遥感图像岩石信息提取的最优密度分割方法

吴德文 张远飞 朱谷昌

(有色金属地质遥感中心 河北 065201)

摘要:笔者将数学地质中有序地质量的最优分割法引入到遥感图像的岩石信息提取中 加以变化改进 形成遥感图像 最优密度分割方法 ,并通过计算机编程得以实现。本文主要介绍该方法的基本原理、实现方法及应用效果。

关键词:遥感图像;岩石信息;最优密度分割

中图分类号: TP 75 文献标识码: A 文章编号: 1001 - 070X(2002)04 - 0051 - 04

0 引言

密度分割是遥感信息提取的主要方法之一,它对 经过增强处理图像上不同地物的分类效果显著。该 方法类似于多级阈值法 即根据图像的灰度值及其概 率分布(直方图)特征选择几个分割点,将灰度值分成 几个级别 分别代表不同的地物覆盖类型。其关键问 题是分割点的确定 因为如果图像直方图没有出现明 显的双峰或多峰式分布时,选择分割点则很困难。通 过研究 我们将数学地质中有序地质量的最优分割法 引入到遥感图像的彩色密度分割中,并加以变化改 进 通过编程形成由计算机自动实现的最优密度分割 方法 该方法是将图像的灰度级 最小值到最大值 /作 为有序量 以其频数为指标 利用费歇尔准则进行分 割 即使各分割段的段内离差(为该段内所有像元的 离差和 通过图像直方图统计计算)总和最小 段间离 差总和最大,同时定量确定各级分割点,进而划分出 不同的地物类型。对于不同的分割段数 都存在一个 最优分割法 通过对段内离差平方总和分割段数变化 的曲线分析 确定合理分割。

1 遥感图像最优分割的基本原理和方法

1.1 遥感图像最优分割的数学模型

对于一幅单通道图像,假设其灰度最小值为 Min (≥0) 灰度最大值为 Max(≤255) 则所有像元灰度值 分布在{Min,Max)的灰度级范围内,并且可以统计出 每一灰度级的像元数 ,以 P_i 表示。

现在,试图将 *Max – Min* +1 个灰度级按顺序分 割成若干段,使得各段内部所有像元的差异尽可能 小,而各段间像元的差异尽可能大。段内离差平方和 可以作为衡量段内像元差异性的指标。一般而言,段 内离差平方和越小,表示段内像元的差异性越小,反 之则相反。为此,需要计算出所有可能分割段的段内 离差平方和。

如果用{i , ..., j} $Min \leq i \leq j \leq Max$)表示由第i个灰度级开始到第j个灰度级为止的分割段,则该段 内离差平方和(称为段的直径)为

$$D(i \ j) = \sum_{n=i}^{J} [n - M(i \ j)]^{2} \times P_{n}$$
 (1)

式中 $M(i j) = \sum_{n=i}^{j} (n \times P_n) \sum_{n=i}^{j} P_n$ 为段内像元平均

灰度值 $\sum_{n=1}^{n} p_n$ 为段内像元总数 n 为灰度值。

利用公式 1)可计算出各灰度级间的段内离差平 方和矩阵 D

$$D = \begin{bmatrix} D(Min ,Min) & D(Min ,Min + 1) & \dots & D(Min ,Max) \\ D(Min + 1 ,Min + 1) & \dots & D(Min + 1 ,Max) \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & D(Max ,Max) \end{bmatrix}$$
(22)

显然 矩阵 *D* 是对称的 <u>月</u> *D*(*i*,*i*)=0 所以只需计算 上三角矩阵。

设有一分割法,将 Max – Min + 1 个灰度级分割 成 k 段 如 :{ Min ,..., i₂ } { i₂ + 1 ,..., i₃ }... { i_k + 1 , ..., Max },对于每一段,分别确定其段的直径为 D (Min , i₂),D(i₂ + 1 , i₃),...,D(i_k + 1 , Max),对于 这种分割,可以求出各段的直径总和 S

$$S = D(Min, i_2) + D(i_2 + 1, i_3) + \dots + D(i_k + 1, Max)$$
(3)

