

基于 ENVI + IDL 断裂构造遥感影像自动解译探讨

吴 婧

(兰州交通大学 数理与软件工程学院,甘肃 兰州 730070)

摘 要:工程地质遥感解译的重要内容之一是从遥感影像中自动提取断裂构造信息。通过对比研究现有断裂构造自动提取的方法和技术,首先对比研究了基于主成分变换和波段运算的图像处理方法在目标信息提取中的优劣;其次通过对预处理影像进行不同的滤波去噪处理;最后利用 Canny 运算和霍夫变换算法基于 ENVI + IDL 编程实现了断裂构造信息的自动提取。通过实验验证,结果表明:基于主成分变换、LEEFILT 滤波处理和霍夫变换算法可有效地提取 TM 影像中的断裂构造信息。

关键词:断裂构造;主成分变换;滤波;霍夫变换;IDL

中图分类号:P237

断裂构造是一种常见的地质构造,是在岩石受到地应力的作用并且这种作用力超过了岩石本身的抗压强度导致在其薄弱地带发生破裂。断裂构造不仅在区域构造演化中起着重要作用,而且从研究的角度来说,断裂构造与很多地质灾害如地震、滑坡等也有很重要的关系,因此对断裂构造的研究具有重要的理论意义和使用价值。在区域地质、工程地质等调查中,在植被发育、露头极少的南方等地区及第四纪发育地区,断裂构造的实地勘察非常困难。因此,断裂构造的遥感识别、解译已成为许多工程、地质单位的主要技术手段。

多年来,国内外学者在地质找矿、灾害调查及工程地质初勘等过程中,基于多源、多尺度影像广泛应用和深入研究了断裂构造的遥感识别、信息提取的方法和技术。目前断裂构造的遥感识别、提取主要依靠影像的增强处理结合人工经验提取,而利用光谱特征、纹理特征等结合自动识别算法自动提取目标信息的研究相对较少,且研究不够深入及难易普及。Raghavan 等^[1]基于霍夫变换提出的线性断裂构造的自动提取方法;孙方立等^[3]基于霍夫变换的线性检测算法结合图像处理方法识别、提取了断层信息;王金飞^[2]基于研发的线性特征提取和分析系统(LINDA)提出一种利用多波段图像提取线性地质特征的方法;于波等^[4]基于 RBF 网络进行了断层的自动识别。

现有的遥感影像线性特征提取方法大多数都是基于单波段影像的信息提取,通常提取的线性地质特征不是很完整,虽然王今飞^[2]提出使用多波段影像并对多波段影像进行主成分变换提取出第一主成

分,然后进行提取,并取得了比较好的成果,但是提取出的结果中包含很多对研究没有意义的特征信息。在此基础上通过对影像做主成分变换、LEEFILT 滤波去噪、霍夫变换等算法处理,比较有效地提取了 TM 影像中的断裂构造信息,并较好地消除了其他干扰线性特征。

1 断裂构造及其图像增强处理方法

由于断裂构造是岩石受力后导致的其薄弱地带发生破裂或者错位而形成的地质构造,因此断裂带及断裂带两侧的地质性质(如含水量、岩石化学成分、岩石结构等等)、光谱特性和自然景观等的差异,造成它们在不同波段反射、吸收和透射能力的差异(彭丹青^[6]),这些差异在遥感影像上主要表现为线性或者带状特征。同时由于应力状态的不同再及因岩性改变而导致的差异侵蚀和差异风化,使得遥感断裂构造带在遥感影像上形成独特的色调、纹理等光谱特征(隋志龙^[7])。因此对遥感影像断裂构造特征的识别、解译和提取的关键就是将影像上的线状信息增强出来,使得解译目标信息与影像背景之间有明显的差异。影像的增强处理运算能够最大限度地突出遥感影像中的线性特征信息,目前针对断裂构造的影像增强处理方法主要有主成分变换、波段比值运算及色彩合成等增强处理方法。

1.1 主成分变换

由于多波段数据经常是高度相关的,主成分变换通过坐标轴的旋转来使数据的方差达到最大,从而生成互不相关的波段,达到隔离噪声和减少数据集维数的目的。主成分变换可以将遥感图像进行数

据集聚和压缩,把不同类别的地学信息归到不同的主分量中,便于研究者根据不同的需要选取不同的主分量(隋志龙^[7])。由于第一主成分包含最大的数据方差百分比,影像的断裂构造信息比较突出,因此利于利用算法实现目标信息的自动提取。

