

# 基于递归的二值图像连通域像素标记算法

徐正光, 鲍东来, 张利欣

(北京科技大学信息工程学院, 北京 100083)

**摘 要:** 在研究以前二值图像连通算法的基础上, 提出了一种基于递归方法的二值图像连通域像素标记算法。通过对二值图像的扫描和分析可得到二值图像中的连通域划分和连通域的数目。算法主要包括两个步骤: 对输入的二值图像进行一次扫描, 得到所有目标像素的连通域划分和标记的等价对表; 利用递归对等价对表进行分析, 得到正确的连通标记划分和连通区域数目。实验结果表明, 该算法对于任意复杂形状、任意数目(小于 1 000)的连通区域都能正确检测。

**关键词:** 二值图像; 像素标记; 递归

## Pixel Labeled Algorithm Based on Recursive Method of Connecting Area in Binary Images

XU Zhengguang, BAO Donglai, ZHANG Lixin

(School of Information Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083)

**【Abstract】** On the foundation of studying former connecting area algorithms, the paper presents a pixel labeled algorithm based on recursive method of connecting area in binary images. The algorithm determines the distribution and count of connecting areas through once scanning of image. It mainly includes two steps in the algorithm. Firstly, scanning the input binary image is used to get the whole connecting labeled area and the equal marks list. The second step is to analyze the equal marks list by recursive method to ascertain the right distribution and count of connecting areas. Experiments show that it can exactly detect any connecting areas in binary images, which contains complicated shapes and random number (less than 1 000).

**【Key words】** Binary image; Pixel labeling; Recursion

### 1 概述

二值图像的连通域标记处理操作就是从白色像素(通常二值图像用“1”, 灰度图像用“255”来表示)和黑色像素(通常用“0”来表示)组成的一幅点阵图像中, 将互相邻接(一般研究 4-邻接或 8-邻接)的具有像素值“1”或“255”的像素集合提取出来, 并为图像中不同的连通域填入不等的数字标记, 同时统计连通域的数目。该过程是计算机视觉和模式识别、图像处理中一个非常重要的基础操作, 有着广泛的应用领域。

目前已有很多文献介绍连通标记算法。文献将已有标记算法划分为两类: 一类是局部邻域算法, 这类算法有多种不同形式, 基本思想是从局部到整体, 要逐个检查每个连通成分, 对每一个都要先确定一个“种子点”, 再向周围邻域扩展地填入标记; 另一类是“分而治之”算法, 基本思想是从整体到局部, 先确定不同的连通成分, 再对每一个用区域填充方法填入标记。例如, 采用区域分割方法或者轮廓追踪方法, 都可以区分出不同的连通域。两类方法都很难避免对图像做多趟扫描, 因此一般都效率不高。文献首先采用标记矫正来减少图像扫描次数, 然后再对标记采用 RLE 游程编码来提高合并效率。这种改进算法对大多数形状目标可以在一次扫描中完成像素的标记, 但是该算法不能对所有复杂的连通形状(如分叉)采取一种通用方式处理, 对于不同分叉方向只能采用不同扫描方式来处理, 不具有普遍性。另外还有一些文献中介绍连通标记算法只适合标记圆形、矩形等规则的形状, 或者不能识别大量数目(大于 100)的连通域等特殊的场

合, 不具有广泛的实用性。

通常使用的连通标记算法主要有像素标记算法和游程连通性算法。本文主要对像素标记算法进行了研究, 得到一种普遍实用的连通标记算法。算法首先对整帧图像进行一次扫描, 对出现的目标像素进行标记, 标记可能使同一连通域具有不同的标记值, 因此在本次扫描之后还会产生一组完整的等价标记表; 然后对生成的等价标记表采用递归方法分析, 逐步提取属于同一连通域的所有连通标记, 最后得到二值图像连通域的正确划分及精确的连通域的数目。目前, 该算法已运用到视频监控中多目标检测跟踪系统和实时手写体文字识别系统中, 取得较好的实验效果。

### 2 算法描述

#### 2.1 扫描二值图像

先对二值图像中所有的像素点进行一次完整的扫描, 标记所有的目标像素点同时得到等价标记表。等价标记表中记录扫描过程中发现的所有等价对。等价对的产生是由于扫描次序导致开始时认为是两个不同的连通区域, 随着扫描的深入发现两个连通区域又连在一起, 把这两个连通区域标记号记录在等价表中, 表明这两个标号标记的连通域属于同一个连通区域。

