

# 几何特性与流线追踪相结合的地形结构线提取法

吴艳兰<sup>1,2</sup> 胡 鹏<sup>1,2</sup>

(1 武汉大学资源与环境科学学院,武汉珞喻路 129 号,430079)  
(2 武汉大学地理信息系统教育部重点实验室,武汉市珞喻路 129 号,430079)

**摘 要:**以距离变换为主要工具,建立了能追踪任意点流水线的数字地表流线模型。利用等高线几何特性分析法和 DEM 高程信息找出等高线上的山谷点,并以此作为起点进行流水线追踪,同时,用流线与等高线的交点是否符合山谷点的几何特性来决定流线追踪是否结束。这样,将山谷点的水总是顺谷而下的自然物理特性与山谷点所具有的几何特性紧密结合,得到山谷点的流线就是所求的山谷线。实验证明,该方法能有效地解决地形特征线段合理连接的问题,能控制结构线提取的详略程度。

**关键词:** 结构线提取;地图代数;距离变换

**中图法分类号:** P208; P282

地表径流的流向和河网水系的形成间接反映地貌的形态特征,地表每一点均有自己的流线,此流线为过该点的最速下降线,流线的汇集处便是合水点,其最速下降线就是合水线,其上每一点均是合水点,它是等高线弯曲的对称轴,水流的物理过程精确地刻画了地球复杂表面的几何特性。这是合水线与山谷线、分水线与山脊线在本质上统一的原因,也是本文将地表流线追踪与等高线几何特性结合进行地形结构线提取的依据。

## 1 新的流向算法

由 DEM 自动提取水系和子流域特征通常采用 O'Callaghan 和 Mark(1984)提出的坡面流模拟法,具体实施有以下 3 个问题:① 洼地引起水的回流,使得水流跟踪死循环,平地流向追踪迷失方向,导致流线追踪出现循环而无法继续。② 采用格网 DEM 流水模拟提取水系或结构线,当格网较密,受地形噪音影响大,计算量成倍增加;而当格网较稀疏时,所提取的山脊线和山谷线的精度很差。③ 提取的地形结构线在两端的效果较差,易出现特征点遗漏和增多的情况。

经过分析,作者认为上述困难产生的根源是坡面流模拟法在确定流向时采用了高差确定法,

即 D8 法,先利用高程差异信息计算 DEM 每一栅格单元与其 8 邻域单元之间的坡度,然后按最陡坡度原则设定该单元的流向。这种由高程差异决定水流方向的方法必然会产生以下问题:不可避免的 DEM 噪声即高程误差带来流向错误,导致水流逻辑的紊乱;洼地导致水的回流,即水流无法冲越洼地,流线追踪无法继续;无法确定平地水流方向;当 8 邻域中出现多个相同的最陡坡度时,无法合理地给出惟一流向。为此,本文采用地图代数的距离变换对等高线及其所在的空间进行了全方位的距离度量(图 1),并提出了一种新的流向确定法,从根本上避免上述问题的产生。其基本思路是,等高线距离变换图除了记录每个空间像素到其最近的一个实体像素的距离外,还产生了该空间像素的距离线垂足信息(图 2),即该距离

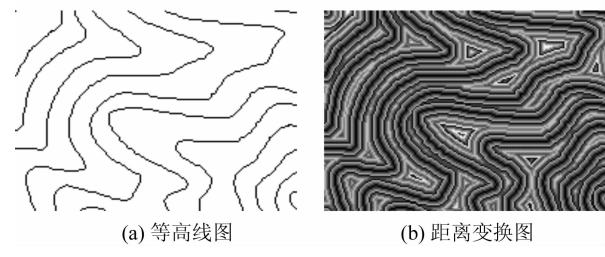


图 1 等高线图的距离变换  
Fig. 1 Distance Transformation of a Contour Map

值是由哪个等高线像元传递而来,表示该空间点与哪个等高线像元最近。距离线垂足与该空间像素的连线就是其高程变化最快的方向,即过该空间点的最速下降线(或最陡坡降线),因此,距离线垂足也称为梯度线垂足。显然,空间点的流向总是在其距离线垂足与空间像素的连线上。

