

文章编号:1007-2780(2016)01-0112-05

基于图论和 FCM 的图像分割算法

吴秋红*, 吴 谨, 朱 磊, 李 娟

(武汉科技大学 信息科学与工程学院, 湖北 武汉 430080)

摘要:针对 FCM 算法缺少空间关联信息且计算量大的问题,本文提出一种结合图论和 FCM 的图像分割算法。首先,引入图论算法对图像进行预处理,将图分割为子图。接着,对分割后的子图进行 FCM 聚类得到聚类中心。然后,提出一种基于聚类中心颜色和空间信息的加权距离,作为并查集算法的合并准则。最后,采用改进的并查集算法对聚类结果进行区域合并。实验结果表明,本文算法在保证图像分割质量的同时提高了图像分割速度。

关 键 词:模糊 C 均值聚类;图论;并查集;图像分割

中图分类号:TP391.41 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20163101.0112

Image segmentation algorithm based on graph theory and FCM

WU Qiu-hong*, WU Jin, ZHU Lei, LI Juan

(College of Information Science and Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430080, China)

Abstract: Aiming at fuzzy C-means clustering algorithm lacking spatial information and large amount of calculation, an algorithm combined graph theory with fuzzy C-means clustering is presented in this paper. Firstly, the graph is divided into subgraph by graph theory algorithm. After that, clustering center of the subgraph is obtained by FCM algorithm. And then, a weighted distance based on the color of clustering center and space information is proposed as the merging criterion of union-find sets algorithm. Finally, the improved union-find sets is used to merge the regions of clustering results. The experimental results indicate that the proposed algorithm can ensure the quality of image segmentation with better performance.

Key words: FCM; graph theory; union-find sets; image segmentation

1 引 言

图像分割是指把图像分成若干个具有独特特性的区域并提出感兴趣目标的技术。模糊理论在处理图像的模糊性和不确定性问题时具有优势,

因此在图像分割领域得到广泛的应用。模糊 C 均值聚类(fuzzy c means,FCM)最早由 Dunn 提出^[1],后经 Bezdek 改进建立了模糊 C 均值算法理论^[2]。FCM 算法作为一种无监督的聚类算法,在图像分割领域得到广泛的应用。文献[3]将权衡模糊加权因子和核距离度量标准引入 FCM 算

法中,增强对噪声和异常点的鲁棒性。文献[4]在快速FCM算法的基础上,结合粗糙集理论。通过对像素进行精确分类,有效减少误分割现象。文献[5]将MAR模型与FCM算法结合,不仅分割准确且收敛速度较快。文献[6]针对FCM算法需为确定聚类数的问题进行改进,可避免聚类数的直接确定,具有较好的分割效果。文献[7-8]将FCM算法与图论算法相结合,提高算法的抗噪声收敛性。

本文提出了一种结合图论和FCM(GT-FCM)的图像分割方法,并将其应用于自然场景图像分割。在FCM算法基础上引入图论算法,采用RGB色差公式计算RGB颜色空间色差值对像素求最大连通分量,完成初始分割。对分割后的子图进行FCM聚类,得到聚类中心。最后提出一种基于聚类中心颜色和空间信息的加权距离作为合并准则,采用改进的并查集算法进行区域合并。

2 FCM 算法

FCM算法通过迭代法优化目标函数来获得对数据集的模糊分类。其目标函数定义如下:

$$J(U, V) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^c u_{ij}^m d_{ij}^2. \quad (1)$$

在满足 $\sum_{i=1}^c u_{ij} = 1$ 的约束条件下,对目标函数 $J(U, V)$ 进行拉格朗日求导,可以得到隶属度矩阵的 u_{ij} 和聚类中心 v_i 计算公式。FCM算法步骤如下:

(1) 设定聚类数目 c 、加权指数 m 、收敛阈值 ϵ , 并初始化聚类中心。

(2) 计算新的隶属度矩阵 u_{ij}

$$u_{ij} = \left(\sum_{k=1}^c \left(\frac{\|x_j - v_i\|}{\|x_j - v_k\|} \right)^{\frac{2}{m-1}} \right)^{-1}. \quad (2)$$

(3) 更新聚类中心

$$v_i = \frac{\sum_{j=1}^n u_{ij}^m x_j}{\sum_{j=1}^n u_{ij}^m}, \quad i=1, 2, \dots, c. \quad (3)$$