1.2 比值运算

波段比值运算是指两幅同样行、列数的图像,对应像元的亮度值相除。波段比值运算不仅能够增强波段之间的波谱差异,还能有效地消除地形和太阳高度角对图像亮度值的影响。前人的研究结果发现 TM 影像中 TM4 波段的线性特征最清晰(王今飞),因此选择 B4 波段比 B3 波段进行比值运算,其比值图像中的线性特征得到了更好的增强,利于通过算法进行提取。

2 断裂构造自动提取算法

2.1 滤波处理

影像在其形成的过程中由于各种原因往往会受到噪声的影响和污染,另外在影像后期处理的某些环节中也会引入噪声,因此对影像进行滤波处理会有效地平滑图像和降低噪声的干扰,从而提高影像的质量,并提高目标信息特征提取结果的有效性和准确性。常用的滤波主要有高斯滤波、均值滤波、中值滤波、最小均方差滤波、Gabor 滤波和形态学滤波等等。在基于 ENVI + IDL 研发的过程中,对各种滤波方法和效果进行了大量的对比实验,发现针对断裂构造信息的自动提取前,利用 LEEFILT 滤波器可有效地消除噪声和孤立点的干扰,从而达到平滑影像和信息提取的目的。

2.2 边缘检测

边缘是指图像局部亮度变化最显著的部分,边缘主要存在于目标与目标、目标与背景、区域与区域(包括不同色彩)之间,是图像分割、纹理特征提取和形状特征提取等图像分析的重要基础,因此边缘检测是图像分析和理解的重要步骤。学者们已经发展了很多种边缘检测器,如 Roberts 算子、Sobel 算子、Prewitt 算子、拉普拉斯算子、Canny 算子等等。论文经过大量的实验对比研究后发现,Canny 算子可更为有效地突出断裂构造的边缘信息,利于霍夫变换算法的检测。

2.3 霍夫变换

霍夫变换是从图像中识别几何形状的重要方法之一,目前已在许多领域得到广泛的应用。其原理就是利用点-线的对偶性,将图像空间中的一条直

线映射到参数空间的一个点^[3]。设图像空间中的一条直线的参数方程为:

$$x\sin\theta + y\cos\theta = \rho \quad \rho \geq 0, 0 \leq \theta \leq \pi \quad (1)$$

其中: ρ 是直线到原点的距离, θ 是直线的法向量与 x 正方向的夹角。根据方程(1),直线 l 上不同的点在参数平面 $\rho - \theta$ 中映射为一簇相交于 P 点的正弦曲线, P 点就是参数空间的公共点。因此,如果能够确定参数平面中的 P 点,就能够检测出图像空间中的直线。通常将 $\rho - \theta$ 参数平面叫做 Hough 空间(在前面的文字描述中要有对图 1、2 的论述)。

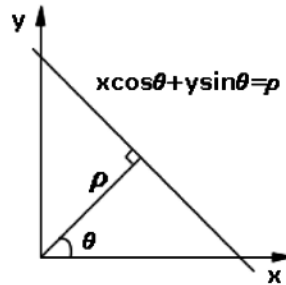


图 1 Hough 图像空间

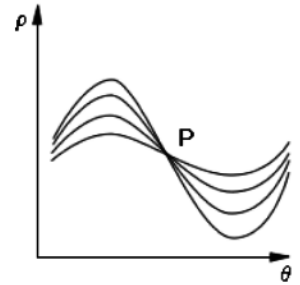


图 2 Hough 参数空间

3 基于 ENVI + IDL 的断裂构造自动提取的实现

3.1 IDL 简介

IDL (Interactive Data Language), 即交互式数据语言,是美国 RSI 公司研发的一款在国际上享有很高知名度的交互式数据语言。IDL 有强大的数据分析、处理和可视化功能,并且是一种包含了其他多种语言的优点的现代化的计算机语言,被誉为许多软件程序员、工程师和科学家所使用的第四代计算机语言。IDL 主要包含以下特性:高级图像处理能力、交互式二维和三维图像处理技术、面向对象的编程方式、OpenGL 图形加速、集成的数学与统计学算法灵活的输入输出以及跨平台特性等等(杨朝辉 2005)。ENVI 是一款基于 IDL 开发的功能非常强大的遥感影像处理软件,并且该软件还支持基于 IDL 的二次开发,提供了很多接口函数,因此项目研发的遥感解译软件选择 ENVI + IDL 进行二次开发,可在保证功能的前提下,极大地节省时间和人力等资源。

3.2 断裂构造信息提取流程

基于 ENVI + IDL 断裂构造自动提取的实现流程如图 3 所示,主要分为三个步骤,即影像增强处理、自动提取算法实现、实验验证与分析。影像增强处理主要是对实验数据进行主成分变换和比值运算处理,以增强断裂构造的线性信息便于后面的算法

