

# 基于分水岭变换的粘连颗粒图像分割方法<sup>①</sup>

倪志强, 叶 明

(南京航空航天大学 机电学院, 南京 210016)

**摘 要:** 提出了一种基于分水岭变换的粘连颗粒图像分割方法. 首先对图像进行预处理, 进行二值化; 然后通过距离变换和灰度形态重构得到每个目标的种子区域(目标标记); 再根据目标标记使用强制最小技术修正距离变换图; 最后, 对修正后的距离变换图进行分水岭变换, 得到分割结果. 在 Matlab 环境下进行实验, 结果表明该算法效果良好, 能有效的抑制过分割.

**关键词:** 粘连; 分割; 分水岭; 距离变换; 重构

## Method of the Segmentation of Touching Image Based on Watershed Transform

NI Zhi-Qiang, YE Ming

(College of Mechanical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** In order to realize the touching image segmentation, we used the watershed transform. The first step is the image pre-processing. The main purpose of this step is to transform the original image into a black-white image. The second step is to get the foreground marker using Euclidean distance transform and morphological reconstruction. The third step is to modify the distance transform image using impose minima technology. The last step is the watershed transform. In order to test the new watershed algorithm, we did some experiments using Matlab, and the results show that the watershed algorithm does well and can prevent the over-segmentation.

**Keywords:** touching; segmentation; watershed; distance transform; reconstruct

数字图像处理在生物医学工程、农产品自动检测和工业自动检测等领域得到了广泛应用. 实际中, 经常需要对图像中粘连的对象进行自动分割, 以获取独立的目标对象, 进而完成特定目标对象的特征提取、计数、分类等任务. 针对粘连对象的图像分割算法常用的有凹点匹配法和分水岭算法等<sup>[1]</sup>.

凹点匹配法是首先找到图像轮廓中的所有凹点, 然后按照一定的规则进行匹配, 最后构造分离线实现分割. 此方法使用于粘连较简单的情况. 分水岭算法是一种基于数学形态学和区域分割的经典算法, 常用的分水岭算法有基于梯度的分水岭算法、基于距离变换的分水岭算法和基于控制标记的分水岭算法等<sup>[2][3]</sup>. 本课题提出了一种距离变换与标记控制相结合的分水岭算法实现了对粘连颗粒图像的自动分割.

本文算法主要包含以下主要步骤: 第一, 针对非均匀光照颗粒图像的二值化操作; 第二, 粘连颗粒图像前景标记的自动提取; 第三, 根据目标标记使用强制最小技术修正距离图像; 最后, 对修正后的距离图像使用分水岭变换, 得到分割结果. 算法流程如图 1 所示.

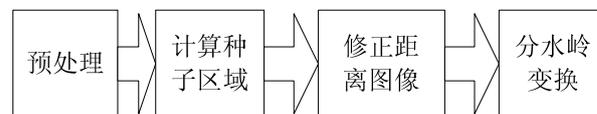


图 1 算法流程图

### 1 非均匀光照粘连颗粒图像的二值化

预处理主要是完成图像的二值化, 就是把一幅灰度图像转换成黑白二值图像的过程, 也称为阈值化.

<sup>①</sup> 收稿时间:2013-10-12;收到修改稿时间:2013-12-25

针对粘连的颗粒图像背景不均匀的问题, 通过形态学高帽变换能够得到一个背景较为一致的图像. 所谓高帽变换就是用原始图像减去对它的形态学开运算的结果. 高帽变换后就可以选取一个合适的阈值对图像进行二值化. OTSU 法, 也称为大津法、最大类间方差法, 是一种较为常用的阈值选取算法<sup>[4]</sup>. 由于二值化颗粒图像中存在由于光照和纹理原因所产生的孔洞问题, 而孔洞对于后期距离变化结果会产生较大影响, 因此采用形态学中的面积开运算实现颗粒内部孔洞的填充. 形态学面积开运算通过设置一个面积阈值, 小于

这个阈值的孔洞将被填充. 非均匀光照图像的二值化过程如图 2 所示.



图 2 非均匀光照粘连颗粒图像的二值化流程

对一实例进行实验, 如图 3 所示.