在二值图像中包含黑(像素值为 0)和白(像素值为 1 或 255)两种颜色, 分别作为目标颜色和背景颜色, 本算法假设目标

**作者简介:** 徐正光(1959 - ), 男, 博士、教授, 主研方向: 图像处理和模式识别; 鲍东来, 硕士生; 张利欣, 硕士、讲师

**收稿日期:** 2005-12-13 **E-mail:** boblnbx@163.com

为白色,背景为黑色。标记算法只对目标像素进行标记。像素间的连通性是确定区域的一个重要概念。在二维图像中,假设目标像素点周围有  $m$  个( $m \geq 8$ )相邻的像素,如果该像素灰度与这  $m$  个像素中某一个像素  $A$  的相等,那么称该像素与  $A$  具有连通性。常用的连通性有 4 连通和 8 连通。4 连通选取目标像素的上、下、左、右 4 个点。8 连通则选取目标像素在二维空间中所有的相邻像素,即除了 4 连通的点外,还包括左上、右上、左下、右下 4 个点。本文所讨论的连通算法采用 8 连通区域。

对二值图像进行扫描首先必须找到图像数据在内存中的存储地址,然后对存储地址后面的每个 8 位整型数据进行比较。本文算法假设处理的图像格式是 8 位 BMP。对图像的扫描顺序采用从左到右、从上到下。对于每一个目标像素点只能根据已经判断连通性的像素点来确定自己的连通性,所以对于普通的一个像素点只需扫描自己和周围已确定连通性的像素点就可确定自己的连通性,即扫描左、左上、上、右上 4 个像素的灰度值就可以了。由于不是每个像素都有 8 个相邻的像素,对于一些位置特殊的像素还要特殊考虑。

特殊情况包括以下几种可能:

(1)二值图像左上角的像素,由于是第 1 个扫描的像素,无需考虑相邻点连通性,也无需考虑记录等价对问题;

(2)二值图像第 1 行(最上行)的像素,只需考虑左相邻像素的连通性,无需考虑记录等价对;

(3)二值图像第 1 列(最左列)的像素,只需考虑上和右上 2 个相邻像素的连通性;

(4)二值图像最后一列(最右列)的像素,需要考虑左、左上、上 3 个相邻像素的连通性。

除此之外的所有像素如是目标像素都要考虑左、左上、上、右上 4 个相邻像素的连通性来确定自己的连通性,如出现不同连通标记的相邻像素还需考虑记录等价对的问题。

连通算法中的二值图像扫描步骤归纳如下:

(1)标记图像左上角的第 1 个像素,即第 1 行(最上行)和第 1 列(最左列)相交的点,如果这个像素的灰度值是 255,则标记该点的值为 1;如果该点灰度值不是 255,则开始扫描下一个像素;

(2)标记图像第 1 行的像素,此时不会出现等价的情况,不必考虑记录等价对;扫描第 1 行的每个像素,如果其灰度值是 255,则看其左相邻的像素灰度值是否为 255,如是则该像素跟左像素标记值一样,如果左像素灰度值不为 255,则当前扫描像素标记为前一个标记值加 1;若当前扫描的像素灰度值不为 255,则继续扫描下一个像素;

(3)对除第 1 行(最上行)的像素进行标记,此时会出现等价情况,需要记录等价对。

1)首先对每 1 行第 1 个像素作处理,总体就是对图像的最左列作处理;若该像素是背景像素,即灰度值为 0,则扫描本行下一个像素;若该像素是目标像素,即灰度值为 255,则需检视该像素上和右上两个相邻像素的标记值。如果上相邻像素被标记过,则当前扫描的像素的标记值等于上相邻点的标记值,这时再看右上点是否被标记过,如也被标记,则比较上点和右上点的标记值是否相同,如果不同,则认定上相邻点和右上相邻点的标记值是一组等价对,记录在等价标记表中;若上相邻点没标记,看右上相邻点是否标记了,若标记了,则当前扫描像素标记值等于右上相邻点标记值;若上和右上相邻点都没有标记,则使当前扫描像素标记值等于

前一个标记值加 1。

2)对每行的中间点作标记处理,若当前像素是目标点,则需检视左、左上、上、右上 4 个相邻像素标记情况(根据所采用的扫描次序,当扫描到当前像素时这 4 个相邻像素已经被处理过)。如果上述 4 个相邻像素灰度值都为 0,就给当前像素一个新的标记,等于上一个标记值自加 1;如果 4 个相邻像素中只有一个像素  $P$  的灰度值为 255,就把  $P$  像素的标记值赋给当前像素;如果 4 个相邻像素中有  $m$  ( $1 < m < 4$ ) 个像素点的灰度值为 255,则按照左、左上、上、右上的优先顺序,确定当前像素的标记值。然后对这  $m$  个像素所拥有标记值作等价分析,如果  $m$  个像素标记值有不同的,则分别取不同标记值作为等价对,加入等价标记表中。例如 4 个像素的灰度值都为 255 时,把左像素的标记值赋给当前像素,然后做出左等价左上、左等价上、左等价右上 3 个等价对,再分别比较 3 个等价对中每个等价对中两个标记值是否相等,如果不相等就把该等价对加入到等价标记表中。

