

# 基于地形梯度方向的山脊线和山谷线的提取

黄培之<sup>1</sup> 刘泽慧<sup>2</sup>

(1 深圳大学信息工程学院,深圳市南油大道 2336 号,518060)  
(2 深圳大学基建处,深圳市南油大道 2336 号,518060)

**摘 要:**利用有关数学原理从理论上对地形高程断面极值法进行了分析和深入的研究,指出了该方法的不足。提出了一种基于地形梯度方向的山脊线和山谷线的提取方法,该方法从理论上进一步完善了地形高程断面极值法。实验表明,该方法在提取山脊线和山谷线候选点时,能够克服高程断面极值法的诸多弊端,所提取的山脊线和山谷线的候选点与实际地形相符合。

**关键词:**山脊线;地形断面;流水方向;特征点

**中图法分类号:**P231.5

山脊线和山谷线是一个重要的地形特征,它在地形表示、测绘和工程设计等方面有着极其重要的作用。数字化地形资料(数字化等高线数据和 DEM 数据)中隐含有山脊线和山谷线的信息,从数字化地形资料中自动提取山脊线和山谷线的方法主要有二维等高线的形态(弯曲特性)特性分析方法<sup>[1]</sup>、三维 DEM 数据分析方法<sup>[2~9]</sup>(断面分析法和流水模拟法)以及二维等高线的形态分析和三维 DEM 数据分析相结合的方法<sup>[3,4]</sup>。分析现有的研究成果可以知道,对山脊线和山谷线理论上认识的不足以及地形噪音的存在一直阻碍着该问题的解决。这两个问题在某种程度上又相互关联和相互影响。本文深入研究了地形高程断面极值法<sup>[6]</sup>,从理论上对该方法进行了分析,对该方法的不足提出了进一步的完善措施。

## 1 地表曲面函数的梯度模型

设地表曲面函数为:

$$z = f(x, y) \tag{1}$$

则三维地形表面任一点处的梯度可表示为:

$$\vec{n} = (f_x, f_y) \tag{2}$$

式中,  $f_x = \partial f(x, y) / \partial x$ ;  $f_y = \partial f(x, y) / \partial y$ 。

根据函数梯度的定义知道,梯度矢量的方向

是使函数值增长且变化率最大的方向;梯度矢量的模是函数值增长最大的速度值<sup>[4]</sup>。

应用分析力学的理论可以证明,三维曲面上的一质点在仅受重力作用的条件下沿梯度的反方向运动<sup>[4]</sup>。对地表表面上的自然流水来说,其运动方向亦应为梯度的反方向。

## 2 断面极值法的理论分析

断面极值法的基本原理是分析组成 DEM 网格的纵横断面,找出断面上的高程极值点作为山脊线和山谷线上的候选点。其中极大值点是山脊线上的候选点,极小值点是山谷线上的候选点。再根据一定的规则对已得到的候选点进行筛选、排序,得到所需要的山脊线和山谷线<sup>[6]</sup>。

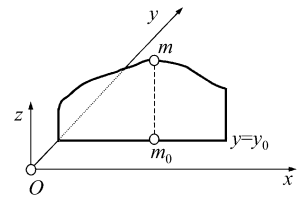


图 1 地形高程断面  
Fig. 1 A Terrain Profile

假设点  $m_0$  是地形断面  $y = y_0$  上的高程极大

值点,根据数学分析的有关知识得:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial f(x,y_0)}{\partial x} \Big|_{x=x_m} &= 0 \\ \frac{\partial f(x,y_0)}{\partial x} \Big|_{x < x_m} &> 0 \\ \frac{\partial f(x,y_0)}{\partial x} \Big|_{x > x_m} &< 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式(3)表明,当一动点由左到右沿断面  $y=y_0$  经过  $m$  点时,流水运动的方向(梯度反方向)由左方向改变为右方向(过  $m_0$  点垂直于断面  $y=y_0$  的方向为参考方向,如图 2(a)),即该点具有分水性。反之,若点  $m_0$  是地形断面  $y=y_0$  上的高程极小值点,则有:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial f(x,y_0)}{\partial x} \Big|_{x=x_m} &= 0 \\ \frac{\partial f(x,y_0)}{\partial x} \Big|_{x > x_m} &> 0 \\ \frac{\partial f(x,y_0)}{\partial x} \Big|_{x < x_m} &< 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

