

# 数字地面模型中等高线的自动绘制

张渭军<sup>1</sup>, 李永军<sup>2</sup>, 刘向阳<sup>3</sup>

(1. 长安大学 地球科学与国土资源学院, 陕西 西安 710054; 2. 河北北方公路  
工程建设集团, 河北 承德 067400; 3. 永城市城郊煤矿, 河南 永城 476600)

[摘要] 等高线图在实际工作中应用非常广泛, 在数字地面模型的基础上自动生成等高线图有许多算法。在数字地面模型的基础上, 着重讨论了四边形格网等高线图的自动生成方法, 主要包括等高点的判断、跟踪和连接, 为了使等高线跟踪唯一, 提出一个新的等高线追踪的判别算法。实践表明在“跟踪—连接”中确定等高线的走向时, 不仅可以避免追踪的不确定性, 而且简单实用, 所述等高线的“判断—跟踪—连接”是正确可行的。

[关键词] 等高线图; 数字地面模型; 等高线; 判断; 跟踪

[中图分类号] P282 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2004)01-0076-03

[作者简介] 张渭军(1975—), 男, 陕西渭南人, 长安大学助教(硕士), 现从事地理信息系统研究工作。

等高线图在工程分析和计算领域应用很广, 在数字地面模型的基础上自动生成等高线图有许多算法, 有的算法适用于规则离散点信息场的等高线图生成, 有的算法采用等参数插值函数的概念, 适用于某些高次单元格网系统, 对于一般的三角形、四边形格网单元意义不大, 笔者着重讨论基于线性插值原理的四边格网等高线图的快速生成算法。

## 1 等高点的判断

从理论上讲, 可根据各节点已知高度值拟合一个三维光滑曲面  $z=f(x, y)$ , 若用高程  $H_c$  的平面与该曲面相截, 则全部交线在  $xy$  平面的投影构成了高程值为  $H_c$  的等高线图, 该方法工作量之大是人们难以接受的, 根据应力应变场在单元内部线性分布的特点, 判断单元棱边是否存在等高点, 可利用该棱边两个节点是否包含给定的物理量值, 等高线图是由不同高程值的等高线构成, 不同高程值的等高线生成算法是完全一样的, 因此笔者只讨论某给定高程的等高线生成算法, 设  $h, i$  为某四边形单元棱边的两个节点,  $h, i$  是否和等高线相交可用式(1)判断 ( $H_h, H_i$  分别为  $h$  和  $i$  点的高程), 共有 3 种情况(图

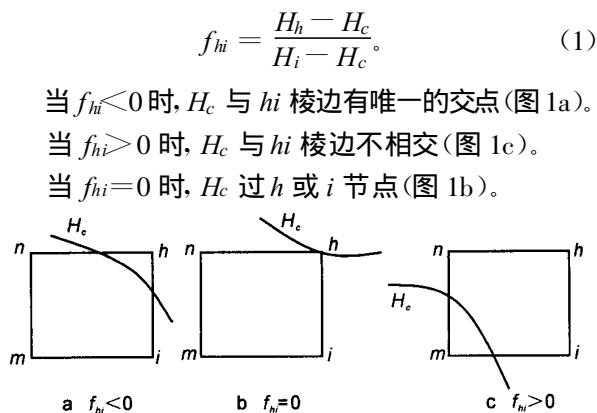


图1 等高线和  $h, i$  边的位置关系

Fig. 1 Position relation of Contour and border

在实际判断中, 由于  $f_{hi}=0$  会引起后面等高线跟踪的不确定性, 为此将  $h$  或  $i$  节点的高程值作一个微小的改动后, 再用式(1)判断, 在高程值  $H_c$  的所有等高线生成以后, 再恢复该节点原来的高程值。这种特殊处理以后在理论上可以得出等高线并不通过该节点( $h$  或  $i$ ), 但在屏幕上依然显示通过该节点。可以证明, 对于四边形、四节点单元来说等高线与某个单元所有棱边的交点或者是 0, 或者是两个, 不可能出现其他情况。笔者首先根据上述等高点的判断, 利用有限元分析计算结果所给出的单元及结点整体序号表、节点坐标及等效应力应

变物理量表, 一次性地对所有单元及其棱边是否存在等高点进行检查, 建立一个等高点表。

2 等高线跟踪和连接

等高点判断完成后, 可利用已建立的等高点表进行等高线的跟踪, 等高线采用逐条生成的方式, 首先开辟一个动态数组来记录一条等高线上所有等高点的坐标信息, 一条等高线生成完后, 将该动态数组清零, 再用来记录下一条等高线信息, 对于只有两个等高点的单元以及任意三角形单元内只有一条等高线通过, 不能出现等高线的交错, 但对于四边形单元而言, 可能会遇到同一单元的四个边均存在相同高程的等高点, 此时等高线跟踪有 3 种情况(图 2)。

