

# 基于标记分水岭和区域合并的彩色图像分割

余旺盛,侯志强,宋建军

(空军工程大学电讯工程学院,陕西西安 710077)

**摘要:** 针对分水岭算法的过分割问题,设计了一种结合标记分水岭和区域合并的彩色图像分割算法.算法首先根据梯度图像局部极小值的综合信息自适应提取标记,在标记的基础上进行分水岭变换获得初始分割结果;然后结合人眼对区域相似性的实际感知定义了融合颜色距离、方差和边缘信息的综合距离度量,通过综合距离度量控制区域进行快速合并得到高级分割结果.仿真结果表明,新设计的算法能够有效抑制过分割,获得更小的局部一致性错分率,与人工标注的分割结果更为接近.

**关键词:** 彩色图像分割;分水岭;标记提取;扩展最小变换;区域合并

**中图分类号:** TP391.41      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0372-2112 (2011) 05-1007-06

## Color Image Segmentation Based on Marked-Watershed and Region-Merger

YU Wang-sheng, HOU Zhi-qiang, SONG Jian-jun

(Telecommunications Engineering Institute of Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710077, China)

**Abstract:** A color image segmentation algorithm combined marker-based watershed and region merger was proposed in this paper to deal with over-segmentation. Firstly, it extracted minima-marker adaptively according to the information of local minima of gradient, and watershed the marked gradient image to get the pre-segmentation result. Then, it modified region distance according to real sense of region-similarity of human-vision, and defined an integration distance measurement considering color distance, color difference and edge information, which would lead the pre-segmentation regions to merge to a final segmentation result. The experimental results indicate that the proposed algorithm can well suppress the over-segmentation and obtain a satisfactory result, which owns a lower Local Consistency Error and are more accordant to the human-vision segmentation.

**Key words:** color image segmentation; watershed; marker-extraction; H-minima transformation; region merger

## 1 引言

分水岭算法<sup>[1,2]</sup>是图像分割中一种常用的技术,由于其能得到单像素宽、定位精确、连续封闭的分割边缘而受到众多学者专家的关注.但传统分水岭算法的过分割严重干扰了对真实目标的提取.1999年 Soille<sup>[3,4]</sup>提出了基于形态学的扩展最小变换(H-minima)技术,将噪声和目标所具有的不同特征属性的相关先验知识引入到分割的过程中,预先限制局部极小值的数量,从而达到了控制分割区域数目的目的.然而,H-minima的参数设置没有一个严格的理论标准,通常都是根据所要分割的图像进行人为设定.2006年高丽等人设计了一种结合频域低通滤波和H-minima技术的分水岭新算法<sup>[5]</sup>,提出在梯度低频部分进行极小值标记,然后将标记的极小值叠加到原始梯度图像形成标记图像.所得结果过分割

现象得到明显抑制,但存在边缘定位不准和弱边缘提取困难等问题.

事实证明,融合多种方法进行分割更容易得到理想的结果,因此,融合区域信息的后期区域合并<sup>[6-10]</sup>常常被用来优化分割的结果.Cheng<sup>[6]</sup>等人提出首先利用一致性直方图阈值处理得到初始分割结果,然后结合区域一致性和颜色特征进行区域合并,一定程度上抑制了过分割.Patino<sup>[7]</sup>根据模糊C-均值聚类算法设计了区域之间的模糊关系,通过计算标准分水岭算法所得过分割区域的模糊关系进行区域合并.实验结果表明,该方案能够一定程度地减少过分割区域.然而,直接对标准分水岭算法的分割结果进行合并,时间开销较大,对于较为复杂的自然图像,其最终的分割结果仍然含有几十到数百不等的区域,依然没有很好地解决过分割问题.卢中宁<sup>[8]</sup>等人提出先利用形态学算子提取梯度,然后利用形