式(4)表明,当一动点由左到右沿断面  $y=y_0$  经过  $m$  点时,流水运动的方向(梯度反方向)由右方向改变为左方向(过  $m_0$  点垂直于断面  $y=y_0$  的方向为参考方向,如图 2(b) 所示),即该点具有合水性。

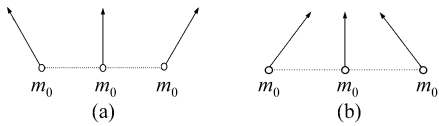


图 2 地形点的特性分析

Fig. 2 Analysis of Terrain Point Characteristic

从以上分析可以看出,断面极值法实质上是  
通过断面分析确定局部地形分水点和合水点。该方法在确定局部地形分水点和合水点时是假定选择的断面的垂直方向是当前分析点( $m$  点)的流水方向(参考方向)。显然,这与事实不全相符,有时甚至会出现错误。

笔者从图 3 所示地形中选择一个山脊线上的点(见图 3 中“·”)和一个山谷线上的点(见图 3 中“\*”)进行断面分析,其断面图见图 4、图 5(该图是所选择点的邻近局部区域地形断面情况)。

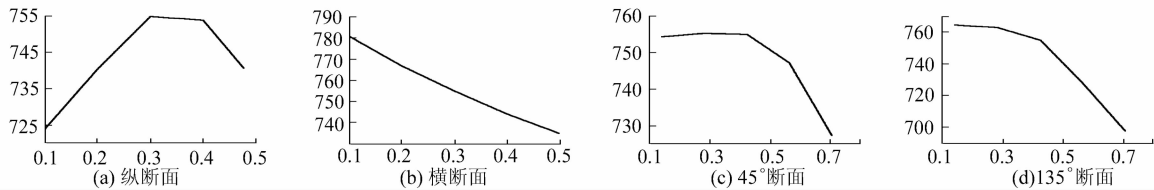


图 4 一个实验山脊线上点的断面

Fig. 4 Terrain Profiles of a Ridge Point

从图 4 和图 5 可以看出,这两个地形点都只是一个方向上的地形断面极值点。因此,仅采用两个正交断面(如纵横断面)来确定山脊线上和山谷线上的点会造成部分地形山脊线上和山谷线上的点丢失。文献[4]提出,在纵横断面法中增加一组对角线方向上的断面,能够有效克服这一弊端。但是,随着断面的增多,其误判点(即将非山脊线上、山谷线上的点误判为山脊线、山谷线上的点)也有所增加。因此,正确的选择断面对断面分析法来说非常重要。

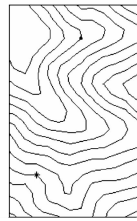


图 3 断面分析的地形

Fig. 3 Two Terrain Points for Analysis

### 3 基于地形梯度方向的山脊线和山谷线的提取方法

由上述分析可以知道,正确的选择断面是断面分析法获得可靠和正确成果的保证,也是高效算法设计的基础。原断面分析法的不足之处在于事先假定流水方向在纵横两个格网方向,这与地形实际情况不完全相符合。当其所选择的断面的垂直方向与实际地形流水方向偏差较大时,会产生遗漏,如图 4 所示的地形情况,在选择两个对角线方向的断面和图 5 所示的地形情况选择纵、横方向的两个断面时都会产生遗漏。若选择多个断面,不仅增加了计算量,又会出现将非山脊线上的点和非山谷线上的点误判为山脊线上的点和山谷线上的点。从理论上讲,在仅受重力作用下,地形表面上某点的流水方向是惟一的,即该点梯度的反方向。因此,将该点流水方向的垂直断面用作断面极值分析,理论上是最合理的。流水方向的垂直断面数据可以通过其邻近点内插获得<sup>[10]</sup>。

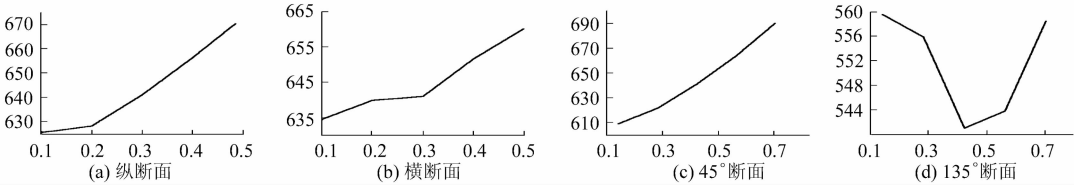


图 5 一个实验山谷线上点的断面  
Fig. 5 Terrain Profiles of a Valley Point

$G_{i+1,j-1}$	$G_{i+1,j}$	$G_{i+1,j+1}$
$G_{i,j-1}$	$G_{i,j}$	$G_{i,j+1}$
$G_{i-1,j-1}$	$G_{i-1,j}$	$G_{i-1,j+1}$

