

## 彩色图像分割研究进展\*)

Development of Color Image Segmentation

魏宝刚 李向阳 鲁东明 潘云鹤  
(浙江大学计算机系 杭州 310027)

59-62

TP391.41

**Abstract** In this paper we present the general situation about color image segmentation, which includes the choice of color space and feature vectors, the limitation of traditional methods. Several hybrid methods for color image segmentation are presented in detail.

**Keywords** Color space, Color image segmentation, Region growing, Edge detection, Characteristic feature thresholding

## 1 引言

分割是图像分析的初始步骤之一,也是图像处理最原始的问题,几乎自数字图像处理问世不久,人们就开始了图像分割技术的研究,并取得了相当的进展和成功<sup>[1]</sup>。但由于它的复杂性,有许多问题没有很好地解决,因此人们至今还一直在努力发展新的、更有潜力的分割算法,以期实现更通用、更完美的分割结果。

彩色图像的分割可以通过计算图像中彩色信息的统计特征来实现,与灰度图像相比,彩色图像不仅包含亮度信息,而且还有更多有效信息,比如色调、饱和度,实际上,同样景物的灰度图像所包含的信息量与彩色图像难以相比,人类对色彩的感知更敏感,一幅质量较差的彩色图像似乎比一幅完美的灰度图像更具吸引力。

计算机网络以及多媒体技术的应用普及,要求以更多形式的数据交换信息,其中图像是一种重要的形式,如何提高图像的存储、检索、传输效率显得尤为重要,近年来基于内容、基于色彩以及基于纹理的图像检索技术成为数据库技术研究的一大热点<sup>[2-10]</sup>,而最基础的技术就是彩色图像的分割。

由此可见研究彩色图像的分割不仅有利于图像处理技术的发展,更重要的是它的应用前景十分广阔。

## 2 彩色空间和彩色特征

## 2.1 图像分割的定义

由于图像分割的应用领域较广,其定义也有许多种。其中一种为人们普遍接受是按如下定义的:

设  $X$  为图像栅格点阵,  $P$  是定义在这些连续图像点上的逻辑谓词,那么分割可定义为将  $X$  划分为互不相交的非空子集  $X_1, X_2, \dots, X_N$  的过程,以满足四个条件:1)  $X = \bigcup_{i=1}^N X_i$ ; 2)  $X_i (i=1, 2, \dots, N)$  是连通的; 3)  $P(X_i) = TRUE, i=1, 2, \dots, N$ ; 4)  $P(X_i \cup X_j) = FALSE, i=1, 2, \dots, N, i \neq j$ , 且  $X_i$  和  $X_j$  相邻;其中,第三个条件中的谓词  $P$  决定了分割区域所具有的性质。

## 2.2 彩色空间和彩色特征

彩色图像在计算机中总是以红绿蓝三基色表示的,这就是说,每个象素的颜色都是以红绿蓝三基色的数量来定义的。虽然 RGB 彩色空间使用最广泛,但它并不是以一致的尺度表示色彩,不符合人的感知心理,例如很难说出深棕色中三基色 R、G、B 的准确含量到底是多少。因此,在彩色图像处理中,除 RGB 空间外,通过线性或非线性变换可从三基色计算得出一些其它彩色空间<sup>[11]</sup>,比如 HSV、HIS、L'a'b'、I1-I2'-I3'、YES 等。E. Saber 等<sup>[12]</sup>指出 YES 彩色空间有这样三个优点:(1)降低了因亮度改变所引起的色度变化;(2)彩色分量 E、S 可由三基色移位变换得到,因此有较高的计算效率;(3)避免了非线性

