

一种基于两步分割的非监督彩色图象分割方法

张竞丹¹, 邓志东¹, 郭百宁²

¹清华大学计算机系智能技术与系统国家重点实验室, 北京, 100084;

²微软亚洲研究院, 北京, 100080

zhangjd00@mails.tsinghua.edu.cn; michael@tsinghua.edu.cn;

bainguo@microsoft.com

摘要 本文提出了一种图象分割算法, 它主要应用于基于内容的图象查询系统。本算法有效结合了图象的局部和整体信息, 可以在没有监督的情况下将彩色图象分割成带有较完整信息的区域。这个算法由两个分割阶段构成: 在粗分阶段, 算法运用基于边界强度变化的区域生长算法进行局部最优化的分割; 在细分阶段, 算法将粗分结果构造成一个无向图、定义了边的权重矩阵, 并采用了全局最优化的图划分技术。试验证明本算法能快速有效的对多种类型的真实图象进行分割。

关键词 图象分割, 区域生长, 正规化划分。

Two Stage Unsupervised Segmentation of Color Images

Jingdan Zhang¹, Zhidong Deng¹, Baining Guo²

¹Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University, Beijing, 100084, China;

²Microsoft Research Asia, Beijing 100080

zhangjd00@mails.tsinghua.edu.cn; michael@tsinghua.edu.cn; bainguo@microsoft.com

Abstract In this paper, we present a novel image segmentation method, which is used in content-based image retrieval system. This method efficiently combines the local and global information to achieve unsupervised segmentation of color images and can divide images to meaningful regions. The method consists of two steps: coarse segmentation and fine segmentation. In the first step, a region growth algorithm based on the variation of edge's intensity is used to segment images locally. In the second step, the graph is constructed using the preliminary partition result and the weight of edges is calculated. Then we use graph theoretic framework of normalized cuts to find partitions of the image. Experiments show the effectiveness of this algorithm on real images.

Keywords Segmentation, Region growth, Normalized cut.

1 引言

图象分割是图象处理、分析的一项关键技术。在基于非特定目标、非特定环境的应用中（如基于内容的图象查询系统），图象分割的要求是：在没有高层知识约束的情况下将图象分割成有“意义”的区域。每个区域内的元素具有一致的“属性”和较完整的信息，区域和区域之间有较明显的边界和差距。在分割结果中，一个物体对象内部的细节与颜色渐变应被忽略，而且一个物体对象只应被表示为一个或少数几个分割区域。本文所提出的分割算法主要是针对这类应用。

图象分割的方法众多，并且各自有不同的运用范围，并没有一种适合于所有图象的分割算法^[1]，这个领域的最新发展中，有基于象素聚类的^[9]，有基于马尔科夫链的^[10]。在这些方法中，利用图划分的全局优化法是一类引人注目的算法。这类方法先把图象转化成一个无向图 $G=(V, E)$ ，其中图象中的每个象素是图的顶点，图的边的权重表示象素之间的关系紧密程度。在此基础上确定一个划分准则，然后利用图的划分算法对图象进行分割。这类方法存在两个难点，一个是如何确定划分准则，另一个是如何在这个准则下进行划分。在文章^[2]中，确定了最小相似度约束，并在此约束下利用最大流算法来进行图划分，但是这个方法倾向于将图中的孤立点划分出来。文章^[3]对这个问题进行了修正，提出了正规化的划分函数（Normalized cuts），并且在此准则下将 NP 难度的图划分问题转化成一个利用求矩阵特征值得到次优解的问题。因为这种方法保证了全局最优性，因此能得到较好的分割结果。但其缺点是当待分割图象较大时，计算量巨大。

也可以从局部入手进行分割，比较典型的是利用区域生长算法，这类算法比较常用于医学图象的分割。如在^{[4][5]}中均采用了一定的区域生长准则，并通过此准则不断的对有相同属性的区域进行扩张，直到达到稳定。在这方面让人重视的还有分水岭算法^[6]，这种算法是通过在图象的不同区域同时进行区域生长，并且引入了相互竞争的概念。这类方法往往能找到局部最优的分割，但是很难达到全局最优性。

