

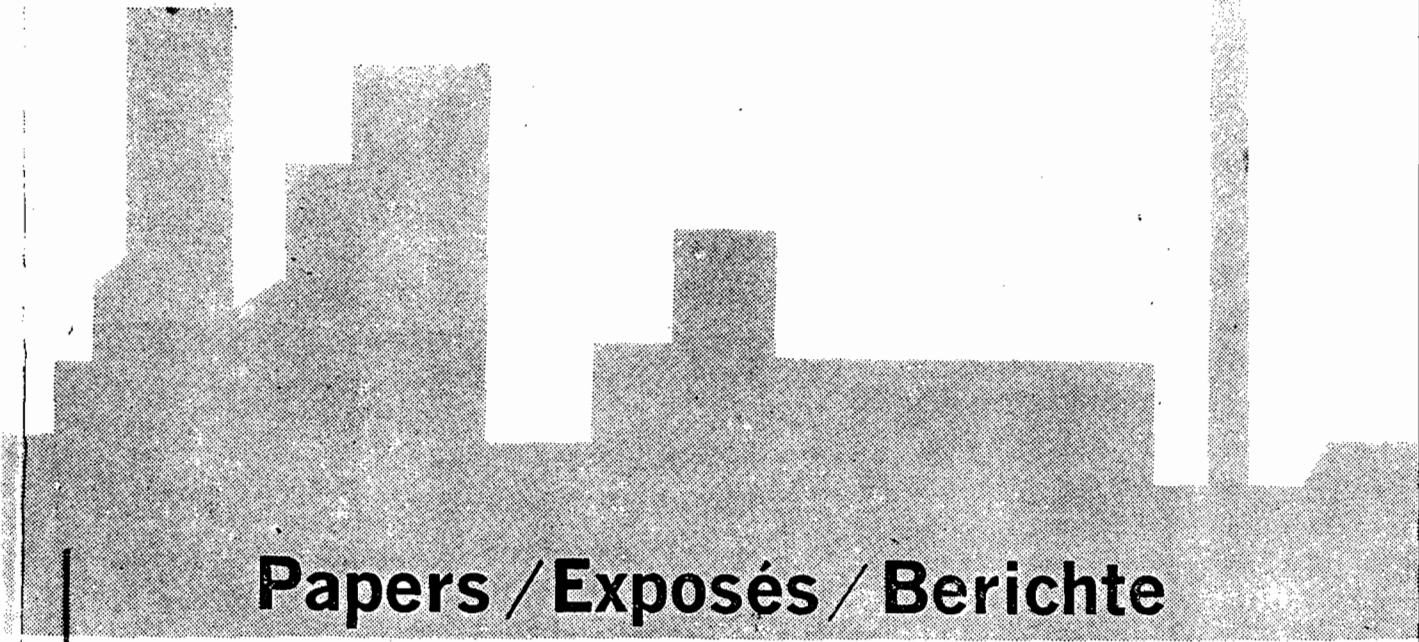
map. ...  
11. Dr. ...  
20. ...  
von ...  
" ... "



INTERNATIONAL FEDERATION OF SURVEYORS  
FÉDÉRATION INTERNATIONALE DES GÉOMÈTRES  
INTERNATIONALE VEREINIGUNG  
DER VERMESSUNGSINGENIEURE

国际测量工作者联合会  
FIG  
第十八届大会

# 论文译文选辑



Papers / Exposés / Berichte

中国测绘学会  
全国测绘科技情报网

1987

# 高精度数字高程模型

## ——土地信息系统之要素

(联邦德国) H.Ebner, D.Fritsch

【提要】在过去的三十年中,数字高程模型已经越来越多地应用于规划和制图目的。尽管起初人们的兴趣看重于数字高程模型(DEM)的应用,而很少对其质量加以要求,但是如今这种数字高程模型已被纳入到土地信息系统之中,从而形成一种高精度的通用型高程数据库。为此,并考虑到这种通用性的一些现代要求,本文对导出数字高程模型所使用的各种方法进行了评述。此外,本文还对利用DEM进行机助制图和规划技术的未来发展进行了预测。

