

# 遥感图像线性构造信息微机机助提取\*

高景昌 王光杰

(长春地质学院 长春 130026)

**摘要** 本文采用图像平滑、边缘跟踪、霍夫变换、逆霍夫变换等综合图像处理技术,从卫星 TM 图像中提取线性体信息。在霍夫变换后的累加器阵列中采用局部最大值选择,逆霍夫变换后采用剖面分析等人一机交互处理方法,结合遥感地质学家的图像判读经验,提高了线性体信息自动提取的精度。

**关键词** 线性构造提取,边缘跟踪,霍夫变换,剖面分析

## 1 引言

遥感图像中的线性影像(lineament 或称线性体)多数是构造要素的反映,并主要与断裂构造(包括节理、断层、断裂带)有关,其优势方位通常反映区域构造的基本格局,而其方位偏差则反映局部构造异常,规模较大而且延续性强的线性体,往往是深层构造在地表的直接反映。区域构造隆起、拗陷、褶皱与断裂常具有密切的成生和空间组合关系。在遥感图像上进行线性体的目视判读,其工作量大而且慢,并且带有主观性。我们所关心的是线性体的统计意义,因此,线性体的自动提取和定量分析是遥感地质学的重要发展方向。当然,目前目视判读还占有重要地位。

遥感图像中的线性影像,主要指以其亮度、色彩等表现的线性特征,即灰度或色调变化较大的区域,常以直线或边缘出现。由于周围环境和表面物质覆盖的原因,有些较为明显,有些则较微弱,还有一些不易分辨,如灰度或色调变化缓慢的过渡带以及断续出现的线性体等情况。在线性体的目视判读和制图中,地质学家往往把同一延伸方向的不连续线段连结起来,显然,这必然带有较大的主观性。随着图像处理技术的发展,线性体自动提取的结果与专家提取的结果比较,差异仍然很大。专家能从构造的全局出发,得出同实际地质构造吻合较好的判读结果。鉴于此,我们在从遥感图像自动提取线性体的实验研究中,注意了结合遥感地质学家在图像判读中的经验和判读结果(如局部最大阈值  $L_T$  的选择和充填间隙  $L_g$  的参数选择),从而提高了线性体自动提取的精度。

本文详细描述了线性体自动提取的边缘跟踪、霍夫(Hough)变换等方法,并阐述了它们对云南红河地区的 Landsat-5 图像自动提取线性信息的能力。该方法本身所具备的优点,不仅在于它模拟专家提取线性体的机制,快速实现线性影像的提取,形成线性体图像,而且由于线性体图像以数字化形式存贮,可以非常方便地进行全部或局部子区的统

\* 中国科学院长春净月潭遥感实验站基金资助项目。

收稿日期: 1992年5月24日,收到修改稿日期: 1993年6月14日

计,或绘成线性体总密度图、方位密度图、交点密度图,或绘制成方向玫瑰花图、长度一长度直方图,方位一长度直方图以及总密度图的趋势面分析图等各种用于地质分析的图形和图像,为地质学家快速提供定量的数据。

## 2 线性构造信息的微机机助提取方法

线性体自动提取的主要步骤是平滑滤波处理、边缘跟踪、霍夫变换、累加器中最大值选择和直线剖面分析等。

### 2.1 图像平滑滤波处理

应用均值滤波器或中值滤波器对原图像进行平滑处理,或采用如图 1 所示的具有平滑效果的二次微分卷积模板,以去除图像噪声和个别孤立点,改善图像质量。

|   |   |   |    |    |    |   |   |   |
|---|---|---|----|----|----|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | -8 | -8 | -8 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | -8 | -8 | -8 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | -8 | -8 | -8 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1 | 1 | 1 |

图 1 具有平滑效果的二次微分卷积模板 (9 × 9)

