

基于改进分水岭算法的粘连颗粒图像分割

戴 丹

(贵州大学 计算机科学与信息学院, 贵州 贵阳 550025)

摘 要:对颗粒物质实验中粘连颗粒的分割,传统分水岭算法容易产生过分割现象。为解决该问题,设计了一种有效的改进分水岭算法。该算法先采用数学形态学重建滤波平滑图像噪声及内部小细节,然后使用 Otsu 方法对图像进行阈值分割,并对得到的二值图像作欧氏距离变换,将像素点位置信息转换为灰度信息,最后对距离图利用分水岭算法得到最终分割图像。实验结果表明,该算法获得了较满意的分割效果,解决了目标粘连现象对后续分析、测量产生干扰的问题。

关键词:分水岭算法;图像分割;形态学重建;距离变换

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2013)03-0019-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.03.005

Image Segmentation of Adhering Particle Based on Improved Watershed Algorithm

DAI Dan

(School of Computer Science and Information, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: During the segmentation of adhering particle in the experiments, traditional watershed algorithm has over-segmentation problem. To solve the problem, an effective and improved watershed algorithm was proposed. Firstly, it used morphological reconstruction filtering to smooth the image, and then it used Otsu to do the image threshold segmentation and calculated the binary image's Euclidean distance. Finally, the final segmentation image was obtained by means of the watershed image segmentation. The results in the experiments show that the algorithm gets satisfactory segmentation effect and it is successful to solve the interference problems of adhering disk.

Key words: watershed algorithm; image segmentation; morphology reconstruction; distance transformation

0 引 言

广义地说,颗粒物质是指大量离散颗粒状物质的聚集体,如矿砂、大米、细胞、胶体微粒...,它在工业、农业、生物、化学等领域广泛存在^[1]。颗粒物质的产生、加工、检测在实际生产中具有重要的地位。近年来,由于颗粒体系所表现出来的奇特行为被人们所关注,因而颗粒物质成为科学界研究的热点^[1~4]。其中一个重要的方面就是用实验研究颗粒体系处于静态和动态时的物理性质。每个颗粒的空间位置、颗粒的形状大小、颗粒间的接触情况等几何信息是研究中非常重要的部分。通常情况下,颗粒物质在三维空间中堆积,很难对每个颗粒的几何信息进行测量。所以研究者经常采用准二维的实验研究颗粒体系,这时可认为所有颗粒都处在同一平面上,颗粒之间不存在交叠。但由于实验

中颗粒的数目巨大,难以用人工进行测量和统计,所以采用图像处理、计算几何等技术对颗粒的各种几何信息进行统计。如何将每个颗粒从实验的图片(或视频)中分离出来,是整个自动化处理中的关键问题。通常情况下,从准二维的颗粒物质实验中得到的图像背景不复杂、颗粒与背景的区分度较好。但颗粒之间通常是有接触的,而且需要比较精确地判断颗粒之间的接触关系,这给图像分割带来了一定困难。所以图像分割算法应该能够准确地将粘连的对象有效、合理地分离。

分水岭算法^[5]是一种经典的基于区域的分割算法,也是常用的图像分割算法^[6]。但是,传统的分水岭算法由于受噪声及区域内部纹理细节的影响,会产生很多局部极小值,极易导致严重的过分割^[7]。对此,研究者提出了多种解决过分割问题的算法。Haris 等人^[8]提出一种区域合并的分水岭分割算法来缓解过分割现象,但分水岭分割后的小区域很多,合并的工作量很大,影响其实时性。Bieniecki 等人^[9]提到了中值滤波和高斯滤波等解决过分割的预处理技术。由于这些

收稿日期:2012-07-02;修回日期:2012-10-08

基金项目:贵州省自然科学基金(2011-2103);贵州大学自然科学基金(2009011);贵州大学青年基金(贵大自青合字 2012014)

作者简介:戴 丹(1979-),女,贵州贵阳人,硕士,讲师,主要研究方向为网络与数据库、信息处理、图形图像。

滤波技术去除的是图像中频率较高的信息,对边缘信息的保持通常较差。黄迎荣、范影乐等人^[10]提出一种距离变换结合分水岭算法的粘连细胞的分割方法;而黄文明、陈庆全等人^[11]则使用 4/8 邻域结构元素交替对重叠细胞进行腐蚀,再通过膨胀处理找出重叠细胞的分界线。不过这些算法都要求图像具有某些特定性质,因而在实际处理中有一定局限性。

