

一种自适应的模糊 C 均值聚类图像分割方法*

赵宪强¹, 王希常¹, 刘江²

(1. 山东师范大学 信息科学与工程学院, 山东 济南 250014;

2. 山东山大欧玛软件有限公司数据研究中心, 山东 济南 250010)

摘要: 针对传统的模糊 C 均值聚类算法(FCM)在图像分割中对噪声十分敏感这一局限性, 提出一种自适应的 FCM 图像分割方法。该方法充分考虑图像像素的灰度信息和空间信息, 根据像素的空间位置自适应地计算一个合适的相似度距离来进行聚类分割图像。实验结果表明, 与传统的 FCM 相比, 该方法能显著提高分割质量, 尤其是能提高对于图像噪声的鲁棒性和分割图像区域边缘的准确性。

关键词: 图像分割; 模糊 C 均值; 空间信息

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2012)20-0033-03

An adaptive fuzzy C-means clustering algorithm for image segmentation

Zhao Xianqiang¹, Wang Xichang¹, Liu Jiang²

(1. School of Information Science and Engineering, Shandong Normal University, Jinan 250014, China

2. Research Institute of Data Processing Oumasoft, Shandong University, Jinan 250010, China)

Abstract: Traditional fuzzy C-means clustering algorithm(FCM) segmentation of the image is very sensitive to the noise. In order to overcome this limitation, an adaptive FCM image segmentation is proposed. This algorithm takes full account of the image pixel gray-scale and spatial information, adaptively calculates a suitable distance based on the location of the pixel to the clustering image segmentation. The experimental results show that compared with traditional FCM, the proposed method can significantly improve the segmentation quality, in particular to improve the robustness to the image noise and the accuracy of the image area edge of split.

Key words: image segmentation; fuzzy C-means; spatial information

传统的计算机视觉应用和图像处理通常需要把图像分割作为处理的第一步。在图像分割的诸多方法中, 模糊聚类分割算法由于比硬聚类分割算法能保留更多的原始图像信息, 获得了广泛的应用。特别是模糊 C 均值(FCM)聚类算法, 它作为一种无监督聚类算法已成功应用在医疗诊断、目标识别和图像分割等领域^[1]。

FCM 算法是一种基于迭代的优化算法, 需要反复计算各个像素的隶属度和各个聚类的中心。尽管标准的 FCM 在分割没有被噪声污染的图像时能产生较好的效果, 但是在分割被噪声污染和分割区域有模糊边缘的图像时, 分割效果就很不理想。这种对噪声的敏感性实质上是由于没有利用被分割像素的空间位置信息。为此, 国内外学者提出了许多改进的 FCM 算法来克服这一缺点, 提高其图像分割性能。参考文献[2]中, Chuang 提出了一种新的模糊聚类算法, 使用与它相邻像素的隶属度

的总和来代表被分割像素的隶属度。参考文献[3]提出一种基于空间邻域信息的二维模糊聚类算法, 该算法利用图像像素灰度和邻域灰度组成的二维直方图中对角线元素受噪声影响较小, 反映图像中相对稳定的信息, 且运算只与图像的灰度级数目有关的特征, 实现噪声图像的分割。然而在分割精度上仍然不是很理想。

本文提出一种结合空间信息的 FCM 变形算法, 其充分考虑了图像像素的灰度信息和空间信息, 自适应地选择其中一个合适的特征信息来计算相似性距离, 从而减少噪声的影响, 实现图像的精确分割。

1 标准模糊 C 均值聚类分割算法(FCM)

FCM 聚类算法由 Bezdek 提出, 作为早期硬 C 均值聚类(HCM)方法的一种改进应用到图像分割中。其实现方法是根据图像像素和聚类中心的加权相似性测度, 对目标函数进行迭代优化以确定最佳聚类。模糊 C 均值聚类分割算法通过将图像 $I = \{f(i, j), 0 \leq i < M, 0 \leq j < N\}$ 分成 c

《微型机与应用》2012年 第31卷 第20期

* 基金项目: 国家自然科学基金(61070039)

