

# 基于 Max-tree 的连通区域标记新算法<sup>\*</sup>

章德伟, 蒲晓蓉, 章 毅

(电子科技大学 计算机科学与工程学院 计算智能实验室, 四川 成都 610054)

**摘 要:** 采用灰度图像创建 Max-tree 的基本思想, 提出一种新的二值图像连通区域标记算法。该算法主要采用 8-邻域搜索及排序队列方式实现, 通过一次扫描二值图像即可完成连通区域标记。提出一种新的 8-邻域搜索策略, 可以将邻域搜索次数由八次减少到平均四次以下, 从而提高了系统效率。此外, 还给出一种排序队列的快速实现方法, 并将其应用到标记算法中。而且, 该算法的运行时间仅与待标记图像的大小有关, 与连通区数目和图像内容无关。该算法已应用于海藻图像识别, 实验结果表明该算法是快速、高效的。

**关键词:** Max-tree; 连通区域标记; 8-邻域搜索; 排序队列

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1001-3695(2006)08-0168-03

## Connected Component Labeling Algorithm Based on Max-tree

ZHANG De-wei, PU Xiao-rong, ZHANG Yi

(Computational Intelligence Laboratory, College of Computer Science & Engineering, UEST of China, Chengdu Sichuan 610054, China)

**Abstract:** Based on the theory of Max-tree, a new connected component labeling algorithm is proposed in this paper. The proposed algorithm can label the connected components by scanning the binary image on time. By improving the traditional algorithm of 8-Neighbor Searching, the average Neighbor Searching times can be reduced from eight to four. An efficient implementation of ordered queue is also introduced in this paper. The experiments on diatom images identification have been done to test the performance of the proposed algorithm, which show that the new algorithm has better performance than the traditional ones.

**Key words:** Max-tree; Connected Component Labeling; 8-Neighbor Searching; Ordered Queue

二值图像指仅包含背景像素和目标像素的数字图像; 二值图像连通区域标记指将图像中符合某种连通规则的目标像素点用相同的标号表示出来。通常使用的连通规则包括 4-邻域连通或 8-邻域连通两种。其中, 后者的应用更广泛。在模式识别等许多图像处理应用中, 灰度图像经过预处理转变为二值图像以后, 常常需要对不同的连通区域(即目标)进行标记, 以便单独分析每一个目标的特征<sup>[11~13]</sup>。此外, 二值图像标记算法本身也可以作为图像预处理步骤, 为后续处理提供依据<sup>[1]</sup>。

到目前为止, 先后研究出了许多二值图像连通区域标记方法。这些方法大致可以分为以下几类:

(1) 两次扫描法<sup>[2]</sup>。第一次扫描时, 将临时标号存储在一个与图像大小一样的二维数组中并形成等价对。扫描结束时, 通过某种搜索方法合并等价标号; 第二次扫描时, 用等价标号中最小的标号值赋予所有等价标号对应的像素点。

(2) 双向反复扫描法<sup>[3]</sup>。第一次扫描时, 将每个目标像素点标记为一个唯一的标号。然后, 通过正向和反向反复扫描标号图像, 并在每个像素的邻域内传播最小标号, 直到没有标号变化时为止。

(3) 区域增长法<sup>[4]</sup>。依次扫描二值图像的每一个像素点。当找到某个未标记的目标像素点时, 将其压入堆栈并从该点开

始反复标记其邻域, 直到堆栈为空。

(4) 此外, 还有基于二值图像特殊表示方法的标记算法, 如基于跑长码表示<sup>[14]</sup>、基于游程表示<sup>[15]</sup>、基于四叉树表示<sup>[5]</sup>等标记方法, 以及专用于特殊体系结构的计算机的并行标记算法<sup>[6]</sup>等。

本文基于 Max-tree 的思想, 提出一种快速连通区域标记方法。该方法通过一次扫描二值图像即可完成连通区域标记, 且处理过程中不需要真正创建 Max-tree, 使得算法简单有效。为了减少邻域比较次数, 本文还提出一种新的 8-邻域搜索策略, 可以将邻域搜索次数由八次减少到平均四次以下, 大大提高了搜索效率。此外, 本文还给出了标记方法及搜索策略的一种快速实现。