### 2.2 图像边缘跟踪 (border following)

#### 2.2.1 目的

遥感图像中不同地物之间存在着边缘,一般的构造线都有构造痕迹或产物形成的亮度异常。通常利用微分算子可以提取出边缘影像,但是这种边缘影像是单纯的微分结果,并不考虑其与实际地形、形状、延伸等的关系,甚之噪声也可能被提取出来。微分图像虽然比原图像有所增强,但仍然是成片分布的。

Fig. 1 Differential mask with smoothing

对于地质判读,特别是构造判读,我们常常关心有一定延续规模的构造线。孤立的亮度差异被看成是噪声或是单个地物,没有构造意义。所以,有必要滤掉那些孤立点,保留那些连续点群,检出具有线性、环形、弧形等构造意义的影像边缘。边缘跟踪算法是解决这方面问题较好的图像处理技术之一。

#### 2.2.2 算法描述

边缘跟踪算法的内容有:(1)对图像中的每一个点进行光栅扫描;(2)对每一个点分别判读 4 个方向的差分是否大于阈值  $V_T$ ; (3)如果某点某方向的差分大于阈值  $V_T$ ,则该点作为起点,沿该点开始追踪;(4)判断该方向下一个点的 4 个方向,找出最大差分方向,判断是否大于阈值  $V_T$ ; (5)如果大于  $V_T$ ,则继续执行(4),否则判断追踪长度是否大于长度阈值  $L_T$ ; (6)如果追踪长度大于  $L_T$ ,则输出追踪边缘路径。否则,放弃该追踪起点的该方向的追踪,转至下一个点。

#### 2.2.3 实现方法

在实现该算法过程中,必须解决下列一些实际问题:(1)在每个有效边缘记盘之前,将该边缘的所有点都注上该方向的标记,下次这些点不再作该方向的追踪。每个点都有 4 个标记,每个标记代表该点是否已经作为该方向的有效边缘记入磁盘。对 512 像元 × 512 像元的子区图像数据本身占 256kbytes,而四个方向的标记原则上需要再占 1024kbits 内存,我们实际使用 256kbytes; 这样连同图像内容一起总共 512kbytes,一般微机内存均

能满足。(2)在做边缘跟踪之前,必须做中值滤波或均值模板卷积平滑滤波,否则,边缘跟踪过程中,由于噪声的成分太大,会影响有效边缘的检出。(3)差分阈值  $V_T$  和有效边缘长度阈值  $L_T$  的选择,要视图像性质和构造性质,通过实验选定。

#### 2.2.4 程序设计

边缘跟踪程序框图如图2所示。本次使用的4个追踪前进方向为右、右下、下和左下。差分采用向前差分,这样既保证了追踪的全面性,又不会产生往回追踪的问题。边缘跟踪算法用C语言写成。

