

条件颗粒分割方法研究

康晓泉 首祥云 陈世悦 邵才瑞 姜艳玲

(石油大学(华东)地球资源与信息学院, 山东东营 257061)

摘要 图像中两个物体的接触关系根据粒径可分为未接触、不同粒度物体的接触和同粒度物体的接触3种,接触物体根据接触部分的大小又可分为强接触、中等接触和弱接触。对接触物体的保形分割应该是使分割后物体恢复原来的形态,鉴于流域分割、测地重建等算法在分割接触物体时,不但对物体形态产生破坏和受干扰因素多,而且对于计算接触面积大小的问题,以上算法也不易实现,为此,提出了条件颗粒分割方法,即在数学形态学开运算过程中,对标定区域腐蚀后,不再做膨胀运算,就直接在保形的基础上,对不同粒度的物体进行分割,而对于同粒度接触的物体,则先通过腐蚀后,再做一次特殊条件颗粒分割来得到小粒度(条带)部分,再进行复原就是目标物体的接触部位。最后,介绍了此算法在岩石颗粒粒度分析及胶结类型划分方面的应用。

关键词 条件颗粒分割 接触关系 保形 数学形态学

中图分类号: TP391.41 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2004)05-0565-06

The Research of Condition Granulometry Segmentation

KANG Xiao-quan, SHOU Xiang-yun, CHEN Shi-yue, SHAO Cai-rui, JIANG Yan-ling

(University of Petroleum(East China)Earth Resource and Information Department, Shandong Dongying 257061)

Abstract On the base of the diameter of granule, the touching relationship of two objects in the image can be divided into three types: untouched, touching with different grain-size, touching with same grain-size. It also can be further divided into strong-touching, mid-touching and thin-touching by the size of touching part. The shape preserving segmentation of touching objects should be their original shape after segmentation, but watershed segmentation, geodesic reconstruction damage their shapes, and they are easily affected by many aspects. They also can't calculate the size of touching part. An alternative method is condition granulometry segmentation. After the erosion of image, the method doesn't dilation the marked area. It can segment different grain-size touching objects. For the same grain-size touching objects, using a special condition granulometry segmentation after erosion, the small grain-size(narrow piece) is the object touching part when reconstruction. In the end, the paper introduces the application to rock grain-size distribution and cement types of this algorithm.

Keywords condition granulometry segmentation, touching relationship, shape preserving, mathematical morphology

1 引言

图像中目标物体相互接触(粘连或重叠)部位的分割问题是图像分割处理的一个热门课题,对物体接触部位的分割是研究个体物体形态的基础。近年来国内外提出了不少的分割算法,如流域分割(watershed segmentation)^[1]、测地重建(geodesic reconstruction)算法^[2],它们对接触物体的分割相当

于从中间等分开,这将对原物体形态产生破坏,而且它们易受多种子点引起的过分割等因素影响^[3];而数字切割方法(DCM)^[4]只是适合于图像中接触比较少(弱接触)的物体分割;如今在以上这些算法基础之上又发展了许多标记的衍生算法^[5],但是这些算法有相同缺点:(1)它们多是串行算法,耗费内存大,受干扰因素多;(2)它们的分割是从接触部分中间切割开,致使分割后物体形态产生了畸变;(3)对重叠区域的分割及大小方面的计算没有涉及。采用

条件颗粒分割方法处理后,则可以在保持物体形态的基础上,对重叠部分进行分割,并可计算它的大小.该方法用于细胞图像及岩石颗粒图像分割后,其处理结果表明,条件颗粒分割算法比前面几种算法更准确,有一定实用意义.

2 数学形态学的基本运算

数学形态学的运算主要定义在腐蚀和膨胀两种基本的形态操作上.腐蚀表示采用某种“探针”(即某种形状的基元或结构元素)来对一个图像进行探测,以便找出在图像内部可以放下该基元的区域.膨胀是腐蚀的对偶运算,表示结构元素是否击中某图像结构.腐蚀和膨胀用公式可表示为:

$$\text{腐蚀 } X \ominus b = \{x; bx \subset X\} \quad (1)$$

$$\text{膨胀 } X \oplus b = \{x; bx \cap X \neq \emptyset\} \quad (2)$$

式中, X 是待运算的集合, b 代表结构元素, bx 表示结构元素 b 平移 x , 腐蚀或膨胀也可解释为满足条件的点 x (平移量) 的集合; X^c 表示 X 的补集.

