

基于鱼群算法优化 normalized cut 的彩色图像分割方法^{*}

周 逊, 郭 敏, 马 苗

(陕西师范大学 计算机科学学院, 西安 710062)

摘 要: 为了克服传统的谱聚类算法求解 normalized cut 彩色图像分割时, 分割效果差、算法复杂度高的缺点, 提出了一种基于鱼群算法优化 normalized cut 的彩色图像分割方法。先对图像进行模糊 C-均值聚类预处理, 然后用鱼群优化算法替代谱聚类算法求解 Ncut 的最小值, 最后通过最优个体鱼得到分割结果。实验表明, 该方法耗时少, 且分割效果好。

关键词: 模糊 C-均值聚类; 归一化划分; 鱼群优化算法; 彩色图像分割

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2013)02-0616-03

doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2013.02.083

Color image segmentation based on normalized cut and fish swarm optimization algorithm

ZHOU Xun, GUO Min, MA Miao

(School of Computer Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: Traditional spectral clustering algorithm minimizing normalized cut criterion has an inaccurate result and a high algorithm complexity in color image segmentation. In order to improve these disadvantages, this paper proposed a color image segmentation method based on normalized cut and fish swarm optimization algorithm. It firstly used fuzzy C-means dealing with color image, then employed fish swarm optimization algorithm instead of spectral clustering algorithm to minimize normalized cut, finally got segmentation result by the optimal individual fish. Experimental results show that the method achieves consumes less time, and achieves a precise segmentation result.

Key words: fuzzy C-means; normalized cut; fish swarm optimization algorithm; color image segmentation

图像分割是按照一定的规则将一幅图像分割成各具特性的部分,并提取出感兴趣目标的技术和过程。它是图像处理和模式识别的关键,分割的效果直接决定了图像分析的好坏。近年来,基于图论的图像分割^[1]成为了图像分割算法领域的一个研究热点,常见的割集准则有 minimum cut^[2]、ratio cut^[3]、normalized cut^[4,5]等。其中,normalized cut 准则是 Shi 等人提出的一种规范化分割准则,分割时不易出现偏向小区域的情况,但存在以下两个问题:分割前需要计算每两个像素之间的相似度,会造成构造权值矩阵的计算复杂度大;最小化 normalized cut 准则是 NP-hard 问题,每个解对应一个分割,只有穷举所有解才能得到最佳分割。为解决权值矩阵构造复杂问题, Fowlkes 等人^[6]用 Nyström 采样对原图进行采样构造相似度矩阵。文献^[7]通过小波变换在低分辨率下对图像划分,再逐层映射回高分辨率层。文献^[8]使用 Mean Shift 方法对图像进行了预分割。文献^[9,10]则将分水岭算法和 Ncut 分割准则相结合,缩小了权值矩阵规模,降低了计算复杂度,但仍存在当前景与背景差别不大时容易造成错分的不足。为了解决 NP-hard 问题,Shi 等人^[5]提出用谱聚类算法将原问题转换为求解相似度矩阵或 Laplacian 矩阵的特征值及特征矢量问题,从而得到

Ncut 的近似解。由于谱聚类算法得到的只是近似解,往往造成图像的分割效果欠佳。文献^[11,12]引入群智能优化算法求解 Ncut 的最小值,对于图像的分割取得较好结果,但文献^[12]仍以像素为基础构造权值矩阵,复杂度较大。另外,Ncut 分割准则对灰度图像能快速有效地实现分割,但在彩色图像的分割中还不常见^[8,9,13]。

为找到一种分割效果良好的 Ncut 彩色图像分割方法,本文先对彩色图像三个信道分别作模糊 C-均值聚类预处理,在识别每个像素的前提下将图像分成 n 块最大相似区域,通过计算每一块区域 R, G, B 三个信道上的灰度平均值作为区域的像素值,再构造权值矩阵,从而大大缩小了权值矩阵规模。最后通过鱼群算法中个体鱼的自适应行为迭代更新自身二进制状态,从而对 Ncut 准则进行寻优,将最优个体鱼的状态映射回原图,实现彩色图像的分割。

