

# 优化的模糊 C 均值聚类在民族服饰图像分割中的应用

郑 兰<sup>1</sup>, 黄成泉<sup>2</sup>, 郑泽鸿<sup>2</sup>, 冯 润<sup>1</sup>, 胡 雪<sup>1</sup>

(1 贵州民族大学 数据科学与信息工程学院, 贵阳 550025; 2 贵州民族大学 工程技术人才实践训练中心, 贵阳 550025)

**摘要:** 图像分割是图像处理和图像识别领域的重要研究内容之一。目前成熟的分割算法中,对于具有纹理、背景复杂或受噪声污染的图像分割效果不佳。针对这些问题,在模糊 C 均值聚类算法基础上,Lei 等人<sup>[1]</sup>提出了一种快速鲁棒的模糊 C 均值算法 (Fast and Robust Fuzzy C-means Clustering Algorithm, FrFCM)。通过在合成噪声图像和少数民族服饰图像上的分割来验证 FrFCM 算法的性能。实验结果表明,该算法能够以较低的计算代价和较高的分割精度实现对民族服饰图像的良好分割,同时具有较强的抗噪性。

**关键词:** 图像分割; 模糊 C 均值聚类; 局部空间信息; 形态学重构

## Optimized fuzzy C-means clustering algorithm in ethnic minority costume image segmentation

ZHENG Lan<sup>1</sup>, HUANG Chengquan<sup>2</sup>, ZHENG Zehong<sup>2</sup>, FENG Run<sup>1</sup>, HU Xue<sup>1</sup>

(1 School of Data Science and Information Engineering, Guizhou Minzu University, Guiyang 550025, China;

2 Engineering Training Center, Guizhou Minzu University, Guiyang 550025, China)

**[Abstract]** Image segmentation is one of the important research contents in the field of image processing and image recognition. At present, most of the mature segmentation algorithms have poor segmentation results for images with complex texture, background or polluted by noise. To overcome these drawbacks, Lei et al<sup>[1]</sup> proposes a fast and robust fuzzy C-means clustering algorithm (FrFCM) based on the fuzzy C-means clustering algorithm. Taking the synthetic noise images and minority costume images as the segmentation object, the segmentation performance of FrFCM algorithm is verified. Experimental results show that the algorithm can achieve good segmentation effect for ethnic minority costume images with low computational cost and high segmentation accuracy, and has strong noise resistance.

**[Key words]** image segmentation; fuzzy C-means clustering; local spatial information; morphological reconstruction

## 0 引言

少数民族服饰是一个国家民族文化的重要组成部分,是区别族群的标志,并与社会文化的发展不可分割。少数民族民俗服饰具备的独特背景、特点、文化内涵和审美意识形态,充分揭示了蕴藏在少数民族服饰中的民族历史、文化传统、价值取向、审美情操和精神追求等深层次的寓意。但是随着社会现代化发展以及经济全球化等各种因素的影响,少数民族服饰文化资源正濒临消失,保护形势非常严峻。利用数字化技术来分析民族服饰的底层特征,对少数民族服饰文化的数字化处理与应用具有十分重要的意义。作为人工智能和模式识别领域的一个重要分支,图像分割已经被成功地应用到医学、气象等多

个领域,但是图像分割在少数民族服饰图像分割中的利用相对较少<sup>[2]</sup>。

由于传统的聚类方法过于粗糙,导致图像分割效果不佳。基于模糊集理论,文献[3]提出了模糊 C 均值聚类 (Fuzzy C-means Clustering Algorithm, FCM)。但 FCM 只考虑了图像的灰度信息,而没有考虑图像的空间信息,因此对于纹理和背景复杂或受噪声污染的图像分割效果不佳。为了解决这一问题,很多学者提出了一系列的改进模糊 C 均值聚类算法,常用的改进算法有 FCM\_S<sup>[4]</sup>、FCM\_S1<sup>[5]</sup>、FCM\_S2<sup>[5]</sup>、FLICM<sup>[6]</sup>等。