### 1. 引言

数字高程模型的历史开始于30年前的五十年代中期。当时,就地形的数字表示问题,麻省理工学院首先提出了最新的思想。随着该学院摄影测量实验室研究工作的开展,计算机辅助规划和制图的时代开始了,这是因为该项研究工作的着重点是:“通过应用摄影测量技术,自动化仪器和电子计算机来寻求公路工程建设的新方法”。这是C.L.Miller和R.A.Lafamme(1958)的卓越贡献,它为此后一些年以至今日数字高程模型的生产和应用提供了指南。自从这样引入了数字高程模型概念之后,已有众多的涉及抽样分析、高程模型化策略以及实际应用等方面的文献公开发表。

接下来的另一个要点是在美国首都华盛顿召开的FIG大会上首次提出的土地信息系统概念(FIG第五委员会,1974)。因为由此便构成了数字高程模型之通用性用途的主体。也就是说,我们可以明确地把数字高程模型看作是土地信息系统的组成部分。显然,就这方面的问题而言,有关数据结构和数字高程数据库的一些概念都已是现成的了。由此,数字高程模型也已向其核心为地形数据

库的地形信息系统敞开了大门,这也代表了不远将来开展研究工作的一个主题。

### 2. 地形信息系统

随着以电子计算机为基础的土地信息系统(LIS)的出现,所讨论的问题便不可避免地要牵涉到将整个系统适当地划分成一些子信息系统(SIS)的情况,这也正如同R.Conzelt(1980)所提出的一样。通过观察图1所示的倒树形结构,我们不难看出其组织形式可能会是这样的:这种土地信息系统被分成了地籍子系统、地形子系统以及土地测量子系统等等,这些子系统又可以再进一步细分。让我们以地籍信息子系统为例,它包括以下几类:地块地籍、电缆地籍、林木地籍以及其它地籍等。每一类又各自构成其本身的信息系统。正是由于这个原因,不同用户建立的土地信息系统才会有别,这要取决于其主权范围和他们特定的应用。

将数字高程模型归并到土地信息系统之中,便产生了地形信息子系统,目前这对大型工程项目以及环境研究的规划与估算来说显得越来越重要了。其数据库主要包括一个数字高程模型,也可以附加一些地物数据,如街道线划图、水系、建筑物以及植被等,

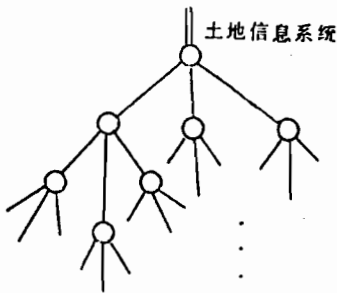


图1 土地信息系统的树状结构

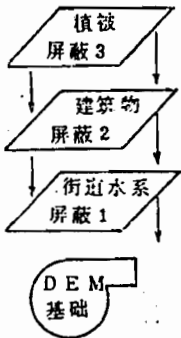


图2 地形数据库的数据存量

从而全面了解关于人类生活空间的知识（见图2）。为了突出主题，地物数据可以在结合使用数字滤波法的情况下，分别采用遥感方法或利用如解析测图仪和现代正射投影技术以摄影测量方式来获取。全部数据都必须集于某一个公共参考系中，它可以是统一横轴墨卡托投影(UTM)坐标系、高斯-克吕格坐标系(GK坐标系)或地理坐标系等。考虑到更便于与数据库通讯，最为适宜的还是采用笛卡尔直角参考坐标系。尽管此坐标系与地理坐标系相比，在主子午线处会产生相互间重迭的现象。

用于所有数据连接的数据库结构可能是以一种链式文件系统为基础，由于这些文件的数据模型形式简单(平文件)，因此这种数据模型应是一种相互关联式的模型。对于地形数据库中数据的处理来说，目前在实践

中采用两种不同的概念：

(i) 一种集成于主语言概念之中的数据处理语言(DML)，这意味着将子程序用于成批处理之中，或者将综合菜单式显示技术应用用于交互处理方式；

(ii) 一种作为数据处理独立工具的询问语言(QL)。

在建立和修改地形数据库方面，维也纳技术大学摄影测量研究所的研究人员取得了经验。他们发展了自己的数据软件，取名为TOPIAS(即地形信息及高程系统)，它特别适合于高程数据的管理。但是，输入到数据库中的方位数据越多，数据管理就会越复杂。因此，我们需要进一步探索有关使用适于处理各种各样的地形数据的标准数据库软件的其他途径。在此方面，联邦德国的W. Staufenbiel通过建立下萨克森州的一个地形系统(TOPSY)首先取得了经验。

