

# 基于相位一致与区域生长的自然彩色图像分割

徐杰,施鹏飞

(上海交通大学图像处理与模式识别研究所,上海 200030)

**摘要:** 提出一种自然彩色图像中有意义区域的分割方法. 利用相位一致模型检测图像边界,根据边界颜色在图像空间及色彩空间的联合分布,对长边界进行 K-means 聚类形成有意义的种子生长点,合并短边界以克服局部细节的干扰,最后区域生长方法作用于色彩空间得到封闭的分割区域. 算法克服了传统区域生长算法缺少区域模型的局限性,同时将其成功应用到彩色图像,并得到与视觉判断相一致的有意义的分割结果. 实验结果显示了所提方法对于不同自然彩色图像的有效性与适应性.

**关键词:** 自然彩色图像分割; 相位一致; 边界检测; 区域生长

**中图分类号:** TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2004) 07-1203-03

## Natural Color Image Segmentation Based on Phase Congruency and Region Growing

XU Jie, SHI Peng-fei

(Inst. of Image Processing & Pattern Recognition, Shanghai Jiaotong Univ., Shanghai 200030, China)

**Abstract:** A new method for meaningful regions segmentation in natural color image is proposed in this study. After edge detecting in term of phase congruency, long edge lines are clustered using K-means algorithm based on the joint distribution of their color in image space and in color space to get meaningful seeds, while short ones are merged to eliminate the negative affection causing trivial features in images. Region growing technique is employed in color space to achieve the final segmentation results with the properly selected seeds. The proposed method overcomes the disadvantage of traditional region growing method, and applies it to color images. The meaningful segmentation results are consistent with those executed by people and have shown feasibility and effectiveness to various natural color images.

**Key words:** natural image segmentation; phase congruency; edge detection; region growing

### 1 引言

随着数码设备及相应存储技术的发展与普及,自然彩色图像的数量激增,此类图像的自动分析、管理与检索技术成为用户的一种必然需求,而对于图像内有意义区域的分割则是实现这些技术的基础,近年来正受到研究者越来越多的关注<sup>[1]</sup>.

区域生长<sup>[2]</sup>是一种具有代表性的传统图像分割技术,该方法能够提供封闭的区域,但定义一个区域模型,使其对于区域内部的变化具有刚好的鲁棒性,同时又不会导致区域的模糊不清则很困难;同时如何保证所分割的区域具有实际意义,即与人类视觉判断相一致也是决定分割效果好坏的关键;另外,一般分割方法对于灰度图像效果较好,但用于彩色图像的分割往往达不到理想效果<sup>[3]</sup>,而自然彩色图像间色彩、纹理等特征变化较大,更增加了自动分割方法的难度.

本文提出一种自然彩色图像的自动分割方法,既克服了传统区域生长法缺少区域模型的缺陷,同时将其成功应用到彩色图像分割中,并得到与人类视觉感知相一致的有意义区域的分割,所提方法对不同的自然彩色图像具有一定的鲁棒

性与适应性.

### 2 基于相位一致模型的边界检测

边界是视觉感知的重要线索,在一定条件下包含了图像的全部信息.传统基于像素灰度梯度极大值的边界检测算法(如 Sobel、Canny 算子等),对于包含有阶跃、峰值、房顶等各种性质边界的自然彩色图像不够充分. Morrone 等提出一种相位一致(phase congruency)模型<sup>[4]</sup>,各种边界特征类型甚至马赫带,都与傅立叶相位一致性较高的位置相对应.相位一致性定位准确,对于图像亮度或对比度的变化无关,且与人类视觉系统特征识别的许多心理学解释一致<sup>[4]</sup>,这些特性使其适用于特征变化较大的自然彩色图像.