## 1 连通区域标记

### 1.1 Max-tree

由 Salembier 等人提出的 Max-tree 数据结构被认为是一种万能的图像表示方法, 并且已被成功地应用到计算机视觉等方面的许多经典问题中, 如图像滤波和分割、信息获取等<sup>[7,8]</sup>。

灰度图像的 Max-tree 是一棵有根的树, 数的深度为图像的灰度等级。对于二值图像, 树的深度为 2, 树的根节点代表所有的背景像素, 子节点代表待标记的目标像素。每一个子节点对应一个目标像素的连通区域, 如图 1 所示。因此, 如果我们得到二值图像的 Max-tree 表示, 那么通过 Max-tree 即可获得二

值图像的连通区域标记图。

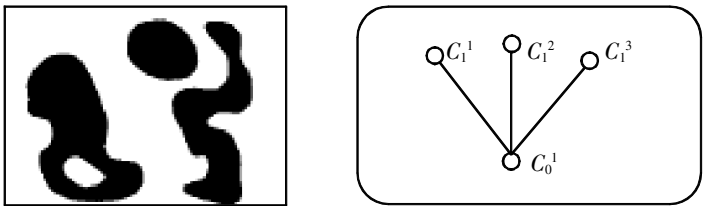


图 1 二值图像及其 Max-tree 表示

1.2 标记算法

对于一般的光栅灰度图像, Salembier 等人给出了创建 Max-tree 的一种简捷有效的递归算法<sup>[7,8]</sup>。如上所述, 如果我们将原始二值图像转换为 Max-tree 表示, 则标记过程仅仅为对 Max-tree 子节点赋予不同标号。实际上, 这样的标记过程由于需要转换图像表示, 导致其效率并不高。因此, 本文结合创建 Max-tree 的思想和标记算法的要求, 提出一种无须真正创建 Max-tree 的连通区域标记算法。本算法不采用递归实现, 因此非常简捷有效。新算法的实现步骤如下:

```
while Que is not empty
    p ← GetQueHeader( )
    L( p) ← curLabel* ORI( p)
    for each q ∈ N( p) and L( q) = "Not Analyze"
        InQue( q)
        L( q) ← "In the Que"
        if ORI( p) = 0 and ORI( q) = 1
            curLabel ← curLabel + 1
            goto 1
    DeQue( )
```

假设二值图像中待标记的像素值为 1, 背景值为 0。为了不破坏原始图像, 算法需要与原始图像尺寸大小相同的目标标记图像, 初始化其值为 “Not Analyze”。算法还需要辅助的排序队列, 初始化时在队列中压入任意一个像素点( 如图像最左上角的像素点) 并令临时变量 curLabel 的值为该像素灰度值。然后, 调用本算法。算法中 GetQueHeader( ) 的功能是取队首元素,  $L(p)$  表示  $p$  点的标记,  $ORI(p)$  表示  $p$  点的原始像素值,  $N(p)$  表示  $p$  点的邻域像素点集合,  $InQue(q)$  表示将  $q$  点入队列,  $DeQue()$  表示队首元素出队列。算法中使用的排序队列采用按像素值降序排列规则, 像素值相同的按照先进先出规则处理。

2 优化策略

在本算法中, 每个像素点只需进入队列一次, 因而具有较高的运行效率。为了进一步提高标记效率, 本文还分别对算法主要依赖的 8-邻域搜索和排序队列提出效率优化策略。

2.1 8-邻域搜索策略

8-邻域搜索是图像处理中的一种常用邻域搜索方式, 该方式适合于找出像素及其邻域像素的某种关系。但是, 8-邻域搜索策略需要就每个像素点处理其八个邻域像素( 图像边界像素点除外), 导致算法中存在大量的比较操作, 因此速度很慢。

