

图像阈值计算方法及岩石薄片矿物信息提取^①

吴继敏

(河海大学土木工程学院 南京 210098)

⑥
24-27

P5-83
TP391.44

摘要 从灰度图像阈值化(二值图像)的定义入手,介绍灰度图像阈值化的基本理论,在此基础上总结目前应用较广的几种灰度图像阈值化计算方法。应用花岗岩薄片的灰度图像,以黑云母粒子的提取为实例,用自编TURBO Pascal计算程序对几种不同的数值方法进行计算,对黑云母提取的阈值进行比较,认为用互级方差最大值法提取黑云母粒子较为有效。

关键词 岩石 灰度图像 阈值 像素 柱状图 计算方法 信息提取

图像分析 岩石结构

岩石的物理力学性质通常在很大程度上受到其结构特征的影响,而图像分析是定量研究岩石结构极为有效的方法,在图像分析中,地质信息的提取为一关键技术^[1],即图像的阈值(thresholding)化处理。

图像阈值化是一种将连续色调图像变化成黑白图的方法,其基本思想是使像素(pixel-picture element)值小于(或大于)指定的阈值的像素转换成黑像素,像素值等于或大于(或小于)指定阈值的像素值转换成白像素^[2],或者叫做灰度图像的二值化处理。

从目标角度看,图像阈值化是指图像的操作者对图像中某一感兴趣的部分进行处理和分析,亦即选择一定的界限值来提取这一部分,作为目标分析。据形态数学的概念,考虑一维灰度图像 $f(x)$,可以定义^[3]:

低限阈值化

$$X_t = \{x \in R^2 : f(x) \geq t\} \quad (1)$$

高限阈值化

$$X' = \{x \in R^2 : f(x) \leq t\} \quad (2)$$

上下限阈值化

$$X_{t_1}^{t_2} = \{x \in R^2 : t_2 \geq f(x) \geq t_1\} \quad (3)$$

式中, t, t_1, t_2 为阈值。

据此,可将阈值的确定方法分为目测法及计算法。

1 阈值化基本理论

灰度图像的阈值化是建立在灰度图像柱状图的基础上的。灰度图像柱状图是一种图像中灰度频数统计的分布图形(直方图),其横坐标代表灰度级(从 0 到 $2^n - 1$,在一般精度要求下, $n=7, 8, 9$, 以下假定 $n=8$, 则灰度级从 0 到 255, 0 代表黑色, 255 代表白色)。纵坐标为每一灰度级的像素数或频数。

设一幅灰度图像具有 N 个像素,如图像的像素为 $2^9 \times 2^9$, 即 $N=262144$; $h(i)$ 为具有灰度 i 的像素数,则该图像具有灰度为 i 的概率:

$$P_i = \frac{h(i)}{N} \quad (4)$$

假定图像的灰度由某一值 t 分为二级, C_1 和 C_2 , C_1 (或 C_2) 代表灰度从 0 到 t 的所

①国家教委留学回国人员科研启动基金资助项目。

作者简介:吴继敏,男,副教授,从事图像处理的地学应用研究,曾发表《法国 GUERET 花岗岩内黑云母的结构特征研究》等论文。

有像素(或 $t+1$ 到 255), 可以定义 C_1 和 C_2 的概率为

$$P(C_1) = \sum_{i=0}^t P_i \quad (5)$$

$$P(C_2) = \sum_{i=t+1}^{255} P_i = 1 - P(C_1) \quad (6)$$

C_1 和 C_2 的平均灰度为

$$M_1 = \sum_{i=0}^t iP_i / P(C_1) \quad (7)$$

$$M_2 = \sum_{i=t+1}^{255} iP_i / P(C_2) \quad (8)$$

图像的总平均灰度:

$$M = \sum_{i=0}^{255} iP_i \quad (9)$$

2 阈值计算方法

正确地选择阈值, 保证在阈值处理过程中不致于损失太多的信息, 对图像特征信息的提取极为重要^[2]。最简单的方法是目测法, 即根据原始灰度图像内的目标特征, 选择阈值上限或下限或上下限来提取目标粒子, 特别注意目标粒子的周边特征。该方法简单, 精度有一定的保证。然而, 如果图像幅数多, 信息量大, 该方法就显得望尘莫及了。由此, 带来了一些计算方法的发展。实践表明, 据原始图像的特征, 应用不同的计算方法, 比较其计算结果, 可以最终选择优化方法来确定阈值, 具有精度高、速度快的优点。