态学开闭重构技术对梯度进行修正以减少伪局部极小值点,最后融合区域相似性和边界曲率对过分割结果进行合并.李苏琪<sup>[9]</sup>等人提出首先对输入图像进行 Lee 滤波以减少伪局部极小值点,然后在标准分水岭变换获得初始分割区域的基础上进行区域合并.这两种方法结合分水岭变换和区域合并进行分割,取得了一定的效果.Ning<sup>[10]</sup>等人将非监督分割分为初级分割阶段和高级分割阶段,并指出对于大多数自然图像的分割,非监督的方法通常难以得到理想的分割结果,因此他们提出了一种对复杂背景的自然图像进行分割的人工引导算法.算法首先运用 Mean-Shift 聚类<sup>[11]</sup>得到初始分割结果,在后期的区域合并过程中通过简单的人工标注引导区域合并,获得了满意的分割结果,能够从复杂的背景中提取出感兴趣目标.然而,该算法只有在人工监督的条件下才能获得理想结果,难于满足自动化要求较高的机器视觉和模式识别等的要求.

## 2 基于标记分水岭和区域合并的分割算法

标记提取能够在分水岭变换之前大大减少梯度图像中的伪局部极小值点,从而从根源上减少过分割的区域.在标记分水岭算法的基础上进行快速的区域合并,能够获得较为理想的分割结果.然而传统的标记提取方案存在参数选取困难的问题,常规的区域合并方案在区域相似性度量时往往夸大了人眼对区域的实际感知,导致区域合并过早收敛,少数区域不能很好合并.针对这一问题,本文在初级分割阶段和高级分割阶段分别设计了基于自适应扩展最小变换的标记分水岭算法和基于综合距离度量的快速区域合并方案.

### 2.1 初级分割阶段

初级分割阶段主要由高斯低通滤波、彩色梯度计算、自适应标记提取和基于标记的分水岭变换四部分组成.

#### 2.1.1 高斯低通滤波

研究表明<sup>[3,5]</sup>,在分水岭变换之前利用平滑滤波器提取图像的低频部分能够在提取大的目标之前去除图像中的一些琐碎细节,减小噪声和暗纹理细节的影响,有效抑制过分割.本文采用频域高斯低通滤波器(GLPF, Gaussian Low-Pass Filter)对输入的彩色图像进行滤波,设输入的彩色图像为  $I_0$ ,平滑后的图像为  $I$ ,则:

$$I = (I_R, I_G, I_B) = GLPF(I_{0R}, I_{0G}, I_{0B}) \quad (1)$$

式中,  $I_{0R}, I_{0G}, I_{0B}$  分别表示  $I_0$  的  $R, G, B$  分量;  $I_R, I_G, I_B$  分别表示  $I$  的  $R, G, B$  分量.

滤波过程中截止频率的选择非常关键,截止频率越小,平滑效果越明显,但会破坏原始图像的边缘信息;截止频率过大,则起不到很好的平滑作用.大量仿真结果表明,截止频率取图像尺寸的 10% 时能够获得

较好的平滑效果,又不至于破坏图像中的边缘.本文在对彩色图像滤波时取截止频率  $\sigma = 0.1 \times \min(m, n)$ ,其中  $m$  和  $n$  为输入图像的行列数.

#### 2.1.2 彩色梯度计算

对单独彩色平面的处理并不总是等于直接在颜色向量空间中的处理,分别计算图像梯度然后形成彩色图像可能得到与人眼视觉特性不一致的结果.因此,在彩色向量空间直接计算梯度比以单独的分量图像为基础计算梯度具有更高的准确度.本文采用彩色向量空间梯度算法<sup>[12]</sup>,直接在  $RGB$  向量空间计算梯度.