图形、图像与多媒体

Image Processing and Multimedia Technology

类来实现图像的分割,其中 $f(i,j)$ 为特征数据。 $u_k(i,j)$ 是 $f(i,j)$ 对于第 k 类的隶属度,且满足 $0 \leq u_k(i,j) \leq 1$ 和 $\sum_{k=1}^c u_k(i,j) = 1$, 则用隶属度函数定义的聚类目标函数可写成:

$$J(U,V) = \sum_{i,j} \sum_{k=1}^c (u_k(i,j))^m (d_k(i,j))^2$$

其中, $U=[u_k(i,j)]$ 为模糊分类矩阵, $V=[v_1, v_2, \dots, v_c]$ 为聚类中心集合, $m \in [1, \infty)$ 是一个控制聚类结果的权指数^[4], 一般取值为 2。 $d_k(i,j)$ 为 $f(i,j)$ 到聚类中心 v_k 的距离, 定义为:

$$(d_k(i,j))^2 = \|f(i,j) - v_k\|^2 = (f(i,j) - v_k)^T (f(i,j) - v_k)$$

图像模糊 C 均值聚类分割就是通过迭代确定隶属度函数和聚类中心, 使目标函数取最小值。用 Lagrange 乘法来求解使得 $J(U,V)$ 达到最小的必要条件为:

$$u_k(i,j) = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left(\frac{d_k(i,j)}{d_p(i,j)} \right)^{2/(m-1)}} \quad (1)$$

$$v_k = \frac{\sum_{i,j} u_k(i,j)^m f(i,j)}{\sum_{i,j} u_k(i,j)^m} \quad (2)$$

算法实现的具体步骤为:

- (1) 确定聚类数目 c ($2 < c < n$) 与隶属度指数 m ($1.5 < m < 2.5$);
- (2) 初始化隶属度矩阵 $U=[u_k(i,j)]$ 和聚类中心 $V=[v_1, v_2, \dots, v_c]$;
- (3) 按式(1)更新隶属度矩阵;
- (4) 按式(2)更新聚类中心;
- (5) 根据迭代条件判断, 得到最佳的模糊隶属度矩阵 U 和对应的聚类中心矩阵 V , 根据最大隶属度原则分割图像。

2 自适应模糊 C 均值聚类分割算法(A-FCM)

像素的空间位置是除灰度值以外的另一种重要信息。空间位置的一种特征就是邻域像素具有高度的相关性。也就是说这些邻域像素具有相似的灰度值, 即它们属于同一类的概率非常大。传统的 FCM 算法仅仅利用了图像的灰度信息, 没有考虑和利用空间信息, 然而这一信息被证明是非常重要的聚类分割依据。为了利用这种空间位置信息, 可以通过几种统计估计来表示图像中像素的空间位置特征。

2.1 空间位置特征

根据像素的空间位置特征, 将图像中的所有像素区分为区域内像素(RP)、边缘像素(EP)和噪声像素(NP)三种, 如图 1 所示。

空间位置的判断由两个统计特征来决定:

- (1) 标准差(σ): 表征被分割像素周围像素的动态分布情况。它可表示为:

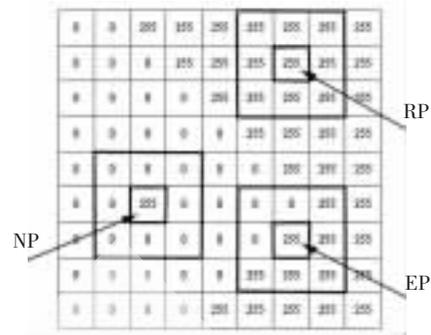


图 1 像素的空间位置

$$\sigma(x_j) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x_k - \mu(x_j))^2}$$

以 3×3 窗口为例, 标准差(σ)就是窗口中 9 个像素灰度值的标准差。

(2) NN: 表示与被分割像素灰度级接近的相邻像素的个数, 其表达式为:

$$NN(x_i) = \text{Card}\{x_j \in \text{Neighborhood}(x_i) / |x_i - x_j| < s\}$$

其中 s 是指定的一个阈值, 一般以一种经验的方式选择。

通过这两个特征可以刻画各种可能的像素空间位置。区域内像素(RP)的标准差很低。而边缘像素(EP)和噪声像素(NP)的标准差就比较高。因此可以通过标准差区分出区域内的像素。区分 EP 和 NP 这两种像素的空间位置时使用 NN 特征。对于 NP, NN 值很低; 而对 EP 则, NN 值较高。

