

将 Otsu 用于多阈值彩色图像分割的方法及优化

李中健, 杜娟, 郭璐

LI Zhong-jian, DU Juan, GUO Lu

西北工业大学 自动化学院, 西安 710072

College of Automation, Northwest Polytechnical University, Xi'an 710072, China

E-mail: dujuan329329@126.com

LI Zhong-jian, DU Juan, Guo Lu. Multi-threshold segmentation and optimization based on Otsu in color image. *Computer Engineering and Applications*, 2010, 46(11): 176-178.

Abstract: As it is of deficiency that the conventional Otsu algorithm is only applicable to single-threshold, the algorithm is extended to multi-threshold color image segmentation. Firstly, the selection of meaningful peak values among a group of maximum values is carried out. Then, according to the peak values, the diagram is divided into a certain number of segmentation intervals, in which the threshold is selected. Based on methodology of morphology, the segmentation is optimized. And the influence, as a result of ignoring the characteristics of space, which the threshold technique imposes on noises, is lessened. The results of the experiment indicate that the Otsu algorithm based on multi-threshold color image segmentation is able to implement automatic and rapid multi-threshold segmentation, and is noise-resistant to some extent.

Key words: color quantization; multi-threshold; the meaning peak; morphology

摘要: 针对传统 Otsu 算法只用于单阈值分割的不足, 将 Otsu 算法推广到多阈值彩色图像分割中, 提出先在众多极大值中寻找有意义峰值, 根据峰值将直方图划分成多个待分割区间, 再在每个区间进行阈值选取的方法; 并且综合运用了形态学的方法对分割结果进行优化, 降低阈值法因不考虑图像空间特性而造成的对噪声敏感的影响。实验结果表明, 该方法能自动而快速地对彩色图像进行多阈值分割, 而且具有较强的抗噪能力。

关键词: 颜色量化; 多阈值; 有意义峰值; 形态学

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2010.11.054 文章编号: 1002-8331(2010)11-0176-03 文献标识码: A 中图分类号: TP391.41

1 引言

图像分割是图像处理和机器视觉的基本问题之一, 作为从图像处理到图像分析的重要过渡环节, 其分割的准确性直接影响后续任务的有效性, 因此研究图像分割具有十分重要的意义。对彩色图像进行分割有两个首要的问题需要考虑^[1]: 第一, 选择什么样的彩色模型; 第二, 采用什么样的分割方法。

图像分割的方法通常归纳为基于直方图的阈值化方法和基于区域增长的方法两大类。其中阈值法因其简单、计算量小、性能较稳定而成为图像分割中应用最广泛的分割技术。Otsu 在 1979 年提出的最大类间方差法(也称为大津方法)一直被认为是阈值自动选取方法中的最优方法, 是在判决分析最小二乘法原理的基础上推导得出的, 其基本思路是选取的最佳阈值应当使得不同类间分离性最好, 是一种具有客观评价标准的图像分割优化方法。通常 Otsu 法用于灰度图像的单阈值分割, 文章提出将 Otsu 用于彩色图像的多阈值分割。在彩色模型的选取上, 如何使用颜色信息获得对分割有效的直方图是一个需要仔

细思考的问题^[2]。从应用的角度看, 选择面向彩色处理的颜色模型中最常用的 HSI 模型, 它克服了 RGB 颜色模型不直观以及各分量高度相关的缺点, 而且 H 和 S 分量的大小与人对颜色的感受是紧密相连的, 这种彩色描述对人来说是自然的、直观的^[3]。其中, H 表示色调(S 表示饱和度, I 表示亮度), 在 3 个分量中更能反映不同颜色物体的差异, 因此可以获得对于阈值分割更有效的直方图。

针对传统 Otsu 算法只能单阈值分割的不足, 尝试将 Otsu 算法推广到彩色图像的多阈值分割中; 另外, 由于阈值分割不考虑图像的空间信息, 因此对于噪声和灰度不均匀很敏感。引入形态学方法, 在改善优化分割效果方面做了有效尝试。

2 基于 Otsu 的多阈值彩色分割方法

2.1 分割预处理

彩色图像信息量巨大, 一幅 $m \times n$ 大小的彩色图像可能含有 $m \times n$ 种不同的颜色。并且, 无论选择何种颜色模型, 都是由

基金项目: 航空科学基金(No.20070718001)。

作者简介: 李中健(1970-), 男, 副教授, 硕士生导师, 研究方向: 鲁棒控制、智能控制、计算机控制、飞行控制与先进仿真等; 杜娟(1981-), 女, 硕士, 研究方向: 无人直升机视线制导; 郭璐(1983-), 女, 硕士, 研究方向: 数字图像处理及仿真。