设  $\mathbf{r}, \mathbf{g}, \mathbf{b}$  是  $RGB$  彩色空间沿  $R, G, B$  轴的单位向量,像素沿水平方向和垂直方向的彩色梯度可用向量来表述:

$$\mathbf{u} = \frac{\partial R}{\partial x} \mathbf{r} + \frac{\partial G}{\partial x} \mathbf{g} + \frac{\partial B}{\partial x} \mathbf{b}, \quad \mathbf{v} = \frac{\partial R}{\partial y} \mathbf{r} + \frac{\partial G}{\partial y} \mathbf{g} + \frac{\partial B}{\partial y} \mathbf{b} \quad (2)$$

数量  $g_{xx}, g_{yy}, g_{xy}$  定义为这些向量的点乘:

$$g_{xx} = \mathbf{u} \cdot \mathbf{u} = (\mathbf{u})^T \mathbf{u}, \quad g_{yy} = \mathbf{v} \cdot \mathbf{v} = (\mathbf{v})^T \mathbf{v}, \quad g_{xy} = \mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = (\mathbf{u})^T \mathbf{v} \quad (3)$$

据此可得彩色图像的梯度为:

$$\nabla I(\theta) = \left\{ \frac{1}{2} [(g_{xx} + g_{yy}) + (g_{xx} - g_{yy}) \cos 2\theta + 2g_{xy} \sin 2\theta] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

式中  $\theta$  为:

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan \left[ \frac{2g_{xy}}{g_{xx} - g_{yy}} \right] \quad (5)$$

#### 2.1.3 自适应标记提取

Soille 的研究成果表明,物体内部一般比较平坦,在梯度图像中对应的极小值区的深度一般比噪声对应的极小值深.据此,他提出了基于形态学的扩展最小变换(H-minima)技术<sup>[3,4]</sup>,为结合先验知识的标记提取提供了一个很好的方法.H-minima 变换通过设定阈值参数  $H$ ,消除深度小于  $H$  的局部极小值,从而很大程度上减少了过分割的区域.参数  $H$  的选择是标记提取的关键,过小的  $H$  对局部极小值的扩展作用不明显,导致最终的分割结果仍存在过分割;过大的  $H$  容易丢失深度较小的真实汇水盆地,导致最终分割结果出现欠分割. Soille 没有给出  $H$  参数的取值办法,通常情况下都是预先设定一个经验值.

本文通过对大量彩色图像进行仿真实验,得出用梯度局部极小值的均值来自适应调整  $H$  参数的经验法则.设梯度  $\nabla I$  中标定的局部极小值为  $\nabla I_{\min}$ ,则:

$$H = \text{mean}(\nabla I_{\min}) \quad (6)$$

理论研究表明<sup>[5]</sup>,在梯度图像的低频成分中进行 H-minima 变换能够获得效果更为理想的标记.因此,在进行 H-minima 变换之前,先利用高斯低通滤波提取梯

度的低频成分  $\nabla I_{\text{low}}$ , 截止频率  $\sigma' = 0.5\sigma$ . 设经 H-minima 变换后获得的标记图像为  $\nabla I_{\text{mark}}$ , 则:

$$\nabla I_{\text{mark}} = \text{Hmin}(\nabla I_{\text{low}}, H) \quad (7)$$

式中,  $\text{Hmin}(\cdot)$  表示 H-minima 变换.  $\nabla I_{\text{mark}}$  为二值标记图像, “1” 元素标记局部极小值区域.

#### 2.1.4 基于标记的分水岭变换

获取与目标相关的极小值标记后即可利用形态学极小值标定技术<sup>[3,4]</sup>修改  $\nabla I$ , 得到标记后的梯度  $\nabla I'$ .  $\nabla I'$  中对应  $\nabla I_{\text{mark}}$  为 1 的点被强制标定为极小值点, 其余点不变, 具体操作为:

$$\nabla I' = \text{Immin}(\nabla I, \nabla I_{\text{mark}}) \quad (8)$$

式中,  $\text{Immin}(\cdot)$  表示 Soille 提出的极小值强制标定运算.