2.1 矩守恒法

矩守恒 (conservation of moments) 法由 Tsai^[4]提出, 主要依据是图像阈值化前后的前三阶矩相等的原则。

设 z_1 和 z_2 为阈值化图像的两个灰度值, 则阈值化后图像的矩为

$$m_j = P(C_1)z_1^j + P(C_2)z_2^j \quad (j = 1, 2, 3) \quad (10)$$

阈值化前图像的矩为

$$m_j = \sum_{i=0}^{255} P_i(z_i)^j \quad (j = 1, 2, 3) \quad (11)$$

根据矩值可计算转换系数 F_1 和 F_2 :

$$F_1 = \frac{m_2^2 - m_1 m_3}{m_2 - m_1^2} \quad (12)$$

$$F_2 = \frac{-m_3 + m_1 m_2}{m_2 - m_1^2} \quad (13)$$

灰度 z_1 和 z_2 可用下式计算:

$$z_1 = \frac{1}{2}[-F_2 - \sqrt{F_2^2 - 4F_1}] \quad (14)$$

$$z_2 = \frac{1}{2}[-F_2 + \sqrt{F_2^2 - 4F_1}] \quad (15)$$

相应的概率计算公式为

$$P_1 = \frac{z_2 - m_1}{z_2 - z_1} \quad (16)$$

$$P_2 = \frac{m_2 - z_1}{z_2 - z_1} \quad (17)$$

由灰度图像的柱状图及概率 P_1 和 P_2 确定 t 值。

2.2 互级方差最大值法

互级方差最大值 (maximum of interclass variance) 法的主要依据是阶乘判别式分析。其原理是最大互级方差等于最小内级方差, 最初由 Fukunaga^[5]于 1972 年提出。

互级方差的计算公式为

$$V(t) = \sum_{i=1}^2 P(C_i)(M_i - M)^2 \quad (18)$$

$$\text{或} \quad V(t) = \frac{N_1 N_2}{N} (M - M_2)^2 \quad (19)$$

式中 N_1 和 N_2 分别为 C_1 和 C_2 内的像素数。

灰度值 i 在灰度区间上变化, 计算不同的 $V(t)$ 值, 由 $V(t)$ 的最大值对应的 i 即为 t 值。

2.3 最小距离法

最小距离 (minimum of the distance) 法中的距离是指灰度的函数 $f(x)$ 与其阈值梯级函数 $E_i(x)$ 之间的距离^[5]:

$$E_i(x) = M_1 \quad (0 \leq i \leq t) \quad (20)$$

$$E_i(x) = M_2 \quad (t+1 \leq i \leq 255) \quad (21)$$

因此, 具有灰度为 i 的距离为

$$D(t) = \sum_{i=0}^t h(i) |i - M_1| + \sum_{i=t+1}^{255} h(i) |i - M_2| \quad (22)$$

由 $D(t)$ 的分布图选择其最小值对应的灰度即为阈值 t 。

2.4 最大熵值法

最大熵值 (maximum of entropy) 法由 Kapul^[6] 首先提出。该法根据熵值的定义及信息的定义,应用 C_1 和 C_2 的熵值之和的最大值提取图像中的信息。

对应于某灰度值 i , C_1 和 C_2 的熵值为

$$H(C_1) = - \sum_{i=0}^i P(\frac{i}{C_1}) \ln[P(\frac{i}{C_1})] \quad (23)$$

$$H(C_2) = - \sum_{i=i+1}^{255} P(\frac{i}{C_2}) \ln[P(\frac{i}{C_2})] \quad (24)$$