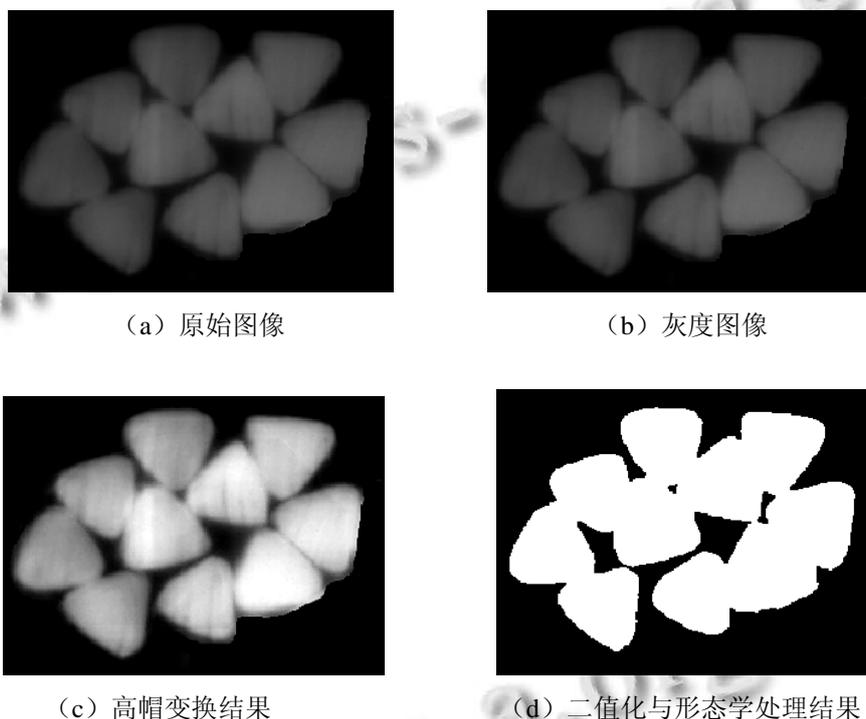


图 3 粘连纤维图像的二值化过程

## 2 计算种子区域

一般的分水岭算法存在过分割的问题<sup>[5]</sup>. 通常有两种方法抑制过分割, 一种是前期处理, 即通过控制局部极值的个数来抑制过分割, 即标记控制分水岭算法; 另一种是后期处理, 即出现过分割后通过区域合并的方式来抑制过分割. 一般来讲, 区域合并的算法比较复杂, 本文采用前期处理的方式来抑制过分割. 种子区域, 即目标标记, 是每一个独立目标内部的一个连通区域. 目前有很多种方法可以用来计算种子区域, 例如, H-Minima 变换方式, 极限腐蚀方式等. 这里使用欧式距离变换与灰度形态重建相结合的方法. 距

离变换是计算二值图像中每一个像素值为零的像素与其最近的非零像素间的距离. 常用的距离变换有欧式距离变换、城区距离变换、棋盘距离变换和类欧式距离变换等, 文中采用欧式距离变换. 灰度形态重建是根据一幅图像(掩膜图像)的特征对另一幅图像(标记图像)进行反复膨胀运算, 直到标记图像不再变换为止. 从图像上看, 灰度形态重建就是对图像进行“削尖”处理, 即把山峰(局部极大值)削掉. 对距离变换的结果进行灰度形态重建, 然后用最初距离变换的结果减去对它灰度形态重建的结果就能得到相应的局部极大值区域, 即每个独立目标的种子区域<sup>[6]</sup>. 求取出

种子区域后就可以求出每个独立目标的近似形心了。设经预处理后的二值图为 BW, 经欧式距离变换后的距离图用 Dist 表示, 即

$$Dist = DT(BW) \quad (1)$$

其中  $DT(\bullet)$  代表欧式距离变换。然后, 以距离图 Dist 为重建掩膜图像, 将 Dist 中每一个像素值减去一个常量 h 记为 Dist2 作为重建标记图像, h 的选取需根据经验设置。用 Dist2 对 Dist 进行重建操作, 将重建的结果记为 Dist3, 即

$$Dist3 = ReConstruct(Dist | Dist2) \quad (2)$$

其中  $ReConstruct(\bullet)$  表示重建操作。Dist3 即为将 Dist 削去一高度为 h 的“山峰”。用 Dist 减去 Dist3 即得