开运算是先做腐蚀再做膨胀的叠代运算,即

$$X \circ b = (X \ominus b) \oplus b \quad (3)$$

3 接触物体图像分割的保形分析

3.1 颗粒形状的逻辑几何分析

图像中物体的形状可以分为圆形、近圆形和不规则物体,而且图像上的图形可以由它们组合而成.

虽然两个圆形或近圆形物体接触处的形状也是近圆形,但由于不规则物体的形状及其接触情况比较复杂,因此在这里不做详细讨论.在利用圆形结构元素对图像做开运算的过程中,由于圆形结构元素是低通滤波器,所以当图像中存在不规则部分时,会被滤除,致使产生一定误差,这在后面给予论述.圆形和近圆形物体的粒径是指一组圆形结构元素探测器中,能够击中物体的最大一个探测器的直径.

3.2 颗粒接触关系的拓扑几何分类

设图像中两个物体用集合 A 和 B 表示, D_A, D_B 表示 A, B 的粒径,那么 A 和 B 的接触关系根据粒径可以分为如下 3 种关系:

(1) 未接触 $A \cap B = \emptyset$

(2) 同粒度颗粒的接触 $A \cap B \neq \emptyset; D_A = D_B$

(3) 不同粒度颗粒的接触 $A \cap B \neq \emptyset; D_A \neq D_B$

这样,重叠物体的分割就转化为不同粒度物体接触的分割和相同粒度物体接触的分割两个部分.

根据两个物体接触部位的面积接触关系又可分为强接触、中等接触和弱接触 3 类(如图 1(a)所示).它们的形态学定义如下:

(1) 弱接触 设 A 与 B 为接触关系,当以最小的结构元素 b_{\min} 腐蚀 A 与 B 图像后的图形为未接触关系时, A 与 B 为弱接触关系.

(2) 中等接触 设 A 与 B 为接触关系,当以 b_{\min} 腐蚀 A 与 B 图像后的图形为接触关系,而以最大的结构元素 b_{\max} 腐蚀 A 与 B 图像后图形为未接触关系时, A 与 B 为中等接触关系.

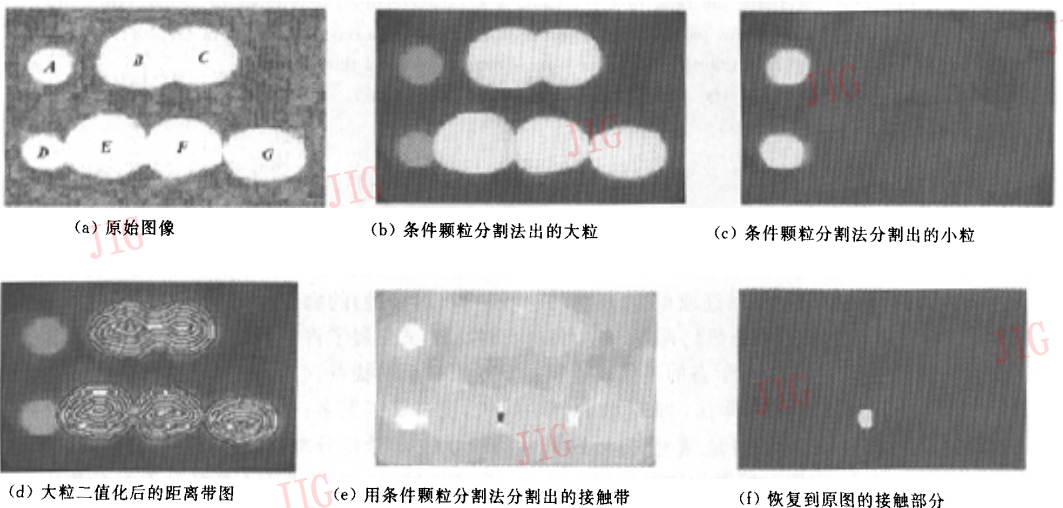


图 1 物体的接触关系及分割

(3)强接触 设 A 与 B 为接触关系,当以 b_{\max} 腐蚀 A 与 B 图像后的图形为接触关系时, A 与 B 为强接触关系。

b_{\max} 与 b_{\min} 为判断强弱接触的结构元素。

图 1(a)中, A 与 B 为未接触, B 与 C 为同粒度接触; D 与 E 为不同粒度的接触; F 与 G 为弱接触; E 与 F 为中等接触; B 与 C 为强接触。