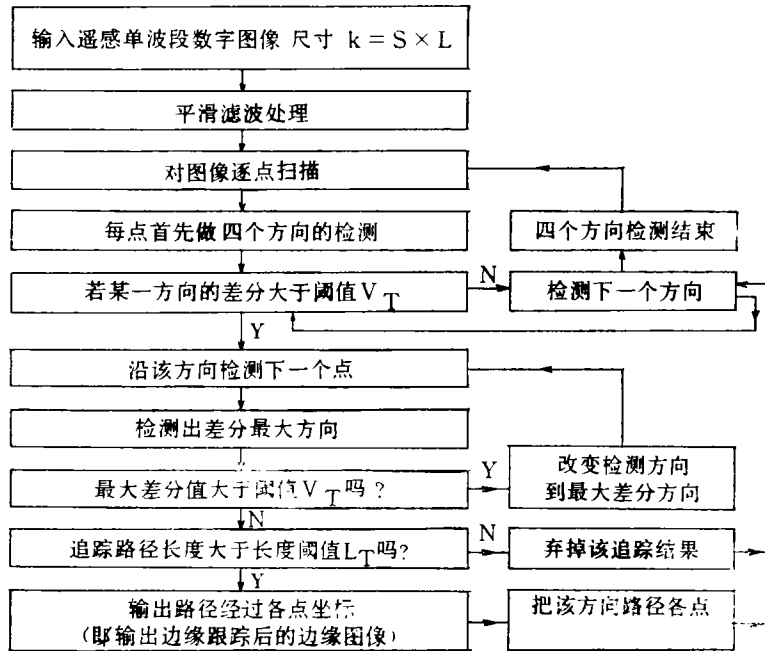


图2 边缘跟踪算法程序框图

Fig. 2 The algorithm diagram of edge tracking

### 2.3 霍夫变换 (Hough transformation)

遥感多值图像通过边缘跟踪处理所得到的含有线性、弧形、环形信息等的二值图像,便于应用霍夫变换进行某种形式的坐标变换,使得边缘图像上具有一定长度的线性体上的所有点,经过霍夫变换后,都集中到变换空间的某些位置上,形成峰点(高值)。这样,就把对边缘图像中线性体提取问题转化成了找变换空间中峰点问题。本文应用霍夫变换提取线性体信息时,采用求局部最大值中的阈值处理技术和直线剖面分析技术两个环节,以去除伪线性体,提高线性构造信息的提取精度。

#### 2.3.1 基本原理

在直线检测中,霍夫变换可以将笛卡尔坐标空间的直线变换为极坐标空间中的点。图3(a)是  $x, y$  坐标系中的一条直线,如果用  $\rho$  代表直线距原点的法线距离,  $\theta$  为该法线与  $x$  轴的夹角,则可用如下参数方程来表示该直线:

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta$$

霍夫变换则取参数  $\rho_0$  和  $\theta_0$  在极坐标域中用如图 3(b) 所示的一个点来表示。再如图

3(c), 3(d), 3(e) 和 3(f) 所示, 在  $x-y$  坐标域中通过公共点的一簇直线, 映射到  $\rho-\theta$  坐标域中便是一个点集; 在  $x-y$  坐标域中共线的点, 映射到  $\rho-\theta$  坐标域中则是共点的一簇曲线。由此可见, 霍夫变换使不同坐标空间中的线和点建立了一种对应关系。

### 2.3.2 直线检测

采取霍夫变换, 检测直线的步骤包括: (1) 在合适的范围内, 量化变化空间  $(\rho, \theta)$ , 即将  $\rho$  和  $\theta$ , 以  $\Delta\rho$  和  $\Delta\theta$  为间隔分成许多小段, 把连续的  $(\rho, \theta)$  平面, 分隔成以  $(\rho_i, \theta_i)$  表示的面积为  $\Delta\rho \cdot \Delta\theta$  的离散单元。(2) 对每个小单元设置一个累加器  $A(\rho_i, \theta_i)$ , 并置  $A(\rho_i, \theta_i)$  初值为 0。(3) 对原数字图像的边缘影像进行逐点搜索, 如像素值为“0”则为背景; 如像素值为“1”则是待检测的边缘像素。设想通过该点有一簇直线, 它们在  $(\rho, \theta)$  空间对应着一条曲线, 凡此曲线通过的  $(\Delta\rho, \Delta\theta)$  单元, 其累加值  $A(\rho_i, \theta_i)$  都加“1”。(4) 对于原图像上数值为“1”的像素, 都做上述步骤(3)的操作。那么, 在  $(\rho, \theta)$  空间得到各单元的  $A(\rho_i, \theta_i)$ 。那些  $A$  值大的位置, 就对应于原图像空间中待测的那条直线, 而  $A$  值的大小则反映了这条线上边缘像素的多少。

在这种直线检测中, 变换域中单元  $(\Delta\rho, \Delta\theta)$  的大小, 直接影响  $x-y$  域中逼近的直线精度。本次实验中,  $\Delta\rho$  取值 3—5 像素长,  $\Delta\theta$  取值在  $7^\circ-10^\circ$  范围。

