

# 结合图论的 JSEG 彩色图像分割算法

耿永政, 陈 坚

(西南大学 计算机与信息科学学院, 重庆 400715)

**摘 要:**静态图像压缩标准(JSEG)分割算法是一种经典的图像分割方法,它充分考虑到了图像的局部信息,可以获得比较精确的分割边界。但 JSEG 算法在分割过程中计算量相当大并且分割结果容易出现过分割现象。由此,文中提出一种结合图论的 JSEG 图像分割算法。首先去除 JSEG 算法中在多个尺度上反复计算  $J$  值的过程,改为仅在一个小尺度上进行计算。其次,在得到的  $J$  图上使用 K-means 方法进行聚类,分割得到过分割区域。最后,将分割后的小区域对应为图中的点,进而利用图理论的方法进行区域合并。实验结果表明新算法具有高精度和低复杂度的优势。

**关键词:**K-means;JSEG 算法;图理论;图像分割

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2014)05-0015-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.05.004

## JSEG Color Image Segmentation Algorithm Combining Graph Theory

GENG Yong-zheng, CHEN Jian

(College of Computer and Information Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

**Abstract:**Joint Systems Engineering Group (JSEG) is a classical method of image segmentation algorithm. It fully takes the local image information into account, so it can get more precise segmentation boundary. But the JSEG algorithm has the large computation and over-segmentation problems. For this reason, propose a segmentation algorithm combining JSEG and graph theory. Firstly, calculate  $J$  value only on a small scale instead of the iterative process on multi-scale. Secondly, use the K-means clustering method on the  $J$ -map to get over-segmentation regions. Finally, use a point to replace a region, and then use the graph theory for region merging. Experimental results show that the new algorithm has the advantage of a high accuracy and low complexity.

**Key words:**K-means;JSEG algorithm;graph theory;image segmentation

## 0 引 言

数字图像处理技术是一个跨学科领域。随着计算机技术的不断发展,图像处理和图像分析逐渐形成了一套科学的体系,其处理方法也层出不穷。视觉是人类最重要的感知手段,图像又是视觉的基础,因此,数字图像成为心理学、生理学、计算机科学等诸多领域内学者们研究视觉感知的有效工具。而在这其中,图像分割<sup>[1]</sup>是一个最基本的问题,它从一幅含有丰富信息的图像中分割出人们需要的区域,进而再进行后期处理。因此图像分割在各个领域都有着广泛的应用前景。

现有的图像分割方法主要分为以下几类:基于阈值的分割方法、基于边缘的分割方法、基于区域的分割方法以及基于特定理论的分割方法等。1998 年以来,研究人员在原有的分割算法基础上不断改进创新,并

把其他学科的一些新理论、新方法引入到图像分割中来,提出了很多新的分割方法。基于特定理论的分割方法主要有:聚类分析方法、模糊集理论方法、统计学理论方法、图理论方法等。然而到目前为止图像分割技术仍然不够成熟,还没有一种方法能够适合于不同类型的图像,这也成了阻碍图像分割大规模和大范围应用的一个重要因素<sup>[2]</sup>。

其中,文献[3]提出的 JSEG 算法是一种经典的基于颜色纹理无监督的区域生长的图像分割方法,其分割结果较准确、鲁棒性较高。但 JSEG 算法的缺点也是显而易见的。首先,算法在分割中需要在多个尺度下反复进行局部  $J$  值计算和区域生长,计算量大,算法复杂度高。其次,在后期区域合并的时候 JSEG 算法没有考虑到各个区域之间的相关性,而仅采用的是简

收稿日期:2013-07-23

修回日期:2013-10-26

网络出版时间:2014-02-11

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金项目(XDJK2011C073)

作者简介:耿永政(1991-),男,山东人,硕士研究生,研究方向为数字图像处理;陈 坚,副教授,研究方向为多媒体通信技术、视频分割与按对象视频编码相关技术。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140211.1618.047.html>

单的基于颜色直方图的合并方法,合并效果比较差。

针对以上两点,文中提出了一种结合图论的 JSEG 的新的图像分割方法。新算法使用的是图论中经典的 Ncut(Normalized cuts, 归一化割)<sup>[4]</sup> 算法。在大多数图像分割应用中, Ncut 算法都是直接利用图像像素进行分割, 对于大图像, 由于像素个数非常多, 所以计算量相当大。因此将 JSEG 算法和 Ncut 算法的思想相结合, 各取其精华。在新算法中, 简化了 JSEG 中反复计算  $J$  值的过程, 然后使用 K-means 聚类方法产生初步的分割区域, 最后在小区域的基础上运用 Ncut 方法进行合并。实验证明它有效克服了 JSEG 算法计算复杂和区域合并不准确的缺点。

