

# A Color Image Segmentation Algorithm Based on Hybrid Method\*

—By Integrating Watershed with Automatic Seeded Region Growing and Merging

Guoxiong Xu<sup>1</sup>, Haina Wang<sup>1</sup>, Jinxian Hu<sup>1</sup>, Liqiang Wang<sup>2</sup>, Yingmin Bu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Computing, Anhui University of Technology, Ma'anshan

<sup>2</sup>State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentation, Zhejiang University, Hangzhou  
Email: xuguoxiong555@hotmail.com, nn492640550@163.com

Received: Feb. 21<sup>st</sup>, 2013; revised: Mar. 7<sup>th</sup>, 2013; accepted: Mar. 19<sup>th</sup>, 2013

Copyright © 2013 Guoxiong Xu et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Abstract:** A color image segmentation algorithm which integrates watershed with automatic seeded region growing and merging is proposed in the paper. Firstly, the image was transformed from RGB color space to HSV space. Next, watershed algorithm was applied to the image to obtain initial segmentation effect. And then, based on the results of watershed segmentation, some regions in the image were selected as seeded regions automatically for seeds growth algorithm by making use of color differences and relative Euclidean distance. Finally, a region combining algorithm was executed to avoid excessive segmentation. The proposed method combines the advantages of watershed and region growing approach, and it is in accord with the human vision segmentation strategy. This algorithm was applied to segment some endoscopic images, the experimental results confirm its effectiveness and efficiency.

**Keywords:** Image Processing; Color Image Segmentation; HSI Color Space; Watershed Segmentation; Seeded Region Growing; Region Merging

## 一种基于混合方法的彩色图像分割算法\*

—结合分水岭算法、种子区域生长和区域合并的混合方法

徐国雄<sup>1</sup>, 王海娜<sup>1</sup>, 胡进贤<sup>1</sup>, 王立强<sup>2</sup>, 卜应敏<sup>1</sup>

<sup>1</sup>安徽工业大学计算机学院, 马鞍山

<sup>2</sup>浙江大学国家光学重点实验室, 杭州

Email: xuguoxiong555@hotmail.com, nn492640550@163.com

收稿日期: 2013年2月21日; 修回日期: 2013年3月7日; 录用日期: 2013年3月19日

**摘要:** 本文提出一种新的结合分水岭与种子区域生成、区域合并的彩色图像分割算法。首先将 RGB 颜色空间转换成 HSI 间, 应用分水岭算法对图像进行初始化分割, 形成过分割效果。接着基于分水岭算法得到的分割结果, 利用颜色空间的像素与其领域的颜色差异及相对欧式距离自动选出一些区域作为种子区域进行自动种子生长算法。为了克服过分割的不良效果, 该方法充分利用了分水岭算法和区域合并算法的各自优势。利用提出的算法对多幅图像进行实验, 结果证明此算法有较好的分割效果。

**关键词:** 图像处理; 彩色图像分割; HSI 颜色空间; 分水岭算法; 种子区域生长; 区域合并

\*资助信息: 安徽省教育厅高校自然科学基金项目(KJ2009132)。

## 1. 引言

图像分割是图像分析和模式识别的首要问题和基本问题，也是图像处理的经典难题。图像分割是指把图像分成各具特性的区域并提取出感兴趣目标的技术和过程<sup>[1]</sup>，所以一直受到人们的高度重视，至今已提出了上千种分割算法。彩色图像分割大致分为：直方图阈值法、特征空间聚类法、基于区域的方法、边缘检测方法、模糊方法和神经网络方法等 6 种方法。其中基于区域的方法包括区域生长、分水岭算法、分裂和归并，以及它们的混合技术。这些灰度图像分割算法不仅可以应用于不同的颜色空间，而且可以直接应用于每个颜色分量上<sup>[2]</sup>。

SRG 是由 Adams 和 Bischof 提出的一种图像分割方法<sup>[3]</sup>，该方法是以一组“种子”点开始将与种子性质相似(诸如灰度级或颜色的特定范围)的相邻像素附加到生长区域的每个种子上<sup>[4]</sup>。Frank Y. Shih 和 Shouxian Cheng 将该方法应用在彩色图像分割上，对过分割的不良效果和区域内部的不一致性加以改善，并取得了较好的效果<sup>[5]</sup>。分水岭算法具有较强的抗噪声干扰能力，可以得到连通的、封闭的及位置准确的轮廓。但由于图像中会出现一些不可预知的噪声或者纹理细节等原因，直接运用分水岭算法进行图像分割，通常会产生过分割现象。由此，本文提出一种结合分水岭算法和基于区域的自动种子区域生长算法，利用区域生长的互补性来克服过分割的不良效果并保证了内部区域的一致性。

