

基于 HSI 空间和 K -means 方法的彩色图像分割算法

李丹丹, 史秀璋

(北京城市学院, 北京 100083)

摘 要: 提出了一种新的彩色图像聚类分割算法, 选用 HSI 空间作为彩色分割空间, 在研究 H 分量的聚类算法中, 该分量的圆循环特性被充分的考虑, 同时也定义了 H 分量空间中两点距离的定义和中心的概念; 选用最重要的 H 分量和 I 分量作为分割聚类特征, 运用模糊隶属度刻画了该聚类特征, 最后运用 K -means 算法对彩色图像进行聚类分割. 实验结果表明, 此算法能够准确地从彩色图像中提取目标区域, 且在 H 分量和 I 分量上联合分割的结果好于在单个分量上分割的结果.

关键词: HSI K -means; H 分量; 聚类算法; 模糊隶属度; 彩色图像

中图分类号: TP31

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)07-0121-04

A Kind of Color Image Segmentation Algorithm Based on HSI Space and K -means Method

LI Dan-dan, SHI Xiu-zhang

(Beijing City University, Beijing 100083, China)

Abstract: A kind of clustering algorithm for color image segmentation is proposed, choosing HSI representation as the color segmentation space, in the study of H component, the circulation characteristics were full consideration, also the distance of two points and centers of H component is defined. Choosing the most important component of H and I component as segmentation clustering features, using fuzzy membership function depicts the clustering features, at last K -means clustering algorithm is used to segment color image. An experiments is given on bone regional segmentation, and achieve good segmentation results, experimental results shows that the results of the H and I components is superior to the results on a single component of HIS space.

Key words: HSI; K -means; H component; clustering algorithm; fuzzy membership; color images

1 引言

彩色图像分割的目的是将一幅彩色图像分成有意义的部分, 以供后续的识别, 分割过程主要包含两个步骤: 选择颜色空间和分割图像^[1]. 彩色图像分割是将感兴趣的目标区域从背景图中提取出来. 但是大多数传统的图像分割算法是基于灰度图的, 且大多数彩色图像分割算法是基于 RGB 空间的. 但是 RGB 模式并不与人类视觉心理相符, 且 RGB 三个分量之间存在高度的相关性.

彩色图像的颜色空间有很多种, 主要包括 RGB、CMY 和 HSI 彩色空间. HSI 空间相比其他彩

色空间更接近人眼视觉状态, 其三个分量相对来说更独立, 且 HSI 彩色空间中的 H (色调)分量和 I (亮度)分量更容易被计算机处理^[2].

传统的彩色图像分割方法主要包括基于特征空间(feature-space)的方法和基于空间域的方法(spatial-domain). 基于特征空间的方法中典型的是聚类算法, 该算法是在一个预定义的彩色空间中(如 RGB 或 HIS), 将像素依据某个特征进行分类; 而空间域方法中典型的是区域生长法, 其基本思想为按照一定的生长准则对像素进行合并. 以上两种算法各有各的优势, 针对两类算法各自的特点, 很多空间聚类算法应运而生, 主要包括 K -means 算法、ISODATA

聚类算法、模糊 C-means 算法、k-medians 算法和 Clara 算法等^[3],在这些算法中,传统经典的 K-means 与其他算法相比较,在实现上更具简便性,广反应用于图像和视频中的像素分类,而且最重要的是该算法高效,适合大量数据的聚类^[4],且能达到局部最优^[5],这些特点能更好的适应彩色图像的分割.

本文提出一种在 HSI 空间中的彩色图像分割算法,算法利用 K-means 聚类算法对 H 分量和 I 分量进行聚类,在考虑 H 分量的圆循环特性上,设计了 H 分量空间的聚类算法,最后采用 H 分量和 I 分量的模糊隶属度刻画了像素点的聚类特征,应用 K-means 算法应用于聚类特征进行彩色图像分割,该算法在彩色图像分割中取得了良好的效果.

2 HSI 空间中的 K-means 聚类算法

2.1 K-means 聚类算法

在特征空间中分成 K 个聚类的常用方法是 K-均值法.令 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 为 n 维特征空间中的一点, $g(x)$ 为 x 处特征值,则 K-means 聚类算法主要有以下步骤^[6]:

(1) 任意选 K 个初始类的均值,即聚类中心: $\mu_1^{(1)}, \mu_2^{(1)}, \dots, \mu_k^{(1)}$.

