

地球物理位场图象特征信息自动提取

陈永良^{1,2)} 刘大有^{1,2)} 虞强源¹⁾

¹⁾(吉林大学计算机科学系, 长春 130012)

²⁾(吉林大学符号计算与知识工程教育部重点实验室, 长春 130012)

摘要 提出了一种自动提取地球物理位场水平一阶导数图象中局部极大(极小)值线的有效方法。该方法的基本原理是,首先用方向剖面法识别出地球物理位场水平一阶导数图象中的局部极大(极小)值点;然后,用旋转变换方法搜索出各个方向展布的局部极大(极小)值线的端点;最后,根据极值线共线和钝角相交的合并规则将极值线合并成折线,并删除过短的极值线,从而获得地球物理位场水平一阶导数局部极值线的矢量图。用山东半岛航磁图做试验,自动提取结果与目视解释结果基本吻合,从而证明了方法的有效性。

关键词 位场图象 局部极大 局部极小 方向剖面 旋转变换

中图分类号: TP391.41 P631-39 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2002)02-0132-05

Automatic Feature Extraction from Geophysical Field Images

CHEN Yong-liang^{1,2)}, LIU Da-you^{1,2)}, YU Qiang-yuan¹⁾

¹⁾(Computer Science Department of Jilin University, Changchun 130012)

²⁾(Key Laboratory of the Ministry of Education for Symbolic Computing and Knowledge Engineering, Jilin University, Changchun 130012)

Abstract In this paper, a new approach for automatic extracting the local maximum (or local minimum) lines from the first horizontal derivative images of geophysical fields is proposed. The basic procedure of this method is as follows: First, the directional profile method is applied to recognizing local maximum (or local minimum) pixels from the field images. Then, the rotation transformation method is applied to searching maximum (or minimum) line endpoints in all directions. Finally, a vector map for the local extreme lines of the first horizontal derivative images of geophysical fields is obtained through that, the closely spaced lines are merged into broken lines in line with the line-merged regulations, and that all of short lines are eliminated. The aeromagnetic map of Shandong peninsula was served as the experimental image. The experimental results showed that the local extreme lines both extracted automatically and interpreted manually are basically identical. It proved that the method is effective.

Keywords Field image, Local maximum, Local minimum, Directional profile, Rotation transformation

0 引言

识别和提取地球物理位场图象中的特征信息是地球物理位场图象应用研究的一个重要环节。传统方法主要靠地球物理学家对纸张地图的目视分析来完成信息的识别和提取。随着GIS技术在地学中的

广泛应用,纸张地图形式的地球物理位场图象已逐渐被数字图象所取代,因此,探讨基于数字图象的地球物理位场特征信息自动提取方法是十分必要的。地球物理位场图象中的特征信息,主要是指通过位场图象特征变化反映出来的各种物性界面,如重力界面、磁性界面、地震波速面等。这些物性界面在位场图象中常常表现为位场观测值变化的梯度带,据

基金项目:吉林省科委项目(961008),国家自然科学基金项目(69883003)

收稿日期:2000-11-20;改回日期:2001-05-09

此,高强等人提出了^[1]自动生成重磁位场最大梯度二值图象的最大梯度追踪方法;杜德文等人^[2]将最大梯度追踪方法与旋转变换方法^[3]有机地结合起来,用来自动生成重磁位场最大梯度的矢量图象.这种最大梯度追踪方法是以地球物理位场原始图象为基础提取特征信息的,因此,可能会遗漏许多特征不太明显却很重要的特征信息.

为了不遗漏地球物理位场图象中的特征信息,研究者们常常对地球物理位场观测数据进行特定的数据处理,使新的位场图象强化特定的地球物理信息.常用的位场图象有地球物理位场解析延拓图象、方向水平一阶导数图象、垂直方向二阶导数图象等,其中,水平方向一阶导数图象是比较常用的重磁位场图象,地球物理学家常用该图象中的局部极大(极小)值线来推断地质构造,因此,提取地球物理位场水平一阶导数图象中的局部极大(极小)值线就非常重要.本文主要讨论重磁位场水平一阶导数图象中局部极大、极小值线的自动提取方法.