相位一致性是一个难以计算的测度.本文采用 Kovess 所提方法<sup>[5]</sup>,在计算频域内二维滤波器与图像卷积的基础上,由下式得到位置  $x$  处的相位一致值:

$$PC(x) = \frac{W_o(x) |L_{E_{no}}(x) - T_o|}{\sum_n A_{no}(x) + \epsilon} \quad (1)$$

为避免除数为零引入的常量,  $\epsilon$  为能量:

$$E_{no}(x) = A_{no}(x) \phi_{no}(x) \quad (2)$$

$A_{no}(x)$  为当前位置在方向  $o$ , 尺度  $n$  上的幅值, 相位偏离函数  $\phi_{no}(x)$  定义为:

$$\phi_{no}(x) = \cos(\phi_n(x) - \bar{\phi}(x)) - |\sin(\phi_n(x) - \bar{\phi}(x))| \quad (3)$$

噪声补偿函数  $T(x)$  定义为:

$$T = \mu_R + k_R \quad (4)$$

$\mu_R$  和  $k_R$  分别为 Rayleigh 分布的均值和方差,  $k$  为常数. 权重函数  $W(x)$  定义为:

$$W(x) = \frac{1}{1 + e^{-(c - s(x))}} \quad (5)$$

$$\text{其中, } s(x) = \frac{1}{N} \left[ \frac{A_n(x)}{A_{\max}(x)} \right]$$

$N$  为滤波器所用尺度的数目,  $A_{\max}(x)$  为在位置  $x$  处滤波器对的最大响应幅值,  $c$  为增益因子.

利用类似高斯的二维可分函数为滤波器, 极坐标系中, 极半径方向上的滤波器在线性频率尺度下为一维对数高斯函数, 其传输函数的形式如下:

$$g(w) = e^{-\left(\frac{\log(w/w_0)}{k/w_0}\right)^2 / 2} \quad (6)$$

$w_0$  是滤波器中心频率,  $k/w_0$  对于不同  $w_0$  值保持不变. 方位角方向上的高斯交叉项定义为:

$$G(\theta) = e^{-\left(\frac{\theta - \theta_0}{\sigma}\right)^2 / 2} \quad (7)$$

$\theta_0$  为滤波器的方位角,  $\sigma$  为高斯函数在角度方向上的标准偏差.

相位一致值的范围为  $[0, 1]$ , 越接近于 1, 相位一致性越高. 通过在相位一致值上实施非最大抑制函数和滞后阈值得到图像边界点. 实验使用了 4 个尺度、6 个方向上的滤波器函数, 相邻尺度比值为 2, 最小波长为 4 个像素, 相邻方位角比值与高斯函数方位角标准偏差均为 1.2. 其它参数为:  $k = 2.0$ ,  $c = 0.4$ ,  $\sigma = 10$ ,  $\theta_0 = 0.01$ , 对于所有图像使用相同参数和阈值. 图 1 为实验结果,  $a$  图为原始自然图像,  $b, c$  图分别为相位一致模型与 Canny 算子检测结果, 其中 Canny 算法直接调用 Matlab 软件中函数实现. 实验显示, 相位一致模型对于各种类型边界检出效果较好, 对参数设置不敏感, 而抗噪声干扰及边界定位能力比 Canny 算子好.

### 3 区域生长

区域生长方法受种子点选取的影响较大, 这通常被认为是一种不利因素, 而我们又恰好可以利用区域生长对种子点选取的敏感性, 通过有意义种子点的选择来暗示有意义区域的分布; 而代表目标区域分布的分类边界线则可为生长过程提供潜在的区域模型.

#### 3.1 边界聚类与合并

相位一致模型检测到的边界点, 根据邻域之间的相互联通关系 (8 邻域) 形成边界线, 记录到列表中, 并以如下描述符定义其特征:

$$C_i = \{h, s, v, \text{percent}, cx, cy\} \quad (8)$$

其中  $h, s, v$  为边界线颜色均值的 3 个分量, 本文选择 CIE HSV 颜色空间表示法, 因该表示法中任意两点间距离与人类视觉判断相一致; percent 为边界线上像素点个数在整幅图像中所占比例;  $(cx, cy)$  为边界线质心坐标, 定义为像素点坐标的几何均值:

$$cx = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{(x,y)} x, \quad cy = \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{(x,y)} y \quad (9)$$

描述符中 percent 值比较小的短边界通常为目标纹理或其它细节特征, 给分割过程带来不利影响; 而 percent 值较大的长边界通常反应了区域的轮廓与分布, 对于有意义区域的定义与描述更为重要.