到“山峰”, 即

$$Marker = Dist - Dist3 \quad (3)$$

其中, Marker 即为距离图 Dist 中的“山峰”区域, 目标标记。

求取种子区域的流程如图 4 所示。

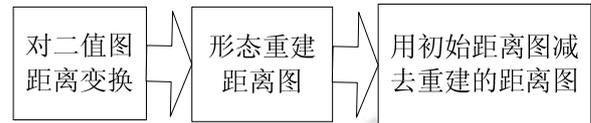


图 4 计算种子区域流程

对实例计算种子区域, 如图 5 所示。

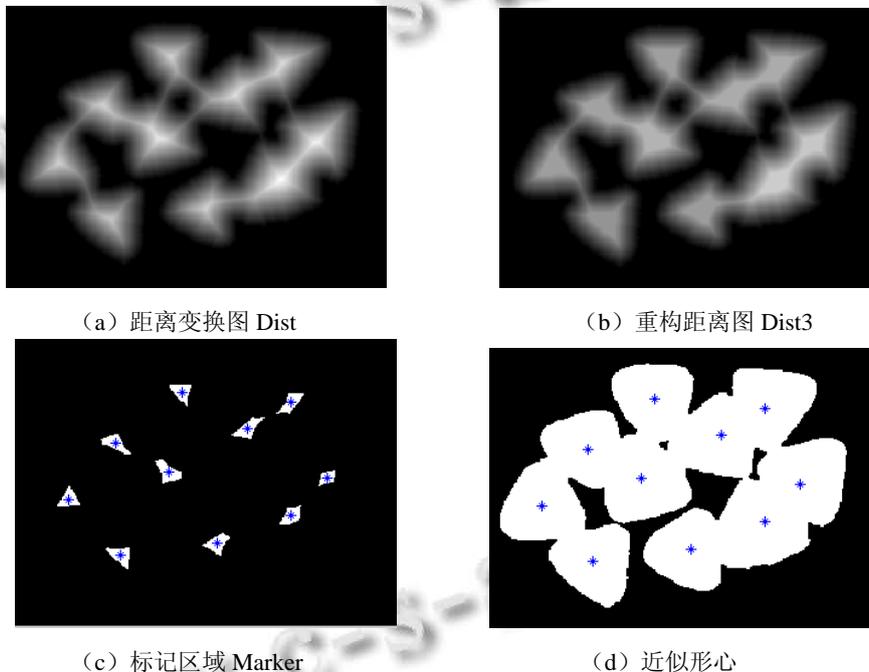


图 5 粘连纤维图像的标记提取过程

### 3 修正距离变换图

为了抑制过分割, 利用上一步求出的种子区域和强制最小技术修正距离变换图, 然后对修正后的距离变换图进行分水岭变换。强制最小技术, 也叫极小值标定技术, 它可以保留目标种子区域和背景区域的极小值而消除其他地方的极小值。这样就限制了分水岭算法中“盆地”的数目, 一定程度上解决了过分割问题。强制最小技术使用形态学重建的方式消除指定区域外的所有其他极小值<sup>[7][8]</sup>。在对图 5 (a) 强制最小之前还要将其取反或取补, 因为要保证分水岭变换中的“集

水盆地”为局部极小值区域。这一步的流程如图 6 所示。

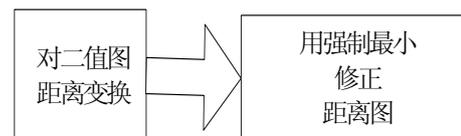


图 6 修正距离变换图流程

$$Dist4 = IMPOSEMIN(\overline{Dist} | Marker) \quad (4)$$

其中  $IMPOSEMIN(\bullet)$  表示强制最小算法,  $\overline{Dist}$  表示对  $Dist$  取反或取补,  $Dist4$  表示修正后的距离变换图. 对实例修正距离变换图, 如图 7 所示.

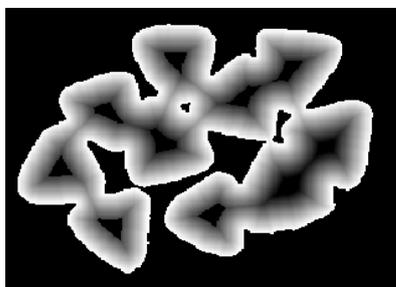


图 7 修正后的距离图

#### 4 分水岭变换

对修正后的距离变换图作分水岭变换<sup>[9][10]</sup>.

$$Result = WaterShed(Dist4) \quad (5)$$

其中  $WaterShed(\bullet)$  表示分水岭变换,  $Result$  表示分水岭变换后的结果. 结果如图 8 所示.

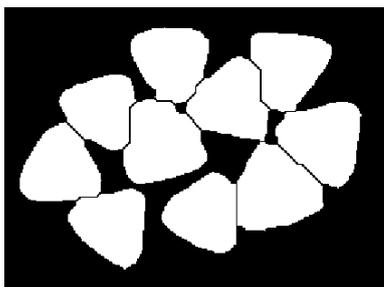


图 8 分水岭变换结果 Result

#### 5 实验分析与结论

将本文算法与一般的基于距离变换的分水岭算法相比较. 对同一实例做一般的基于距离变换的分水岭算法, 结果如图 9 所示.