重磁位场水平一阶导数图象的局部极大(极小)值线与DEM中的山脊(山谷)线很相似,两者都是由局部极大(极小)值点的连接线构成的,所不同的是,DEM中的山脊(山谷)线是由一系列层次关系明显的曲线构成的,而重磁位场水平一阶导数图象中的局部极大(极小)值线则由一系列直线(或折线)所构成;另外,在一个流域范围内,不同层次的山脊(山谷)线之间是相互连通的,从山脊(山谷)线上的任意一点出发跟踪山脊(山谷)线,总可以遍历山脊(山谷)线上的所有结点;而水平方向一阶导数图象中的局部极大(极小)值线没有层次关系,不同的极值线之间可以相交或平行,它们的空间分布特征受地质构造的控制.

鉴于地球物理位场水平一阶导数图象中的局部极大(极小)值线的上述特征,对文献[4]中的山脊(山谷)点的自动识别方法进行了修改,使其更适合于位场图象中局部极值点的自动识别,同时,也对文献[3]中提供的极值线端点自动搜索方法进行了修改,提出了一种新的极值线合并原则,并应用于地球物理位场水平一阶导数极值线矢量图的自动生成,使地球物理位场水平一阶导数极值线的自动提取方法达到了实用化水平.

1 局部极值点的自动识别

对于地球物理位场图象中的每一个象素点,以

该点为中心分别沿SN、NE-SW、EW、NW-SE方向做有限长度的剖面(图1).剖面线的长度可以取3,5,7,9个象素.对每一方向的剖面,均比较剖面中心象素与两侧象素的地球物理位场数据的相对大小,如果某一方向的剖面线满足以下条件:剖面线中心象素的地球物理位场值向两侧依次降低(或升高),那么,剖面中心点即为可能的局部极大(或极小)值点;否则,剖面中心点就是非极值点.

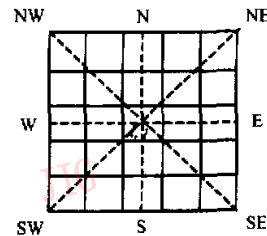


图1 中心点位于第*i*行第*j*列长度为5pixels时4个方向的剖面线示意图

用方向剖面法自动识别地球物理位场图象中的局部极值点时,要根据图象的特点适当选择剖面线的长度.如果图象的位场数据起伏不大,而且绝大多数极值线的规模较大,这时,可以适当增加剖面线的长度;如果图象的位场数据起伏较大,极值线的数量多而规模小,那么就要适当减小剖面线的长度.

可以用三态数据(-1,0,1)表示局部极值点的识别结果,-1,0,1分别表示极小值点、非极值点和极大值点.局部极大、极小值点可以分别用两个二值图象来表示,其中一个表示局部极大值点的空间分布,而另一个则表示局部极小值点的空间分布.

2 极值线的自动追踪、合并与筛选

极值线的追踪、合并与筛选可以通过改进的旋转变换过程来实现.旋转变换过程可以概括为:对用方向剖面法获得的局部极值点的栅格图象,以图象中心为原点旋转一个角度 α 获得一个新栅格图象,然后分别沿新栅格图象的行和列方向搜索图象中所存在的极值线(段)端点,将这些端点逆向旋转回到原坐标系,从而获得走向为 α 和 $\frac{\pi}{2} + \alpha$ 的极值线(段)端点图象.该过程的工程流程如图2所示.