收稿日期: 2008-10-07 修回日期: 2008-12-26

$m \times n \times 3$ 的矩阵构成。如果能够在不影响其效果的情况下减少颜色数量, 降低矩阵大小, 那么将在后续处理中大大提高运行速度。

利用颜色量化, 实现彩色图像颜色数目的减少, 并由索引图像代替原图。索引图像^[4]有两个分量, 即数据矩阵 X 和彩色映射矩阵(色图矩阵) MAP 。矩阵 MAP 是一个 $p \times 3$ 大小且由 $[0, 1]$ 的浮点值构成的数组。 MAP 的长度同它所定义的颜色数目相等, 每一行代表每一种颜色。矩阵 X 是一个和原图大小相等的二维整数矩阵, 每个像素的颜色由矩阵 X 在对应位置的值作为指向 MAP 的一个指针来决定, 即矩阵 X 中值为 k 的元素就代表矩阵 MAP 中的第 $k+1$ 行所表示的颜色(当 X 为 uint8 类或 uint16 类图像时)。

为了能够获得对分割有效的直方图, 需要对颜色量化后的图像进行一定的处理: 首先对彩色映射矩阵 MAP 按照 H 分量的递增(递减同样可以)进行排序, 然后在 MAP 排序后将数据矩阵 X 进行指针的对应关系的调整, 需要保证排序前后的索引图像不发生变化; 绘制直方图时, 以 H 分量为横轴, 以每种颜色出现的次数为纵轴, 在坐标系中标记出对应颜色出现次数的所有点(以红色 * 符号表示), 并以 MAP 中的第一行到最后一行为顺序将所有点进行连接。这时, 如波峰波谷、极大极小值等, 已经具有用于阈值分割的实际价值了。

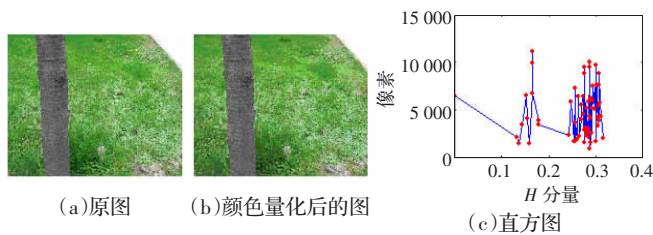


图1 分割前的准备工作

2.2 局部区间的划分

Otsu 法的实质是在两个波峰之间找到一个统计意义上的最佳波谷, 用波谷划分开两个独立的波峰, 从而区分开目标和背景。然而, 实际应用中遇到的单一目标的图像比较少, 即使在单一目标情况下, 由于目标或者背景的复杂性, 在直方图中也很可能出现多峰的情况, 这时, 多阈值分割不可避免。从这点出发, 把 Otsu 法推广到多阈值分割中。在图 2 中, 如果只考虑局部区域 $A-B$ 或 $B-C$ 或 $C-D$ 等等, 可以用最大类间方差法很好地找到 (A, B) 或 (B, C) 之间的分割阈值, 称为局部最佳阈值。

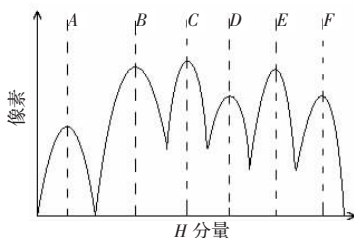


图2 多峰值图像

由上可知, 多阈值分割首先要解决的问题就是如何划分待分割区间, 换句话说, 首先要确定在哪些区间上选取阈值, 即确定待分割区间的边界。在理想状况下, 如图 2 所示, 同一个目标物上所有的点位于同一个波峰中, 图像中有 k 个目标物则有 k 个波峰, 以相邻的峰值为区间, 就可以找到每个区间最佳阈值

了。然而实际情况并非如此, 由于光线、噪声以及同一目标物自身存在的差异等多种因素影响, 使得直方图将存在多个峰值。这些峰值当中有许多都属于没有实际分割意义的“伪峰值”, 这里从峰值的实际意义出发, 改进了文献[5]中检验独立峰值的方法, 提出按照一定方法剔除“伪峰值”, 选取有意义的峰值。

