

雷达图像纹理信息的提取及 在地学分析中的利用*

——以甘肃省黄羊镇地区 SIR-B 图像为例

刘浩 郭华东

(中国科学院遥感应用研究所 北京 100101)

摘要 要想从雷达图像上充分地提取地学信息,仅靠灰度是不够的,还必须利用纹理。本文是以甘肃省黄羊镇地区的 SIR-B 图像为信息源,旨在揭示雷达图像上纹理信息的特点、提取方法、及在地学分析中的利用价值。

关键词 SIR-B 图像,纹理,地学分析

1 引言

雷达遥感是 90 年代遥感领域的一个热点,这是由这种遥感手段的独特优势所决定的。在将雷达图像用于地学分析时,人们普遍认识到欲充分提取有用信息除依靠灰度外,还必须考虑纹理,这就使得对雷达图像纹理问题的探讨变得十分重要。我们的研究是以甘肃省黄羊镇地区的航天飞机成像雷达 2 号 (SIR-B) 图像为信息源,做了大量的试验,力图解决 3 个问题,即如何认识雷达图像上的纹理,提取纹理信息的方法及纹理信息与地学信息如何相关。本文所要介绍的就是这一研究所取得的成果。

2 SIR-B 图像参数及其对应地区概况

SIR-B 是 1984 年 10 月 5 日由“挑战者”号航天飞机载入轨道的,这次飞行历时 8 天,获得了 37 个小时的数据,覆盖地球表面 650 万平方公里,在我国中部地区成像一个航带。轨道高度 255km,倾角 57° ,雷达波长 23.5cm (L 波段),雷达入射角在 $15^\circ-60^\circ$ 之间可调^[1]。甘肃省黄羊镇地区的 SIR-B 图像航迹是 $EN52.9^\circ$,中心入射角是 25.8° ,中心经纬度是东经 102° 、北纬 37° ,每个像元对应的地面尺寸为 $12.5m \times 12.5m$,HH 极化,像幅大小为 $80km \times 25km$ 。

本次研究用到这景 SIR-B 图像的一部分(图版 I 图 1),它所对应的地貌单元是祁连山边缘山地。该区基岩上普遍覆盖着中、晚更新统黄土状亚砂土,沟谷深陡,但山顶却较

* 工作中,得到长春地质学院张庸副研究员,中国科学院遥感应用研究所董品亮、张志辉、邵芸、王超等同志的大力协助,美国 JPL 的 Tom Farr 博士提供了数字记录的 SIR-B 数据,在此一并致谢。

收稿日期: 1994 年 2 月 7 日;收到修改稿日期: 1994 年 11 月 24 日

平坦。该区海拔高度在 2300—4500m 之间,海拔 3000m 以上有针叶林分布,低于此高度有灌溉农田,一般仅种春小麦。在山间有一面积约 40 多平方公里的小盆地,有黄羊河流过,是较好的农耕区。

3 雷达图像纹理的特点

3.1 图像纹理的概念

纹理(Texture)为一种或多种图案或多或少有序排列而形成的一种结构,这一结构的每个组成基本单元是不被人注意的,但它们的整体却可以作为一个有意义的识别单位,即纹理区域。纹理可以是子图案严格有序排列而形成的,称为确定纹理(Deterministic Texture);更常见的是组成元素(或子图案)的分布可用某种统计规律来描述,称随机纹理(Stochastic Texture)^[2]。遥感图像上的纹理多属后者。笔者认为遥感图像上的纹理可分为微观纹理和宏观纹理两类,前者指像元邻域内灰度的排布结构,而后者是指地形要素(主要是沟谷)的分布形式。下面介绍在雷达图像上这两类纹理的一些特点。

3.2 雷达图像上微观纹理的特点

雷达图像上的微观纹理同判读雷达图像时遇到的下面两个问题直接有关。

第一,由于雷达是用相干波照射目标,所以雷达图像上存在相干斑点噪声;另外由于雷达回波强度受当地入射角的影响较大,所以雷达图像上的灰度对地面上微地形的变化比较敏感。这两个原因,使雷达图像对面目标的显示效果不好,即物性一致的面目标对应图像区域虽整体上属某一灰调,但其内部像元灰度值存在较大的起伏。