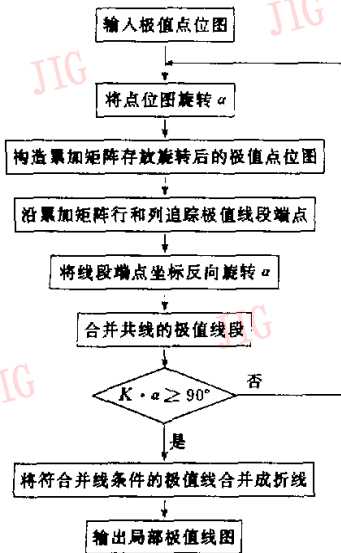


图2 旋转变换法提取极值线工程流程图
(图中K代表累计旋转次数)

该过程的基本算法分以下7个步骤:

第1步 将极大(极小)值点栅格图象中的每一个象素旋转一个角度 α ,象素的新旧坐标变换公式为

$$\begin{cases} x' = x \cos \alpha + y \sin \alpha \\ y' = -x \sin \alpha + y \cos \alpha \end{cases}$$

这里, x, y 为象素的原始坐标, x', y' 为象素的新坐标.

第2步 确定一个累加矩阵存放旋转后的图象.累加矩阵的相对大小取决于所选择的量化区间 iro 的相对大小.一般来说, iro 的大小应近似等于原始图象对角线长度的整数值.首先将累加矩阵的所有元素值初始化为0,当原始图象中的某一个象素值为1时,累加矩阵对应元素的值加1,重复该过程,直到处理完原栅格图象中所有值为1的象素为止.这样,便形成了与旋转变换后的新栅格图象对应的累加矩阵.

第3步 分别沿累加矩阵的行和列方向进行搜索.若行(或列)元素的值等于1,则认为该元素位于某极值线上.若值为1的元素的累计长度大于预先给定的长度阈值 T_1 ,则认为存在一条极值线(段),并将该极值线(段)的两个端点保存到文件中.

第4步 将端点坐标按相反方向旋转回到原坐标系.逆向旋转的坐标变换公式为

$$\begin{cases} x = x' \cos \alpha - y' \sin \alpha \\ y = x' \sin \alpha + y' \cos \alpha \end{cases}$$

第5步 将走向相同(或相近)、线段间距离“很小”的极值线合并成一条直线.极值线合并的过程分两个阶段来完成.第1阶段用阈值法合并走向相同的两条极值线.为了使极值线的合并结果接近于领域专家的目视解译结果,这里采用一种长度距离比阈值作为合并两条极值线的标准.长度距离比阈值法的实质是,当两条极值线位于一条直线上时,如果这两条极值线的长度和与两条极值线距离最远的两个端点之间的距离之比大于某一给定的阈值,那么就将这两条极值线合并成一条直线.第2阶段的极值线合并过程在第7步中完成.两条极值线共线的条件为:

$$\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{y_4 - y_3}{x_4 - x_3}$$

和

$$\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{y_3 - y_1}{x_3 - x_1} \quad \text{或} \quad \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{y_4 - y_1}{x_4 - x_1}$$

这里, $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ 和 $(x_3, y_3), (x_4, y_4)$ 分别是两条极值线的端点坐标.第1个条件说明两条极值线的斜率相同,即两条极值线平行;第2个条件说明第2条极值线的一个端点位于第一条极值线上.

假设长度距离比阈值为 $T_{LD}(0 \leq T_{LD} \leq 1)$,而且两条极值线的端点坐标满足条件:

$$x_1 \leq x_2 \leq x_3 \leq x_4 \quad \text{和} \quad y_1 \leq y_2 \leq y_3 \leq y_4$$

那么,两条极值线合并的条件为

$$\frac{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} + \sqrt{(x_4 - x_3)^2 + (y_4 - y_3)^2}}{\sqrt{(x_4 - x_1)^2 + (y_4 - y_1)^2}} \geq T_{LD}$$

第6步 判断累计旋转角度是否大于或等于 90° ,如果是则进行第7步,否则,返回第1步.

第7步 将走向相近的极值线合并为折线,并删除长度小于某一阈值 T_0 的极值线.当两条极值线距离最近的两个端点之间的距离小于某一距离阈值 T_1 ,而且距离最大的两个端点之间的距离平方与两条极值线长度平方之和的比值大于角度阈值 T_2 时,就将这两条极值线合并为折线.