(4) 重复执行步骤(2)、(3)直到算法收敛。

FCM算法在对自然场景图像进行处理时能体现模糊数学的优势,但仍存在缺少空间关联信息、易收敛到局部最优、须预先确定聚类数目、计算量大等问题^[9]。

3 结合图论和 FCM 的分割算法

本文的GT-FCM图像分割算法,将图论算法和FCM算法有效结合起来。首先利用图论算法对图像进行预处理。然后对得到的初始分割结果进行FCM聚类。最后,提出一种基于聚类中心颜色和空间信息的加权距离作为并查集的合并准则。采用改进的并查集算法对聚类结果进行后处理,得到最终分割结果。

3.1 用图论算法进行初始分割

基于图论的分割算法能将图像的局部特征和全局特征联系起来,考虑到图像的空间关联信息,更加符合人类视觉系统的特点。

设 I 表示图像, G 表示图。将图像 I 映射为图 G 时,使用带权无向连通图来表示^[10]。图可记为 $G=(V, E)$, V 表示顶点集, E 表示边集。图像中单个像素看作图中的一个顶点 $v_i, v_i \in V$ 。若两像素相邻,则可以在图 G 中与之对应的顶点之间连接一条边 $e_i, e_i \in E$ 。将图 $G=(V, E)$ 存储在邻接表中,可节约存储空间,方便后续对图 G 进行广度优先遍历,此时算法复杂度为线性阶 $O(n+e)$ 。

对图进行广度优先遍历,考虑到图中相邻层像素点之间的关联信息,从而弥补FCM算法空间关联信息考虑不足的问题。在对图进行广度优先遍历时,需要设定阈值 T 来控制分割精度,选取不同的阈值,分割效果将会不同。根据经验本文选取阈值 $T=45$ 。

设顶点集合 $S=\{S_1, S_2, \dots, S_n\}$, 从图的第一个顶点开始进行广度优先遍历,对顶点及其邻接点采用RGB色差公式计算其RGB颜色空间色差值,RGB颜色空间色差值 D 定义如下:

$$D(x_i, x_j) = \sqrt{(r_i - r_j)^2 + (g_i - g_j)^2 + (b_i - b_j)^2}. \quad (4)$$

将RGB颜色空间色差值与阈值 T 进行比较,若 $D < T$,则将该邻接点加入顶点所在的顶点集 S_1 中。不断循环该过程,直到所有的顶点都被计算并加入相应的顶点集 $S_i (i=1, 2, \dots, n)$ 中,即可完成初始分割。

3.2 对初始分割结果进行 FCM 聚类

FCM算法在对自然场景图像进行处理时能体现模糊数学的优势。在经典的FCM算法中,

聚类是一个非线性优化过程,需要不断进行迭代运算来优化目标函数,而 FCM 迭代运算是一种高次运算,收敛速度慢,计算量大。

本文利用图论算法对图像进行预处理,将图分割为子图。再对分割后的子图进行 FCM 聚类。当算法收敛时,即可得到各类聚类中心和各个样本点对于各类的隶属度值,从而完成聚类划分。对分割后的子图进行 FCM 聚类,可降低每次参与 FCM 聚类的对象数目,优化迭代运算,减小计算量,从而提高算法性能。

3.3 改进的并查集算法进行区域合并

由于进行 FCM 聚类时分类数目的设定未必是最优,可能存在过分割现象。因此,在 FCM 聚类完成后,需要对聚类结果进行区域合并的后处理,使得分割后的区域都具有一定意义。并查集作为一种简单的树型数据结构,能够较快实现判断元素所在集合以及元素合并的相关操作。该算法主要用于处理一些不相交集合并及查询问题,算法时间复杂度为线性阶 $O(n)$ 。

本文提出一种新的基于聚类中心颜色和空间信息的加权距离 D_w ,其定义如下:

$$D_w(x_i, x_j) = \omega_1 D(x_i, x_j) + \omega_2 \left[\sum_{k=1}^p |x_{ik} - x_{jk}|^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (5)$$

其中: $D(x_i, x_j)$ 由公式(4)可得,代表颜色空间色差值。 ω_1, ω_2 为加权系数,式(5)需满足 $\omega_1 + \omega_2 = 1$ 的约束条件,本文取 $\omega_1 = 0.5, \omega_2 = 0.5$ 。

采用并查集算法进行区域合并时,将两个聚类中心的加权距离 D_w 与所设定的阈值 β 进行比较作为合并准则。改进的并查集区域合并算法步骤如下:

(1)以得到的聚类中心为根节点,分别构建树,并依次进行编号。

(2)选取编号后未进行合并的树,若其根节点满足 $D_w < \beta$,则将其进行合并,即将一颗树作为另一颗树的子节点,并且总是将编号大的树作为编号小的树的子节点。

(3)重复执行步骤(2),直到不再有树需要合并为止,即完成区域合并。

3.4 算法步骤及流程图

结合图论和 FCM 的自然场景图像分割算法的具体算法步骤如下:

Step1:将图像 I 映射为无向带权连通图 G ,并将图 G 存储在邻接表中,将所有的像素标记为

未归类。

Step2:寻找第一个未归类的像素记为 P_1 ,集合 $S_1 = \{P_1\}$,以 P_1 为起点,对邻接表进行广度优先遍历。

Step3:若满足 $D_1 < T$,则将该像素点加入顶点集 S_i ,并将其标记为已归类。

Step4:重复执行 Step2、Step3,直到所有的顶点都被标记,将图分割为子图,得到初始分割结果。

Step5:对顶点集 $S_i (i=1, 2, \dots, n)$ 进行 FCM 聚类计算,完成对分割后子图的聚类。

Step6:用并查集算法对满足 $D_w < \beta$ 的区域进行合并。

Step7:重复执行 Step6,直到不再有区域需要合并,得到最终分割结果。

GT-FCM 算法流程图如图 1 所示。

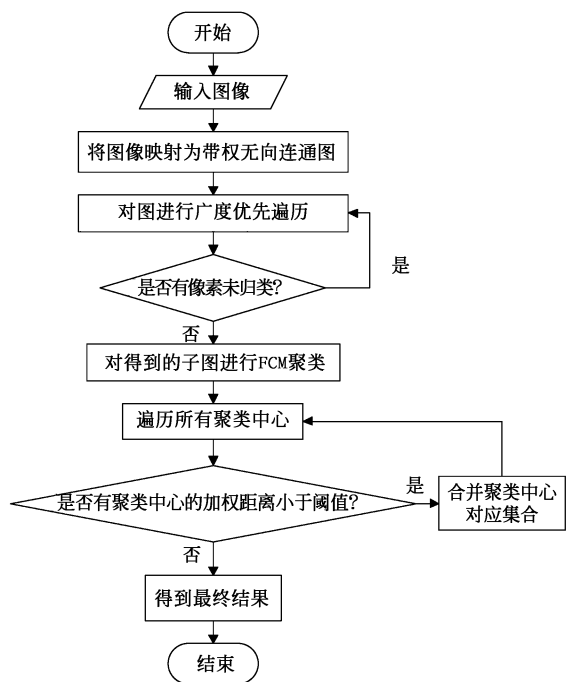


图 1 GT-FCM 算法流程图

Fig. 1 GT-FCM algorithm flow chart

4 实验结果

本文以自然场景图像作为实验对象,选取尺寸相同的 500 张自然摄影作品进行实验。分别采用 FCM 算法、FFCM 算法以及本文的 GT-FCM 算法进行分割测试。将分割效果和分割耗时分别进行对比。算法中的参数设置分别为:聚类数目

$c=7$,收敛阈值 $\epsilon=0.0001$,加权指数 $m=2$ 。部分分割结果如图 2 所示。



图 2 图像分割结果对比图
Fig. 2 Comparison chart of image segmentation result

由图 2 可知,本文算法得到的分割结果误分割样本点少。从分割后 elder 图像中左上方的光照背景以及 house 图像中建筑物的背景天空等区域可以看出,这些区域误分割样本点少。经典的 FCM 算法和 FFCM 算法分割结果一致,均存在一定的误分割现象。通过对 500 幅图像进行分割测试,由分割结果可知,采用本文算法进行图像分割被误分割的样本点少,分割效果得到改善。

分别记录 FCM 算法、FFCM 算法以及本文算法对 elder 图像和 house 图像进行分割的耗费时间。引入划分系数 V_{pc} 和划分熵 V_{pe} 来对图像图像分割结果进行客观评价,部分图像分割结果如表 1 所示。

表 1 分割结果对比

Tab.1 Contrast of segmentation result				
图像	算法	V_{pc}	V_{pe}	分割耗时/s
elder	FCM	0.856	0.374	53.59
	FFCM	0.856	0.374	24.63
	GT-FCM	0.905	0.281	11.58
house	FCM	0.758	0.433	65.74
	FFCM	0.758	0.433	35.54
	GT-FCM	0.875	0.282	15.24

由表 1 可知,本文算法在对自然场景图像进行分割时划分系数和划分熵都优于 FCM 算法和 FFCM 算法。从分割耗费时间可以看出,本文算法分割速度较快。通过对 500 幅图像进行分割测试,计算 3 种算法的平均耗时,结果如表 2 所示。

表 2 三种算法运行时间对比

Tab.2 Contrast of operating time of three algorithms	
算法	平均耗时/s
FCM	59.72
FFCM	28.76
GT-FCM	12.78