分水岭算法在极小值强制标定后的梯度  $\nabla I'$  上进行, 分割结果以  $I_{\text{WS}}$  表示:

$$I_{\text{WS}} = \text{Watershed}(\nabla I') \quad (9)$$

式中,  $\text{Watershed}(\cdot)$  表示分水岭变换.

## 2.2 高级分割阶段

区域合并时, 要解决的关键问题包括合并准则的定义、合并顺序的设定以及合并终止规则的确定. 文献[6]在  $CIE(L^* a^* b^*)$  空间中利用颜色均值向量的欧氏距离  $d(i, j) = \|\mu_i - \mu_j\|$  来度量两个区域之间的差异, 选择差异最小并且小于阈值  $T_c$  的两个区域进行合并, 然后更新邻接矩阵和相似矩阵, 直到所有区域之间的距离大于  $T_c$ , 合并结束. 阈值  $T_c$  的大小被定义为所有区域距离的均值和方差之差:  $T_c = \mu - \sigma$ , 因此在每次合并之后都更新  $T_c$  的值, 取得了比固定阈值更好的合并效果. 本文在此基础上作出改进, 设计了一种快速区域合并方案.

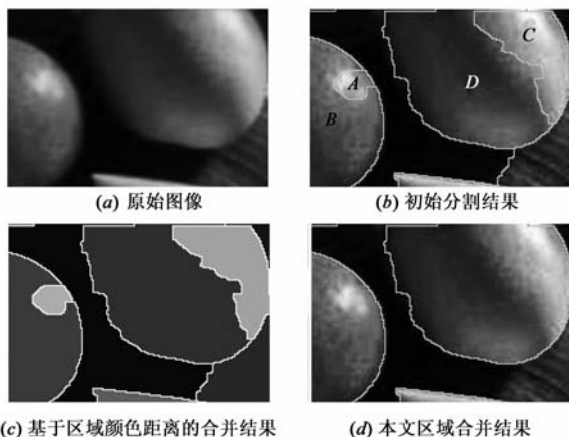
### 2.2.1 综合距离度量

**定义 1** 定义区域  $C_i$  和  $C_j$  的综合距离度量  $D_{ij}$  如下:

$$D_{ij} = \|\mu_i - \mu_j\| + (E_{ij} - E) \cdot |\sigma_i + \sigma_j| \quad (10)$$

式中,  $\mu_i$  为区域  $C_i$  的颜色均值向量,  $\sigma_i$  为区域  $C_i$  内三个通道颜色均方差的均值,  $\mu_j, \sigma_j$  类似.  $E_{ij}$  为区域  $C_i$  和  $C_j$  公共边缘归一化均值,  $E$  为所有边缘归一化均值.  $(E_{ij} - E) \cdot |\sigma_i + \sigma_j|$  为颜色距离校正项,  $E_{ij} - E$  为校正因子. 之所以引入校正项是因为颜色均值在描述整个区域的颜色分布特征存在信息损失<sup>[13]</sup>. 事实上, 靠近区域公共边缘的颜色信息往往更接近人眼感知的区域距离, 更能真实地反应区域的可合并性. 图 1(a) 所示水果图像中, 由于光照强弱引起目标内部出现较为明显的灰度变化, 在此基础上进行初级分割得到图 1(b) 所示结果, 区域 A 与 B、C 与 D 之间的颜色均值相差很大, 夸大了人眼对区域距离的实际感知, 若仅以颜色距离

来度量区域的差异, 难以得到有效的合并结果, 如图 1(c) 所示. 这时若引入校正项  $(E_{ij} - E) \cdot |\sigma_i + \sigma_j|$ , 由于公共边缘较弱, 校正因子  $E_{ij} - E$  为负, 正好校正了颜色距离与人眼实际感知的区域距离之间存在的误差, 能够获得如图 1(d) 所示合并结果. 公共边缘较强时, 意义类同.