对于两条走向相近的极值线,假设距离较近的两个端点是 (x_1, y_1) 和 (x_3, y_3) ,距离较远的端点是 (x_2, y_2) 和 (x_4, y_4) ,那么,当满足条件:

$$(x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2 \leq T_1$$

和

$$\frac{(x_4 - x_2)^2 + (y_4 - y_2)^2}{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (x_4 - x_3)^2 + (y_4 - y_3)^2} \geq T_2$$

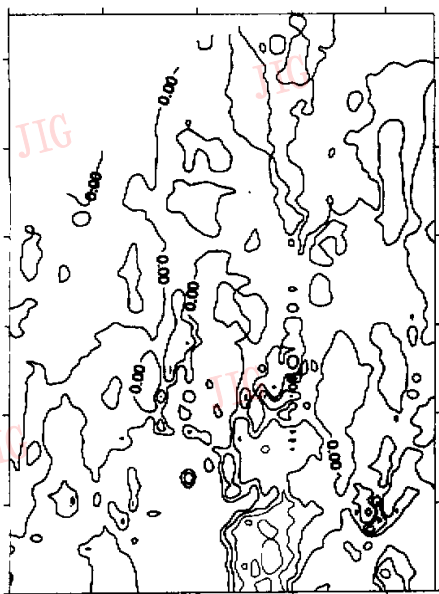
时,将两条极值线合并为一条折线.

3 研究实例及结论

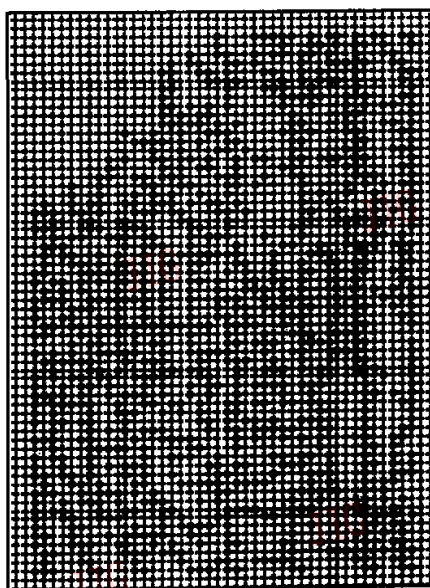
本实例的地球物理位场数据取自我国山东半岛的 1:50 万航磁测量数据,航磁原始数据为 66 行×46 列的点阵式数据,对应的平面等值线图如图 3(a)

所示. 首先将数据网格中无位场观测数据的点用 $1.70141E+38$ 充填,再进行航磁数据化极、向上延拓处理(上延高度为 5km),最后,根据延拓数据求 90°方向水平一阶导数,水平一阶导数等值线图如图 3(c)所示.

