

# 安全玻璃碎片的检测与识别

周雪芹 刘晓红 张先伟

(山东理工大学计算机科学与技术学院, 淄博 255049)

**摘要** 碎片状态试验是安全玻璃强制检验的内容之一。将数字图像处理技术应用于玻璃碎片的检测和识别中, 主要是为了得到玻璃碎片的形状、尺寸和数量。根据玻璃碎片图像的特点, 提出了一种基于边缘检测的图像分割方法, 首先进行玻璃碎片缝隙线检测, 对传统边缘检测获得的不连通的缝隙线进行了补充和去噪处理, 得到与原图像基本吻合的较粗的缝隙线; 然后通过求距离函数并灰度重建、倒置, 实现了碎片的容凹处理, 进而进行图像分割, 完成了玻璃碎片的识别, 得到碎片数量以及像素宽度为1的缝隙线。实验结果显示, 该算法能准确地刻画玻璃碎片的缝隙线, 正确地划分碎片区域。用计算机处理玻璃碎片数字图像可以节省人力, 提高检验准确性。

**关键词** 玻璃碎片 缝隙线 边缘检测 灰度重建 图像分割

**中图分类号**: TP391.4 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2007)08-1401-06

## The Detection and Recognition Algorithm for Safety Glass Fragment

ZHOU Xue-qin, LIU Xiao-hong, ZHANG Xian-wei

(School of Computer Science and Technology, Shandong University of Technology, Zibo 255049)

**Abstract** Fragmentation test is one of the compulsory detection contents to safety glass. To apply the computer technology to the digital images which are obtained after the fragmentation test can save manpower and improve detection efficiency. According to the characteristics in glass fragment images, we propose an image segmentation algorithm based on edge detection. The first step is to detect the crack lines. It includes: traditional edge detection and edge growth algorithm which can compensate the unconnected crack line regions. A thicker crack line image can be obtained which is consistent with the initial gray image. Secondly, the fragmentation particles are detected by computing the distance function and gray reconstructing and then reversing it. Finally image segmenting is based on watershed transformation and the fragmentation particles are separated by the crack line whose width is one pixel. Experimental results show that the algorithm could draw the crack line of glass fragmentation particles and divide the image into regions correctly.

**Keywords** fragmentation test, safety glass fragmentation particles, crack lines, edge detection, image segmentation

## 1 引言

从2003年5月1日起, 中国对汽车安全玻璃、建筑安全玻璃、铁道车辆用安全玻璃实行强制检验。碎片状态试验是安全玻璃检验的主要内容之一, 目的是为了确定安全玻璃破碎后对人的伤害程度。中国和欧共体在安全玻璃检验中执行相同的标准, 其中碎片状态试验要求统计出特定尺寸的正方形内玻

璃碎片的数目等信息。目前该项试验结果的读取和判断主要由人工来完成, 鉴于人容易受性格、情绪、视力等多方面因素的影响, 人工检验不仅消耗时间多, 还容易产生错误, 可能影响检验结果的准确性, 为此提出一种基于边缘检测的玻璃碎片图像的检测与识别方法, 旨在刻画玻璃碎片的缝隙线, 统计碎片的数量特征。

按照安全玻璃碎片状态试验方法的要求, 先用胶带将两块尺寸相同的安全玻璃四周粘牢, 用尖锐

收稿日期: 2006-03-23; 改回日期: 2006-05-19

第一作者简介: 周雪芹(1973~), 女, 助理研究员, 山东理工大学计算机应用专业硕士研究生。主要研究方向为图像处理。E-mail: zhxq

@sdut.edu.cn

的重物敲击距离玻璃的边缘 15cm 处,使玻璃破碎,使用数码相机采集碎片图像得到彩色照片,从中截取一个矩形区域,将其灰度化,作为玻璃碎片原始灰度图像。图 1 即为玻璃碎片灰度图像。

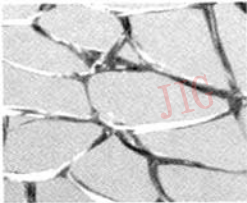


图 1 玻璃碎片原始灰度图像  
Fig. 1 The initial gray image of glass fragments

## 2 灰度分布特点及处理方法分析

欲获得玻璃碎片的形状和数量,首先要描绘出图像中玻璃碎片的缝隙线,故可以把缝隙线看作目标,用  $O$  表示,把碎片的内部看作背景,用  $G$  表示。

设  $I$  表示原始灰度图像,  $p$  为任一像素,  $p$  的灰度用  $I(p)$  来表示。由原图(图 1)及其灰度直方图(图 2)分析可以看出,原始图像灰度级的分布有以下显著特点:玻璃碎片内部灰度分布较一致,且所占比例较大,灰度大约介于某个区间,这个区间可以用两个变量  $t_1$  和  $t_2$  来表示,即  $[t_1, t_2]$ 。  $t_1$  和  $t_2$  由玻璃碎片灰度图像的直方图来确定。