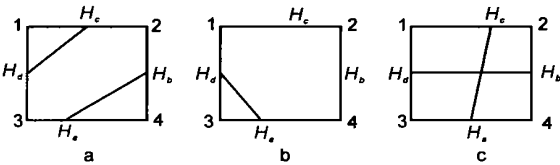


图 2 等高线跟踪

Fig. 2 Contour Tracking

为了使跟踪惟一, 不致出现上面 3 种情况, 下面介绍 1 种跟踪方法。

设网格单元为一拟合曲面, 依双线性多项式(双曲面)内插方法, 其上任意一点高程插值公式为

$$H_c = \sum_{j=0}^1 \sum_{i=0}^1 a_{ij} x^i y^j = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{11}xy. \tag{2}$$

由网格 4 个节点的三维坐标, 可求出  $a_{00}$ ,  $a_{10}$ ,  $a_{01}$ ,  $a_{11}$  4 个系数, 即

$$\begin{bmatrix} a_{10} \\ a_{01} \\ a_{11} \\ a_{00} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & x_1 y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & x_2 y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & x_3 y_3 & 1 \\ x_4 & y_4 & x_4 y_4 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} H_1 \\ H_2 \\ H_3 \\ H_4 \end{bmatrix}. \tag{3}$$

对式(2)取全微分

$$a_{10}dx + a_{01}dy + a_{11}xdy + a_{11}ydx = 0, \tag{4}$$
$$\frac{dy}{dx} = -\frac{a_{10} + a_{11}y}{a_{01} + a_{11}x},$$

式中:  $dy/dx$  为某点坐标一阶导数, 一般精度情况下, 两点间的等高点以直线相连, 式(4)中的  $x$ ,  $y$  可由式(2)求出, 假设格网单元边长为 1 个单元, 4 个等高点的高程均为  $H$ , 以 3 号点为坐标原点, 3~4 号点

为  $X$  轴正方向, 3~1 号点为  $Y$  轴正方向, 则由式(2)可知, 4 个点( $H_a$ ,  $H_b$ ,  $H_c$ ,  $H_d$ )的坐标为(图 2)

$$\begin{cases} x_a = \frac{H - a_{00}}{a_{10}}, & y_a = 0 \\ x_b = 1, & y_b = \frac{H - a_{00} - a_{10}}{a_{01} + a_{11}}, \\ x_c = \frac{H - a_{00} - a_{01}}{a_{10} + a_{11}}, & y_c = 1, \\ x_d = 0, & y_d = \frac{H - a_{00}}{a_{01}}. \end{cases} \tag{5}$$

由式(4)式(5)可得

$$\begin{cases} \left( \frac{dy}{dx} \right)_a = - \{ a_{10}^2 / [a_{10}a_{01} + a_{11}(H - a_{00})] \}, \\ \left( \frac{dy}{dx} \right)_b = - \{ [a_{10}a_{01} + a_{11}(H - a_{00})] / (a_{01} + a_{11})^2 \}, \\ \left( \frac{dy}{dx} \right)_c = - \{ (a_{10} + a_{11})^2 / [a_{10}a_{01} + a_{11}(H - a_{00})] \}, \\ \left( \frac{dy}{dx} \right)_d = - \{ [a_{10}a_{01} + a_{11}(H - a_{00})] / a_{01}^2 \}. \end{cases} \tag{6}$$

由式(6)可知, 依插值公式(2)之  $a_{00}$ ,  $a_{10}$ ,  $a_{01}$ ,  $a_{11}$  系数计算的 4 个等高点处的一阶导数具有相同的符号, 即取决于  $a_{10}a_{01} + a_{11}(H - a_{00})$  是  $> 0$  还是  $< 0$ , 由此可得等高线追踪的判别法则:

(1) 当  $a_{10}a_{01} + a_{11}(H - a_{00}) < 0$  时, 4 个等高点处  $dy/dx$  均为正, 等高线斜率为正, 其走向应位于 I、II 象限, 所以应取  $H_a \sim H_b$  和  $H_c \sim H_d$ (图 2e)。

(2) 当  $a_{10}a_{01} + a_{11}(H - a_{00}) > 0$  时, 4 个等高点处  $dy/dx$  均为负, 等高线斜率为负, 其走向应位于 II、IV 象限, 所以应取  $H_a \sim H_d$  和  $H_b \sim H_c$ (图 2f)。

(3) 当  $a_{10}a_{01} + a_{11}(H - a_{00}) = 0$  时, 4 个等高点处  $dy/dx$  均为 0 或  $\infty$ , 两条等高线垂直相交, 这和等高线的特性不符, 此时应将格网某结点加上一个微小值, 再根据前两项判别法进行判断。

只要  $H_a$ ,  $H_b$ ,  $H_c$ ,  $H_d$  不在边界上, 则等高线的跟踪必有“出路”, 反之, 说明等高线已到达边界。该等高线必是开放式的, 此时将动态数组中的记录顺序反向, 然后进行反向跟踪, 直到等高线再次没有“出路”时, 跟踪过程结束, 再改变等高线的高程, 重复以上工作, 直到完成全部等高线的绘制为止, 只要不在边界上, 等高线总可通过其找到“出路”, 不存在 4 个点本身闭合的现象, 这样等高线就生成完毕。

3 结论

对给定的某个高程  $H_c$ , 经一次“判断—跟踪—连接”过程可生成一条等高线。如果高程值为  $H_c$  的等高线有数条, 则可重复“跟踪—连接”工作, 直到等高点表变为空为止, 此时所有高程值的等高线生成

完毕。实践表明在“跟踪—连接”中确定等高线走向时, 不仅可避免追踪的不确定性, 而且简单实用。

1989, 3(2): 75~ 76

[ 2 ] 孙家广, 许隆文. 计算机图形学[ M ]. 北京: 清华大学出版社, 1986.