(2) 在第 i 次迭代计算时,根据下式将每个特征点归于 K 类中的某一类,即

$$x \in Q_l^{(i)}$$

如果 $\|g(x) - \mu_l^{(i)}\| < \|g(x) - \mu_j^{(i)}\|$ (1)

$Q_l^{(i)}$ 代表第 i 次迭代后属于第 l 类的特征点集合.式(1)的含义即将每个特征点赋予均值离它最近的类.

(3) 第 i 次迭代后,更新每个类的均值 $\mu_l^{(i+1)}$:

$$\mu_l^{i+1} = \frac{1}{N_l} \sum_{x \in Q_l^{(i)}} g(x) \quad (2)$$

式中, N_l 是 $Q_l^{(i)}$ 中的特征点个数.

(4) 如果对所有 $j = 1, 2, \dots, K$, 有 $\mu_1^{(i+1)} = \mu_1^{(i)}$, 则算法结束;否则转(2) 进行迭代.

2.2 HSI 空间的表示方法

在 HSI 空间中, H 代表色调, S 代表饱和度, I 代表亮度,从 RGB 转换为 HSI 空间的表达式为

$$\begin{bmatrix} Y \\ C_1 \\ C_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & -\sqrt{3}/2 & \sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (3)$$

HSI 中各分量值计算公式如下:

$$I = Y \quad (4)$$

$$S = \sqrt{C_1^2 + C_2^2} \quad (5)$$

$$H = \begin{cases} \text{Arc cos}(C_2/S) & C_1 \geq 0 \\ 2\pi - \text{Arc cos}(C_2/S) & C_1 < 0 \end{cases} \quad (6)$$

HSI 模型如图 1 所示,圆为色调的边界,标注出几种常见的色调,圆内任一点的色调 H 是与红色轴逆时针夹角决定的,饱和度 S 是从原点到该点的向量长度,亮度轴 I 垂直于 HS 平面,在图 1 中未画出,且其大小由 HS 平面在 I 轴上的平面位置给出.

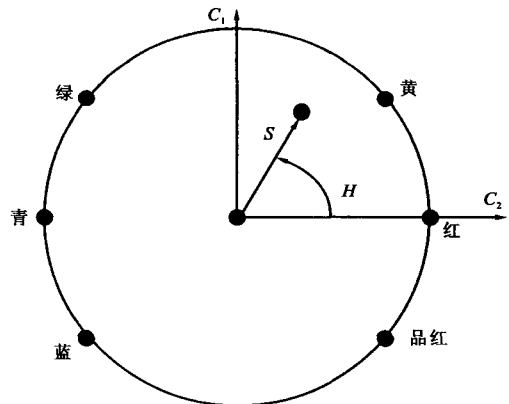


图 1 HSI 模型中的色调和饱和度

由图 1 可看出, H 分量为角度,且其变化范围为 $[0, 2\pi)$. 由于 H 分量为角度,所以其表现为一个圆的循环特性,如对于红和品红,其 H 值如果顺时针只差 $\pi/3$,而逆时针却相差 $5\pi/3$,这个特性使 H 分量能更好的进行聚类.

2.3 HSI 空间中 H 分量的聚类

图 1 中 H 分量的圆循环特性使的对 H 的聚类提供了可行性,为研究彩色图像的分割,我们必须研究 H 空间,对 H 空间聚类.这里我们采用 K-means 聚类算法,而要用 K-means 聚类算法则必须首先确定聚类中心和距离.考虑到 H 分量的特点,定义 H 空间中的两点 H_1, H_2 之间的距离如下:

$$\text{distance}(H_1, H_2) =$$

$$\begin{cases} H_2 - H_1 & |H_2 - H_1| \leq \pi \\ H_2 - H_1 - 2\pi & H_2 \geq H_1, |H_2 - H_1| \geq \pi \\ 2\pi - H_1 - H_2 & H_1 \geq H_2, |H_2 - H_1| \geq \pi \end{cases} \quad (7)$$