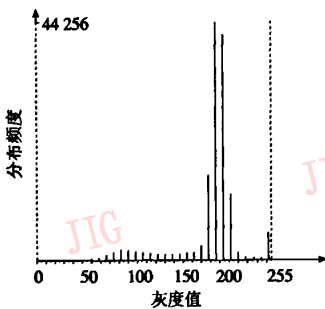


图 2 图 1 的灰度直方图  
Fig. 2 The gray histogram of Fig. 1

缝隙线上的灰度分布得比较分散,宽窄不均、明暗不匀。从灰度上与背景部分相比较,可把该区域的像素分为 3 个子类:(1)较亮的区域,  $I(p) > t_2$ , 记为  $O_1$ ; (2)较暗的区域,  $I(p) < t_1$ , 记为  $O_2$ ; (3)比较接近的区域,  $t_1 \leq I(p) \leq t_2$ , 记为  $O_3$ 。显然有  $O = O_1 \cup O_2 \cup O_3$ , 并且目标区域  $O_1, O_2, O_3$  是混合分布的。

综上所述,目标和背景的灰度分布情况可以描述为:

- 若  $p \in G, t_1 \leq I(p) \leq t_2$ ;
- 若  $p \in O$ , 则分 3 种情况:
  - (1)  $p \in O_1, I(p) > t_2$ ;
  - (2)  $p \in O_2, I(p) < t_1$ ;
  - (3)  $p \in O_3, t_1 \leq I(p) \leq t_2$ 。

要使目标  $O$  和背景  $G$  分离,必须使  $O_1, O_2, O_3$  三者都与  $G$  分离。显然,  $O_1, O_2$  与  $G$  在灰度上有明显差异,分离比较容易;  $O_3$  虽然与  $G$  类在灰度上接近,但它与  $O_1, O_2$  相邻,可以通过玻璃碎片缝隙线的生长及去除噪声方法来得到补偿。

拟采取下列处理步骤:

- (1)玻璃碎片缝隙线的检测,得到与原图像基本吻合的较粗的缝隙线;
- (2)玻璃碎片的识别,得到像素宽度为 1 的缝隙线和碎片数量。

## 3 缝隙线的检测

用传统边缘检测算子求梯度图像、对梯度图像二值化,对照原始灰度图像补充缝隙线,去除缝隙线中的细小噪声,得到与原图像基本吻合的较粗的玻璃碎片的缝隙线。

### 3.1 求梯度图像并二值化

为了突出碎片内部( $G$ )与缝隙线( $O$ )的边缘区域,选择使用传统的边缘检测算子——Sobel 算子来求原始灰度图像的梯度图像,效果如图 3 所示。

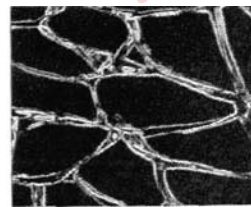


图 3 Sobel 算子处理结果图  
Fig. 3 The gradient image after Sobel operator

梯度图像也是灰度图像,使用一种常用的分割方法——经典 OSTU 算法将其二值化。该算法基于类间方差最大的原理,将图像的灰度直方图分割成两部分,选取最佳门限使类间方差最大,从而达到两部分分离性最大的目的,该算法处理的结果如图 4 所示。

对原始灰度图像求梯度图像并转换为二值图

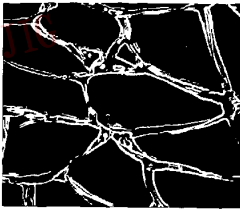


图 4 OSTU 阈值分割结果图  
Fig. 4 After OSTU segmentation

像,一方面实现了  $O$  类中与背景  $G$  相邻、灰度差别较大的像素集与背景  $G$  的分离,另一方面也使目标  $O$  的 3 个组成部分  $O_1$ 、 $O_2$ 、 $O_3$  之间灰度差别较大的像素区分开来。

