

# 一种基于边缘生长的灰度和彩色图象分割方法

林 通 石青云

(北京大学视觉与听觉信息处理国家重点实验室, 北京 100871)

**摘 要** 边缘检测可以快速准确地提供区域分割的边缘点, 是图象处理的一个重要领域. 但由于边缘点不连续和难以把存在大量碎边缘点的高细节区提取出来这两个原因, 而不能直接实现完整意义上的图象分割. 为此提出用边缘生长的方法来解决不连续的边缘点链接问题和通过找出高细节区周围的区域, 以便间接地将高细节区围成一个区域. 该算法是边缘检测的后续处理, 适合于多种应用目的, 同时还可以嵌入到其它利用边缘信息的分割算法中.

**关键词** 图象分割 边缘检测 边缘生长

中图法分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2000)11-0911-05

## An Edge Growing Approach for Segmentation of Grey and Color Images

LIN Tong, SHI Qing-yun

(National Laboratory on Machine Perception, Peking University, Beijing 100871)

**Abstract** Edge detection efficiently and accurately indicates the boundary points of image areas, so it is popularly used in various computer vision applications. However edge detection alone is not a whole image segmentation process, because usually the detected edges are not continuous and many loose edge points exist in high detail areas. In this paper we present a novel approach called edge growing to attack edge discontinuity after edge point detection. Every salient edge point in an edge end would grow forward based on the edge structures in its neighborhood. All the edge end points grow simultaneously until closed edge contours are presented and the image is segmented into closed regions. After that, salient regions can be identified by its horizontal and vertical spans and extracted by contour tracking. Therefore high detail areas enclosed by the adjacent salient regions can be indirectly extracted as a large area, without grouping these high detail areas to use some complicated algorithms. As a procedures after edge detection, the algorithms can be applied in diverse applications, and can be embedded in other complicated segmentation procedures to incorporate edge information. Experimental results show that the algorithms proposed in this paper achieve excellent performance in color image segmentation.

**Keywords** Image segmentation, Edge detection, Edge growing

## 0 引 言

图象分割是图象分析的第一步, 也是图象处理中最古老和最困难的问题之一. 所谓图象分割就是将图象表示为物理上有意义的连通区域的集合, 即这些区域的灰度或颜色大致相同, 或者这些区域的反照率、纹理等属性相近, 因而图象分割常用于模式识别与图象理解以及新一代的图象压缩与编码两大类不同的应用目的<sup>[1]</sup>. 对于这两类应用, 图象分割都是最重要的处理步骤, 但分别需要采用不同的图象分割策略, 其中, 对于模式识别应用, 一个物体对象内部的细节

与颜色渐变应被忽略, 而且一个物体对象只应被表示为一个或少数几个分割区域, 即粗分割; 而对于新一代基于区域或对象的图象压缩与编码, 其分割的目的则是为了得到颜色一致的区域, 以利于高效的区域编码. 若同一区域内含有大量变化细节, 则难以编码, 因此图象编码需要细分割, 即需要捕捉住图象颜色细微的变化. 由于本文提出的算法主要是为了应用于基于内容的图象查询(QBIC)系统, 因此要对图象中的区域或对象按照颜色、纹理、形状、运动等属性进行相似检索, 就需要快速鲁棒的图象分割算法. 但本文算法也同样适用于基于区域的图象压缩编码.

图象分割的方法大致可分为以下6类<sup>[1,2]</sup>: (1)

自顶向下分割,如直方图取阈值,或基于最大后验概率(MAP)的最优分类;(2)基于边缘检测的分割<sup>[3,4]</sup>;(3)区域生长与合并<sup>[5]</sup>;(4)自底向上的迭代像素聚类<sup>[6,7]</sup>,如模糊均值方法(FCM)、基于马尔柯夫随机场(MRF)的聚类<sup>[8]</sup>、基于神经网络的聚类;(5)主动轮廓模型(ACM)方法<sup>[2]</sup>;(6)全局优化方法,如基于能量函数、贝叶斯公式、或最小描述长度(MDL)的分类方法<sup>[2]</sup>.这几类方法各有如下不同的缺点:①阈值方法虽简单,但效果差,而MAP方法则计算量巨大;②边缘检测方法只使用了局部信息,难以保证分割区域内部的颜色一致,且不能产生连续的闭区域轮廓;③区域生长法常得到不规则的边界和小洞,且区域个数严重依赖于初始种子数,同时计算量较大;④迭代像素聚类法则计算量巨大;⑤ACM法需要良好的初始分割;⑥全局优化方法则难以找到最优解或次优解.