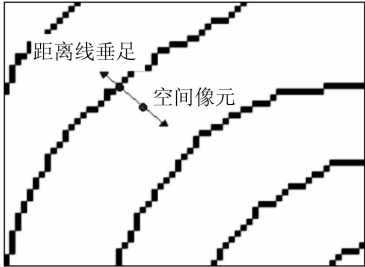


图2 距离线垂足及最速下降线

Fig. 2 Vertical Point of the Distance Line and the Line Whose Grads Changes Most Quickly

2 数字地表流线模型的建立

当一场降雨产生超渗水流,便会形成地表径流,地表径流在流域空间内总是从地势较高处流向地势较低处,最后经流域出口排出流域。为了简化问题,暂不考虑地表浸渗和雨水挥发,假设地表是无限光滑的表面,当区域地貌形态确定后,地表上的每滴雨水都有一条确定的流动路径,这也是谷底线自动提取的基础。因此,本文利用等高线图或DEM建立一个能获得区域上每滴雨水沿地表流动轨迹的数字流线模型,其处理过程包括流向矩阵的计算和流水线的追踪两个步骤,如图3所示。

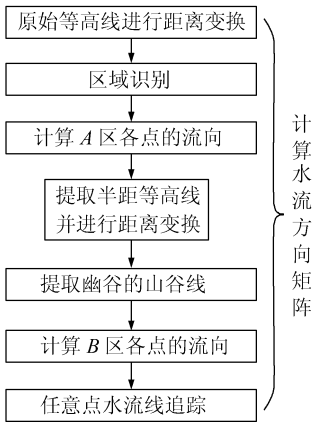


图3 数字流线模型的建立

Fig. 3 Steps of Building up a Digital Flown Lines Model

2.1 区域特征分析

等高线图内的所有点大体可分为等高线上的

点和空白的空间点,所有的空间点或在一条等高线围成的区域,或在两条等高线之间;在两条等高线之间的空间点又被其半距等高线(内插等高线)分为两个区域,如图4所示。

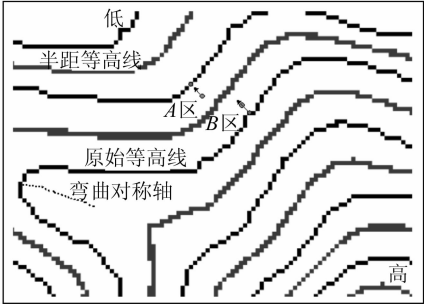


图4 分区计算每点流向

Fig. 4 Calculate the Flown Directory for Every Point by Partition Area

1) 由较低等高线与半距等高线围成的区域。定义为A区,具有本点高程大于其距离线垂足点的高程,流向为本点指向距离线垂足,判断条件为空间点的距离线垂足的高程等于两个高程中较低的高程的特点。

2) 由半距等高线与较高等高线围成的区域。定义为B区,具有本点高程小于其距离线垂足的高程,流向为距离线垂足指向本点,判断条件为距离线垂足的高程等于两个高程中较高的高程的特点。

3) 半距等高线上的点。在距离变换图中,半距等高线上的点到较低等高线的距离与到较高等高线的距离相等,其距离线垂足可能来自较低或较高等高线。为了方便计算,先将其识别,并统一归划为A区,流向为本点指向距离线垂足。

4) 原始等高线上的点。等高线上的点作为实体像元,其距离是从本点到本点,值为零,无法确定其流向,需要利用半距等高线的距离变换进行区域互补,即在半距等高线图的距离变换中,原始等高线点位于空白区域,具有相应距离值和距离线垂足,可以将其归为B区处理。

5) 闭合等高线内的点。当距离线垂足的高程只有一个时,说明此点位于由一条等高线围成的区域内,或为山顶,或为洼地。若为山顶,将其归为A类区域;若为洼地,则归为B类区域。

6) 等高线弯曲对称轴上的点。等高线弯曲的对称轴可能是山脊线段或山谷线段,线段性质不同,其流向也不同。若为山脊线段,起到分水岭的作用,其两侧点的流向相背。若为山谷线,起到汇水作用,其两侧点的流向水相对,汇集后再由高