### 3.2 缝隙线的生长

由图 4 可以看出,尽管目标  $O$  (缝隙线) 的轮廓已经呈现,但是内部并不均匀一致,缝隙线的生长算法可以将缝隙线内部变成均匀一致的区域。

要完成这一任务,文献 [1] 对二值图像进行数学形态学上的开运算,将距离较近的目标区域连通起来。该算法没有考虑到原始灰度图像中的信息,而是直接在二值化图像上进行形态学运算,使边缘线准连通。就本文的图像而言,假如在二值图像 (图 4) 上实施形态开运算,将选取大的结构元素,使用大的结构元素进行开运算无疑会使缝隙线有较大幅度的变形。使用了一种对照原始灰度图像、对缝隙线进行补充的方法。

欲把二值图像中的缝隙线 ( $O$ ) 填“满”,需要从原始灰度图像中获得信息。根据原始图像的灰度分布特点,首先考虑目标区域  $O$  中未与  $G$  分离出的  $O_1$  和  $O_2$  两个子类,它们的灰度分布区间是背景  $G$  的灰度区间的补集。

确定背景灰度区间上、下限  $t_1$  和  $t_2$  的方法如下:

首先将原始灰度图像的各灰度的频数放于一数组中,找出峰值  $p_l$  及所在的灰度级  $p_g$ , 设一变量  $l = p_g$ ,  $m$  为一邻域半径,以  $l + m$  为基准,分别求它左右两边  $m$  个灰度级的频数之和  $l_l$ 、 $r_l$ , 若  $l_l - r_l < t$  ( $t$  为一阈值),则认为  $l$  是到背景灰度区间上限  $t_2$ ; 否则  $l = l + 1$ , 继续寻找。

确定背景灰度区间下限  $t_1$  的方法与确定区间上限  $t_2$  的方法类似。

缝隙线生长算法如下:

设  $I$  表示原图,  $J$  表示二值化的梯度图,  $p$  为像素。若  $J(p) = 0$ , 即  $p$  为二值图像中的黑点,那么就

根据  $I(p)$  的值判断  $p \in \{O_1 \cup O_2\}$  还是  $p \in G$ ? 若  $I(p) < t_1$  或  $I(p) > t_2$ , 则  $p \in \{O_1 \cup O_2\}$ , 就把  $p$  加入到  $O$  类中,并将结果保存到  $J$  中。

算法描述如下:

对于图像中的每一个像素  $p$ ,

```

{
  若  $J(p) = 0$ 
    若  $I(p) < t_1$  或  $I(p) > t_2$ 
      则  $J(p) = 255$ 
}
    
```

缝隙线生长结果如图 5 所示,在目标  $O$  中仍然存在着细小的噪声点,即白色区域内的小黑点,属于未与  $G$  分离的  $O_3$  子类,下一步的任务是把它们变成白点。

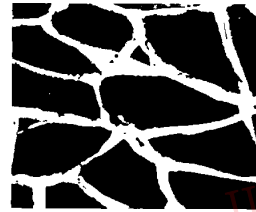


图 5 缝隙线生长结果  
Fig. 5 The crack lines' growth result

### 3.3 去除噪声

定义 线性邻域——以像素  $q$  为中心点,若存在邻域半径为  $\delta$  的直线段邻域,直线的倾角为  $\alpha$ ,则将该邻域称为  $q$  的线性邻域,记作  $U[q, \delta, \alpha]$ ,线性邻域的长度为  $2\delta + 1$ 。

若二值缝隙线图像  $J$  中的像素  $p$  为黑点,且  $p$  的 4 个线性邻域 ( $U[p, \delta_1, 0]$ 、 $U[p, \delta_1, 45]$ 、 $U[p, \delta_1, 90]$ 、 $U[p, \delta_1, 135]$ ) 内存在一条完全由黑点组成的直线时,说明该黑点  $p$  在碎片内部,属背景部分,而对于白色缝隙线上的黑噪声点来说,则不存在这样的“黑色”线性邻域,这些黑噪声点即可去除。

去除噪声过程可描述如下:

设梯度图像  $I$  的高度为  $m$ , 宽度为  $n$ 。

(1) 新建一幅  $m \times n$  大小的图像  $K$ , 令所有像素灰度值为 255;

