

# 基于 Gabor 滤波与区域生长的细胞分割

刘应乾<sup>1</sup>, 曹茂永<sup>2</sup>

(1. 滨州学院 自动控制研究中心, 山东 滨州 256600;

2. 山东科技大学 信息与电气工程学院, 山东 青岛 266590)

**摘要:** 贴壁细胞图像中细胞大小形状各不相同, 细胞内部分区域与细胞边缘具有相近的灰度, 部分细胞边缘较细或者断裂, 为后续正确的分割计数带来了困难。传统的基于区域的图像分割很容易造成过分割和欠分割, 前者得不到完整的细胞边缘, 后者使细胞内部出现大量杂质点。为解决以上问题, 首先利用 Gabor 滤波器的方向性滤波特性对细胞边缘进行增强, 然后选择细胞边缘对应的高灰度点作为种子点进行 8 连通约束的区域生长, 最后对区域生长后的图像进行形态学闭运算消除小的空洞和毛刺, 得到完整的细胞边缘图像。与阈值法和边缘检测法的比较结果表明, 该算法分割效果较好且对噪声不敏感。

**关键词:** 贴壁细胞图像分割; Gabor 滤波; 带约束的区域生长; 形态学闭运算

中图分类号: TP391

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2012)02-0099-05

## Cell Segmentation Based on Gabor Filtering and Regional Growth

LIU Yingqian<sup>1</sup>, CAO Maoyong<sup>2</sup>

(1. Research Center of Automatic Control, Binzhou College, Binzhou, Shandong 256600, China;

2. College of Information and Electrical Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

**Abstract:** The wall-stuck cells are different in sizes and shapes, the gray grade of cell inner regions is close to that of cell edges, the parts of the cell edges are thin and broken, leading to the difficulty for afterwards correctly segmenting and counting the number of cells. The traditional image segmentation based on regions was easy to be over segmented or inadequately segmented. The former cannot obtain the complete edge of cell and the latter obtains a number of impurity spots. In order to solve the above problem, first, Gabor filter was used to enhance the edges in different directions; then, the high gray grade points corresponding to cell edges were used as seed points to carry out the regional growth with eight connective restrictions; finally, the morphologically closed operation was done for the image after the regional growth to eliminate small cavities and burrs and to get the image with complete cell edge. The results show that this algorithm is of good effect of segmentation and not sensitive to noise compared with threshold method and edge detection method.

**Key words:** wall-stuck cell image segmentation; Gabor filtering; regional growth with restriction; morphologically closed operation

细胞图像的自动分析技术为临床医学研究提供了强有力的工具。目前筛选抗病毒药物中所使用的细胞株绝大多数为贴壁细胞, 细胞图像的分割是后续工作的基础。贴壁细胞图像具有以下特点: ①细胞大小形状各异而且粘连; ②细胞内部分区域的灰度与细胞边缘灰度类似; ③细胞边缘粗细与方向不规则; ④细胞边缘

收稿日期: 2011-12-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(60472047)

作者简介: 刘应乾(1980—), 男, 山东昌邑人, 助教, 主要从事图像处理与模式识别方面的研究. E-mail: lyq198019@163.com

曹茂永(1964—), 男, 山东青州人, 教授, 博士生导师, 主要从事光电检测、图像处理和模式识别方面的研究。

与细胞内部具有类似的灰度;⑤部分细胞边缘有断裂。目前常用的图像分割方法有数据驱动和模型驱动:前者如基于边缘检测的分割<sup>[1-4]</sup>,基于区域的分割<sup>[5-8]</sup>,边缘与区域相结合的分割<sup>[9]</sup>,基于数学形态学的分割<sup>[10]</sup>;后者如基于 Snake 模型的分割<sup>[11]</sup>,基于优化组合模型的分割<sup>[12]</sup>,基于目标几何与统计模型的分割<sup>[13]</sup>。

