

基于模糊 C 均值聚类的多分量彩色图像分割算法

卜娟¹⁾ 王向阳^{1),2)} 孙艺峰¹⁾

¹⁾(辽宁师范大学计算机与信息技术学院,大连 116029)

²⁾(苏州大学江苏省计算机信息处理技术重点实验室,苏州 215006)

摘要 以模糊 C 均值(FCM)聚类理论为基础,选用符合人眼视觉特性的 HSI 颜色空间,提出了一种新的多分量彩色图像分割算法。该算法首先结合数据分布特点确定出 H 分量与 I 分量的初始聚类中心;然后利用 FCM 聚类技术对 H 分量、I 分量进行分类处理,以得到不同分量的像素点隶属度;最后,将所得到的不同分量像素点隶属度组织成 2 维特征,并以此进行模糊聚类图像分割。实验结果表明,该算法可有效提高图像分割效果,其分割结果优于传统 FCM 聚类图像分割方案。

关键词 图像分割 FCM 聚类 HSI 颜色空间 隶属度

中图法分类号:TP391 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2008)10-1837-04

A FCM Based Image Segmentation Algorithm using Multi-color Components

BU Juan¹⁾, WANG Xiang-yang^{1),2)}, SUN Yi-feng¹⁾

¹⁾(School of Computer and Information Technology, Liaoning Normal University, Dalian 116029)

²⁾(Jiangsu Province Key Laboratory for Computer Information Processing Technology, Soochow University, Suzhou 215006)

Abstract We propose a FCM based image segmentation algorithm using multi-color components. Firstly, the image is converted from RGB color space to HSI color space, and initial clustering centers of H component and I component are selected according to the data distribution. Then, the FCM algorithm is performed on the H component and I component, and we can obtain the image pixel membership for H component and I component. Finally, two-dimensional image features are constructed with the image pixel membership, and the FCM based image segmentation is performed using two-dimensional image features. Experimental results show that the proposed method is simple and work well for most images, and has better segmentation effect than the existing FCM color image segmentation.

Keywords image segmentation, fuzzy c-means clustering, HSI color space, image pixel membership

1 引言

图像分割是指将图像中具有特殊意义的不同区域分离开,并使这些区域互不相交,且每个区域应满足特定区域的一致性条件。近年来,随着数学理论特别是应用数学理论的飞速发展,人们借助新的数

学理论,对图像分割问题进行深入研究,并陆续提出了多种图像分割方法,包括基于直方图阈值的分割方法、基于区域增长的分割方法、基于边缘检测的分割方法、基于模糊聚类的分割方法和基于统计学的分割方法等^[1]。

模糊聚类图像分割算法无需训练样本,是一种无监督的统计方法,它通过迭代执行分类算法

基金项目:国家自然科学基金项目(60773031);视觉与听觉信息处理国家重点实验室开放基金项目(0503);计算机软件新技术国家重点实验室开放基金项目(A200702);大连市科技基金项目(2006J23JH020);“图像处理与图像通信”江苏省重点实验室开放基金项目(ZK205014);江苏省计算机信息处理技术重点实验室开放课题基金项目(KJS0602)

收稿日期:2008-07-11;改回日期:2008-07-25

第一作者简介:卜娟(1984~),女。辽宁师范大学计算机与信息技术学院计算机应用技术专业硕士研究生。主要研究方向为计算机视觉、模式识别等。E-mail:bujuan-1@163.com

