

## 改进的 FCM 方法及其在四色地形图分割中的应用

曾 维, 李清光

(华中科技大学 自动化学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 提出了一种改进的 FCM 方法, 通过直方图峰值初始化, 并提出区域相似性度量方式, 对过分割区域进行合并, 克服了 FCM 算法对初始值敏感的问题。另外, 通过将地形图映射到 Lab 空间, 将该方法推广到彩色地形图分割。实验表明, 该算法能自适应选取初值, 相比于 FGFCM, 对地形图分割能取得更好的分割效果。

**关键词:** 地形图分割; FCM 算法; 直方图初始化; Lab 空间

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)24-0037-03

## Improved fuzzy c-means method for four color topographic map segmentation

Zeng Wei, Li Qingguang

(School of Automation, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** This paper proposes an improved FCM algorithm which avoids local optimal problems by initializing FCM with peak values of histogram and utilizing the proposed local similarity measurement for merging segmentation results. Moreover, it successfully promotes FGFCM to color topographic map segmentation. Experiments on four color topographic map demonstrate that this algorithm outperforms FGFCM techniques.

**Key words:** topographic map segmentation; FCM; histogram initialization; Lab colorspace

分色根据地图颜色特征进行地图要素的分离, 是地图要素提取和识别的第一步也是至关重要的一步, 分色算法的好坏通常决定了提取和识别成功与否。四色地形图是地形图中最普通的一种, 颜色要素为蓝、绿、棕、黑, 白色为底色, 不同颜色表示不同类别。KHOTANZAD A<sup>[1]</sup>提出彩色地形图分色有以下难点: (1) 扫描仪点扩散函数导致颜色混淆; (2) 地形图要素空间毗邻; (3) 扫描仪 RGB 值不匹配导致假彩色; (4) 线性特征的交叉和覆盖。除此之外, 还有纸质地图本身印刷错误以及油墨自身的影响。这些原因使得扫描成像后的彩色地图会出现成千上万种不同的颜色, 人眼可以模糊这些颜色中的细微差别, 轻松地完成地形图的判读, 但却给计算机正确识别带来很大的困难。

FCM 是有较高准确度的一种聚类算法<sup>[2]</sup>, 广泛用于图像分割中, 但其对噪声敏感, 计算速度慢, 对于含噪、数据量很大的地形图分割有很大的局限。许多研究在 FCM 抗噪性上作了改进, 通过引入图像邻域信息, 参考文献[3-4]分别提出了对噪声鲁棒的 FCM 算法: FCM\_S 和 FCM\_S1/S2。这几种算法对噪声鲁棒, 但会严重损失图像的点、线的细节, 导致等高线粘连、断裂和地形图符号信息丢失, 这些细节的丢失对于后期地形图的识别非常不利。参考文献[5-6]引入邻域像素与中心像素灰度值的

距离作为一个控制函数, 自适应控制邻域像素对中心像素的影响程度, 能在一定程度上减少分割结果的模糊, 但对于点线细节丰富的地形图分色, 依然会出现等高线的断绝裂, 大量点状态信息的丢失, 影响分色效果。

在计算速度方面, FCM\_S 和 FCM\_S1/S2 计算速度依赖于图像尺寸, 对于图像尺寸很大的地形图, 计算速度很慢。为此, SZILAGY L 等<sup>[7]</sup>将灰度图投影到直方图空间, 提出了一种快速 FCM (FFCM) 算法, 其大大减少了数据量, 提高了计算速度。CAI W 等<sup>[8]</sup>提出 FGFCM, 这是一种快速鲁棒的 FCM 处理框架。该方法在快速计算方面继承自 FFCM, 将图像像素空间投影到直方图空间, 减少了数据量, 抗噪性能上同时考虑了空间邻域和灰度邻域相似, 相比于参考文献[5-6]中的方法, FGFCM 不仅仅考虑了邻域像素与中心像素的灰度值得距离, 而且考虑了像素空间坐标的距离, 提高了算法对噪声的鲁棒性, 提高了算法对噪声的鲁棒性, 同时保留了更多的图像细节。但是该方法建立在灰度直方图的基础上, 所以只适用于灰度图像, 而且没有考虑初始值的选取, 对初始值很敏感。