由于细胞图像的特点,无论单纯的基于区域的分割方法如阈值法、区域生长法,还是基于边缘的检测都很难得到完整的独立的细胞边缘图像。阈值法的难度在于难以确定合适的阈值,区域生长法在于难以确定合适的生长终止条件,容易造成过分割或欠分割。活动轮廓模型与 Gabor 滤波器相结合虽然得到了较好的分割结果,但计算量大,处理速度慢<sup>[14]</sup>。为了克服以上缺点,同时考虑到细胞图像的特点,首先利用 Gabor 滤波器<sup>[15]</sup>增强细胞边缘,弱化细胞内部区域,然后对滤波之后的图像采用区域生长法<sup>[16]</sup>,最后对区域生长法分割之后的图像进行形态学闭运算消除小的空洞与毛刺,得到了较好的分割结果。细胞图像的灰度直方图具有不明显的双峰特性,因而选择具有较高灰度值而且具有相似灰度的像素点(近似为细胞边界)作为种子点,根据实验选择合适的灰度差作为生长终止条件,为了避免区域生长的同时把细胞内部不希望被提取的像素点提取出来,加上一个 8 连通约束,得到了不含细胞内部杂质点的不完整的细胞边缘图像,然后利用形态学闭运算,去除小的毛刺并且将断裂的细胞边界连接上,得到了完整的不含细胞内部杂质点的细胞边界。

### 1 Gabor 滤波

考虑到 Gabor 滤波器有多尺度、多频率和多角度滤波的效果,为了增强较弱的细胞边界,弱化细胞内部信息,先用 Gabor 滤波器对图像进行不同角度的滤波增强,得到在不同方向增强的多幅图像,然后把不同方向增强后的图像融合,得到边界增强、内部信息弱化的细胞图像。经尺度变换、频率变换和旋转因子后的 Gabor 滤波器公式如下:

$$g(x, y, \delta_x, \delta_y, \theta, f) = \frac{1}{2\pi\delta_x\delta_y} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{(x\cos\theta + y\sin\theta)^2}{\delta_x^2} + \frac{(y\cos\theta - x\sin\theta)^2}{\delta_y^2}\right]\right\} \cos[2\pi f(x\cos\theta + y\sin\theta)]$$

其中: $\delta_x, \delta_y$  分别是  $x$  和  $y$  轴方向的尺度因子,这里取  $\delta_x=3, \delta_y=4$ ;  $\theta$  表示滤波器的角度,可以通过改变  $\theta$  增强不同方向的细胞壁;  $f$  是频率,  $f \in \left[\frac{1}{12\delta_x}, \frac{1}{4\delta_x}\right] \cup \left[1 - \frac{1}{4\delta_x}, 1 - \frac{1}{12\delta_x}\right]$ ,  $f=0$  时, Gabor 滤波器为高斯滤波器,这里取  $f=0.0664$ 。

如图 1 所示的实验可以验证 Gabor 滤波器的方向增强特性。图 1(a)是原始图像,考虑到原始图像部分水平边界较弱,对其进行  $\theta=0$  的 Gabor 滤波,实验结果如图 1(b)所示;取  $\theta=0.50$  对原图像滤波,结果如图 1(c)所示;取  $\theta=0.33$  对原图像滤波,结果如图 1(d)所示;对图 1(b)(c)(d)进行融合,得到的结果如图 1(e)所示。与图 1(a)相比,图 1(e)质量有了明显的改善,细胞边缘得到了增强,同时弱化了内部信息。

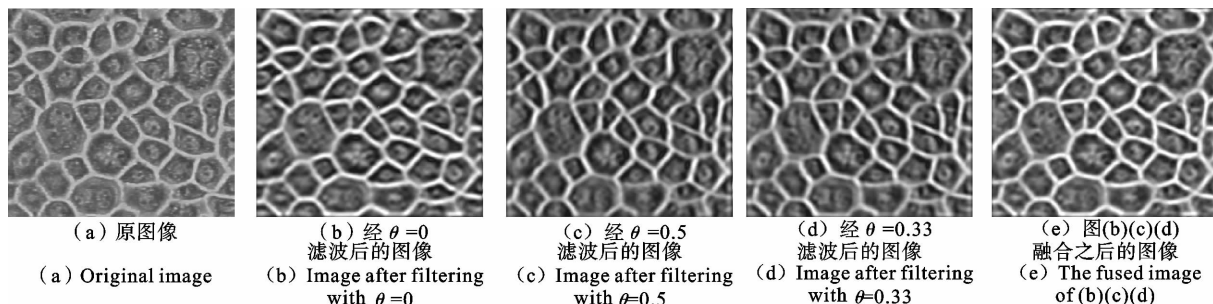


图 1 经 Gabor 滤波增强后的图像

Fig. 1 Image after enhancement of Gabor filter

## 2 种子点的选取以及生长终止条件的确定

细胞图像灰度化以后具有以下特点:①边缘部分整体灰度值较高,并且不连续;②细胞内部整体灰度值较低,但也有部分灰度值较高的区域。由于图像分割的最终任务是完成对细胞的正确计数,因此必须做到:①得到完整而且连续的细胞边界;②细胞内部不允许出现杂质点,以免造成错误的计数。考虑到细胞边界灰度类似,细胞内部灰度类似,拟采用区域生长法,又因为相对细胞内部而言,细胞边界是连通区域,因此将种子点选择在细胞边界上。