1 相关理论

1.1 Normalized cut 分割方法

令无向带权图 $G = (V, E)$, 图中节点的集合为 V , 对应于图

收稿日期: 2012-06-21; **修回日期:** 2012-07-30 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(10974130); 陕西省青年科技新星资助项目(2011kjxx17)

作者简介: 周逊(1989-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为图像处理、模式识别(xdzhouxun@163.com); 郭敏(1964-), 女(通信作者), 教授, 博士(后), 主要研究方向为信号处理、图像处理、模式识别; 马苗(1977-), 女, 副教授, 博士(后), 主要研究方向为灰色理论、图像处理、数字水印。

像中的每个像素点;连接节点边的集合为 E 。如果删掉某些边,将图的顶点二值划分成两个集合 A 和 B ,使得 $A \cap B = \emptyset$, $A \cup B = V$,则将图划分为 A 和 B 称为一个割,它的代价函数为

$$\text{cut}(A, B) = \sum_{i \in A, j \in B} \omega(i, j) \quad (1)$$

其中: $\omega(i, j)$ 为连接节点 i 与节点 j 的边的权值,权值通常用高斯核函数来计算。

$$\omega(i, j) = \begin{cases} e^{-\left[\frac{\|I(i) - I(j)\|_2^2}{\sigma_1^2} + \frac{\|D(i) - D(j)\|_2^2}{\sigma_2^2}\right]} & \|D(i) - D(j)\|_2 < r \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

其中: $\|I(i) - I(j)\|_2^2$ 是两个节点间的颜色空间距离; $\|D(i) - D(j)\|_2^2$ 是两节点的空间位置距离; σ_1 、 σ_2 分别是控制颜色差异和空间距离差距的参数,常取 $\sigma_1 = 25$, $\sigma_2 = 2$; r 决定参与计算的领域节点数。使得式(1)中代价函数的分割值最小的二元划分准则即为最小割划分准则。最小割划分准则可得最小的 cut 值,但是最小割划分准则容易划分出孤立点。

归一化割是 Shi 等人提出的改进的最小割划分方法,此方法计算了连接两个子图的边的权值之和以及这些边在整个图的边的权值中所占比例,划分准则如下:

$$N_{\text{cut}}(A, B) = \frac{\text{cut}(A, B)}{\text{asso}(A, V)} + \frac{\text{cut}(A, B)}{\text{asso}(B, V)} \quad (3)$$

其中: $\text{asso}(A, V)$ 为 A 中顶点与图 G 中所有节点连接权值之和; $\text{asso}(B, V)$ 为 B 中顶点与图 G 中所有节点连接权值之和; N_{cut} 的最小值即为图的最优划分,也即图像的最优划分。

1.2 谱聚类算法

2000 年 Shi 等人提出谱聚类算法最小化式(3)。谱聚类算法将最优割划分准则转换为求解相似矩阵或 Laplacian 矩阵的特征值及特征向量问题。算法将权值矩阵 ω 每行元素相加,得到该节点的度,以所有度值作为对角元素构成度矩阵 D 。Laplacian 矩阵为 $L = D - \omega$,图划分问题转换为求解下述方程的第二小特征值问题:

$$D^{-\frac{1}{2}}(D - \omega)D^{-\frac{1}{2}}x = \lambda x \quad (4)$$

其中第二小特征值对应的特征向量便是图最优划分的一个解。

1.3 鱼群算法

鱼群算法是李晓磊等人于 2002 年提出的一种模拟鱼群运动觅食的新型智能优化算法^[11]。它采用自下而上的设计方法,先构造人工鱼个体,然后通过个体自适应选择合适的行为不停地更新自己,从而实现全局寻优。该算法寻优时具有对初值、参数不敏感、鲁棒性强、简单易实现等诸多优点。本文通过鱼群的自适应觅食行为来寻优,从而实现 N_{cut} 值的最小化。鱼群的行为描述如下:

a) 追尾行为。当鱼群中有鱼发现食物时,附近的个体鱼会追寻它快速游来。设个体鱼的当前状态为 X_i ,寻找在其可见域范围内食物密度最大的个体鱼 X_j 的位置。如果状态 X_i 处的食物密度低于状态 X_j 处且 X_j 周围不太拥挤,则个体鱼 X_i 朝着个体鱼 X_j 方向移动一步;否则执行聚群行为。

b) 聚群行为。鱼类都会聚集成群,集中觅食,躲避灾害。个体鱼 X_i 会搜索其可见域范围内的伙伴数目及中心位置。如果状态 X_i 处的食物密度低于伙伴们中心位置的食物密度且中心位置处不太拥挤,则个体鱼 X_i 朝着中心位置移动一步;否则执行觅食行为。

c) 觅食行为。个体鱼会朝着食物逐渐增多的地方快速游去。个体鱼 X_i 会随机搜索可见域范围内的一条个体鱼 X_j 。如果状态

X_i 处的食物密度低于状态 X_j 处,则个体鱼 X_i 朝着个体鱼 X_j 移动一步;否则重新选择随机状态 X_j 进行比较。如果试探一定次数后仍不满足移动条件,则个体鱼 X_i 随机移动一步。

2 本文算法

2.1 图像预处理

在一幅彩色图像中,一般每一个像素的颜色由 R 、 G 、 B 三个分量构成,为了降低计算复杂度,本文对彩色图像的 R 、 G 、 B 三个通道分别采用模糊 C-均值聚类,这样 R 、 G 、 B 三个通道都将图像划分成一些基本的区域。由于识别一个像素点必须包含 R 、 G 、 B 三个属性,结合 R 、 G 、 B 三个通道的聚类结果,取它们的最大交集并且保证识别每个像素,得到 n 块最大相似区域。求出每个区域的像素 R 、 G 、 B 均值,作为该区域像素点像素的代表值,然后将每个区域作为图 G 的节点,计算每个节点之间的权值,即构造出了无向带权图。

2.2 鱼群算法优化 normalized cut 准则及参数的选取

基于图论的图像分割是二元标号问题,因此引进鱼群智能优化算法求解最优分割是可行的。鱼群优化算法将预处理得到的 n 块最大相似区域整合成内部相似最大、与外部相似最小的两部分。最大相似区域的个数即为个体鱼的维度 D ,且个体鱼的位置状态用二进制表示,每个二进制状态对应一个 N_{cut} 值。鱼群算法的参数比较多,参数选取直接影响到图像分割的效果。本文选取鱼群数量 FishNum 为 25,最大迭代次数为 50,随机最大尝试次数 trynumber 为 6。其他几个重要参数如下:

a) 食物密度。食物密度是鱼群执行行为的参考依据,式(3)即为食物密度的评价标准,通过计算 N_{cut} 值来确定鱼群周围的食物密度, N_{cut} 值越小指导的分割效果越好。

b) 可见域。可见域太大,算法容易局部收敛;可见域较小,个体鱼 X_i 周围可能就没有伙伴,这样造成个体鱼的盲目搜索。本文可见域 Visual 取 8。

c) 拥挤度因子。拥挤度同样是为防止搜索过程中陷入局部最优解,本文拥挤度因子 deta 取 0.5。

d) 朝着某方向移动一步。个体鱼 X_i 朝着个体鱼 X_j 方向移动一步,本文定义为将个体鱼 X_i 的二进制状态用个体鱼 X_j 的二进制状态替换。

e) 随机移动一步。将个体鱼 X_i 的二进制状态随机变异三位,得到新的二进制状态赋值给 X_i 。

f) 公告板。设定一个公告板记录算法寻优过程中鱼群到达的最佳位置及最佳位置处的食物密度值。

g) 行为步骤。本文先执行追尾行为,不满足再执行聚群行为,否则再执行觅食行为,仍不满足就随机移动一步。

2.3 算法流程

如图 1 所示,结合上述分析,鱼群算法优化归一化准则的彩色图像分割算法流程如下:

a) 对彩色图像的 R 、 G 、 B 三个通道分别进行模糊 C-均值聚类,构造 n 块最大相似区域,并且计算它们的颜色代表值,构造无向带权图,至此完成对图像的预处理。

b) 通过鱼群的自适应行为对 N_{cut} 准则进行寻优,得到使 N_{cut} 值最小的个体鱼状态及它所处位置的食物密度。

c) 将个体鱼的二进制状态映射回图像中,将图像分割成前景和背景两个区域。

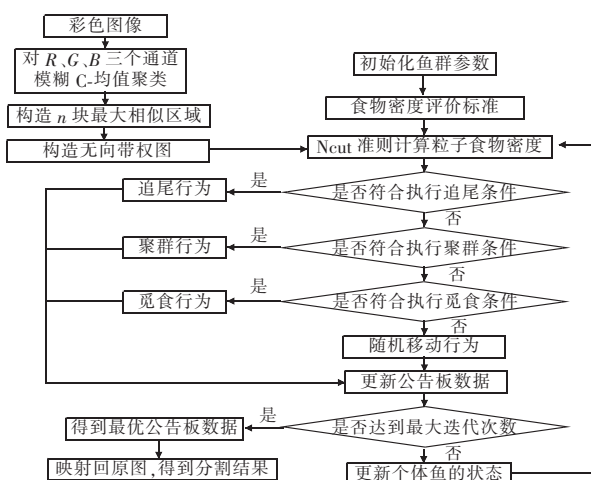


图1 鱼群算法优化 normalized cut 准则的彩色图像分割流程

3 实验结果与分析

为验证本文算法的有效性,选取大小均为 256×256 的彩色图像进行测试。实验平台为 Microsoft Windows 7 Professional, MATLAB R2011a, Intel Core 3.10 GHz CPU, 4 GB RAM。实验结果分别如图2~4所示。

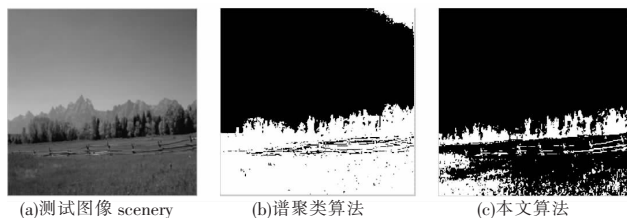


图2 Scenery 图像分割效果



图3 Man 图像分割效果

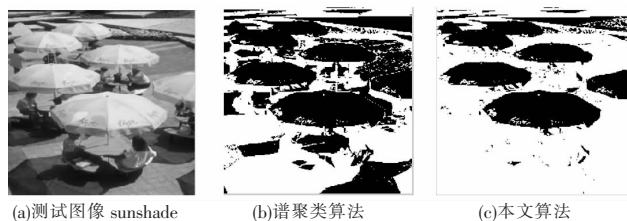


图4 Sunshade 图像分割效果

由上述三幅图可见,图像的颜色比较丰富,细节较多,尤其当前景和背景颜色差异不大时,运用谱聚类算法分割图像时,分割效果不理想。例如图2(b)中,算法将草地较大区域划为前景,且右上角有错误分割现象;图3(b)中,算法对人脸的分割效果不佳,未能将人脸的轮廓分割出来;图4(b)中遮阳伞的影子很多被分割为前景,混入人们感兴趣的目标之中。而运用鱼群算法能够有效避免以上情况。因为鱼群算法的每个人工鱼都是二进制状态,相当于谱聚类算法中的特征向量,用鱼群算法在迭代过程中得到的结果优于谱聚类算法求得的结果。