3.3 保形分割

物体 A 与 B 接触时,保形的分割是指分割后,物体 A 与 B 能还原为原来的形状。当 A 与 B 为圆形或近圆形的物体时,保形分割后各个物体在接触处仍能保持圆形或近圆形的形态。

4 条件颗粒分割

4.1 颗粒分析理论

如果 n 是自然数,则图像类 $\{X \circ b_n\}$ 称为颗粒分析。其中 $X \circ b_{n+1}$ 为 $X \circ b_n$ 的一个子集,其元 b 称为颗粒分析发生器,令 Ω_n 为 $X \circ b_n$ 的面(体)积, Ω_0 为图像 X 自身的面(体)积,显然 Ω_n 是 n 的递减函数。由于处理的图像为一个有限集,所以对于足够大的 n , $\Omega_n = 0$,称 Ω_n 为粒度分布。正规化的粒度分布定义为:

$$\Phi_n = 1 - \frac{\Omega_n}{\Omega_0} \quad (4)$$

马瑟荣将 Φ_n 和 $d\Phi_n$ 统称为颗粒分析粒度分布,也可将 Φ_n 和 $d\Phi_n$ 称为图像相对颗粒分析(或相对颗粒分析发生器)的模式谱^[6]。

用颗粒分析可以将图像按粒度大小进行分割,其过程是先从大到小选取结构元素,并按顺序对图像做开运算,然后再将图像序列逆向依次相减,即可得到粒度从小到大的分割图。其具体过程见文献[6]的第六章。

用颗粒分析法可以对图像按粒度进行快速分割,而对于接触物体分割,则存在如下两个问题:(1)对于不同粒度的接触物体进行分割时,最大粒度接触部位可得到正确的分割,但是其余粒度接触部位则会被大一级粒度图像“剥夺”,从而产生不正确的物体形态;(2)同粒度的接触物体没有被分割开来。

4.2 条件颗粒分割(不同粒度的分割)

条件颗粒分割也是采用大小不同的颗粒分析发生器来对图像进行处理,即首先采用最大一级的结构元素对图像做开运算;然后将分割出的图像部分

标记为 H , H 也是分割出粒度最大的颗粒部分;最后再用次一级粒度的结构元素对图像做开运算,但这是有条件的开运算,即只对原图像进行腐蚀,而对上一级标记的区域不做膨胀运算(类似条件膨胀),这时得到的图像类为 $\{(X \ominus b_n) \cap H^c \oplus b_n\}$ 。依次进行下去,这样对原图像进行条件颗粒分割后得到的系列图像就是粒度从大到小的分割图,而且对于不同粒度物体的接触部位是保形的分割。如图 1 所示,图 1(b)是分割出的大粒度部分,也就是下一次开运算时的标记。图 1(c)是先对图 1(a)进行腐蚀,再对非标记区进行膨胀得到的结果。

4.3 同粒度接触颗粒的分割

对不同粒度物体进行分割后,还要进行同粒度接触物体的分割。同粒度颗粒的极限腐蚀图像如图 1(d)所示,从图中可以看出,对强接触的颗粒,接触部位极限腐蚀产生的距离带比较多,只比颗粒内部少一点,而对于弱接触的颗粒,接触部位产生的距离带很少。由于距离带在接触部位围成的图形为条形,而在颗粒内部为近圆形,所以对于同粒度接触的分割应首先以 b_{\min} 对图像进行腐蚀,然后对腐蚀后的图像做一次条件颗粒分割。此时首先以 b_{\max} 对图像做开运算得到标记;然后以一个比较小的结构元素 b_a 对图像做条件开运算,即可得到接触部分腐蚀后的图像(如图 1(e)所示);最后再进行膨胀就得到分割出的接触部分(如图 1(f)所示)。