### 2.1 种子点的选取

区域生长的基本思想是将具有相似性质的像素集合起来构成区域。首先需要为每个待分割的区域找到一个种子点。然后将生长点邻域像素中与其有相同或相似性质的像素点合并,直到没有满足条件的像素点为止。关键在于生长点的选取、生长规则的确定和生长终止条件的确定。

图 1(e)的直方图如图 2(a)所示,直方图具有不明显的双峰特性,第二个波峰对应的灰度值即细胞边缘对应的灰度值设为  $T_1$ ,约为 160。选择对应该像素值的点为种子点。

### 2.2 生长终止规则的确定

为了将细胞边界与细胞内部区分开,必须选择一个生长终止条件,在没有像素满足加入某个区域的条件时,区域生长就会停止,这里选择灰度差值作为生长终止规则。根据图像的直方图,波谷所对应的灰度值可以认为是细胞边缘过渡区域的灰度值。该灰度值设为  $T_2$ ,约为 140。以灰度值差  $(T_1 - T_2) < 20$  作为生长终止条件。

### 2.3 实验结果

图 2(b)是未经连通性约束的区域生长法分割结果,可以看到,细胞内部大量不希望被提取的信息被提取出来了。如果确定生长终止规则的灰度差增大,则细胞边界会更粗,而细胞内部的杂质点会更多;反之,如果确定生长终止条件的灰度差减小,则细胞边界会更细,以致产生断裂,同时细胞内部杂质点会越少。图 2(c)是经连通性约束的区域生长法分割结果,细胞内部小的杂质区域消失了。

## 3 形态学运算

从图 2(c)可以看到,尽管细胞内部杂质点很少,但是细胞边缘存在断裂现象,这里通过采用二值图像形态学闭运算去除小的毛刺,将狭窄的缺口连接起来。使用结构元素  $B$  对集合  $A$  的闭操作,表示为  $A \cdot B$ ,定义如下: $A \cdot B = (A \oplus B) \ominus B$ , $\oplus$ 表示膨胀, $\ominus$ 表示腐蚀。使用结构元素  $B$  对集合  $A$  的闭操作就是用  $B$  对  $A$  进行膨胀,而后用  $B$  对结果进行腐蚀。闭操作有一个简单的几何解释:将结构元素  $B$  看做一个(扁平的)转球, $A \cdot B$  的边界通过  $B$  中的点完成,即  $B$  在  $A$  的边界外转动时, $B$  中的点所能到达的  $A$  的边界的最远点。