(c) 基于区域颜色距离的合并结果 (d) 本文区域合并结果

图1 基于区域颜色距离和基于综合距离度量的合并结果比较

### 2.2.2 合并与停止规则

设初始分割区域为  $C = \{C_i | C_i \subset I_{\text{WS}}, i = 1, 2, \dots, n\}$ , 各区域的颜色均值向量为  $\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)$ , 方差均值为  $\sigma = \{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n\}$ , 据此构建区域邻接矩阵  $A = \{a_{ij}, i, j = 1, 2, \dots, n\}$ , 若  $C_i$  和  $C_j$  相邻, 则  $a_{ij} = 1$ , 否则  $a_{ij} = 0$ . 依据邻接矩阵  $A$ , 颜色均值向量  $\mu$ , 方差均值  $\sigma$  并结合边缘强度可以计算综合距离度量矩阵  $D$ . 合并与停止规则定义如下:

**定义 2** 若  $C_i$  和  $C_j$  存在邻接关系, 且  $C_i$  和  $C_j$  的综合距离度量  $D_{ij}$  小于阈值参数  $T$ , 则合并  $C_i$  和  $C_j$ ; 若所有存在邻接关系的区域综合距离度量均大于参数  $T$ , 则合并停止.

文献[6]提出的阈值选取策略为所有区域距离均值和方差之差, 本文将其改为相应的综合距离度量值的均值和方差之差:  $T = \mu_D - \sigma_D$ . 另外, 本文采取折中阈值策略, 对邻接矩阵一次遍历之后再更新阈值. 仿真结果表明, 该阈值策略在减小计算量的同时使合并能在一个局部稳定的阈值下完成, 效果优于文献[6].

### 2.2.3 具体算法设计

根据上述思路, 总结合并算法步骤如下:

第一步: 根据初始分割区域生成  $\mu, \sigma$ , 构建  $D, E$  并计算阈值  $T$ .

第二步: 判断矩阵  $D$  中是否存在小于阈值  $T$  的元素, 若存在, 进入第三步, 否则合并结束, 输出合并结果.

第三步: 若  $D_{ij} < T$ , 合并区域  $C_i$  和  $C_j$  并更新  $A, \mu$  和  $\sigma$ ; 完成所有合并之后, 根据更新后的  $A, \mu$  和  $\sigma$  更新

$D, E$  和阈值  $T$ , 跳至第二步.

整个合并过程均在更合适描述颜色距离的  $CIE (L^* a^* b^*)$  空间进行, 更新  $\mu$  和  $\sigma$  只涉及简单的数值运算, 而更新  $D$  只需  $\mu, \sigma$  以及边缘强度信息, 从而减少了整个合并过程的计算量.

### 3 实验结果与分析

本文对含有复杂纹理背景的图片能得到较为满意的分割结果. 图 2 所示为对花瓣图像的分割, 图 2(a) 为原始花瓣图像, 图中除了能明显看出零散的花瓣外, 由叶子、花枝以及图案远近、光线强弱等引入了复杂的纹理背景. 初级分割得到图 2(b) 所示结果, 图 2(c) 为在图 2(b) 的基础上进行基于颜色距离的区域合并结果, 纹理区域仍存在过分割现象, 图 2(d) 为基于综合距离度量的合并结果, 有效屏蔽了复杂的纹理背景.