[ 参 考 文 献 ]

[ 1 ] 彭宣茂. 用局部拟合法自动绘制等值线图[ J ]. 河海大学学报.

Automated portarying of contours in DEM

ZHANG Wei-jun<sup>1</sup>, LI Yong-jun<sup>2</sup>, LIU Xiang-yang<sup>3</sup>

(1. Shool of Earth Science and Resources Management, Chang'an University, Xi'an 710054, China;

2. North Road Engineering Construct Group of Hebei Province, Hebei Chengde 067400, China;

3. Cheng jiao Mining of Yongchang, Henan Yongcheng 476600, China )

**Abstract:** Contour map is quite useful in practice. There is much arithmetic in automated generating contour map based on the Digital Elevation models. In this paper, we focus on discussing a method on the base of DEM, including judging, tracking and linking of the points of same altitude. In order to confirm the contour's uniqueness, the paper introduces a new method of tracking contour. While confirming the direction of contour in the "tracking-linking" procedure, the method not only is simply and utility, but also can avoid some uncertain result. Practice show that the "judging-tracking-linking" method described in the paper is correct and practicable.

**Key words:** contour map; the digital elevations models; contour; judge; tracking

(英文审定: 郭新成)

长安大学李佩成教授被增选为中国工程院院士

2003 年中国工程院院士增选结果于 2004 年 1 月 5 日揭晓, 长安大学环境科学与工程学院李佩成教授光荣入选, 是农业、轻纺与环境工程学部 8 位当选人之一, 这也是从长安大学当选的首位中国工程院院士。

李佩成先生 1956 年毕业于西北农学院水利系, 后曾留学于前苏联莫斯科地质勘探学院水文地质工程地质系, 攻读博士学位毕业, 他先后在原西北农学院、西安交通大学、原陕西工业大学、西北农业大学、西安地质学院、西安工程学院、长安大学任教, 曾任西北农业大学副校长, 现任长安大学教授、博士生导师, 兼任国际干旱半干旱地区水资源与环境研究培训中心(中德合作)主任, 水利部地下水专家组专家、陕西省委省政府决策咨询委员会特邀委员等。

李佩成先生长期在西北和黄土高原地区从事农业水土工程、水资源与环境以及区域治理理论研究和工程实践, 取得了一系列重大科技成果。1964 年, 他提出了潜水井群非稳定渗流计算的“割离井法”及相应公式, 使其成为能满足不同水文地质条件和水井不同运行方式的 13 种求解模型, 促进了灌排井群工程设计中重大难题的解决。20 世纪 70 年代初, 他与其他同志合作, 研制成功了一种适合于黄土渗流机理的黄土辐射井, 出水量比其他井型增大 812 倍, 被推广到十余省区, 打破了“黄土不能成为含水层”的传统认识, 该项成果于 1978 年获全国科学大会奖; 由他主持的国家七五攻关项目“黄土高原综合治理定位试验——枣子沟试验示范区建设”获国家科技进步一等奖; 1986 年, 他发明了排灌两用轻型井, 获国家发明四等奖; 1995 年, 他主持完成的“群峪协井、两水并用、西安市中近期最佳供水方略”项目研究, 其成果的应用使西安水荒得到缓解; 1999 年, 主持完成了国家九五攻关项目子课题“西安市供水水资源系统优化调配研究”, 被鉴定为国际先进水平; 2002 年元月 4 日, 由他主持的国家重大项目“中国西北地区山川秀美科技行动计划”前期研究通过了科技部验收; 现正主持国家重大项目“中国西北不同生态地区山川秀美试验示范区建设与重大科技难题研究”。

李佩成先生敬业重教, 现已培养硕士和博士 51 人, 其中已有 8 人成为博士生导师, 1 人的博士论文被评为全国百篇优秀论文, 他出版专著和全国统编教材 10 部, 公开发表论文 80 余篇。他先后获国家级奖项 4 项, 省部级 5 项。1991 年, 他获农业部有突出贡献的中青年专家称号, 同年开始享受国务院特殊津贴。1996 年被评为西安市劳动模范, 1997、1998 年分别被评为陕西省师德标兵、优秀博士生导师, 2001 年被评为“全国优秀科技工作者”。

李佩成先生当选中国工程院院士是长安大学一大喜事, 这必将对该校的人才培养、学科建设以及学校的发展发挥重要的作用。他被邀担任《地球科学与环境学报》编委会副主任委员, 也将对办好本学报产生积极影响。

(流沙)