来提取各类的特征值。其中,基于 FCM 聚类的图像分割技术已引起人们普遍关注。高新波等人提出了灰度直方图聚类分割思想^[2],Chuang 和 Yang 等人从不同角度考虑了重要的空间信息^[3-5],Songcan 等人采用了新的核函数距离测度^[6],Rahimi 等人提出了一种用于图像分割的并行 FCM 算法^[7]。Yong 等人提出了一种加权 FCM 算法^[8],其不仅以图像灰度直方图作为待聚类数据,而且引入了融合空间邻域信息的权重值,较好地改善了图像分割效果。李桂芝等人提出了基于模糊熵和 RPCL(rival penalized competitive learning)的彩色图像聚类分割算法^[9]。Makrogiamis 等人结合聚类有效性分析,提出了基于多尺度离散度的 FCM 聚类理论^[10]。Mezhoud 等人以神经网络理论为基础,提出了基于选择聚类估计与模糊学习的彩色图像分割方案^[11]。Hachouf 等人以颜色、标准方差和均值为图像特征,通过修改目标函数给出了一种有效的彩色图像分割方法^[12]。

2 HIS 颜色空间的选取

彩色图像分割需要在特定的颜色空间内进行,合理选择颜色空间将直接影响彩色图像分割效果。所谓颜色空间,即是描述颜色的要素作为坐标并以此建立起来的 3 维空间。在颜色空间中,每一种颜色都有唯一的一组参数与之对应,同样每一组参数也对应着唯一的一种颜色,从而可以用一个量化的数据来表示颜色,使颜色品质控制的数据化成为可能。通常,人们习惯将颜色空间划分为面向硬件和面向视觉感知两类。面向硬件的颜色空间包括 RGB、CMY 等。其中,RGB 是数字图像广泛采用的颜色空间,其适合于诸如彩色显示器或打印机之类的硬件设备。面向视觉感知的颜色空间包括 HSI、YUV、HSV 等等,这些颜色空间与人类视觉感觉特性相符合。

本文将选取更加适合人类感知颜色的 HSI 空间进行图像分割,原因如下:(1)人们感知颜色一般形成对物体颜色的三方面认识:颜色类别、颜色纯度、颜色明亮程度。HSI 空间 3 个分量与上述三方面认识完全对应,非常符合人们的视觉习惯与视觉心理;(2)HSI 空间的 3 个分量(亮度 I、色度 H、饱和度 S)是独立变化的。其中,光照明暗给物体颜色带来的直接影响是亮度分量 I,

其与彩色信息无关;而色度 H 和饱和度 S 与人类感知色彩紧密相连。鉴于 HSI 颜色空间较好地体现了颜色分布局部性,故选取该颜色空间进行图像分割可以获得较好效果。

3 多分量 FCM 聚类彩色图像分割算法

3.1 初始聚类中心选取

要全面分析所有数据分布情况,并计算其分布密度,则必将大大增加系统时间开销。由数据的随机分布特点得知,聚类数据应主要分布在所有数据的均值附近。另外,标准差也是评价数据分布的重要指标之一。为此,本文给出一种基于均值-标准差的初始聚类中心选取方法。

假设所有数据的均值为 μ ,标准差为 σ ,则数据应主要分布在 $(\mu - \sigma, \mu + \sigma)$ 之间。假设聚类数目为 N ,于是我们可以选择初始聚类中心为 $(\mu - \sigma, \mu + \sigma)$ 之间的 N 个等分点进行聚类。设第 i 类的初始聚类中心为 m_i ,则有

$$m_i = (\mu - \sigma) + \frac{2\sigma_i}{N} \quad i = 1, \dots, N \quad (1)$$

如果参与聚类的是多维数据(如 d 维),则每个聚类初始聚类中心的各个向量为 $(\mu_l - \sigma_l, \mu_l + \sigma_l)$ 之间的 N 个等分点,设第 i 类初始聚类中心值为 $\{m_{i1}, m_{i2}, \dots, m_{id}\}$,则有

$$m_{il} = (\mu_l - \sigma_l) + \frac{2\sigma_l^i}{N} \quad (2)$$

$$i = 1, \dots, N; l = 1, \dots, d$$

结合数据分布特点确定初始聚类中心后,便可计算出初始模糊聚类矩阵 U 并进行 FCM 聚类了。

3.2 多颜色分量的 FCM 聚类

为了提高算法工作速度,本文引入直方图技术(用灰度级代替数据样本),对 H 分量和 I 分量进行分类处理。基于灰度直方图的 FCM 聚类算法的目标函数 $J(U, V)$ 定义如下:

$$J(U, V) = \sum_{k=0}^{L-1} \sum_{i=1}^c (\mu_{i,k})^m (d_{i,k})^2 h(k) \quad (3)$$