如果在处理当前像素时, 记住其搜索路径, 则对当前像素的 8-邻域像素点而言, 其中某些像素必定是此前已经搜索过的, 无须再处理。设具有公共边的两个像素的相邻方式称为边相邻, 只有公共点的两个像素的相邻方式称为角相邻。使用数字 0 ~7 代表从某点访问其邻域像素的方向( 图 2), 每个像素

均有一个代表其以前搜索路径的方向值, 且算法始终按照图 2 所示的方法指定每个像素点的方向值。不难发现, 方向值为偶数的点是边相邻方式, 方向值为奇数的点是角相邻方式, 如  $P_0, P_2, P_4, P_6$  与点  $P$  为边相邻, 而  $P_1, P_3, P_5, P_7$  与点  $P$  则为角相邻。

假设  $P$  为初始点, 则  $P$  的邻域即  $P_0 \sim P_7$  将被搜索并加入到队列, 并将每个点的下标值标志为其对应的方向值。当处理像素为  $P$  的边相邻像素点  $P_6$  时,  $P_6$  的邻域即  $P_7, P_0, P, P_4, P_5, P_54, P_55, P_61$  将被搜索, 并加入到队列。事实上, 此前,  $P_7, P_0, P, P_4, P_5$  已经被搜索过了, 因此对于  $P_6$  的邻域只需要搜索  $P_54, P_55, P_61$  即可。同样, 对于  $P$  的角相邻像素点  $P_5$ , 由于其邻域像素点  $P_6, P, P_4$  已经搜索过了, 因此其邻域只需搜索  $P_51, P_52, P_53, P_54, P_55$  即可。

由此可以看出, 边相邻的点在后续处理中只需搜索其三个邻域点, 而角相邻的点在后续处理中需要搜索其五个邻域点。因此, 当队列中某个待处理的像素点既有角相邻, 又有边相邻时, 优先选择边相邻方式, 这样可以进一步减少邻域搜索次数。

2.2 排序队列的实现

Petr Felkel 等人提出了两种基于 IFT 算法的排序队列的快速实现方法<sup>[9]</sup>。本文采用类似的方法来提高排序队列的访问效率, 即采用两个独立的队列来实现。其中, 一个队列处理背景像素点, 另一个队列处理目标像素点( 图 3), 节点中的  $Dir$  表示本像素的方向值。本文采用静态的排序队列来实现, 该方法可以很方便地扩展到动态排序队列中<sup>[9]</sup>。

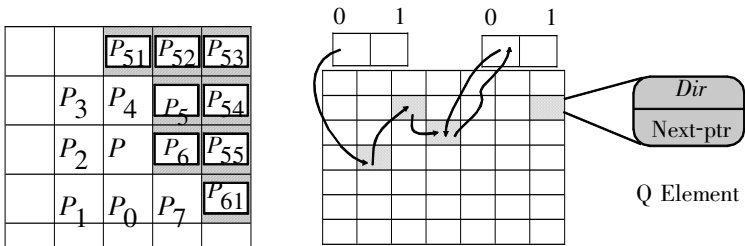


图 2 图像的 8-邻域搜索

图 3 排序队列的实现

3 实验结果

本文将该新算法应用到海藻图像在线检测与识别系统中。海藻图像在线检测与识别处理过程复杂, 步骤较多, 对时间性能要求很高<sup>[10]</sup>。该系统首先对形态学梯度处理后的二值图像进行连通区域标记, 为形态学分水岭算法提供标记图像, 以便检测出图像所包含的目标海藻, 并加以识别。本文提出的新算法能提高系统处理中相关部分的处理效率。

本文将该新标记算法的运行效率与三种传统标记算法的运行效率进行了比较。新算法的运行效率与三种传统标记算法的运行效率比较结果如表 1 所示。所有算法均运行在 P4/2.6GHz/256MB DDR 的 PC 计算机环境中。

表 1 实验结果

图像序号	图像像素点	连通区数目	标记时间( s)			
			双向反复扫描法 [3]	区域增长法 [4]	两次扫描法 [2]	本文算法
1	1.1MB	550	1.938	1.344	0.704	0.297
2	1.4MB	1 135	8.735	0.797	0.796	0.406
3	1.4MB	2 042	4.641	0.859	0.703	0.437
4	1.9MB	2 014	43.52	1.985	0.907	0.609

