

文章编号: 1005-0523(2009)02-0052-05

基于细胞图像局部分布特性的粘连分割技术研究

崔媛媛, 蒋先刚

(华东交通大学 交通信息工程与控制研究所, 江西 南昌 330013)

摘要:在医用显微图像中, 针对重叠和粘连在一起的细胞图像, 根据其局部分布特性, 在距离变换的基础上提出了一种新的基于图像局部像素分布的分割方法。实验结果表明, 该方法简单易行, 鲁棒性强, 具有较好的分割效果。

关 键 词:细胞图像; 距离变换; 像素灰度值; 局部分布

中图分类号: TP315

文献标识码: A

随着计算机与图像处理技术的发展, 数字图像处理已经成为科学研究强有力的工具。它被广泛应用于医学工程领域, 特别是在医学显微图像的处理方面, 如组织细胞的分类、计数以及病变细胞的判别与诊断等。在医学显微图像的处理中, 经常会遇到细胞的重叠和粘连现象, 严重影响了其后续分析统计的有效进行, 所以, 将聚集在一起的重叠或粘连的细胞进行分割是细胞图像分析中的一项重要任务。根据生物细胞图像特有的统计特性、细胞及细胞器的轮廓、边缘和纹理等视觉特征, 人们提出了细胞图像分割的各种方法。常用的图像分割方法主要有: 基于灰度特征的域值分割方法, 基于边界提取的分割, 基于边缘检测和边缘连接的分割技术, 基于数学形态学的分割算法。

距离变换是一种基于数学形态学的图像分割方法。在许多文献里^[1], 一般都将距离变换与分水岭算法结合起来对图像进行分割, 效果也比较好。本文在距离变换的基础上提出了一种新的基于图像局部像素灰度值的分割方法, 首先对细胞图像进行均值聚类, 再在二值化的基础上进行距离变换, 之后采用基于图像局部像素灰度值的方法进行分割。算法流程如图 1。

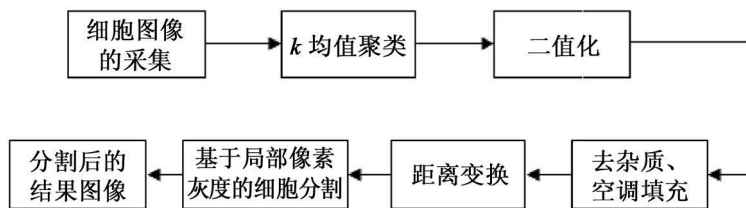


图 1 基于图像局部像素灰度分布的细胞分割方法算法流程

1 粘连细胞图像分割的预处理

收稿日期: 2008-10-09

基金项目: 江西省教育厅科技项目 (2009GJJ09212)

作者简介: 崔媛媛 (1984—), 女, 河南安阳人, 硕士研究生, 研究方向为数字图像处理。

1.1 粘连细胞图像的预处理

在数字图像处理中,为了实现图像分析与处理的简易性和快速性,在不影响图像后续分析处理的前提下,对图像进行一些预处理是很必要的。在医用显微图像的处理中,对这些预处理的要求更加精确。

医用显微图像是 24 位真彩色,在这里我们首先对其进行 k 均值聚类^[2]。均值聚类包括 RGB 空间和 HSL 空间的均值聚类,通过实验结果 (见图 2 和图 3) 的比较,我们选用 RGB 空间的 k 均值聚类。k 均值聚类算法中的 k 是事先给定的,这个 k 值的选定是很难估计的,根据血液细胞的特征,我们选取 k=4。实验结果证明 k=4 时的聚类效果良好,聚类的结果如图 4 所示。很多时候,我们事先并不知道给定的数据集应该分成多少类才最合适,这也是该算法的一个不足之处。针对这一缺点,有的算法是通过类的自动合并和分裂,得到较为合理的类型数目 k 有些根据方差分析理论,应用混合 F 统计量来确定最佳分类数。