最优密度分割就是要在所有可能的 *k* 段分割中 找到使 *S* 最小的那个分割法 称之为最优 *k* 段分割。 1.2 最优二段分割

要将 Max - Min + 1 个灰度级分为两段,共有 Max - Min 种分法,究竟哪一种最优,只需计算各种分 法的直径总和,找到最小的直径总和值即是所求的最 优二段分割。即,对任意一个 i(Min Max)都可 确定一个二段分割法{Min , ..., i }{i + 1 , ..., Max}, 相应两段的直径总和为

S_i⁽²⁾(Max) = D(Min,i) + D(i + 1,Max)(4)
 式中 Max 表示被分割图像的最大灰度级;(2)表示预分割的段数;i表示以灰度级i为分割点的分割。

我们已经知道 , $S_i^{(2)}$ (*Max*)是段{ *Min* ,...,*i*)与段 { i + 1 ,...,*Max*)的组内离差平方和 S_{P} ,若以 S_{\pm} 与 S_{ii} 分别表示对应的总离差平方和与组间离差平方和 , 则根据方差分析原理有

$$S_{\&} = S_{\|} + S_{|} \tag{5}$$

由于 $S_{\pm} = D(Min, Max)$ 对于待分割的图像是固定的, 所以当组内离差平方和最小时,必使组间离差平方和 为最大,故只要找到适当的 $i(Min \leq i @ Max)$,使得 $S_i^{(2)}(Max)$ 达到最小 就是所求的最优分割。假设当 i $= i_2$ 时, $S_i^{(2)}(Max)$ 达到最小值 即

$$S_{i_2}^{(2)}(Max) = \min[S_i^{(2)}(Max)]$$
 (6)

则{ *Min* ,...,*i*₂ }为最优分割的第一段 ,{ *i*₂ + 1 ,... , *Max* }为最优分割的第二段 相应的段内离差平方和为

$$S_{r,2}^{(2)} = S_{i_2}^{(2)}(Max)$$
 (7)

1.3 最优三段分割

对任意一个 *j* { *Min* + 1) ≤ *j* ≤ *Max* } 前 *j* − *Min* + 1 个灰度级的最优二段分割记为

 $S_i^{(2)}(j) = D(Min_i) + D(i+1_j)$ (8) 对 *i* 求出最小值为

$$S_{i_{2(j)}}(2(j)) = \min[S_i^{(2)}(j)]$$
 (9)

其中 , $Min \leq i \leq (j-1)$ 。于是 ,前 j - Min + 1 个灰度 级的最优二段分割为 { $Min , ..., i_{4}(j)$ },{ $i_{4}(j) + 1$, ... j } 在该分割中 $S_{i_{2(j)}}^{(2)}(j)$ 表示相应两段的组内离 差平方和。

将前 *j* – *Min* + 1 个灰度级的最优二段分割(上 式)与{ *j* + 1 ,... ,*Max* }构成一个三段分割 ,找出一个 适当的 *j* 使存^{数据} $S_{j}^{(3)}(Max) = S_{i_{\chi_{j}}}^{(2)}(j) + D(j+1,Max)(10)$ 尽可能地小,对于所有的 j { Min + 1) $\leq j \leq (Max - 1)$ }求出 $S_{i}^{(3)}(Max)$ 的最小值,设当 j = i₃ 时 $S_{i}^{(3)}$

(Max)达到最小,即

$$S_{i_2}^{(3)}(Max) = \min[S_i^{(3)}(Max)]$$
 (11)

其中 (*Min* + 1) ≤ *j* ≤ (*Max* - 1)。这样就确定了一个 最优三段分割 {*Min* ,...,*i* (*i*₃) } {*i* (*i*₃) + 1,...,*i*₃ }, {*i*₃ + 1,...,*Max* },其相应的组内离差平方和为

$$S_{P}^{(3)} = S_{i}^{(3)}(Max)$$
 (12)