为了精确自动测量颗粒的各种几何信息,文中从另一个角度,采用基于形态学重建滤波及欧氏距离变换的分水岭算法来分割粘连的圆盘颗粒图像。实验结果表明,该方法能有效地分割出颗粒物质实验中得到的粘连圆盘图像的边界线,并对噪声具有较好的鲁棒性。

1 分水岭算法概念

分水岭的概念^[12,13]以图像的三维可视化处理为基础,将图像看作是地形学上被覆盖的自然地貌,图像中每一点的海拔高度用该点像素的灰度值表示,每一个局部极小值以及它的影响区域称为汇水盆地,而汇水盆地的边界就是分水线。基于此的分割算法的主要目标是找出分水线。其基本思想是:假设在每个区域最小值的位置上打一个洞,让水以均匀的上升速率从洞里涌出,从低到高淹没整个地形。用大坝来阻止不同汇水盆地中的水聚汇在一起。这样水就只能达到大坝的顶部处于水线之上的程度。这些大坝的边界则对应于分水岭的分割线,是一些连续的边界线,如图 1 所示。

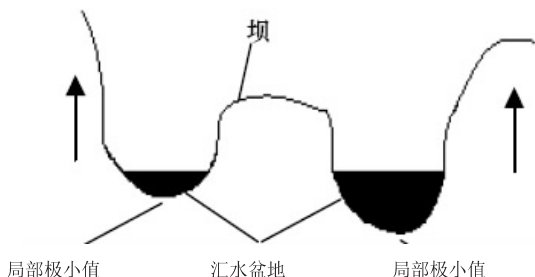


图 1 分水岭算法示意图

分水岭分割法的优点十分突出:

- 一是边界是单像素的;
- 二是物体分割轮廓线的封闭性强;
- 三是对微弱边缘响应强,定位精确性高,能够较好地满足对粘连颗粒的分割要求。

但通常会由于噪声或者局部不规则而引起过分割,因此需要改进。

2 改进的分水岭算法

文中在分水岭算法的基础上提出了一种改进的分割方法,首先将颗粒图像转换为灰度图像,再对灰度颗粒图像进行形态学重建滤波,之后在二值化图像的基础上进行距离变换,最后对距离变换后的图像采用分水岭的方法进行分割。算法流程如图 2 所示。

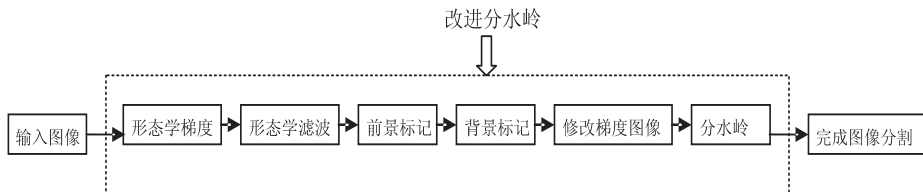


图 2 改进分水岭分割流程

2.1 形态学重建滤波

形态学重建是测地线图像操作集合的一部分^[14],能够提取出掩模图像 I 中被 I 的子集标记图像 J 所标记的连通区域的集合。Vincent 最早提出利用形态学灰度重建进行数字图像分析处理,并给出了有效的形态学算法,使得形态学重建具备了计算可行性。Vincent^[14]给出的二值形态学重建的定义如下:

定义 1: 设 I 和 J 是定义在相同的离散空间 D 中的二值图像,且 $\forall p \in D, J(p) = 1 \Rightarrow I(p) = 1$, 则 J 就叫做标记图像,而 I 称为掩模图像,设 $I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$ 是 I 中的连通区域,则 I 经由 J 的重建就定义为 I 中所有与 J 的交集非空的连通区域的并集:

$$\rho(J, I) = \bigcup_{J \cap I_k \neq \emptyset} I_k \quad (1)$$

形态学重建作用于二值图像时称为二值形态学重建,作用于灰度图像时称为灰度形态学重建。灰度形态学重建的定义如下:

定义 2: 灰度图像 I 和 J 定义在同一定义域 D 上,取值范围为离散集合 $\{0, 1, \dots, N-1\}$ 且 $J \in I$, (即 $\forall p \in D$, 有 $J(p) \leq I(p)$), 则用标记图像 J 对掩模图像 I 的灰度形态学重建 $\rho(J)$ 满足

$$\forall p \in D, \rho(J, I)(p) = \max \{k \in [0, N-1] \mid p \in \rho(T_k(J), T_k(I))\} \quad (2)$$

其中, $T_k(\cdot)$ 表示用阈值 k 对灰度图像进行二值化得到的二值图像。

为了减少噪声及局部小细节对分水岭算法的影响,考虑使用形态学重建滤波的方法。首先将实验得到的图像转换为灰度图像,再用腐蚀重建及开重建的方法对灰度图像进行处理。根据实验颗粒的性质,选用半径为 8 的圆形结构元素对灰度图像做腐蚀运算,将得到的腐蚀图像作为标记图像 J , 原灰度图像作为掩模图像 I , 做形态学开重建运算,得到开重建运算后的图像 I_o 。

开重建运算后的图像中还有一些暗噪声及非规则

干扰,因此,接着采用膨胀重建及闭重建的方法对其进行处理。先对开重建后的图像 I_o 采用小圆形结构元素做膨胀运算得到图像 I_{ob} ,再对 I_{ob} 求补后作为标记图像,开重建运算后的图像 I_o 求补后作为掩模图像,作形态学闭重建运算,得到闭重建运算后的图像 I_{obr} 。将 I_{obr} 求补后得形态学重建滤波后的图像。

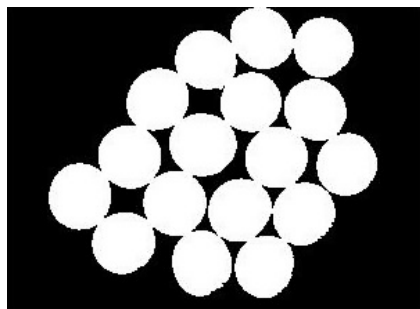
基于重建的开闭操作要比标准的开闭运算更加有效。开闭重建过程保留了能被经典开闭运算所去除的轮廓成分,因而能够保持轮廓形状不变。也就是说,当对颗粒图像作开闭重建运算时,只有比选定结构元素小的细节及噪声成分被完全去除,而其他颗粒成分则被完整地保留,不会产生大颗粒目标的畸边。

2.2 阈值分割

图像阈值分割是利用图像中灰度特性的差异,把图像分为目标和背景两类区域。阈值分割的基本流程是先确定阈值,然后根据阈值把图像分割归类,其中确定阈值是关键。由于从准二维的颗粒物质实验中得到的图像中目标区域的灰度值与背景区域的灰度值相差较大,且通过形态学开闭重建消除了噪声及小细节,因此可以比较容易地确定分割阈值,得到二值图像,从而确定出目标和背景区域。通过比较各种图像阈值分割算法的应用,文中采用 Otsu^[15] 法对形态学重建滤波后的颗粒图像进行二值化,所得图像如图3所示。



(a) 原图



(b) 二值图

图3 阈值分割结果图

从图上可以看出,在前述的阈值分割后,前景区域内的对象之间仍然有粘连,需要进行进一步的分割。

2.3 距离变换

距离变换^[16]是一种将一幅二值图像转化为一幅灰度图像的操作运算。在这幅灰度图像中,每个像素

与距其最近的背景间的距离用该像素的灰度级表示。现在的距离变换算法主要有两类:非欧氏距离和欧氏距离。非欧氏距离计算简单,但不容易满足精度要求,因此在很多应用中采用欧氏距离变换算法。

一个 $M \times N$ 的二值图像可以用一个二维数组 $A_{M \times N} = [a_{ij}]$ 来表示,其中, $a_{ij} = 1$ 的像素对应物体目标点, $a_{ij} = 0$ 的像素就对应背景点。设 $B = \{ (x, y) \mid a_{ij} = 0 \}$ 为背景像素集合, $F = \{ (x, y) \mid a_{ij} = 1 \}$ 为目标像素集合,则距离变换就是对 A 中的所有像素点 (i, j) 求:

$$d_{ij} = \min \{ D_E[(i, j), (x, y)], (x, y) \in B \} \quad (3)$$

其中, $D_E[(i, j), (x, y)] = \sqrt{(i - x)^2 + (j - y)^2}$, $i = 1, 2, 3, \dots, M \quad j = 1, 2, 3, \dots, N$