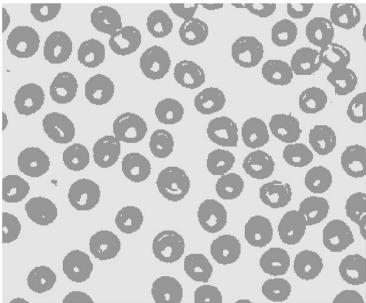
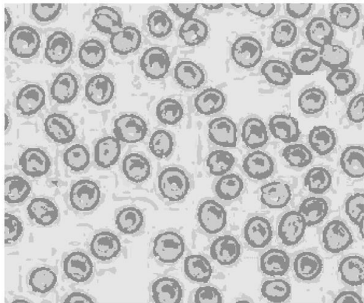
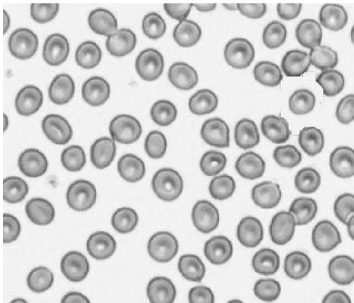


图 2 原始的细胞图像 图 3 HSL 空间 k=4 时的聚类结果 图 4 RGB 空间 k=4 时的聚类结果

为了实现后续的距离变换,需要对已经均值聚类的结果图像进行二值化。研究人员提出了许多二值化的方法,但是目前为止还不存在一种通用的方法,也不存在一个判断二值化是否成功的客观标准。本文在均值聚类基础上,采用迭代法选择阈值的方法进行二值化。迭代法选择阈值是基于逼近的思想,它的基本步骤为

- (1) 求出图像的最大灰度值和最小灰度值,分别记为 $\max$ 和 $\min$ 令初始值为 $T_k = (\max + \min) / 2$;
- (2) 根据阈值 T_k 将图像分割为第 1 族和第 2 族,分别求出两者的平均灰度值 Z_1 和 Z_2 ;
- (3) 求出新阈值 $T_{k+1} = (Z_1 + Z_2) / 2$;
- (4) 若指定一个极小值 ϵ , 有 $|T_{k+1} - T_k| < \epsilon$, 若逼近值基本满足要求,所得即为阈值,则 T_{k+1} 即为最后的迭代结果,否则令 $T_k = T_{k+1}$, 重新执行上面的过程,直到满足误差要求的条件为止。

与其它二值化方法相比较,这种方法的效果要好,二值化结果图像如图 5。经过二值化后的细胞图像,会存在一些孤立的点和空洞,利用数学形态学中腐蚀与膨胀原理,实现空洞的填充及噪声的滤除^[3]。效果如图 6 所示。

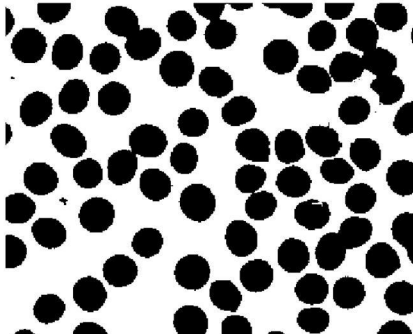
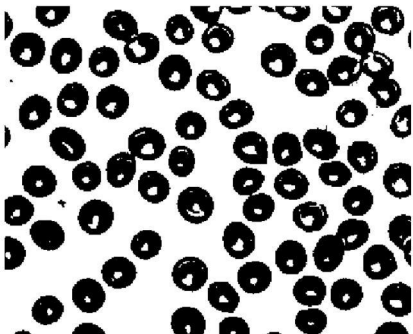