## 1 JSEG 算法和图论分割方法

### 1.1 JSEG 分割算法

JSEG 图像分割算法主要包括两个过程, 即颜色量化和空间分割<sup>[5]</sup>。颜色量化的目的是为了减少原始彩色图像的颜色数量, 以降低算法复杂度。在颜色量化之前, 首先采用非线性同等滤波组 (Peer Group Filtering, PGF) 对彩色图像进行平滑去噪。然后通过 GLA (劳埃德) 算法对像素进行聚类, 得到“类图”。在“类图”中, 像素值不是颜色值, 而是表示量化后颜色类别的标号。“类图”可以看作一种特殊类型的纹理图像。

在“类图”的基础上, 按照一定的计算规则得到对应的“ $J$ 图”。在“ $J$ 图”中, 图像的像素值由局部  $J$  值来表示, 而每一个像素点的局部  $J$  值是用一个以该像素点为中心点的圆形模板扫描“类图”得到的。具体  $J$  值的计算过程如下所示:

设  $W$  是  $N$  个数据点的集合, 使  $w = (x, y)$ ,  $w \in W$ , 其均值为  $m$ , 假设  $W$  分为  $D$  个颜色类, 即  $W_i, i = 1, \dots, D$ , 相应的类有  $N_i$  个数据点, 均值为  $m_i$ 。

$$m = \frac{1}{N} \sum_{w \in W} w \quad (1)$$

$$m_i = \frac{1}{N_i} \sum_{w \in W_i} w \quad (2)$$

$$S_T = \sum_{w \in W} \|w - m\|^2 \quad (3)$$

$$S_W = \sum_{i=1}^D S_i = \sum_{i=1}^D \sum_{w \in W_i} \|w - m_i\|^2 \quad (4)$$

由以上方程式可知,  $S_T$  表示  $N$  个数据总的方差, 而  $S_W$  表示每一类的方差总和。则  $J$  值的定义为:

$$J = \frac{S_T - S_W}{S_W} \quad (5)$$

由式(5)可知,  $J$  值的大小可以反映图像颜色的均匀度。 $J$  值越大说明越靠近区域的边界, 颜色类彼此分开; 反之,  $J$  值越小越靠近区域中心, 颜色分布均匀。

JSEG 算法的具体分割流程如图 1 所示。从过程上来说, 由图 1 容易看出 JSEG 算法为了获得较精确的边界, 需要增大或者降低尺度反复进行  $J$  值计算、种子选择、区域生长等过程。

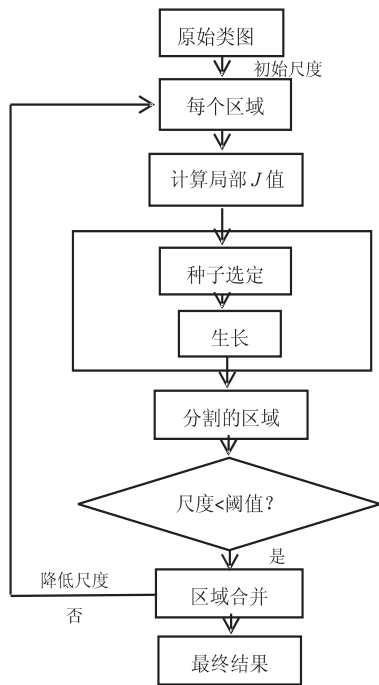


图 1 JSEG 算法流程图

在 JSEG 算法中, 用颜色量化的方式将图像的颜色信息转化成“类图”, 用类标签来代替每一个像素, 这样方便了图像分割, 但这样也势必使图像丧失了许多空间信息。另外, JSEG 算法采用种子选取, 区域分割的方式进行分割, 由于种子选取的不准确性, 这样必然会带来过分割的情况。为此, 很多人提出了不同的基于 JSEG 算法的改进模型。Zheng 等人<sup>[6]</sup>通过引入模糊机制对原 JSEG 中的“类图”进行重建, 提出了“软类图”的概念。Chen 等人<sup>[7]</sup>提出了用原像素的颜色信息来代替原 JSEG 算法中的“类图”的方法 (IC-JSEG)。Wang 等人<sup>[8]</sup>通过加入方向运算符改进了对纹理结构的度量, 提出了扩展的 JSEG 算法。Kibria 等人<sup>[9]</sup>通过借助 Canny 边缘检测的方法实现对分割区域进行合并。而近几年由 Komati 等人<sup>[10]</sup>提出了三种 JSEG 的改进模型: Fractal-JSEG, Fractal-only 和 Local-FD。从边界的检测和分割效果方面对原始 JSEG 方法做了改进。