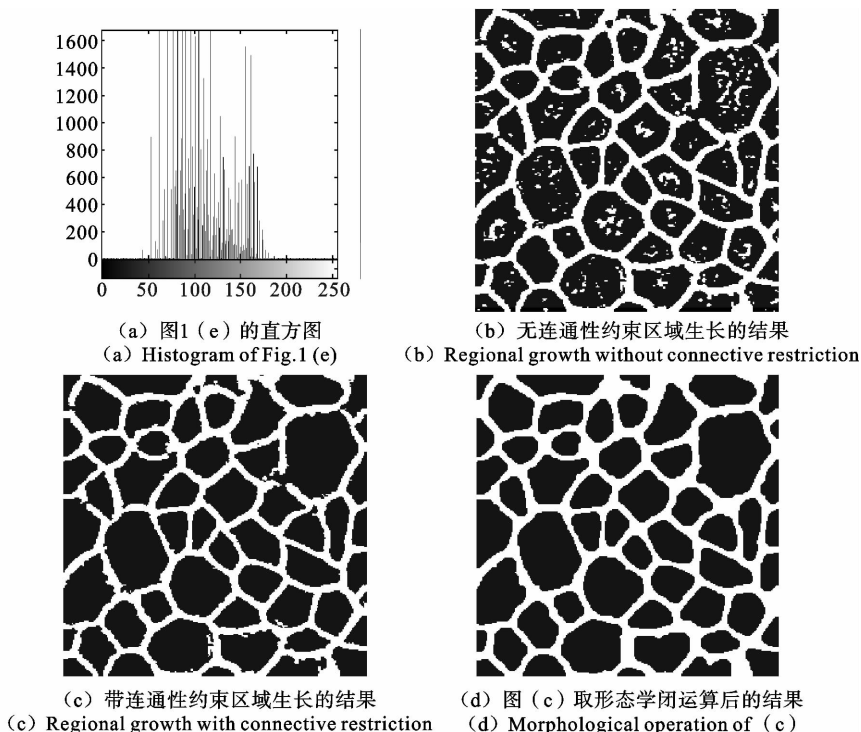


图 2 区域生长的结果图

Fig. 2 The result of regional growth

这里  $A$  是待处理图像,  $B$  为圆盘状结构算子。经过闭运算后, 狭窄的缺口被连接了起来, 结果如图 2(d) 所示。

#### 4 实验结果比较及结论

图 3(b) 为 LOG (Laplacian of Gaussian) 算子检测的结果, 由于原图像部分细胞内部区域的灰度与边缘类似, 因此基于边缘的检测效果不好。基于灰度的全局阈值法则很难去除细胞内部杂质点, 对原图像进行中值滤波后取全局阈值, 然后又经形态学闭运算, 得到如图 3(a) 所示图像, 无法去除细胞内部的杂质点以及完整提取出细胞边界。考虑到 Chen-Vese(C-V) 模型是一种不依赖于图像梯度的能量最小化模型, 在图像分割时对噪声不敏感, 为了提高 C-V 模型的处理速度, 选取初始轮廓如图 3(c) 左图所示, 可以看到, C-V 模型没有去除细胞内部的杂质点, 也没有将断裂的细胞边缘连接上。考虑到细胞边缘灰度特征比较单一的特点, 对图像采用模糊 C 均值算法, 分割结果如图 3(d), 细胞内部的杂质点不能去除。实验结果证实(图 3(e)), 采用 Gabor 滤波能增强细胞边界弱化细胞内部信息, 结合区域生长法能正确完成分割, 对噪声(细胞内部的高灰度点)不敏感。

#### 参考文献:

- [1] BOMANS M, HOHNE K H, TIEDE U, et al. 3-D segmentation of MR images of the head for 3-D display[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 1990, 9(2): 177-183.
- [2] BERGHOLM F. Edge focusing[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1987, 9(9): 726-741.
- [3] 应骏, 叶秀清, 顾伟康. 一个基于知识的边沿提取算法[J]. 中国图像图形学报, 1999, 4A(3): 239-242.  
YING Jun, YE Xiuqing, GU Weikang. A new edge detection algorithm on the basis of knowledge[J]. Journal of Image and Graphics, 1999, 4A(3): 239-242.
- [4] WILKINSON M H F. Optimizing edge detectors for robust automatic threshold selection: Coping with edge curvature and noise[J]. Graphical Models and Image Processing, 1998, 60: 385-401.
- [5] MARDIA K V, HAINSWORTH T J. A spatial thresholding method for image segmentation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 10: 919-927.
- [6] HALL L O, BENSALID A M, CLARKE L P, et al. A comparison of neural network and fuzzy clustering techniques in segmenting magnetic resonance images of the brain[J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 1992, 3(5): 672-681.
- [7] TREMEAU A, BOREL N. A region growing and merging algorithm to color segmentation[J]. Pattern Recognition, 1990, 23(9): 935-952.
- [8] WANG J P. Stochastic relaxation on partitions with connected components and its application to image segmentation[J].