该分割存在以下两点问题:一是对于强接触部位未能分割出,其原因是强接触部位距离带比较宽,颗粒分析过程中不能将其按“小粒度”计算;二是易将弱接触部位漏掉,其原因是第 1 次腐蚀时,已将接触物体分割开来。一般对于弱接触的物体,对其分割意义不是很大,因为原两个物体形态已基本清楚,接触部位面积也不大,所以应选择适当的结构元素 b_{\min} ,当以 b_{\min} 对图像腐蚀时,如果原来相接触的颗粒不再接触,则可以认为这两个颗粒为弱接触,可忽略不计;对于强接触的物体,在对腐蚀后的图像以比较大的结构元素 b_{\max} 做条件颗粒分析过程中,当腐蚀后两物体仍为接触关系,则计算时仍按同一颗粒处理。

4.4 接触部分面积的计算

对于同粒度接触部位的面积就是同粒度物体分割出目标部分的大小。不同粒度接触部位的面积是不同粒度图像类的交集,用公式表示为:

$$S(m,n) = \begin{cases} (((X \ominus b_{\min}) \ominus b_d) \cap (((X \ominus b_{\min}) \ominus b_{\max}) \oplus b_{\max})^c) \oplus b_d) \oplus b_{\min} & m = n \\ (((X \ominus b_m) \cap H_{m-1}^c) \oplus b_m) \cap (((X \ominus b_n) \cap H_{n-1}^c) \oplus b_n) & m \neq n \end{cases} \quad (5)$$

$S(m,n)$ 是粒度 m 与粒度 n 的接触面积, H_{n-1} 表示第 n 级的上一级标记区的补集。

5 实验分析

图 2(a)和图 3(a)分别为一幅细胞照片和一幅淮南二叠系碎屑岩照片,在图中许多细胞产生重叠,

而岩石中碎屑颗粒也粘连在一起。图 2(b)和图 3(b)是采用颗粒分割方法处理的结果,图 2(c)和图 3(c)是采用流域分割法分割的结果,图 2(d)和图 3(d)是采用本文提出的条件颗粒分割法分割的结果。上述图像为分割后图像的叠加,其中高亮度线显示的是分割线,图 3(b)、3(c)、3(d)图像为负像。