文中主要针对 JSEG 算法在多尺度下反复进行计算和分割结果易出现的过分割问题进行了改进。

### 1.2 图论分割方法

图理论作为一种新型的工具被应用到图像分割中, 其主要思想是将图像 (image) 映射为带权的无向图 (graph)。图中的每一个节点对应图像中每一个像素点。而图节点之间的权重则表示两个像素点之间的差

异或者相似性<sup>[11]</sup>。

图分割的思想是:在图  $G = (V, E)$  ( $V$  为图中所有顶点的集合,  $E$  为图中边的集合) 中, 通过移除图的某些边, 把图分割成两个不相交的顶点集合  $A$  和  $B$ , 而集合  $A$  和  $B$  须满足  $A \cup B = V, A \cap B = \emptyset$ 。而移除边的权重总和, 作为  $A$  和  $B$  两个部分的不相似度, 在图论中叫做割:

$$\text{cut}(A, B) = \sum_{u \in A, v \in B} w(u, v) \quad (6)$$

其中,  $W$  为连接顶点  $u, v$  的边的权重函数。只要使  $\text{cut}(A, B)$  最小, 那么就得到了图  $G = (V, E)$  的最优分割。然后通过递归调用这个最小割 (minimal cut) 准则得到想要的分割块数。但是这种分割方法存在一个很大的缺陷, 就是它偏向于分离出单个或者小簇顶点。易出现如图 2 所示的情况。

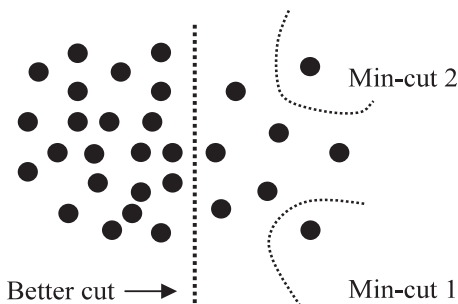


图2 错误的分割结果

## 2 新算法

传统的彩色图像分割算法<sup>[12]</sup>都是首先将彩色图像转化成灰度图像, 再对灰度图像进行处理。而 JSEG 算法是一个经典的彩色图像分割方法, 文中所提出的新算法是借助 JSEG 算法的思想, 然后对其进行扩展和改进的彩色图像分割算法。

新算法取消了原 JSEG 在多个尺度上进行局部  $J$  值计算、种子选择和区域生长的过程。改为只在一个小尺度上进行  $J$  值计算, 得到相应的“ $J$  图”, 然后直接使用 K-means<sup>[13]</sup>算法对“ $J$  图”进行聚类。由于仅在一个小尺度上进行  $J$  值计算和 K-means 中聚类质心点选取不准确的原因, 分割区域必然会出现过分割的情况。接下来新算法引入图论中经典的 Ncut 算法, 将分割后的每一个过分割区域对应到图中的相应节点, 通过图论的方法对图进行分割, 从而实现对过分割区域合并<sup>[14]</sup>的目的。

Ncut 方法是 Shi 和 Malik 提出的针对最小割方法分割时所存在的缺陷进行改进的一个图分割方法。Ncut 准则不仅计算分割子集之间的不相关度而且计算各个子集内部的总的相关度。这样就避免了最小割准则分割出单个顶点或者区域的情况。相关方程式如下:

$$\text{Ncut}(A, B) = \frac{\text{cut}(A, B)}{\text{assoc}(A, V)} + \frac{\text{cut}(A, B)}{\text{assoc}(B, V)} \quad (7)$$

而

$$\text{assoc}(A, V) = \sum_{u \in A, v \in V} w(u, v) \quad (8)$$

Ncut 的方法是将计算最优的 Ncut 值问题转换到对矩阵的特征值与特征向量的求解上来。经推导, 求解式(7)的最小值, 就变为求解下面方程式的最小值了:

$$\min_x \text{Ncut}(x) = \min_y \frac{y^T(D - W)y}{y^T Dy} \quad (9)$$

令  $D$  为  $N * N$  对角矩阵, 并且对角线上的元素为  $d_i$ 。而  $d_i = \sum_j w(i, j)$  是节点  $i$  与  $V$  中所有节点的关系之和。 $W$  为  $N * N$  的对称矩阵, 其元素值  $W(i, j) = w(i, j)$ 。