### 3. 高精度数字高程模型

在高程数据基础上建立一个地形信息系统需涉及到一系列的基本问题，如数据采样、数据编辑和高程模型化策略等。高程数据根据不同的精度要求和经费情况，可采用不同的方法获取，如直接地形测量、摄影测量与遥感技术或者对地图数字化等。这种数据还应该包括一些有关地形细貌方面的信息，如断裂线、地形线、特征点和泄水道区域等。

#### 3.1 采样问题

在开始采集数据之前，我们必须弄清楚量测误差和由采样规则引起的采样误差。如果现存有地形断面，这些数值也许可以用来确定一种最佳的采样间隔。但是，为了估价各种不同的方法，还有待于进一步研究。

进行地形表面采样最常用的方法是从现存的地图上或采用摄影测量的方法对等高线进行数字化。当然，在摄影测量中还有其他一些方法可以有效地进行数据采集。紧随在立

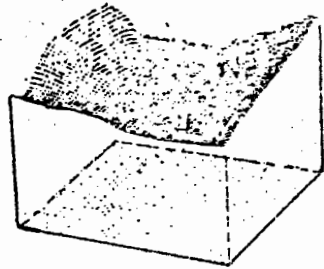


图3 地面渐进采样

体模型中进行断面采集和固定格网量测技术之后,其趋势正朝着自动化技术方向发展。与此同时,以渐进采样技术为基础的数据采集软件可以以一种半自动化的方式驱动解析测图仪来采集数据。根据地表起伏程度,将用一种大小可变化的格网对地面进行采样(见图3)。此外,通过附加格网数据,还可对地形特征要素进行采样。基于相关技术的一些发展,人们主要着眼于一种全自动方式。如果说第一代的自动化模拟设备,如众所周知的GPM系统,一直运行得很成功的话,那么,最近的一些努力则是着重于将数字影像相关技术应用到极为精密的高程数据采集过程之中。

### 3.2 数据编辑

进一步讨论“高精度”这个术语,便产生了对采样得到的数据组进行数据编辑的问题,以便消除粗差,并在进行数据记录时进行质量控制。在此方面,摄影测量又以离线方式通过将地面数据的图解产品叠加于立体模型之上,或者,以大多为最近开始的在线方式来提供各种先进技术。对直接地形测量或地图数字化所得数据的检查,仍按与以往相同的方式,通过将图解产品与现有的地图信息相比较来进行。

在完成了数据采样和编辑之后,我们便可以得到关于地形表面的一种最初的数字表达,即用原始高程数据来表示地面。由于这组数据中包含有输入数据的全部原始信息,所以必须将它们存储起来。此外,在这组数据

中还应进行数据连续化,如新近一些变化的结果。为此,这种数据应该归总到一个公共的参考系结构之中。为了便于管理,在此参考系内把这些数据分成若干方块单元。存储有关于数据原点,记数格式以及存储介质等方面附加信息的分列文件将附加于该数据组中。K.Kraus在1983年发表的文献中,结合TOPIAS软件,提供了更详尽的有关此数据存储方面的经验。

### 3.3 建立高程模型

作为确保快速存取和有效地描述地形表面的永久性数据库,这种原始高程数据还并不是特别适宜的。因此,它们还需经过一些处理阶段之后,方能成为可用来作为地形信息系统中通用型数据库的最终数字高程模型。目前,在实际工作中,可采取两种处理这些原始高程数据的主要策略:

(i) 不规则数据结构,即需将原始采样数据纳入到平面或曲面三角测量之中;