第二,雷达图像也同其它遥感图像一样,存在一些模糊、断续的边缘,用一般的图像增强方法难以改善它们的显示效果。

从微观纹理的定义可以看出提取微观纹理信息,可能会部分解决上述两个问题。

3.3 雷达图像上宏观纹理的特点

在雷达图像上,山体的前坡(向着雷达波束的一坡)与后坡(背向雷达波束的一坡)有很大的反差,这是由当地入射角的差别决定的。对于前坡,如果雷达的入射角小于坡度角,叠掩就会出现,这样在入射角较小的雷达图像上,叠掩效应使山体的前坡缩成灰度值很高的亮带甚至亮线,黄羊镇地区的 SIR-B 图像上就充分体现了这一特点,从位置上讲,这些亮带或亮线基本上代表着沟谷的走向。

4 微观纹理的提取方法及在地学分析中的作用

4.1 用灰度共现矩阵法提取微观纹理信息

测度微观纹理特征有很多数学方法,其中比较有效的一种是灰度共现矩阵(Gray-Level Cooccurrence Matrix)法。灰度共现矩阵的定义是:设图像某一区域有 N 个灰度值,则对应该区域的灰度共现矩阵是一个 $N \times N$ 阶矩阵,在矩阵中位置 (i, j) $(1, \dots,$

$i, \dots, N; 1, \dots, j, \dots, N$) 处的元素是从灰度为 i 的像元离开某个固定位置关系 $\delta = (DX, DY)$ 处像元灰度为 j 这种现象出现的概率, δ 被称为位移量。在实际应用中, 作为纹理识别的特征量是由上述的灰度共现矩阵计算出来的一些统计量。Haralick 曾提出 14 种由灰度共现矩阵计算出来的统计量, 下面列出的 4 种, 是我们经过大量试验, 认为效果较好的。

$$\text{角二阶矩 (ASM)} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N P_{\delta}(i, j)^2$$

$$\text{熵 (ENT)} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N P_{\delta}(i, j) \cdot \log P_{\delta}(i, j)$$

$$\text{同质性 (HOM)} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N P_{\delta}(i, j) / [1 + (i - j)^2]$$

$$\text{非相似度 (DIS)} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N |i - j| \cdot P_{\delta}(i, j)$$

这里的 $P_{\delta}(i, j)$ 是灰度共现矩阵中位置 (i, j) 处的元素的值。对图像上的每一像元求出某种邻域的灰度共现矩阵, 再求出某一统计量的值, 就得到对应该统计量的纹理图像。

经过大量的试验, 得出 3 个结论。一是将图像的灰阶压缩为 8 级以上, 一般不会对纹理信息有什么影响。二是位移量选择 $(1, 0)$ 、 $(0, 1)$ 、 $(1, 1)$ 、 $(1, -1)$ 这 4 种中的任何一种都比较好, 跳跃太大会在纹理图像上造成假信息。三是并非邻域窗口选得越大越好, 随着窗口的增大, 原图像上的边缘轮廓在纹理图像上逐渐变得模糊。笔者试验过 33×33 和 51×51 这样的大窗口, 结果得到的纹理图像视觉效果很差, 也没实现所期望的区分出宏观纹理差别的目的。原因是窗口很大时, 灰度共现矩阵对窗口内边缘线的差异并不敏感; 相反选择较小窗口所得纹理图像不仅能突出原图像上的边缘轮廓, 还能增强其它有用信息。

4.2 微观纹理信息在地学分析中的作用

正如前面所指出的, 微观纹理信息在改善面目标显示效果和增强线性体上有突出的作用。利用灰度共现矩阵所得的纹理图像起了平滑作用, 对面目标显示而言, 是消除了大部分噪声和微地形的影响, 使其在纹理图像上表现为较连续的灰度均匀的区域。图版 I 图 2 上的图像是利用 SIR-B 原图像、ASM 图像和 HOM 图像做 RGB-IHS 彩色空间变换而得到的, 这样的复合图像能将原 SIR-B 图像上的灰调和纹理信息转化为色调信息, 从而极大地改善了面目标的显示效果, 做彩色空间变换是为了扩大色彩的差别。表 1 中列出了复合图像色调与原图像灰调、纹理和地物的对应关系。在该表中有两处同类地物在纹理复合图像上对应两种色调的情况。造成这种情况的原因是该地物所处区域地势平坦, 则在原图像上对应一种均匀的纹理特征, 即灰度值的起伏较小; 反之, 该地物所处区域地形变化复杂, 则在原图像上表现为一种不均匀的纹理。经过图像复合处理后, 这种地形差别就以色调差别表现出来。