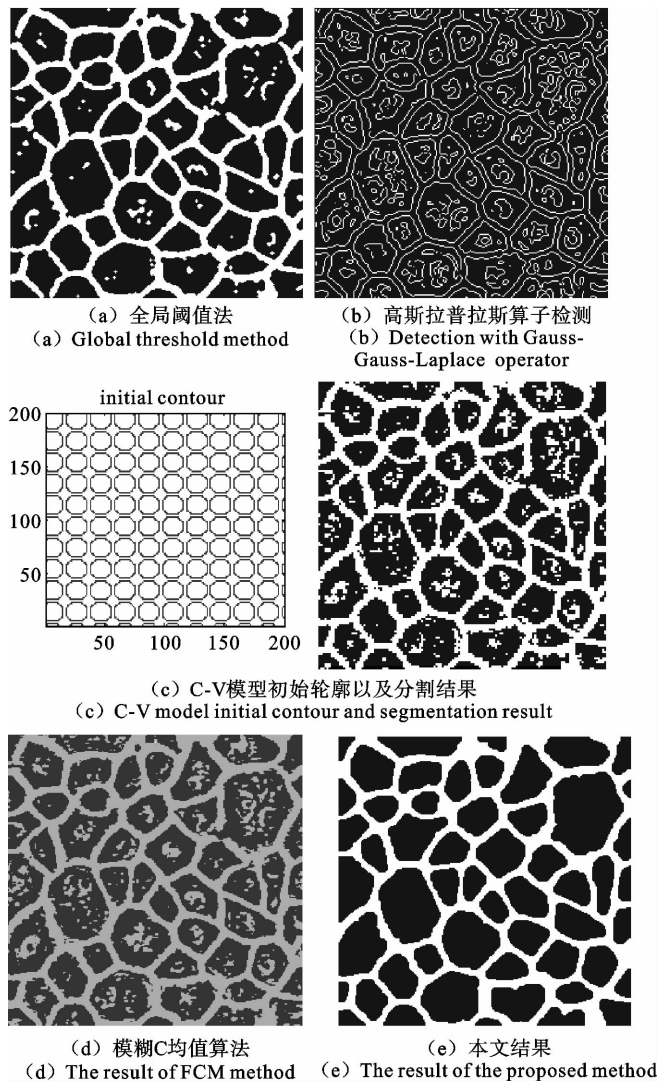


图 3 不同方法实验结果比较图

Fig. 3 Comparison of experimental results with different methods

- IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,1998,20(8):362-369.
- [9]PAVLIDIS T,LIOW Y T. Integrating region growing and edge detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,1990,12(3):225-233.
- [10]王媛媛,彭延军. 流域分割法在储粮昆虫图像中的应用[J]. 山东科技大学学报:自然科学版,2007,26(2):79-82.  
WANG Yuanyuan,PENG Yanjun. Application of watershed algorithm in image of food insects[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology:Natural Science,2007,26(2):79-82.
- [11]KASS M,WITKIN A,TERZOPOULOS D. Snakes: Active contour models[J]. International Journal of Computer Vision,1988,1:321-331.
- [12]BHANDARKAR S M,ZHANG H. Image segmentation using evolutionary computation[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation,1999,3(1):1-21.
- [13]NASTAR C,MOGHADDAM B,PENTLAND A. Flexible images: Matching and recognition using learned deformations [J]. Computer Vision and Image Understanding,1997,65:170-191.
- [14]刘应乾,曹茂永,孙农亮. 基于活动轮廓和 Gabor 滤波的细胞分割[J]. 光电子·激光,2007(10):1255-1259.  
LIU Yingqian,CAO Maoyong,SUN Nongliang. Wall-pasted cells segmentation based on active contour models and Gabor filters[J]. Journal of Optoelectronics · Laser,2007(10):1255-1259.
- [15]SUN N L,XU S C,CAO M Y,et al. Segmenting and counting of wall-pasted cells based on gabor filter[C]//2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology,27th Annual Conference. Shanghai, Sep. 1-4,2005:3324-3327.
- [16]ADAMS R,BISCHOF L. Seeded region growing[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,1994,16(6):641-647.

---

(上接第 98 页)

- [6]ZIVKOVIC Z,BAKKER B,KROSE B. Hierarchical map building and planning based on graph partitioning[C]//IEEE International conference on robotics and automation, Orlando, Florida, May 15-19,2006:803-809.
- [7]MOZOS O M,TRIEBEL R,JENSFELT P,et al. Supervised semantic labeling of places using information extracted from sensor data[J]. Robotics and Autonomous Systems,2007,55(1):391-402.
- [8]CHOI J,CHOI M,NAM S Y,et al. Autonomous topological modeling of a home environment and topological localization using a sonar grid map[J]. Autonomous Robots,2011,30(4):351-368.
- [9]GALINDO C,FERNANDEZ J,GONZALEZ J,et al. Robot task planning using semantic maps[J]. Robotics and Autonomous Systems,2008,56(11):955-966.
- [10]BLANCO J L,GONZALEZ J,FERNANDEZ J. Subjective local maps for hybrid metric-topological SLAM[J]. Robotics and Autonomous Systems,2009,57(1):64-74.
- [11]MURPHY R R. Introduction to AI robotics[M]. Beijing:Publishing House of Electronics Industry,2004:218-220.