式(9)再经过一系列转换, 最后变为求解下面的特征系统:

$$(D - W)y = \lambda Dy \quad (10)$$

到这里问题就转化为求解特征系统方程式(10)的第二小的特征向量。然后再将此特征向量离散化, 就可以得到图像分割结果。

新算法总的分割步骤如下:

- 1) 利用 PGF 方法对图像进行滤波, 得到“类图”。
- 2) 用一个以该像素点为中心点的圆形模板扫描“类图”得到对应的“ $J$  图”。
- 3) 在“ $J$  图”上使用 K-means 聚类算法进行空域分割, 得到过分割小区域。
- 4) 取出每个区域, 并用一个区域点代替一个区域, 区域点的信息包括特征向量信息和空间位置信息等。
- 5) 根据步骤 4), 原始图像就变为了由这些区域点组成的无向图, 这个无向图作为 Ncut 的输入, 并利用这些区域点构造出权值矩阵  $W$  和  $D$ , 然后对式(10)进行求解完成聚类分割。

步骤 4) 中选取的权值矩阵  $W$  如下:

$$W_{ij} = e^{\frac{-\|F_{(i)} - F_{(j)}\|_2^2}{\sigma_f^2}} * \begin{cases} e^{\frac{-\|X_{(i)} - X_{(j)}\|_2^2}{\sigma_x^2}} & \text{if } i, j \text{ 相邻} \\ 0 & \text{if } i, j \text{ 不相邻} \end{cases}$$

其中,  $F_{(i)}$  是区域点  $i$  的颜色空间向量信息;  $X_{(i)}$  为区域点空间坐标信息;  $\sigma_f, \sigma_x$  是区域点值域差异及空域差异的敏感程度参数。取值根据人工经验所得。

新算法的全部流程图如图 3 所示。

## 3 实验结果及分析

为了分析新算法的性能, 在 VC6.0 软件平台上进行了计算机仿真测试, 测试使用的图片由网上和图片



数据库筛选而来。测试使用了 50 张图像,包含有风景类图像、植物类图像、人物图像等不同种类的图像。

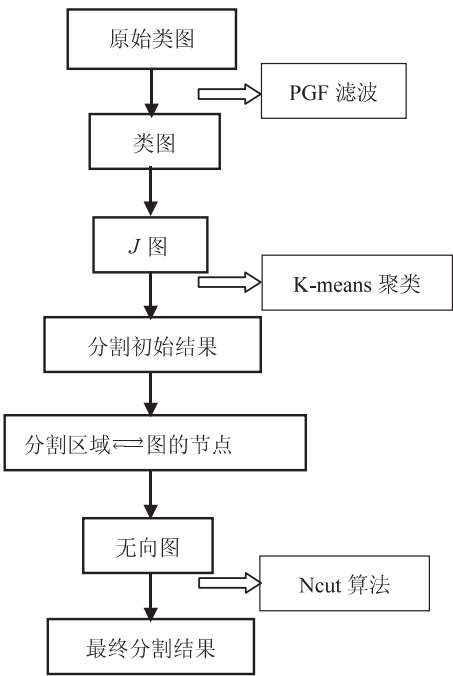


图 3 新算法流程图

根据前文的理论分析,新算法减少了迭代计算  $J$  值的过程,分割结束时所用的时间应该比原 JSEG 算法要少。并且最后得到的分割区域,会有效地减少分割块数,而且分割后的区域会更符合人类视觉感知。由此,针对以上两点预期,做了两组对比实验。

实验一:随机选取了 5 张图片分别对原 JSEG 算法和改进的新算法进行程序运行时间的测试和比较,其实验结果如表 1 所示。

表 1 JSEG 和新得到初始分割的时间对比表

图片 编号	JSEG 算法 ( $t_1$ )/s	新算法 ( $t_2$ )/s	绝对减少时间 ( $T_1=t_1-t_2$ )/s	相对减少时间 ( $T_1/t_1$ )/%
1	5.482	4.312	1.170	21.34
2	5.782	4.575	1.207	20.88
3	4.736	3.438	1.298	27.41
4	5.128	3.776	1.352	26.37
5	5.425	4.137	1.288	23.74
平均	5.311	4.078	1.263	23.95