最近一些文献介绍的一些新方法,如使用遗传算法与模糊测度的分裂合并方法<sup>[9]</sup>和基于区域建模的层次聚类方法<sup>[7]</sup>,以及使用松弛标签技术的边缘检测算法<sup>[3]</sup>等,也只是上述单独某类方法的改进;另一些文献介绍的方法则是将上述方法结合起来,扬长避短,以求达到较好较快的分割,如文献[2]提出的区域竞争算法,是将主动轮廓模型、区域生长、贝叶斯和MDL等方法统一起来,用于灰度图象、彩色图象和纹理图象的分割.该方法是先均匀选定若干个区域生长种子,同时进行生长;然后当两个区域相交时,则按定义的MDL准则进行区域竞争;最后坏种子所在区域被吞食直至消亡.

文献[1]、[10]、[11]介绍的方法则是试图将边缘检测与区域生长法结合在一起.其中,文献[10]提出的方法是先进行边缘检测,得到一些重要的边缘点,再进行区域生长,得到一些小区域片;然后将两结果叠加起来,最后用迭代松弛标签技术将边缘间的缺口封闭;文献[11]的方法也是先做边缘检测,然后用有向势能函数(DPF)将有小缺口的两边缘强制连接,以得到粗分割的封闭边缘图,再利用封闭边缘进行各向异性扩散,最后用区域生长技术得细分割;而文献[1]则提出了分别针对模式识别的粗分割和图象编码的细分割两个算法,其中粗分割使用了边缘检测,而细分割则没有.其粗分割是先做敏感的边缘检测,甚至找出微弱的细边缘,以避免边缘间存在较大的缺口,再做区域生长,当遇到边缘点或两边缘间的小缺口,则停止生长.这时得到的都是较小的碎

区域,然后,按同质准则和远近度量准则,用稍大一点的区域来吸收周围的碎区域,最后形成粗分割.

虽然边缘检测的优点是边缘定位准确,运算速度快,但它有两大难点限制了其在图象分割中的应用,即(1)不能保证边缘的连续性或封闭性;(2)在高细节区存在大量碎边缘,难以形成一个大区域,但又不宜将高细节区分成小碎片.由于上述的两个难点,因此单独的边缘检测只能产生边缘点,而不是一个完整意义上的图象分割过程,这就是说,边缘点信息需要后续处理或与其它分割算法结合起来,才能完成分割任务.另外,又由于边缘点信息难以与其它算法(如区域生长)有机地结合,因此本文提出了边缘生长技术,以最大程度地保证边缘的封闭性;然后通过找出碎边缘区周围的大区域,即可以间接地将碎边缘区包围起来,这样对高细节区也进行了分割.

尽管彩色图象分割的算法已有不少,但远不如灰度图象的分割算法那么丰富<sup>[5]</sup>.目前已用于彩色图象分割的坐标系有(R, G, B), (X, Y, I), ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), ( $L^*$ ,  $u^*$ ,  $v^*$ ),但仍难以证明其中哪一坐标系比其它坐标系得到的分割效果更好<sup>[1]</sup>.本文直接采用了(R, G, B)坐标系.

## 1 梯度计算与边缘点提取

目前有较多的边缘检测方法,如Canny算子,或模板<sup>[1]</sup>,文献[10]又提出了彩色梯度算子.本文是用可分离的二维二进小波来进行边缘检测<sup>[12]</sup>.对于灰度图象,为计算水平方向的梯度 $G_x$ ,先对每列用 $l$ 滤波器光滑,再用 $s_g$ 滤波器进行高通滤波;为计算竖直方向的梯度 $G_y$ ,则先对每行用 $l$ 滤波器光滑,再用 $s_g$ 滤波器对列进行高通滤波;对于(R, G, B)彩色图象,梯度模则取3个通道上的梯度的平均,但3个通道上的梯度方向一般不同,因而难以按梯度方向求极值点<sup>[12]</sup>.本文的做法是:若在水平、竖直或两个斜线中的某个方向上,点 $P$ 的梯度模是 $3 \times 3$ 窗口中的极大值,且梯度大于某阈值,则取 $P$ 为边缘点.