\* )国家自然科学基金和中国博士后基金资助项目, 魏宝刚 博士后, 李向阳 博士, 鲁东明 副教授, 潘云鹤 院士。

性空间的奇异性。

HIS 以及类似的 HSV 空间在视觉上是均匀的,与人类的颜色视觉有很好的 consistency,在彩色图像分割中得到广泛使用,I 表示强度或亮度,往往可以取 R、G、B 的平均值,它反映了像素的总体亮度,而与色彩无关。包含彩色信息的两个参数是色调(H)和饱和度(S)。利用这种特性,A. R. Weeks 和 G. E. Hague<sup>[17]</sup>在一维色调空间和二维饱和度-亮度空间分别应用 K-means 算法分割彩色图像。HIS 模型是从红绿蓝色彩立方体得出的,连接 RGB 立方体的红、绿、蓝三顶点就构成了 HIS 三角形平面,HIS 三角形中心对应零饱和度,色调是以三角形中心到红色顶点连线为基准线的  $0 \sim 360^\circ$  间的一个角度。

在众多的色彩空间中选择哪种更好引起了人们的研究兴趣。R. P. Schumeyer 和 K. E. Barner<sup>[6]</sup>在 RGB、 $L^*a^*b^*$ 、HSV、 $YCbCr$  彩色空间上对三种不同肤色的人面图像进行了分割,结果是  $L^*a^*b^*$  和 HSV 空间上所得的结果更好。J. Liu 和 Y. -H. Yang<sup>[27]</sup>用他们提出的多解彩色图像分割技术在 RGB、HSV、 $I_1-I_2'-I_3'$ 、Lab、XYZ 以及 YIQ 空间上对四幅彩色图像(交叉排列的方格、柱体、小女孩、建筑物)进行了分割,在比较分割图像基础上,得出结论是:小女孩像在 RGB 空间效果最好;其它三幅图像在  $I_1-I_2'-I_3'$  空间上得到最佳效果;而 HSV 空间上得到的结果最差。其原因是 HSV 空间的奇异性,具体地讲,当一像素的 R、G、B 分量取值相同时,这个像素的色调是不确定的,另外,当  $R+G+B$  的数值较小时,饱和度(H)的变化也较大。

图像分割的目的是将具有某些相似性的像元组合在一起,形成有一定意义的目标区域,而相似性是以图像特征衡量的。图像的特征是指图像场中可用作标志的属性,其中有些是视觉直接感受到的自然特征,如区域的亮度、色彩、纹理、轮廓等,有些是通过变换或测量才得到的人为特征,如各种变换频谱、直方图、矩等,各特征应用目的和对图像分割结果所起的作用不同。为了提取彩色图像的同质区域,D. Carevic 和 T. Caelli<sup>[3]</sup>在用聚类法分割图像时应用了一个八元特征向量  $K_{x,y} = [aI_{r_1}(x,y), aI_{r_2}(x,y), aI_{r_3}(x,y), \beta\sigma_{r_1}(x,y), \beta\sigma_{r_2}(x,y), \beta\sigma_{r_3}(x,y), \gamma x_s, \gamma y_s]$  其中,头三个分量是按  $(x,y)$  处像素的三基色值的线性组合计算出来的,接下来三个分量是  $3 \times 3$  窗口内三基色的方差,最后两个分量对应于像素实际坐标。方差分量为聚类算法提供了图像的二阶统计信息,坐标量反映了向量空间相邻信息,而比例因子  $\alpha$ 、 $\beta$  和  $\gamma$  用来定义和控制各分量在特征向量中所占

的比重,通过调整它们的大小可以改善聚类结果。Naviata 将 Hueckel 算子扩展到彩色边缘提取,他指出用强度( $D=R+G+B$ )和归一化彩色( $r=R/D, g=G/D$ )获得的结果要比用 RGB 为好。

从上述介绍的情况可以看出彩色空间和彩色向量的选取对分割结果起决定性作用,但色彩空间及特征的选取,似乎不同的组合用于不同的目的,目前还看不出哪种色彩空间和哪些特征向量比其它的更好,也就是说它们都不能适合于所有类型的图像。

### 3 传统图像分割的局限性

常用的图像分割技术可划分为四类:特征阈值或聚类、边缘检测、区域生长或区域提取以及递归像素分类,虽然这些方法分割灰度图像效果较好,但用于彩色图像的分割往往达不到理想的效果。