C_1 和 C_2 的熵值之和为

$$H(t) = H(C_1) + H(C_2) \quad (25)$$

由 $H(t)$ 的最大值来确定对应的阈值 t 。

2.5 高帽法

高帽 (top-hat) 法的应用较广,许多研究者曾多次应用该方法来提取图像中的粒子^[3]。Serra^[7] 在其专著中也有大量的论述。

高帽法的基本原理通过计算原始图像和其开操作 (opening) (具有一定的结构元素 λB) 之逻辑差,来提取原始图像剖面上具有一定宽度和一定高度的特征灰度值或具有足够高度的顶(类似于高帽),其操作为

$$X = \{x: f(x) - O^{\lambda B} f(x) \geq t\} \quad (26)$$

式中 O 为开操作。

这一方法对灰度变幅较大的图像效果较好,同时还可以改变 λ 和 B 的值。类似于开操作之性质,该方法具有粒度分析的特征。

3 计算实例

为应用图像阈值化的计算方法,随机选择两幅花岗岩薄片的灰度图像 A_1 和 A_9 (自然光下照相成像)。该岩石薄片的厚度为 30 μm ,花岗岩为法国中部燕山期的 Guéret 花岗岩。目标矿物为黑云母粒子,其它矿物为底灰色(图 1)。图像的覆盖面积为 32.17 mm $\times$ 21.45 mm,图像为 512 $\times$ 512 的像素,图像的灰度级从 0 到 255。

图 1 给出两幅灰度图像的柱状图(A_1 和

A_9 ,横坐标为灰度级,纵坐标为灰度值的频数。

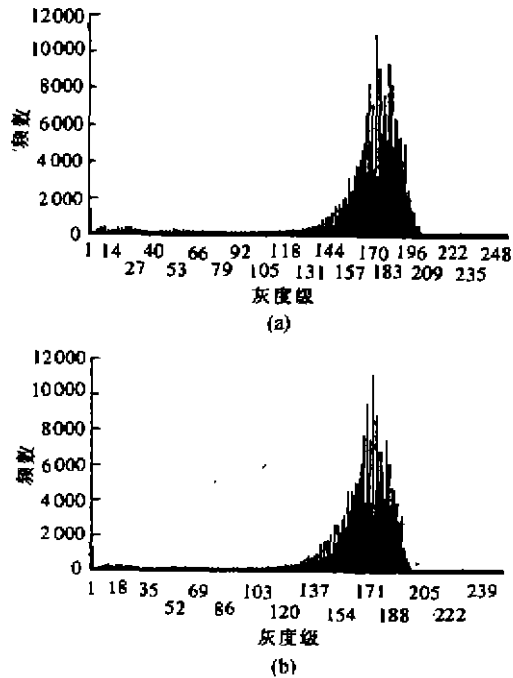


图 1 图像 A_1 和 A_9 的柱状图

(a) 图像 A_1 柱状图 (b) 图像 A_9 柱状图

应用自编的 TURBO Pascal 计算程序计算各个灰度值下的参数 $V(t)$, $H(t)$, $D(t)$ 及矩守恒方法的概率 P_1 和 P_2 。参数 $V(t)$, $H(t)$ 及 $D(t)$ 的分布见图 2。图 2 上排为 A_1 的参数分布,下排为 A_9 的参数分布;横坐标为灰度值,纵坐标为参数值。

表 1 给出两幅图像阈值参数的区间、特征值(最大值和最小值)及其可应用的阈值,用来提取黑云母粒子。依据各种计算法的结果和目测法的结果比较,互级方差最大值法所提取的黑云母粒子和目测法的结果十分接近,因此,该方法被认为是本文所述方法中提取黑云母粒子的最优计算方法。

图 3 是一个高帽法提取黑云母粒子的应用实例,①表示原始图像 A_1 ;黑色为黑云母粒子,灰色为其它矿物;②为图像①的开操作及其转换, λ 为一个像素的平均值 0.005 17mm,结构元素 B 为 25;③为图像①和②之逻辑差(式(26));④为①的二值图像(黑云母粒子的提取),其中 $t = 98$ 。