由表 1 可以看出,新算法不但缩短了程序绝对运行时间,而且相对运行时间平均降低了 24% 左右。可见,新算法在程序运行时间方面显著优于原 JSEG 算法,有效改进了 JSEG 算法计算过程复杂、耗时多的缺点。

实验二:文中对两种算法最后的分割结果进行了分析和比较。分割结果如图 4 所示,其中(a1)~(c1)为原图像,(a2)~(c2)为 JSEG 分割结果,(a3)~(c3)为新算法分割结果。

从图 4 中可以看出(a2)、(b2)分割后的图片存在明显的过分割现象。而(a3)和(b3)中分割区域不但减少了,而且更符合人类的视觉感知。如(a3)中,新算法充分地把图片分割成为了瀑布、土地、船和人几个大类,分割边界也较精确。

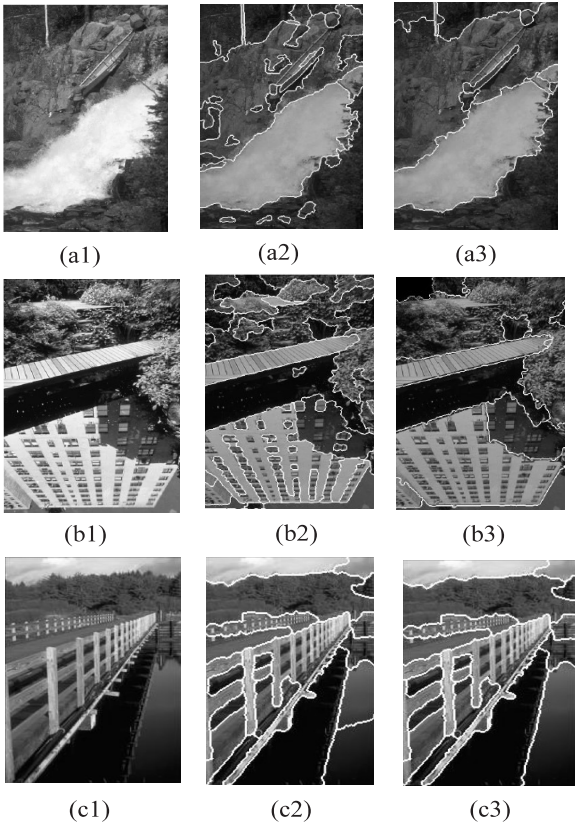


图 4 新算法和原 JSEG 算法分割的结果对比图

而对于图片内容比较简单,物体区分比较明显的(c1)图片来说,两种方法分割效果都比较好,没有太大差别。可见,与原 JSEG 算法相比较,新算法对颜色复杂的图片改进效果更明显。

由以上实验可以看出,正如之前预想的,新算法有效地缩短了程序运行时间和减少了图像过分割的情况,而且对物体的边界分割较准确。另一方面新算法对颜色简单的目标分割效果较好,对内部色彩变化剧烈、边界轮廓复杂的目标分割效果较差。这一点也是图像分割一直存在和难于突破的重点难点所在,需要图像方面的专家学者和众多研究人员一起努力克服。

4 结束语

文中通过结合 JSEG 算法和图论方法的思想提出了新的图像分割方法。这种算法有效地改进了 JSEG 算法繁杂的迭代过程,降低了其复杂度。而且使区域合并更加准确,更加符合人类主观视觉感知。同时也解决了 Ncut 算法中用像素值作为原始输入计算量大的问题。但是,这种算法对于内容复杂、目标边界不明

确、颜色变化剧烈的图像分割效果较差。同时,由于图像分割本身也存在相当大的复杂性,想要获得不同类型图像较好的分割效果还非常困难,相关理论和方法还需要进一步的研究。

参考文献:

[1] 黄长专,王 彪,杨 忠. 图像分割方法研究[J]. 计算机技术与发展,2009,19(6):76-79.

[2] 范静辉,吴建华,刘 晔. 基于矢量量化和区域生长的彩色图像分割新算法[J]. 中国图象图形学报,2005,10(9):1079-1081.

[3] Deng Yining, Manjunath B S. Unsupervised segmentation of color-texture regions in images and video[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2001,23(8):800-810.

[4] Shi J, Malik J. Normalized cuts and image segmentation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2000,22(8):888-905.

[5] 孙卫芳. 基于JSEG的视频/图像分割技术研究[D]. 郑州: 郑州大学,2010.