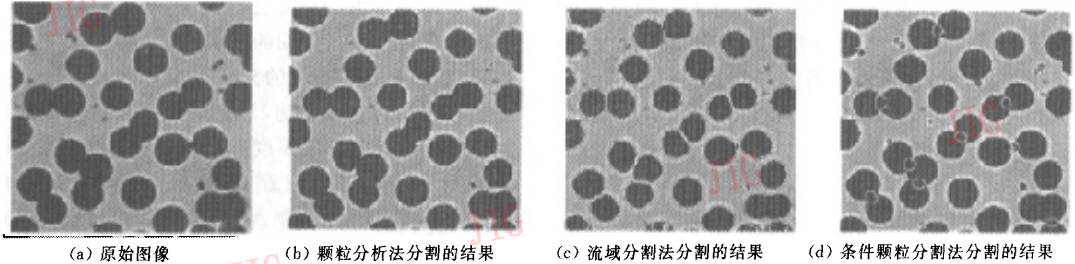


图 2 细胞图像的分割

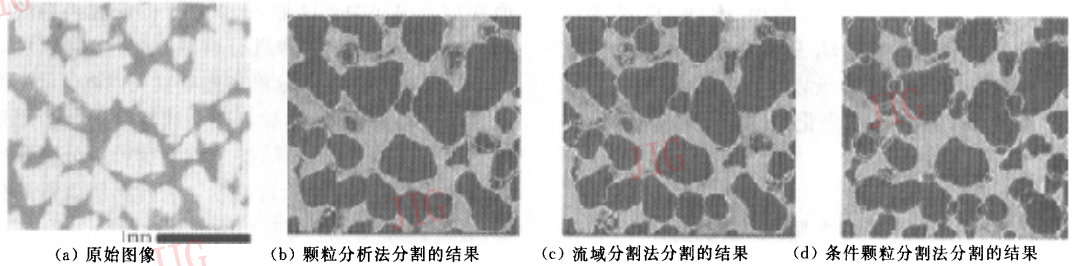


图 3 碎屑岩图像的分割

从图 2、图 3 中可以看出,颗粒分析分割时,大粒度分割比较完全,而小粒度颗粒则被大粒度颗粒切割出部分图像(接触处大颗粒为凸形,小颗粒为凹形),同等粒度之间则未产生分割;流域分割算法相当于在接触带中间切割开,但结果中也有过分割现象;条件颗粒分割对接触部位“同等对待”,它在分割不同粒度之间的接触颗粒时,不仅分割出的大粒度恢复了原来的形状,而且小粒度也能得到比较理想分割,即能体现原来的形态。条件颗粒分割虽能分割出同等粒度之间接触部分,但是对于颗粒的棱角等不规则部分,分割时则易将其划分为小粒度部分。

6 在碎屑岩图像处理中的应用

6.1 碎屑岩粒度

碎屑岩是由碎屑物质和胶结物质组成的沉积岩

岩石。碎屑岩图像可反映出碎屑岩的粒度、胶结类型等。碎屑岩的粒度是指碎屑颗粒的大小,它反映了沉积物沉积时的水动力等情况^[7]。碎屑岩的粒度可用累积百分含量图表示,其横坐标是 φ 值, $\varphi = -\log_2 D$, D 是粒径(单位: mm),纵坐标为累积百分含量或频率,如图 3(a)所示,图中白色为碎屑岩颗粒,黑色为胶结物。图 4 是累积百分含量图,图中 4 条曲线分别是根据图像手工拾取计算的累积百分含量曲线、根据颗粒分析计算出的累积百分含量曲线、根据流域分割算法得出的累积百分含量曲线以及根据条件颗粒分割计算出的累积百分含量曲线。从图中可以看出,在大粒度部分 3 条曲线的误差比较小,在小粒度部分 3 条曲线与手工拾取累积百分含量误差比较大。

6.2 碎屑岩胶结类型

碎屑岩胶结类型是指胶结物的分布状况及其与

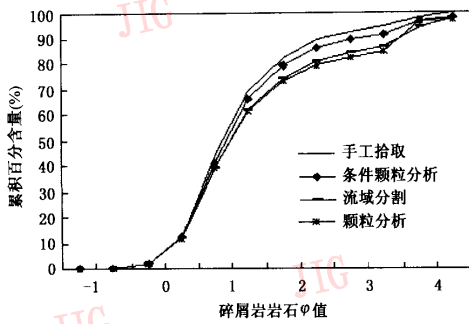
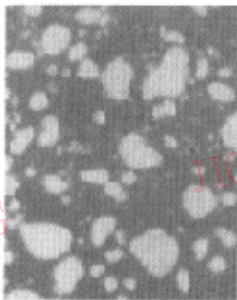


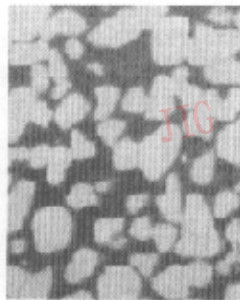
图 4 累积百分含量图

碎屑颗粒的接触关系,它可以分为基底胶结、孔隙胶结、接触胶结和镶嵌胶结,其反映了沉积物在埋藏成岩过程中经受压固、压溶等成岩作用的强度和进程^[7]。决定胶结类型的因素有两点:一是碎屑颗粒或填隙物的相对数量;二是颗粒之间的接触关系。根据碎屑岩碎屑颗粒的相对数量和接触接触关系,将图像中岩石的胶结度 m 和接触系数 c 定义为