## 2. 算法的描述

结合分水岭与自动种子区域生成算法进行彩色图像分割。算法的基本流程如图 1 所示，首先将彩色图像转换到 HSI 颜色空间；其次利用分水岭算法进行分割形成初分割效果；再根据一定的规则，自动选取一部分区域作为种子区域；最后在此基础上，进行区域生长和区域合并。

### 2.1. 颜色空间选择

颜色空间是对颜色进行量化的空间坐标。对于色彩的描述大致可分为三类模型：色度学模型、工业模型以及视觉模型。例如 RGB 颜色模型、CMY 颜色模型、YUV 颜色模型、HSV 颜色空间和 HSI 颜色空间

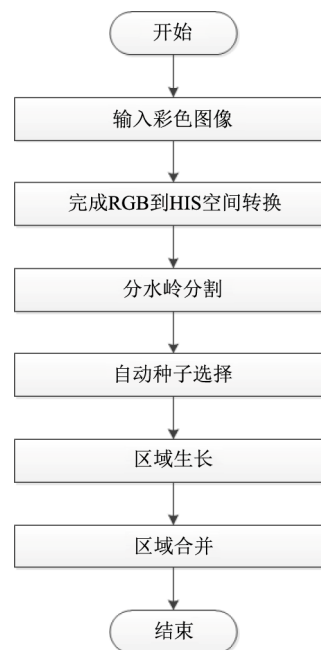


Figure 1. Algorithm flow chart  
图 1. 算法流程图

等等，各种颜色空间从颜色特性的不同方面进行了量化描述<sup>[6]</sup>。通常人眼所感知的色彩是由红(R)、绿(G)、蓝(B)三种颜色混合而成的，虽然 RGB 颜色空间适用于彩色监视器等显示系统，但是不适合图像分割和图像分析，因为 R、G、B 三个分量高度相关，只要亮度改变，三个分量都会相应改变。本文选取 HSI 彩色空间对图像进行处理，HSI 彩色空间以人眼的视觉特征为基础，利用色调(Hue)、饱和度(Saturation)和强度(Lightness)三个属性来表示颜色，更符合人描述和解释颜色的方式，更少受光照条件的影响<sup>[7]</sup>。

从 RGB 颜色空间到 HSI 颜色空间转化公式如下<sup>[8]</sup>：

$$H = \begin{cases} \theta, & B \leq G \\ 360 - \theta, & B > G \end{cases}$$

where

$$\theta = \arccos \left\{ \frac{[(R-G) + (R-B)]/2}{[(R-G)^2 + (R-G)(G-B)]^{1/2}} \right\}$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)} [\min(R, G, B)]$$

$$I = \frac{1}{3}(R+G+B) \quad (1)$$

值得注意的是  $H$  分量是一个以  $2\pi$  为周期的角度值。

## 2.2. 分水岭算法进行初始分割

Vincent 于 1991 年提出了一种采用模拟浸没过程实现分水岭检测的快速算法,成为众多后来改进分水岭算法的一个基础。分水岭算法分割方法是一种基于区域的图像分割方法,并建立在拓扑理论的数学形态学的理论基础之上。在该算法中,分水岭计算分两个步骤,一个是排序过程,一个是淹没过程。其具体思路是把图像看作是测地学上的拓扑地貌,图像中每一个像素点的灰度值表示该点的海拔高度,每一个局部最小值及其影响区域成为集水盆,并在其最低处穿孔,使水慢慢地均匀浸入各个小孔,当水填满盆地时,在某两个或多个盆地之间修建大坝。随着水位的不断上升,每个盆地完全被水淹没,只剩下被淹没的各个大坝,这些大坝将每个盆地完全分开,最终达到分割物体的目的,从而集水盆的边界形成分水岭。

传统的分水岭算法能基本完成分割效果,但是存在诸多缺点:第一,对图像中的噪音很敏感,易造成分割轮廓偏移;第二,易于产生过分割现象,受到噪音和误差的影响,会产生很多局部最小值,对后续的分割造成不良影响,容易出现大量细小区域;第三,对对比度低的图像容易失去重要轮廓。由于物体边缘的灰度变化比较明显,而梯度图正好描述了该图的灰度变化情况。因此,可使用梯度图像的分水岭变化来进行图像分割。对整幅图像进行梯度转化,形成梯度图像。设置一个阈值,若小于一定的阈值,则化为同一个区域,反复这样的操作,就形成了分水岭的分割效果。

