

融合色调统计特征的自适应区域增长算法

柳佳雯¹, 梁光明², 刘任任¹, 谢雅婷¹, 丁建文³

(1. 湘潭大学 信息工程学院, 湖南 湘潭 411105; 2. 国防科技大学 电子科学与工程学院, 长沙 410073; 3. 长沙爱威科技, 长沙 410013)

摘要: 针对区域增长算法种子点选取及生长条件对分割效果影响大,但难以有效、准确确定的缺点,提出了一种融合色调、色调频度及其曲率的自适应区域增长算法(HARG)。通过曲率求取分割对象的色调频度曲线峰值,以峰值为中心进行加窗累加,当和值满足门限时,峰值作为区域增长的种子点,门限作为区域增长的生长条件。将算法应用于显微镜细胞图像的单个细胞内部分割,实验结果表明,HARG算法自适应确定了种子点及生长条件,能够实现多区域分割,分割精度得到改善。

关键词: 彩色图像分割; 加窗色调直方图; 离散曲率; 区域增长算法

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)08-3176-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.08.100

Adaptive region growing algorithm combined hue statistical characters

LIU Jia-wen¹, LIANG Guang-ming², LIU Ren-ren¹, XIE Ya-ting¹, DING Jian-wen³

(1. School of Information Engineering, Xiangtan University, Xiangtan Hunan 411105, China; 2. College of Electronic Science & Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China; 3. Ave Science & Technology, Changsha 410013, China)

Abstract: This paper proposed a adaptive region growing algorithm (HARG) combined hue, hue frequency and its discrete curvature, to direct at the drawback of conventional region growing algorithm characterized by the seed selected and growing condition confirmed great effected and ineffective confirmed. It calculated seed using the sum of hue histogram added window fulfilled with threshold, and region growing by the threshold. Used the algorithm for single cell of microscope cell image, and the experiment results show that the HARG algorithm enhances segmentation precision and achieves segmentation of multiple regions by ensuring adaptively the seed and growing condition.

Key words: color image segmentation; hue histogram added window; discrete curvature; region growing algorithm

区域增长算法在图像分割领域有着广泛的应用,但存在人工参与过多、增长门限难确定等问题。针对这些问题,研究人员提出了众多改进算法。文献[1]基于纹理特征,提出一种自适应选择种子点及增长门限的区域增长算法,具有良好的分割效果。但在其分割结果中,对象边缘存在一定的问题。文献[2]融合了矢量种子点、区域增长及K-均值聚类,对于MRI图的分割有好的效果,但计算复杂,计算效率难以保证。文献[3]采用分水岭算法进行预处理,以选择种子点,但分割结果为分水线轮廓,未论证对于梯度不明显图片的分割效果。文献[4]通过分析灰度图,选择增长区域及种子点,具有一定的抗噪能力及分割精度,但种子的选择对于算法结果影响较大。文献[5]提出了一种融合模糊最大熵的区域增长的算法,该算法自适应选择种子点,提高了分割精度,但仅对CT图进行了论证,未证明对其他复杂图像的分割效果。文献[6]根据噪声及曲率进行分析,从而确定种子点,以得到更好的分割精度,但未证明算法对于自然图像的应用效果。文献[7]根据有效的像素标记技术和选种过程设计了一个自动区域增长算法,具有很好的分割效果。本文通过统计分析细胞图像特点,提出了一种

新的改进算法。

1 色调统计分布特征

1.1 颜色空间

HSI(hue-saturation-intensity)是一种能够直观地反映人类感知颜色的方式,它用色调、饱和度和亮度表示颜色,具有相当的视觉一致性及自然性。

从RGB到HSI变换易于计算,可以产生一致性、完整性紧凑的颜色集合,其变换为

$$H = \arctan\left(\frac{\sqrt{3}(G-B)}{(R-G) + (R-B)}\right)$$

$$S = 1 - \frac{\min(R, G, B)}{I}$$

$$I = \frac{(R+G+B)}{3}$$

色调 H 为光谱波长分布中波峰的位置,代表了基本的颜色。 H 分量与人感受彩色的方式紧密相关。因此,对于彩色特性的图像,本文采用 H 分量分割图像。

收稿日期: 2011-12-06; **修回日期:** 2012-01-09 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(60673193)

作者简介: 柳佳雯(1986-),女,湖南长沙人,硕士,主要研究方向为图像处理(yiluoqiachen@163.com);梁光明(1970-),男,湖南涟源人,副教授,博士,主要研究方向为图像处理、模式识别、多媒体通信等;刘任任(1959-),男,湖南醴陵人,教授,博士,主要研究方向为多值逻辑、算法研究;谢雅婷(1986-),女,湖南娄底人,硕士,主要研究方向为图像处理。