上述几种方法虽然完善了图像分割中鲁棒性及分割速度的运算性能,但存在引入局部空间信息导致高计算复杂度等问题。因此,Lei 等人<sup>[1]</sup>提出基

**基金项目:** 国家自然科学基金(62062024); 贵州省研究生科研基金项目(黔教合 YJSCXJH(2020)135); 贵州省科学技术基金项目(黔科合基础-ZK[2021]一般342)。

**作者简介:** 郑 兰(1983-),女,硕士研究生,高级实验师,主要研究方向:图像处理、计算机视觉、机器学习;黄成泉(1976-),男,博士,教授,主要研究方向:计算机软件与理论、计算机应用技术、嵌入式系统等。

**通讯作者:** 郑 兰 Email:378824531@qq.com

收稿日期: 2021-11-29

于形态学重构和隶属度滤波的改进 FCM 算法 (FrFCM), 该算法能够很好地解决前述问题。FrFCM 算法使用形态学重构 (Mr) 来平滑图像, 提高抗噪性和图像细节保护, 这消除了现有改进 FCM 算法鲁棒性不强的问题。同时, 算法通过使用成员过滤来修改成员划分, 计算局部空间邻域内的像素与其聚类中心之间的距离, 从而降低了计算复杂度。结果表明与现有算法相比, FrFCM 算法不需要计算局部空间邻域内的像素与聚类中心之间的距离, 所以算法更简单, 速度更快。另外, 由于隶属度滤波能够有效地改进隶属度划分矩阵, 因此对噪声图像分割也是有效的。

## 1 基础知识

由于传统聚类方法过于粗糙, 导致图像分割效果不佳。基于模糊集理论, Dunn<sup>[3]</sup>提出了模糊C-均值聚类算法 (FCM), Bezdek<sup>[7]</sup>对该算法进行了推广。与硬聚类算法相比, 模糊C均值聚类算法具有更好的容错性和保留更多的原始图像信息的优点。该算法的主要思路是: 将数据样本集  $N = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \subseteq IR_m$  (这里,  $m$  表示向量空间中样本为  $m$  维) 分为  $c$  类 ( $c > 1$ ),  $N$  中任意一个数据样本  $x_i$  对  $j$  类的隶属度为  $u_{ji}$ , 分类的结果用一个模糊隶属度矩阵  $U = \{u_{ji}\}$  表示, 其对任意  $i, j$  满足  $u_{ji} \in [0, 1]$ , 并且  $\sum u_{ji} = 1$ 。FCM 算法的目标函数表示为:

$$J(U, V) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^c u_{ji}^m d^2(x_i, v_j) \quad (1)$$

其中,  $n$  为样本集总数;  $c$  为初始设定的聚类数目;  $u_{ji}$  表示第  $i$  个样本到第  $j$  个聚类中心的隶属度;  $m$  表示加权指数 (一般设为 2);  $d_{ji}^2$  表示数据样本到聚类中心的欧式距离, 定义如下:

$$d_{ji}^2 = (x_i, v_j) = \|x_i - v_j\|^2 \quad (2)$$

模糊C均值通过对目标函数进行拉格朗日乘法求解来获得隶属度函数和聚类中心的更新公式, 如式 (3) 和式 (4) 所示:

$$u_{ji} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \frac{d_{jk}^m}{d_{ik}^m}} \quad (3)$$

$$v_j = \frac{\sum_{i=1}^n (u_{ji})^m x_i}{\sum_{i=1}^n (u_{ji})^m} \quad (4)$$

FCM 图像分割算法是一种无监督的算法, 由于

不需要训练集, 算法简单快速。但由于 FCM 只考虑了图像的灰度信息, 而没有考虑图像的空间信息, 因此对于纹理和背景复杂或受噪声污染的图像分割效果不佳。

## 2 基于形态学重构和隶属度滤波的模糊C均值聚类算法

### 2.1 FrFCM 算法的描述

在上述研究的基础上, 文献[1]提出了一种快速鲁棒的图像分割算法 (FrFCM)。该算法能够以较低的计算代价实现对多种图像的良好分割效果, 并且具有较高的分割精度。FrFCM 算法使用形态学重构 (Mr)<sup>[8-9]</sup>来平滑图像, 同时提高了算法的抗噪性和图像细节保护, 这也解决了其他改进 FCM 算法中必须选择适合于不同类型噪声的不同滤波器的困难。因此, 对于受不同类型噪声污染的图像来说, FrFCM 算法与其他算法相比, 具有更好的鲁棒性。进一步地, FrFCM 通过使用较快的成员过滤来修改成员划分, 计算局部空间邻域内的像素与其聚类中心之间的距离, 则有效降低了计算复杂度。因此, FrFCM 算法比其他改进的 FCM 算法更快。