也有不少方法是将局部和全局相结合，比较典型的如^[7]。在这篇文章中，作者先利用区域生长法对图象进行粗分，然后再利用相似性约束对粗分区域进行合并，从而给出最后结果。由于这种混合的方法能充分利用图象的局部和全局信息，因此具有较好的分割效果。

本文提出了一种新的图象分割方法，主要运用于基于内容的图象查询系统的彩色图象分割。它利用一种基于边界强度变化的区域生长算法对图象进行粗分，并将结果转化成一个无向图 $G=(V, E)$ ，然后利用^[3]中提出的方法在全局最优化约束的条件下进行细分。试验结果表明此方法有效的结合了图象的局部和全局的信息，分割速度快，而且用它分割不同类型的图，都能得到满意的结果。

2 分割算法

2.1 基本模块

算法的基本流程如图 1:

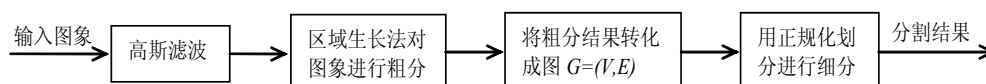


图 1 算法流程图

输入图象先进行高斯滤波,除去图象中的噪音并且对图象进行平滑。然后利用基于边界强度变化的区域生长算法对图象进行粗分,粗分得到的每块区域有基本一致的颜色和较强的轮廓。然后定义块和块之间的关系函数,计算权重矩阵,将粗分结果转化成无向图。最后利用正规化划分对图进行递归二分切割,从而得到最后的结果。

2.2 基于边界强度变化的区域生长算法

进行粗分的目的是将图象预先分割成多个小块,每个小块有基本一致的颜色和较强的边缘信息。在这里,我们采用了基于边界强度变化的区域生长^[4]的思想。它的特点是能够找到复杂形体的边界,计算过程不依赖于物体的拓扑结构,并且能抵抗一定的噪音。它的基本思想是模拟液体的侵蚀过程,即区域边界的生长速度受边界的曲率、边界的强度变化的影响,并且在满足一定的条件时停止生长。可以这样设想这个过程:将一滴酸性液体滴到金属表面,金属表面具有不同的抗酸能力,则液体在金属表面的扩散边界的形态会受到其曲率和表面抗酸性的影响,其扩散过程就类似于我们所要实现的区域生长过程。

在算法具体的实现过程中,为了加快分割速度,我们进行了一定的简化。首先是不考虑生长边界的曲率对生长速度的影响,其次是将基于边界强度变化的生长速度函数用一个距离函数代替。以一个种子点进行区域生长的算法具体如下:

设 s_0 是种子点, $d(s)$ 是距离函数, R 是待扩展的点的集合, $\bar{I}(s)$ 为点 s 的颜色, \bar{I} 为已扩展的点的颜色的平均值。

a. 令 $R = \{s_0\}$, $d(s_0) = 0$, 其余的点的 d 值为 $+\infty$;

b. 若 R 为空,或是 R 中的点的最小 d 值大于 $Threshold$ 参数,则算法结束;否则进行如下几步:

(1) 从 R 中取出 d 值最小的点 s ，标记其为已扩展点，更新 \vec{I} ；

(2) 检查点 s 的八连通域，若其中点 q 不是已扩展点，则计算 $d \leftarrow d(s)+1+punish(\vec{I}, \vec{I}(q))$ 。若 $d < d(q)$ ，则 $d(q) \leftarrow d$ ，并将 q 放入 R 。

其中 $punish$ 是一个惩罚函数，其目的是将生长边界的强度变化体现到距离函数 d 中。这样当边界颜色值变化越大，生长的速度越慢。在算法实现中，我们发现将 $punish$ 函数定义成为一个二值函数即可产生较好的效果。

选取适当的参数，用这个算法可以快速有效的找到区域的边界。同时，这个算法可以容忍一定的噪音。图 2 是一个加有 20% 高斯噪音的图象，可以看出这个算法可以承受一定的噪音，准确的找到区域的边缘，是比较稳定的。