提取。自动提取处理主要包括对影像进行 LEEFILT 滤波处理、Canny 边缘检测和 Hough 变换直线检测。结果验证与分析是将实验影像处理的结果进行对比验证和分析。

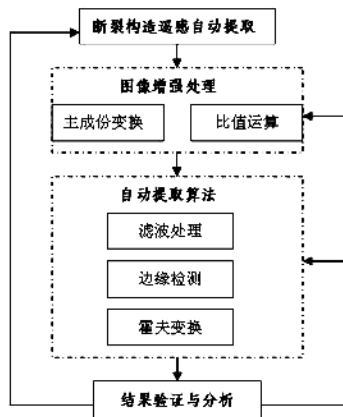


图3 断层自动提取流程

3.3 基于 ENVI + IDL 的算法实现

算法实现主要分为两部分,即图像增强处理的实现和自动提取算法的实现。

3.3.1 影像增强处理实现

包括主成分变换提取第一主成分和波段比值运算。

1) 主成分变换

实验调用 ENVI/IDL 的二次开发函数来执行主成分分析,并提取第一主成分。主成分函数如下:

```
ENVI_DOIT, ENVI_STATS_DOIT, FID = fid,
POS = pos, DIMS = dims, $
MEAN = avg, EVAL = eval, EVEC = evec,
COMP_FLAG = 5
```

```
ENVI_DOIT, PC_ROTATE, FID = fid, POS =
pos, DIMS = dims, $
```

```
MEAN = avg, EVAL = eval, EVEC = evec,
OUT_DT = out_dt, $
```

```
OUT_NAME = out_name, out_bname = out_
bname, OUT_NB = 1, $
```

```
R_FID = r_fid, /no_plot, /FORWARD
```

其中,函数(1)主要是用来计算主成分变换时的统计值,函数(2)用来执行主成分变换。其中的参数 fid 是个整形变量,表示执行主成分变换的文件编号, pos 是个整形一维数组,表示文件 fid 的波段顺序, dims 也是 5 个元素的一维整形数组,第 0 个元素表示指向 ROI 的指针,其他的元素表示文件的行列的起始大小, out_dt 表示输出文件的数据类型, out_name 表示输出文件的路径名称, out_bname 表示输

出文件的波段名, out_nb 表示输出主成分波段的数目,此处为 1。

2) 波段比值运算,使用第四波段和第三波段影像进行比值运算的步骤如下:

(1) 确定波段比值运算表达式 float (B4)/float (B3)。

(2) 分别给变量 B4 和变量 B3 赋予影像 B4 波段和 B3 波段数据。

(3) 调用 ENVI 函数库的函数,如下:

```
ENVI_DOIT, MATH_DOIT, FID = t_fid, POS =
pos, DIMS = dims, $
```

```
EXP = exp, OUT_NAME = out_name, R_FID = r_
fid
```

其中,参数 t_fid 为全部参与计算的影像文件编号数组, pos 为参与计算的影像文件波段数组, dims 为任何一幅影像的由 5 个元素组成的数组,第一个元素为指向影像感兴趣区的指针,其余元素为影像起始和终点像素坐标,参数 exp 为①中的波段比值表达式, out_name 为输出文件的路径和名称。

3.3.2 自动提取算法实现

主要包括滤波处理、边缘检测和霍夫变换。

1) 滤波处理,此过程就是为了消除影像中的噪声干扰,分别调用 IDL 所带的三个不同的滤波函数进行比较。

```
RESULT = SMOOTH(Array, width)
```

函数(1)为 IDL 自带平滑滤波函数,其中 RESULT 为返回的结果值,参数 Array 为需要处理的影像数据, width 为邻域窗口宽度。注意:在这一步要反复执行 25 - 35 次平滑滤波才能得到较好的效果。

```
RESULT = MEDIAN(Array, width)
```

函数(2)为 IDL 自带中值滤波函数,其中参数 Array 和 width 同函数(1)参数一样。

```
RESULT = LEEFILT(Array)
```

函数(3)为 IDL 自带滤波函数,参数 Array 同上。

2) 边缘检测

Canny 算子的主要过程:(1)用高斯滤波器平滑图像;(2)用一阶偏导的有限差分来计算梯度的幅值和方向;(3)对梯度幅值进行非极大值抑制;(4)用双阈值算法检测和连接边缘。