对于彩色地形图, 本文在 FGFCM 方法的基础上进行了改进, 考虑到地形图的特殊性, 以四色为主。计算机存储的地形图中由于地图绘制本身和扫描过程中带来的色散产生的多种颜色与 4 种主色调的颜色相似, 因

《微型机与应用》2013 年 第 32 卷 第 24 期

## 图形、图像与多媒体

Image Processing and Multimedia Technology

此,将四色地形图投影到合适的灰度空间中,保证4种主色类间距离大,类内距离小,减少了数据量但不影响分割结果。在初始值的选取上,用直方图峰值进行初值选择,避免陷入局部最优。在聚类后,提出一种相似区域合并方式对分割后的结果进行合并,避免了过分割。实验表明,该方法克服了初始值敏感问题,而且在地形图分割效果上更优。

## 1 背景

传统的FCM方法用集合 $X=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 表示 $n$ 个像素的图像。然后最小化式(1)所示的目标函数:

$$J(U, V) = \sum \sum (u_{ik})^m d^2(x_k, v_i) \quad (1)$$

其中,  $u_{ik}$  表示像素  $k$  属于聚类  $i$  的隶属度,  $u_{ik} \in [0, 1]$ ,

$\sum_{i=1}^c u_{ik} = 1$ ;  $v_i$  表示聚类中心; 参数  $m$  是个权量, 通常取 2。

目标函数的最小化通过迭代式(2)、式(3)实现:

$$u_{ik} = \frac{1}{\sum_{j=1}^c (d_{ik}/d_{jk})^{2/(m-1)}} \quad (2)$$

$$v_i = \frac{\sum_{k=1}^n (u_{ik})^m x_k}{\sum_{k=1}^n (u_{ik})^m} \quad (3)$$

利用迭代收敛后得到的隶属度函数  $u_{ik}$  对图像像素分类, 实现图像分割。传统 FCM 方法对噪声敏感, FGFCM 算法<sup>[8]</sup>引入相似度量  $S_{ij}$  提高对噪声鲁棒性,  $S_{ij}$  中同时考虑了空间相似  $S_{s_{ij}}$  和灰度相似  $S_{g_{ij}}$ , 定义为:

$$S_{ij} = S_{s_{ij}} \times S_{g_{ij}}, \quad j \neq i \quad (4)$$

$$S_{s_{ij}} = \exp\left(\frac{-\max(|p_j - p_i|, |q_j - q_i|)}{\lambda_s}\right) \quad (5)$$

$$S_{g_{ij}} = \exp\left(\frac{-\|x_i - x_j\|^2}{\lambda_g \times \sigma_{g_{ij}}}\right) \quad (6)$$

$$\sigma_{g_{ij}} = \sqrt{\frac{\sum_{l \in N_i} \|x_j - x_l\|^2}{N_R}} \quad (7)$$

其中, 第  $i$  个像素是中心像素, 第  $j$  个像素位于  $i$  的邻域,  $(p_j - p_i)$  是第  $i$  个像素的坐标;  $\lambda_s$  代表  $S_{s_{ij}}$  的尺度因子, 决定了  $S_{s_{ij}}$  的变化范围;  $x_i$  是窗口中心像素灰度值, 其邻域像素为  $x_j$ ;  $\lambda_g$  表示全局尺度因子;  $N_R$  是邻域像素个数;  $N_i$  是像素  $i$  邻域像素的集合;  $\sigma_{g_{ij}}$  反映的是局部窗口中灰度值相似度, 该值越小, 局部窗口中的灰度越相似, 反之亦然。