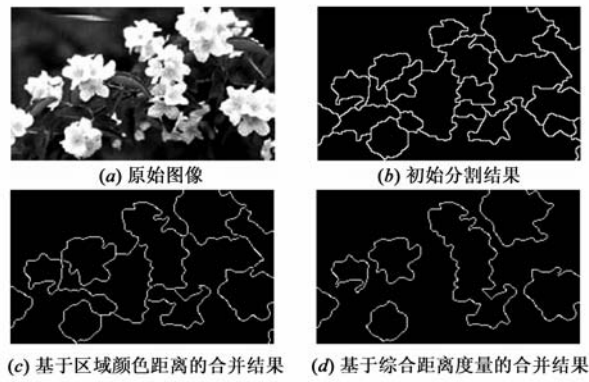
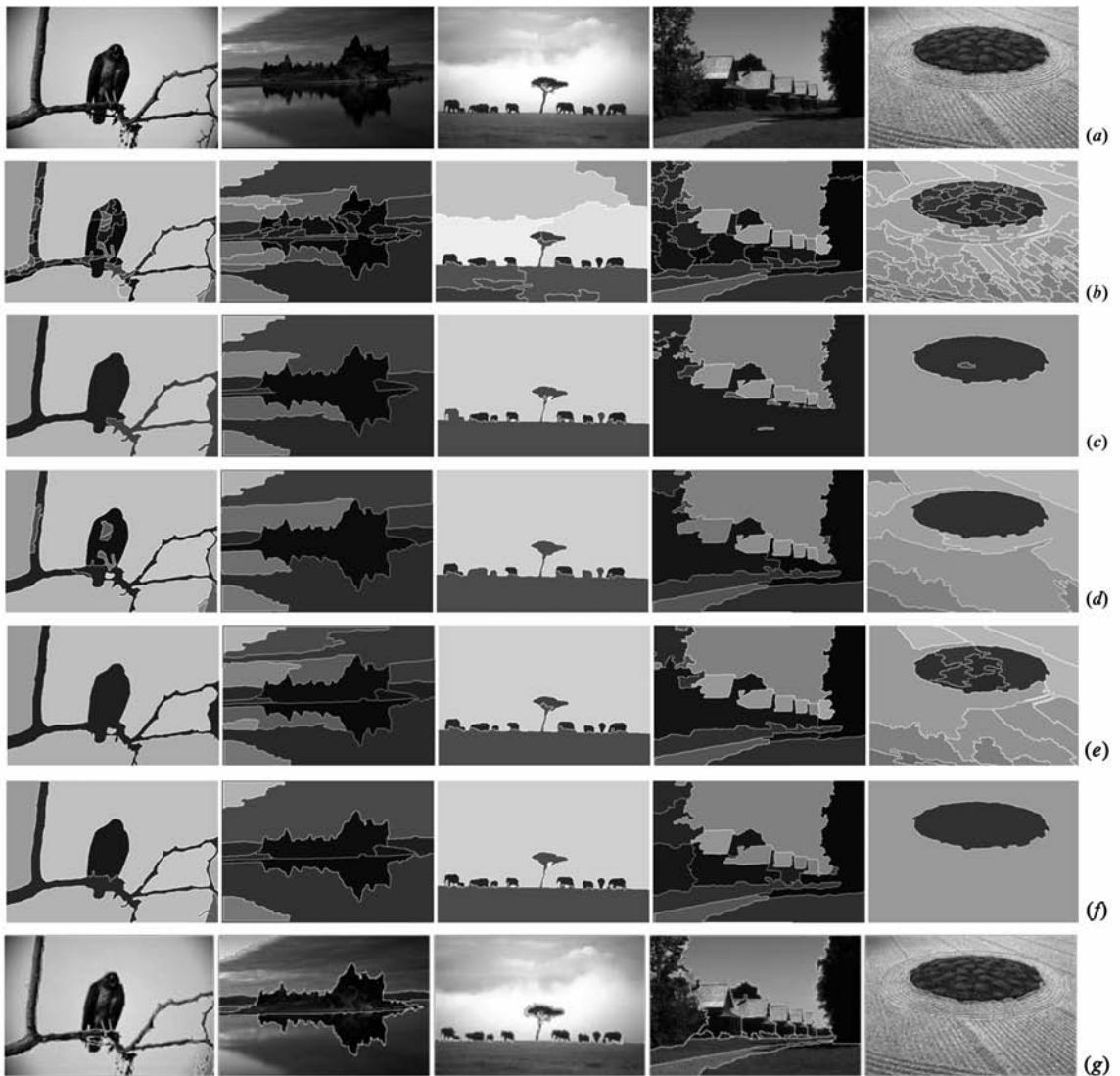