由表 2 可知,经典的 FCM 算法计算量较大,分割较为耗时。FFCM 算法,在经典的 FCM 算法基础上引入直方图统计特性,减少所需处理的数据个数,分割速度较 FCM 算法有所提升。本文的 GT-FCM 算法,通过子图进行聚类,减少参与聚类的对象数目,减小计算量,从而提高算法性能。实验结果表明,在对自然场景图像进行处理时,本文算法整体分割速度优于经典的 FCM 算法和 FFCM 算法。

5 结 论

针对 FCM 算法缺少空间关联信息且计算量大的问题,本文提出了一种结合图论和 FCM 的自然场景图像分割方法。引入图论算法对图像进行预处理,用以弥补 FCM 算法缺少空间关联信息的不足。通过对预处理之后得到的子图

进行 FCM 聚类,减小计算量,提高算法性能。提出一种基于聚类中心颜色和空间信息的加权距离,将其与所设定的阈值进行比较作为区域合并准则。采用改进的并查集算法对聚类结果进行区域合并,减少误分割现象。实验结果表明,本文算法在对自然场景图像进行分割时平均分割耗时为 12.78 s,在保证图像分割质量的同时提高了图像分割速度。

参 考 文 献:

- [1] DUNN J C. A fuzzy relative of the ISODATA process and its use in detecting compact well-separated clusters[J]. *Journal of Cybernetics*, 1973, 3(3): 32-57.
- [2] BEZDEK J C. A convergence theorem for the fuzzy ISODATA clustering algorithms[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1980, PAMI-2(1): 1-8.
- [3] GONG M G, LIANG Y, SHI J, *et al.* Fuzzy c-means clustering with local information and kernel metric for image segmentation[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2013, 22(2): 573-584.
- [4] 李云松,冯玉东,张国锋. 基于快速模糊 C 均值聚类的图像粗集分割[J]. 兰州理工大学学报, 2013, 39(1): 92-96.
LI Y S, FENG Y D, ZHANG F. Image rough sets segmentation based on fast fuzzy C-means clustering[J]. *Journal of Lanzhou University of Technology*, 2013, 39(1): 92-96. (in Chinese)
- [5] 郭海涛,刘丽媛,赵亚鑫,等. 基于 MAR 与 FCM 聚类的声呐图像分割[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(10): 2322-2327.
GUO H T, LIU L Y, ZHAO Y X, *et al.* Sonar image segmentation based on MAR and FCM clustering[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2013, 34(10): 2322-2327. (in Chinese)
- [6] 周晓明,李钊,刘雄英. 一种基于改进 FCM 的自动图像分割算法[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2014, 42(3): 1-7.
ZHOU X M, LI Z, LIU X Y. An automatic image segmentation algorithm based on Improved FCM[J]. *Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition)*, 2014, 42(3): 1-7. (in Chinese)
- [7] 龚劬,廖武忠,卢力,等. 基于图论的快速 FCM 图像分割算法[J]. 计算机工程, 2012, 38(8): 192-194, 197.
GONG Q, LIAO W Z, LU L, *et al.* Fast FCM image segmentation algorithm based on graph theory[J]. *Computer Engineering*, 2012, 38(8): 192-194, 197. (in Chinese)
- [8] 辛月兰,汪西莉. 基于图割与改进模糊 C 均值的图像分割[J]. 计算机应用与软件, 2014, 31(7): 206-209, 293.
XIN Y L, WANG X L. Image segmentation based on graph cuts and improved fuzzy C-means[J]. *Computer Applications and Software*, 2014, 31(7): 206-209, 293. (in Chinese)
- [9] 李旭超,刘海宽,王飞,等. 图像分割中的模糊聚类方法[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(4): 447-458.
LI X C, LIU H K, WANG F, *et al.* The survey of fuzzy clustering method for image segmentation[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2012, 17(4): 447-458. (in Chinese)
- [10] 林选伟,吴谨. 基于交互式图论的目标边缘检测算法[J]. 计算机工程与科学, 2014, 36(8): 1571-1575.
LIN X W, WU J. A novel target edge detection algorithm based on interactive graph theory[J]. *Computer Engineering and Science*, 2014, 36(8): 1571-1575. (in Chinese)

作者简介: 吴秋红(1989—),女,湖北随州人,硕士研究生,主要从事图像处理方面的研究。E-mail:353582506@qq.com.
吴谨(1967—),女,安徽省芜湖人,教授,博士生导师,主要从事图像处理与模式识别工作。E-mail:471854385@qq.com.
朱磊(1982—),男,湖北武汉人,博士,讲师,主要从事图像处理与机器学习研究工作。E-mail:179901529@qq.com.
李娟(1979—),女,湖北武汉人,博士,讲师,主要从事图像处理、信号稀疏表示理论研究。E-mail:57419684@qq.com.