3)对每行的最后一个点作标记处理,总体来说就是对图像的最右列进行处理。若当前像素灰度值是 255,则需检视左、左上、上 3 个相邻像素标记情况。处理方法同 1)、2)。

4)重复步骤(3)直到图像最后一行连通标记处理完毕。这时完成对整个图像的扫描,同时得到等价标记表。

针对连通域的特点设计一种数据结构 AREA 用于保存连通域的几何特征参数:

```
typedef struct tagAREA
{
    int id; // 标号
    long size; // 包含像素个数,也叫面积
    POINT center; // 中心点
    RECT rect; // 外接矩形
    Vector<POINT> points; // 包含像素点
    BOOL flag; // 处理标志
} AREA;
```

计算公式如下:

$$AREA.size = AREA.point.size() \quad (1)$$

$$AREA.center.x = (\sum AREA.point.s.x) / AREA.size \quad (2)$$

$$AREA.center.y = (\sum AREA.point.s.y) / AREA.size \quad (3)$$

$$AREA.rect.left = MIN(AREA.point.s.x) \quad (4)$$

$$AREA.rect.right = MAX(AREA.point.s.x) \quad (5)$$

$$AREA.rect.top = MIN(AREA.point.s.y) \quad (6)$$

$$AREA.rect.bottom = MAX(AREA.point.s.y) \quad (7)$$

其中 MIN 和 MAX 是最小值和最大值函数,是元素累加操作, size() 是 vector 计算容量函数。在扫描像素的同时,把标记值相同的目标像素保存到同一个 AREA 结构的 points 中,直到扫描结束,根据式(1)~式(7)计算每个连通域 AREA 的几何特征参数。

## 2.2 基于递归分析等价标记表

分析等价标记表把将等价表中具有等价关系同时具有不同连通标记值的连通区域合并成一个连通域,并整理等价表中的等价对剔除重复的等价对,统计二值图像中连通域的数目。

本文对等价标记表的分析采用递归的方法。采用递归方法描述的问题通常都有这样的特征:为求解规模为  $N$  的问题,设法将它分解成一些规模较小的问题,然后从这些小问题的解方便地构造出原问题的解,并且这些规模较小的问题也能采用同样的分解方法得到解。特别当  $N$  等于某一特定的值时,如当  $N = 0$  或 1,可以直接得到问题的解,从而原规模为  $N$

的问题可解。根据处理的对象不同,递归的处理方法也多种多样,其目的都是使问题的规模简化。对于等价标记表中的等价对采取递归方法,每次递归迭代都把属于同一个连通域的所有等价标记从等价对表中找出来,重新归入一类,并把包含它们的等价对从等价对表中删除;同时还分析在这类等价对中含有重复的等价对。所谓重复的等价对概念是指新加入的一个等价对的两个标记值都存在于属于同一连通域的等价标记链表中,例如等价标记链表中具有如下标记:1、4、7、11、15,新加入的等价对为(1,15),则新加入的等价对(1,15)称为重复的等价对。重复等价对用于计算整帧图像中连通域的数目。连通域数目统计公式为

$$N_c = MAX_m - E_n + E_r \quad (8)$$

其中: $N_c$ 表示图像中连通域的数目; $MAX_m$ 表示扫描图像后产生的最大标记数; $E_n$ 表示等价对表中等价对的数目; $E_r$ 表示等价对表中重复等价对的数目。

确定每次递归迭代中属于同一连通域的标记采用树状搜索方法,即先把每次等价对表中的第 $i$ 个等价对压入一个空链表中,然后以此为树根在等价对表中寻找包含链表中元素的等价对,如果找到,当符合条件的等价对中只有一个元素存在于链表中时,则把另一个元素压入到链表中,并在等价对表中删除这个等价对;当符合条件的等价对中两个元素都存在于链表中,则把重复等价对数目自加1,同时把这个等价对从等价对表中删除;再对链表中下一个标记值在等价对表中进行搜索。一直搜索到链表中所有标记值都不在等价对表中为止,这时链表中的所有标记值标注的连通区域都属于同一个连通域,保存这个链表。然后把链表中所有标记值表示的AREA中的points都统一存放到一个newAREA的points中,根据式(1)~式(7)重新计算newAREA的几何特征参数:

每次递归从等价对表中搜索出所有属于同一连通域的等价对,把这些等价对中的元素标记的区域用一个标记值标注,计算新连通域的几何特征参数,保存这些几何特征参数;并把这些等价对从等价对表中删除,等价对表中的等价对元素数目逐渐减少。每次递归都会返回删除操作后剩余的等价对表和目前重复等价对数目。经过有限次的递归迭代后等价对表中的元素数目为0时,此时完成了对等价对表的分析,递归迭代停止运行,可以根据式(8)统计出整帧图像中连通域的数目。

### 3 实验结果

根据上述算法先对简单图像8位 $16 \times 10$ (图1放大8倍显示)二值灰度图进行连通标记检测。



图1 二值灰度图(16×10)放大8倍显示  
二值图像数据如图2所示。

```

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 255 255 0 0 0 255 255 0 0 0 255 255 0 0
0 0 255 255 0 0 0 255 255 0 0 0 255 255 0 0
0 0 255 255 0 0 0 255 255 0 0 0 255 255 0 0
0 0 255 255 0 0 0 255 255 0 0 0 255 255 0 0
0 0 255 255 0 0 0 255 255 0 0 0 255 255 0 0
0 0 255 255 0 0 0 255 255 0 0 0 255 255 0 0
0 0 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 0 0
0 0 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

```

图2 二值图像数据

第1次扫描后连通标记结果如图3所示

```

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 2 2 0 0 0 3 3 0 0
0 0 1 1 0 0 0 2 2 0 0 0 3 3 0 0
0 0 1 1 0 0 0 2 2 0 0 0 3 3 0 0
0 0 1 1 0 0 0 2 2 0 0 0 3 3 0 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

```

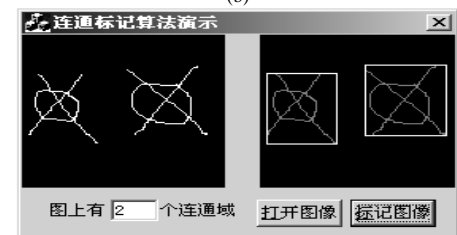
图3 第1次扫描后连通标记结果



(a)



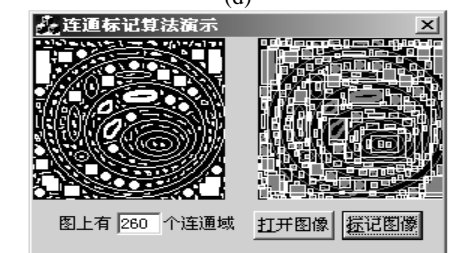
(b)



(c)



(d)



(e)

图4 连通标记算法演示效果

第1次扫描后产生的等价对表:

等价对表中包括2个等价对

[1] 1 2

[2] 1 3

等价对表分析结果:

整帧图像一共包含1个连通域

第1个连通域包含的连通标记包括:123

(下转第225页)

表 2 加汽车噪声的语音信号的客观失真测度

	IS	LLR	SegSNR	SNR
降噪前	1.11	0.62	-1.12	0
减谱法	0.90	0.53	4.96	2.74
MMSE	0.81	0.50	4.65	4.85
维纳滤波	0.70	0.45	5.33	5.63

表 1、表 2 给出了 3 种不同增强算法对带有两种不同噪声的语音信号降噪所得的语音信号降噪前后的客观失真测度。

从上表可以看出,运用这 3 种语音增强算法,带噪语音都不同程度地得到了增强。对于 IS 和 LLR 测度来讲,失真测度越小,增强效果越好,对于 SegSNR 和 SNR 来讲,值越大,增强效果越好。通过比较失真测度的大小,可知,对于高斯白噪声来讲,语音增强算法的性能好坏依次如下:MMSE>维纳滤波>减谱法;而对于汽车噪声来讲,语音增强算法的性能好坏依次如下:维纳滤波>MMSE>减谱法。算法性能的好坏通过非正式主观试听得到了验证。另外,可以看到带有汽车噪声的语音信号的客观失真测度的起始值比较小,这是因为高斯白噪声影响的是语音信号的整个频率范围,而汽车噪声仅影响语音信号的低频部分。

通过实验结果可以看到,运用客观失真测度和 SNR 的结合,可以很好地对语音增强算法进行评估,对于声场环境中汽车干扰噪声的语音增强算法的评估有明显的效果。

表 3 分段信噪比计算结果

	降噪前	MMSE	维纳滤波	帧数
静音	-10.00	-9.65	-9.21	10 235
元音	12.03	16.98	15.10	34 401
鼻音	-4.13	-2.02	-1.63	5 023
爆破音	-5.14	-4.89	-4.66	11 581
摩擦音	-5.17	-4.26	-4.02	9 329
总计	-2.41	5.81	4.79	70 569

