

一种新的山脊线和山谷线自动提取方法

陈永良 刘大有

(吉林大学计算机科学系; 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 提出了一种新的自动提取山脊线和山谷线的方法——方向剖面法。该方法可以根据穿过高程数据点的各个方向的剖面线特征, 自动识别 DEM 中可能的山脊点和山谷点; 然后, 用修正的 Hilditch 细线化算法筛选山脊点和山谷点; 接着再把筛选后两两相邻的山脊点或山谷点连接起来, 形成山脊线或山谷线的“雏形”; 最后, 将山脊线或山谷线“雏形”中封闭的三角形断开, 并剔除过短的山脊线和山谷线。用真实 DEM 数据进行试验研究, 其自动提取的山脊线和山谷线与高程等值线图反映的地形起伏基本一致, 从而证明了该方法的有效性。

关键词 山脊线 山谷线 方向剖面法 细线化算法

中图分类号: TP391 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2001)12-1230-05

A New Method for Automatic Extraction of Ridge and Valley Axes from DEM

CHEN Yong-liang, LIU Da-you

(Computer Science Department of Jilin University, Changchun 130012)

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

Abstract In this paper, a new method for automatic extraction of ridge and valley axes from DEM, named as Directional Profile Approach (DPA), is proposed. DPA can automatically determine whether a grid-point in DEM is a possible ridge (or valley) grid-point, according to the features of the profiles through this grid-point. Applying this new method to extracting ridge and valley axes automatically from DEM, the following several procedures must be accomplished: First, the all elevation grid-points which may be located in ridge and valley lines are automatically recognized with DPA. Then the modified Hilditch thinning algorithm is applied to selecting the ridge and valley grid-points recognized by DPA. Third, the every two neighboring ridge points or valley points are connected and rudimentary form of the ridge or valley axes is constructed. Finally, the closed triangles in ridge and valley axes are broken and the short branches are removed. A real DEM was used for testing data, the ridge and valley axes extracted automatically by this method can basically represent the topographic features of the corresponding topographical map. Therefore, this new method is effective.

Keywords Ridge axe, Valley axe, Directional profile approach, Thinning algorithm

0 引言

在地理学领域, 应用地理信息系统(GIS)从 DEM 数字高程数据或数字图象(digital image)中提取区域性特征信息是一项很重要的研究工作。在以往的文

献中, 中外学者提出了许多适用于不同研究目的的特征信息自动提取方法。例如, 文献[1]提供了一种提取卫星图象中线性影象的神经网络方法; 文献[2]提供了一种提取遥感图象中线性影象的片段追踪和旋转变换方法; 文献[3]~[6]提供了一种提取数字图象中物体外部轮廓线的阈值方法; 文献[7]~[9]提供了一

种提取 DEM 中自然水系的 D8 法;文献[10]提供了一种从 DEM 中提取山脊线和山谷线的剖面识别和多边形裂开方法;文献[11]提供了一种从 DEM 中提取山脊线和山谷线的频率域一阶方向导数方法.在上述特征信息提取方法中,文献[1]~[6]中所提供的方法主要是根据数字图象中像素的灰度变化特征来确定灰度的突变部位,这些突变部位是不同空间实体之间的分界线;文献[7]~[9]主要是根据水流总是沿斜坡最陡方向流动的原理来确定出特定流域范围内的自然水系;文献[10]、[11]主要是根据不同高程点的高程值来确定 DEM 中的局部极值点并将其连成山脊线和山谷线.

虽然文献[10]和文献[11]中提供的山脊(谷)线自动提取方法都是可行的,但是这两种方法的运算量都较大.文献[10]中的方法所确定的山脊点和山谷点数目众多,构成了山脊(谷)点的宽带,从而使后续的山脊(谷)点之间的连接和山脊(谷)点连接线的筛选算法运算量特别大;文献[11]中的方法需要对数字高程数据做傅立叶变换,然后,再每隔 5° 计算一个方向导数,其运算量可想而知.本文提出的山脊线和山谷线自动提取方法由于不涉及数值计算,方法的运算量相对较小,处理速度较快.该方法与文献[10]方法的不同之处在于山脊(谷)点确定规则和连接线筛选方法均不相同.