有意义的峰值的选取方法是: 首先, 获取直方图中所有的极大值, 剔除所有像素数目小于门限值 T_1 的极大值, 将 T_1 规定为像素总数的 $1/p$, 因为在预处理中已经将图像减少为 p 种颜色, 也就是说如果颜色分布绝对均匀的话则每个颜色的像素数目都等于像素总数的 $1/p$, 如果不足则属于小范围分布, 将不对其进行单独的分割。然后, 在剩下的极大值中, 保留孤立的极大值为峰值, 选取密集极大值中的最大值为峰值。具体实现步骤为: 确定门限值 T_2 , T_2 取图像 H 分布范围的 $1/10$, H 的最大范围是 $[0, 1]$, 即 T_2 最大不超过 0.1 , 这在 H 上的差异已经足够小, 而实际上并不需要很相近的 H 划分开。将相邻极大值的间隔与 T_2 比较, 若连续 n 个 ($n \geq 2$) 的间隔都大于 T_2 , 取形成这连续 n 个间隔的 $n+1$ 个极大值中的 $n-1$ 个极大值(去除两端的极大值)为峰值; 若出现连续任意 n 个 ($n \geq 1$) 间隔小于 T_2 , 那么取形成这些间隔的 $n+1$ 个极大值(包含两端的极大值)中的最大值为峰值。

2.3 局部阈值的选取

当获得了局部区间后, 多阈值分割则进入阈值选取的步骤。实际上, 这时的多阈值分割已经简化为在每一个局部区间内的单阈值分割了。在待分割区间中寻找一个分割阈值, 采用 Otsu 法。Otsu 法确定阈值的标准是使分开的两部分的类间方差最大, 将其算法应用在文中的具体步骤如下:

- (1) 找出区间端点(即为两个相邻的有意义的峰值);
- (2) 分别取端点内的所有点为阈值:

① 计算该阈值所分开两类的各自的像素数 n_1, n_2 和平均值 m_1, m_2 ;

- ② 计算部分的类间方差: $b(i) = n_1 \times n_2 \times (m_1 - m_2)^2$;

- (3) 找出类间方差最大的阈值 T , 即

$$b(T) = \max(b(i))$$

虽然准备工作中的颜色量化已经大大减小了第(2)步中的计算量, 但是, 考虑到由于阈值不会出现在极大值上, 故只计算区间中极大值以外的点的类间方差, 这将再次减小计算量。

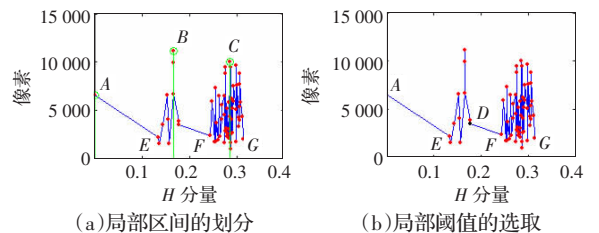


图3 多阈值分割结果

如图 3(a)所示, 图中绿色圈则是按照上述方法获取的有意义的峰值。例图中存在 3 个有意义的峰值 A, B, C , 也就是说, 图像被划分为以下几个区间: $0-A, A-B, B-C, C-G$, 其中, 图像中

需要进行阈值分割的区间分别为 $A-B$ 和 $B-C$ 。图 3(b) 中的黑色点 A 和 D 表示两个待分割区间内类间方差最大意义下的最佳分割阈值。由于在计算每个点的类间方差时当前点归为第一类,所以,直方图最终分割为三个部分: A 点为第一部分; E 点到 D 点为第二部分; F 点到 G 点为第三部分。这三部分分别为道路、树木和草三个对象,图 3(c) 显示了初始的多阈值分割结果。

3 形态学在分割后的优化

由于阈值法仅考虑图像的彩色信息而不考虑图像的空间信息,因此不可避免地对噪声和色彩不均匀因素很敏感,分割后很容易破坏对象的完整性^[6]。为了尽量减少敏感因素的影响,引入了形态学的方法对阈值分割进行优化,以达到更理想的分割效果。

3.1 噪声点处理

如图 3(c) 所示,没有进行形态学优化的阈值分割结果虽然已经获得了较好的效果,不同的对象形成了较大、较完整的连通区域,但是图像中仍有许多离散分布的噪声点。例如,草地的连通区域中分布了许多被认为是树木或道路的噪声点,这些噪声点对于草地来说是离散小孔,对树木和道路来说是分布在树木和道路连通区域以外的离散点(树木和道路上的噪声点也是如此)。这些噪声点是在分割中希望尽可能避免的,但是基于阈值的方法却无法摆脱。