设图像大小 A 为 $M \times N, m \in M, n \in N$, 则 $H_{(m,n)} = h, h = 0, \dots, L, h$ 为图像在 $H_{(m,n)}$ 处的色调值。 L 为色调级数。

1.2 色调频度

图像色调统计直方图函数为

$$Q(h) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n H_{(m,n)} / A \quad Q(h) \in [0, 1] \quad (1)$$

提取彩色细胞图(如图1)中的细胞,其色调直方图如图2所示。

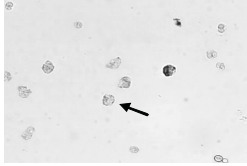


图1 彩色血细胞

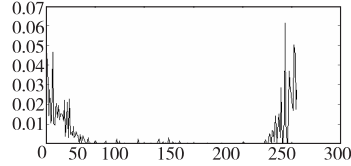


图2 细胞色调直方图

由图2可知,图像中色调频度峰值分布在0、20、235、211、96、42、76附近,与图像中主要色调特征分布相对应。彩色图像中色调的分布往往集中在部分主要色调上,而其他分散分布的小频率点往往为杂点。

因此,采用求色调直方图曲率的方法,得到合理的色调频度峰值。并且采用加窗求频度和的门限判决去除噪声点。

1.3 离散曲率^[8]

在离散空间中,曲率指离散目标中沿离散点序列的方向变化。由于色调频度值为离散点,采用离散曲率求得的曲率最大正值即为色调频度峰值点。

为了降低噪声影响,本文采用 B 样条来逼近色调频度曲线轮廓。设需要3阶多项式来逼近 $h \in [l, l+1], l=0, \dots, L$ 间的轮廓。在点 $A(h=l)$ 和 $B(h=l+1)$ 间的轮廓可用下列多项式来逼近:

$$H(h) = a_1 h^3 + b_1 h^2 + c_1 h + d_1$$

$$Q(h) = a_2 h^3 + b_2 h^2 + c_2 h + d_2$$

其中: a, b, c 和 d 都是多项式的系数。上述参数曲线的曲率公式为

$$C(h) = \frac{2c_1 b_2 - c_2 b_1}{(c_1^2 + c_2^2)^{3/2}} \quad h=0, \dots, L \quad (2)$$

可按下列公式拟合多项式系数 b_1, b_2, c_1 和 c_2 :

$$b_1 = \frac{1}{12} [(H_{n-2} + H_{n+2}) + 2(H_{n-1} + H_{n+1}) - 6H_n]$$

$$b_2 = \frac{1}{12} [(C_{n-2} + C_{n+2}) + 2(C_{n-1} + C_{n+1}) - 6C_n]$$

$$c_1 = \frac{1}{12} [(H_{n+2} - H_{n-2}) + 4(H_{n-1} + H_{n+1})]$$

$$c_2 = \frac{1}{12} [(C_{n+2} - C_{n-2}) + 4(C_{n-1} + C_{n+1})]$$

其中: H_n, C_n 分别为生成的拟合曲线的第 n^{th} 色调横坐标,及所对应的 n^{th} 曲线函数值得纵坐标。

求出 C 的最大正值 $C_{\max}(h)$ 所对应的色调值 h ,即为色调直方图的局部波峰值。该方法从色调频度整体曲线上考虑峰值,在数值集中的情况下,选取峰值更加科学合理。因此,选取波峰值为区域增长算法的种子点,从而最大程度地分割出图像的主要色调特征。

1.4 加窗色调频度和

对于图2的细胞色调频度图,观察得到波峰值周围还存在大量近似色调的像素点。且存在大量分散的小色调频度点,为了集中对象信息、减少噪声干扰,采用一定长度的窗口求峰值

对应区域的色调频度和,以更好地确定种子点。

设定窗口长度为 p ,对于色调频度曲率 C ,对其波峰值 $C_{\max}$ 对应的色调 $h_{\max}$ 在窗口内求色调频度和,其函数为

$$F(h_{\max}) = \sum_{(h_{\max} + L - \frac{p}{2}) \% L}^{(h_{\max} + \frac{p}{2}) \% L} Q(h_{\max}), h=0, \dots, L \quad (3)$$

其中,由于色调 h 是 $0-L$ 的循环空间,为了避免溢出,取边界值为 $(h_{\max} + L - \frac{p}{2}) \% L$ 和 $(h_{\max} + \frac{p}{2}) \% L$ 。

设 ε 为可区分对象的频度门限,当 $F > \varepsilon$ 时,得到 N 个区域 $F_{\max}$ 所对应的色调区域:

$$[(h_{\max}[i] + L - \frac{p}{2}) \% L, (h_{\max}[i] + \frac{p}{2}) \% L] \quad i=0, \dots, n$$