## 2 边缘生长

由于边缘检测后得到的边缘是不封闭的,因此必须通过后续处理才能完成图象分割.一些文献中曾采用马尔柯夫模型定义的能量函数<sup>[8]</sup>、有向势能函数(DPF)<sup>[11]</sup>、 $A^*$ 搜索技术<sup>[4]</sup>、图象形态学方法<sup>[13]</sup>

来解决边缘封闭性问题,而本文提出边缘生长的目的是使边缘点形成封闭的边缘,并将中间有小缺口的两边缘连接起来,它部分借鉴了区域生长的思想.在求梯度极值点时,若取较大的梯度阈值,得到的是重要的边缘点,因而此时除去少数孤立点外,边缘点已经连成小段的边缘线,让这些边缘线沿两端生长,直至遇到图象边界或其它边缘点为止.这样既保留了重要的边缘点,使之不至于引入过多零乱琐碎的细边缘,又让它们形成封闭的轮廓而达到分割目的.

边缘点检测后,所得到的信息处于点级别.一般说来,抽象层次的提高(如将点级别提高到线级别),将更易于进行图象处理和分析,但事实上,边缘生长完全可以直接在点级别上进行,从而可节省算法运行时间.具体做法是:

①先按栅格扫描方式寻找边缘生长点,这里生长点定义为连通数为 1 的边缘点,如图 1(b)、图 1(c) 中的中间象素  $P_1$ ,并规定其可能的生长方向(如箭头所示),且每次只许生长至  $3 \times 3$  窗口的某个邻居(称为候选点);若  $P_1$  周围已有的边缘点个数为 1,并设此边缘点为  $P_i, i \in \{2, 3, \dots, 9\}$ ,则候选点是  $3 \times 3$  窗口中与  $P_i$  城市街道距离大于 1 的非边缘点;若  $P_1$  周围已有边缘点数大于 1,则按  $P_2 \rightarrow P_3 \rightarrow P_4 \rightarrow P_5 \rightarrow P_6 \rightarrow P_7 \rightarrow P_8 \rightarrow P_9 \rightarrow P_2$  的顺序搜索,当找到与非边缘点交界处的边缘点,则记为  $Q_1, Q_2$ ,如图 1(c) 中  $Q_1 = P_5, Q_2 = P_7$ ,候选点是与  $Q_1, Q_2$  城市街道距离大于 1 的非边缘点  $P_9, P_2, P_3$ .

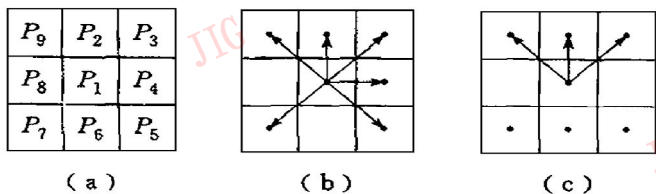


图 1

②找出候选点中梯度最大的点作为新的边缘点,接着按栅格扫描顺序寻找下一个生长点,若刚才的生长点是  $P_4, P_5, P_6$  或  $P_7$ ,则在此次扫描中会接着生长;若是  $P_8, P_9, P_2$  或  $P_3$ ,则需等到下一次栅格扫描时才可能生长.如此进行一遍又一遍的栅格扫描,直至无生长点为止.

因为新的边缘点在候选点中梯度总是最大的,即相当于生长点总在梯度图中的山梁上前进,而且由于生长点每次只允许生长一步,所以所有生长点几乎是同步生长的,而不是一个生长点长出很长的边缘,而其余生长点没有变化,这就避免了某些边缘

走得太远,或因方向因素得到不正确的边缘.一般边缘图中会有一些小圈,这是由于小毛刺生长所致.经过边缘生长后,边缘缺口显著减少,剩下的缺口是因为生长的边缘绕梯度图上的环形山脉走一圈,而与自己连在一起,或者是由于缺口处的梯度太小,致使边缘生长误入歧途.当有一些生长点形成小圈而停止生长时,可将此小圈去掉,换之为一个长度为 3 的直边缘(如图 2 所示).然后再进行边缘生长,直至无边点可生长为止;接着,再去掉小圈,再进行边缘生长,如此反复,以至边缘无变化为止.