在这种算法中存在平方和开方算法,对算法效率有影响,因此实际的距离变换算法是每次只计算该像素与局部相邻的几个像素点的距离的最小值,再根据局部距离按比例叠加成全局距离的原理,先后两次扫描图像,最终得到近似的距离图像。

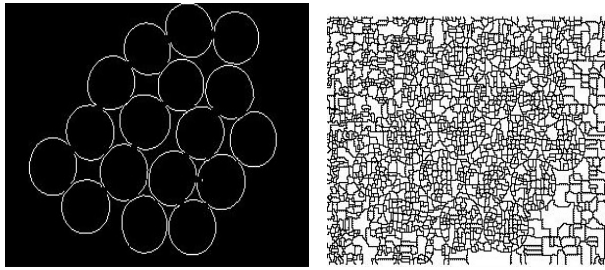
2.4 分水岭变换

形态学灰度重建对每一个颗粒图像的内部进行平滑后,将目标范围内存在的多个区域最大值点削平,同时滤掉小细节和噪声。然后通过距离变换将要分离的颗粒二值图像变为灰度图像,颗粒图像的边缘就与其它像素点区分开来,但颗粒粘连处的那些边缘点还需要得到。这样,为了保证分水岭算法实现过程中目标的灰度始终大于背景的灰度值,将得到的距离图像背景像素的灰度值设为负无穷,然后对最终结果作分水岭分割,有效地把接触在一起的颗粒物体分开。

3 实验结果与分析

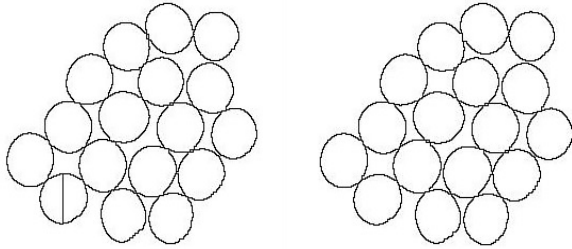
本研究根据颗粒物质实验中得到的图像做了大量测试,并与常用的边缘检测 Sobel 算子,传统分水岭算法及文献[10]提出的基于距离变换的分水岭算法进行比较。图4是对图3(a)中的原始图像进行分割得到的结果。图4(a)是 Sobel 算子提取的边缘,未将粘连颗粒分割开。图4(b)是直接应用分水岭变换的结果,过分割现象严重。图4(c)是文献[10]距离变换结合分水岭的结果,仍有过分割。图4(d)是文中分割方法的结果。结果表明该算法能成功地分离出粘连颗粒图像中的每个颗粒,几乎不存在欠分割和过分割现象。

图5是加噪声的实验颗粒图像及其分割结果。图5(a)对原始图像加上均值为0,方差为0.01的高斯噪声。图5(b)、图5(c)和图5(d)分别是由 Sobel 算子、文献[10]算法及文中算法得到的分割图像。结果表明该算法具有较好的抗噪性能。