分别取 $p=10, 16, 20, 30$,当 $F > \varepsilon$ 时,抠取对应曲率波峰值的色调区域,结果如图3所示。

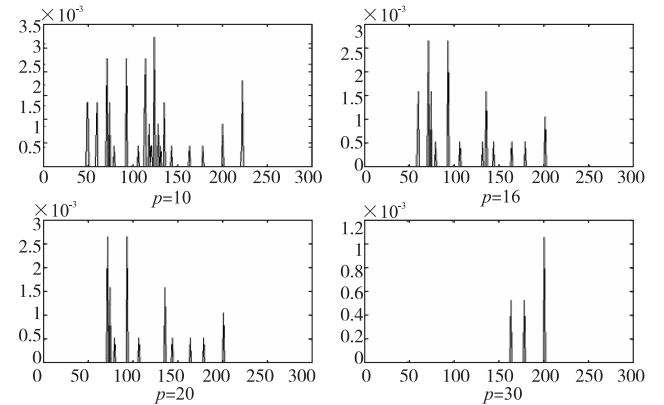


图3 抠取主色调频度特征

当 $p=20$ 时,能够同时保证最大化抠取主要色调特征及最小化噪声干扰。因此,选用窗口值作为区域增长的条件,种子点在窗口值范围内进行区域增长,从而保证算法最大程度分割出主要特征及最小程度受噪声影响。

2 区域增长分割算法

区域生长算法中,先要找到种子像素作为生长的起点,然后在一定的相似准则下,将种子点邻域内满足相似性的像素合并到区域内,直到再没有像素可以被合并。

2.1 种子策略

区域增长算法首先需要确定开始搜索的种子点。种子点的选取根据以下三个条件:

- 种子点能体现图片的重要特征;
- 种子点之间特征有区别;
- 种子点是分散的。

2.2 增长策略

区域增长进行增长必须有个恰当的相似性准则。令集合 R 表示整个图像区域, R_b 是未经过增长的区域, R_a 是已经过增长的区域。 $P(R_y)$ 为对于所有在集合 R 中的相似性准则,则对于像素点 $(i, j) \in R_a$,区域增长应满足下式:

$$\begin{cases} (i, j) \in R_b & P(R) = \text{ture} \\ (i, j) \in R_a & P(R) = \text{flase} \end{cases}$$

3 融合色调统计分布特征的自适应区域增长算法

由于种子点的选取及增长条件对于区域增长算法的分割

效果起决定作用,本文针对该算法在自然图像的处理上提出了基于色调统计分布特征的自适应区域增长算法(HARG)。首先分析色调的分布,加窗求取色调频度值,减少杂点对图像的影响,得到图像的主要特征,根据实验,得到科学的窗口值,作为改进算法的增长条件;其次,将加窗色调频度值进行曲线拟合,在整个色调分布曲线上确定局部峰值,作为区域增长种子点;最后,进行自适应的区域增长。

种子点的选取如下:

当 $F > \varepsilon$ 时,对应 N 个区域 $F_{\max}$ 的 $h_{c\max}[i], i=0, \dots, n$, 作为种子点 V_{seed} 。根据色调频度区域求和的窗口长度 p , 设定相似性门限 $\delta = \frac{p}{2}$ 。

区域增长的增长准则为

$$\begin{cases} V_{\text{seed}} & \text{同时满足条件 a) b)} \\ H_{(i,j)} & \text{else} \end{cases} \quad (4)$$

a) 若 $V_{\text{seed}(i',j')}$, 则 $H_{(i,j)}$ 中, $i=i' \pm 1, j=j' \pm 1$ 。

b) $|H_{(i,j)} - V_{\text{seed}}| \leq \delta$ 。

算法的具体步骤如下:

a) 给可区分对象的频度门限 ε 赋初值, 计数变量 $\text{count}=0$ 。

b) 由式(1)求出彩色图像的色调频度。

c) 由式(2)求出色调频度曲线的对应曲率。

d) 求出曲率最大值 $h_{c\max}$, 根据式(3)求出对应加窗频度和 $F(h_{c\max})$ 。

e) 当 $F > \varepsilon$ 时, 将 $h_{c\max}$ 存入 V_{seed} , count 加 1, 将 $[(h_{c\max}[i] + L - \frac{p}{2}) \% L, (h_{c\max}[i] + \frac{p}{2}) \% L]$ 区域赋 0, 重复步骤 c); 否则, 执行步骤 f)。

f) 将 $V_{\text{seed}}[\text{count}]$ 作为区域增长的种子点, 相似性门限为 δ , 根据式(4)进行区域增长。

4 实验结果及分析

取门限 $\varepsilon=0.07$, 窗口值 $p=20$ 。对 100 幅 800×600 的彩色细胞图进行实验。

为了更好地观察算法细分割的效果, 以及证明该算法的普适性, 挑选 100 幅图片中不同类型的三种血细胞图像(如图 1、4、5)进行分割。从结果中选取中不同类型的血细胞进行对比。由于大多数改进算法都未应用于彩色图像, 根据文献[4]的思想, 提出了一种适应彩色图像的对比方法与 HARG 进行对比。将本文方法与该对比方法进行比较, 对比结果如图 6 所示。