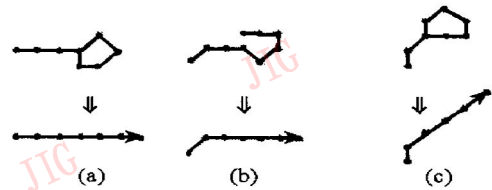


图 2

### 3 寻找大区域

为了找出边缘图中的大区域,以得到其边界描述,但在寻找之前,又希望知道此区域是否足够大,因为希望避免在大量的小区域上花费时间.这是一种矛盾,虽然在寻找之前不能精确知道此区域的面积,但可以用简单的方法估计此区域是否足够大.

其做法是先选定一个步长  $s$ (如取 10),然后按栅格扫描方式选取种子点,第一点为  $(10, 10)$ ,第二点为  $(20, 10)$ ,依次类推,并使任何相邻的两种子间隔为  $s$ .若当前种子点为边缘点,则移至下一种子点,让当前种子点沿水平方向生长,直至遇到边缘点或图象边界时为止,若水平方向生长的长度大于  $s$ ,则认为当前种子点极有可能在一个大区域中,并称为好种子;否则让其沿垂直方向生长,若垂直方向生长的长度大于  $s$ ,也认为当前种子是一个好种子;若两个方向的长度均小于  $s$ ,则移至下一种子点.

令图象边界上的点全部为边缘点,当找到好种子后,则对好种子向左生长遇到的第一个边缘点进行边界跟踪,直到回到起始边缘点,即得到一个由闭边界曲线围成的区域(具体算法不再赘述),并记此时得到的闭边界曲线围成的区域为  $R$ .由于该区域  $R$  中可能包含多个种子点,因此应找出  $R$  内的所有种子点,以避免重复寻找.若当前种子点在  $R$  之外,说明  $R$  是当前种子点所在区域中的一个洞,则让当前种子点继续向左生长找到不属于  $R$  的边缘点,再

做边界跟踪,直到找到包含当前种子的区域,再移至下一种子.判断一个种子是否在 $R$ 内的方法是:先判定种子是否在 $R$ 的最小包含矩形(MER)内,若在MER之外,则此种子不在 $R$ 内;若在MER内,则让种子向左发出一条射线直至遇到MER,然后计算射线跨过 $R$ 边界的次数,若有奇数次,则种子在 $R$ 内;否则种子在 $R$ 外.如何计算射线跨过 $R$ 边界的次数如图3所示,图3(a)、图3(b)即为跨过边界一次,而

图3(c)不算跨过边界.

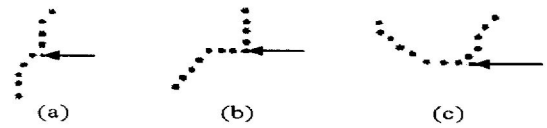
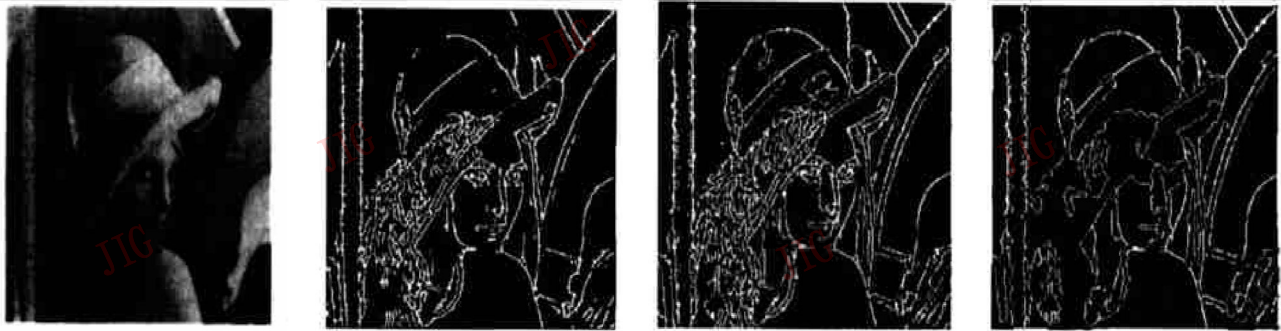


图3

这样得到的区域边界可能有些小刺,但可以直接去掉;而对较长的刺(如图4(c) Lena帽顶),应让其与最近的边缘点连接,其结果见图4(d).



