

文章编号:1001-9081(2006)06-1378-03

基于均匀性图分水岭变换及两步区域合并的彩色图像分割

张 平, 王文伟, 吴丽芸

(武汉大学 电子信息学院, 湖北 武汉 430079)

(zhping7402@yahoo.com.cn)

摘 要:提出了一种基于分水岭的彩色图像分割算法。首先采用同类组滤波技术对彩色图像进行保边缘的平滑,结合梯度图和二阶矩图提取一种反映了图像更精细局部信息的均匀性图,然后利用经典分水岭算法进行初始分割,分别就区域面积和 Fisher 距离分两步进行区域合并,结合信息损失和区域数目关系导出的颜色散度增量作为自动终止合并的策略。实验结果表明了该算法的有效性。

关键词:图像分割;分水岭;均匀性;Fisher 距离;区域合并;区域连通图;颜色散度增量

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A

Color image segmentation based on watershed transformation upon homogeneity image and two-step region merging

ZHANG Ping, WANG Wen-wei, WU Li-yun

(School of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan Hubei 430079, China)

Abstract: A novel algorithm based on watershed for color image segmentation was presented. The original color image was initially smoothed using peer group filtering in order to preserve the location of the edges. A homogeneity image was defined, which integrated gradient with local second-order moment information, rendered more local information, and then was segmented using traditional watershed algorithm to yield mosaic image. A two-step region merging was carried out according to region area and Fisher distance. Color diversion increment deduced from relationship between information lost and the number of regions retained was adopted as automatic terminate strategy to refine the result of segmentation. Experiment results show the effectiveness of the method.

Key words: image segmentation; watershed; homogeneity; fisher distance; region merging; Region Adjacency Graph (RAG); color diversion increment

分水岭算法具有分割精细,便于软硬件实现的优点,并已广泛地应用到彩色图像分割中^[1~5]。这些方法的共同点是先从彩色图像中得到一幅灰度图,然后对灰度图进行分水岭分割,最后采用各种策略进行区域合并。影响最终分割质量的关键因素在于彩色图像灰度化以及对噪声的处理。本文定义了一种均匀性图,它具有多特征多分辨率特性,更能反映彩色图像的边缘结构信息;除了进行预处理去除噪声外,分两步进行区域合并,进一步克服噪声的影响,并实现自动终止合并。实验结果表明该方法能得到更好的分割结果。

1 保边缘平滑和均匀性图

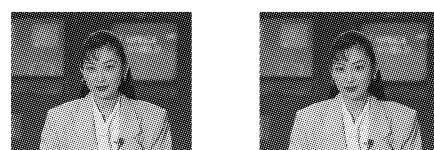
1.1 预处理——保边缘平滑

由于图像中存在各种噪声,图像分割之前一般要进行预处理,对图像进行平滑去噪。这里采用文献[4]提出的同类组滤波技术(Peer Group Filtering, PGF),它能有效地去除噪声,同时能保留图像的边缘结构信息和细节。

PGF 是一种非线性的图像平滑和去噪方法,它的基本原理是用像素在 $W \times W$ 窗口内的同类像素的加权平均来代替这个像素,一个像素的同类像素是它窗口范围内具有相似颜色的像素,窗口内所有像素与中心位置像素的欧式距离按升序排序,根据距离的一阶差分设定一个阈值排除脉冲噪声,然后

根据 Fisher 准则来确定最佳同类像素个数。

同类像素的权值 W_j 可以根据该像素相对中心像素的位置取不同的值。这里利用 PGF 技术对图 1(a) 进行处理,窗口大小 5×5 , 阈值 $\alpha = 12$, W_j 简单的取 1。得到滤波后的图像如图 1(b)。



(a)原图 (b)平滑后的结果

图 1 Akiyo 及其平滑图像

1.2 彩色图像的均匀性图

分水岭算法一般是在灰度图上进行的,因此需要对彩色图像进行变换以得到反映图像结构信息的灰度图。有的算法对梯度图进行分水岭变换^[2,3],也有的对局部矩图像进行分水岭变换^[4,5]。