双向反复扫描法由于扫描次数过多, 导致时间效率不高; 区域增长法不但对目标像素需要扫描两次, 目标像素点的邻域

比较次数也较多,而且需要较多的堆栈操作时间;两次扫描法对于阶梯形的连通区域由于等价对太多因而效率很低。本文提出的算法只需要对图像扫描一次,且每个像素点只进入队列一次,这样,邻域的比较次数大大减少,像素点进出队列的操作时间也得到了优化,因而算法的效率得到很大提高。

4 总结

本文提出一种新的二值图像连通区域标记算法和邻域搜索策略及算法的一种快速实现。该算法依据灰度图像创建 Max-tree 的思想而提出,通过一次扫描待标记图像即可完成连通区域的标记,过程中无须真正创建 Max-tree。针对该算法提出了优化的 8-邻域搜索策略,可以将邻域搜索次数由八次减少到平均四次以下。另外,采用改进的排序队列来实现该算法,从而提高了系统效率。该算法的运行时间仅与待标记图像的大小有关,与连通区数目和图像内容无关。

通过适当改进算法,可以方便地实现连通区几何特征的统计,如连通区面积、中心点坐标等。

参考文献:

[ 1 ] A Lotufo, A X Falcao, F Zampirolli. IFT-Watershed from Gray-Scale Marker[ C] . Proceedings of the 15th Brazilian Symposium Computer Graphics and Image Processing, 2002. 146-152.

[ 2 ] A Rosenfeld, John L Pfaltz. Sequential Operations in Digital Picture Processing[ J] . Journal of the ACM, 1966, 13( 4) : 471- 494.

[ 3 ] Haralick R M, Shapiro L G. Computer and Robot Vision[ M] . Addison-Wesley, 1992.

[ 4 ] Glassner A. Fill Er Up! [ J] . IEEE Computer Graphics and Applications, 2001, 21( 1) : 78- 85.

[ 5 ] Haran Samet. Connected Component Labeling Using Quadtrees[ J] . Journal of the ACM, 1981, 28( 3) : 487- 501.

[ 6 ] P Bhattacharya. Connected Component Labeling for Binary Images on

a Reconfigurable Mesh Architectures[ J] . Journal of Systems Architecture, 1996, 42( 4) : 309- 313.

[ 7 ] P Salembier, A Oliveras, L Garido. Anti-extensive Connected Operators for Image and Sequence Processing[ J] . IEEE Transactions on Image Processing, 1998, 7( 4) : 555- 570.

[ 8 ] Luis Garrido Ostemann. Hierarchical Region Based Processing of Image and Video Sequences: Application to Filtering, Segmentation and Information Retrieval[ D] . Barcelona, Spain: Department of Signal Theory and Communications, Universitat Politecnica de Catalunya, 2002.

[ 9 ] Petr Felkel, *et al.* Implementation and Complexity of the Watershed-from-Markers Algorithm Computed as a Minimal Cost Forest[ J] . Computer Graphics Forum, 2001, 20( 3) : C26- C35.

[ 10 ] A C Jalba, M H F Wilkinson, JB T M Roerdink. Automatic Segmentation of Diatom Images for Classification[ J] . Microscopy Research and Technique, 2004, 65( 1- 2) : 72- 85.

[ 11 ] 李青, 等. 计算机图形分离算法研究及实现[ J] . 计算机辅助设计与图形学学报, 2004, 16( 8) : 1040-1044.

[ 12 ] 牟少敏, 等. 昆虫图像的自动计数方法的研究[ J] . 仪器仪表学报, 2003, 24( 4 期增刊) : 426- 429.

[ 13 ] 范钢锋, 李金伴. 机动车辆牌照自动定位算法研究[ J] . 江苏大学学报( 自然科学版), 2002, 23( 2) : 46- 49.

[ 14 ] 张桂林. 基于跑长码的连通区域标记算法[ J] . 华中理工大学学报, 1994, 22( 5) : 11-14.