(a) Lena 灰度图象 (b)  $\lambda = 1/8$  时初始边缘点 (c) 迭代边缘生长结果 (d) 大区域的提取结果

图4 基于边缘生长的 Lena 灰度图象分割结果

### 4 实验结果

使用边缘生长法进行图象分割的算法流程如图5所示.

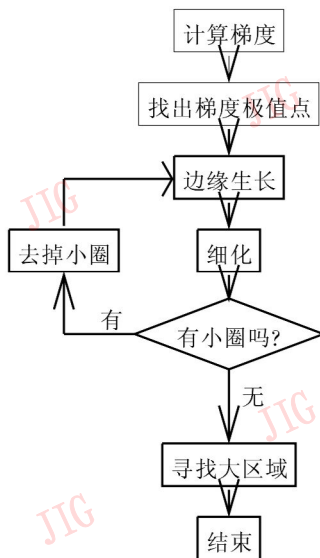
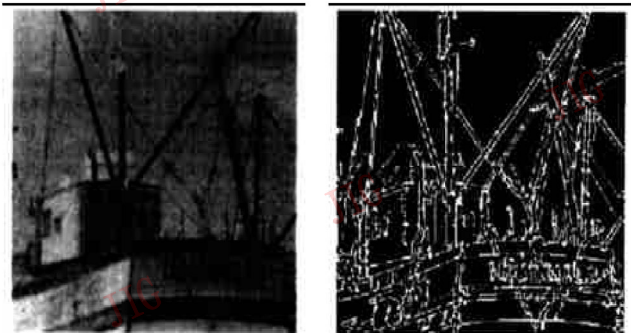


图5

设 $\lambda$ 为求极值点时所取的阈值与最大梯度的比例,试验图象大小均为 $256 \times 256$ 像素(图4),从图4(c)可以连接重要边缘点的许多弱边缘也被找了出来,帽顶没有封闭;通过寻找大区域则看出,将帽顶封闭(图4(d)),这为识别图中的圆顶草帽奠定了基础,另外,草帽边上的草,也间接地被围成了一

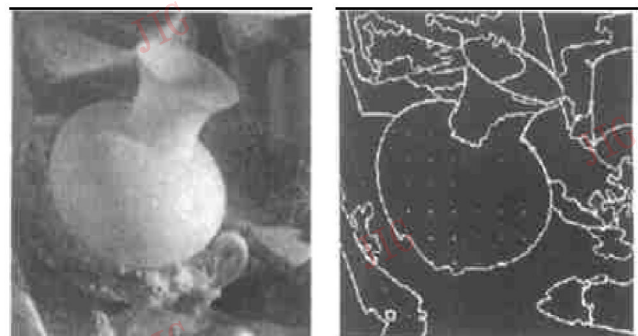
个区域.图6(a)是灰度图象 Boat;图6(b)是 $\lambda = 1/8$ 时的边缘生长结果,由该图可见,许多不同粗细的桅杆被找了出来.



(a) Boat 灰度图 (b) 边缘生长结果

图6 基于边缘生长的 Boat 灰度图象分割结果

图7(a)是彩色图象 Jar,它有较复杂的背景;图7(b)是 $\lambda = 1/8$ 时边缘生长后找到的大区域结果,由该图可见,其内部均匀间隔的小点为生长种



(a) Jar 彩色图象 (b) 大区域的提取结果

图7 基于边缘生长的 Jar 彩色图象分割结果

子,瓶子被分成了 4 个区域,这有利于下一步进行基于形状的瓶子识别与检索。

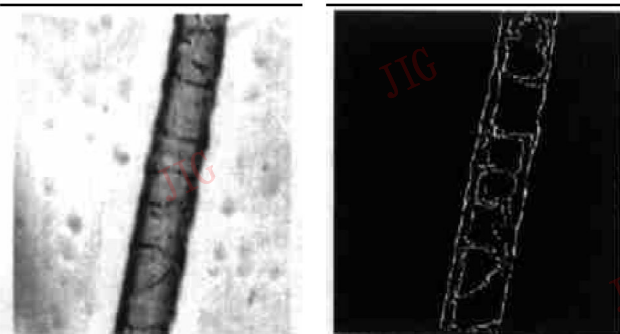
图 8(a) 是彩色图象 House; 图 8(b) 是由边缘生长的结果叠加到图 8(a) 所得,可用于基于区域的图象压缩. 图 9(a) 是羊毛图象; 图 9(b) 为寻找出的大区域结果,其中,羊毛的鳞片区域被准确地找出,以用于羊毛识别。