式中, $h(k)$ 是颜色分量(H 或 I)的灰度直方图, $k(k = 0, 1, \dots, L-1)$ 为灰度级, $L-1$ 为灰度最大值。 $m \in [2, \infty]$ 为加权指数。 $u_{i,k}$ 是第 k 个灰度级在第 i 个类中的模糊隶属度。 $d_{i,k}$ 是第 k 个灰度级与第 i 个聚类中心的距离,定义为

$$(d_{i,k})^2 = \|k - v_i\|^2 \quad (4)$$

这里, v_i 是第 i 个聚类中心的灰度值, 聚类中心的计算公式为

$$v_i = \frac{\sum_{k=0}^{L-1} (\mu_{i,k})^m h(k)}{\sum_{k=0}^{L-1} (\mu_{i,k})^m h(k)} \quad (5)$$

计算出亮度分量 I 的灰度直方图, 并利用基于直方图的 FCM 算法对 I 颜色分量进行聚类处理, 可得到两个聚类中心 I_{c_1} 和 I_{c_2} , 及相应的隶属度函数, 参见图 1。对于 I 颜色分量的每个像素点, 其隶属度可表示为

$$\mu_{I_{c_1}}(I(x,y)) \text{ 和 } \mu_{I_{c_2}}(I(x,y))$$

其中, $I(x,y)$ 为 I 颜色分量的像素点值。

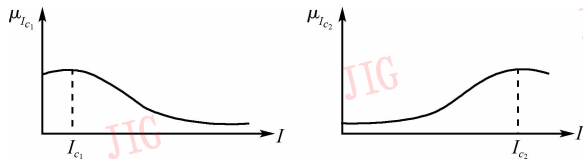


图 1 颜色分量 I 的模糊隶属度

Fig. 1 The fuzzy membership of color component I

同样, 计算出色度分量 H 的灰度直方图, 并利用基于直方图的 FCM 算法对 H 颜色分量进行聚类处理, 可得到两个聚类中心 H_{c_1} 和 H_{c_2} , 及相应的隶属度函数, 参见图 2。对于 H 颜色分量的每个像素点, 其隶属度可表示为

$$\mu_{H_{c_1}}(H(x,y)) \text{ 和 } \mu_{H_{c_2}}(H(x,y))$$

其中, $H(x,y)$ 为 H 颜色分量的像素点值。

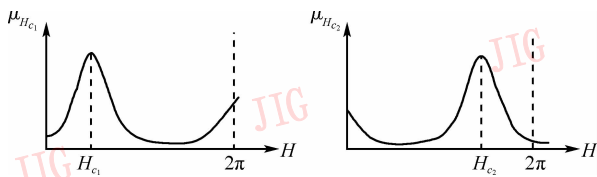


图 2 颜色分量 H 的模糊隶属度

Fig. 2 The fuzzy membership of color component H

3.3 基于多颜色分量的图像分割

将所得到的不同颜色分量像素点隶属度组织成如下 2 维特征

$$F = (\mu_{I_{c_1}}(I(x,y)), \mu_{H_{c_1}}(H(x,y)))$$

并利用 FCM 算法在已形成特征空间中进行聚类, 同时进行边缘模糊处理即可得到彩色图像分割结果。

4 实验结果和结论

为了验证多分量 FCM 聚类彩色图像分割算法的有效性, 以下给出了图像分割实验结果, 并与传统 FCM 彩色图像分割算法(利用 YIQ 颜色空间的 Y 分量分割)进行了比较。实验中, 两种算法采用了相同的聚类中心和聚类数目($k=2$)初始化策略。算法的测试平台为 Windows XP, 测试环境为主频 3.0GHz、内存 512M 的 PC 机, 两种算法均用 Matlab 语言实现。