(2) 以  $J$  中的每一黑色像素  $p$  为中心,它的 4 个线性邻域内 (如图 6 所示) 只要存在一条长度大于等于  $len$  ( $len = 2\delta_1 + 1$ ) 的由黑点所组成的线段,则令:

$$K(p) = 0$$

去除噪声后的效果如图 7 所示,它也是缝隙线

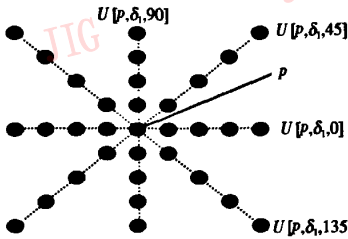


图 6  $p$  的 4 个直线线性邻域模板 (图中  $\delta_1 = 4$ , 则  $len = 9$ )

Fig. 6 The four linear neighbor regions of  $p$

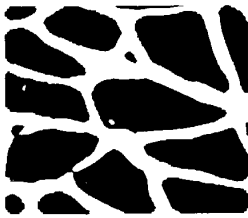


图 7 缝隙线去除噪声效果图

Fig. 7 The result after removing noises

检测的结果图像。

## 4 玻璃碎片的识别

对均匀一致的玻璃碎片缝隙线图像求原始距离函数, 并进行灰度重建、倒置, 使用基于链码的分水岭变换算法进行图像分割, 得到宽度为 1 个像素的玻璃碎片缝隙线和玻璃碎片的数量。

### 4.1 求距离函数并对其灰度重建、倒置

这里距离函数指 8-连通图像中黑色像素到最近的白色像素的距离, 即每个背景像素到最近的缝隙线的距离。

从图 7 可以看出, 每块碎片的形状大致是凸的, 也出现了一定的凹度。根据距离函数的含义, 在一个凸碎片中, 距离函数只有一个局部极大值, 而在一个凹碎片中, 求距离函数时会产生若干个局部极大值。为了将这几个局部极大值区域归并以便进行分水岭变换, 前期处理中使用了灰度重建<sup>[2]</sup>算法。灰度重建示意图如图 8 所示。

求距离函数及灰度重建、倒置的过程如下:

- (1) 求距离函数作为掩模图像 (Mask Image)—— $I$ ;
- (2) 将距离函数  $I$  的值减去某一常数  $T$ , 作为标记图像 (Marker Image)—— $J$ ;
- (3) 计算灰度重建距离函数图像

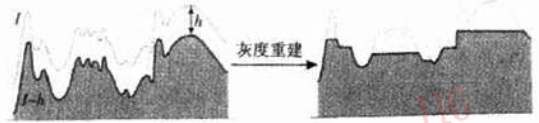


图 8 灰度重建示意图

Fig. 8 Gray reconstruction

$$K = \rho_f(J)$$

其中,  $\rho_f(J)$  表示由标记图像  $J$  对掩模图像  $I$  的灰度重建<sup>[2]</sup>;

- (4) 计算倒置距离函数图像

$$L(p) = 255 - K(p)$$

距离函数灰度重建并倒置效果如图 9 所示。



图 9 距离函数重建、倒置结果图像

Fig. 9 The distance function after gray reconstruction and reverse

### 4.2 基于链码的分水岭分割

重建后的距离函数中每一块碎片的中心区域的灰度值最大, 而缝隙线的灰度值为 0。倒置后, 缝隙线上的灰度值大, 碎片内部的灰度值小, 可以把它假想成地形表面, 每个像素的灰度代表该点的海拔高度。采取分水岭变换能够对重建、倒置后的距离函数图像进行分割, 常见的分水岭变换是通过模拟浸水过程<sup>[3]</sup>来实现的。采用模拟浸水过程方法来实现分水岭变换, 算法复杂度高, 没有完全实现区域分割。

这里采用基于链码的分水岭变换方法<sup>[4]</sup>, 它基于模拟降水过程<sup>[5]</sup>来实现, 首先让每个像素指向具有最小值的邻居像素, 然后分别处理贮水盆地坡面的平台区域和宽分水岭区域、局部最小值区域, 最后根据指入链码回溯标注各个贮水盆地。同一贮水盆地的像素即属于同一玻璃碎片。