## 2.3. 自动种子选择

种子区域生长(SRG)方法是将具有相似性质的像素(区域)合并而形成新的区域。在种子区域生长算法中,种子的选择至关重要。种子点的自动选择,必须满足以下三条准则:其一,种子与其领域必须有高度相似度;其二,在想得到的区域内,至少要产生一颗种子;其三,不同区域的种子不邻域<sup>[9]</sup>。具体的实现过程是先对每个待分割的区域找一个生长种子(像素或者区域)作为生长的起点,根据一定的生长和相似规

则,将种子周围领域中的与种子有相同或者高度相似性质的像素合并到种子所在的区域中。然后将这些新的像素作为新的种子重复迭代上述的生长过程,直到满足生长终止条件或者再没有满足条件的像素可被包含进来为止。

## 2.4. 区域生长

进行区域生长之前,先构造一个区域队列和邻接区域队列,区域队列用于存放被一个种子所吸纳的像素区域,邻接区域队列是用于存放与种子的邻接关系<sup>[10]</sup>。

区域生长算法步骤如下:

1) 根据给出的规则进行种子的自动选取,将种子放入种子队列中;

2) 对选出的种子区域进行标记。被标记的区域记为 1;未被标记的区域记为 0;

3) 从种子队列中取出种子,以该种子区域作为考虑对象,然后遍历种子区域的邻接区域队列,依次取出该种子的非种子的邻接区域  $p$ ,如果区域  $p$  已经被标记,则不对区域  $p$  进行处理;如果区域  $p$  未被标记,则计算其与种子区域的欧式距离,小于欧式距离的阈值,则视为该区域  $p$  可以纳入此种子区域,并对区域  $p$  进行区域标记,大于欧式距离的阈值,则不标记区域  $p$ 。将该种子的所有邻接区域考虑完之后,从种子队列中删除该种子。重新从种子队列中选择新的种子,循环执行此步骤,直到种子队列为空为止。

## 2.5. 区域合并

分水岭算法在初始化的分割结果中,存在一定的过分割现象,这样就会出现大量的小区域,这些小区域作为种子进行种子区域生长,在区域生长过程中同质区域就会被分割为多个区域。因此,对于差别不是很明显的区域,要将他们合并为一个大的区域。

区域距离度量是进行区域合并的重要标准。距离度量方法的选择直接决定区域合并结果的最终效果。两个区域进行合并的必要条件就是:其一,两个区域在颜色空间上相近,其二,在空间上相邻。此方法结合了颜色空间和区域邻接关系信息,给出了关于颜色距离的相关定义。

区域距离:

$$d_r(R_i, R_j) = d_c(R_i, R_j) \cdot \Delta_{ij} \quad (2)$$

颜色距离:

$$d_c(R_i, R_j) = \frac{|r_i| \cdot |r_j|}{|r_i| + |r_j|} \cdot \frac{\sqrt{(\bar{h}_i - \bar{h}_j)^2 + (\bar{s}_i - \bar{s}_j)^2 + (\bar{i}_i - \bar{i}_j)^2}}{\min\left(\sqrt{\bar{h}_i^2 + \bar{s}_i^2 + \bar{i}_i^2}, \sqrt{\bar{h}_j^2 + \bar{s}_j^2 + \bar{i}_j^2}\right)} \quad (3)$$

邻接关系:

$$\Delta_{ij} = \begin{cases} 1.0 & \text{if } r_i \text{ is adjacent to } r_j \\ +\infty & \text{if } r_i \text{ is not adjacent to } r_j \end{cases} \quad (4)$$

其中,  $R_i$  和  $R_j$  分别代表区域  $i$  和区域  $j$ 。  $|r_i|$  和  $|r_j|$  分别代表区域  $i$  和区域  $j$  中包含的像素个数,  $h_i, s_i, i_i, h_j, s_j, i_j$  分别代表区域  $i$  和区域  $j$  的 HSI 颜色空间的分量的均值。式(2)表示的是区域距离, 由此可以得出区域距离  $d_r(R_i, R_j)$  是由两个区域颜色距离  $d_c(R_i, R_j)$  和其两个区域邻接关系  $\Delta_{ij}$  的乘积决定的。式(3)表示的是颜色距离, 式中的分子部分  $|r_i|$  和  $|r_j|$  的乘积使得包含的像素点较少的区域和其他区域的颜色距离减少, 从而在颜色的相对欧式距离相同情况下, 有利于小区域的优先合并, 使得分割结果更符合人们的视觉特性。式(4)表示的是邻接关系。式中  $\Delta_{ij}$  表示两个区域  $i, j$  之间是否有邻接关系。如果区域  $i, j$  存在邻接关系, 则  $\Delta_{ij}$  取值为 1; 否则,  $\Delta_{ij}$  的取值为  $+\infty$ , 此时的区域距离也是  $+\infty$ 。