彩色图像的梯度计算有许多方法,一般是利用梯度算子在各通道上进行操作,然后通过线性组合得到梯度图。这里我们在 RGB 颜色空间,利用 3×3 的 Sobel 梯度算子在各通道上进行操作,然后通过简单的线性组合得到梯度图。

收稿日期:2005-12-16 基金项目:教育部留学回国人员科研启动基金资助项目(212152457)

作者简介:张平(1974-),男,湖北荆门人,硕士研究生,主要研究方向:图像处理、模式识别; 王文伟(1966-),男,湖北武汉人,副教授,博士,主要研究方向:图像处理、模式识别; 吴丽芸(1981-),女,福建三明人,硕士研究生,主要研究方向:模式识别、神经网络、图像处理。

$$\begin{aligned}\| \Delta f_{rgb}(x, y) \| &= (\| \Delta f_{rgb}(x) \|^2 + \| \Delta f_{rgb}(y) \|^2)^{1/2} \\ \| \Delta f_{rgb}(x) \| &= (\| \Delta f'_{rgb}(x) \| + \| \Delta f^g_{rgb}(x) \| + \| \Delta f^b_{rgb}(x) \| \\ \| \Delta f_{rgb}(y) \| &= (\| \Delta f'_{rgb}(y) \| + \| \Delta f^g_{rgb}(y) \| + \| \Delta f^b_{rgb}(y) \|)\end{aligned}\quad (1)$$

利用上述梯度算子对图1(b)进行梯度重建,并进行归一化和256级量化,得到的梯度图如图2(a)。

彩色图像的局部二阶矩(方差)定义如下:

$$\begin{aligned}\sigma_{(x,y)}^2 &= \frac{1}{N_{V(x',y') \in V(x,y)}} \| c(x',y') - \mu_{V(x,y)} \|^2 \\ \mu_{V(x,y)} &= \frac{1}{N_{V(x',y') \in V(x,y)}} \| c(x',y')\end{aligned}\quad (2)$$

式中, $V(x, y)$ 代表以 (x, y) 像素为中心的一个窗, 这里窗的大小取 5×5 , 这样可以包括足够的邻域信息, 取得太大, 不仅增加计算量, 而且还会模糊局部的细节。图2(b)是图1(b)的局部二阶矩图, 也进行了归一化和256级量化。

梯度图和局部矩图都只部分地反映了彩色图像的结构信息, 而且还对噪声敏感。本文定义的均匀性图, 是梯度图和局部二阶矩图的极大值图:

$$p(i, j) = \max_{\substack{0 \leq i < N \\ 0 \leq j < M}} \{g(i, j), m(i, j)\} \quad (3)$$

式中, $g(i, j)$, $m(i, j)$ 分别是彩色图像归一化并量化的梯度图和局部二阶矩图, 图2(c)是得到的均匀性图。



图2 三种灰度图

这个均匀性图不仅结合了图像的梯度和局部矩信息, 而且还体现了多分辨率特性, 梯度分辨率是 3×3 , 而局部矩的分辨率是 5×5 。因此, 均匀性图能反映图像更准确的局部信息。

2 分水岭算法和区域合并

2.1 初始分割——分水岭算法

对上节得到的均匀性图进行分水岭分割之前, 先进行一个阈值处理, 这一阈值称为“地面水平线 (Ground water levels)”。阈值的选取难以确定, 过大可能使图像细节丢失, 太小也不利于后续的区域合并, 通常取 15 (见文献 [2])。根据阈值 T , 对均匀性图作如下剪切处理:

$$p(i, j) = \begin{cases} T & \text{if } p(i, j) \leq T \\ p(i, j) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

均匀性图经上述处理后, 输入分水岭进行分割。这里我们采用 8-邻域系统利用 Vincent 的算法 [7]。经过分割, 图像被分水线围成一个个的汇水盆地, 每个汇水盆地按形成的顺序从 1 开始依次编号, 分水线上的像素标记为 0, 这样, 图像上所有像素都有标记。然后, 对标记为 0 的像素在其 8 邻域内递归地寻找空间相邻的颜色最接近的区域, 用该区域的标记来取代 0 标记, 即把分水线上的像素归入邻近最相似的区域内, 这样得到一幅区域拼凑图。Akiyo 经过分水岭初始分割得到 454 个标号区域, 如果不进行预处理直接对图 1(a) 求均匀性图, 经过分水岭分割后得到 479 个标号区域, 可见预处理的作用。