在实际计算时，开始我们把图象中的所有点设为未扩展点，然后选取任意未扩展点为种子点进行一次区域生长，直到图象上的所有点都标记为已扩展点，最后的结果即是粗分结果。注意种子点的选取方式对粗分结果有影响，但是因为最后还要进行全局最优化细分，我们发现种子点的选取方式对最后结果影响不大。同时，一般输入的图像是自然图像，色彩变化比较丰富，可能导致有过多细碎的区域。因为我们最后无需对这些细小区域进行分割，因此可以将这些过小的区域合并到性质相似的大块区域中去，从而提高后面的细分速度。

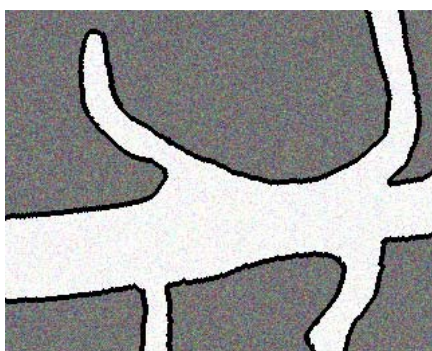


图 2 用区域生长算法所得到的分割结果

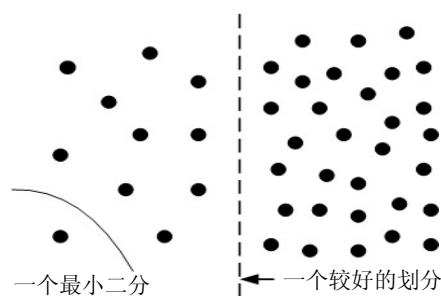


图 3 最小二分会导致将图中的小块区域划分出来

2.3 构造无向图

我们把粗分结果变换成无向图 $G=(V, E)$ ，其中每个区域为图中的一个顶点，区域和区域之间的的关系的紧密程度通过边的权值表示，关系越紧密，权值越大。一般来说两块

区域的关系紧密程度是由它们的颜色差异和距离差异决定的，两块区域的颜色差异越大，则他们的关系应该越小，反之关系越大；同时若它们的距离越大，则关系越小，反之关系越大。通过前面的粗分，每一块内部的颜色基本一致，因此我们可以用每一块的颜色均值来代表这一块的颜色。但是因为每一块的形状不固定，所以用这一块的几何重心来刻划这一块的位置是不合理的。我们可以认为每个区域是由若干的像素点构成，两块区域之间的相似关系由组成它们的点的相似关系的总和构成，这个方法类似于计算两个不规则形体之间的引力的过程。

对于两个区域 R_K ， R_L 的边的权重 $W_{K,L}$ ，我们仿照分子间的作用力公式可以定义如下的经验公式：

$$W_{K,L} = e^{-\frac{\|\bar{I}(K) - \bar{I}(L)\|}{\sigma_c}} * \sum_{p \in R_K, q \in R_L, \|\bar{X}(p) - \bar{X}(q)\| < D} e^{-\frac{\|\bar{X}(p) - \bar{X}(q)\|}{\sigma_x}} \quad (1)$$

其中， $\bar{I}(K)$ ， $\bar{I}(L)$ 分别表示两块区域的平均颜色， p ， q 分别是两个区域中的像素点， $\bar{X}(p)$ ， $\bar{X}(q)$ 为点 p ， q 的坐标， σ_c ， σ_x 为两个参数， D 为距离域值，我们可以认为当两个像素点的距离大于 D 时，这两个点没有关系。可以看出这个公式符合区域相似性的特性。计算每两块之间的 $W_{K,L}$ ，则可以构成权重矩阵 W ，易知 W 是一个稀疏的对称矩阵。

2.4 正规化划分

对于一个图 $G=(V, E)$ ，若有两个集合 A ， B ，满足 $A \cup B = V$ ， $A \cap B = \Phi$ ，则可通过将连接着两个集合的边去掉，从而把这个图划分成两部分。可以将 A ， B 两个集合的相似度定义为：

$$Cut(A, B) = \sum_{u \in A, v \in B} w(u, v) \quad (2)$$

其中 u 是 A 中的点， v 是 B 中的点， $w(u, v)$ 是边 (u, v) 的权重。

一个最小二分可以认为是使 (2) 式取最小值的划分，这样的划分可以在多项式时间内完成^[2]。但是这样的划分会趋向于将图中的小块区域划分出来，如图 3 所示。在图 3 中，点之间的权重由它们的距离决定，可以看出由公式 (2) 所约束的划分会将较孤立的点划分出来，这与实际较好的划分不符。实际较好的划分是将这图划分成两个区域，每个区域