1 山脊线和山谷线的基本特征

从整体上看,在一个流域内,发育完好的山脊(谷)线构成层次关系明显的“树形结构”.在该结构中,“树干”对应于主干山脊(谷);与“树干”相连的“干枝”对应于低一级的山脊(谷);“干枝”上发育的“小枝”对应于更低一级的山脊(谷);…….山脊(谷)线常常有许多级,除主干山脊(谷)及最低一级的山脊(谷)以外,每一级山脊(谷)均附着在它上一级山脊(谷)上,同时,又是它下一级山脊(谷)的依附对象.

在 DEM 中,一个山脊(谷)点是沿某一方向高程数据变化的局部极大(极小)值点.而一条山脊(谷)线则可以看成是由一系列离散的山脊(谷)点构成的“链”.如果沿山脊(谷)线的法线方向,穿过某一山脊(谷)点做一条短剖面,那么,山脊(谷)点的高程值必高(低)于其两侧相邻数据点的高程值.

实际的地形地貌中,常常存在鞍点、洼地和小平原.这些特殊地形的存在需要对 DEM 做一些预处理

工作.在 DEM 中,鞍点在一个方向上表现为局部极小值点,而在另一个方向上则表现为局部极大值点.用如下方法可以确定鞍点:当某一高程数据点沿某一方向是局部极大值点而沿另一方向为局部极小值点时,该点为山脊线上的鞍点.小平原是由 DEM 中高程相等的的数据点构成的区域.洼地是以一个局部高程最低点为中心构成的 DEM 中的凹陷区.在小平原和洼地中,存在山脊(谷)线的延伸部分.由于 DEM 的分辨率不够,高程数据无法反映出小平原和洼地内的地形起伏,在这种情况下,可以用洼地填充算法和平地起伏算法来改造 DEM 数据^[7~9],改造后的 DEM 数据即可反映出小平原和洼地内的地形起伏.

2 算法原理

以下均假设 DEM 数据已经进行了洼地填充和平地起伏处理.

2.1 山脊(谷)点的识别

$$\begin{cases} z(i, j-l) < z(i, j-l+1) \\ z(i, j+l) < z(i, j+l-1) \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} z(i-l, j) < z(i-l+1, j) \\ z(i+l, j) < z(i+l-1, j) \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} z(i-l, j-l) < z(i-l+1, j-l+1) \\ z(i+l, j+l) < z(i+l-1, j+l-1) \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} z(i-l, j+l) < z(i-l+1, j+l-1) \\ z(i+l, j-l) < z(i+l-1, j-l+1) \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} z(i, j-l) > z(i, j-l+1) \\ z(i, j+l) > z(i, j+l-1) \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} z(i-l, j) > z(i-l+1, j) \\ z(i+l, j) > z(i+l-1, j) \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} z(i-l, j-l) > z(i-l+1, j-l+1) \\ z(i+l, j+l) > z(i+l-1, j+l-1) \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} z(i-l, j+l) > z(i-l+1, j+l-1) \\ z(i+l, j-l) > z(i+l-1, j-l+1) \end{cases} \quad (8)$$

式(1)~(8)中, (i, j) 表示 DEM 中的数据点, i, j 分别表示数据点的行列坐标, $z(i, j)$ 表示高程, $1 \leq l \leq k$.

如果 DEM 中的数据点 (i, j) 是山脊点,则该点必是沿某一方向高程变化的局部极大值点.以该点为中心,建立一个 $(2k+1) \times (2k+1)$ ($k=1, 2, \dots, 5$) 的模板,那么,模板中各数据点的高程值必满足式(1)~(4)之中的一个.如果数据点 (i, j) 是山谷点,

则该点必是沿某一方向高程变化的局部极小值点。在以该点为中心的 $(2k-1) \times (2k+1)$ ($k=1, 2, \dots, 5$) 模板中, 各数据点的高程值必满足式(5)~(8)之中的一个。如果数据点 (i, j) 是鞍点, 那么该点是沿某一方向高程变化的局部极大值点, 而沿与该方向近于垂直的方向, 该点又是高程变化的局部极小值点。因此, 在以该点为中心的 $(2k+1) \times (2k+1)$ ($k=1, 2, \dots, 5$) 模板中, 各数据点既满足式(1)~(4)之中的一个又满足式(5)~(8)之中的一个。在山脊(谷)线提取算法中, 鞍点属于特殊的山脊点。

对于 DEM 中的每一个数据点, 都用式(1)~(8)来检查其高程值。如果数据点的高程值满足式(1)~(4)之中的一个, 该点即为可能的山脊点; 如果数据点的高程值不满足式(1)~(4), 却满足式(5)~(8)之中的一个, 则该点即为可能的山谷点。