阈值方法是灰度图像分割普遍采用的方法,特别是对具有双峰特征的图像,采用这种方法效果较理想,但彩色图像有更大的灰度范围,这给阈值的选取增加了难度。

彩色特征聚类是阈值概念的多维扩展,通常在每一色彩分量上可得到不同的直方图,分别确定各自的阈值后,将结果组合起来,并映射到空域构成分割的彩色图像。用这种方法得出的分割结果往往会出现彩色聚类相互重叠,这是由于:(1)仅依赖色彩分割是不全面的;(2)彩色图像直方图一般尖峰不明显,各色彩分量的阈值难以确定;(3)像素的色彩映射到三个不同的直方图上,色彩信息被耗散。

边缘检测是另一种常用的分割方法。所谓边缘是指图像中一种或多种特征突变的地方。这种方法的突出问题是检测出边缘的连续性,特别是图像中的细小区域或噪声图像更加严重,往往会产生错误或额外边缘。此外,边缘检测本身并不是一分割过程,它仅是利用边缘像素将图像中的区域分离开来,并没有产生具有单一色彩和封闭边界的分区域。一种较好的分割算法往往利用边缘信息提取出大的分区,而利用其它方法分割图形的其余部分。

区域生长与合并方法的缺点在于它们固有的顺序特性,结果好坏受种子的选取和区域生长与合并的次序影响较大,且这种方法时空代价比较大。

### 4 混合分割方法

采用传统单一的方法分割彩色图像大多情况下不能满足实际要求,目前人们更多的是将几种方法结合起来使用。以下以一些实际应用成果为例,介绍几类混合分割方法。

#### 4.1 区域生长和区域合并

A. Tremeau 和 N. Borel<sup>[2]</sup>认为,由于区域生长法直接作用于色彩空间,在分割过程中同时考虑了色彩分布及其空域上的重新划分,因此它较聚类和阈值方法更适用于彩色图像分割,他们将区域生长和区域合并结合在一起用于彩色图像的分割。区域生长过程同时考虑了色彩相似和空间邻近,而区域的合并只考虑了色彩相似,这是为了能够将色彩特征相似,但空间非连通的区域合并起来。显然,这与一般的要求分割区域必须连通相比,应用范围更宽,区域生长的色彩相似和空间相似性通过三个一致性准则度量,即局部一致性准则(LHC)、第一平均一致性准则(AHC1)、第二平均一致性准则(AHC2)。LHC用于相邻像素之间的局部对比,AHC1用于一像素与其相邻像素间的局部和区域对比,AHC2用于像素和所处理区域间的全局和区域对比。在区域合并过程中使用了全局一致性准则(GHC),用以比较两个区域的平均色彩值。

在 Y. Kansil<sup>[3]</sup>提出的混合算法中,彩色空间选用了 HSV 空间,用下式度量颜色相似性:

$$CD(i, j) = |V_i - V_j| + \left| V_i S_i \cos\left(\frac{H_i \pi}{3}\right) - V_j S_j \cos\left(\frac{H_j \pi}{3}\right) \right| + \left| V_i S_i \sin\left(\frac{H_i \pi}{3}\right) - V_j S_j \sin\left(\frac{H_j \pi}{3}\right) \right|$$

区域标志的提取利用了色彩和亮度两种信息。为了克服 HSV 空间的奇异性,区域合并过程分为三种情况:浅色合并、单色合并、浅色和单色的合并。

#### 4.2 区域分割和边缘检测

在基于区域分割方法中,先寻找图像中有均匀特性的区域,然后形成边界。而在基于边缘分割方法中,首先检测出局部不连续性,然后将它们连起来以形成更长、更完整的边界。从这一角度上讲,两种方法混合使用可达到优势互补的目的。彩色图像的边缘检测一般可以通过三种途径:在每一彩色分量上独立检测,再综合所得的结果;仅在亮度分量上检测;在统一的图像场中按梯度检测。

D. Zugaj 等<sup>[5]</sup>发现通过梯度算子检测出的边缘与区域生长法所得到的区域边界显现出较好的重叠,于是将两种方法结合起来。区域分割采用了直接比较像素颜色的策略,根据两像素  $P$  和  $P_i$  间的距离决定它们是否属于同一区域,距离度量是取三个彩色距离最大值,即  $d(P, P_i) = \max_{C=R,G,B} |C(P) - C(P_i)|$ ,若  $d(P, P_i)$  小于一指定阈值  $S$ ,则合并  $P$  和  $P_i$ 。由于几个属于不同区域的像素也许同时满足合并标准,所以区域的生成分为两步,先生成区段