处流向低处。所以,这些点首先要识别性质,对于山脊线段可归为 A 类区域处理,对于山谷线段(即幽谷谷底线)则要在水流追踪时进行回旋跟踪处理。

2.2 区域识别的关键算法

探测每个空间点位于哪些等高线之间是进行区域识别的关键,本文发现常规的方向线探测法的缺陷后,便提出了距离线垂足高程传递法。

1) 方向线探测法。如图 5 所示,为了得到 A、B、C、D 各空间点位于哪些等高线之间,可过各点作多条方向线,并探测该方向线与哪些等高线相交。该法存在两个缺陷:① 方向线数目有限,可能漏掉方向如  $b_3b_4$ ;② 对于  $45^\circ$  方向线,由于栅格对角邻接,方向线可能从栅格缝隙透出,导致不正确的探测结果。如图 6 中的空间点 A,所求交点应为  $a_1a_2$ ,由于方向线从栅格缝隙透出,导致错误的交点为  $a_1a_3$ 。

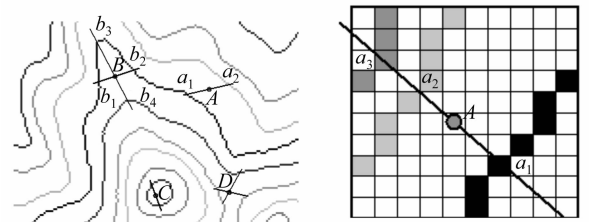


图 5 方向线探测法  
Fig. 5 Detecting by  
Direction Lines

图 6 方向线从缝隙  
透过的错误  
Fig. 6 Direction Line Cross  
Through the Gap of Raster

2) 距离线垂足高程传递法。在距离变换中,由于空间点的距离计算是从四面八方传递过来的,在传递距离值的同时,可记录各方向距离线垂足的高程值,就得到各空间点位于哪些等高线之间的正确信息。若各方向距离线垂足的高程只有一个(或两个),则该空间点位于一条(或两条)等高线围成的区域。这种方法要求等高线完全连接,如有断开,距离线垂足的高程将由缺口传递过来而导致错误,而等高线完全连接是等高线数据正确性的基本要求。图 7(a)是用距离起算高程传递法进行的区域识别的结果,填充区为 A 区,空白区为 B 区。

2.3 流向计算

进行分区处理后,可为每个栅格点确定惟一的流向,其具体处理过程为:A 区点的流向为本点指向距离线垂足,B 区点的流向为距离线垂足指向本点。无论 A 区还是 B 区点,其流向与 X 轴的夹角  $\alpha$  为一角度值,为了便于后续的栅格单元

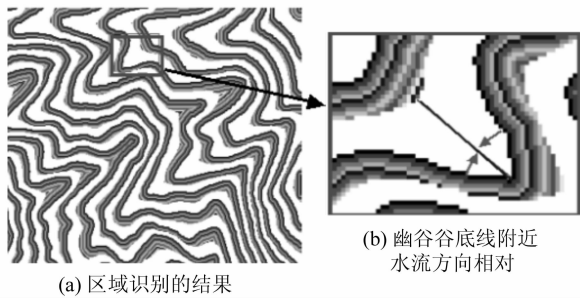


图 7 等高线图的分区  
Fig. 7 Partition Areas of a Contour Map

流线追踪,需进行八方向归算,如当  $\alpha$  介于  $-22.5^\circ \sim 22.5^\circ$  时,其流向代码为 1,表示水流向右。

2.4 流管线追踪

有了流向矩阵就可进行任意流线追踪,只是位于幽谷谷底线上的点可能因其邻近栅格的流向相对而发生回流,为此,本文提出了“邻域判断”法。

首先将发生回流的点简称为回流点并标识出来,当流线追踪到回流点,探测该栅格单元的邻域中是否存在其他回流点,若有则追踪到该回流点,否则进行正常的流线追踪。由于流向是用距离变换的距离线垂足来计算的,对于宽阔的 U 形山谷可以得到最多为两个栅格宽的回流点,所以,此法能得到正确的、不受水回流限制的流线模型。