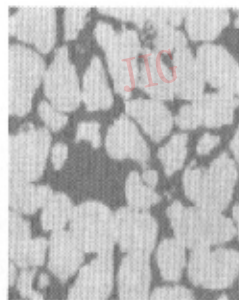
$$m = \frac{S}{A} \quad (6)$$



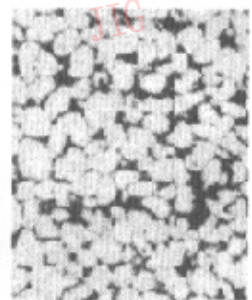
(a) 基底胶结
 $c=0.02, m=0.26$



(b) 孔隙胶结
 $c=0.07, m=0.55$



(c) 接触交接
 $c=0.13, m=0.69$



(d) 镶嵌胶结
 $c=0.22, m=0.80$

图 5 碎屑岩的胶结类型

7 结 论

对于圆形或近圆形接触物体的分割,本文采用了条件颗粒分割的方法。该分割方法一方面能够通过分割恢复物体原来的形态,另一方面能够计算出接触部分的大小,用它来标定物体的接触属性,可反映图像中物体的结构特征。但是条件颗粒分割对于同等粒度颗粒间接触分割不是很理想,而且对于图

$$c = \frac{\sum_{i=1}^N S_i - S}{S} \quad (7)$$

其中, S_i 为第 i 个岩石颗粒的面积, S 为图像上岩石的总面积, A 为图像的面积, N 为图像中岩石颗粒的个数。计算 $\sum S_i$ 时,首先对图像进行条件颗粒分割,由于 $\sum S_i$ 为同粒度接触部分的面积和不同粒度接触部分面积之和,所以

$$c = \frac{\sum S(i, j)}{S} \quad i = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, i \quad (8)$$

其中, k 为粒度划分的级数。

图 5(a)为一幅基底胶结的岩石图像,图 5(b)为一幅孔隙胶结的岩石图像,图 5(c)为一幅接触胶结的岩石图像,图 5(d)为一幅镶嵌胶结的岩石图像。图下为胶结度 m 和利用条件颗粒分割求出的接触系数 c 。从图像和处理结果可以看出,由于不同的胶结类型呈现不同的胶结度和接触系数,所以对于岩石图像,采用图像图形学方法计算出的胶结度和接触系数可以作为体现岩石结构的量化参数,用来判断碎屑岩的沉积环境。

像中存在不规则物体的保形分割,还需要做进一步研究处理。

参 考 文 献

- 1 Moga Alina N, Cramariuc Bogdan, Gabbouj Moncef. Parallel watershed transformation algorithms for image segmentation[J]. Parallel Computing, 1998, 24(14):1981~2001.
- 2 马东,曹培杰,潘凯丽.分割重叠细胞核的方法及比较研究[J].北京生物医学工程,1999,18(3):142~147.
- 3 Bleau Andre, Leon L Joshua. Watershed-based segmentation

and region merging [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2000, 77(3): 317~370.

- 4 Van den Berg E H, Meesters A G C A, Kenter J A M, et al. Automated separation of touching grains in digital images of thin sections[J]. Computers & Geoscience, 2002, 18(2): 179~190.
- 5 马力红, 张宇, 邓建平. 基于形态开滤波二值标记和纹理特征合并的分水岭算法[J]. 中国图象图形学报, 2003, 8A(1): 77~79.
- 6 崔屹编著. 图像处理与分析-数学形态学方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- 7 冯增昭主编. 沉积岩石学(第二版)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993.



康晓泉 1979年生, 2001年毕业于石油大学(华东)地球探测与信息技术专业, 现为石油大学(华东)地球资源与信息学院研究生。主要研究方向为成象测井资料处理与模式识别。



首祥云 1954年生, 1977年毕业于华东石油学院测井专业, 高级工程师, 硕士生导师。主要从事测井资料处理、数据采集和软件开发工作。



陈世悦 1963年生, 1984年毕业于西安矿业学院煤田地质与勘探专业, 1987年获西安矿业学院煤田地质与勘探专业硕士学位, 1995年获中国矿业大学煤田、油气地质与勘探专业博士学位, 1995~1997年在西北大学地质学博士后流动站从事研究工作。现为石油大学(华东)地球资源与信息学院教授, 矿物学、岩石学、矿床学博士学位学科博士生导师。



邵才瑞 1966年生, 1988年毕业于石油大学(华东), 副教授, 地球物理软件工程实验室主要建设者。主要研究方向为测井信息处理、数字图像处理。从事石油地球物理信息处理及软件开发等教学科研工作。



姜艳玲 1976年生, 2003年获石油大学(华东)硕士学位, 现在四川测井公司工作。主要从事测井解释和研究工作。