的点有各自的分布密度。

为了修正这种错误的趋向，我们可以给出一个正规化的的相似度，定义公式为（3）：

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

其中 $asso(A,V) = \sum_{u \in A, t \in V} w(u,t)$ 表示 A 中的点到 V 中的点的权重的总和，同样 $asso(B,V) = \sum_{v \in B, t \in V} w(v,t)$ ，其定义的合理性请见文献^[3]。若是一个划分可以使 $Ncut(A,B)$ 达到最小，则这个划分是一个正规化划分。求在公式（3）的约束下的最优解是一个具有 NP 难度的问题，但是若只求次优解，则文献^[3]同时提出了一个方法可将这个问题转变为一个求 W 矩阵特征值的问题。并且若这个 W 矩阵是稀疏矩阵，可以采用文献^[8]中的方法进行快速求解。

在具体的分割过程中，可以对 G 进行递归二分，即对正规化划分得到的两个区域分别进行划分。直到 $Ncut(A,B)$ 的值大于一个设定的域值的时候停止。此时得到的分割即为最终结果。通过调节这个域值，可以控制分割的程度，从而决定各分割块所带信息量的大小。

3 试验结果



图 4 输入图象及其分割结果

图 4 为狗的图象及其分割结果。其中，图 4（a）为原始图象；图 4（b）为经过区域生长法粗分的结果，总共有 270 块，从图中可以看出每块有基本一致的颜色，但是这样的分割结果过细，每块难以表达完整的信息；图 4（c）为通过正规化划分的结果，此时只有 10 块区域，每块区域可以表达完整的信息，大大方便了高层信息的提取。可以看到这个分割算法有忽略物体对象内部细节，而只分割主要区域的性质。同时，可以看出这个算

法可以进行一定限度的纹理分割。

图 5 是对不同类型图片的分割结果。所有的分割结果都是在同一组参数下得到的。由于细分采用了全局最优化的约束条件，因此算法比较稳定。可以看到分割所得到的每块区域都有较完整的信息。同时，本算法的运行速度也较快，对于 320×240 的图片，在配置为 P3 800 的机器上，半分钟内能完成分割。这比^[3]中以像素为单位进行图划分在速度上有大幅度提高，并且分割结果更加稳定。