2.2 山脊(谷)点的筛选

用上述方法确定的山脊(谷)点中, 有些点为孤立的(山脊(谷)点), 这些点应该剔除; 有些点在局部位置上构成了山脊(谷)点的宽带, 这些宽带部位应做细化处理。用改进后的 Hilditch 细线化算法^[12]处理山脊(谷)点, 既可以剔除孤立的(山脊(谷)点), 又可以将山脊(谷)点的宽带部位细线化。改进后的 Hilditch 细线化算法的原理如下:

约定山脊(谷)点的栅格值为 1, 非山脊(谷)点的栅格值为 0。算法中使用如下 A~G 共 7 个函数和如图 1 所示的 3×3 模板。

$$A(k) = \begin{cases} 1, p_k \text{ 为山脊(谷)点} \\ 0, p_k \text{ 为非山脊(谷)点} \end{cases} \quad k=1 \sim 8$$

$$A(0) = \begin{cases} 1, p_0 \text{ 为山脊(谷)点} \\ 0, p_0 \text{ 为非山脊(谷)点} \\ -1, p_0 \text{ 为待剔除的山脊(谷)点} \end{cases}$$

$$B(k) = 1 - |A(k)|$$

$$C(k) = \begin{cases} 1, A(k) = 1 \\ 0, A(k) \neq 1 \end{cases}$$

$$D(k) = \begin{cases} 1, |A(k)| = 1 \\ 0, |A(k)| \neq 1 \end{cases}$$

$$E(k) = 1 - |D(k)|, k=0 \sim 8$$

p_4	p_5	p_6
p_5	p_0	p_1
p_6	p_7	p_8

图 1 细线化模板

$$E(9) = E(1)$$

$$F = \sum_{i=N_1}^{N_2} \{E(i) - E(i) \times E(i+1) \times E(i+2)\},$$

$$N_1 = \{1, 3, 5, 7\}$$

$$G(k) = F^*, k=0 \sim 8, F^* \text{ 是 } A(k)=0 \text{ 时的 } F.$$

使用上述 7 个函数细线化处理过程如下:

(1) 将模板沿扫描线方向移动, 当下列 5 个条件全部满足时, 中心栅格置为 -1, 否则不作任何改变。

条件 1 $A(0) = 1$ (中心栅格为山脊(谷)点)

条件 2 $\sum_{i=N_2} B(2i-1) \geq 1, N_2 = \{1, 2, 3, 4\}$

(中心栅格位于山脊(谷)点宽带边缘)

条件 3 $\sum_{i=N_2} |A(2i-1)| \geq 2$ (不消除端点)

条件 4 $F = 1$ (保留连接性)

条件 5 $A(i) \neq -1$, 或 $G(i) = 1, i \in N_3,$

$N_3 = \{1, 2, \dots, 8\}$ (线宽为 2 的部分只消除一侧)

此步处理针对全部栅格逐个进行。

(2) 在第 1 步处理结束后, 将已赋 -1 的栅格值全部置为 0, 再次执行第 1 步。如此反复直至第 1 步处理的结果不再有 -1 的栅格出现, 处理结束。

(3) 删除孤立点 将模板沿扫描线方向移动, 当满足下列条件时, 中心栅格置为 0。

条件 1 $A(0) = 1$ (中心栅格为山脊(谷)点)

条件 2 $\sum_{i=1}^k C(i) = 0$ (中心栅格为孤立的(山脊(谷)点))

(谷)点)

此步处理针对全部栅格逐个进行。

2.3 山脊(谷)线的生成

将筛选后两两相邻的山脊(谷)点连接起来, 即形成了山脊(谷)线的雏形。在山脊(谷)线雏形中, 两条或多条山脊(谷)线交汇部位可能会出现封闭的三角形, 用以下处理过程可以将山脊(谷)线雏形中的封闭三角形断开:

(1) 沿扫描线方向移动一个 3×3 模板, 检查模板中是否存在两两相邻的 3 个山脊(谷)点, 如果存在, 就将高程较低(高)的 2 个山脊(谷)点之间的连接线从山脊(谷)线雏形中剔除。这一处理过程针对每一个山脊(谷)点逐个进行。

(2) 山脊(谷)线“雏形”中存在许多“短枝”, 它们并不是真正的山脊(谷)线, 而是一些随机干扰。将这些“短枝”从“雏形”中删除, 剩下的连接线即为真正的山脊(谷)线。这些“短枝”的特点是, “短枝”的

