

## 一种先进的建立三角形 DTM 网络的理论

西南交通大学航地系 朱 庆

**[摘要]**针对大比例尺地形图机助成图大量引用各种特征信息,本文论述了一种基于地貌结构特点和地形特征而建立三角形 DTM 网络的理论。

**[Abstracts]** In view of the vast adoption of various feature information in the computer-assisted large scale topographic map-making, this paper proposes a theory concerning the establishment of triangular DTM network on the basis of the characteristics of geomorphologic structure and the topographic features.

### 引言

在新技术革命的今天,测绘学科领域也毫不例外地面临各种新兴技术的挑战。每个测绘单位都应根据自己未来的任务和当前的业务专长、装备和财源方面的限制因素,按自己的方式来对新技术作出反应。从我国工程测量的现状出发,笔者认为改进现有的仪器装配和生产工艺,研究机助成图方法来满足新的要求是比较适宜的。由于诸多因素,国内对机助成图方法的研究仍处于探索阶段。特别是大比例尺地形图机助成图的效果还不能满足生产的要求。这在一定程度上限制了机助成图方法的推广应用。

众所周知,机助成图的核心是建立数字地面模型(以下代称为 DTM)。就结构形式来分,DTM 主要有两大类,即规则格网结构和随机三角形网络体系。前者多用于自动采样的情况,对于随机采样(比如利用现代地面测量仪器进行的采样)数据,由于规则格网难以直接利用各种特征信息,而需经过复杂的内插处理,已明显不足。因此,现有的解析测图仪系统以及处理地面测量数据的各种机助成图系统大都采用了随机三角形网络结构的 DTM。分析传统的建立三角形 DTM 网络的理论不难发现,在考虑地形特征信息的引入时存在很大缺陷<sup>[1]</sup>。对此,笔者研究了建立三角形 DTM 网络的理论,并提出了一种基于地貌结构特点和地形特征的建网理论。

### 理论阐述

按照地貌学的观点,地貌为连续分布在地球表面上的地形要素,任何类型的地貌都是由大小和空间位置各异的基本面(或称斜坡面)组成的。地貌结构线(山脊线、山谷线)则是地形的骨架。如果将整个区域地貌分割为若干个基本面,再建立每个基本面的数字模型,则一方面由于一个较大的区域被分割成了若干个较小的区域,从而达到了简化计算、节省存储单元的目的;另一方面由于每个基本面均是连续的、坡度均匀变化的,从而利用比较简单的处理模式即可有效地表达其量测特征和形态特征。当然,这些基本面的边界除了山脊线、山谷线以外,还可以是各种断裂线、边界线,如冲沟、陡坎、河流、道路、村庄等。基于上述思想,笔者设计了一种新的建立随机三角形 DTM 网络的理论。其基本点是:

1. 确定一个处理单元(比如一幅图)的矩形范围,提取该单元所有的信息,并依一定的边长限定建立整个单元内实际数据域的多边形边界,如图 1 所示。

\* 本文承蒙马德音教授精心指点,在此表示感谢。——作者

2. 提取该单元内对地形有重要影响的若干种特征线信息, 并进行特征线信息的预处理。
3. 用经过预处理的特征线分割整个数据域, 得到若干个彼此相邻的子区域的多边形边界。
4. 分别从每个子区多边形边界出发, 建立相应子区三角网。在每个子区内建立随机三角形的基本步骤是:

基本步骤是:

(1) 在多边形边界上依次选取一顶点作为起点, 与起点相邻的一条边为基边。如图 2a 中的 6-1。

(2) 根据一点到基边两端点距离之和最小的原则, 在子区内选择一点 (如图 2a 中的  $i_1$ ) 作为三角形的顶点。当然, 顶点与基边两端点的连线不能与边界上的任何一边发生交叉。

(3) 以起点和三角形顶点的连线为基边继续组建三角形, 只是每形成一个三角形即调整边界点列, 以使新的多边形边界不再包含该三角形区域。如图 2b 所示。这个过程是递归的, 反复执行下去直到三角形的顶点亦为边界点。

(4) 变换起点 (如图 2c 中的起点为 5), 通过与前类似的递归处理, 即可形成一系列三角形。一旦最初的边界点均已参加构建三角形, 则又会产生一轮全新的多边形边界。很显然, 多边形边界所包围的面积在缩小。