显然, 分水岭算法分割经常导致过度分割。这是它的不足, 但它能找到精确的对象边缘, 尽管其中存在伪边缘, 但只要去除这些伪边缘, 就能得到合理的分割结果。接下来进

行的区域合并就是要消除伪边缘。

2.2 初始合并

区域拼凑图中存在若干小区域, 这些小区域一般没有语义意义, 通常是噪声像素引起的。去除这样的小区域可以进一步减少区域个数, 还可以降低紧接着的 RAG 区域合并代价。因此, 根据区域面积进行初始合并区域, 是区域合并的第一阶段。

小区域的面积可以用一个阈值 M 来约束, 区域的面积定义为区域内像素的个数, M 取值一般不超过 8。这些小区域虽然像素个数少, 但是区域的方差通常都较大, 如果以一个区域整体进行合并, 往往使得合并后的区域不能真实地反映该区域的特征并影响其周围的特征。因此, 这里的合并准则采用逐像素寻找与之颜色最近的邻近区域, 每合并一个像素, 相似区域的属性更新一次, 标记图像对应像素的标记也要更新。

本文把像素个数不足 4 个的小区域, 逐像素合并到最相似的邻近区域中。Akiyo 初始分割结果经过合并可消除 121 个小区域, 得到 333 个区域。

2.3 RAG 区域合并

经过初始合并之后, 进入区域合并的第二步: 根据 RAG 进行区域合并。首先按照栅格方式扫描标记图像, 得到图像区域的拓扑图, 即区域连通图 RAG, 如图 3 所示。

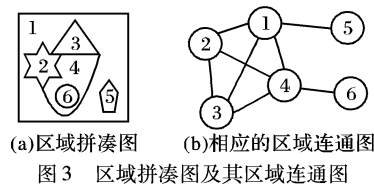


图3 区域拼凑图及其区域连通图

图3(b)中的点代表区域, 点的属性用它所表示的区域的相关属性集表示。本文 RAG 中第 k 点的属性用对应区域内的颜色均值 μ_k 和方差 σ_k^2 表示, 定义如下:

$$\mu_k = \frac{1}{N_k} \sum_{i=1}^{N_k} X_i; \sigma_k^2 = \frac{1}{N_k} \sum_{i=1}^{N_k} |X_i - \mu_k|^2 \quad (5)$$

图中的边表示构成边的两个端点是连通的。两个区域如果共享一条边界, 就认为是连通的。边分配有权值, 本文采用 Fisher 距离度量 [4], 它表示了两个邻接区域之间的相异度, 定义如下:

$$\begin{aligned}d^2(\mu_i, \mu_j) &= \frac{(N_{R_i} + N_{R_j}) \|\mu_i - \mu_j\|^2}{N_{R_i} \sigma_i^2 + N_{R_j} \sigma_j^2}, \text{ if } \sigma_i \neq 0 \text{ and } \sigma_j \neq 0 \\ d^2(\mu_i, \mu_j) &= \|\mu_i - \mu_j\|^2, \text{ if } \sigma_i = 0 \text{ and } \sigma_j = 0\end{aligned}\quad (6)$$

区域合并的准则是根据邻接区域的相异度, 先合并相异度最小的一对邻接区域, 即先合并最小 Fisher 距离边所连接的两个点, 用一个新的点取代, 新生成点的均值与方差按公式 (5) 计算, 然后更新 RAG 图, 按公式 (6) 重新计算边的权值, 再进行下一次合并, 如此迭代, 直到满足规定的终止条件。