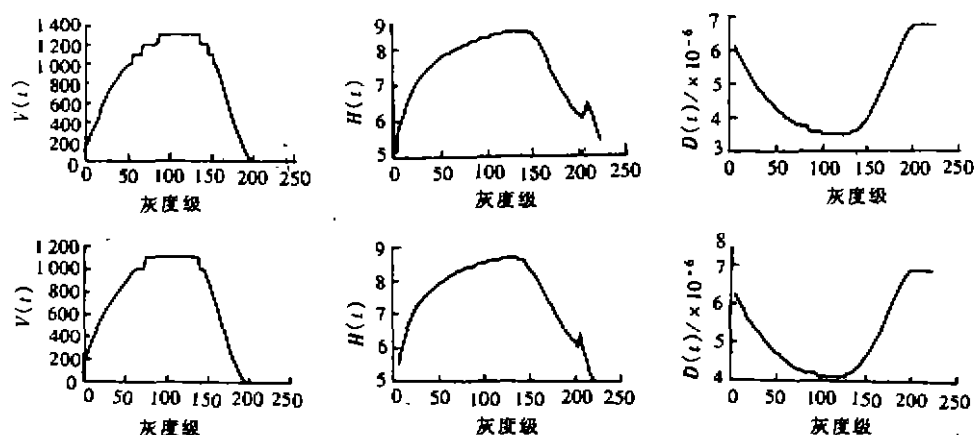


图2 阈值计算的参数分布

表1 阈值参数区间、特征值及其对应的阈值

图 像	阈值 参数	参数区间	特征值	阈值 t
A_1	$V(t)$	$[203.55, 0.14]$	$\max: 1295.17$	109
	$H(t)$	$[5.11, 5.35]$	$\max: 8.70$	130
	$D(t)$	$[6.20 \times 10^6, 6.69 \times 10^6]$	$\min: 3.49 \times 10^6$	115
	矩守恒	$P_1 = 0.1120$	$P_2 = 0.880$	126
A_2	$V(t)$	$[224.21, 0.06]$	$\max: 1144.14$	108
	$H(t)$	$[5.18, 4.81]$	$\max: 8.69$	128
	$D(t)$	$[5.81 \times 10^6, 6.39 \times 10^6]$	$\min: 3.60 \times 10^6$	114
	矩守恒	$P_1 = 0.1104$	$P_2 = 0.1896$	126

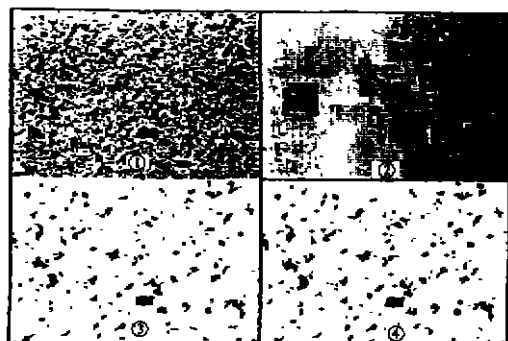


图3 高帽方法计算示意图

4 结 论

对于灰度图像阈值化处理,应针对不同的图像特征来选择不同的计算方法。在本文实例中,应用互级方差最大值法来提取地质微观信息(黑云母粒子)是有效的。类似的计算方法还有群集技术(clustering),周边信息提取(extract of contour)等等,有待于发展,在地质应用领域,通过比较,选择最优的方法来

提取地质信息。

参考文献

- 1 Grolier J, et al. Les propriétés physiques des roches, théories et modèles. Paris: Masson, 1990
- 2 周孝亮等. 实用微机图像处理. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1994. 195 ~ 204
- 3 Coster M, Chermant J. Précis d'analyse d'image. Paris: Edition du CNRS, 1989
- 4 Tsai X Wen-Hsiang. Moment preserving thresholding: a new approach. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 29, 1985. 377 ~ 393
- 5 Pinoli J C. Contribution à la modélisation, au traitement et à l'analyse d'image. Saint-Etienne: Thèse de l'université de Saint-Etienne, 1987
- 6 Kapur R. A segmentation system based in thresholding. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1981, 15: 319 ~ 338
- 7 Serra J. Image analysis and mathematical morphology. London: Academic Press, 1982

(收稿日期: 1996-09-20 编辑: 许宇鹏)

