

基于分水岭的彩色图像颗粒分析方法

邹丹平¹⁾ 胡德生²⁾ 金升俊³⁾ 刘其真¹⁾

¹⁾(复旦大学计算机科学与工程系, 上海 200433) ²⁾(宝山钢铁股份有限公司技术中心, 上海 201900)

³⁾(上海天域时捷信息系统有限公司, 上海 2000232)

摘要 在对颗粒分析方法进行归类 and 总结的基础上, 提出了一种基于分水岭的彩色图像颗粒分析普遍框架, 该框架不仅消除了有些传统方法不能进行颗粒定位的缺点, 而且对分水岭算法进行了一定的改进, 由于该算法对颗粒形状进行了精确定位, 从而得到颗粒的各种特征信息, 可比较好地完成了颗粒分析。通过对一些微观矿物图像进行分析的结果表明, 该算法可取得良好的颗粒分析效果, 而且运行效率要比传统方法高。

关键词 颗粒 粒度测量 颗粒分析 模式谱 分割 分水岭算法

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2005)11-1415-04

A Granular Analysis Method Based on Watershed

ZOU Dan-ping¹⁾, HU De-sheng²⁾, JIN Sheng-jun³⁾, LIU Qi-zhen¹⁾

¹⁾(Dept. of Computer Science and Engineering, Fudan University, Shanghai 200433)

²⁾(Baosteel Technology Center, Shanghai 201900) ³⁾(Shanghai DigiGraphic Information System Co., Ltd, Shanghai 200232)

Abstract This paper gives out a watershed-based granular analyzing method for digital color images. The new watershed-based method which improves on the original watershed transform to some extent, can overcome the shortcoming of some conventional methods that they cannot mark the grain exactly and give a exact boundary or mark to every grain in the image. The features of grains can be acquired from these exactly marked areas and then further work can be done more easily. The paper finally applies the proposed method in some digital microscopic mineral images and obtains good results.

Keywords grain, granulometric, granular analysis, pattern spectram, segmentation, watershed transform

1 引言

颗粒是数字图像中的一种特殊纹理, 由于在各种材料图像中普遍存在着颗粒这种纹理, 因此在很多材料的分析中, 颗粒分析是重要的内容之一。颗粒分析的主要任务就是通过各种图像处理方法, 最终得到图像中颗粒分布情况。对于颗粒分析方法, 早在 20 世纪 70 年代 Matheron 就提出一种特征筛方法^[1]。其原理就是运用数学形态学的方法, 用不同尺度的结构元素对二值图像不断地进行开运算, 每次运算后的残余面积序列形成一个曲线, 对该曲线求导可以得到模式谱 (pattern spectrum)^[2]。模

式谱所反映的就是图像颗粒大小分布的情况。所以对于颗粒分析模式谱方法存在明显的缺陷: (1) 颗粒形状比较有规律才能得到较好的结果; (2) 受结构元素的限制, 该方法对凹性颗粒纹理分析误差很大; (3) 虽然上面提到改进的模式谱方法可以得到结合空间信息的空间大小分布, 但是实际运用中往往要求对颗粒形状进行精确定位, 显然模式谱方法是不能满足要求的。

颗粒分析的另一思路就是采用传统的图像处理方式, 首先对图像进行分割, 把图像分割为颗粒小区域; 然后对每个区域抽取特征, 如面积, 周长, 梯度等特征信息; 最后形成颗粒特征直方图。颗粒纹理图像分割的一个有效的方法就是分水岭算法^[3], 有

收稿日期: 2005-08-16; 改回日期: 2005-09-08

第一作者简介: 邹丹平 (1982 ~) 男。2003 年获华中科技大学工学学士学位, 现为复旦大学计算机科学与工程系硕士研究生。主要研究方向为图像处理与模式识别。E-mail: dpzou@yeah.net

关分水岭算法的计算机实现在文献[3]中有详细的介绍和总结。本文提出对彩色图像进行颗粒分析的一种基于分水岭算法的框架。

2 分水岭算法与改进

2.1 分水岭沉浸算法

分水岭算法有多种定义和对应的算法^[4],一种经典直观的定义就是文献[3]中提出的沉浸算法定义。设灰度图像 G 的最小最大亮度值分别为 h_{\min} , h_{\max} , I 为像素点灰度, $T_I(h)$ 为满足 $I \leq h$ 的像素点集合, $X(h)$ 为水平线高度为 h 时聚水盆像素点集合, $W(h)$ 为分水岭像素点集合, $IZ_Y(X)$ 为点集 X 在点集 Y 中的影响区域 (influence zon 是测地学的一个概念,关于该概念,文献[3,4]中都有详细定义,这里就不再介绍),则分水岭的沉浸算法是一个迭代过程(公式(1)):

$$\begin{cases} X(h_{\min}) = T(h_{\min}) \\ \forall h \in [h_{\min}, h_{\max}], X(h) = \\ \min(h+1) \cup IZ_{T(h+1)}(X(h+1)) \\ W(h) = G - X(h) \end{cases} \quad (1)$$