在这里我们直接调用 IDL 封装的 Canny 函数来进行边缘检测,此函数原型如下:

```
RESULT = CANNY(image)
```

其中参数 image 就是需要进行边缘检测的影像

数据,Result 为返回值。

3) 霍夫变换

现有的线性特征提取的方法有很多,如轮廓跟踪、线条跟踪检测和模式识别技术等等。霍夫变换是一种快速匹配技术,相对于轮廓跟踪和线条跟踪检测来说有检测连线长和不易受干扰的优点,相对于模式识别有简单和无需训练的优点(孙立方)。其主要过程如下:

- (1) 定义一个数组 $H(p_i, \theta_i)$ 作为累加器,它的每个元素的下标代表变换空间各点的位置,其值表示通过该点的直线的条数,将 $H(p_i, \theta_i)$ 初始化为 0;
- (2) 遍历每个像素点,找到待测的特征点 (x_i, y_i) ;
- (3) 对于变量 θ ,从 0 ~ 180 遍历,增量为 1;
- (4) $p_i = x_i \cos(\theta_j) + y_i \sin(\theta_j)$;
- (5) $H(p_i, \theta_i) = H(p_i, \theta_i) + 1$ 。

3.4 结果验证与分析

为了对算法进行评估和分析,笔者选择了武夷山地区的部分 TM 影像作为数据源,实验影像大小为 400X400 像素,如图 4、5 所示)。如图 6 是 TM4 波段比 TM3 波段影像基于 MEDAIN 滤波器 25 次滤波后的解译成果,大于或者小于 25 次的解译效果都不是很好。图 7 是 TM4 波段比 TM3 波

段影像基于 SMOOTH 滤波器 15 次后的解译效果,图 8 是 TM4 波段比 TM3 波段影像基于 5 次 LEEFILT 滤波器解译效果,通过波段比值影像的三种实验结果可以看出,提取算法中滤波器的选择和合适的滤波次数是关键,LEEFILT 滤波只需 5 次就可以达到较好的效果,大大减少了整个算法的提取时间。图 9 是第一主成分影像经过 25 次 MEDIAN 滤波后的解译;图 10 是第一主成分影像经过 15 次 SMOOTH 滤波后的解译成果;图 11 是第一主成分影像经 5 次 LEEFILT 滤波后的解译成果,从这组解译效果图也可以看出在滤波器的选择上 SMOOTH 滤波器和 LEEFILT 滤波器比 MEDIAN 滤波器有明显的优势。另一方面,上述两组图中还可以看出影像增强处理方法在断裂构造提取算法中的重要角色,例如图 7 和图 10 相比,图 7 中 SN 方向的解译效果比 EW 方向较好,图 10 中不但 SN 方向解译效果比图 7 少了一些无效的线条,而且 EW 方向也提取出了主要的断裂线。因此经过主成分变换提取第一主成分后解译的效果和相同条件下经波段比值运算处理后解译的效果相比,在保证达到较好效果的同时,也大大减少了算法提取时间,所以在断裂构造特征提取之前必须要对数据源进行主成分变换。