(zone),然后从所得区段构造区域(region)。E. Saber<sup>[6]</sup>等提出了类似方法,只是区域分割采用了 Gibbs 随机场以确保形成空间连续的区域。

A. Moghaddamzadeh 和 N. Bourbakis<sup>[4]</sup>将两种方法结合用于图像的粗分割,以发现大的重要分区。粗分割适用于像目标识别和图像理解这种图像细节和目标内色彩变化可忽略的领域,在粗分割基础上,通过区域生长和扩展再对图像进一步细分,使其适用于诸如图像压缩这种要求尽量保持原图像信息不丢失的领域。在进行区域扩展时,主要考虑了一致性和远近度量两个准则,其中一致性准则有两个,一个是像素和区域色彩的绝对比较,另一个是在生长方向上像素间的局部或相对比较,而总的对比通过“与”或者“或”运算求出。由于两者的关系难以明确定义,为此在算法中引入了模糊运算。远近度量同时考虑了色彩对比  $\mu_c$  和空间距离  $\mu_d$  两个因素,最终度量为两者的乘积  $\mu_j = \mu_c \times \mu_d$ 。

#### 4.3 基于直方图和基于相邻关系的方法

基于直方图的分割方法优点是不需要有关图像的先验信息,缺点是未充分利用局部空间信息。将它与基于相邻关系的方法相结合可以弥补这一缺陷。

J. Liu 和 Y.-H. Yang<sup>[7]</sup>将尺度空间滤波(SSF)和马尔可夫随机场(MRF)结合起来,提出了多解彩色图像分割(MCIS)算法,实现一个从粗到细的图像分割过程。C.-L. Huang 等人<sup>[8]</sup>也曾提出过这种方法,但每一彩色分量图像是独立处理的,且 MRF 只用在像素级。

Witkin 提出的尺度空间滤波方法可以有效地分析直方图,发现直方图中最突出稳定的波峰,其基本过程是找出直方图中的“指纹”,并用指纹构造一区间树,树的每个节点为一区间,若一节点的高度大于其子孙的平均高度,它就是一灵敏(active)节点,所有灵敏节点用于分割直方图。这一过程作用于彩色图像的每一彩色分量上,将所得结果组合起来就可以得到三维彩色空间的聚类信息。由于所得空间聚类并不一定都是重要的,J. Liu 和 Y.-H. Yang 在算法中引入一参数  $l$  用以挑出最大聚类, $l$  表示包含在一聚类中的像素数与所有聚类所含像素的比率,用户可以通过选择参数  $l$  和最大尺度  $\sigma_{max}$  控制分割的粗细程度。若增大  $\sigma_{max}$ ,灵敏节点数减少,灵敏节点的范围增大;而减小  $\sigma_{max}$ ,先前灵敏节点的子孙可能变成灵敏节点,从而得到新的聚类,这时聚类的范围减小,但聚类数量增加。

通过 SSF 得到聚类信息实现了图像的粗分割,接下来用 MCIS 进一步细化分割。在算法中,MRF

用二次树结构表示,并利用了MRF和Gibbs分布的等价性,以一松弛过程控制区域的分裂与合并,使得Gibbs分布能量最小。MRF的统计特性是把每个像素的取值作为相邻像素取值及附加噪声的函数来描述的,简单地说,一个像素具有某一特定值的条件概率仅与相邻像素有关,而不必从整个图像考虑。

#### 4.4 基于直方图和神经网络方法

为了使系统在分割图像过程中能够模仿人在信息处理时的某些智能行为,以及提高输出的实时性,人们将神经网络方法用于图像分割<sup>[2]</sup>。P. Campadelli<sup>[1]</sup>等人根据C.-L. Huang提出的神经网络分割灰度图像的思想,将神经网络技术推广到彩色图像分割,并给出两种不同的算法。算法1是针对每一彩色分量建立三个不同网络,求出结果后再将它们综合起来。算法2只采用单个网络。虽然网络个数、网络结构不同,但它们的工作原理、步骤基本相同,其过程可概括为:

- 进行图像直方图分析以确定波峰或聚类的个数 $S$ ;
- 根据 $S$ 值以及图像大小 $N \times M$ ,建立一 $N \times M \times S$ 个神经元的网络,网络的层数取作 $S$ ;
- 依据直方图统计信息,以一定规则初始化每一神经元;
- 网络演化直到每个神经元的输出小于一预定的阈值为止。

神经网络方法是将图像分割问题作为一能量函数最小化问题来处理,能量函数决定了网络结构。C.-L. Huang将能量函数定义为三项之和: $E = AE_1 + BE_2 + CE_3$ ,每一项代表了对图像分割的一种约束。 $E_1$ 便于将相邻像素划分到同一区域,当一神经元和其八个相邻神经元状态值相同时, $E_1$ 达到最小; $E_2$ 用于避免像素的多次划分; $E_3$ 为一致性约束。

**结论** 应用领域的不同、图像质量的好坏以及图像色彩的分布和结构的差异决定了很难找到一种通用的方法,以解决由于这些客观因素所引起的图像分割问题。目前普遍采用的技术是根据实际情况组合不同的方法,分层次地分割图像,针对可能遇到的特殊问题,研究新的方法策略。这也反映了今后彩色图像分割的一种发展趋势。

#### 参考文献

- 1 王润生. 图像理解. 国防大学出版社,1995. 10
- 2 Tremeau A, Borel N. A Region Growing and Merging

- Algorithm to Color Segmentation. Pattern Recognition, 1997, 30(7): 1191~1203
- 3 Carevic D, Caeli T. Region-Based Coding of Color Image Using Karhuen-Loeve Transform. Graphical Models and Image Processing, 1997, 59(1): 27~38
- 4 Smith J R, Chang S F. Tools and Techniques for Color Image Retrieval. SPIE, 1996, 2670: 426~437
- 5 Zujaj D, Lattuan V. A New Approach of Color Images Segmentation Based on Fusing Region and Edge Segmentation Output. Pattern Recognition, 1998, 31(2): 105~113
- 6 Moghaddamzadeh A, Bourbakis N. A Fuzzy Region Growing Approach for Segmentation of Color Images. Pattern Recognition, 1997, 30(6): 867~881
- 7 Liu J, Yang Y-H. Multiresolution Color Image Segmentation. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1994, 16(7)
- 8 Schuemmer R P, Barner K E. A Color-Based Classifier for Region Identification in Video. SPIE, 1998, 3308: 189~200
- 9 Kanai Y. Image Segmentation Using Intensity and Color Information. SPIE, 1998, 3309(2): 709~720
- 10 Herodotou N, et al. A Content-Based Storage and Retrieval Scheme for Image and Video Databases. SPIE, 1998, 3309: 697~708
- 11 Levkowitz H, Herman G T. GLHS: A Generalized Lightness, Hue, and Saturation Color Model. Graphical Models and Image Processing, 1993, 55(4): 271~285
- 12 Pal N R, Pal S K. A Review on Image Segmentation Techniques. Pattern Recognition, 1993, 26(9): 1277~1294
- 13 Campadelli P, et al. Color Image Segmentation Using Hopfield Networks. Image and Vision Computing, 1997, 15: 161~166
- 14 Huang C-L, et al. Color Images' Segmentation Using Scale Space Filter and Markov Random Field. Pattern Recognition, 1992, 25(10): 1217~1230
- 15 Saber E, et al. Fusion of Color and Edge Information for Improved Segmentation and Edge Linking. Image and Vision Computing, 1997, 15: 769~780
- 16 Saber E, et al. Automatic Image Annotation Using Adaptive Color Classification. Graphical Models and Image Processing, 1996, 58(2): 115~126
- 17 Weeks R, Hague G E. Color Segmentation in the HIS Color Space Using K-means Algorithm. SPIE, 1997, 3026: 143~154