仔细观察图版 I 图 2 上的纹理复合图像可以看出纹理图像有种镶边作用, 而且能突出一些在原图像上模糊的线性体, 这是由于在原图像上表现形式不同的边缘点可以具有相近的纹理测度值, 因而在纹理图像上表现为较明显的边缘特征。关于这一点可以看图

表 1 典型地物在 SIR-B 图像及其纹理复合图像上的特征
Table 1 The features of ground objects on SIR-B image and its texture combination image

编 号	纹理复合图像上的色调	原 SIR-B 图像		地 物
		灰 调	纹 理	
1	深绿	亮暗交界	边缘	山谷线、山脊线
2	白	暗	不均	裸露黄土地
3	浅绿	暗	均匀	同上
4	黄	中等一亮	不均	针叶林或有麦茬耕地
5	棕	中等一亮	均匀	同上
6	紫	很 亮	不均	土壤湿度很大的针叶林地
7	橙	近 255	均匀	有强烈叠掩效应的山坡

4 上以 L 标记的各条推测断裂,这里值得一提的 F₇ 这条断裂,在原 SIR-B 图像上它表现为—较模糊的灰调界线,在纹理复合图像上该断裂被明显地突出出来,在野外根据图像找到了该断裂,它属压性断裂。由于植被及土层的覆盖,该断裂的形迹很不明显,它在图像上的特征是由上、下盘土壤水份的差别造成的,这体现了雷达在探测隐伏或含水构造上的优势。

5 宏观纹理的提取方法及在地学分析中的作用

5.1 宏观纹理的提取方法

提取宏观纹理信息,目视判读和统计分析是有效的手段。做统计分析,以前的方法是手工将沟谷(或线性体)解译出来画成图,再用某种 GIS 工具得出各种统计数据,这是很费时费力的。在我们的研究中,编制了一个利用雷达图像特点将沟谷自动提取出来并编码、记录、在机器上实现统计分析的程序。

前面已经提到在雷达图像上山体的前坡与后坡本来就有较大反差,叠掩效应更使前坡沿距离向收缩成狭窄亮带,可以认为前坡亮带向着雷达波束的边缘大致是谷底的位置,而背着雷达波束的边缘是有很大位移的山脊线,根据这一认识,我们的程序大致步骤如下:

1) 二值化,选取适当的阈值使生成的二值图像上的黑白界线主要是山谷线与山脊线。

(2) 去掉山脊线,这一步通过一个特殊的算子来实现。

(3) 去掉孤立点和干扰点。

(4) 对剩下的亮点做跟踪、连接,如达到要求的长度,就根据起点和终点的坐标确定沟谷线的方向,然后将连接起来的点赋以适当的表示方向的值。如没有达到要求的长度,则将连接起来的点去掉。

(5) 将所有的暗点和被去掉的点赋以适当的背景值,最后就得到了一幅记录了不同方向沟谷的图像。图版 I 图 3 是这种图像的伪彩色显示,以 4 种颜色表示了不同方向角范围内的沟谷。

沟谷被提取出来之后,就可以方便地做统计分析。常用的长度—方向、频率—方向直

方图等只要对上述程序稍加改动就可得到。利用该程序还可以很容易地得到分维数据,而这种数据在宏观纹理分析中是很有价值的。

5.2 分维的概念及其在宏观纹理分析中的意义

分维几何理论是 60 年代由法国数学家 B. B. Mandelbrot 提出的。自然界的很多形态和现象具有在很大的尺度范围内的任何尺度下观察均具有自相似的特点,这种不规则但具尺度不变性和自相似性的形态现象称为分形,分形的特点是由分维(Fractal Dimension)来描述的^[3]。

对于研究几何体的平面分布问题,分维理论中的数格子法是一种恰当而客观的分维测量方法,其做法是:首先选择一定的区域,然后将其分成若干边长为 ϵ 的格子,确定存在几何体的格子数目 $N(\epsilon)$,然后由下式求出分维 D

$$D = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \log N(\epsilon) / \log (1/\epsilon)$$