(5) 去掉多边形边界以外的点 (如图 2c 中的 6), 重复前面的递归处理, 直到多边形边界收缩为一个三角形 (其内已无数据点)、一条边或一个点为止。这时, 整个子区三角网即已建立完成。

**几点说明:**

\* 图论术语: 节点度数——与节点相连的边的条数; 回路——起点与终点重合的通路。同一回路中各节点的度数均为 2, 前面提到的多边形边界就是回路。

**1、特征线信息预处理**

特征线信息预处理包括信息归类、去交叉以及特征线延拓等。信息归类即将同一类型的信息存放在彼此相邻的单元。由于特征线将被用于形成各子区边界, 而作为回路的多边形边界的每一顶点度数均应为 2。因此, 如果特征线端点的度数小于 2, 则需进行延长; 如果特征线上中间节点度数大于 2, 说明发生了交叉, 则要去掉交叉进行记录。如图 3 所示, 首先找到一条端点度数小于 2 的特征线 (如 AB), 分别在其大致走向上选择离端点最近的特征线或者边界上的点作为延长的终点, 即特征线新的端点 (假的)。如果新旧端点间的距离还比较大 (一般取允许的最大点间距为限), 则在新旧

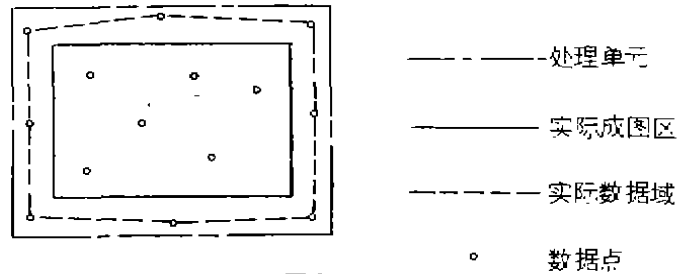


图 1

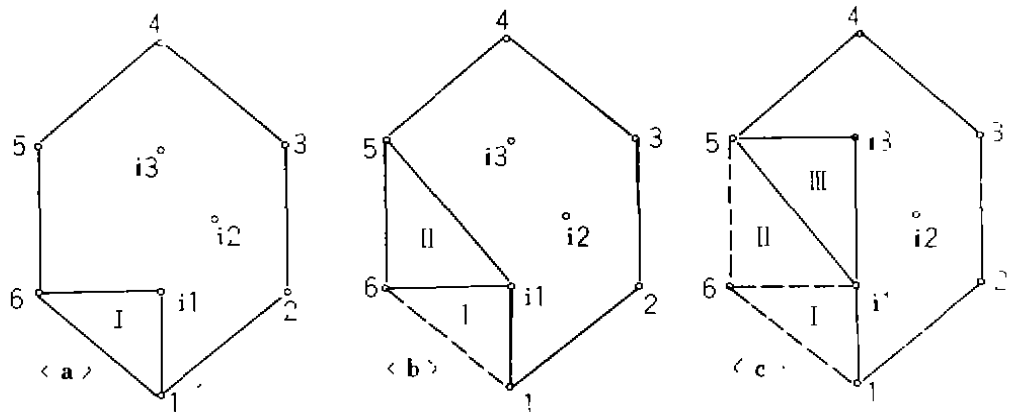


图 2 三角网的建立

端点的连线附近,选择一些地形参考点作为中间点,如 A-I-G。经过这一步处理,所有特征线的端点度数均不会小于 2。然后,再逐一检查每一条特征线的中间节点度数是否大于 2。如果发现某一节点(非端点)的度数大于 2,则从此节点将特征线分成两段进行记录,如 C-F→,C-C<sub>1</sub> 和 C<sub>1</sub>-F。最后,所有特征线的中间节点度数均为 2。

## 2. 提取子区边界

从图 3 可以看到,经过特征线的延拓处理,整个区域实际已被分成了若干个相互邻接的子区域。提取这些子区多边形边界点列的方法称为“逐级法”。其原理如图 4 所示,首先以整个区域多边形边界为处理对象,检查特征线的两个端点,如果均在边界上,则区域被分为两部分(I→I-1+I-2),可以得到两个子区边界;如果只有一端点在边界上,则从另一端点出发,追踪与其相邻的特征线段。每追踪到一条特征线段,原来的特征线即得到了加长,好比组成了一个“链条”。一直追踪下去,到“链条”的两端均在边界上为止。然后,再分别以各个子区边界为处理对象,提取出属于各个子区的特征线段,继续分下去,直到不能再分为止。