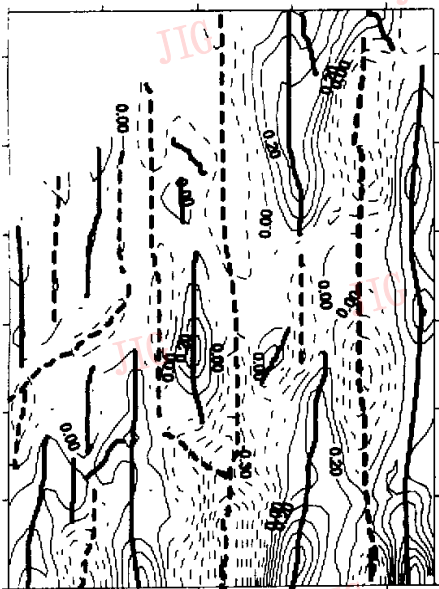
用方向剖面法(剖面线长度为 3pixels)自动识



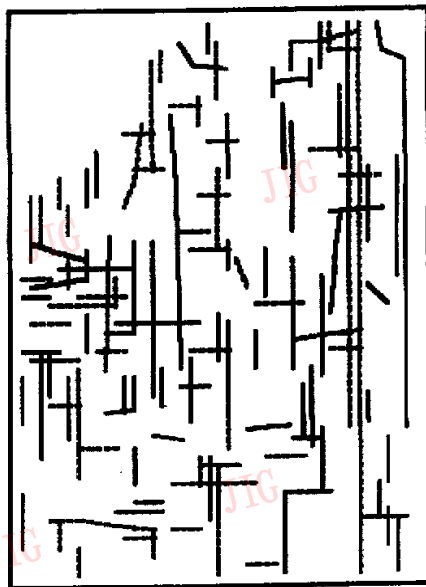
(a) 航磁原始数据平面等值线图



(b) 水平一阶导数局部极值点分布图



(c) 手工方法提取的水平一阶导数极值线图



(d) 自动提取的水平一阶导数极值线图

图 3 用方向剖面法和旋转变换法提取航磁水平一阶导数极值线成果图

别水平一阶导数图中的局部极值点,识别结果如图3(b)所示(图中实心点为极大值点,空心点为极小值点).用旋转变换法提取水平一阶导数的局部极大值线和极小值线,自动提取结果如图3(d)所示(实线表示极大值线,虚线表示极小值线).旋转变换的坐标轴定量区间 $iro=80$, 每一步旋转变换的角度间隔为 $\alpha=5^\circ$, 极值线搜索的长度阈值 $T_L=3$. 第1阶段极值线合并的长度距离比阈值 $T_{LD}=0.7$; 第2阶段极值线合并的距离阈值 $T_1=15.0$, 角度阈值(距离最大的两个端点之间的距离平方与两条极值线长度平方和的比值) $T_2=1.2$. 过短极值线剔除的长度阈值 $T_3=7.0$.

为了检验自动提取方法的有效性,以水平一阶导数等值线图(图3(c))为底图,用目视解译方法提取极值线,并标绘在底图上.对比图3(c)的目视解译结果和图3(d)的自动提取结果可见,两种方法的提取结果基本上是吻合的.对比两种提取结果还可以看出,自动提取方法对导数值的变化更敏感,只要导数值存在微小波动且在走向上具有一定规模就可以被提取出来,因而不会遗漏任何极值线.目视解译方法主要依靠等值线图的几何特点来识别和提取极值线,因而提取结果在一定程度上,受等值线生成算法和等值线疏密程度等因素的影响,另外,微小的波动肉眼很难根据等值线图的特征将其识别出来.因此,与自动提取方法相比,目视解译方法比较容易遗漏极值线.

参考文献

- 1 高强,程方道. 重磁图象信息计算机自动提取及识别方法探讨[J]. 物探化探计算技术,1993,15(2):122~127.

- 2 杜德文,马叔琴. 一种重磁特征线自动提取方法[J]. 物探化探计算技术,1996,18(1):52~55.
- 3 Raghavan V, Masumoto S, Koike K *et al.* Automatic lineament extraction from digital images using a segment tracing and rotation transformation approach [J]. Computers and Geosciences, 1995, 21(4):555~591.
- 4 Chang Y C, Song G S, Hsu S K. Automatic extraction of ridge and valley axes using the profile recognition and polygon-breaking algorithm [J]. Computers and Geosciences, 1998, 24(1):89~93.



陈永良 1965年生,吉林大学地球探测与信息技术学院副研究员,数学地质博士,计算机博士后.现主要从事矿产资源评价、数学地质方法、计算机图形图像处理、地理信息系统开发等方面的研究工作.



刘大有 1942年生,吉林大学计算机科学系主任,教授,博士生导师.现主要从事模式识别、分布式人工智能、知识工程、组件式地理信息系统等方面的研究工作.



虞强源 1973年生,吉林大学计算机科学系讲师,在职博士研究生.现主要从事知识工程、组件式地理信息系统等方面的研究工作.