新生成的图像用式(8)计算:

$$\xi_i = \frac{\sum_{j \in N_i} S_{ij} x_j}{\sum_{j \in N_i} S_{ij}} \quad (8)$$

然后再将新图像  $\xi_i$  投影到直方图空间, 得到目标函数:

$$J(U, V) = \sum \sum r_l u_{il}^m (\xi_l - v_i)^2 \quad (9)$$

其中,  $v_i$  是聚类中心,  $u_{il}$  是灰度级  $l$  隶属于聚类  $i$  的隶属度,  $\xi_l$  是图像  $\xi_i$  的灰度值,  $r_l$  是每个灰度值对应的像素格式。式(9)的目标函数最小化通过迭代式(10)和式(11)实现:

$$u_{il} = \frac{(\xi_l - v_i)^{-\frac{2}{m-1}}}{\sum_{j=1}^c (\xi_l - v_j)^{-\frac{2}{m-1}}} \quad (10)$$

$$v_i = \frac{\sum_{l=1}^{256} r_l u_{il}^m \xi_l}{\sum_{l=1}^{256} r_l u_{il}^m} \quad (11)$$

## 2 本文算法

## 2.1 颜色空间选取

FGFCM 框架下的彩色图像分割, 若用直方图的方法, 在 RGB 空间中, 需要计算点的个数是  $256 \times 256 \times 256$ , 而用传统的方法计算量同样依赖于图像的尺寸, 对彩色图像分割依然存在 FCM 计算速度很慢的缺点。然而, 地形图虽然是彩色图像, 但有色区只有棕、蓝、绿 3 个主色调(黑和白属于无色区), 前文已经提到过, 实际扫描地形图的颜色远远大于 3 种, 但是其他颜色都在这 3 种主色调附近。因此, 可以将地形图的颜色区投影到一个灰度合适的图像上, 让这 3 种主色调之间的距离尽量大, 同一主色调衍生的颜色之间的距离尽量小, 发现 Lab 空间中  $a$ 、 $b$  分量中投影的组合和 HSV 中 H 分量能满足需要, 实验表明, 在分割精度方面, 前者更具有优势。

Lab 空间是由亮度  $L$  和有关色彩的  $a$ 、 $b$  3 个要素组成的, 其不依赖于设备, 而且色域宽阔。通过实验发现, 四色地形图中有以下投影特性: (1) 在  $b$  分量中, 绿色和棕色重合而且都大于无色区, 蓝色单独为一类且小于无色区; (2) 在  $a$  分量中, 棕色单独为一类, 大于无色区, 绿色和蓝色有重合, 小于无色区。四色地图在  $a$ 、 $b$  分量中的分布如表 1 所示, 其他标准四色体系的地形图也有类似的投影特性。在  $a$ 、 $b$  中分别应用改进的 FCM 算法, 所需计算的点的个数是  $256 \times 2$ 。

表 1 测试用的四色地形图在  $a$ 、 $b$  分量中的分布

颜色	$a$ 分量的范围	$b$ 分量的范围
绿	120~124	136~140
蓝	124~125	116~117
棕	134~138	138~141
黑/白(无色区)	128~131	127~131

因此, 在彩色地形图  $b$  分量中, 可以将图像分为蓝色水域、无色区和待分区, 这 3 类类间距离大, 类内距离小; 而待分区中包含了绿色和棕色两种颜色要素, 再获取待分区的  $a$  分量。在  $a$  分量中, 绿色和棕色分散在无色区的两侧, 有最大的类间距离, 可以很方便地分离绿色要素和棕色要素。

## 2.2 区域合并

由于 FGFCM 没有考虑初始值的选择, 对初始值敏感, 容易陷入局部最优, 本文求取投影到  $a$  分量和  $b$  分量的地形图直方图, 对求得直方图进行平滑处理以减少假峰, 然后用直方图峰值初始化 FGFCM 算法的初始中心, 能很好地避免陷入局部最优。但很显然这样得到的