该分割算法的时间复杂度比一般的模拟浸水算法有所降低, 并且能实现完全分割, 分割效果如图 10 所示。将最终分割结果映射到原始灰度图上, 结果如图 11 所示。

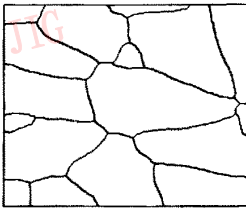


图 10 最终分割结果  
Fig. 10 The final segmentation result

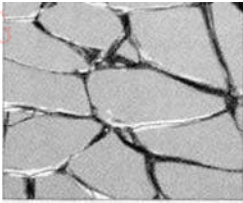


图 11 分割结果映射到原始图像  
Fig. 11 Mapping to the initial image

二值化,效果如图 12、图 13、图 14 的图(e)。为了去除缝隙线内部的黑噪声,经过对照原始灰度图像,对缝隙线进行了补充,但缝隙线内部仍然存在着细小的黑噪声(如图 12、图 13、图 14 的图(d))。通过去除噪声算法,除掉了这些黑的噪声,背景和目标都变成了均匀一致的区域,而且缝隙线也变得比较平滑,如图 12、图 13、图 14 的图(e)所示(取  $len = 9$ )。白色区域基本对应缝隙线,黑色区域对应玻璃碎片的内部。仍存在一些缺陷,表现在缝隙线较粗且个别地方不连续。经过计算碎片内部各像素点到最近的缝隙线的距离并进行灰度重建(取  $T = 3$ ),得到重建距离函数图像,实现了容凹处理。把重建后的距离再经过倒置变换就使得每个碎片的中心区域的灰度值变小,而缝隙线处的灰度变大,如图 12、图 13、图 14 的图(f)所示,这恰好符合运用分水岭方法进行分割的条件,分割目的就是要找出各分水岭线(图 12、图 13、图 14 的图(g)),分割得到的区域数即碎片的块数。映射到原图像上如图 12、图 13、图 14 的图(h)所示。

### 5 实验结果分析及结论

为了验证本文算法的有效性,另取出几幅图像作为原始图像进行实验,结果如图 12、图 13、图 14 所示,其中,3 幅图的图(a)为原始灰度图像。

运用 Sobel 边缘检测算子检测图像的缝隙线得到梯度图像,如图 12、图 13、图 14 的图(b),边缘灰度值较大,非边缘处灰度值较小,再运用 OSTU 算法

从实验结果图像中可以看出,对于人工模拟环境下取得的玻璃碎片原始图像,本分割算法能正确刻画玻璃碎片的缝隙线,给以后分析碎片的形状、最大块的尺寸等后续分析打下基础,也为今后类似图像的分割提供了依据。而对于在玻璃碎片检验现场的自然光线下采集到的碎片图像来说,由于受到光照、脏污等因素的影响,处理起来比较复杂,不能直接使用本文算法,应该在前期进行图像平滑及图像恢复