图 3 给出了两种算法的分割结果。其中, (a) 为原始彩色图像, (b) 为传统 FCM 分割结果(利用 YIQ 颜色空间的 Y 分量分割), (c) 为多分量 FCM 聚类彩色图像分割算法分割结果。



(a) 原图像



(b) 传统 FCM 分割



(c) 本文方法分割

图 3 两种算法的分割结果

Fig. 3 The segmentation result of the two algorithms

本文选用符合人眼视觉特性的 HSI 颜色空间,

提出了一种新的多分量 FCM 聚类彩色图像分割算法。该算法首先结合数据分布特点确定出 H 分量与 I 分量的初始聚类中心;然后利用 FCM 聚类技术对 H 分量、I 分量进行分类处理,以得到不同分量的像素点隶属度;最后,将所得到的不同分量像素点隶属度组织成 2 维特征,并以此进行模糊聚类图像分割。实验结果证明了多分量 FCM 聚类彩色图像分割算法的有效性。

参考文献 (References)

- Cheng H D, Jiang X H, Sun Y, *et al.* Color image segmentation: advances and prospects [J]. *Pattern Recognition*, 2001, **34**(12): 2259 ~ 2281.
- Gao Xin-bo. The Optimization and Application Research of the Fuzzy Clustering Algorithm [D]. Xi'an: Xidian University, 1999. [高新波. 模糊聚类算法的优化及应用研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 1999.]
- Chuang K S, Tzeng H L, Chen S, *et al.* Fuzzy c-means clustering with spatial information for image segmentation [J]. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 2006, **30**: 9 ~ 16.
- Yang Yong, Zhang Feng, Zheng Chong-xun, *et al.* Unsupervised image segmentation using penalized fuzzy clustering algorithm [J]. *Lecture Notes in Computer Science*, 2005, **3578**: 71 ~ 77.
- Adel Hafiane, Bertrand Zavidovique. FCM with spatial and multiresolution constraints for image segmentation [A]. In: *Proceedings of International Conference on Image Analysis and Recognition*, [C], Toronto, Canada, 2005, **3656**: 17 ~ 23.
- Chen Song-can, Zhang Dao-qiang. Robust image segmentation using FCM with spatial constraints based on new kernel-induced distance measure [J]. *IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics*, 2004, **34**(4): 1907 ~ 1916.
- Rahimi S, Zargham M, Thakre A, *et al.* A parallel fuzzy c-mean algorithm for image segmentation [J]. *IEEE*, 2004, **1**: 234 ~ 237.
- Yang Yong, Zheng Chong-xun, Lin Pan. Image thresholding via a modified fuzzy c-means algorithm [J]. *Lecture Notes in Computer Science*, 2004, **3287**: 589 ~ 596.
- Li Gui-zhi, An Cheng-wan, Zhang Yong-qian, *et al.* Color image clustering segmentation based on the general fuzzy entropy and RPCL [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2005, **10**(10): 1264 ~ 1269. [李桂芝, 安成万, 张永谦等. 基于模糊熵和 RPCL 的彩色图像聚类分割 [J]. *中国图象图形学报*, 2005, **10**(10): 1264 ~ 1269.]
- Makrogiannis S, Theouaratos C, Economou G, *et al.* Color image segmentation using multiscale fuzzy c-means and graph theoretic merging [A]. In: *Proceedings of International Conference on Image Processing* [C], Barcelona, Catalonia, Spain, 2003: I: 985 ~ 988.
- Mezhoud, Merzoug I, Boumaza R, *et al.* Color image segmentation using a new fuzzy clustering method [A]. In: *IEEE International Conference on Industrial Technology* [C], Hammamet, Tunisia, 2004: 1209 ~ 1214.
- Hachouf F, Mezhoud N. Clustering approach for color image segmentation [J]. *Lecture Notes in Computer Science*, 2005, **3708**: 515 ~ 522.