区间 $[H_1, H_2]$ 在 H 空间中定义为一系列的由点 H_1, H_2 位置所决定的点:

$$|H_1, H_2| = \{H \mid H_1 \leq H \leq H_2\}$$

$$\text{if } |H_1 - H_2| \leq \pi$$

$$[H_1, H_2] = \{H \mid \max(H_1, H_2) \leq H \leq 2\pi\} \cup$$

$$\{H \mid 2\pi \leq H \leq \min(H_1, H_2)\} \text{ if } |H_1 - H_2| \geq \pi$$

式(2)对 H 区间的定义实际上是取点 H_1, H_2 所

确定的最短圆弧所扫过的区间. 以上定义了距离和区间的概念,下面对聚类中心进行研究,在提出聚类中心概念前先定义区间的中点 H_m :

$$H_m = \begin{cases} (H_1 + H_2)/2 & |H_1 - H_2| \leq \pi \\ (H_1 + H_2)/2 - \pi & (H_1 - H_2) \geq \pi, (H_1 - H_2)/2 \geq \pi \\ (H_1 + H_2)/2 + \pi & (H_1 - H_2) \geq \pi, (H_1 - H_2)/2 \leq \pi \end{cases} \quad (9)$$

在定义了中点概念以后,最后确定聚类中心,设 $X_1, X_2, \dots, X_n$ 为 H 空间中的 n 个点,且 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 属于区间 $[H_1, H_2]$, H_m 为区间的中点,那么 $X_1, X_2, \dots, X_n$ 的聚类中心为

$$X_C = H_m + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{distance}(H_m, X_i) \quad (10)$$

上式是根据 Euclidean(欧几里得)空间中距离的定义而得来的,在 Euclidean 空间中,由于矢量的相加特性,点 H_m 可为任何一点所代替,而在 H 空间中,由于 H 得圆循环特性,点 H_m 是唯一且不可替代的.

3 基于 HSI 彩色空间的彩色图像分割算法

在 HSI 空间中,由于 S 只是区别高饱和区和低饱和区区域,所以在 HSI 空间中主要利用 H 和 I 分量对彩色图像分割,具体步骤如下:

(1) 利用 S 来区别彩色图像的高饱和区和低饱和区

(2) 由于在高饱和区 S 值较大, H 值变化较细,可利用色调 H 对高饱和区进行分割.

(3) 在低饱和区由于 S 值较小,比较接近灰度区域,因此可以利用亮度 I 对低饱和区进行分割.

通过以上分割步骤,可以看出其中 H 分量和 I 分量相对来说更重要,是直接实施图像分割的变量,所以必须重点研究. 因为受光源强度变化等原因,同一物体表面的 I 分量并不唯一,而 H 值是受物体反射表面自身的反射率所决定,所以其值唯一.

不失一般性,假设图像中只有两个模式分类:目标和背景,既然 HSI 空间中三个分量是相互独立的,所以可以将 H 分量图像和 I 分量图像分别进行处理,然后再合并.

首先计算 I 分量的直方图,通过直方图估计出 K-means 聚类算法中 I 分量中目标的初始均值,然后应用 K-means 算法进行迭代找到 I 分量中目标的聚类中心,即目标区域 I 分量均值 m_I . 这里考虑到实际图像中存在目标和背景的过渡区域,所以这里应用模糊隶属度函数刻画像素点的 I 分量值隶属于目标或背景的程度,由于目标像素的 I 分量值主要

集中在目标区域 I 分量均值 m_I 附近,所以均值的隶属度最高且为 1,类内其余所有 I 分量值的隶属度反比于到分量均值 m_I 的距离;且内类所有分量值的隶属度应大于 0.5. 具体对 I 分量构造如下隶属度函数:

$$\begin{cases} \mu_{IO}(x, y) = 1 - \frac{1}{2} \left| \frac{I(x, y) - m_I}{C} \right| \\ \mu_{IB}(x, y) = 1 - \mu_{IO}(x, y) \end{cases} \quad (11)$$

$\mu_{IO}(x, y)$ 表示点 (x, y) 在 I 分量上隶属目标区域的隶属度, $\mu_{IB}(x, y)$ 表示点 (x, y) 在 I 分量上隶属背景区域的隶属度. 根据模糊函数的性质,像素点 (x, y) 在 I 分量上属于目标的隶属度 μ_{IO} 和 μ_{IB} 之和为 1.

根据 2.3 节中的概念,利用 H 分量的直方图估算 H 的中点(K-means 算法中的初始均值点),然后根据 H 空间中的聚类算法迭代生成 H 分量中目标的聚类中心,同时也进行模糊函数分类,原理同 I 分量模糊分类原理,具体构造如下隶属度函数:

$$\begin{cases} \mu_{HO}(x, y) = 1 - \frac{1}{2} \left| \frac{H(x, y) - m_O}{C} \right| \\ \mu_{HB}(x, y) = 1 - \mu_{HO}(x, y) \end{cases} \quad (12)$$

$\mu_{HO}(x, y)$ 表示点 (x, y) 在 H 分量上隶属目标区域的隶属度, $\mu_{HB}(x, y)$ 表示点 (x, y) 在 H 分量上隶属背景区域的隶属度. 根据模糊函数的性质,像素点 (x, y) 在 H 分量上属于目标的隶属度 μ_{HO} 和 μ_{HB} 之和为 1.