可见,这个过程实际上就是对上一次求出的聚水盆像素点求影响区域,然后合并新出现的谷底,就成为这一次计算的结果。

2.2 过分割及解决方案

这里针对分水岭过分割问题提出一种有效并且高效的解决方法。

设两次处理的灰阶差为 Δg ,在对数字图像处理运用分水岭算法进行迭代过程中, Δg 大部分情况下的值就是灰阶间隔,如处理 0 ~ 255 阶灰度图像, Δg 往往等于 1。假设区域 $D \subseteq I$ 为原本期望分割为一块完整的区域,且只要该区域的最大梯度

$$\Delta g < \max_{p \in D} \{\Delta(p)\} \quad (2)$$

那么 D 就会被分割为多个区域,这样就会产生过分割。所以如果对相应的区域 D 能够控制

$$\Delta g \geq \max_{p \in D} \{\Delta(p)\} \quad (3)$$

的话,那么区域 D 就不会被过分割(如图 1 所示)。这样对于一幅灰度图像(包括原图的形态学梯度图像),可以根据需要对 Δg 适当增大或者调整,则可以很有效地抑制过分割。这种算法与基于标识或者区域合并的分水岭算法相比较,其最大的优点就是效率非常高。在颗粒分析这种对区域的分割精度要求不

是特别高的情况下,该算法是相当实用的。当然本算法也可以结合标识和区域增长等方法一起使用,因为这样可以减少抽取标识和区域增长的复杂程度。

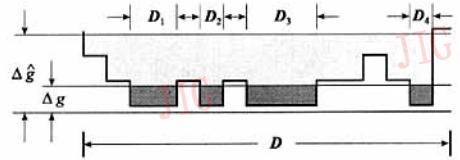


图 1 调整 Δg 的大小可以在某种程度上抑制过分割
Fig.1 Regulating Δg can prevent over segmentation in some measure

3 彩色图像颗粒分析框架

如同引言所介绍的一样,传统的颗粒分析都是运用模式谱这样一种方法,即对原灰度或者二值图像进行不断地开运算然后计算残余灰度容量或者残余面积,并经过换算归一化来生成一个大小分布概率曲线,这就是模式谱。对于彩色图像,一般是先把原图转换为灰度图像,然后进行模式谱分析。虽然这种方法在整体的颗粒纹理识别上可取得良好的结果,但是该方法对颗粒空间分布的统计和具体轮廓的提取却束手无策。可是在很多运用中,却要求对颗粒进行精确的定位。而本文提出基于分水岭算法的颗粒分析则可以很好地解决这个问题。

对于彩色图像的颗粒分析步骤如图 2 所示,即首先是预处理,包括对比度调整,除噪声等前期工作;其次是求彩色图像的形态学梯度,这里二值或灰度形态学梯度就是对图像进行膨胀和腐蚀之后的差值,即

$$\nabla_s(G) = G \oplus s - G \ominus s \quad (4)$$

G 表示原图, s 表示结构元素。对于彩色图像的形态学梯度,可以先对各个色彩通道单独进行梯度运算,最后按照某种规律,如求和、求平方和、取最大值等来对各通道结果进行合并;或者在信息丢失量可以忽略的情况下,先将彩色图像转换为灰度图像然后再进行形态学梯度的计算。文献[5]提出了可以提高分水岭分割效果的多尺度形态学梯度 (multi-scale gradient) 的概念,其定义如下:

$$MG(G) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{\varepsilon_{g_i} \cdot [\nabla_{g_i}(G)]\} \quad (5)$$

其中, g_i 表示尺度从小到大排列的结构元素, $MG(G)$ 就是图像 G 的多尺度形态学梯度。

因为多尺度形态学梯度具有可以增强模糊边界的优点,所以本文颗粒分析采用多尺度形态学梯度作为计算图像梯度的工具。也就是在求得原图的梯度图像后,再用分水岭算法进行分析。另外,还可以根据实际情况的需要抽取标识(如图 2 虚线箭头所

示),叠加到梯度图像中,然后再用分水岭算法。这里是采用上文所提出的改进分水岭算法来得到分割结果,然后对每个分割好的区域进行特征信息抽取,如颜色、面积、周长、长宽比、梯度面积比等等特征信息,最后通过分类统计来得到最后的分析结果。