图 2 两种合并方案对花瓣图像的合并结果比较

为了更进一步验证本文算法, 挑选 Berkeley 图像数据库<sup>[14]</sup>中的图像进行了分割测试. 参考算法为文献[5]算法、文献[6]算法、文献[8]算法、文献[9]算法. 图 3 给出了仿真实验的结果. 由图可以看出, 文献[5]算法虽



(a) 原始图像; (b) 文献[5]算法分割结果; (c) 文献[6]算法分割结果; (d) 文献[8]算法分割结果; (e) 文献[9]算法分割结果; (f) 本文算法分割结果; (g) Berkeley 图像数据库提供的人工标注分割结果

图 3 更多分割实验结果比较

然在一定程度上屏蔽了纹理细节,但过分割问题仍然存在(如图 3(b)).文献[6]算法运用区域合并策略,获得了较好的效果,但在少数部位出现了欠分割(如图 3(c)).文献[8]运用形态学原理先提取梯度,然后对梯度进行修改,减少了伪局部极小值点;最后通过区域合并得到最终的分割结果.算法所得结果(如图 3(d))基本满足图像分割的要求.文献[9]融合前期平滑滤波和后期快速区域合并进行分割,所得结果较为理想(如图 3(e)),但也存在少量欠分割问题,如图 3(e)图像中山体与其倒影被合并成了一个区域等.本文算法(如图 3(f))既能够屏蔽不必要的纹理细节,抑制过分割现象,又能较好地处理相邻区域之间的过渡,防止过度合并而出现欠分割,与人工标注的分割结果(如图 3(g))更为接近.

本文采用局部一致性错分函数  $LCE$ (Local Consistency Error)<sup>[14]</sup>来定量评价分割算法的优劣, $LCE$  越小,表明分割结果越接近人眼的分割结果.表 1 中数据表明,本文算法所得  $LCE$  相对较小,更接近人眼分割结果.

由于引入了区域合并,算法的计算量在原有基于标记提取分水岭算法的基础上有所增加.表 1 记录了本文算法与参考算法分割的耗时,编程软件为 Matlab,运行环境为主频 1.61GHz,内存 1.37GB.由表 1 可以看出,本文算法的比文献[5]算法要慢,和文献[9]快速区域合并算法相当,比文献[6]和文献[8]算法要快.

表 1 分割耗时(秒)以及  $LCE(\%)$  比较

图片	文献[5]算法		文献[6]算法		文献[8]算法		文献[9]算法		本文算法	
	耗时	$LCE$	耗时	$LCE$	耗时	$LCE$	耗时	$LCE$	耗时	$LCE$
1	2.51	19.36	8.86	8.34	6.30	10.22	4.17	7.50	3.91	6.72
2	2.43	21.33	9.20	15.28	5.71	13.47	4.09	12.39	4.16	5.66
3	2.37	16.33	9.01	8.11	5.92	7.29	3.95	6.96	4.32	5.28
4	2.33	15.27	9.73	11.29	6.55	12.03	4.34	18.22	4.17	11.21
5	2.75	29.35	9.48	14.65	6.46	18.52	3.76	13.31	3.63	13.09

## 4 总结

本文针对分水岭算法存在的过分割问题进行了研究,提出了结合前期自适应标记分水岭和后期快速区域合并的图像分割算法,取得了较好的效果.该算法能够根据不同图像进行自适应标记提取,减少了分割过程中的人为干预,提高了算法的自适应性能.另外,标记的成功提取为后期区域合并节约了大量的计算.后期的快速区域合并策略融合了区域颜色均值、方差以及边缘强度信息,更加接近人眼对图像的分割.本文后续的工作是运用区域合并的思想来修改标记,减少数据处理量,进一步提高算法的效率.