在实际应用中,分维 D 的求得利用了下式

$$\log N(\epsilon) \propto -D \log \epsilon$$

因为 $\log N(\epsilon)$ 与 $\log \epsilon$ 呈线性关系,所以直线的斜率即是分维 D 。在前述的沟谷自动提取程序中,不同方向的沟谷线上的像元以不同的灰度值记录,因此可以方便地求出以一组边长为 $\epsilon_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 个像元的格子网覆盖某区域而得的全部方向或某一方位角范围内沟谷分布的 $N_i(\epsilon_i)$,利用这组 $(\epsilon_i, N_i(\epsilon_i))$ 就可以由最小二乘法求出分维 D 。

在一系列试验中发现:当沟谷的密度越大、分布越均匀、自相似性越好时,分维 D 就越大。由此可以看出分维的大小可以反映沟谷发育的程度。关于这一点在下面的分析中还将论述。

5.3 宏观纹理信息在地学分析中的作用

沟谷的展布形式主要是由构造和岩性决定的,外动力作用一般只改造沟谷的形状而不能决定其宏观展布规律,所以宏观纹理信息在地学分析中的作用表现在地质构造识别和岩性单元划分两个方面。下面利用对 SIR-B 图像的分析结果给出实例。

图 4 上的 F_5 、 F_6 两条断裂在 SIR-B 图像上是表现为宏观纹理界线,即在其两侧宏观纹理特征有明显的差异,从后面的分析中可以知道这两条断裂限制了一个混合岩化带的分布范围。在野外由于中、晚更新统黄土状亚砂土的覆盖,很难找到这两条断裂的形迹,最后根据图像的指示在个别深谷中找到了这两条断裂的断面,从而认识到这是两条压扭性断裂。

通过对 SIR-B 图像上宏观纹理的目视分析,划出了 11 个单元(图 4),通过与地质图比较,发现这些单元与岩性有很好的对应关系。利用前述沟谷自动提取程序得出了这些单元上沟谷的长度—方向直方图、频率—方向直方图及分维。经对比发现这些单元上沟谷的 3 种统计数据确有明显差别。表 2 列出了 11 个岩性单元上沟谷的优势方向及分维,在描述沟谷方向时是以雷达波束入射方向、即图像上由下至上的方向为 0° 方向。11 个单元对应的岩性特征是: U_1 对应早奥陶系车轮沟群板岩、片岩、千枚岩等; U_2 、 U_3 、 U_4 也