依次类推 重复上述步骤 就可以得出最优 k 段分割 { $Min \dots i_2$ } { $i_2 + 1 \dots i_3$ } ... { $i_k + 1 \dots Max$ }。

1.4 最佳分割段数的确定

分割段数是由直径(段内离差平方)总和 $S_{i_k}^{(k)}$ (*Max*) 与段数 *k* 之间的曲线关系确定的。我们知道, $S_{i_k}^{(k)}$ (*Max*) 随着 *k* 数的增加而单调地减小,当到某一 个点 *k*'而 $S_{i_k}^{(k)}$ (*Max*) 的变化趋于平稳时,就选定该 点的 *k* 作为合理的分割段数,或者说选择该曲线的拐 点所对应的分段数 *k*' 作为合理的分割段数。

2 遥感图像最优密度分割的计算机实现

2.1 计算步骤

步骤 1 对图像进行直方图统计 获得图像像元灰 度最小值(Min) 最大值(Max)和每一灰度级的像元数 $P_{i}(Min \leq i \leq Max$);

步骤 2 利用公式 1 计算段直径矩阵 D;

步骤 3 ,由矩阵 D ,采用递归方法逐级计算出全部 分段数(最大分割段数根据具体情况确定)的最优分 割点和直径总和 即

设 $S_{i_{1}(j)}^{(1)}(j) = D(Min_{j}), i_{1}(j) = Min(Min \leq j)$ $\leq Max$) 对于分割段数 k 根据公式

$$S_{i_{k(j)}}(k(j)) = \min[S_i(k(j))]$$
(13)

逐级求出对任意前 *j* - *Min* +1 个灰度级的最优 *k* 段 分割所对应的 $S_{i_k(j)}$ ^{*k*}(*j*)与分割点 $i_k(j)$,其中(*Min* + k-2) $\leq i \leq (j-1)$; $S_i^{(k)}(j) = S_{i_{(k-1)}(i)}^{(k-1)}(i) + D(i)$ +1 *i*); (*Min* + *k* - 1) $\leq j \leq Max$ 2 $\leq k \leq (Max - Min)$ +1)。由此上推,可以得出 *Max* - *Min* +1 个灰度级的 *k* 段{2 $\leq k \leq (Max - Min + 1)$ }最优分割的分割点,由 大到小排列为 $i_k(Max)$, $i_{k-1}(i_k)$, $i_{k-2}(i_{k-1})$,..., i_2 (*i*₃)相应的直径总和为 S_{i_kMax} ^{*k*}(*Max*)。于是,最优 *k* 段分割为{*Min*,..., i_2 }{*i*₂+1,..., *i*₃}...{*i*_k+1,

- ... , Max 🍃
- 2.2 计算程序框图

根据上述计算步骤,设计出如图1所示的计算程

序框图。该方法已实现于笔者开发的遥感图像处理 辅助软件中 限于篇幅 ,计算程序从略。



图 1 最优密度分割计算程序框图(^① K 为设定的最大分割数)

3 应用实例

研究区选择在青海省芒崖镇采石沟金多金属成 矿区。该区为西部干旱区 植被稀少 基岩广泛裸露, 因此进行遥感图像岩石信息及矿化蚀变信息提取十 分理想。该区出露的地层岩石主要为奥陶系中基性 火山岩、变质岩、海相碎屑岩,以及晚元古代中晚期的 花岗岩、闪长岩和华力西期的中酸性岩等。

采用的图像数据为美国 Landsat – 7 的 ETM 数据。 首先 对图尔逊将增强处理,获取反映岩石信息较好 的图像作最优密度分割。通过对该区的实测岩石光 谱数据的分析以及实验对比,认为 ETM5/ETM7 对该 区的不同岩石类型区分效果较好,并在一定程度上突 出了与金多金属矿化有关的蚀变信息,因此,选用该 图像进行岩石信息提取。为了消除图像上局部"噪 声"的影响和使分割后图像趋于平滑,对原图像进行 了5像元×5像元窗口的中值滤波处理。

