

结合聚类与改进分水岭算法的彩色图像分割^①

徐蔚钦, 许雪梅, 黄 帅

(中南大学 物理科学与技术学院, 长沙 410083)

摘 要: 针对传统分水岭算法产生严重的过分割问题, 提出了一种聚类和改进分水岭算法结合的彩色图像分割算法。该算法首先利用聚类算法在 HSV 颜色空间将特征相似的像素归为一类, 然后对分水岭算法产生的分割区域进行种子区域生长, 并利用区域合并将剩余的小区域进行合并, 从而完成了对彩色图像的分割。实验证明该算法减少了分水岭算法的过分割现象, 提高了图像分割的精确性, 具有很好的鲁棒性和适应性。

关键词: 图像分割; 分水岭算法; 颜色聚类; 区域生长

Color Image Segmentation Based on Clustering and Improved Watershed Segmentation

XU Wei-Qin, XU Xue-Mei, HUANG Shuai

(School of Physics Science and Technology, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: In view of the existence of obvious over-segmentation problem in traditional watershed algorithm, an improved color image segmentation algorithm is proposed in this paper. This algorithm combines clustering and improved watershed algorithm methods. In HSV color space, the algorithm firstly utilizes clustering to classify pixels with similar features, then applies seed region growing algorithm for the regions generated by watershed segmentation algorithm. Furthermore, region merging approach is used to merge remaining small regions. Experimental results show that this algorithm reduces over-segmentation phenomenon significantly, and improves image accuracy while maintaining strong robustness and adaptability.

Key words: image segmentation; watershed algorithm; color clustering; region growing

1 引言

彩色图像分割技术是计算机视觉和图像分析的重要环节, 在工农业、医学、军事等领域有着广泛的应用。1991 年 Vincent 等人提出的快速分水岭分割算法^[1]是图像分割中一种重要的形态学分割方法, 具有运算简单, 易于并行处理, 对微弱边缘具有良好的响应等优点。由于图像本身存在的噪声、物体表面细微的灰度变化, 使得图像在分割过程中存在大量的伪极小值, 造成严重的过分割, 即图像被分割成过多的小区域。针对这个问题学者们提出了很多改进方法, 大致可分为三类: 1) 使用滤波方法^[2]对图像进行平滑预处理, 消除图像中的细节与噪声干扰来减少过分割, 这种方法容易使图像变得模糊, 从而影响图像分割的

精确性。2) 在处理过程中, 通过控制标记种子点数量的方法^[3,4]来消除过度分割, 这种方法能有效地防止过分割的现象, 但对标记的提取没有固定的方法, 一般需要事先具有足够关于图像目标的先验知识。3) 在后期处理中, 通过对分水岭分割的区域进行合并的方法^[5,6]来减少过分割现象, 这种方法可以将过分割区域有效地合并在一起, 但由于分割所得的区域数目过大, 合并过程的计算量往往很大, 寻找最优的合并准则也是难点。近年来, 研究人员又提出了许多结合分水岭与其他算法相结合的复合算法, 如徐秋平等人提出了基于分水岭变换和图割的彩色图像快速分割^[7], 以极少数的典型样本点取代海量的像素样本点, 提高了算法运行效率。上述的改进算法虽然在一

① 基金项目: 中国博士后基金(20070420825)

收稿时间: 2010-11-09; 收到修改稿时间: 2010-12-13

定范围里可以有效地分割图像,但仍会有部分过分割区域无法消除。同时因为分水岭算法是在灰度图上进行的,这些算法一般利用图像的灰度差异,梯度差异,区域特征差异,边界强度等信息来降低图像的过分割,忽略了彩色图像本身所提供的色彩信息,从而影响彩色图像分割的精确性。

本文在分水岭算法的基础上提出了一种聚类和改进分水岭算法相结合的图像分割算法。该方法利用彩色图像提供的色彩信息,先应用聚类算法在 HSV 颜色空间对图像进行预处理,将颜色特征相似的像素归为一类,同一类的像素具有相同的像素值,减少图像本身的噪声、纹理细节,从而先消除了很大部分过分割现象。然后从分水岭算法形成的区域出发,选出一些区域作为种子区域,根据 HSV 颜色空间的色调均值和饱和度均值的相似性规则来进行种子区域生长,将邻接相似的不同区域合为一个区域,最后将区域面积小于规定阈值的小区域合并入附近与之最相似的区域,从而对彩色图像进行有效的分割。