若  $x-y$  域中待变换像素, 即边缘像素为  $n$ , 则霍夫变换的计算量与  $n^2$  成比例, 所以变换前的预处理工作很重要, 应尽量避免  $n$  很大。我尝试了两种方法, 一种是平滑滤波后, 自动阈值选择, 提取图像边缘; 另一种是先设计一个兼有局部平滑和边缘增强功能算子, 进行边缘增强, 再进行边缘跟踪, 提取图像边缘。实验表明, 后一种方法更好些。

### 2.3.3 求局部最大

所有边缘点进行霍夫变换后, 求出累加器阵列中局部最大。这些局部最大必须是高于某一阈值, 使得只提取长直线段(高于构成直线的某一像素数)而除去噪声。阈值选择

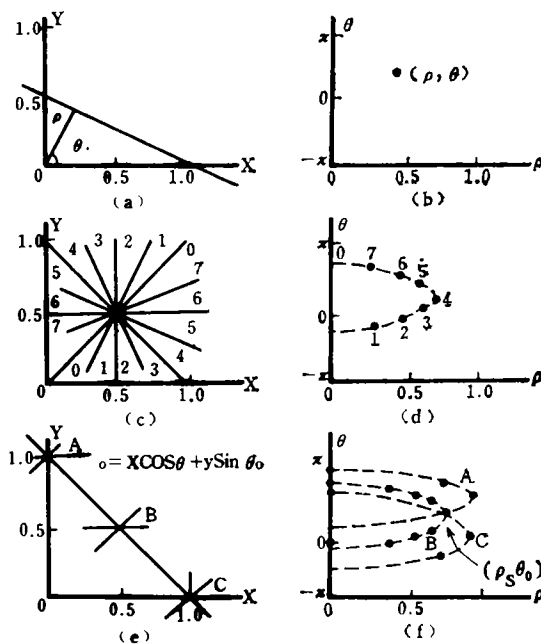


图 3 霍夫变换

(a): 直线段及其  $\rho, \theta$  值, (b): (a) 的线到点变换, (c): 共点直线簇, (d): (c) 的线到点变换, (e): 共线点, (f): (e) 的变换

Fig. 3 Hough transform

(a): Normal parameters for a straight line, (b): Transform line to point in Fig. (a), (c): Lines passing through the origin, (d): Transform lines to points in Fig. (c), (e): Collinear points, (f): Transformation of Fig. (e).

要根据目视判读来判断。

### 2.3.4 逆霍夫变换

求得累加器阵列中局部最大后,根据参数画出直线段。即应用逆霍夫变换,对于累加器中的点 $(\rho, \theta)$ 按下列方程式构成直线段:

$$\begin{cases} y_i = (\rho / \sin \theta) - x_i \text{ctg} \theta & (\theta \neq 0^\circ, \theta \neq 180^\circ) \\ x_i = \rho & (\theta = 0^\circ, \text{或 } \theta = 180^\circ) \end{cases}$$



图 4 从图像的一边到另一边,沿直线的典型剖面图 (背景像素值为 0,边缘像素值为 1)

Fig. 4 Typical profile along straight line from one edge of image to the other. Edge pixels have value of 1, while background pixels have value of 0.

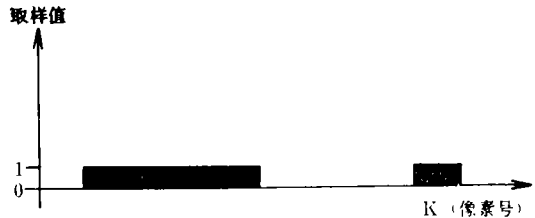


图 5 图 4 中剖面间隙填充示意图 (注意小间隙被填充,短线段已被除去)

Fig. 5 Gap filling of the profile shown in Fig. 4 Note that small gaps are filled and that short segments are removed.