[6] Zheng Yuanjie, Yang Jie, Zhou Yue. Unsupervised segmentation on image with JSEG using soft class map[J]. Lecture Notes in Computer Science,2004,3177:197-202.

(上接第14页)

rain rendering[J]. Computers & Graphics,2006,30(4):507-518.

[3] Sato T, Dobashi Y, Yamamoto T. A method for real-time rendering of water droplets taking into account interactive depth of field effects[J]. Entertainment Computing,2003,112:125-132.

[4] Kaneda K, Kagawa T, Yamashita H. Animation of water droplets on a glass plate[C]//Proceedings of computer animation. [s. l.]:[s. n.],1993:177-189.

[5] Kaneda K, Ikeda S, Yamashita H. Animation of water droplets moving down a surface[J]. Journal of Visualization and Computer Animation,1999,10(1):15-26.

[6] Gingold R A, Monaghan J J. Smoothed particle hydrodynamics - theory and application to non-spherical stars[J]. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society,1977,181:375-389.

[7] Zhang Yizhong, Wang Huamin, Wang Shuai, et al. A deformable surface model for real-time water drop animation[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics,2012,18(8):1281-1289.

[8] Yang Yonggao, Zhu Changqian, Zhang Hua. Real-time simulation: water droplets on glass windows[J]. Computing in Science & Engineering,2004,6(4):69-73.

[9] Stuppacher I, Supan P. Rendering of water drops in real-time

[7] Chen H C, Chien W J, Wang S J. Contrast-based color image segmentation[J]. IEEE Signal Processing Letters,2004,11(7):641-644.

[8] Wang Yonggang, Yang Jie, Chang Yuchou. Color-texture image segmentation by integrating directional operators into JSEG method[J]. Pattern Recognition Letters,2006,27(16):1983-1990.

[9] Kibria A F M G, Islam M M. Color image segmentation using visible color difference and Canny edge detector[C]//Proc of 15th international conference on computer and information technology. Chittagong:[s. n.],2012:138-143.

[10] Komati K S, Salles E O T, Sarcinelli-Filho M. Unsupervised color image segmentation based on local fractal descriptor and J-images[C]//Proc of IEEE international conference on industrial technology. Vi a del Mar:[s. n.],2010:303-308.

[11] 刘建龙. 基于图论的图像分割算法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学,2006.

[12] 林开颜, 吴军辉, 陈立鸿. 彩色图像分割方法综述[J]. 中国图象图形学报,2005,10(1):1-10.

[13] 周爱武, 于亚飞. K-Means 聚类算法的研究[J]. 计算机技术与发展,2011,21(2):62-65.

[14] 郑洪英. 数据挖掘聚类算法的分析和应用研究[D]. 重庆: 重庆大学,2002.

[C]//Proc of Central European seminar on computer graphics for students. [s. l.]:[s. n.],2007.

[10] Fernando R, Pharr M. GPU gems: programming techniques, tips, and tricks for real-time graphics[M]. [s. l.]: Addison-Wesley,2004.

[11] 杨 猛, 吴恩华. 一种基于物理的雨打树枝动态仿真方法[J]. 软件学报,2011,22(8):1934-1937.

[12] Yu Y J, Jung H Y, Cho H G. A new rendering technique for water droplet using metaball in the gravitation force[C]//Proc of 6th international conference in Central Europe on computer graphics and visualization. [s. l.]:[s. n.],1998.

[13] Kulsri S, Jaroensutasinee M, Jaroensutasinee K. Simulation of water droplet on horizontally smooth and rough surfaces using quasi-molecular modelling[J]. International Journal of Applied Science, Engineering and Technology,2006,2(3):136-140.


[14] Beard K V, Chuang C. A new model for the equilibrium shape of raindrops[J]. Journal of Atmospheric Sciences,1987,44(11):1509-1524.

[15] Perlin K. Improving noise[J]. ACM Transactions on Graphics,2002,21(3):681-682.

[16] Gustavson S. Simplex noise demystified[D]. Sweden: Linköping University,2005.

[17] Perlin K. An image synthesizer[J]. ACM SIGGRAPH Computer Graphics,1985,19(3):287-296.

# 结合图论的JSEG彩色图像分割算法

作者: [耿永政](#), [陈坚](#), [GENG Yong-zheng](#), [CHEN Jian](#)  
作者单位: [西南大学 计算机与信息科学学院, 重庆, 400715](#)  
刊名: [计算机技术与发展](#)   
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)  
年, 卷(期): 2014 (5)

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjfz201405004.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201405004.aspx)