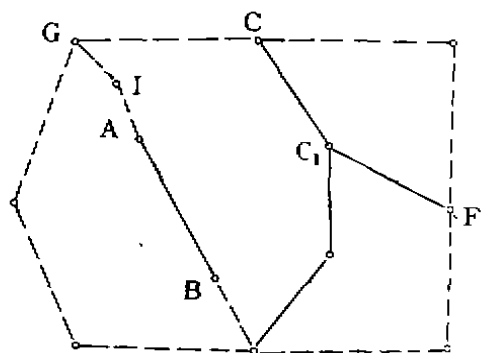


图 3 特征线预处理

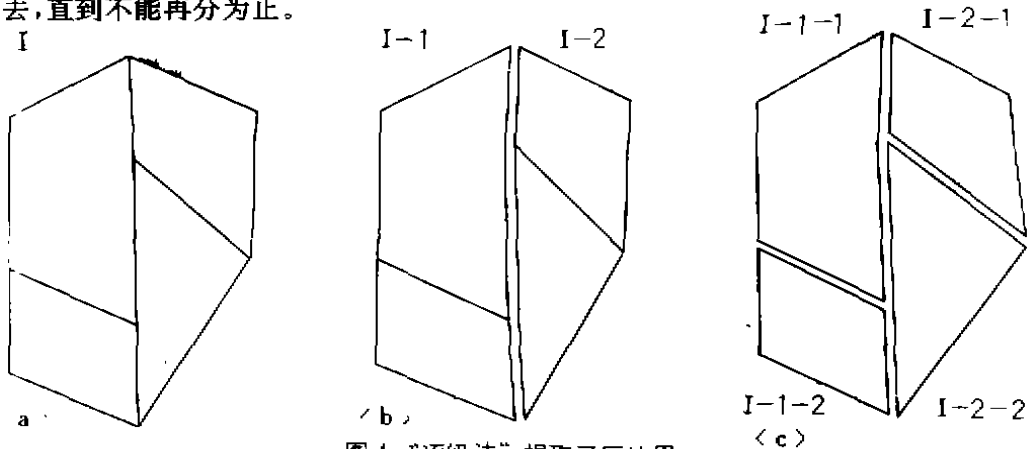


图 4 “逐级法”提取子区边界

## 3. 关于建立三角形格网方法的严密性

(1) 在形成三角形时,由于是从边界向里单方向发展的,而且每形成一个三角形即不再考虑相应的区域。故三角形不会重复出现。

(2) 由于对地形有重要影响的特征线均是子区边界的组成部分,因而在形成三角形时,它们必定会成为三角形的边。

(3) 由于“起点”是顺次从边界上选取的,而且采用“距离和最小”的原则,使得比较邻近的点组成三角形,从而保证了三角形不会遗漏。

(4) 每形成一个三角形即调整边界点列,从而避免了新产生的三角形与既有三角形发生交叉。

可见,前述的建网方法是严密的。

## 结论

1、本文论述的方法,实现了将特征线段作为三角形的边来处理。从而在三角形格网上可以直接利用各种地形特征信息进行高精度地形分析(如产生大比例尺地形图、剖面图、坡度图等)。

2、本文论述的理论巧妙地突破了传统方法不能进行无接边的分块处理的局限,(下接第 48 页)