### 2.2 FrFCM 算法的目标函数

由于 Mr 能够有效抑制不同类型和强度的噪声, 因此, FrFCM 算法使用 Mr 来代替均值或中值滤波器。此外, 对 Mr 重建图像的灰度直方图进行聚类, 通过迭代运算得到模糊隶属度矩阵。最后, 利用滤波器对隶属度划分矩阵进行修正。使用 FrFCM 算法可以在较短的时间内获得较好的分割结果。FrFCM 的聚类是在灰度直方图上执行的, 目标函数表示为:

$$J_m = \sum_{l=1}^q \sum_{k=1}^c \gamma_l u_{kl}^m \|\xi_l - v_k\|^2 \quad (5)$$

其中,  $u_{kl}$  表示灰度值  $l$  关于聚类  $k$  的模糊隶属度;  $\xi$  是通过 Mr 重建的图像;  $\xi_l$  是灰度级;  $1 \leq l \leq q$ ,  $q$  表示包含在  $\xi$  中的灰度级的数目, 通常比  $N$  小得多。具体地, 可得:

$$\sum_{l=1}^q \gamma_l = N \quad (6)$$

基于此, 还可推得  $\xi$  的定义如下:

$$\xi = R^C(f) \quad (7)$$

其中,  $R^C$  表示形态闭合重构,  $f$  表示原始图像。

利用拉格朗日乘法, 可以将上述优化问题转换为以下目标函数最小化的无约束优化问题:

$$\bar{J}_m = \sum_{l=1}^q \sum_{k=1}^c \gamma_l u_{kl}^m \| \xi_l - v_k \|^2 - \lambda \left( \sum_{k=1}^c u_{kl} - 1 \right) \quad (8)$$

其中,  $\lambda$  是拉格朗日乘子。

因此,将目标函数的最小化问题转化为寻找上述拉格朗日函数的鞍点和对拉格朗日函数  $\bar{J}_m$  关于  $u_{kl}$  和  $v_k$  等参数求导。

通过最小化目标函数(5),获得如下的相应解:

$$u_{kl} = \frac{\| \xi_l - v_k \|^{\frac{-2}{c^{m-1}}}}{\sum_{j=1}^c \| \xi_l - v_j \|^{\frac{-2}{c^{m-1}}}} \quad (9)$$

$$v_k = \frac{\sum_{i=1}^q \gamma_i u_{ki}^m \xi_i}{\sum_{i=1}^q \gamma_i u_{ki}^m} \quad (10)$$

根据式(9),得到成员划分矩阵  $U = [u_{kl}]^{c \times q}$ 。为了获得稳定的  $U$ , 重复执行式(9)~式(10)直到  $\max\{U^{(t)} - U^{(t+1)}\} < \eta$ , 其中  $\eta$  是最小误差阈值。因为  $u_{kl}^{(t)}$  是灰度值  $l$  对于聚类  $K$  的模糊隶属度,所以得到对应于原始图像  $f$  新的隶属度划分矩阵  $U' = [u_{kl}]^{c \times N}$ , 即:

$$u_{ki} = u_{kl}^{(t)} \quad (\text{假设 } x_i = \xi_l) \quad (11)$$

为了获得更好的隶属度划分矩阵,加快算法的收敛速度,研究中利用隶属度滤波对  $u_{ki}$  进行了修正。考虑到隶属度滤波性能和算法速度之间的平衡,本文采用中值滤波:

$$U'' = \text{med}\{U'\} \quad (12)$$

其中,  $\text{med}$  表示中值滤波。

在上述分析的基础上,本文提出的算法步骤可总结如下。

**步骤1** 设定聚类原型值  $c$ 、模糊化参数  $m$ 、滤波窗口大小  $w$  和最小误差阈值  $\eta$ 。

**步骤2** 使用式(7)计算新图像  $\xi$ , 然后计算  $\xi$  的直方图。

**步骤3** 随机初始化隶属度划分矩阵  $U^{(0)}$ 。

**步骤4** 设置循环计数器  $t = 0$ 。

**步骤5** 使用式(10)更新聚类中心。

**步骤6** 使用式(9)更新成员划分矩阵  $U^{(t+1)}$ 。

**步骤7** 如果  $\max\{U^{(t)} - U^{(t+1)}\} < \eta$ , 则停止,否则设置  $t = t + 1$  并转到步骤5。

**步骤8** 使用式(12)对隶属度划分矩阵  $U'$  进行中值滤波。

### 3 实验分析

为验证 FrFCM 算法对噪声图像分割的有效性,以及算法的分割精度和快速性,本文以合成噪声图像(自然图像加噪声)和少数民族服饰图像为分割对象,设计噪声图像以及民族服饰图像2组实验,与经典 FCM 算法以及3种改进的 FCM 算法(FCM\_S1、FCM\_S2、FLICM)的性能进行对比。自然图像实验数据集来自于 MSRA 数据集<sup>[10]</sup>。民族服饰图像均来自于贵州省博物馆(<http://www.gzmuseum.com/>),目前该博物馆收藏有布依族、水族等几百套少数民族服饰。

#### 3.1 噪声图像实验

为了验证 FrFCM 算法对噪声的鲁棒性,本文将与其 FCM、FCM\_S1、FCM\_S2、FLICM 算法进行对比。实验采用合成噪声图像(如图1(a)所示)进行实验。这些算法具有不同的优点,FCM、FCM\_S1、FCM\_S2 具有低计算复杂度。FLICM 具有较强的去噪能力且不需要设置参数值。在实验中,除 FCM 算法外,所有算法都使用了固定的  $3 \times 3$  窗口。加权指数设置为  $m = 2, \eta = 10^{-5}$ 。另外,对于 FCM\_S1、FCM\_S2,  $\alpha$  用于控制邻域项的影响,经验上,  $\alpha = 3.8$ 。对于 FLICM 除了  $m, \eta$  外,没有其他参数。

分割结果比较见图1。由图1可看出 FCM 算法不能克服其对噪声的敏感性。由于局部空间信息的引入,FCM\_S1 和 FCM\_S2 能够降低噪声对分割结果的影响,FLICM 优于 FCM\_S1 和 FCM\_S2。图1表明,FrFCM 算法比其他算法具有更好的分割效果。



图1 分割结果的比较

Fig. 1 Comparison of image segmentation results

#### 3.2 少数民族服饰图像实验

以少数民族服饰图像为分割对象,将 FrFCM 算法与 FCM、FCM\_S1、FCM\_S2、FLICM 算法进行实验

对比,与图1的实验相同,除 FCM 算法外,所有算法都使用了固定的  $3 \times 3$  窗口。加权指数设置为  $m = 2, \eta = 10^{-5}$ 。另外,对于 FCM\_S1、FCM\_S2,  $\alpha$  用于控制

邻域项的影响,经验上, $\alpha = 3.8$ 。对于FLICM除了 $m, \eta$ 外,没有其他参数。对少数民族服饰图像分割结果如图2所示,FrFCM算法比其他算法具有更好的分割效果。5种算法在少数民族服饰图像上的迭代次数和执行时间见表1。