2 分水岭分割与聚类算法原理

2.1 分水岭分割

分水岭分割是从数学形态学上发展而来的一种基于区域的图像分割方法。该方法思想来源于盆地积水的过程:(1)首先将彩色图像图像利用公式:

$$Gray = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (1)$$

转换为灰度图,然后对灰度图求取梯度图像;(2)将梯度图像可视为一个高低起伏的地形图,原图上较平坦的区域梯度值较小,构成盆地,原图上的边界区域梯度值较大,构成分割盆地的山脊;(3)水从盆地内最低的地方渗入,随着水位不断涨高,有的盆地将被连通,为了防止洼地之间被连通,就在分割两者的山脊上筑起水坝,水位越涨越高,水坝也越筑越高;(4)当水坝达到最高山脊高度时,算法结束,此时修筑的水坝就成了分水岭,每一个孤立的积水盆地对应一个分割区域。

分水岭分割有着较好的鲁棒性,较低的时间复杂度,能够较强地提取图像的边界信息。分割结果如图2所示,从图2(c)可以看出,使用传统分水岭算法分割图像时,由于噪声和其他因素影响,如对细节的敏感

性,存在明显的过分割现象。

2.2 聚类算法对图像预处理

聚类是指将一组数据划分成不同的类的过程,使得同一类中的数据具有相同的性质,而不同类的数据则性质各异,其流程图如图1所示。本文将聚类算法应用于图像分割预处理,根据彩色图像像素的颜色特征将相似的像素归为一类,属于同一类的像素具有相同的像素值,从而达到平滑图像的目的。与文献[2]的滤波预处理方法相比,聚类算法在平滑图像的同时保证了图像边缘不被减弱,有利于分割的精确性。

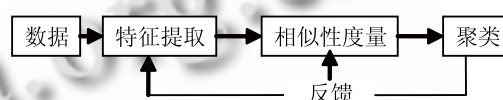


图1 聚类算法流程图

图像像素的相似与否由 HSV 颜色空间的相似性度量来决定。两种颜色之间的距离有多种表示方法,本文采用常用的圆柱形颜色空间中两种颜色的欧式距离^[8]来表示颜色相似性度量。HSV 颜色空间是一种符合人的感知的颜色空间,具有颜色完整性和人体视觉的一致性,它用色调(H),饱和度(S),亮度(V)三个分量来表示颜色。为方便计算,将(h,s,v)色度坐标统一转换为柱坐标系下的欧氏空间坐标(scosh,ssinh,v)表示。两种颜色特征分别为 i 和 j 的颜色欧氏距离计算公式为:

$$s = \sqrt{(v_i - v_j)^2 + (s_i \cosh_i - s_j \cosh_j)^2 + (s_i \sinh_i - s_j \sinh_j)^2} / \sqrt{5} \quad (2)$$

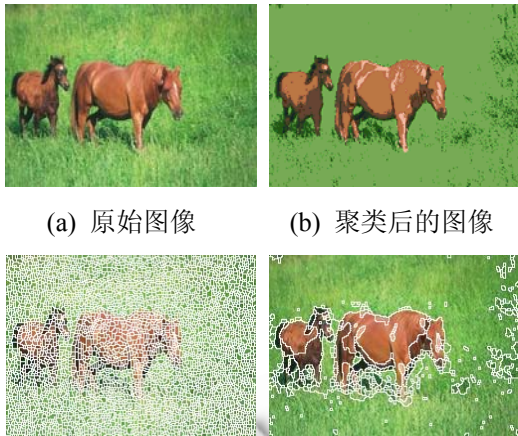
对距离 s 进行归一化, s=1 表示相距最远, s=0 则表示在 HSV 颜色空间中的距离为最小。经过实验分析,得出相似性度量 s=0.15 时,图像经过聚类算法处理后,视觉上相似的像素可以归为一类。所采用的具体算法步骤如下:

(1) 初始化。设定视觉一致性距离 s=0.15,并将第一个像素点的颜色特征作为第一个集合 A₁ 的初始聚类中心 C₁, A₁ 中像素的数目 N₁=1。

(2) 在 HSV 空间中,依次计算每个像素点与 C_i 的颜色距离 S_i,若 S_i 小于设定的颜色一致性距离 s,则将其添加到 A_i 中,对于所有标记为 i 点,重新计算 c[i]={所有标记为 i 的 data[i]之和}/标记为 i 的个数,更新聚类中心与像素数目;否则,将该像素作为新的集合 A_j 的聚类中心 C_j,依次类推。