RAG 迭代是较费时的, 为了提高速度, 可考虑采用文献 [8] 的快速算法。

2.4 区域合并终止条件

一般区域合并的终止条件是设定迭代次数, 或设定一个阈值, 当达到规定的合并次数, 或 RAG 的最小权值边的值超过阈值时终止合并。迭代次数和阈值的选取都没有一个恰当的准则, 往往要根据不同的图像进行手工调整, 需要反复进行试验来确定。我们根据文献 [9], 综合考虑区域合并过程中的信号损失和图像保留的区域数目的关系, 推导出一种新的自动停止区域合并的准则。

首先定义一个图像区域颜色散度 J_r 和一个区域数目比例 λ_r :

$$J_r = \frac{\sum_{p=1}^{R_r} J_w^p}{J} = \frac{\sum_{p=1}^{R_r} (N_p \times \sigma_p^2)}{N \times \sigma^2}$$

$$\lambda_r = \frac{R_r}{R + \kappa * R'} \quad (\kappa = 1, 0) \quad (7)$$

其中, N_p 表示第 p 个区域内的像素数, σ_p^2 表示第 p 个区域的方差, J_w^p 表示第 p 个区域的颜色散度, 用区域累积方差表示, J 表示图像总的颜色散度, N 表示图像总的像素数, σ^2 表示图像总的方差. R' 是第一步合并区域去除的小区域的个数, R 表示初始分割结果经过第一步区域合并后得到的区域数目, R_r 表示第 r 次合并后保留下来的区域数目. 假设合并前所有区域的方差均为 0, 即区域内只有一种颜色时, 则 $J_r = 0$, $\lambda_r = 1$. 随着区域的不断合并, λ_r 不断减小, 新组合的区域的区域颜色散度将会不断增加, 总的区域颜色散度 J_r 也随之增加. 当所有区域合并成一个区域时, J_r 达到 1, λ_r 趋近于 0, 实际上 $\lambda_r = 1 / (R + \kappa * R')$. 从图像分割的角度, 人们希望能用最少的区域来代表一幅图像内的信息, 即 λ_r 越小越好; 而从信息损失的角度, 人们希望分割后的各个区域内的信息损失越小越好, 即图像的区域颜色散度 J_r 越小越好. 但是, $J_r \in [0, 1]$ 是关于 r 的增函数, 而 $\lambda_r \in (0, 1]$ 是减函数, J_r 和 λ_r 此消彼长, 两者不可能同时达到最小值. 我们折衷取 $J_r + \lambda_r$ 的最小值作为区域合并的终止准则.

我们发现区域每合并一次, λ_r 均按固定步长 $\Delta = 1 / (R + \kappa * R')$, $\kappa = 0, 1$ 递减, 而 J_r 是递增. J_r 的增量是:

$$\Delta J_r = \frac{N_i(\sigma_{new}^2 - \sigma_i^2) + N_j(\sigma_{new}^2 - \sigma_j^2)}{J}, r = 2, \dots, R \quad (8)$$

式中 σ_{new}^2 是第 r 次合并连通区域 i, j 得到的新区域的颜色方差, σ_i^2, σ_j^2 是合并前区域 i, j 的颜色方差. 合并过程中, 只要 J_r 的增量 ΔJ_r 不超过 λ_r 的增量 Δ , 即:

$$\Delta J_r \leq \Delta \quad (9)$$

就能保证 $J_r + \lambda_r$ 不断减少. 这就是本文的区域合并终止条件.

3 实验结果及分析

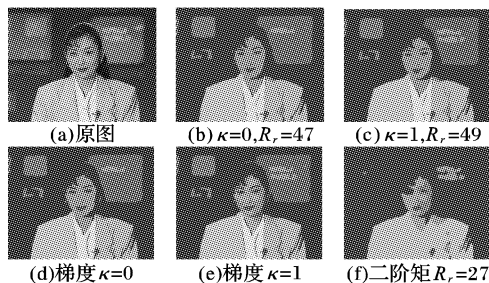


图 4 Akiyo 及其分割结果

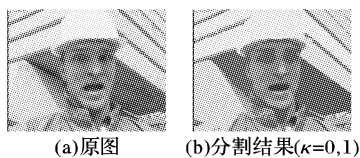


图 5 Foreman 及其分割结果

利用本文的方法对图 1(a) 进行分割, 最后的结果见图 4. 图 4(d)、图 4(e) 是采用完全相同参数但作用于梯度图上进行分割的结果. 从图 4(b) 可看出, 提取 Akiyo (352 × 288) 的