图 5 细胞二值化的结果图 图 6 空洞填充及噪声滤除的结果

1.2 距离变换算法

距离变换^[4~6]是对二值图像的一种操作运算,它是将一幅二值图像转化为一幅灰度图像。在这幅灰度图像中,每个连通域的各像素点的灰度级与该像素点到其背景像素的最短距离有关,经距离变换得到的图像,其灰色度最大点的集合为骨架,就是目标图像中心部分的线像素的集合,也是图形各内接圆中心的集合,灰度等级反应背景与目标对象边界的影响关系。距离变换的结果是图像中物体表面值低,内部值高,中心值最高。从理论上讲,要计算一个像素点到背景像素点的最短距离,需要对图像进行全局操作运算,即计算此像素点与所有背景像素点的距离,再取最小值。设二值图像 I 包含两种元素,物体 o 和 o' 背景,距离图 D ,则距离变换定义为 $D(p)=\min\{\text{dist}\{p,q\}, p\in o, q\in o'\}$,其中 p,q 为图像的像素点; $\text{dist}\{\}$ 为距离测度函数。

在这里,我们采用一种倒角算法,只需要对图像进行两次扫描就可以实现距离变换。在二维距离变换中,一个类似于卷积核的模板(如图 7 所示)以一种类似卷积的操作在整幅图像中移动。前向的扫描是从左向右、自顶向下进行的,而后像的扫描是从右向左、自底向上进行的。在模板进行所到的每一位置,模板中的每个元素与其对应的像素值相加而形成一项和的集合。如果模板空白,则什么都不做。位于模板中心下方的像素用这些和中的最小值取代。

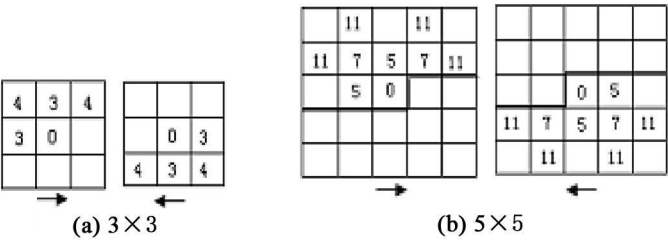


图 7 用倒角算法实现二维距离变换时所用的模板对

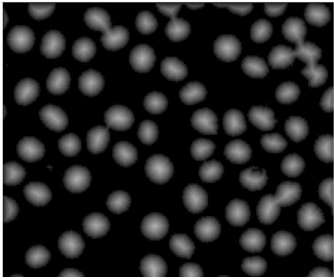


图 8 距离变换后的图像

对图 5 的二值细胞图像进行距离变换,结果如图 8 所示。从图中可以看出,距离变换将二值细胞图像中像素点间不同的位置信息转化成了不同的灰度信息,由于细胞边缘像素具有较小的灰度值,被处理后已基本消失。

2 基于图像局部像素灰度值的新分割方法

距离变换后的图像反映了细胞的粘连程度,细胞中心点附近的灰度值大,而表达细胞之间粘连关系的区域是比较细的大灰度值像素,它的平均灰度值不大,可以通过阈值的控制来实现细胞的分割,即将灰度值比较大的像素点作为目标区域显示出来。在这里,我们提出两种方法来实现阈值的选择。

2.1 点邻域灰度占比直方图分布选择阈值法

其基本思想是:先求出距离变换图像中的任意一点及其邻域内像素点的平均灰度值,然后根据它们的比值绘制灰度比例直方图,确定合适的阈值 thr 对不同条件下的像素点赋予不同的新值,这样,就可以将粘连在一起的细胞分割开来。具体步骤为

- (1) 假设 $f(i,j)$ 为图像中任意的一个像素点,由于要操作的图像是经距离变换后的灰度图像,它每一个点的 R、G、B 分量值均相等,分别记为 $f_r(i,j), f_g(i,j), f_b(i,j)$,我们选用 $f_r(i,j)$ 记为点 $f(i,j)$ 的灰度值。
- (2) 以点 $f(i,j)$ 为中心,取一个大小为 $M \times N$ 邻域窗口(为了更好界定每一区域中心点的位置,一般选取奇数窗口),计算这个邻域内的平均灰度值:

$$E = \frac{1}{M \times N} \sum_{u=i-\frac{M-1}{2}}^{i+\frac{M-1}{2}} \sum_{v=j-\frac{N-1}{2}}^{j+\frac{N-1}{2}} f_k(u, v)$$