(3) 对于每个集合 A_i , 如果存在集合 A_j , 使得两集合聚类中心的距离小于 s , 则将 A_j 合并至集合 A_i 中, 并修改 A_i 的像素数目和聚类中心, 并删除集合 A_j 。

经过聚类算法预处理后的图像再进行分水岭变换可以减少一部分的过分割现象, 结果如图 2 (d) 所示。



(a) 原始图像 (b) 聚类后的图像
(c) 传统分水岭图像 (d) 聚类后的分水岭图像
图 2 传统分水岭及聚类后分水岭分割对比

3 改进的分水岭分割算法

为了达到更好的分割效果, 本文提出了在 HSV 空间对分水岭变换后的过分割区域进行区域融合来减少过分割区域的改进算法。算法综合考虑了图像区域的色调信息、饱和度信息和区域邻接关系, 利用这三个方面的信息, 对经过分水岭分割后的过分割图像以区域为单元进行处理。改进算法由分水岭变换后图像中的种子区域选取, 相似区域生长, 小区域合并三部分组成。

3.1 种子区域选取与相似区域生长

改进算法首先根据色调均值差准则从分水岭变换生成的区域中选取部分区域作为种子区域, 然后将与种子区域性质相似的相邻区域附加到种子区域中。因为色调是决定颜色本质的基本特性, 所以若一个区域的色调均值与其邻接区域的最大色调均值差不超过阈值, 则将它选为种子区域。假设一个区域 R_t , 它的邻接区域是 R_j , ($j=1, 2, \dots, n$), n 是邻接区域的个数, 它们的均值差计算如下:

$$S(t) = \frac{\|h(i) - h(t)\|}{h(i)} \quad t = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

其中, $h(i)$ 是区域 R_i 的色调均值, $h(t)$ 是每个邻接区域的色调均值。若区域 R_i 与其邻接区域的最大色调均值

差为:

$$S_{\max} = \max_{t=1}^n (S(t)) < T \quad (4)$$

满足以上准则的区域就定义为种子区域, 这里的阈值 T 可取为 0.03。如果取值过低, 就会有更多的区域被选为种子区域, 而且不同的区域也会相互连接起来; 同样, 如果取值过高, 则所取得的种子区域数量就减少, 且图像中的某些对象就会失去。种子区域选定后对这些种子区域的相邻性进行测试, 将两两相邻的种子区域先进行合并。

而区域生长是对种子区域逐个去考察它的邻接区域是否满足相似性标准, 如果满足则将其加入到相应的种子区域, 从而实现相似区域的合并。考虑到人体视觉对颜色的色调与饱和度比较敏感, 定义两个邻接区域是否相似的相似性标准为:

$$\|H_s - H_n\| \leq T1 \cup \|S_s - S_n\| \leq T2 \quad (5)$$

其中, H_s 是种子区域的色调均值, H_n 是邻接区域的色调均值, S_s 是种子区域的饱和度均值, S_n 是邻接区域的饱和度均值, 经过对标准测试图像库中的 50 多幅图像进行测试, 实验结果表明阈值 $T1$ 的取值范围是 0.02~0.04, 阈值 $T2$ 的取值为 0.06~0.08, 所得到的图像分割结果符合人体视觉分割的结果。若阈值取值过大, 则不相似的区域也会融合在一块; 若取值过小, 则图像过分割现象依然存在。

3.2 小面积区域合并

由于噪声影响或目标表面的一些细节, 往往会产生许多比较面积小的区域, 而这些小区域的颜色特征与领域相差很大, 区域生长与合并无法消除这些小区域。因此, 可以遍历所有区域, 如果某个区域的面积小于某个阈值, 则比较与它相邻的区域的相似度, 将其合并到与它最相似的区域中去。

区域的面积大小的度量可以用像素表示。实验结果表明, 面积像素数小于图像总面积像素数 1% 的区域一般是噪声, 细节或不会引起注意的区域, 因此可以设置阈值为图像总像素数的 1%。在进行小区域合并之前必须再次刷新关系矩阵 R , 色度 (H), 饱和度 (S), 亮度 (V) 等区域信息。