均匀性图进行分割形成了 47 个色块区域, 而提取梯度分割结果有 65 个区域, 从视觉上看, 两者几乎没有差别, 但本文的方法分割区域的个数要少很多. 尤其当 $\kappa = 1$ 时两者的差距明显扩大, 基于均匀性图的分割结果只有 49 个区域, 而基于梯度图的分割形成 104 个区域. 基于二阶矩的分割结果如图 4(f), 在 $\kappa = 0$ 与 $\kappa = 1$ 时均形成 27 个区域, 由于分辨率的原因, 其结果相当粗糙. 通过对比可以看出, 基于均匀性图进行分水岭分割既克服了二阶矩的粗糙, 又克服了梯度对噪声的敏感. 图 5 是采用相同的参数基于均匀性图的分割结果, Foreman (352 × 288) 最后形成了 234 个区域, $\kappa = 0$ 与 $\kappa = 1$ 时区域合并的结果相同.

利用本文的方法对彩色图像进行分割, 为了保留更多细节, 一般取 $\kappa = 1$, 其分割结果基本符合人的视觉分割期望. 但是从两幅图中也可看到, 一些细节消失了, 比如播音员的耳朵看不到了, Foreman 的眼睛模糊了, 左肩也部分丢失了, 头盔也融入了背景. 这些细节消失的原因在于均匀性图取矩和梯度的极大值, 细节部分的二阶矩要大于梯度值, 但是二阶矩的分辨率不足从而模糊了细节. 如果在细节处均匀性图取分辨率高的梯度值而不取较大的矩值, 将能得到更好的分割结果. 对其他一些图像的实验结果表明, 本文的方法对于无显著纹理的彩色图像分割效果更佳.

4 结语

本文利用经典分水岭算法实现对彩色图像分割, 针对影响分水岭分割质量的两个因素, 分别提出了一种均匀性图和两步区域合并的概念. 实验结果表明本文的方法是有效的, 并且该方法还适用于多光谱图像, 无需繁琐的后处理.

参考文献:

- [1] 龚天旭, 彭嘉雄. 基于分水岭变换的彩色图像分割[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2003, 31(9): 74-76.
- [2] SAARINEN K. Color image segmentation by a watershed algorithm and region adjacency graph processing [A]. Image Processing, IEEE International Conference on [C]. 1994. 1021-1025.
- [3] FLORES FC, POLIDORIO AM, LOTUFO RA. Color Image Gradients for Morphological Segmentation: the Weighted Gradient Improved by Automatic Imposition of Weights [A]. Computer Graphics and Image Processing, Proceedings. 17th Brazilian Symposium on [C]. 2004. 146-153.
- [4] TRÉMEAU A, COLANTONI P. Regions Adjacency Graph Applied to Color Image Segmentation [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(4): 735-744.
- [5] COLANTONI P, LAGET B. Color image segmentation using region adjacency graphs [A/OL]. Image Processing and Its Applications, Sixth International Conference on [C/OL]. 1997, 2: 698-702.
- [6] DENG Y, KENNEY C, MOORE MS, MANJUNATH BS. Peer Group Filtering and Perceptual Color Image Quantization [A]. Circuits and Systems, Proceedings of the 1999 IEEE International Symposium on [C]. 1999, 4: 21-24.
- [7] VINCENT L, SOILLE P. Watersheds in Digital Spaces: An Efficient Algorithm Based on Immersion Simulations [J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, 1991, 13(6): 583-598.
- [8] HARIS K, EFSTRATIADIS SN, MAGLAVERAS N, et al. Hybrid Image Segmentation Using Watersheds and Fast Region Merging [J]. Image Processing, IEEE Transactions on, 1998, 7(12): 1684-1699.
- [9] 叶齐祥, 高文, 王伟强, 等. 一种融合颜色和空间信息的彩色图像分割算法[J]. 软件学报, 2004, 15(4): 522-530.