形态学是研究动物和植物的形态和结构的学科。图像处理中的形态学是将数学形态学(mathematical morphology)作为一种工具,用于从图像中提取对于表达、描绘区域形状有用的图像分量以及图像的预处理和后处理^[7]。“开”运算,可以平滑对象轮廓,断开狭窄的连接,去掉细小的突出部分,即分布在对象大面积连通区域以外的离散点;“闭”运算,可以平滑对象轮廓,填充上对象中的空洞,即分布在对象连通区域中的离散小孔。根据上述分析,立即对前面得到的分割图像进行开闭运算,结果却很不理想,如图 4 所示,并不是理想中的去除了每个对象的噪声点。

关键的原因在于:对图像进行开运算时,运算对象是相对的,始终是处于数值发生变化的边界处数值相对较大的区域。而多阈值分割图像在一个图像中获得多个对象,在文中他们的数值由小到大依次是道路、树木、草地。以树木为例,树木比道路的数值大,故树木相对于道路是运算对象,因此树木分布在道路中的噪声点,被当作分布在对象大面积连通区域以外的离散点而被去除;而树木比草地的数值小,故二者间草地是运算对象,因此树木分布在草地中的噪声点非但没有去除反而被扩大。同理,闭运算获得的结果也不理想。

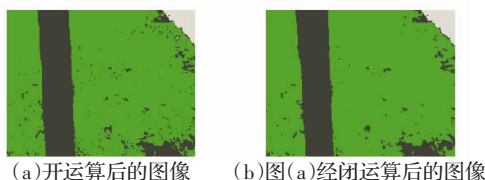


图 4 对分割结果进行开闭运算

为了能够消除噪声点,又避开上述缺点,从开运算的思想出发,采取对不同对象的二值图像分别进行运算然后再合并的方法。图 5 显示了多阈值分割后的 3 个对象的二值图,每个对象的噪声影响还是比较明显的;图 6 是分别对每个对象的二值图进行形态学运算后的二值图,抑制噪声的效果非常明显。



图 5 多阈值分割得到的多个对象的二值图像



图 6 图 5 经形态学运算后的结果

3.2 特殊点处理

如图 7(a) 所示,是将以上 3 幅已经进行噪声处理后的图像合并后的效果。进行到这里,基于多阈值的彩色图像分割及优化都已完成,效果很好。仔细观察图 7(a) 可以发现,图中有少数点被赋予 3 个对象颜色之外的第四种颜色,这些点是由于对 3 个二值图像分别进行运算然后再合并造成的,即在合并图中漏操作或重复操作的像素点。例图中此类点共 2 104 个,占图像像素总数的 0.006 8。为了消除这些极少数特殊点的影响,达到更好的分割效果,处理方法如下:对所有特殊点,取其邻域 8 点中出现频率最高的点对其进行代替,首先代替的是特殊点形成的小区域的边界点,然后再对剩余特殊点进行邻域 8 点最高频点的代替,直到特殊点个数降到零为止。如图 7(b) 所示,是该文多阈值彩色图像分割的最终结果,效果令人满意。

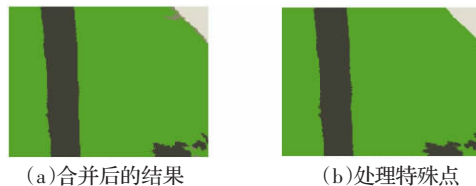


图 7 分割后的优化结果

4 结论

从人类视觉出发,选择 HSI 彩色空间进行图像处理,提出了将 Otsu 推广到多阈值的彩色图像分割方法;并且综合利用了形态学的方法进行优化,降低阈值法因不考虑空间特性而造成对噪声敏感的影响,明显提高了分割对象的完整性,实现了自动的多阈值彩色图像分割。实验结果表明,该方法较传统的 Otsu 阈值分割不仅应用面更广,而且取得令人满意的分割结果。

参考文献:

- [1] Cheng H D, Jiang X H, Sun Y, et al. Color image segmentation: Advances and prospects[J]. Pattern Recognition, 2001, 34: 2259-2281.
- [2] 张晓芸. 彩色图像分割算法的研究与实现[D]. 重庆: 重庆大学, 2005.
- [3] Gonzalez R C, Woods R E. Digital image processing [M]. 2nd ed. [S.l.]: Peason Education North Asia Limited, 2003: 233-240.
- [4] Gonzalez R C, Woods R E, Eddins S L. Digital image processing using Matlab[M]. [S.l.]: Peason Education Asia Limited, 2004: 146-148.
- [5] 王祥科, 郑志. Otsu 多阈值快速分割算法及其在彩色图像中的应用[J]. 计算机应用, 2006, 26: 14-15.
- [6] 邢延超, 谈正. 基于多阈值融合的图像分割[J]. 计算机学报, 2004, 27(2): 252-256.