两种边界的处理过程吸取了人类视觉系统经验. 神经系统对于环境具有自适应的能力, 在一种色调环境中, 两种颜色被认为是不同的, 而在另一种色调环境中可能被认为是相似的, 图像内颜色在色彩空间的分布情况决定图像整体色调, 因此, 对于颜色相似性判断要根据颜色在色彩空间的分布进行自适应调节. 另外, 色彩在图像空间的分布情况构造了不同的图像内容如纹理等细节信息, 而纹理区域的颜色变化通常被视觉系统忽略, 因此必须同时考虑颜色在图像空间的分布信息.

对于长边界, 根据边界颜色在色彩空间与在图像空间的联合分布进行聚类. 由于 Kmeans 聚类通过比较数据的相似性和差异性, 发现数据内在特征与分布规律, 利用 Kmeans 方法对边界聚类, 可以将颜色在色彩空间与在图像空间的分布信息有机地结合起来.

首先将 percent 值超过阈值  $T_l$  的长边界分别作为聚类过程的初始类别, 计算两两之间的颜色距离:

$$d_i(k, l) = \sqrt{(h_k - h_l)^2 + (s_k - s_l)^2 + (v_k - v_l)^2} \quad (10)$$

$(h_k, s_k, v_k), (h_l, s_l, v_l)$  分别为边界线  $k, l$  颜色均值的 3 个分量. 在图像空间坐标位置最近的  $k$  条边界中, 将颜色距离最小的两条边界合并为新类, 计算新类的颜色均值及其它类间的距离, 重复合并过程, 直至相邻两次循环中的最短距离值  $d_i$  与  $d_{i+1}$  的差  $d$  大于阈值  $T_d$ .

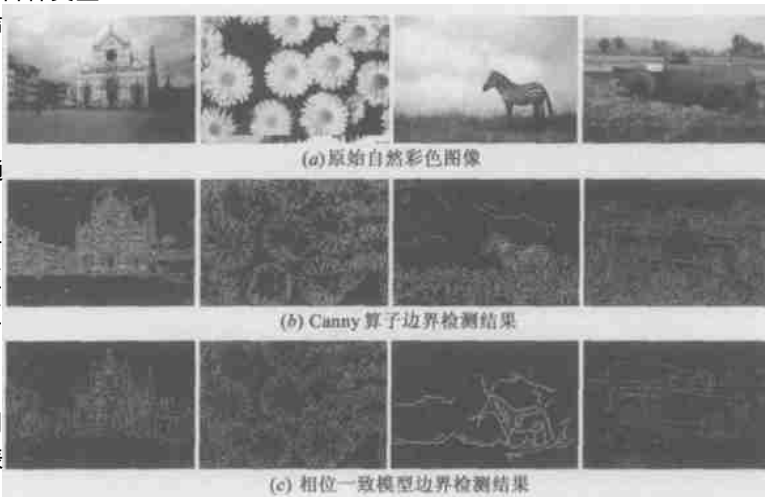


图 1 自然彩色图像边界检测结果

对于短边界,则根据其空间位置与颜色信息将之合并,来消除纹理等细节信息对于区域分割的影响.首先根据边界的质心位置,寻找  $n$  个距离最近的边界,将颜色均值最为相似的边界进行合并.对所有短边界重复进行合并,直到最小距离值大于阈值  $T_c$ .

相同标记边界被认为是属于同一目标区域,通过边界标记,可以得到图像内目标区域的大体分布,为区域生长过程提供潜在的区域模型,而以已分类的边界为种子点,蕴含了高层次图像语义知识,使得生长得到的分割结果具有实际意义.

### 3.2 区域生长

区域生长过程中,假设  $P(x, y)$  为一候选种子点,即其 8 邻域内至少有一个像素点为已标记种子点,计算候选点与种子点颜色值的距离,如果该距离小于阈值  $T_p$ ,则使其与种子点标记相同.如果候选点邻域内有多个种子点,则使其与颜色距离最近点的标记相同.相同标记像素点构成同质区域.区域生长中每一步将一个候选种子点归入相应的区域中,种子生长点随即被所生成的区域内像素点所替代,不断重复生长过程,直到图像内所有像素点都归入相应区域中去.在生长过程中,已经合并到一起的短边界作为一个像素点决定其共同所属的区域,使所生成的区域对于局部的纹理和细节特征等干扰信息具有了较好鲁棒性.

