此时,根据直观经验设置一个标号区域像素个数的阈值(θ)作为空洞消除的判定依据,开始对标号区域进行判定操作。当某一标号区域像素个数值小于阈值(θ)时,就将该标号区域所包含的像素值全布置为 255(白),即把该标号区域作为空洞从整幅二值图像中除去,从而达到对图像去噪的目的。

2.3 用腐蚀运算与去空洞法相结合去除二值图像中的黑点或黑斑

本研究中利用腐蚀运算和去空洞方法相结合来处理二值图像的黑斑。去空洞的方法首先要对图像中的每个像素进行连通性判断,得出哪些区域是标号区域,这其中也将单个的黑像素作为标号区域排列在所有标号区域之中,使得标号区域的数目极大

地增加。然后,统计所有标号区域的区域像素数目,再依据阈值(θ)对所有标号区域进行判定,消除空洞。显然,这个过程的计算量相当大,需耗费一定时间。因此,本研究中采用了先对二值图像进行腐蚀操作,去掉大量的单像素黑点及像素数目小于 9 的黑斑(根据藻类图像的特点,像素小于 9 的连通黑像素群视为黑斑)。这样,使得需要进行去空洞操作的标号区域的数目极大地减少,也减少了程序反复操作的次数,从而缩短图像处理所需的时间。具体的实现步骤描述如下:

- 1) 对二值图像进行腐蚀操作,去除单像素黑点及像素数目小于 9 的黑斑;
- 2) 判断像素的连通性,确定二值图像的标号区域;
- 3) 设定标号区域像素数目阈值(θ),将其作为空洞消除的判定依据;
- 4) 对所有标号区域进行判定并去除像素数目小于阈值(θ)的标号区域。

利用腐蚀运算与去空洞法相结合去除二值图像中的黑点或黑斑,其结果如图 3 所示。

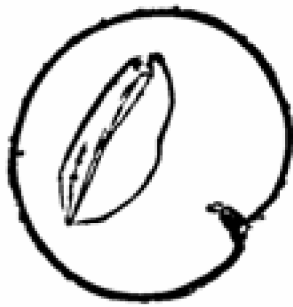


图 3 用腐蚀运算与去空洞法处理后的二值图像

Fig. 3 The binary image after erosion and de-empty

3 二值图像的骨架细化

骨架(图像中央的骨骼部分)是描述二维二值图像几何及拓扑性质的重要特征之一^[6-7]。骨架描述的是一种中轴的概念,如一个长方形的骨架在它长方向的中轴线上,正方形的骨架在它的中心点上,圆的骨架在它的圆心上,直线的骨架是它自身。细化的目的就在于将图像的骨架提取出来的同时保持图像细小部分的连通性,这有助于突出形状特定和减少冗余的信息量。细化的数学表达式为

$$S = X - X \uparrow B, \tag{5}$$

其中: \uparrow 为击中击不中变换; S 为二值图像进行细化后的像素集合; B 为用来进行细化运算的结构元素; X 为原图像经过二值化运算后的像素集合。式(5)的含义是用 B 来细化 X 得到集合 S , S 是 X 的

全部像素点除去击中击不中变换后的集合。

将经过腐蚀运算和去空洞法处理后的二值图像（图 3）进行骨架细化处理，得到如图 4（a）所示的单像素描述的图像目标。为了证明本研究中提出的算法具有较好的效果，给出了用 Laplace 边缘检测算子对藻类图像（图 1（a））进行边缘提取的结果，如图 4（b）所示。

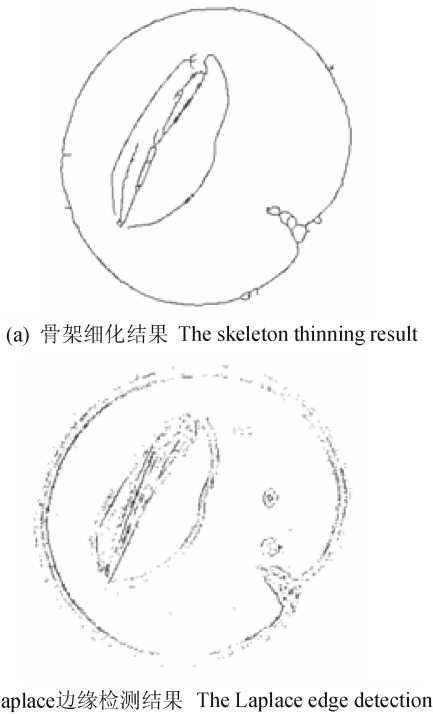


图 4 二值图像的骨架细化及其与 Laplace 边缘检测结果比较

Fig.4 The comparison of the binary image thinning result and Laplace edge detection result

A edge detection algorithm of biologic Image based on dynamic binary and mathematical morphology

WANG Yi, GUO Xian-jiu, YU Xiao-jing, YIN Xiang-gui

(School of Information Engineering, Dalian Fisheries Univ., Dalian 116023, China)

Abstract: A edge detection algorithm of biologic image based on dynamic and mathematical morphology, which can solve the affection of noise and blurring effect in image edge detection, is presented in this paper. The dynamic binary method was used firstly to define binary image threshold in transforming gray image to binary image. Secondly, the Erosion algorithm of mathematical morphology and de-empty method were used to eliminate noise of binary image. Finally the skeleton detection was used to detect image edge. The numerical experimental showed that this algorithm reduced the effect of noise in image edge detection, and realized were accurately edge orientation, and hold adequately image detail. This algorithm is a good edge detection method in biologic image.

Key words: edge detection; mathematical morphology; dynamic binary; de-empty method

4 结论

利用本研究中提出的算法对单体藻类图像进行了边缘提取，并和 Laplace 边缘检测算子提取的藻类边缘进行了对比。结果表明，使用本研究中提出的算法得到的边缘图像可以有效过滤图像噪声和不必要的内容信息，并完整地保留了图像目标的必要信息，从而具有更强的可描述性及准确性，为后续的图像分析工作提供有力的依据。该算法也可以对其它图像的边缘进行检测。

参考文献:

[1] FORSYTH D A, PONCE J. Computer Vision—A Modern Approach [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004.

[2] 李发文, 张行南, 杜成旺. 基于 GIS 和数学形态学的洪水淹没研究[J]. 水利水电科技进展, 2005, 25(6): 14–16.

[3] 付峰, 应义斌. 生物图像阈值分割方法的研究[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2003, 29(1): 108–112.

[4] 李平, 张延安, 汪秉宏, 等. 灰度阈值对图像分形特征参数提取的分析[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2006, 27(1): 57–60.

[5] 杨淑莹, 边奠英. VC++图像处理程序设计[M]. 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2005.

[6] 张引. 基于空间分布的最大类间方差牌照图像二值化算法[J]. 浙江大学学报, 2001, 35(3): 272–278.

[7] 黄贤武, 王加俊, 仲兴荣. 指纹识别的预处理组合算法[J]. 计算机应用, 2002, 22(10): 29–32.