端与其他连接线之间没有连接关系,而另一端则与 2 个或 2 个以上的连接线之间存在连接关系。根据这一特点,即可以删除山脊(谷)线“锥形”中长度为 1 个栅格大小的“短枝”。

经以上两步的处理,即可得到最终的山脊(谷)线。

3 试验及结论

用真实的 DEM 数据对本文所述方法的有效性进行试验验证。实验所用的 DEM 数据为 48×52 的点阵式数字高程数据,采自我国新疆北部某地的 1:20 万地形图。在地形图上数据网格大小为 $1.5\text{mm} \times 1.5\text{mm}$,对应的实际范围是 $0.3\text{km} \times 0.3\text{km}$ 的小方格。在 DEM 中,缺失的高程数据用 1.70141×10^{11} 填充(此数字无量纲,只作为网格点

的数据缺失标志,用此标志可使高程数据与 Surfer 的输入数据具有相同的格式,便于用 Surfer 绘制高程等值线图)。图 2(a)为根据 DEM 数据用 Surfer 生成的高程等值线图;图 2(b)为用方向剖面法确定的山脊点和山谷点的位置图,图中黑实心圆点代表山脊点,灰空心圆点代表山谷点,符号“+”代表高程数据网格点;图 2(c)为山脊线和山谷线的锥形,图中的实线代表山脊线,虚线代表山谷线;图 2(d)为最终的山脊线和山谷线。对比图 2(a)和图 2(d),可以看出自动提取的山脊线和山谷线与高程等值线所反映出来的地形特征基本吻合。另外,用山东半岛的 1:50 万数字高程数据也进行了本文所述方法的试验研究(结果略),所提取的山脊(谷)线也基本反映了山东半岛的地形基本特征。上述试验结果证明了本文所述方法的有效性。

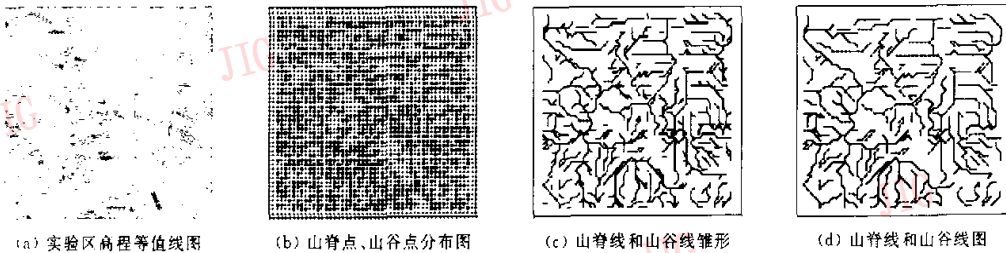


图 2 试验区高程等值线、山脊(谷)点和所提取的山脊(谷)线图

从 DEM 中自动提取山脊(谷)线的基本思路是,先识别可能的山脊(谷)点,再将山脊(谷)点连接起来构成山脊(谷)线。各种提取方法均采用这一思路,不同方法的区别在于实现这一思路的具体方式。文献[10]提供的方法是:首先,用“Profile Recognition”算法尽可能多地把高程点标示为可能的山脊(谷)点,形成山脊(谷)点的宽带;然后,将宽带中的山脊(谷)点连接起来,形成内含山脊(谷)线的网状连接;最后,把网状连接中的封闭多边形逐步断开,余下的连接线就构成山脊(谷)线。文献[11]提供的方法的实质是借助于高程数据的“频率域方向导数”特征来识别山脊(谷)点,其算法过于繁琐。与这两种方法相比,本文所述方法更简单易行。

应该指出的是,从 DEM 中自动提取山脊(谷)线的研究尚停留在初步探索阶段,山脊(谷)线的基本特征(如连通性、层次性等)还不能完全体现在算法中。因此,从理论上说,自动提取山脊(谷)线的算法还存在局限性。在今后的研究中,有必要将山脊(谷)线的区域性特征与局部性特征有机地结合起

来,并将这些特征尽可能地体现在算法中,使算法更实用,提取的结果更稳定可靠。

参考文献

- 1 Penn B S, Gordon A J, Wendlandt R F. Using neural networks to locate edges and linear features in satellite images [J]. Computers and Geosciences, 1993, 19(10): 1545~1565.
- 2 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.
- 3 Hills J S. Outline extraction of microfossils in reflected light images [J]. Computers and Geosciences, 1988, 14(4): 481~488.
- 4 Scott J G, Frank F. Edge detection in petrographic images using the rotating polarizer stage [J]. Computers and Geosciences, 1998, 24(8): 745~751.
- 5 Nelson D D, Full W E, Evangelista S. FORMA: A program in C to trace object peripheries for two-dimensional shape analysis [J]. Computers and Geosciences, 1996, 22(5): 683~695.
- 6 Knappertsbusch M W. A simple Fortran 77 program for outline detection [J]. Computers and Geosciences, 1998, 24(9): 897~900.