图 8(a)表示某些点的流线追踪,图 8(b)是山脊部分的放大图,可见山脊线起到分水线作用,而图 9(c)表示山谷线起到了合水线的作用。

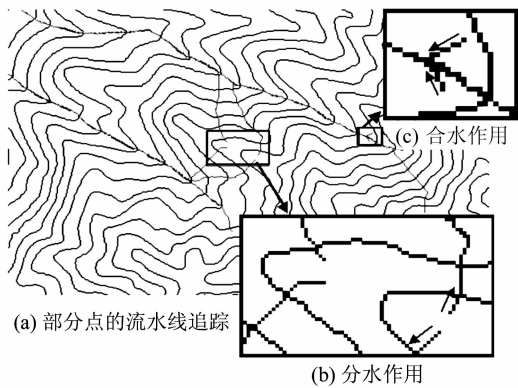


图 8 数字地表流线模型  
Fig. 8 Digital Flown Lines Model

3 谷底线的提取

3.1 基本步骤

在等高线距离变换上建立的流线模型与等高

线图形是完全匹配的,即以高处山谷点为起点的流线必定沿地势最低的方向流动,该流线就是谷底线,线上的点必定是该区域地形的局部最低点,也是过该点等高线上的某山谷点,在图形上的几何特征为曲线的凹或凸点。因此,可以将等高线图形的几何特性与流线追踪相结合进行谷底线的提取。

- 1) 首先利用等高线图形的几何特性识别高处等高线上的山谷点  $VP_i$ ;
- 2) 将山谷点  $VP_i$  作为起点进行流线追踪,追踪的同时,判断流线与所经过的低处等高线的交点是否符合等高线上的山谷点特性,若符合条件,则继续追踪,否则停止;
- 3) 为了不遗漏由低处开始的谷底线,需要将各条等高线按从高到低的顺序进行步骤 1) 的循环处理,并进行低处等高线上的河谷源头的判断,其具体条件为:既是等高线上的河谷点,又不在由上游河谷点追踪而来的谷底线上;
- 4) 找到地势较低的河谷源头后,按步骤 2) 进行流线追踪处理;
- 5) 将由各河谷点为起点追踪到的流线作为各条谷底线进行叠加,得到区域全部的谷底线。

3.2 关键算法

- 1) 用 Douglas-Peucker 法提取等高线上的特征点,判断特征是否保留的垂距阈值可以用来控制所提取的特征的详略程度,如图 9(a)、9(b)是用不同的垂距阈值提取同一条封闭等高线上的特征点。

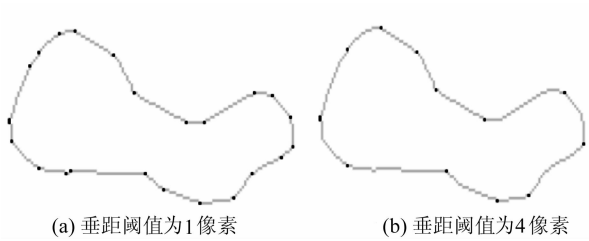


图 9 Douglas-Peucker 法提取的特征点  
Fig. 9 Dominant Points Extracting from Contour by Douglas-Peucker

- 2) 利用 DEM 信息判断特征点是山脊点还是山谷点,具体方法如图 10(a)所示,要判断  $P$  点的性质,可将与之相邻的前后两特征点  $P_1$ 、 $P_2$  连接,当连线的中点  $T$  的高程大于  $P_1$  或  $P_2$  点的高程,则  $P$  点为山脊点,否则为山谷点。图 10(b)是程序识别一山顶封闭等高线的结果,框内点为山

脊点,圈内点为山谷点。图 11 是用垂距阈值为 3 像素的 Douglas 法对两个不同区域的等高线进行特征提取,并识别山谷点的结果(图上颜色较深的点)。

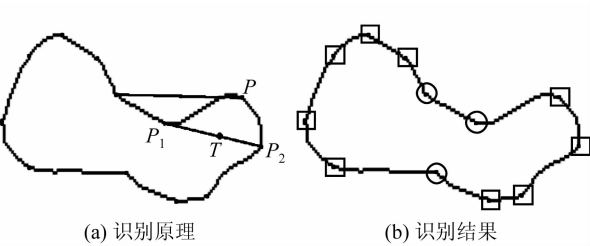


图 10 山脊点和山谷点的识别  
Fig. 10 Identification of Ridge Points and Valley Points

3) 谷底线的追踪和叠加

以等高线上的山谷点作为起点进行流线追踪可以得到相应的谷底线,各条谷底线的叠加就是该区域的全部谷底线。图 12 是分别以图 11 山谷点为起点进行追踪并叠加得到的区域谷底线。