(a) House 灰度图

(b) 分割结果图象

图 8 基于边缘生长的 House 图象分割结果



(a) 羊毛图象

(b) 图象分割结果

图 9 基于边缘生长的羊毛图象分割结果

## 5 结 论

本文提出了基于边缘生长的边缘检测后续处理方法,它解决了边缘检测后遗留下的两个关键问题,即边缘的点链接与高细节区的处理.未来的研究工作是将颜色类似、空间相近的区域组成更大的区域,以形成图象的层次分割<sup>[6,7]</sup>,以及用于提取初始边缘点的自适应阈值选取.在研究时,将着重考虑物体反射(即对象颜色)、表面反射(即高光)、物体反照率,对象纹理等因素,以及利用聚焦/散焦来进行对象分割<sup>[13]</sup>,同时将考虑如何确认重要的边缘<sup>[14]</sup>,以去除假边缘。

## 参 考 文 献

1 Moghaddamzadeh A, Bourbakis N. A fuzzy region growing approach for segmentation of color images. *Pattern Recognition*,

1997, 30(6): 867~ 881.

- 2 Zhu S C, Yuille A. Region competition: unifying snakes region growing, and Bayes/MDL for multiband image segmentation. *IEEE Trans. Pattern Analysis Mach. Intell.*, 1996, 18(9): 884~ 900.
- 3 Iyengar S S, Deng W. An efficient edge detection algorithm using relaxing labeling technique. *Pattern Recognition*, 1995, 28(4): 519~ 536.
- 4 Farag A A, Delp E J. Edge linking by sequential search. *Pattern Recognition*, 1995, 28(5): 611~ 633.
- 5 Treméau A, Borel N. A region growing and merging algorithm to color segmentation. *Pattern Recognition*, 1997, 30(7): 1191~ 1203.
- 6 Bimbo A D *et al.* Visual querying by color perceptive regions. *Pattern Recognition*, 1998, 31(9): 1241~ 1253.
- 7 Shen X *et al.* Segmentation of 2D and 3D images through a hierarchical clustering based on region modeling. *Pattern Recognition*, 1998, 31(9): 1295~ 1309.
- 8 Uraige S, Zerubia J, Berthod M. A markovian model for contour grouping. *Pattern Recognition*, 1995, 28(5): 683~ 693.
- 9 Chun D N, Yang H S. Robust image segmentation using genetic algorithm with a fuzzy measure. *Pattern Recognition*, 1996, 29(7): 1195~ 1211.
- 10 Zugaj D, Lattuati V. A new approach of color images segmentation based on fusing region and edge segmentations outputs. *Pattern Recognition*, 1998, 31(2): 105~ 113.
- 11 Maeda J *et al.* Segmentation of natural images using anisotropic diffusion and linking of boundary edges. *Pattern Recognition*, 1998, 31(12): 1993~ 1999.
- 12 许传祥. 二进小波变换、R-方法及其在图象处理和计算机视觉中的应用[博士学位论文]. 北京: 北京大学, 1995.
- 13 Tsai D M, Wang H J. Segmenting focused objects in complex visual images. *Pattern Recognition Letters*, 1998, 19: 929~ 940.
- 14 Wen W, Xia A. Verifying edges of visual inspection purposes. *Pattern Recognition Letters*, 1999, 20: 315~ 328.



林 通 1974 年生, 北京大学数学科学学院信息科学系博士生. 主要研究方向为基于内容的视频处理与检索。



石青云 中国科学院院士, 1957 年毕业于北京大学数学力学系, 现任北京大学数学科学学院教授、应用数学专业博士生导师, 北京大学信息科学中心学术委员会主任, 国际模式识别委员会理事. 研究方向为模式识别、图象数据库、图象数据压缩等。