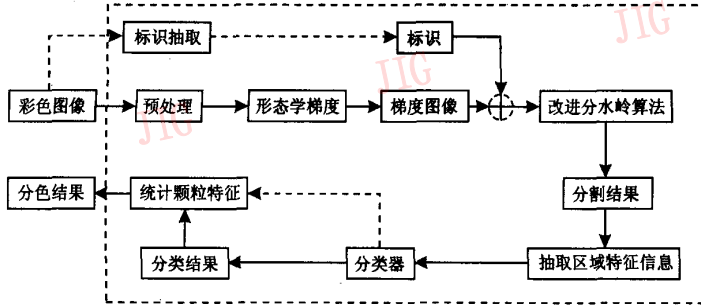
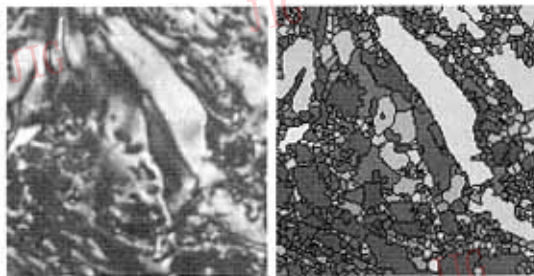


图 2 彩色图像颗粒分析框架图

Fig. 2 A mode of granular analysis

4 运用与试验结果

为验证本文方法的效果,采用大量微观焦炭粒图片进行了试验分析,并首先从效果上与传统的颗粒分析方法进行比较。由于篇幅限制,仅抽取如图 3 所示的某样本进行讨论。



(a) 原图 (b) 颗粒分析结果

图 3 对微观焦炭粒数字图像的颗粒分析结果

Fig. 3 The result of granular analysis from microscopic digital picture of coke

图 4 为颗粒大小分布直方图,横坐标为颗粒区域换算成圆的直径,纵坐标为百分比。实线为用本文基于分水岭的分析方法得出的曲线,虚线为传统开运算方法得出的曲线。从图 4 可以看出,传统开运算方法对大块颗粒的识别效果很差;而分水岭的分析结果则和人眼观测结果相当吻合。得出颗粒大

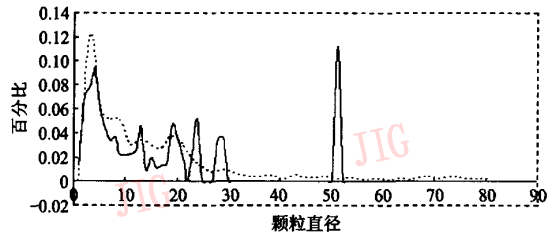


图 4 由图 3 得出的颗粒直径分布直方图

Fig. 4 The distribution of granular diameter

小的分布直方图只是本文提出的算法的一个方面的运用。利用本文的算法还可以得到颗粒颜色、亮度,梯度、周长等其他特征信息的分布直方图,而传统的颗粒分析方法却只能得到颗粒大小分布的直方图。

其次在运行效率方面上,得到同样颗粒大小分布直方图,两种算法的运行速度相差若干个数量级(如表 1 所示)。

表 1 算法执行时间比较

Tab. 1 Comparison of execution time

编号	传统算法	本文算法
(a)	131 047	219
(b)	135 500	219
(c)	158 406	219

*注:在 P4 2.4GHz 的 PC 机上的执行时间,单位 ms

5 结论

本文通过对传统的颗粒分析方法进行调查后,

发现传统的颗粒分析方法存在不足之处,针对这些不足提出了一种基于分水岭算法的彩色图像颗粒分析框架,并对分水岭算法进行了一些改进,使得颗粒分析的效率和准确度得到了显著的提高。最后通过微观焦炭图片的分析试验效果表明算法的执行效率和颗粒分析的准确度较传统方法有了较大提高,说明本文提出的基于分水岭算法的彩色图像颗粒分析框架是一种高效实用的颗粒分析框架。

参考文献 (References)

- 1 Matheron G. Random sets and integral geometry[M]. New York: John Wiley, 1975.
- 2 Maragos P. Pattern spectrum and multiscale shape representation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1989, 11(7):701 ~ 715.
- 3 Vincent L, Soille L. Watersheds in digital space: An efficient algorithm based on immersion simulations[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991, 13(6):583 ~ 598.
- 4 Roerdink J, Meijster A. The watershed transform: definitions, algorithms and parallelization strategies [J]. Fundamenta Informaticae, IOS Press, 2001, 41:187 ~ 228.
- 5 WANG De-min. A mutiscale gradient algorithm for image segmentation using watersheds[J]. Pattern Recognition, 1997, 30(12):2043 ~ 2052.