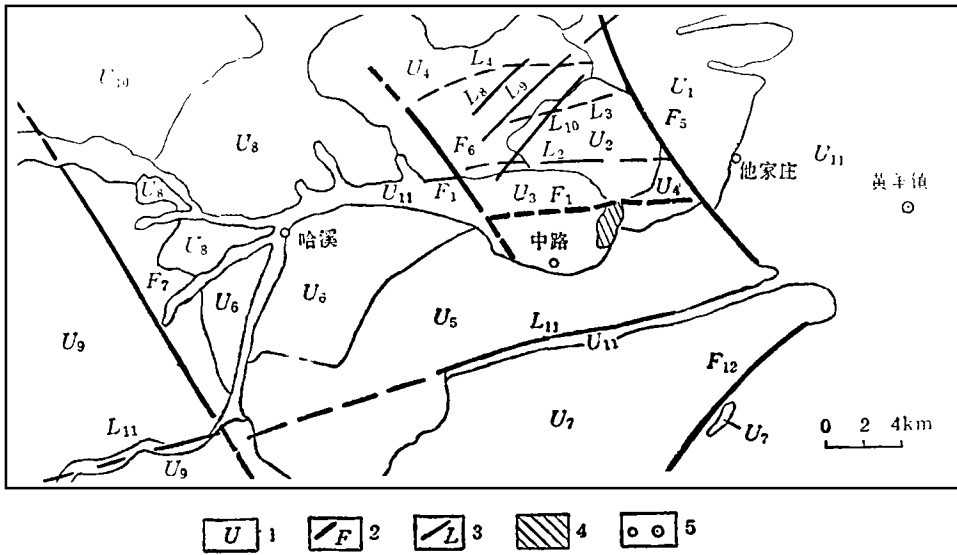


图4 SIR-B 图像岩性及构造解译图

Fig.4 The interpretation map of rock type and structure from SIR-B image

1.岩性单元 2.断裂 3.推测断裂 4.水库 5.居民点

表2 岩性单元上的沟谷优势方向及分维

Table 2 The dominate valley orientation and fractal dimension of rock units

岩性单元	沟谷优势方向	分维
U ₁	45°-67.5° 90°-112.5°	1.404025
U ₂	45°-67.5° 112.5°-135°	1.601041
U ₃	135°-157.5°	1.532792
U ₄	135°-157.5° 45°-67.5°	1.495924
U ₅	112.5°-135°	1.377876
U ₆	22.5°-45°	1.194137
U ₇	45°-67.5°	1.087322
U ₈	45°-67.5° 112.5°-135°	1.398822
U ₉	22.5°-45° 135°-157.5°	1.609420
U ₁₀	22.5-45°	0.9753271
U ₁₁	无	0

属早奥陶系车轮沟群，但构成了一个混合岩化程度由深至浅的系列，U₂ 为混合花岗岩，U₃ 为条带状、眼球状混合岩，U₄ 只是发生了轻微混合岩化；U₅ 为晚第三系红色砂岩，上盖几米至几十米的中、晚更新统黄土状亚砂土；U₆、U₇ 都是仅出露中、晚更新统黄土状亚砂土，U₆ 厚度比 U₇ 小；U₈ 岩性与 U₁ 相同，只是产状已发生了明显变化；U₉、U₁₀ 都由奥陶、泥盆、石炭、二叠系多套地层组成，前者是一挤压高应变带，后者是一套层序正常的盆地相沉积；U₁₁ 为第四系松散沉积物。前面曾提到分维大小能反映沟谷发育程度，观察表2中不同岩性单元的分维值得出这样几个结论：一般老地层比新地层沟谷发育程度高；在变质岩中，混合岩化的程度与沟谷发育程度正相关；同时代地层沟谷发育程度可有

明显差异,这可能是应力场和边界条件的差异造成的。最后要指出的一点是图 4 上的岩性单元划分不附合地质填图的原则,但这项工作还是为该区岩石研究做出了贡献。这表现在细划了早奥陶系车轮沟群变质岩,不仅划出了因产状不同而在宏观纹理特征上有明显差异的 U_1 和 U_8 ,而且划出了一个被断裂所围限的混合岩化带,区分出了混合岩化程度不同的 3 个单元 U_2 、 U_3 和 U_4 。

6 结论

通过以上分析可得出 3 个结论:

1. 雷达图像上的纹理可分为微观纹理和宏观纹理两类,成像机理决定了雷达图像上的目标多具不规则微观纹理,叠掩效应使雷达图像上的宏观纹理特征非常明显。

2. 灰度共现矩阵法是提取微观纹理信息的有效手段。由该方法所得到的纹理图像在地学分析中的作用表现在改善面目标显示效果和增强线性体两个方面。对应不同统计量的纹理图像可以复合、将原图像上的灰度和纹理信息转化为色调信息,从而更好地体现上述两个作用。

3. 宏观纹理信息的提取靠目视和统计分析,它在地学分析中的作用体现在构造识别和岩性划分上,自编的沟谷自动提取程序可以方便地给出有关沟谷的各种统计数据,从而为岩性划分提供量化的依据。

参 考 文 献

- [1] Ford J.P., Cimino J.B., Holt B., Ruzek M.R., Shuttle Imaging Radar Views to the Earth from Challenger: The SIR-B Experiment, 2-3, JPL PUBLICATION, 86-10.
- [2] Ari Visa, How do Variations in Resolution Influence on Gray Tone Spatial Dependence Matrix Method's Capability to Classify Stochastic Textures? Proc. 5th International Conference on Image Analysis and Processing, Italy, 1985.
- [3] 皇甫岗等,水系分维的构造含义. 地震地质,1990 年 10 月,13(4).

The Extraction of Texture Information from Radar Image and its Value in Geo-science Analysis —Using a SIR-B Image in Huangyangzhen Area (Gansu Province) as a Example

Liu Hao Guo Huadong

(Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences)

Abstract In order to extract geo-science information from radar image, texture must be considered besides gray tone. This paper deals with the characteristics of texture in radar image and its extracting method. The value of texture information in geo-science analysis is presented by a SIR-B Image in Huangyangzhen Area, Gansu Province.

Key words SIR-B image, Texture, Geo-science analysis