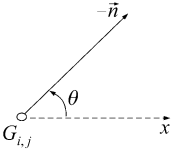


图 6 DEM 八邻域格网点 图 7 DEM 点的流水方向  
Fig. 6 Eight Neighbors for Grid Fig. 7 Falling Direction of Grid Point

为了提高效率,也可以通过该点的八邻域点(见图 6,  $G_{ab}$  处高程值为  $h_{ab}$ )近似获得。其具体方法如下。

1) 计算流水方向:

$$\theta_0 = \arctan((-f_y)/(-f_x)) \tag{5}$$

式中,  $f_y = \frac{h_{i+1,j} - h_{i-1,j}}{2\Delta_y}$ ;  $f_x = \frac{h_{i,j+1} - h_{i,j-1}}{2\Delta_x}$ 。

将式(5)的计算结果换算到(0°, 360°), 可用下述方法进行。

- ① 当  $f_x=0, -f_y>0$  时,  $\theta=90^\circ$ ; 当  $f_x=0, -f_y<0$  时,  $\theta=270^\circ$ 。
- ② 当  $-f_x>0, -f_y\geq 0$  时,  $\theta=\theta_0$ ; 当  $-f_x>0, -f_y<0$  时,  $\theta=360^\circ - |\theta_0|$ 。
- ③ 当  $-f_x<0, -f_y\geq 0$  时,  $\theta=180^\circ - \theta_0$ ; 当  $-f_x<0, -f_y<0$  时,  $\theta=180^\circ + |\theta_0|$ 。

2) 根据获得的流水方向,在该点八邻域点中选择近似断面,其方法如下。

- ① 当  $0^\circ<\theta\leq 22^\circ 30', 337^\circ 30'<\theta\leq 360^\circ, 157^\circ 30'<\theta\leq 202^\circ 30'$  时, 选择纵断面 ( $G_{i-1,j} G_{i,j} G_{i+1,j}$ );
- ② 当  $22^\circ 30'<\theta\leq 67^\circ 30', 202^\circ 30'<\theta\leq 247^\circ 30'$  时, 选择 135°断面 ( $G_{i-1,j+1} G_{i,j} G_{i+1,j-1}$ );
- ③ 当  $67^\circ 30'<\theta\leq 112^\circ 30', 247^\circ 30'<\theta\leq 292^\circ 30'$  时, 选择横断面 ( $G_{i,j-1} G_{i,j} G_{i,j+1}$ );
- ④ 当  $112^\circ 30'<\theta\leq 157^\circ 30', 292^\circ 30'<\theta\leq 337^\circ 30'$  时, 选择 45°断面 ( $G_{i-1,j-1} G_{i,j} G_{i+1,j+1}$ )。

根据上述原理,本文所设计的基于地形梯度方向的山脊线和山谷线的提取方法包括以下步骤:由 DEM 格网数据计算出每一点的流水方向,确定与该方向近似垂直的断面作为极值分析断面;对所选择的断面的中间点进行检测确定它是

否为极值点。当该断面如图 4(a)所示情况时,应该为极大值点;当该断面如图 5(d)所示情况时,应该为极小值点。

4 实验结果分析

为了验证本文所研究算法的正确性和有效性,笔者对一实验区域进行了实验。图 8 是该区域的三维地形透视图。建立该区域概略 DEM 时,格网距取值为 0.125。对该区域地形进行纵、横断面和两个对角线方向上的断面分析得到该区域的地形断面有 234 个极大值点和 218 个极小值点(见图 9)。从图 9 中可以看出,它含有大量的噪音。利用本文所设计的基于地形梯度方向的山脊线和山谷线的提取方法得到的该区域的地形断面有 89 个极大值点和 78 个极小值(见图 10)。

对实验结果(图 9、图 10)进行分析、比较可以知道,本文所提出的基于地形梯度方向的山脊线和山谷线的提取方法是行之有效的。由于在确定地形山脊线和山谷线上的点时能够顾及流水方向的变化,因而在提取山脊线和山谷线时有较强的抗噪音能力。同时,它又能够克服原断面分析法中容易产生山脊线和山谷线丢失等弊端。若对已获得的山脊线和山谷线的候选点进行跟踪、排序,可得到基于格网的山脊线和山谷线信息<sup>[2~4]</sup>。