选择最大分割段数为 16 通过运算获得各级分割 段数(2~16段分割)的最优分割区间及段内离差平方 总和(表1),作出最优分割段内离差平方总和随分割 段数变化的曲线(图2)。

· 54 ·

表1 对应不同分割段数的最优分割区间及段内离差平方总和简表

分割 段数	最优分割区间	段内离差 平方总和
2	{254 ,76 } {75 ,0 }	205 806 992.00
3	{254 ,155 } {154 ,69 } {68 ,0 }	94 132 072.00
4	{254 ,172 } {171 ,140 } {139 ,63 } {62 ,0 }	50 517 424.00
5	{254 ,180 } {179 ,152 } {151 ,128 } {127 57 } {56 0 }	31 192 204.00
6	{254 ,191 }{190 ,163 }{162 ,144 }{143 ,122 }{121 ,55 }{54 ,0 }	20 575 092.00
7	{254 ,198 X197 ,171 X170 ,154 X153 ,139 X138 ,118 X117 53 X52 0 }	14 693 386.00
8	{254 202 X201 ,177 X176 ,160 X159 ,147 X146 ,134 X133 ,115 X114 52 X51 ,0 }	11 118 112.00
9	{254 ,209 }208 ,185 }184 ,168 }167 ,155 }154 ,144 }143 ,131 }130 ,113 }112 ,51 }50 ,0 }	8 786 829.00
10	{254 ,211 }{210 ,187 }{186 ,170 }{169 ,158 }{157 ,148 }{147 ,138 }{137 ,125 }{124 ,107 }{106 ,48 }{47 ,0 }	7 046 078.00
11	{254 ,213 }{212 ,190 }{189 ,174 }{173 ,162 }{161 ,152 }{151 ,143 }{142 ,133 }{132 ,120 }{119 ,102 }{101 ,45 }{44 ,0 }	5 725 555.00
12	{254 ,215 }{214 ,193 }{192 ,177 }{176 ,165 }{164 ,156 }{155 ,148 }{147 ,140 }{139 ,130 }{129 ,117 }{116 ,99 }{98 ,45 }{44 ,0 }	4 757 046.50
13	{254 ,219 }218 ,199 }198 ,184 }183 ,172 }171 ,162 }161 ,154 }153 ,146 }145 ,138 }137 ,129 } {128 ,116 }115 ,99 }98 ,45 }44 ,0 }	4 027 101.25
14	{254 220 }219 200 }199 ,185 }184 ,173 }172 ,164 }163 ,156 }155 ,149 }148 ,142 }141 ,134 } {133 ,125 }124 ,113 }112 ,96 }95 , 1 %0 β }	3 445 029.00
15		2 987 502.50
16	$ \{254, 223, \\ \cite{222}, 205, \\ \cite{204}, 191, \\ \cite{100}, 180, \\ \cite{117}, 171, \\ \cite{117}, 163, \\ \cite{162}, 156, \\ \cite{155}, 150, \\ \cite{144}, \\ \cite{143}, 138, \\ \cite{137}, 131, \\ \cite{112}, \\ \cite{121}, 111, \\ \cite{111}, \\ $	2 637 270.25



图 2 最优分割段内离差平方总和随分割段数变化曲线

从图 2 可以看到,当分割段数达到 6 后,曲线趋于 平稳,因此,取 6 为合理分割段数。对 ETM5/ETM7 图 像进行伪彩色密度分割,按灰度级由高到低分别赋以 蓝、浅蓝、绿、黄、品红、红色,获得该图像的 6 段最优密 度分割图(插页彩片 10)。对照该区地质图及 ETM 假 彩色合成图像(插页彩片 11)可以看到,最优密度分割 图中蓝色区域为掩膜后的第四系覆盖区;浅蓝色和绿 色区域主要为奥陶系上统中基性火山岩;黄色区域主 要为奥陶系上统沉凝灰岩、粉砂岩、砂岩等;品红和红 色区域主要为晚元古代中晚期的花岗岩、闪长岩分布 区和金矿化蚀变区(带),右下部的条带状红色区域与 已知金矿化带极为吻合。可见,这种分割方法对岩性 段和矿化<u>得分数据</u>圈定是十分理想的。