(3) 记 $r = \frac{f(i, j)}{E}$, 根据 r 绘制图像的区域灰度的比例直方图, 依据直方图选择合适的阈值 thr 对 $f(i, j)$ 赋新的灰度值 $f'(i, j)$ 。

$$f'(i, j) = \begin{cases} \min(255, k_1 \times f(i, j)), & r \geq thr \text{ 且 } f(i, j) \geq Q \\ \min(255, k_2 \times f(i, j)), & \text{其它} \end{cases}$$

其中: Q 代表一个灰度值; k_1, k_2 分别代表不为 0 常数, 且 $k_1 > thr, k_2 < thr$

2.2 自适应调整阈值的算法

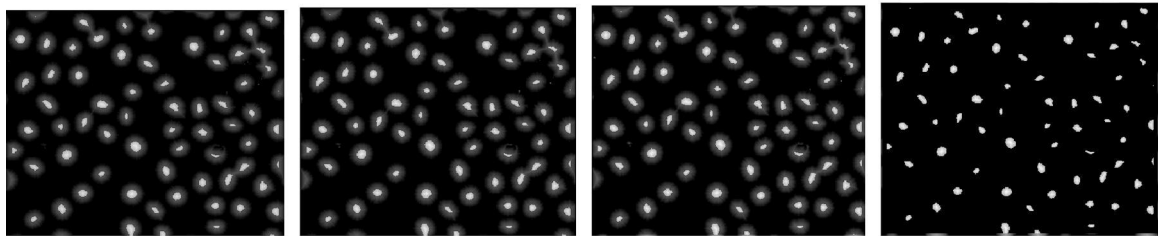
在图像分割时, 对于有两个波峰的数字图像, 用比例直方图分布选择合适的阈值比较容易, 但是对于只有一个波峰或多个波峰或没有波峰的情况, 确定合适的阈值就比较困难了, 这时我们可以采用自适应的方法来动态地调整阈值。其基本思想是: 在初次分割图像时, 阈值 thr 可以选择一个比较大的值, 随着迭代次数的增加, thr 的值会逐渐减小, 这样, 经过多次迭代后, 将会得到一个分割效果比较好的结果图像。我们采用的公式为

$$thr_0 = thr_{(t-1)} \times (1 - t / (T + C))$$

其中: t 为迭代次数; T 为总的迭代次数; C 为一个大于 0 的整数, 后一次分割时的阈值 thr_0 要比前一次分割时的阈值 $thr_{(t-1)}$ 小一些。

3 实验结果讨论与小结

采用点邻域灰度占比直方图分布选择阈值法, 分别在 $3 \times 3, 5 \times 5, 7 \times 7, 9 \times 9$ 大小的窗口下对图 8 的细胞图像进行分割, 结果如图 9 所示。从图 9 中我们可以看出, 原始细胞中的粘连细胞都被分割开来, 这表明该方法对粘连或重叠细胞的分割效果是良好的, 特别是对那些粘连或重叠部分不是很多的细胞分割特别有效, 但是, 对于那些体积比较小的细胞来说, 在距离变换时由于细胞中心的灰度值不高而不能够显示出来, 若减小 Q 的值, 又会使那些粘连或重叠度较高的细胞分割效果变差, 甚至不能把它们分割开, 这也是本方法需要进一步解决的问题。仔细观察图 9 中的四幅图像, 可以看出粘连细胞在 9×9 窗口下的分割效果比 3×3 窗口下的分割效果要好, 粘连细胞分割处的末梢基本上可以消除, 在相同的参数设置下, 9×9 窗口下分割得到的细胞边缘更趋于平滑。