## 参考文献

- [1] L Vincent, P Soille. Watersheds in digital spaces: an efficient algorithm based on immersion simulations[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991, 13(6): 583 - 598.
- [2] 许新征, 丁世飞, 史忠植, 等. 图像分割的新理论和新方法[J]. 电子学报, 2010, 38(2A): 76 - 82.  
Xu Xinzhen, Ding Shifei, Shi Zhongzhi, et al. New theories and methods of image segmentation[J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(2A): 76 - 82. (in Chinese)
- [3] P Soille. Morphological Image Analysis Principles and Applications[M]. Berlin, Germany: Springer Verlag, 1999. 123 - 140.
- [4] P Soille. Morphological image analysis applied to crop field mapping[J]. Image and Vision Computing, 2000, 18(13): 1025 - 1032.
- [5] 高丽, 杨树元, 夏杰, 等. 基于标记的 Watershed 图像分割新算法[J]. 电子学报, 2006, 34(11): 2018 - 2023.  
Gao Li, Yang Shuyuan, Xia Jie, et al. A new marker-based watershed algorithm[J]. Acta Electronica Sinica, 2006, 34(11): 2018 - 2023. (in Chinese)
- [6] H D Cheng, Y Sun. A hierarchical approach to color image segmentation using homogeneity[J]. IEEE Transactions on Image Process, 2000, 9(12): 2071 - 2082.
- [7] L Patino. Fuzzy relations applied to minimize over segmentation in watershed algorithm[J]. Pattern Recognition Letters, 2005, 26(6): 819 - 828.
- [8] 卢中宁, 强赞霞. 基于梯度修正和区域合并的分水岭分割算法[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(8): 2075 - 2077.  
Lu Zhongning, Qiang Zanzia. Watershed segmentation based on gradient modification and region merging[J]. Computer Engineering and Design, 2009, 30(8): 2075 - 2077. (in Chinese)
- [9] 李苏祺, 张广军. 基于邻接表的分水岭变换快速区域合并算法[J]. 北京航空航天大学学报, 2008, 34(11): 1327 - 1330.  
Li Suqi, Zhang Guangjun. Fast region merging algorithm for watershed transform based on adjacency list[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2008, 34(11): 1327 - 1330. (in Chinese)
- [10] J F Ning, L Zhang, D Zhang, et al. Interactive image segmentation by maximal similarity based region merging[J]. Pattern Recognition, 2010, 43(2): 445 - 456.
- [11] H F Chen, F Qi. An Improved Image Segmentation Based on Mean Shift Algorithm[J]. Chinese Journal of Electronics, 2003, 12(3): 368 - 372.
- [12] R C Gonzalez, R E Woods. Digital Image Processing (Second Edition)[M]. Beijing, Publishing House of Electronics Industry, 2007. 123 - 124.
- [13] 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.  
Ye Qixiang, Gao Wen, Wang Weiqiang, et al. A color image segmentation algorithm by using color and spatial information [J]. Journal of Software, 2004, 15(4): 522 - 530. (in Chinese)

[14] D Martin, C Fowlkes, D Tal, et al. A Database of Human Segmented Natural and Its Application to Evaluating Segmentation Algorithms and Measuring Ecological Statistics[A]. IEEE 8th International Conference on Computer Vision (ICCV2001) [C]. Vancouver, Canada, 2001. 416 - 423.

## 作者简介



**余旺盛** 男, 1985 年出生于湖南平江. 现为空军工程大学电讯工程学院硕士研究生, 2008 年获空军工程大学学士学位. 主要研究方向为彩色图像消噪、平滑与分割.

E-mail: xing\_fu\_yu@sina.com



**侯志强** 男, 1973 年出生于陕西眉县. 2005 年获西安交通大学电子与信息工程学院控制科学与工程专业博士学位. 主要研究领域为多传感器信息融合、机动目标跟踪、图像处理等.

E-mail: hou-zhq@sohu.com