4 结语

本文介绍的遥感图像最优密度分割法是基于对 单通道图像进行的 ,图像中的岩石波谱信息主要是以 灰度和影纹结构形式反映出来 ,各种不同类型的岩石 均具有一定的灰度值范围 ,通过图像增强处理 ,可以 扩展它们的灰度差异而加以区分。因此 ,以图像灰度 值作为有序量进行分割来提取岩石信息是可行的。 该方法是从图像数据统计特征出发 利用费歇尔准则 定量确定使段内灰度差异最小 ,段间灰度差异最大的 分割点进行图像分割。实验证明 ,用这种方法提取岩 石信息是十分快速有效的。

参考文献

- [1] 余金生 ,等.地质因子分析 M].北京 地质出版社,1985.
- [2] 王学仁 等.地质数据的多变量统计分析[M].北京 科学出版社, 1986.
- [3] 丰茂森 筹.遥感图像数字处理 M].北京 地质出版社,1991.
- [4] 周成虎,等,遥感影像地学理解与分析[M].北京:科学出版社, 2001.
- [5] 刘庆生,等.有序岩石遥感信息的最优分割[J].国土资源遥感, 1999(2)50-54.

(下转第66页)

TECHNIQUES OF GEOLOGICAL REMOTE SENSING INFORMATION EXTRACTION FROM CBERS – 1CCD DATA FOR MINERAL EXPLORATION

DANG Fu - xing , FANG Hong - bin , ZHAO Fu - Yue

(China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on spectral characteristics of CBERS – 1 CCD data from favorable Au – Cu and Pb – Sn prospecting areas in southwest Tianshan Mountains, the authors studied a series of methods for image processing of CBERS – 1 CCD data to extract the information of carbonaceous formation, rock masses, and such mineralization alteration as iron oxides. The application effects have proved that it is effective to make use of CBERS – 1 CCD data processing method in lithologic mapping, analysis of tectonic trends and delination of unknown mineralizations in the presence of alteration indicator minerals. The methods can be applied to extract geologic information for mineral exploration in other areas based on CBERS – 1 CCD data from similar geologic environments. A quantitative technique for extracting iron – bearing mineral information is especially important in detecting remote sensing anomalies for mineral exploration in West China.

Key words: CBERS - 1 CCD data ; Geology and minerals ; Information extraction

第一作者简介 党福星(1967 –),男 ,1992 年毕业于长春地质学院应用地球物理系 ,硕士研究生 ,高级工程师 ,主要从事地质矿 产信息和遥感找矿异常信息提取方法及其应用研究工作 ,已发表论文 8 篇。

(责任编辑:周树英)

THE BEST DENSITY SEPARATION METHOD FOR EXTRACTING ROCK INFORMATION FROM REMOTE SENSING IMAGE

WU De – wen , ZHANG Yuan – fei , ZHU Gu – chang (Center for Remote Sensing in Non – ferrous Geology , Hebei 065201 ,China)

Abstract: The authors introduced the best separation method for ordered geological variables in mathematical geology into the extraction of rock information from remote sensing image , and then changed and improved the method , thus forming the best density separation method for remote sensing image. On such a basis , computer programming was performed to actualize the improved method. This paper deals mainly with the basic principle , actualizing means and applications of the method.

Key words: Remote sensing image; Rock information; The best density separation method

第一作者简介:吴德文(1967-),男,高级工程师,1990年毕业于中南工业大学地质系矿产普查与勘探专业,2001年获中国地 质大学(北京)地图学与地理信息系统专业硕士学位,一直从事遥感地质应用、地理信息系统应用和开发工作,发表论文10余 篇。

(责任编辑:刁淑娟)