2.2 新的相似度距离

标准的 FCM 分割图像时仅仅使用像素和聚类中心之间的欧氏距离, 即仅考虑了灰度信息, 忽略了像素的空间邻域信息。本文提出一种新的基于空间邻域信息的相似度距离计算方法, 使用相邻像素灰度的中间值^[5]来代替中心像素在聚类的过程中计算相似度距离。对于噪声像素, 用中值替代后, 它将被分类到与邻域像素相同或相似的类中, 从而克服了仅仅使用灰度信息聚类造成的不准确。新的距离公式如下:

$$(d_k(i,j))^2 = \|\bar{f}(i,j) - v_k\|^2$$

其中, $\bar{f}(i,j)$ 为在以 $f(i,j)$ 为中心的窗口中所有像素灰度值的中值。

2.3 本文算法的实现

对于区域内像素(RP)和噪声像素(NP)使用考虑了空间信息的空间相似度距离来聚类, 因为对于这两种像素相邻像素的信息更重要。而为了保持区域的轮廓, 边缘像素(EP)使用灰度相似度距离来聚类。表 1 列出了像素空间位置的判断和适合使用的相似度距离计算方法。

3 实验结果与分析

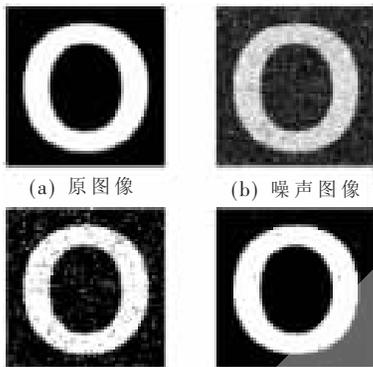
为验证该算法的有效性, 分别用标准 FCM 算法与 A-FCM 算法对合成图像和自然图像进行分割实验。图 2(a)为一幅 100×100 的合成图像, 分割时类别数 $c=2$, 隶属度指数 $m=2$ 。图 2(b)为添加 15% 高斯噪声的图像。

欢迎网上投稿 www.pcachina.com 37

表 1 像素的空间位置与适用的距离

空间位置	统计特征		适用距离
	σ	NV	
区域内像素(RP)	很低	--	空间相似度距离
噪声像素(NP)	高	很低	空间相似度距离
边缘像素(EP)	高	高	灰度相似度距离

从分割结果可以看出,传统 FCM 算法不能有效地抑制图像中的噪声。而本算法由于考虑了像素点的空间信息,对噪声的抑制能力要比传统 FCM 算法强。表 2 为两种方法分割错误率对比。



(c) FCM 分割效果 (d) A-FCM 分割效果
图 2 FCM 和 A-FCM 分割效果对比

表 2 两种方法分割错误率对比

合成图像	FCM 方法	A-FCM 方法
误分割像素数	930	34
误分割率%	9.3	0.34

图 3 是用标准 FCM 算法与 A-FCM 算法对自然图像 camera 分割的效果图。其中图 3(b)为添加了方差为 0.05 的高斯噪声图像。图 3(c)是使用 FCM 分割效果图,图 3(d)是使用 A-FCM 分割效果图。结果表明,用本文提出的 A-FCM 算法分割的图像所含噪声明显降低。

本文提出了一种改进的模糊 C 均值聚类的图像分割算法。该算法根据图像像素的空间位置自适应地选择一个合适的相似度距离,充分考虑了像素的灰度特征和空间特征。实验结果表明,该算法能有效地分割图像,尤其是对噪声污染下的图像,表现出了较强的鲁棒性。有一定的实用价值。



(a) 原图像 (b) 噪声图像



(c) FCM 分割效果 (d) A-FCM 分割效果

图 3 用标准 FCM 算法与 A-FCM 算法对自然图像 camera 分割的效果图

参考文献

- [1] PHAM D L. Spatial models for fuzzy clustering[J]. Computer vision and image understanding, 2001(84):285-297.
- [2] CHUANG K S, TZENG H L, CHEN S, et al. Fuzzy C mean clustering with spatial information for image segmentation[J]. Elsevier Science, 2006(30):9-15.
- [3] 郭华磊, 马苗. 改进的模糊 C 均值聚类的图像分割算法[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(1): 176-178.
- [4] 高新波, 裴继红, 谢维信. 模糊 C 均值聚类算法中加权指数 m 的研究[J]. 电子学报, 2004, 28(4): 80-83.
- [5] NASRI N, MOKRANI K, MEKHMUKH A. MRI images segmentation by FCM and neighbor's statistical characteristics[J]. International Journal of Research and Reviews in Soft and Intelligent Computing (IJRRSIC). 2012, 2(1).

(收稿日期: 2012-07-25)

作者简介:

赵宪强, 男, 1987 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 数字图像处理。

王希常, 男, 1964 年生, 博士, 研究员, 主要研究方向: 计算机图形学, 数字图像处理。

刘江, 男, 1979 年生, 硕士, 工程师, 主要研究方向为海量数据存储, 数字图像处理。