3.3 改进算法流程

本文采用的改进算法流程如下图所示。

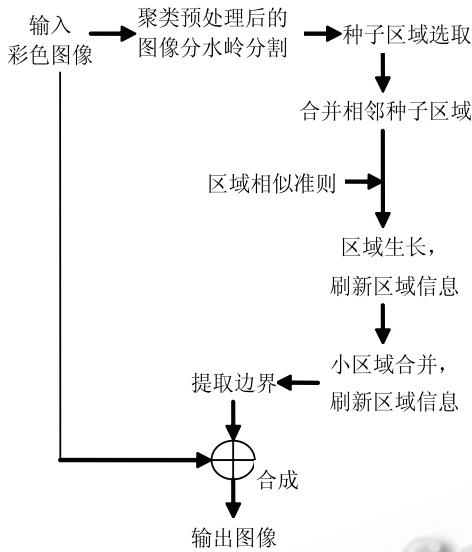


图 3 改进算法流程图

4 实验结果与讨论

为了验证上述方法的有效性，本文通过 Visual C++6.0 对标准图像库的 50 幅图像进行了测试，图 4 中四幅图像是本文算法的典型实验结果。图 4 (a) 为大小是 268*186 的原始图像。图 4 (b) 为聚类后经分水岭变换的图像，由该图可以看出过分割的情况：聚类算法将颜色特征相似像素归类后，消除了一部分的细节轮廓和噪声，平滑了图像，使分水岭变换后得到的图像中的过分割区域减少，但过分割现象还是比较明显。图 4 (c) 为区域生长后的图像，区域生长将相邻的颜色特征相似的区域合并到一块，使区域个数减少很多。图 4 (d) 为小区域合并后的图像，利用面积阈值法消除面积小于阈值的小区域后得到最后的分割效果比较理想。

为了对比本文的实验结果，采用传统分水岭分割与文献[3]中的控制标记分水岭算法对原始图像进行分割，得到分割结果如图 5 所示。在分割精确性方面，本文算法结果如图 4(d)所示，很清晰地将背景、红色花瓣、淡黄色花蕊分割开来；而控制标记分水岭分割结果依然存在过分割部分，而且图中黄色方框内花瓣与背景混在一起没有被有效分割开。在分割效果方面，本文分割算法最后得到的区域数为 12，传统分水岭分割方法得到区域数为 3126，控制标记分水岭方法得到的区域数为 111。说明在都保证分割精确性的条件下，本文分割效果远优于其他两种方法。

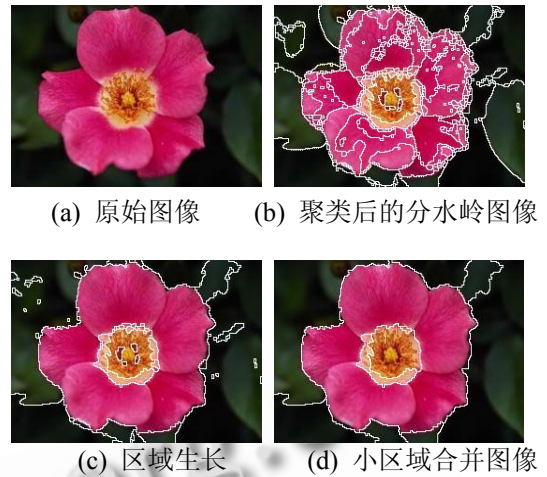


图 4 本文算法的分割过程及分割结果

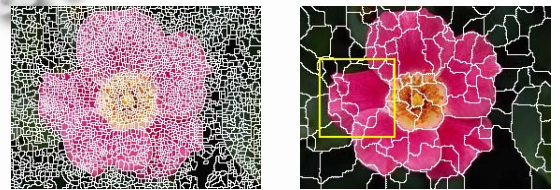


图 5 其他算法分割结果

5 结论

本文提出了一种聚类算法与改进分水岭算法相结合的彩色图像分割算法。利用 HSV 颜色空间与人体视觉感官的一致性，该算法在 HSV 颜色空间，先通过聚类算法对图像进行预处理解决了部分分水岭算法的过分割现象，然后利用区域颜色特征进行区域生长与合并。实验结果分析表明，本文提出的分割算法具有良好的分割效果，保证了分割的精确性，对不同图像具有很好的鲁棒性和适应性。虽然改进的分水岭算法使过分割现象得到了改善，但如何更好地提高算法的分割效率和效果，还需要进一步研究。

参考文献

- 1 Vincent L, Pierre S. Watershed in digital spaces: An efficient algorithm based on immersion simulations. IEEE Transactions of Patten Analysis and Machine Intelligence, 1991, 13(6):583-598.
- 2 Bieniecki W. Oversegmentation avoidance in watershed based algorithms for color images. Proc. of IEEE International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunication and Computer Science.