根据上述分析,我们可以看出,刻画像素点的 I 分量的模糊隶属度为 $\mu_{IO}(x, y)$ 和 $\mu_{IB}(x, y)$, 刻画像素点的 H 分量的模糊隶属度为 $\mu_{HO}(x, y)$ 和 $\mu_{HB}(x, y)$. 因此刻画每个像素属于目标区域的特征有四个,但是由于每个分量上的隶属度值和为 1,所以选用 $\mu_{IO}(x, y)$ 和 $\mu_{HO}(x, y)$ 表征点 (x, y) 的彩色特征,不失一般性,采用如下二维特征向量作为彩色图像的聚类特征:

$$F = (\mu_{IO}(x, y), \mu_{HO}(x, y)) \quad (13)$$

应用 K-means 算法对 F 特征向量进行聚类,最后可以得到彩色图像分割结果.

4 实验结果与分析

本文对一幅彩色图像进行分割,目标区域为图 2(a)中灰色区域,背景充斥了大量的白色不规则分布噪声,且色彩分布并不均匀. 图 2 显示了将目标区域从背景中分离出来的过程,图 2(a)为原始图像,图 2(b)是 I 分量图像,图 2(c)是 H 分量图像. 从图

2(b)我们看出, I 分量图像中,除了边界区域外,目标区域与背景区域的 I 值很接近;而在图 2(c)中,目标区域与背景区域的区分较明显.图 2(d)为在 I 分量上的分割结果,图 2(e)为在 I 分量和 H 分量上分割后合并的结果.

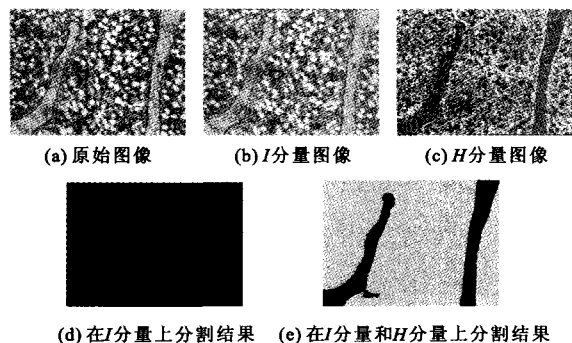


图 2 彩色图像分割过程

通过实验我们看出,只在 HSI 空间中一个分量上进行分割,由于彩色分布的多样性,分割往往容易失败,而联合多个分量进行分割,取得了较好的分割结果.

5 结束语

文中提出了一种新的基于 K -means 算法的彩色图像分割算法,该算法选用 HSI 空间作为彩色图像的分割空间,选用 H 分量和 I 分量作为聚类特征,在充分考虑 H 分量的圆循环特性的基础上,提出了 H 分量的 K -means 聚类算法,利用联合模糊隶

属度刻画了表征彩色图像特征的特征向量,最后运用 K -means 算法在 I 分量和 H 分量图像上进行聚类分割.运用本算法将目标区域从背景中分离,试验结果表明,本文算法能准确的对彩色图像进行分割,且算法鲁棒.

参考文献:

- [1] Lucchese L, Mitray S. Color image segmentation: a state-of-the-art survey[C]// Proceedings of the Indian National Science Academy. California, 2001: 207-221.
- [2] Huang Z K, Liu D H. Segmentation of color image using EM algorithm in HSV color space[C]// Proceedings of IEEE International Conference on Information Acquisition. Seogwipo-si, 2007: 316-319.
- [3] 边肇祺,张学工.模式识别.聚类技术[M].2版.北京:清华大学出版社,1999:235-247.
- [4] Valavanis K P, Zhang J, Paschos G. A total color difference measure for segmentation in Color images[J]. Journal of Intelligent and Robotic Systems, 1996(16):269-313.
- [5] 章毓晋.图像工程:中册,图像分割基础[M].2版.北京:清华大学出版社,2005:100-101.
- [6] 冈萨雷斯.数字图像处理:MATLAB 版,彩色图像处理[M].北京:电子工业出版社,2007:153-154.

作者简介:

李丹丹 女,(1972-),硕士,讲师.研究方向为数据处理及挖掘算法应用.

史秀璋 副教授.研究方向为计算机应用及数据挖掘.