噪声对同一段语音信号不同部分的影响是不同的。因此同一种语音增强算法,对同一段语音不同部分的增强效果也不相同,为此,根据语音的分类进行了实验,如表 3 是对任意选定的一段语音进行的评估实验。

在表 3 中,最后一行总的分段信噪比是对应列分段信噪

(上接第 188 页)

最后得到的连通域几何特征参数结果:

连通域: 1

中心坐标: (7, 5)

外接矩形: (2, 2, 13, 7)

连通域面积: 48

为了检验算法,用 VC++编写算法程序对多幅 128×128 二值图像进行检测,主要检测连通域数目和几何特征。点击“打开图像”按钮在程序窗口左上部打开一幅二值灰度图像。点击“标记图像”按钮后,在程序窗口右上部显示标记结果,结果显示方式是将检测到的目标像素用灰度值 128 显示,检测到的每个连通域外接矩形用灰度值 255 显示;同时左下部文字“图上有”和“个连通域”之间的编辑框内将显示检测到的整幅图像包含连通域数目。部分实验结果如图 4 所示。

程序结果文件中还包括整幅图像中所有连通域的标号 id、中心点 center、面积 size、外接矩形 rect、包含所有像素点 points 等详细数据。

## 4 结论

通过基于递归的像素连通标记算法可以准确地标出图像

比的和减去静音部分的分段信噪比。由表 3 可以看到,MMSE 对元音部分的增强效果比较好,而维纳滤波法对鼻音、爆破音、摩擦音部分的增强效果比较好。由此可以根据实际情况的需要选用合适的语音增强算法。

## 5 结论

本文提出采用客观失真测度和 SNR 相结合的方法对语音增强算法的性能进行评估。通过实际的评估实验以及非正式主观试听,对该方法进行了验证,取得了比较理想的结果,对于声场环境中汽车干扰噪声的语音增强算法的评估有明显的效果。

实验证明,客观失真测度和 SNR 相结合,能够对语音增强算法进行很好的评估。它能够方便、快捷地给出语音增强算法性能的评估结果。不过,值得注意的是,这种评估方法还不能反映人对语音增强算法性能的全部感受,而且,现在的客观失真测度都是以语音信号的时域、频域及变换域等的特征参量作为依据,没有涉及到语义、语法、语调等影响语音质量的重要因素。所以,为了能够适应较大范围的实用环境,还需要进行更深入的研究。

## 参考文献

- 1 黄惠明,王 瑛,赵思伟等.语音系统客观音质评价研究[J].电子学报,2000,28(4):112-114.
- 2 瞿水华,张宏志.语音质量评估系统应用探讨[J].移动通信,2003,15(5):60-63.
- 3 Chu P L, Messerschmitt D G. A Weighted Itakura-saito Spectral Distance Measure[J]. IEEE Trans. on Acoust, Speech Signal Processing, 1982, 30(4): 545-560.
- 4 Tsoukalas E, Kokkinakis M N. Speech Enhancement Based on Audible Noise Suppression[J]. IEEE Trans. on Speech and Audio Processing, 1997, 5(6): 497-514.
- 5 Martin R. Speech Enhancement Using MMSE Short Time Spectral Estimation with Gamma Distributed Speech Priors[C]. Proc. of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Orlando, 2002.

中各个连通区域。本算法在 P4 1.5GHz 的 CPU、内存 256MB 的 PC 机上处理连通域数目小于 100 的 320×240 二值图像需要不超过 10ms 时间,满足实时系统中的多目标检测和手写体文字识别的时间要求,现已应用到两种实际应用中,并取得较好的效果。

本算法比较传统的像素标记算法,只用一次图像扫描,节省了运算时间;采用递归处理等价对表优化算法,提高程序效率。本算法相对于一些基于线或块扫描的快速标记算法在时间上没有优势,但本算法比较成熟,对于任何形状复杂、数目庞大的连通域都能精确划分定位,算法可靠性好,综合性能高。随着计算机硬件技术发展,高速 CPU 将使运算时间大大减少;同时本算法还存在提高速度的余地,这是后续研究的范畴。

## 参考文献

- 1 王征旋,李志林,庞云阶.一个二值图像连通成分标记的快速算法[J].工程图学学报,1998,3(13):80-86.
- 2 张修军,郭 霞,金心宇.带标记矫正的二值图像连通域像素标记算法[J].中国图象图形学报,2003,8(2):198-202.