(a) Sobel 算子提取的边缘

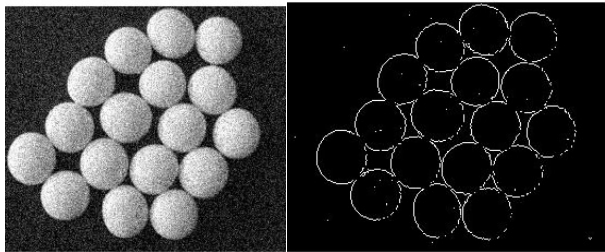
(b) 直接分水岭变换结果



(c) 距离变换分水岭结果

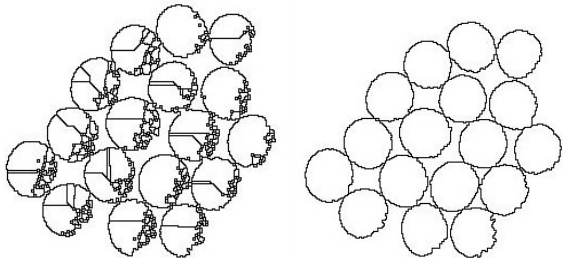
(d) 文中算法最终结果

图 4 算法有效性验证



(a) 加噪图像

(b) Sobel 提取边缘



(c) 距离分水岭分割

(d) 文中算法分割

图 5 加噪图像分割结果

对颗粒实验中得到的 20 幅图像使用本文算法进行图像分割,其分割结果与实际图像目测结果一致。实验结果表明利用改进的分水岭算法进行粘连圆盘颗粒的分割,准确率高、简单、快捷,使分析结果更加客观准确。

4 结束语

文中针对颗粒物质实验中得到的粘连圆盘图像,提出了一种改进的分水岭算法。该算法首先使用形态学重建运算对图像进行滤波处理,再用 Otsu 法对形态学重建滤波后的颗粒图像进行二值化,最后对二值图像的欧氏距离图应用分水岭算法,完成图像分割。实

验结果表明,与 Sobel 边缘分割、传统分水岭,文献 [10] 提出的距离变换结合分水岭的分割方法相比,文中的算法对粘连圆盘的分割效果理想,并具有良好的抗噪性能,对后续的圆盘特征提取、识别等工作打下了良好的基础。

参考文献:

- [1] de Gennes P G. Granular matter: a tentative view [J]. Rev. Mod. Phys, 1999, 71 (2): 374-382.
- [2] Mullin T. Mixing and De-mixing [J]. Science, 2002, 295 (5561): 1851-1851.
- [3] van Hecke M. Granular matter: A tale of tails [J]. Nature, 2005, 435: 1041-1042.
- [4] Kudrolli A. Granular matter: sticky sand [J]. Nature, 2008, 7 (3): 174-175.
- [5] Vincent L, Soille P. Watersheds in digital spaces: An efficient algorithm based on immersion simulations [J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991, 13 (6): 583-598.
- [6] Roerdink J B T M, Meijster A. The watershed transform: Definitions, algorithms and parallelization strategies [J]. Fundamenta Informaticae, 2001, 41: 187-228.
- [7] 李 伟,林家春,毛恩荣. 种子动态图像自动分割与标记技术研究 [J]. 农业机械学报, 2004, 35 (2): 76-79.
- [8] Haris K, Efstartiadis S. Hybrid image segmentation using watersheds and fast region merging [J]. IEEE Trans on Image Processing, 1998, 7 (12): 1684-1698.
- [9] Bienieceki W. Over segmentation avoidance in watershed-based algorithms for color images [C]//Proceedings of the International Conference. Lodz, Poland: [s. n.], 2004: 169-172.
- [10] 游迎荣,范影乐,庞 全. 基于距离变换的粘连细胞分割方法 [J]. 计算机工程与应用, 2005, 41 (20): 207-208.
- [11] 黄文明,陈庆全,陆 荣. 一种改进的重叠细胞图像分割研究 [J]. 计算机工程与应用, 2009, 45 (26): 163-165.
- [12] Gonzalez R G, Woods R E. Digital image processing [M]. 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002: 617-626.
- [13] Castelman K R. Digital Image Processing [M]. New Jersey: Prentice Hall, 1996: 475-477.
- [14] Vincent L. Morphological Grayscale Reconstruction: Definition, Efficient Algorithm and Applications in Image Analysis [C]//Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Urbana Champaign, USA: [s. n.], 1992: 633-635.
- [15] 肖超云,朱伟兴. 基于 Otsu 准则及图像熵的阈值分割算法 [J]. 计算机工程, 2007, 33 (14): 188-189.
- [16] Borgefoss G. Distance transformations in digital images [J]. Compt Vis Graphics and Im Proc, 1986, 34 (3): 344-371.

基于改进分水岭算法的粘连颗粒图像分割

作者: [戴丹](#)
作者单位: [贵州大学 计算机科学与信息学院, 贵州 贵阳550025](#)
刊名: [计算机技术与发展](#)
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)
年, 卷(期): 2013(3)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjtz201303007.aspx