5 结 语

本文对地形高程断面极值法提取山脊线和山谷线的方法进行了深入的研究,指出地形高程断面的选取是该方法有效地提取山脊线和山谷线的关键因素,而该方法仅应用纵、横两个方向的地形断面会产生对角线方向上山脊线和山谷线的丢失。简单地增加对角线方向上的两个地形断面虽然能够对原方法的不足之处进行一定的补偿,但它又会增加许多候选点,为后续山脊线和山谷线的跟踪带来不便。本文研究的基于地形梯度方向的山脊线和山谷线的提取方法采用与地形点流水

方向(梯度反方向)正交的地形断面来判定山脊线和山谷线上的候选点,从理论上进一步完善了地形高程断面极值法,它能够克服该方法的弊端。

实验结果表明,本文方法能够有效地提取隐含在数字化地形中的山脊线和山谷线的候选点。

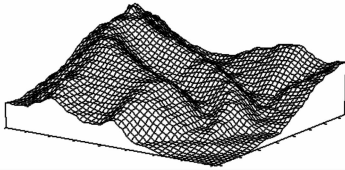


图 8 实验区域的三维地形透视图  
Fig. 8 A Perspective Map of Test Area

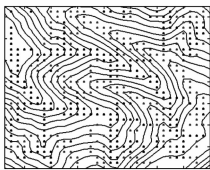


图 9 四断面提取的山脊线和山谷线  
Fig. 9 Feature Points Extracted by Four Terrain Profile

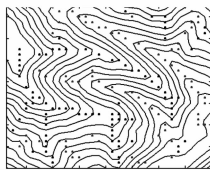


图 10 本文方法提取的山脊线和山谷线  
Fig. 10 Feature Points Extracted by the New Method

参 考 文 献

1 费立凡. 地形图等高线成组综合的试验. 武汉测绘科技大学学报,1993,18(增刊)

2 刘泽慧,黄培之. DEM 数据辅助的山脊线和山谷线提取方法的研究. 测绘科学,2003 (28):33~36

3 黄培之. 提取山脊线和山谷线的一种新方法. 武汉大学学报·信息科学版,2001,26(3):247~252

4 黄培之. 彩色地图分层与等高线分析:[博士论文]. 武汉:武汉测绘科技大学,1996

5 任立良,刘新仁. 数字高程模型信息提取与数字水文模型研究进展. 水科学进展,200,11(4):463~469

6 Pihas Y L. 数字地形模型中山脊线和山谷线的自动确定. 地图,1986(2)

7 Jenson S K, Domingue J O. Extracrting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. Photogrammetry Engi-

neering and Remote Sensing,1988, 54(11): 1 593~1 600

8 O' Callaghan J F. The Extraction of Drainage Networks from Digital Elevation Data. Computer Vision, Graphics,and Image Processing, 1984(28):323~344

9 Qian J, Ehrich R W. DNESYS——an Expert System for Automatic Extraction of Drainage Networks from Digital Elevation Model. IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing,1990,28(1): 29~45

10 Wang Z Z. Principles of Photogrammetry (with Remote Sensing). Beijing: Publishing House of Surveying and Mapping, 1990

第一作者简介:黄培之,副教授,博士。主要从事数字制图、地理信息系统、空间数据可视化等方面的研究工作,已发表学术论文 40 余篇。  
E-mail: hpz@szu. edu. cn

Extraction of Ridge and Valley from DEM Based on Gradient

HUANG Peizhi<sup>1</sup> LIU Zehui<sup>2</sup>

(1 School of Information Engineering, Shenzhen University, 2336 Nanyou Road, Shenzhen 518060,China)  
(2 Construction Office, Shenzhen University, 2336 Nanyou Road, Shenzhen 518060,China)

**Abstract:** The authors put forwards a new method which select the terrain profile perpendicular to falling line (opposite direction of gradient) to determine the candidate points on ridge and valley. The new method perfect terrain profile analysis method theoretically. Experimental result has proven the new method is quite effective and reliable in its identification of candidate points.

**Key words:** ridge; terrain profile; falling water; feature points

About the first author: HUANG Peizhi, associate professor. Ph. D. His research interest includes digital mapping, GIS, visualization and so on. He has published over 40 papers.  
E-mail: hpz@szu. edu. cn