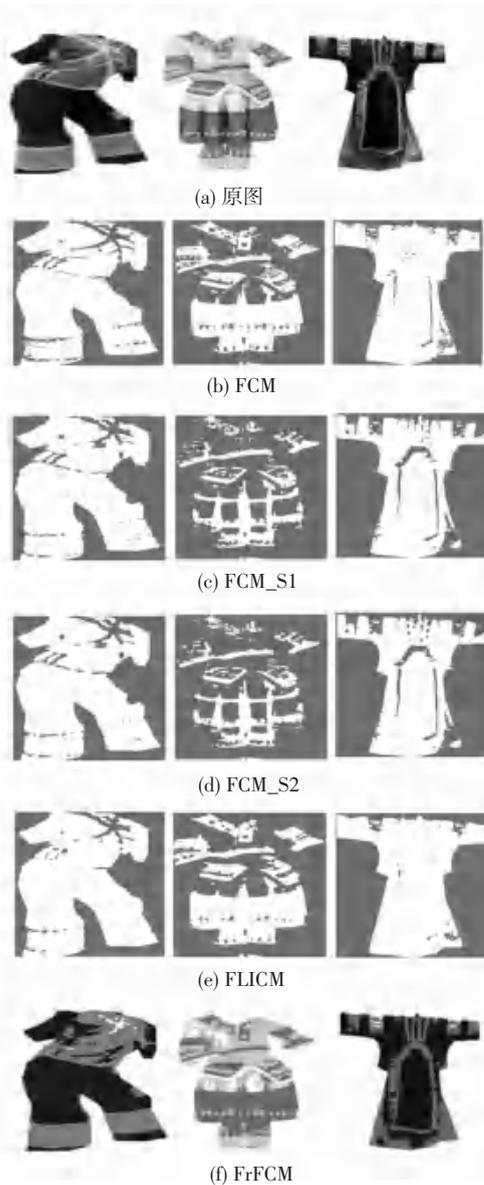


图2 少数民族服饰图像分割结果

Fig. 2 Comparison of segmentation results of ethnic minority costume images

表1 5种算法在少数民族服饰图像上的迭代次数和执行时间

Tab. 1 Comparison of number of iterations and execution times of five algorithms on ethnic minority clothing images

算法	迭代次数	运行时间/s
FCM	27	1.99
FCM_S1	16	0.27
FCM_S2	15	0.71
FLICM	81	3.44
FrFCM	10	0.21

从表1中可以看出,FLICM的计算成本非常大。FCM\_S1、FCM\_S2与FrFCM具有相似的计算复杂度,但是FrFCM的计算时间明显快于表1中其他的算法,并且获得了图2显示的分割结果。利用FrFCM可以得到很好的目标分割结果,方法简单,速度也快。

## 4 结束语

以合成噪声图像和少数民族服饰图像为分割对象来验证FrFCM算法的较高分割精度和快速性,以及对噪声图像分割的有效性。实验结果表明,利用FrFCM算法对少数民族服饰图像进行分割可以得到很好的目标分割结果,方法简单,速度快。同时,该算法具有抗噪性。由于少数民族服饰具丰富多样的色彩、纹样和形状图案等特征,FrFCM算法在少数民族服饰图像分割中还存在使用灵活性、分割结果需要改进的问题。下一步将针对这些问题做深入研究。

## 参考文献

- [1] LEI Tao, JIA Xiaohong, ZHANG Yanning, et al. Significantly fast and robust fuzzy c-means clustering algorithm based on morphological reconstruction and membership filtering [J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2018, 26(5): 3027-3041.
- [2] 王禹君,周菊香,徐天伟. 改进模糊C均值算法在民族服饰图像分割中的应用[J]. 计算机工程, 2017, 43(05): 261-267, 274.
- [3] DUNN J.A fuzzy relative of the ISODAT process and its use in detecting compact well separated clusters [J]. Journal of Cybernetics, 1973, 3(3): 32-57.
- [4] AHMED M N, YAMANY S M, MOHAMED N, et al. A modified fuzzy C-means algorithm for bias field estimation and segmentation of MRI data [J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2002, 21(3): 193-199.
- [5] CHEN Songcan, ZHANG Daoqiang. Robust image segmentation using FCM with spatial constraints based on new kernel-induced distance measure [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 2004, 34(4): 1907-1916.
- [6] KRINIDISS, CHATZIS V. A robust fuzzy local information C-means clustering algorithm [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2010, 19(5): 1328-1337.
- [7] BEZDEK J. Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms [M]. New York, USA: Plenum Press, 1981.
- [8] VINCENT L. Morphological grayscale reconstruction in image analysis; applications and efficient algorithms [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1993, 2(2): 176-201.
- [9] NAJMAN L, SCHMITT M. Geodesic saliency of watershed contours and hierarchical segmentation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 1996, 18(12): 1163-1173.
- [10] SHI Jiaping, YAN Qiong, XU Li, et al. Hierarchical image saliency detection on extended CSSD [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2015, 38(4): 717-729.