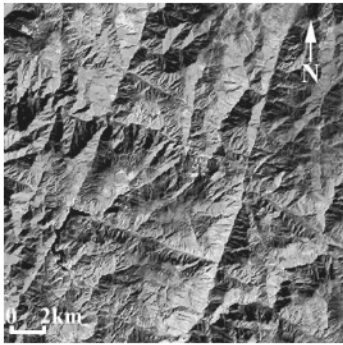


图 4 TM5、4、3 波段合成的 RGB 假彩色图

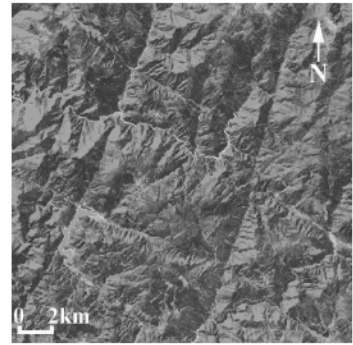


图 5 第 1、2、3 主成分合成的假彩色图

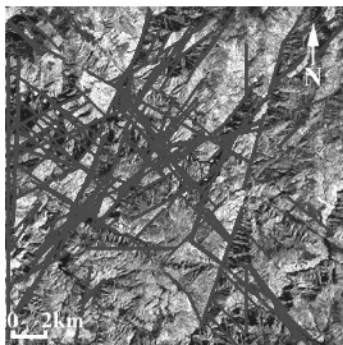


图 6 B4/B3 经 25 次 MEDIAN 滤波后解译成果图

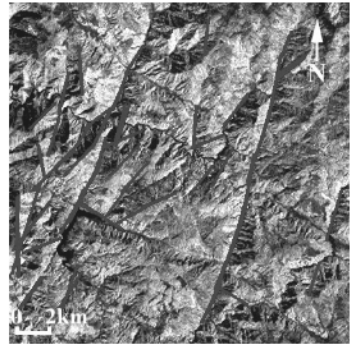


图 7 B4/B3 经 15 次 SMOOTH 滤波后解译成果图

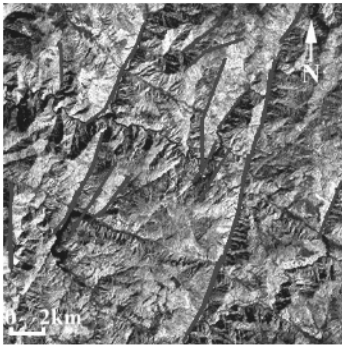


图 8 B4/B3 经 5 次 LEEFILT 滤波后解译成果图

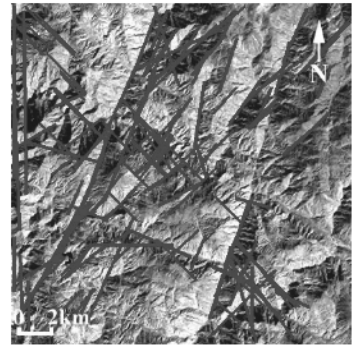


图 9 PCA-1 经 25 次 MEDIAN 滤波后解译成果图

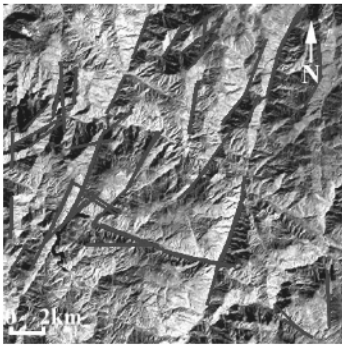


图 10 PCA-1 经 15 次 SMOOTH 滤波后解译成果图

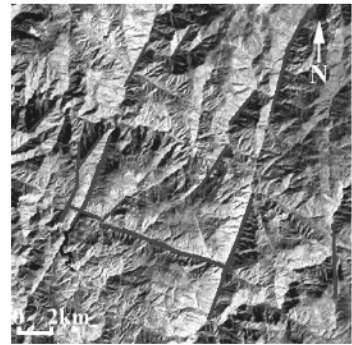


图 11 PCA-1 经 5 次 LEEFILT 滤波后解译成果图

4 结束语

断裂构造的研究是遥感领域内的重要课题, 具有较大的理论价值和研究意义, 随着遥感技术的不断发展, 利用遥感技术进行断裂构造特征识别、提取的方法和技术研究也在不断深入, 但是由于影响自动提取断裂构造的因素有很多, 因此和人工目视解译相比虽然在效率上有很大突破, 但是在精度上还有很大的差异。本文实现的自动提取方法主要是基于影像的光谱特征和纹理特征进行的, 没有充分考虑到影响断裂构造提取的各种因素, 也没有利用断裂构造的遥感解译标志去综合判断, 解译效果不是很理想, 因此我们所做的工作还是比较初步的, 有待于进一步做更加深刻和系统的研究。

参考文献:

[1] Raghavan V, Masljamotw S, Koike K, et al. Automatic Lineament Extraction from Digital Images Using a Segment Tracing and Rotation Transformation Approach[J]. Com-

puters & Geosciences, 1995, 21(4): 555-591.

- [2] 王今飞. 遥感卫星图像中线性地质特征的自动提取[J]. 第四纪研究, 2000, 20(3): 252-258.
- [3] 孙方立, 阮秋琦. 基于霍夫变换的断层地质构造识别研究[J]. 铁路航测, 1997(2): 29-33.
- [4] 于波, 肖红. 基于 RBF 网络的断层自动识别[J]. 福建电脑, 2006(10): 133-134.
- [5] 杨朝辉, 苏群. IDL 语言在地面沉降可视化研究中的应用[J]. 苏州科技学院学报, 2005(3).
- [6] 彭丹青, 李京, 陈云浩, 等. 基于卫星遥感数据的地质断裂分形研究[J]. 自然灾害学报, 2008(12).
- [7] 隋志龙, 李德威, 黄春霞. 断裂构造的研究方法综述[J]. 地理学与国土研究, 2002(8).
- [8] 赵洪亮. 基于霍夫变换改进的直线检测与定位[J]. 激光与红外, 2009(9).
- [9] 聂斌, 胡冬梅, 张琳. IDL 及其在医学图像处理中的应用[J]. 中国中西医结合影像学, 2005.
- [10] 孙方立, 阮秋琦. 基于霍夫变换的断层地质构造识别研究[J]. 北方交通大学, 1996(12).