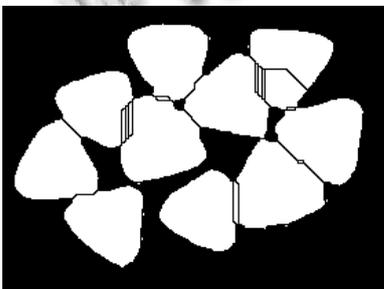


图 9 基于距离变换的分水岭算法结果

从图 9 可以看出, 基于距离变换的分水岭算法过

分割严重, 本文算法与之相比, 在抑制过分割方面表现良好.

将本文算法与基于梯度的分水岭算法相比较. 对同一实例做基于梯度的分水岭算法, 结果如图 10 所示.

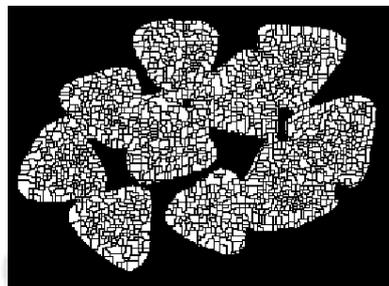
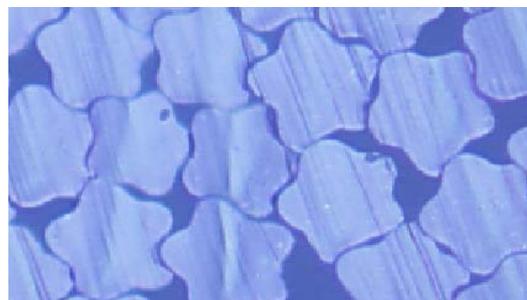


图 10 基于梯度的分水岭算法

图 10 是对 sobel 梯度做分水岭变换得到的结果, 可以看出其过分割现象很严重, 本文算法与之相比, 在过分割方面表现良好.

用本文算法对更多图片进行实验<sup>[11]</sup>, 结果表明本文算法比基于梯度的分水岭算法和基于距离变换的分水岭算法在抑制过分割方面表现优异, 但是同时也存在一些问题. 问题是粘连区域的分割线不够平滑, 跟正确分割线有一定的差距. 就是说, 本文算法在抑制过分割方面表现良好, 但是并不能保证分割线的完全正确性, 这也是本算法需要改进的地方. 可以从优化二值化、对分割结果加入合理性判断等几个方面进行考虑.

同时也用本文算法对凹性粘连颗粒图像进行了实验, 如图 11 所示.



(a) 凹性粘连颗粒原始图像



(b) 凹性粘连颗粒分割后图像

图 11 本文算法对凹性粘连颗粒图像进行实验

从上图可以看出本文算法对凹性粘连颗粒的分割效果并不理想, 存在一定程度的过分割.

综上所述, 本文算法使用于凸性粘连颗粒图像的分割, 对凹性粘连颗粒的分割则不理想. 同时, 本文算法在抑制过分割方面表现良好, 但是在分割线位置的正确性与合理性方面还有待改进. 从算法复杂性上来讲, 本文算法确实是比基于梯度的分水岭算法和基于距离变换的分水岭算法相对复杂一些, 但是为了获得有用的分割结果而增加一些复杂性也是可以接受的.

### 参考文献

1 闫学昆. CB 法微核图像自动分析关键技术研究及系统实现[学位论文]. 上海: 中国人民解放军军事医学科学院, 2010:34-56.

2 徐蔚钦. 基于分水岭分割的粘连颗粒图像分析技术研究[学位论文]. 长沙: 中南大学, 2011:32-42.

3 高丽, 杨树元, 李海强. 一种基于标记的分水岭图像分割新算法. 中国图象图形学报, 2007, 06:1025-1032.

4 张芹, 侯德文. 形态学分水岭算法在粘连图像分割中的应用. 微型机与应用, 2012, 09:44-46, 49.

5 王娜. 颗粒图像分割与分析方法研究[学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2009:33-34.

6 Comer ML, Delp EJ. Morphological operations for color image processing. *Journal of Electronic Imaging*, 1999, 8(3): 279-289.

7 Vincent L. Morphological grayscale reconstruction in image analysis: Applications and efficient algorithms. *IEEE Trans. on Image Processing*, 1993, 2(2): 176-201.

8 Fernand M. Topographic distance and watershed lines. *Signal Processing*, 1994, 38(7): 113-125.

9 O'Callaghan RJ, Bull DR. Combined morphological-spectral unsupervised image segmentation. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2005, 14(1): 49-62.

10 Gonzalez RC. *Digital Image Processing Using Matlab*. 北京: 电子工业出版社, 2004:463-465.

11 彭卫绘, 谈乐斌. 基于 MATLAB 的粘连小球球径提取方法. *计算机系统应用*, 2012, 21(6): 044.