(a) 3×3 (b) 5×5 (c) 7×7 (d) 9×9

图 9 参数 $thr=0.99, Q=85$ 时, 在不同大小窗口下得到的分割图像

图 10 是在自适应调整阈值的算法下得到的结果, 可以看出经过, 针对本次实验的细胞图像, 经过一次迭代后已经实现了细胞的粘连分割, 但是效果不是很好, 得到的结果图像比较模糊, 在一次迭代的基础上进行二次迭代, 效果明显变好。同时, 该方法具有较高的鲁棒性, 当像素灰度值满足一定的条件时, 就不再发生变化, 不会腐蚀掉图像中的小细胞, 也不会使已经分割开来的细胞再粘连到一起。对比图 10 中的图

像,可知 9×9 窗口下的自适应调整阈值分割效果优于 3×3 窗口,但需要在时间上付出一定的代价。在实际应用中,可以根据实际条件的需要进行选择。

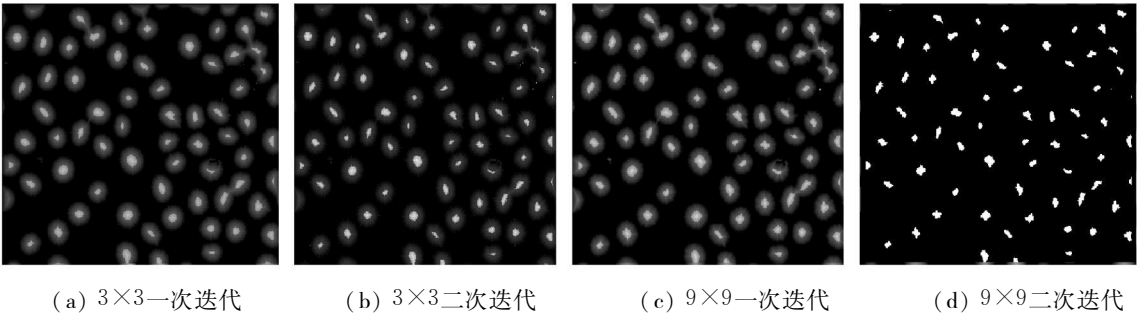


图 10 自适应调整阈值算法下的结果图像

从图 9和图 10可以得出,两种方法都实现了对粘连细胞的分割效果。这种新提出的基于图像局部像素分布特性的分割方法,是在距离变换的基础上进行的,它解决了细胞分割中粘连现象对后续目标的测量分析产生干扰和影响的问题,在误差允许的范围,具有一定的可行性。

参考文献:

[1] 丁 宏,王 泽,施月玲.粘连细胞分割算法的研究与实现[J]. 计算机应用与软件, 2008, 25(4): 202—203.
[2] 蒋先刚. 数字图像处理工程软件设计[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006. 3.
[3] 李 胜. 粘连血细胞图像分离计数算法的实现[J]. 电脑知识与技术, 2007, (6): 1 654—1 656.
[4] 刘生浩,曾立波,刘 斌,方 勇. 重叠颗粒图象的分离[J]. 计算机工程, 2002, 28(2): 198—210.
[5] 游迎荣,范影乐,庞 全. 基于距离变换的粘连细胞分割方法[J]. 计算机工程与应用, 2005, (20): 206—208.
[6] 袁天云,姜志国,孟如松. 目标分割图中粘连对象的自动切割和分离[J]. 中国体视学与图像分析, 2003, 8(1): 40—43.

Research on the Adhering Segmentation Based on the Local
Distribution Characteristics of Cell Image

CUI Yuan-yuan, JIANG Xian-gang

(Institute of Infomation and Control Engineering East China Jiaotong University Nanchang 330013, China)

Abstract: In the medical microscopic images aiming at the overlapping and adhering cell images and their local distribution, a new separating algorithm on the basis of the distance transformation are inferred. The experimental results show that the method has a high robustness and has a good segmentation result.

Key words: cell image; distance transformation; pixel gray value; local distribution

(责任编辑:刘棉玲)