结果会导致过度分割,还需要进一步合并处理。

由于地形图主色调始终占大多数,边界由于扫描仪点散函数导致大量过渡色的存在,而这种过渡色在主色调中心变化,通过求取均值,可以弱化过渡色的影响。在上述分类结果的基础上,对每一类取平均值,然后将均值之间距离小于某个阈值的进行合并。

定义区域相似度量为:

$$\text{Sim}=(\mu_i-\mu_j)^T(\mu_i-\mu_j) \quad (12)$$

其中,  $\mu_i$  为第  $i$  类中所有元素的均值。

综上所述,算法步骤如下:

(1)将地形图转换到 Lab 空间中,取  $b$  分量,对  $b$  分量求直方图,根据直方图峰值构成的向量初始化聚类数  $c$  和聚类中心  $v$ ;

(2)在  $b$  分量中,应用式(9)~式(11)根据  $b$  分量对图像分类,分离出蓝色水域、无色区和待分区域;

(3)利用式(12)计算区域相似度,对相似分割区域合并;

(4)从步骤(3)结果中待分区图像像素获取其  $a$  分量;

(5)在待分区  $a$  分量中求直方图,根据直方图峰值构成的向量初始化聚类数  $c$  和聚类中心  $v$ ;

(6)在待分区  $a$  分量中应用式(9)~式(11),根据  $a$  分量对图像分类,得到棕色区域和植被区域;

(7)重复步骤(3),得到结果。

### 3 实验结果

设置参数  $\lambda_s=3$ ,  $\varepsilon=0.00001$ ,  $N_R=8^{[5]}$ , 窗口大小为  $3 \times 3$ , FGFCM 算法聚类数  $c=3$ 。在四色体系地形图上实验,实验结果如图 1 所示。

从图 1 可以看出,FGFCM 算法在灰度图下分割,虽然对水域和植被区域分割效果比较好,但是对于棕色区和无色区域不能很好分割;FGFCM 在 HSV 空间对 H 分色,对于水域和植被的分割有明显的噪声,而对于棕色区域和无色区域不能很好分割;本文的方法对于水域、植被和棕色的等高线区域都能准确分割出。

本文改进了 FGFCM 框架对初始值敏感的问题,并且通过选用合适的颜色空间将算法推广到了四色地形图分割中,取得了比较好的效果。

#### 参考文献

- [1] KHOTANZAD A, ZINK E. Contour line and geographic feature extraction from USGS color topographical paper maps[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003,25(1):18-31.
- [2] 冯晓蒲,张铁峰. 四种聚类方法之比较[J]. 微型机与应用, 2010,29(16):1-3.
- [3] 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.
- [4] CHEN S, ZHANG D. Robust image segmentation using FCM with spatial constraints based on new kernel-induced



(a) 原图



(b) FGFCM 分割灰度图效果



(c) FGFCM 分割 HSV 空间 H 分量效果



(d) 本文算法分割效果

图 1 本文方法与 FGFCM 方法分割效果比较

distance measure[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, 2004,34(4):1907-1916.

- [5] 王媛媛. 合理利用空间信息的 MRI 脑部图像分割[J]. 微型机与应用, 2011,30(19):31-34.
- [6] 王黎明. 自适应加权空间信息的 FCM 医学图像分割[J]. 微型机与应用, 2011,30(22):42-45.
- [7] SZILAGYI L, BENYO Z, SZILANGYI S M, et al. MR brain image segmentation using an enhanced fuzzy c-means algorithm[C]. Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE EMBS, 2003, Cancun, Mexico, 2003.
- [8] CAI W, CHEN S, ZHANG D. Fast and robust fuzzy c-means clustering algorithms incorporating local information for image segmentation[J]. Pattern Recognition, 2007,40(3):825-838.

(收稿日期:2013-09-23)

#### 作者简介:

曾维,男,1989年生,硕士研究生,主要研究方向:图像处理,模式识别。

李清光,男,1975年生,讲师,硕士生导师,主要研究方向:图像处理,计算机视觉。