由 Ncut 计算公式可知,Ncut 分割准则难划分出孤立点,因此 Ncut 值越小分割的效果越好。由表1可见,本文算法求解

的 Ncut 值都小于谱聚类算法的 Ncut 值,说明本文算法优于谱聚类算法,能够取得较好的分割效果。

表1 谱聚类算法和本文算法的 Ncut 值比较

算法	scenery		man		sunshade	
	Ncut 值	运行时间/s	Ncut 值	运行时间/s	Ncut 值	运行时间/s
谱聚类算法	0.163	4.62	0.018	3.04	0.020	3.29
本文算法	0.089	5.42	0.014	3.89	0.015	4.12

由表1还可以看出,本文算法与谱聚类算法的耗时差别不大,在4s左右就能正确指导分割 256×256 的彩色图像,满足实时性要求。这是因为在分割前对图像进行了预处理,缩小了权值矩阵规模及问题的维度。

综上所述,运用鱼群算法优化 normalized cut 准则的彩色图像分割在分割效果上要远远优于谱聚类算法指导的分割,本文算法能够高效地将感兴趣的目标从图像中分割出来。

4 结束语

本文基于图论的图像分割思想,提出了一种将鱼群优化算法与归一化准则相结合的图像分割方法。该方法综合考虑 Ncut 分割准则和鱼群算法的优缺点,通过鱼群的自适应行为迭代寻找能使 Ncut 值最小的个体鱼,再将最优个体鱼二进制状态映射回无向带权图,得到对图的最优划分。通过理论分析和实验仿真表明,本文提出的方法综合了鱼群算法和归一化分割准则的优点,能够快速有效地指导图像分割。

参考文献:

- [1] 闫成新,桑农,张天序. 基于图论的图像分割研究进展[J]. 计算机工程与应用,2006,42(5):11-14.
- [2] WU Zhen-yu, LEAHY R. An optimal graph theoretic approach to data clustering: theory and its application to image segmentation[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis Machine Intelligence, 1993, 15(11): 1101-1113.
- [3] WANG S, SISKIND J M. Image segmentation with ratio cut[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis Machine Intelligence, 2003, 25(6): 675-690.
- [4] SHI Jian-bo, MALIK J. Normalized cuts and image segmentation [C]//Proc of IEEE CS Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 1997: 731-737.
- [5] SHI Jian-bo, MALIK J. Normalized cuts and image segmentation[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis Machine Intelligence, 2000, 22(8): 888-905.
- [6] FOWLKES C, BELONGIE S, CHUNG F, et al. Efficient spatiotemporal grouping using the Nystrom method[C]//Proc of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2001: 231-238.
- [7] 王振良,王继成. 多分辨率下基于 normalized cut 的图像分割[J]. 计算机应用,2008,28(9):2309-2311.
- [8] TAO Win-bing, JIN Hai, ZHANG Yi-min. Color image segmentation based on mean shift and normalized cuts[J]. IEEE Trans on Systems, and Cybernetics, 2007, 37(5): 1382-1389.
- [9] 冯林,孙焘,吴振宇,等. 基于分水岭变换和图论的图像分割方法[J]. 仪器仪表学报,2008,29(3):649-653.
- [10] WANG Yin-long, LIN Ke-cheng, LI Qian-jian, et al. A new normalized-cut image segmentation algorithm based on watershed transform [C]//Proc of the 4th International Conference on Intelligent Information Technology Application. 2010.
- [11] 翟艳鹏,郭敏,马苗,等. 遗传算法优化归一化划分准则的图像分割[J]. 计算机工程与应用,2010,46(33):148-157.
- [12] DUARTE A, SÁNCHEZ A, FERNÁNDEZ F, et al. Top-down evolutionary image segmentation using a hierarchical social metaheuristic [C]//Lecture Notes in Computer Science, vol 3005. Berlin: Springer-Verlag, 2004: 301-311.
- [13] 李南希. 基于图论的彩色图像分割方法研究[D]. 广州: 华南师范大学, 2007.
- [14] 李晓磊. 一种新型的智能优化方法——人工鱼群算法[D]. 杭州: 浙江大学, 2003.