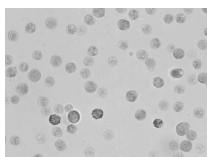


图4 彩色慢粒血细胞

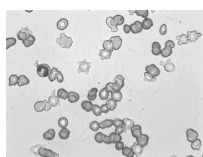


图5 彩色骨髓血细胞

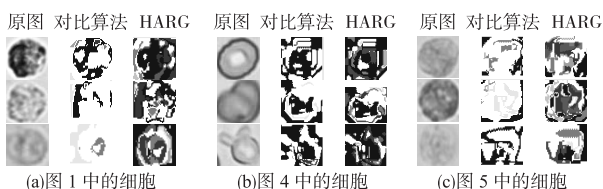


图6 不同血细胞分割效果

为了定量论证 HARG 算法相比其他算法的分割精度, 采用最佳分割精度(SA)对图 6 中的九种细胞进行分析, 结果如

表 1 所示。

表 1 不同血细胞最佳分割精度 SA

	细胞 1	细胞 2	细胞 3	细胞 4	细胞 5	细胞 6	细胞 7	细胞 8	细胞 9
HARG	67.4	64.2	64.0	82.2	77.1	89.5	71.2	79.5	73.5
对比算法	26.7	32.5	37.7	26.1	35.5	23.7	28.1	42.3	32.6

SA 是准确分类的像素点和图像总像素点数之比:

$$SA = \frac{\sum_{i=1}^{cn} B_i \cap D_i}{\sum_{j=1}^c D_j}$$

其中: cn 为所分类数; B_i 为经过算法后的第 i^{th} 类像素点集合; D_i 为原图的第 i^{th} 类像素点集合。

由图 6 及表 1 可以看出, 第三列结果图(HARG 算法)相较第二列结果图(对比算法), 分割结果包含信息更为丰富, 颗粒的分割更为精确。以图 4 中第三行细胞图像为例, 对比算法结果内部大部分区域为白色, 细胞液层次不分明; 而 HARG 算法结果内部区域较多, 层次明显, 更准确地反映出原图不同颗粒的细节分布。论文统计了大量细胞图像的分割效果, 实验表明 HARG 对于细胞内部颗粒的分割效果更为准确、有效, 其具有更高的分割精度。

5 结束语

本文在原有的区域增长分割算法基础上, 提出了基于色调频度曲率求波峰值、加窗色调频度求和的自适应选择种子点及区域增长门限的 HARG 算法。相较其他算法, 从色调整体分布上, 更合理、全面地得到区域增长种子点及增长条件, 把握分割对象的主要特征进行自适应分割。通过大量数据测试表明, 该算法可以减少噪声干扰, 准确选择种子点及增长条件, 对于细分割对象具有更好的分割精度。

参考文献:

- [1] GAMBINO O, VITABILE S, LoRE G, et al. Automatic volumetric liver segmentation using texture based region growing[C]//Proc of International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems. Washington DC: IEEE Computer Society, 2010: 146-152.
- [2] CHENG C H, LIN G C, JU S W, et al. Vector seeded region growing for parenchyma classification[C]//Proc of the 4th International Conference on New Trends in Information Science and Service Science. 2010: 721-724.
- [3] TANG Jun. A color image segmentation algorithm based on region growing[C]//Proc of the 2nd International Conference on Computer Engineering and Technology. 2010: 634-637.
- [4] WANG Hao-quan, XING Hao. Ultrasound CT image segmentation based on region growing[C]//Proc of the 2nd International Workshop on Education Technology and Computer Science. 2010: 106-109.
- [5] SHAN Dong-ri, GAO Fu-yuan. The segmentation algorithm of dental CT images based on fuzzy maximum entropy and region growing [C]//Proc of International Conference on Bioinformatics and Biomedical Technology. 2010: 74-78.
- [6] VIEIRA M, SHIMADA K. Surface mesh segmentation and smooth surface extraction through region growing[J]. Computer Aided Geometric Design, 2005, 22(8): 771-792.
- [7] FAN Jian-ping, ZENG Gui-hua, MATHURIN B, et al. Seeded region growing: an extensive and comparative study[J]. Pattern Recognition Letters, 2005, 26(8): 1139-1156.
- [8] 章毓晋. 图像工程(中册)——图像分析[M]. 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2005: 328-330.