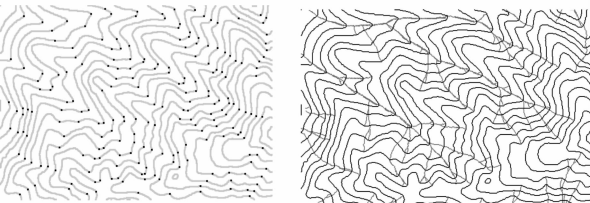


图 11 山谷点的识别  
图 12 谷底线的提取  
Fig. 11 Identification of Valley Points from a Contour Map  
Fig. 12 Valley Lines Extracted by the New Method

参 考 文 献

1 胡 鹏,游 涟,杨传勇,等. 地图代数. 武汉:武汉大学出版社,2002

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

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 陈永良,刘大有. 一种新的山脊线和山谷线自动提取方法. 中国图像图形学报,2001, 6(12):1 230~1 234

5 唐心红,柳 健. 多尺度地形结构提取方法. 红外与激光工程,1998,27(3):18~32

第一作者简介:吴艳兰,博士。现从事 DEM 的建立、地形可视化及其软件开发、GIS 应用工程建设和地貌综合研究等。  
E-mail: wylmq@sohu.com

# Geometry Characteristic and the Tracing of Flown Lines Combined to Extract Terrain Structure Lines

WU Yanlan<sup>1</sup> HU Peng<sup>1</sup>

(1 School of Resource and Environment Science, Wuhan University,129 Luoyu Road,Wuhan 430079,China)  
(2 Key Laboratory of Geographic Information System, Ministry of Education, Wuhan University,129 Luoyu Road,  
Wuhan 430079, China)

**Abstract:** A new method for automatic extraction of structure lines is developed by the new idea includes 3D physical analysis and 2D geometrical analysis. The new idea is based on the fact that the flown line whose start point is a valley point at upriver always flows along the lowest direction, and the flown line is also a valley line. A real contour map was used as testing data. As the result, the valley lines extracted automatically by this method can basically represent the topographic features of the corresponding topographical map. The new method takes advantages of 2D geometrical analysis and 3D terrain analysis and it is effective.

**Key words:** extraction of structure lines; map algebra; distance transformation

**About the first author:** WU Yanlan, Ph.D. Her major research is on DEM generation, terrain visualization and software development, relief generalization and GIS engineering application.  
E-mail: wylmq@sohu.com

(上接第 1106 页)

5 陈述彭,鲁学军,周成虎. 地理信息系统导论. 北京: 科学出版社,1999

6 Murray C. Oracle Spatial User’s Guide & Reference. <http://otn.oracle.com/pls/db10g>, 2003

7 ESRI. Understanding ARCSDE: The RDBMS and

GIS Integration. Redlands: ESRI Press,2000

**第一作者简介:**黎展荣,工程师,博士生。现从事遥感和地理信息系统研究工作。

E-mail:123win@126.com

# Analysis of Query Methods for Spatial Data in Relational Database

LI Zhanrong<sup>1,2</sup> YANG Rujun<sup>2</sup> ZHOU Xinzhong<sup>1</sup>

(1 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University,129 Luoyu Road ,Wuhan 430079, China)  
(2 Nanning Land & Resources Bureau, 3 Dongbao Road, Nanning 530022, China)

**Abstract:** This paper discusses about some methods for querying spatial data managed by relational database. It creates some models of data relation. An example is given to show the application of the query methods.

**Key words:** spatial data; relational database; GIS; query methods

**About the first author:** LI Zhanrong, engineer, Ph.D candidate, major in RS & GIS.  
E-mail: 123win@126.com