[ 15 ] 王铁生, 施鹏飞. 二值图像的快速标记方法及其应用[ J] . 微型电脑应用, 2004, 20( 6) : 6- 8.

作者简介:

章德伟( 1977- ), 男, 四川中江人, 硕士研究生, 主要研究方向为计算智能、模式识别; 蒲晓蓉( 1969- ), 女, 四川射洪人, 讲师, 博士研究生, 主要研究方向为计算智能、生物特征模式识别; 章毅( 1963- ), 男, 四川邛崃人, 教授, 博导, 主要研究方向为计算智能、神经网络、数据挖掘。

( 上接第 163 页)

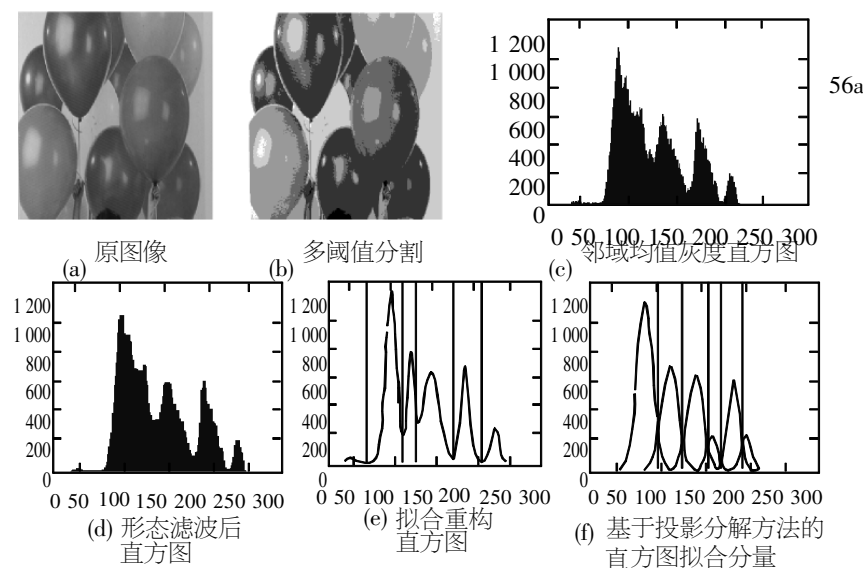


图 1 自动多阈值分割算法流程

3 结论

实验结果表明,本文提出的新的基于高斯拟合的自动多阈值分割方法,能够自适应确定图像阈值分割类数,通过统计分析峰区的截断数据而不是利用全局数据来估计拟合参数,从而

减少了噪声和类间交叠所引起的串扰,提高了拟合精度和分割的鲁棒性。

参考文献:

[ 1 ] Sezgin, B Sankur. Survey over Image Thresholding Techniques and Quantitative Performance Evaluation[ J] . Journal of Electronic Imaging, 2004, 13( 1) : 146-165.

[ 2 ] J S Lee, M C K. Yang. Threshold Selection Using Estimates from Truncated Normal Distribution[ J] . IEEE Trans. Systems Man. and Cybernet, 1989, 19( 2) : 422- 429.

[ 3 ] 傅弘, 阎鸿森, 齐春. 基于自适应定向正交投影分解的图像分割方法[ J] . 中国图像图形学报, 2003, 8( 3) : 286- 290.

[ 4 ] 龚坚, 李立源, 陈维南. 基于二维灰度直方图 Fisher 线性分割的图像分割方法[ J] . 模式识别与人工智能, 1997, 10( 1) : 1- 8.

[ 5 ] Haralick R M, Stenberg S R, Zhuang X. Image Analysis Using Mathematical Morphology[ J] . IEEE Trans. Comput. , 1987, 9( 3) : 532-550.

作者简介:

李磊( 1981- ), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为图像处理、模式识别; 平西建( 1953- ), 男, 教授、博导, 硕士, 主要研究方向为图像处理、计算机视觉、信息隐藏等; 童莉( 1978- ), 女, 博士研究生, 主要研究方向为图像处理、模式识别等。