### 2.3.5 直线段识别的剖面分析

地质上的线性构造,在图像上常常呈现断续的线性特征。如果同一直线上(或称某剖面上)的线段相间很小,在作处理时可以认为它们是连接在一起的,属于同一线性构造,反映在直线检测算法中可以给出允许间隙的大小  $L_g$  (填充间隙的像素数)。如果间隙小于  $L_g$  就将间隙充填。图 5 给出了如图 4 中的剖面间隙充填过程的例子。此外,应注意到图 4 中的一个短线段在图 5 中没有出现,这是由于它的长度小于最大阈值  $L_T$ ,在边缘跟踪处理中被舍去了的缘故。整个图像照此处理,最后绘出线性体分布图。

## 3 应用效果

### 3.1 研究区和数据

先后选择了长春净月潭、云南红河幅、新疆库鲁克塔格等地区作为实验研究区。在 TM 七个波段图像中,

选用方差较大的第 5 波段图像作为原始数据图像。图版 I 中的图 6 是云南红河幅的一个子区图像(256 像元  $\times$  256 像元)。

### 3.2 线性体微机自动提取

用图 1 所示的滤波器对原图像(图 6)进行预处理。然后进行边缘跟踪处理,得到图 7(图版 I)。与原图像比较,可以看到图 7 包含了图 6 中的水陆边界、线性体等边缘影像,其中有的边缘是由于土壤、植被和岩石类型不同而表现明显的色调差异所致。接着进行霍夫变换、逆霍夫变换、直线剖面分析和绘制线性体图。图 8 和 9(图版 I)是应用两种不同参数组合进行线性体提取的结果。图 8 是局部最大阈值  $L_T = 25$ , 间隙  $L_g = 5$  的情况,图 9 是  $L_T = 26$ ,  $L_g = 6$  的情况。将图 8 和 9 与图 6 和边缘跟踪图像图 7 对比可以

看出, 线性体信息的提取精度提高了。对所提取的线性体做进一步的线性体总密度等分析, 其长度—长度和直方图呈对数正态分布, 表明提取的线性体比较客观、可靠, 符合地质学的一般规律。

### 参 考 文 献

- [1] John S. Zelek. Computer-aided Linear Planimetric Feature Extraction. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1990. **28**(4).
- [2] Richard B. Lammers et al. Automating Object Representation of Drainage Basins. *Computer & Geosciences*, 1990. **16**(6): 787—810.
- [3] Ramesh Kumar T. reddy. Digital Analysis of Lineaments—A Test Study in South India. *Computer & Geosciences*, 1991. **17**(4): 549—559.
- [4] G. Wadge and A. M. Cross. Identification and Analysis of the Alignments of Point-like Features in Remotely-sensed Imagery. *Int. J. Remote Sensing*, 1989. **10**(3): 455—474.
- [5] J. K. Wu, D. S. Cheng, and D. L. Cai Model-based Remotely-sensed Imagery Interpretation. *Int. J. Remote Sensing*, 1988. **9**(8): 1347—1356.
- [6] [日]田村秀行等著(赫荣威等译). 计算机图像处理技术. 北京: 北京师范大学出版社, 1988.
- [7] 余松煜等编. 数学图像处理. 北京: 电子工业出版社, 1989.

## Use of Microcomputer in Automated Lineament Detection from Remotely-Sensed Imagery

Gao Jingchang Wang Guangjie  
(Changchun Geological University)

**Abstract** This paper has demonstrated the possibility of developing algorithms to extract lineament information from Landsat TM imagery. We made use of image smoothing, edge tracking, Hough transformation, inverse Hough transformation etc. in automated lineament detection. After, Hough transformation, local maxima are selected in the accumulator array and after inverse, Hough transformation, the profile analysis for line segment identification and human-machine interactive methods are used. Some of the rules used by geologists in their image interpretation are applied in automated lineament extraction from digital imagery for improving precision.  
**Key words** Lineament extraction, Edge tracking, Hough transformation, Profile analysis