区域合并的大体过程如下: 先设定一个最短区域距离的阈值, 然后计算所有相邻近区域的距离  $d_r(R_i, R_j)$ , 将  $T_r$  这些距离存放在一个距离表中, 对这些距离进行排序, 选择距离最短且小于阈值  $T_r$  的两个邻接区域进行合并。重新计算新的区域与其相邻区域的距离, 并将距离表更新; 重复上述操作, 直到最小区域距离大于阈值  $T_r$  时停止区域合并。

### 3. 实验结果及讨论

本文提出了一种将分水岭算法、种子区域生成和合并相结合的彩色图像分割算法。该方法利用 HSI 颜色空间进行分水岭算法的图像初始分割, 对初始分割的区域作为种子区域生长中种子选择的对象; 然后根据其中像素与其领域的相对欧式距离、彩色空间距离

和区域邻接关系进行种子区域生成和区域合并。该算法克服了传统种子区域生长方法不能自动选择种子且容易导致过分割的局限性。将新的算法应用到彩色图像分割, 能克服图像分割中过分割现象, 而且也能得到与人类视觉判断相一致的有意义区域的分割。本文提出的算法也存在不足之处, 对于具有复杂的彩色或纹理(例如含有很多小目标区域)的图像分割效果有点模糊, 主要由于区域合并中运用到所要合并的区域的外接矩形, 外接矩形的大小会影响到区域合并的效果。图 2 到图 5 分别为原图、颜色空间转化、分水岭算法分割效果、最终分割效果。图 4 的效果是分水岭算法结合了灰度梯度图, 大大减少了分割区域; 图 5 为分割最终效果图, 从中可以很明显的看出花的分割效果, 轮廓很清晰。



Figure 2. Artwork  
图 2. 原图

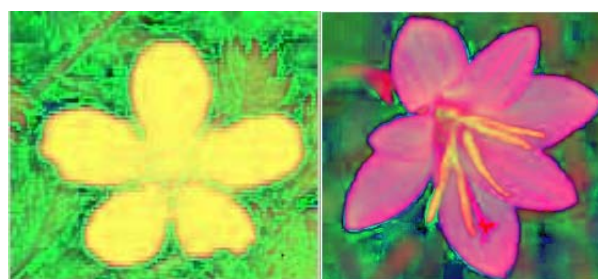


Figure 3. HSI image color space  
图 3. HSI 色彩空间图像



Figure 4. The initial segmentation result  
图 4. 初始分割结果



Figure 5. The combined results  
图 5. 合并后结果

#### 4. 结论

本文采用了一种将分水岭算法、区域种子生成和区域合并相结合的彩色图像分割算法。该算法采用了灰度梯度图，这样可以大大减少区域的过分割现象；然后以分水岭算法得到的小区域进行种子区域生长，这些种子遵循相似性原理，将与种子相邻区域且符合高度相似性或者相近的区域融入该种子区域，从而提高区域生长的效果；种子生长算法也不一定能把图像中所有的区域合并进去，有些区域包含的像素点很少或相似度很差，这里运用区域合并的原理，将这些区域合并到其相邻且相似度最相近的区域中去。实验结果表明，本文提出的彩色图像分割算法是可行、有效的，虽然使分水岭算法的过分割现象得到了改进，但

是如何提高分水岭和种子区域生长的算法的分割效果，还需要进一步研究。

#### 参考文献 (References)

- [1] 章毓晋. 图像分割[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [2] C. K. Yang, W. H. Tsai. Reduction of color space dimensionality by moment-preserving thresholding and its application for edge detection in color images. *Pattern Recognition Letters*, 1996, 17(5): 481-490.
- [3] R. Adams, L. Bischof. Seeded region growing. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1994, 16(6): 641-647.
- [4] R. C. Gonzalez, 著, 阮秋琦, 译. 数字图像处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003: 496-498.
- [5] F. Y. Shih, S. X. Cheng. Automatic seeded region growing for color image segmentation. *Image and Vision Computing*, 2005, 23: 877-886.
- [6] J. Su, W. Song and F. Gang. RGA: An improved region growing approach for color image segmentation. *Computer Engineering and Applications*, 2003, 39(7): 96-97.
- [7] R. C. Gonzalez, R. E. Woods. *Digital image processing* (2nd Edition). Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002: 235-237.
- [8] J. Fan, D. K. Y. Yau, A. K. Elmagarmid, et al. Automatic image segmentation by integrating color-edge extraction and seeded region growing. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2001, 10(10): 1454-1466.
- [9] 李唯为, 黄辉先等. 种子区域生长技术在彩色图像分割中的应用[J]. *小型微型计算机系统*, 2008, 29(6): 1163-1167.
- [10] R. Adams, L. Bischof. Seeded region growing. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1994, 16(6): 641-647.