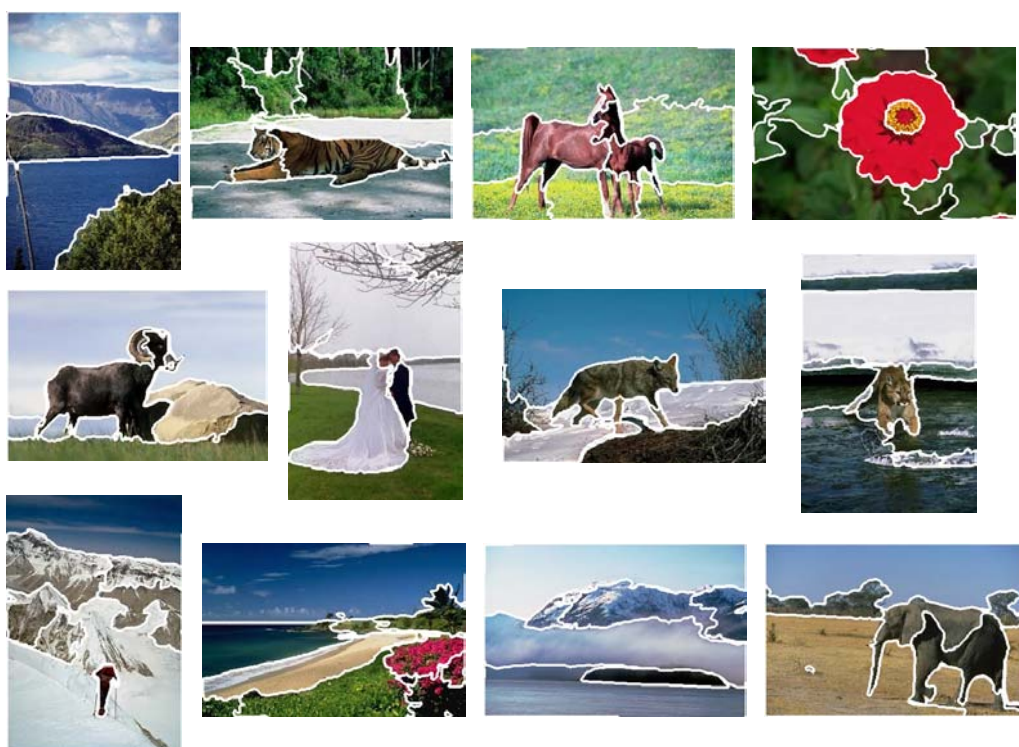


图 5 更多的分割结果

但是在试验过程中，我们也发现当区域间的分界线不是太明显时，会造成漏分；同时当图片中有较明显的纹理区域时，会影响分割的结果。引起这些问题的主要原因是在计算权重矩阵 W 时没有考虑这些因素。

4 结论

本文采用了两步分割的方法对彩色图象进行分割。在第一阶段，算法采用了基于边界强度变化的区域生长算法对图象进行粗分，这个阶段充分利用了图象的局部信息；在第二

阶段，算法将粗分结果构造成图，同时给出了边的权重的经验公式，最后利用全局最优化划分方法对图进行划分。试验证明本算法适用于基于内容的图象查询系统，能有效的将彩色图象分割成带有较完整信息的区域。如何将权重计算公式定义得更加合理，以及如何对有较强纹理的图片进行分割是我们下一步要研究的内容。同时，我们也将把本算法与其它算法进行比较。

致谢 感谢景枫提供了试验所用的各种图象。感谢王立刚提供的技术支持。同时感谢王珏，邓可，刘策对此论文提出的各种中肯的建议。

作者简介 张竞丹，1978年生，广东省兴宁市人，硕士研究生，研究领域为虚拟现实，计算机视觉，计算机图形；邓志东，教授，博士生导师，研究领域为人工智能，神经网络，人机交互技术及应用；郭百宁，博士，主任研究员，研究领域为计算机图形，透视图和几何造型，基于图象的模型、纹理生成和处理等。

参 考 文 献

- [1] Pal N R, Pal S K. A review of image segmentation techniques. *Pattern Recognition*, 26 (9), 1277-1294, 1993
- [2] Z. Wu and R. Leahy. An optimal graph theoretic approach to data clustering: Theory and its application to image segmentation. *IEEE Trans. Patt. Anal. Mach. Intell*, 11:1101—1113, 1993
- [3] J. Shi and J. Malik. Normalized cuts and image segmentation. *IEEE Trans. Patt. Anal. Mach. Intell*, 22 (8): 888-905, 2000
- [4] R. Malladi, J. A. Sethian, and B. C. Vemuri. Shape modeling with front propagation: a level set approach. *IEEE Trans. Patt. Anal. Mach. Intell*, 17(2):158—175, 1995
- [5] I. J. Cox, S. B. Rao, and Y. Zhong. Ratio regions: a technique for image segmentation. Working paper, NEC Research Institute, 1996
- [6] Kostas Haris, Efstratiadis S N, Maglavers N. Watershed-based image segmentation with fast region merging. *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing, Chicago, IL, USA*, 3: 338-342, 1998
- [7] Y.Deng, and B.S.Manjunath. Unsupervised segmentation of color-texture regions in images and video. *IEEE Trans. Patt. Anal. Mach. Intell*, 23(8): 800-810, 2001
- [8] Golub and Van Loan. *Matrix computation*. John Hopkins Press, 1989
- [9] D. Comaniciu, P. Meer. Mean Shift: A Robust Approach toward Feature Space Analysis. *IEEE Trans. Patt. Anal. Mach. Intell*, May, 2002
- [10] Zhuowen Tu, Song-Chun Zhu, Heung-Yeung Shum. Image Segmentation by Data Driven Markov Chain Monte Carlo. *CVPR'2001*