- 7 Martz L W, Jong E D. CATCH: A Fortran program for measuring catchment area from digital elevation models [J]. Computers and Geosciences, 1988, 14(5): 627~640.
- 8 Martz L W, Garbrecht J. Numerical definition of drainage network and subcatchment areas from digital elevation models [J]. Computers and Geosciences, 1992, 18(6): 717~761.
- 9 Martz L W, Garbrecht J. An outlet breaching algorithm for the treatment of closed depressions in a raster DEM [J]. Computers and Geosciences, 1999, 25(6): 835~844.
- 10 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): 83~93.
- 11 余生辰, 刘大有, 刘洪. 山脊线和山谷线的计算机自动检测[J]. 中国图象图形学报, 1999, 4(8): 693~696.
- 12 孙家广等. 计算机图形学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.



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。

中国仪器仪表学会第四届青年学术会议

征文通知

中国仪器仪表学会第四届青年学术会议将于2002年9月在北京召开, 本次会议由中国仪器仪表学会主办, 中国仪器仪表学会青年工作委员会、沈阳市仪器仪表与自动化学会、冶金自动化研究设计院承办, 大会顾问委员会由王大珩, 杨家坪, 金国藩, 张钟华, 庄松林, 卢佩章, 王立鼎, 唐九华, 黄尚廉, 王威琪等十位院士组成。

一、征文范围:

(1) 各种测量、计量、检测、监测、测试、试验、实验(以下统称测量)和控制方法研究; (2) 各类传感器, 敏感元件, 各类仪器仪表, 各种测量与控制装置的新原理, 新技术, 新元件, 新材料, 新工艺; (3) 模式识别(文字识别、图象识别、语音识别等)及应用; (4) 故障诊断; (5) 现场总线技术及应用; (6) 信息融合, 虚拟仪器, 软测量技术及应用; (7) 微电子机械系统(MEMS); (8) 在网络通讯, 生物医学工程, 材料工程, 环境监测, 安全工程, 智能建筑, 医学, 能源, 交通运输, 农业等领域涉及的测量与控制新技术; (9) 前沿综述与技术动态; (10) 工控机, PLC, 变频器, 组态软件等先进控制部件的应用; (11) 其他。

二、征文要求:

(1) 论文应具有较高学术或应用价值, 未公开发表; (2) 第一作者年龄不超过45岁; (3) 来稿请用Word97文稿编排, A4纸打印, 一式三份并附软盘, 排版要求请参考《仪器仪表学报》或《沈阳测控信息网》, 提供中英文摘要, 全文控制在二个版面以内; (4) 投稿时请注明文章所属类别(见征文范围); (5) 受各类基金资助的论文, 请注明项目名称及编号; (6) 请用A4纸打印论文题目, 作者姓名, 作者简历, 通讯地址, 邮编, 电话, 传呼, 手机, 电子信箱等; (7) 版权纠纷, 作者自负。

三、重要信息:

本次会议将评选优秀论文, 由中国仪器仪表学会颁发优秀论文证书。

本次会议录用论文将刊登在代表中国仪器仪表领域最高学术水平的学术性刊物, 《仪器仪表学报》2002年第4期增刊上, 并将送往EI, SCI, CA, SA, 日本科技文献速报等国际检索系统。

为便于交流, 在本次会议的会刊中将刊登参会作者的简历。

会议具体时间, 地点等信息请关注《沈阳测控信息网》, 网址: <http://www.syias.org.cn> 或 <http://www.cekong.com>。

四、重要日期:

论文截稿日期为2002年3月18日, 论文录用通知发出日期2002年4月15日。

五、投稿地址:

沈阳市铁西区南十三路1号29信箱(邮编110023)沈阳市仪器仪表与自动化学会 贾冬娜收。

电话: 024-25415320; 25691417 传真: 024-25415320 电子信箱: syias@online.ln.cn; webmaster@syias.org.cn