由于所给定的生长点是过检测的,区域生长过程中一同质区域往往被分割为多个区域,因此,对于差别不是很明显的区域,将它们合并成为一个更大区域.使用颜色直方图来表征区域颜色特征,利用直方图交差技术<sup>[6]</sup>计算区域  $i$  与  $j$  之间的

$$Hc(i, j) = \frac{\sum_{i=0}^{k-1} \min(h_i - h_j)}{k-1} \quad (11)$$

$Hc$  越接近于 1,颜色直方图  $h_i$  和  $h_j$  就越相似.  $k$  是量化后的颜色数目.区域合并过程为:计算所有相邻区域的颜色直方图之间的距离,存放放到距离表中,将距离最短的区域合并;重新计算新区域的颜色直方图,并将距离表更新;重复上述过程,直到最短距离超出阈值  $T_r$ .最后,检查所有区域内的像素点个数,如果一个区域内的像素点个数在图像中所占的比例小于一定阈值,该区域也将合并到最相似的相邻区域中.

## 4 实验

我们利用 Corel 图像库中部分图像进行了分割实验,将图像分辨率降低为  $384 \times 256$ .图 2 为部分图像分割结果,图中白线标记了所得区域边界.所有图像检测过程使用相同参数设置,因为所用到的 K-means 方法本身具有自动聚类的特点.从实验结果看到,这些参数的设定对于最终分割结果影响不大,对于不同自然图像具有一定的自适应能力.

同时还可看到,本文所提方法在保证区域内部一致性的同时,能够得到有意义区域的分割,而且对于图像纹理有一定的鲁棒性,并与人类视觉检测结果基本吻合.另外,与传统区域生长法所不同的是,实验得到的区域可以分布在图像的不同位置,并不一定相互邻接,这更符合通常的实际情况.

## 5 结语

所分割的区域是否具有实际意义,即是否与人类视觉系



图 2 实验结果

统判断相一致,是决定一种分割方法效果好坏的关键.许多以往的分割方法通常只是直接在颜色空间内对颜色进行聚类,这种方法仅对大面积同质颜色区域分割效果较好<sup>[7]</sup>.

鉴于自然图像内颜色、纹理等图像特征细节丰富,变化多样,本文分割方法利用相位一致检测边界,以边界颜色在色彩空间与在图像空间的联合分布对边界进行聚类,可以得到区域的几何分布情况,为区域生长提供潜在的区域模型.以分类后的边界为种子生长点,蕴含了高层次的图像语义知识,利用区域生长法对于种子点选取的敏感性,由此生成有意义区域的分割结果.另外,根据质心位置和局部颜色差异将短边界合并的过程可以克服纹理等细节信息对于分割过程的负面影响,提高了分割结果的有效性.最后,区域生长直接作用于颜色空间,得到自然彩色图像的自动分割结果.

实验显示,所提方法对于不同的自然图像表现出稳定的有效性与适应性,对于图像纹理等细节信息具有较好的鲁棒性,所得分割结果与人类视觉系统判断基本一致.而这种特性对于我们今后在图像检索中的应用具有实际而重要的意义.

### 参考文献:

- [1] Chen K M, Chen S Y. Color texture segmentation using feature distributions[J]. Pattern Recognition Lett, 2002, (23): 755 - 771.
- [2] 章毓晋. 图像分割[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [3] 魏宝刚, 李向阳, 鲁东明, 等. 彩色图像分割研究进展[J]. 计算机科学, 1999, 26(4): 59 - 62.
- [4] Marrone M C, Owens R A. Feature detection from local energy[J]. Pattern Recognition Lett, 1987, (6): 303 - 313.
- [5] Kovsi P. Image features from phase congruency[J]. J Computer Vision Research, 1999, (1): 1 - 26.
- [6] Swain M J, Ballard D H. Color indexing[J]. J Computer Vision, 1991, (7): 11 - 32.
- [7] Deng Y, Manjunath B S. Unsupervised segmentation of color-texture regions in images and video[J]. IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 23(8): 800 - 810.

### 作者简介:

徐 杰 女, 1975 年 11 月出生于山东莱州, 现为上海交通大学图像处理与模式识别研究所博士研究生, 研究方向为机器学习, 信息检索等.

施鹏飞 男, 1940 年 1 月出生于上海市, 现为上海交通大学图像处理与模式识别研究所教授, 博士生导师, 研究领域为图像分析、模式识别、智能技术与系统.