(下转第 21 页)

标,不控制时为 2228 辆·时,匝道控制时为 2100 辆·时,减小 5.7%,说明 ALINEA 匝道控制策略有效遏制了拥挤波蔓延到主线上游共用路段,提高了整个路网的利用效率,显示了控制策略的有效性。限于篇幅,本文仅对入口匝道控制策略的运行效益进行了评价测试。

4 结语

当前,智能交通系统(ITS)已成为研究热点,基于宏观交通流模型的交通仿真技术具有直观、灵活、高效、成本低的特点,笔者开发的宏观交通流仿真系统能细致刻画网络交通流的动态时空演化,描述拥挤的传播和消散过程,测试、评价控制策略的实施效果,研究表明该系统能为快速路网的运行状况分析和交通控制策略的评价提供辅助决策依据。

参考文献

- 郝媛,徐天东,干宏程,孙立军.城市快速路交通流特性研究. 交通运输工程与信息学报,2006,4(4):21-27.
- 张立东,王英龙,贾磊,潘景山.交通仿真研究现状分析. 计算机仿真,2006,23(6):255-257.
- 杨兆升,姜桂艳.城市交通流诱导系统结构框架研究. 公路交通科技,1997,14(3):58-60.
- 钟邦秀,杨晓光.面向对象微观交通仿真系统的研究与实现. 系统仿真学报,2002,14(4):418-421.
- 马建明,荣建,任福田,李征.信号交叉口微观仿真模型研究. 计算机仿真,2001,18(4):6-10.
- 邹智军.城市快速路入口匝道控制仿真分析. 同济大学学报(自然科学版),2009,37(5):631-636.
- 徐岩宇,高尚,徐岩涛.基于 VRGS 的交通流微观仿真软件的开发. 系统仿真学报,1999,11(3):194-197.
- 马寿峰,贺国光,刘豹.一种通用的城市道路交通流微观仿真系统的研究. 系统工程学报,1998,13(4):8-15.
- Messmer A, Papageorgiou M. METANET: a macroscopic simulation program for motorway networks. *Traffic Engineering and Control*, 1990,31(8/9):466-470.
- Messmer A, Papageorgiou M. Route diversion control in motorway network via nonlinear optimization. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 1995,3(1):144-154.
- 王宇,叶家玮,谢振东.交通流仿真系统软件设计及应用. 交通与计算机,2006,24(4):5-8.
- Kotsialos A, Papageorgiou M, Mangeas M, Haj-Salem H. Coordinated and integrated control of motorway networks via non-linear optimal control. *Transportation Research Part C*, 2002,10(1):65-84.
- Diakaki C, Papageorgiou M. Simulation studies of integrated corridor control in Glasgow. *Transportation Research*, 1997, 5(3/4):213-215.
- 姬杨蓓蓓,张小宁,孙立军.基于元胞传输模型的交通事件消散建模. 重庆交通大学学报(自然科学版),2008,27(3):74-80.
- 干宏程,孙立军.城市快速路动态网络交通流建模及仿真研究. 交通与计算机,2005,23(2):24-26.
- 徐春艳.基于仿真评价的城市快速路网集成控制研究[硕士学位论文].上海:上海理工大学,2010.

(上转第 56 页)

- Lviv, Ukraine: House of Lviv Polytechnic, 2004:169-172.
- 高丽,杨树元,李海强.一种基于标记的分水岭图像分割新算法. 中国图象图形学报,2007,6(12):1025-1032.
- 陈军波,喻圣辉,舒振宇.基于控制标记符分水岭的医学图像分割. 长江大学学报,2008,5(2):96-98.
- Haris K, Efstratiadis SN, Maglaveras N, Katsaggelos AK. *IEEE Trans on image processing*, 1998,7(12):1684-1699.
- O'Callaghan RJ, Bull DR. Combined morphological-spectral unsupervised image segmentation. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2005,14(1):49-62.
- 徐秋平,郭敏,王亚荣.基于分水岭变换和图割的彩色图像快速分割. 计算机工程,2009,35(19):211-213.
- Hafner J, Sawhney HS. Efficient Color Histogram Indexing for Quadratic Form Distance Functions. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1995,17(7):729-736.