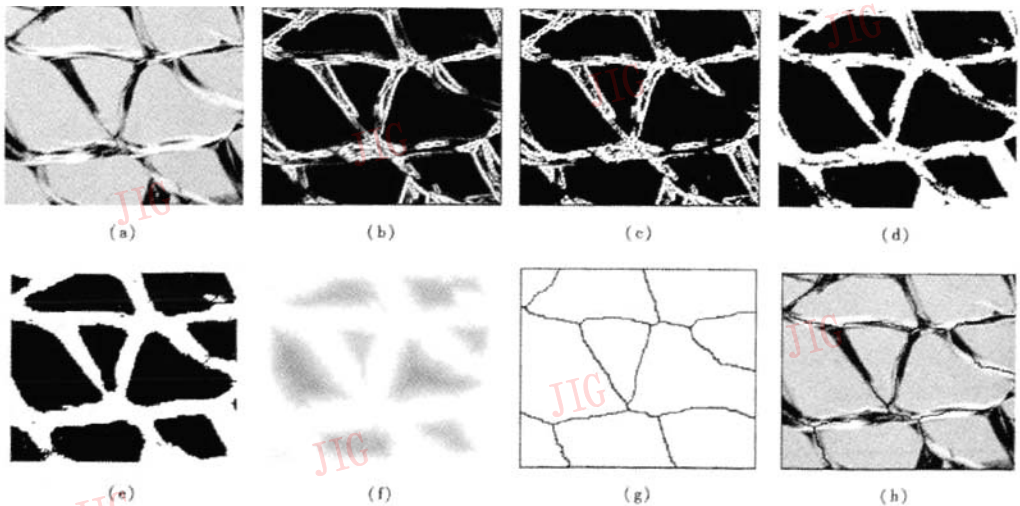


图 12 玻璃碎片实验图像 2

Fig. 12 Experimental image 2 of glass fragments

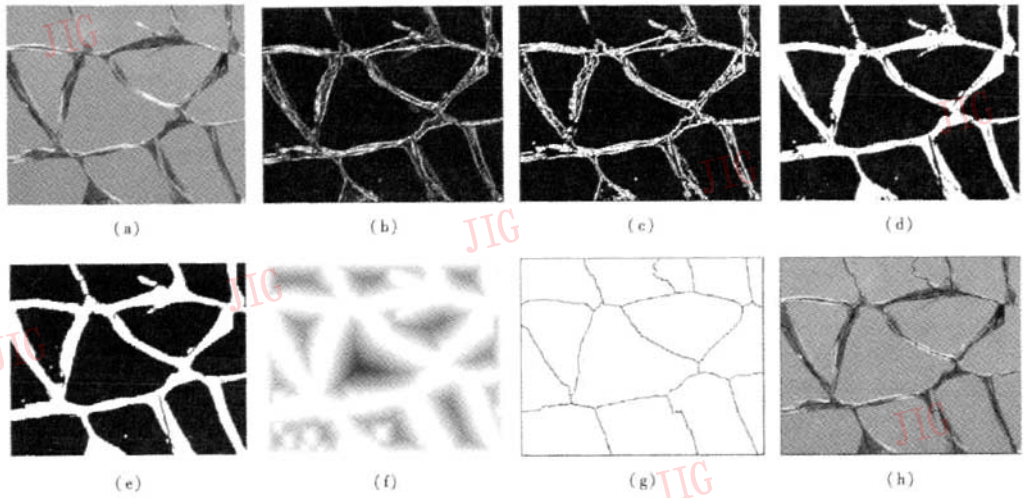


图 13 玻璃碎片实验图像 3

Fig. 13 Experimental image 3 of glass fragments

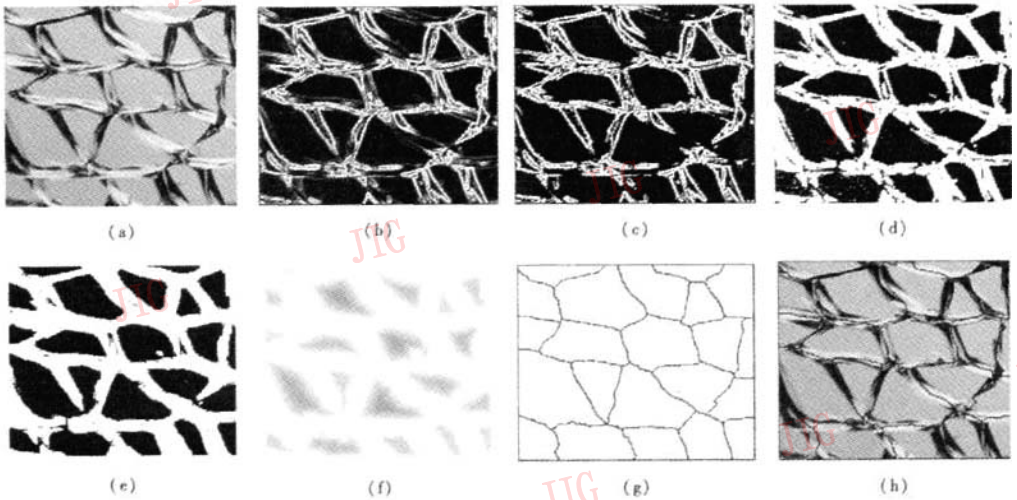


图 14 玻璃碎片实验图像 4

Fig. 14 Experimental image 4 of glass fragments

等处理后再使用本文算法,这也是今后研究的重点。

致谢 本文受到山东理工大学科学基金项目(2004KJM28)的资助,特表感谢!

参考文献 (References)

1 Gordon Gaile G. Automated glass fragmentation analysis [J]. Proceedings of the SPIE, Machine Vision Applications in Industrial Inspection IV, 1996, 2665(2): 244 ~ 252.

2 Luc Vincent. Morphological grayscale reconstruction in image

analysis; applications and efficient algorithms[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1993, 2(2): 176 ~ 201.

3 Luc Vincent, Pierre Soille. Watersheds in digital spaces: an efficient algorithm based on immersion simulations[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991, 13(6): 583 ~ 598.

4 Sun Han, Ren Ming-wu. A watershed transformation algorithm based on chain code[J]. Journal of Image and Graphics, 2004, 9(9): 1025 ~ 1031. [孙涵,任明武. 基于链码的分水岭变换算法[J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(9): 1025 ~ 1031.]

5 Bieniek A, Moga A. An efficient watershed algorithm based on connected components [J]. Pattern Recognition, 2000, 33(3): 907 ~ 916.