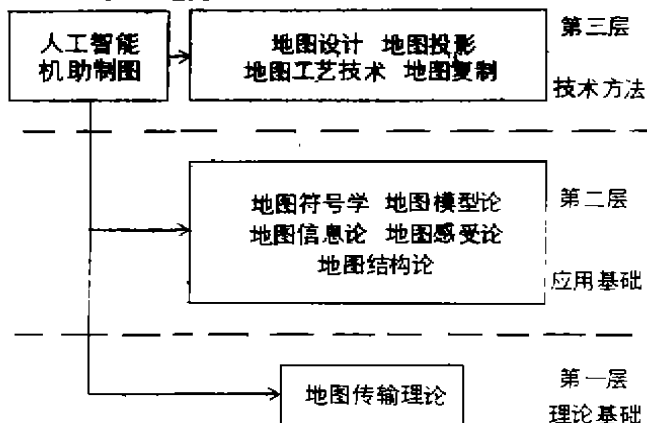
地图符号可看作是一种图形传输的特殊语言,制图的规范、法则构成了这种“制图语言”的语法规则。J. Bertin的《图形符号学》中的视觉变量理论,在提高构图规律和加强感受效果方面对专题地图的系统化有重要意义。另外,较著名的视觉心理现象,如图形与背景关系,视觉、常性、主观轮廓及视错觉等格式塔心理学理论对于认识地图有很强的指导意义,尤其是在地图理解(对军事的意义极大)和制图综合方面其作用不可忽视。有人已经利用格式塔心理学规律进行影像分割,当然在图形方面运用格式塔理论要比图像分割更为困难。

c) 地图结构论

将地图视为结构系统是近年来的一种观念。有人将地图分为深层结构和表层结构,按类似语言学的分类,地图的表层结构又分为语法、语义和语序三个层次。Bertin作了许多工作,但仍属语法学的范围,对其它两层涉及不多。以上这些结构观点仅仅是从宏观上探讨,对地图的本质结构,尤其是基本元素及其之间的逻辑关系并未给出。点、线、面是地图的基本组成元素这无疑是正确的,但它们并未具有意义(语义)。若与自然语言相比,点、线、面仅仅相当于构成某种语言的字符(如英文字母、希腊字母、中文中的横、竖、撇、弯、勾),只有构成“单词”才能具有语义。那么什么是地图的“单词”?这些“单词”如何构成“句子”?这些“句子”如何组成一幅地图?这是地图理论中最困难、目前研究最少,同时也是意义最大、必须回答的问题。Keates曾就图式符号和地图符号之间的关系进行研究,并取得一些成果。更为意味深长的是,北爱尔兰的地图设计专家系统计划里,Keates和Wood就是其中的主要开发人员,这难道不应引起国内制图界的注意吗?

基于以上的讨论我们认为,机助制图(广义的机助制图,包括人工智能技术)可以包括在高俊教授所给的地图制图学定义之中,并作为第三个层次中的一项特殊内容,同它将地图制图学的三个层次有机地联系起来。三个层次的关系是:地图传输理论作为地图制图学的理论基础;地图符号学、地图模型论、地图感受论、地图信息论、地图结构论构成应用基础;地图设计、地图投影、地图工艺技术

术、地图复制和机助制图作为技术方法。第三层次应用第二层次的理论作指导来提高技术水平和地图质量。这些工作,以前只有人才能完成,现在通过广义的机助制图交给机器,这就是人工智能与今日制图的关系(图9)



四、结束语 图9

通过以上的介绍和讨论,可以简单小结如下:

1. 专家系统的主要特征;
  - ①一个明显的知识库;
  - ②一个推理机;
  - ③一种或多种推理策略;
  - ④知识与控制相互独立。

2. 制图领域运用专家系统技术,必须要有数据库的支持。这种专家系统比医疗诊断类的系统更为复杂。

3. 制图领域应用人工智能的方法,需要进一步的地图理论研究,才能真正地推动地图制图学的发展。

4. 智能程序系统是未来系统的主要特征。地理信息系统、城市规划系统、航测自动化系统都将向这一方向发展。

参考文献

(1)张文星、纪有奎,专家系统原理与设计.武汉测绘科技大学出版社,1989。  
 (2)G. Robinson, etc, Expert Systems in map. Design, Auto Carto 7, 1985。

(上接第 45 页)有利于处理大量的数据。

3、采用该理论可建立高精度的DTM,加之处理模式简单,为开发各种先进的地面测量仪器(如TC1、TC2000等)、利用微机进行大比例尺地形图机助成图提供了一条有效的途径。

主要参考文献:

[1]朱庆、李志林,“建立三角形DTM网络的理论综述”,《铁路航测》,1988年第3期  
 [2]ISPRS, Proceedings of the symposium “From Analytical To Digital”, August 19-22, 1986, Lappia-House, Rovaniemi, Finland