(ii) 规则数据结构,即一个正方形格网附加一些地形特征要素。

这两种概念是完全不同的。但是,在谈到“高精度”时,它们彼此是等效的,甚至

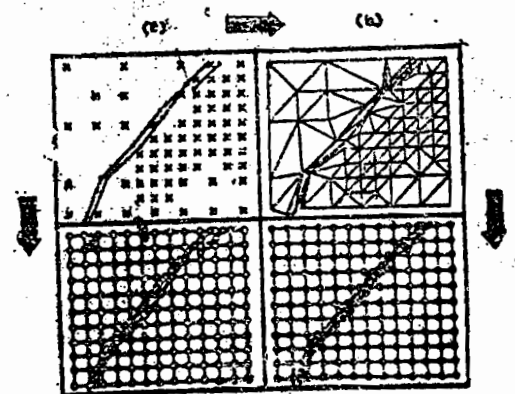


图4 建立数字高程模型中的处理阶段

- (a) 原始高程数据; (b) 用三角测量法进行处理;  
 (c) 用格网内插法进行处理;  
 (d) 用格网与三角相结合的内插方法进行处理

可以结合起来使用(见图4)。

对于具体应用来说,如采矿勘探、特殊的高山区域或公路工程等,在必须要考虑许多有关地形特征的非格网信息的情况下,或许三角测量方法要比格网方式更为有效。有关三角测量方面的经验要追溯到七十年代初期。当时,由慕尼黑MBB公司研制出了一种关于数字高程模型化的通用程序包。从此以后发表了一系列的有关三角测量的文献,此处不再一一列举。

WILD仪器厂的研究人员在数字高程模型化方面采用三角测量方法取得了进一步的发展。该厂已现存有一种CIP(等高线内插程序)程序包,A.Prausser(1984)在此方面也取得了一些进展,他利用高次多项式在三角形上进行内插。在K.R.Koch(1985)的文章中可以找到三角测量方法在褐煤开采中的最新应用,I.Kruse(1985)也将三角测量方法用来根据水崖线推导出等深线,作为水文应用的输入数据。

与不规则数据结构相反,在地形信息系统方面的新趋势正朝向一种经高水平处理的规则数据结构发展,这种结构具有存取方便的优点。将格网数据说成是最终数据结构的另一个理由是,如果用摄影测量方法来进行原始数据的采集,就应采用格网数据方式。把多少不一的不规则分布的采样点转换成格网数据的效果,在很大程度上取决于内插方法。一方面,由于存在有量测误差,所以必须对原始数据进行滤波;另一方面,不应该由内插引起任何重大的地貌质量损失。

追溯到六十年代初,当出现了“数字地面模型评价”一个最初的IBM软件包时,以高次最小二乘多项式为基础的内插方法便成为描述地形表面的数学模型。但是,约花了十年之久,多项式表达法才为低级平滑表面所取代,这种平滑表面如今已成为许多数字高程模型程序包的标准。随着最小二乘推估

的推广,便产生了模型质量方面的下一阶段,如考虑到更准确地进行局部近似,要将一些随机部分加到平滑面上。

在数字高程模型化方面,不少人提出了一个相当不同的论点。这个观点可以归类到有限元法中。他们采用了一种由双线性 and 双三次网目组成的弹性格网,而且可通过对曲率量测值加权来确定伸缩性。带状结构法方程的一种最小二乘解法是计算未知格网高程的有效方法。这种方法也比较理想地适合于建立地形的不均匀性和各向异性模型,因为每个格网元素的弹性都可能受到影响。H. Ebner(1983)首先取得了这方面的经验。

尽管起初在数字高程模型化方面并没有将重点放到特征地形要素上,但是,如今只有建立这些特征要素的精确模型,并结合考虑不均匀性和各向异性条件,才能形成“高精度”的数字高程模型。同时,所采用的大部分方法,只要在其数学处理可达范围内是可行的,它们都正面临着以上种种挑战。以此为基础的极其复杂的各式程序包已经研制出来了,例如SCOP(斯图加特等高线程序)由联邦德国蔡司厂资助的HIFI(有限元法高程内插)、TASH(汉诺威地形测量与评定系统)、美国国防制图局的DTEDS以及美国林业勘测局的TOPAS(地形分析系统)。

有关生成格网式高程模型软件方面的其它一些发展都是围绕着GPM系统进行的。尽管大部分应用是针对中、小比例尺象片展开的,特别是在美国(美国地质调查局)和加拿大(地形测量处)。但是,也有关于GPM应用于大比例尺象片提供高质量的DEM方面的首次经验。一旦相关技术使得数据采集过程全自动化,廉价的附加信息,如斜度和曲率等,便可以为取得更好的地形测量精度创造条件。

目前上面所说的大部分程序包的输出数据都是一个经过高水平处理的格网式数字高

程模型，而且格网大小可以改变（见图5），以适于地形的起伏情况。整个区域被分成一些正方形的格网数据块。为了更精确地表达地形，还可以在这些小方格中添加一些三角

形。将这些数据再配上一些有关格网大小、三角形分布（如果有的话）、小方格编号等方面的信息，便可形成最后可用于地形信息系统的高程数据库。

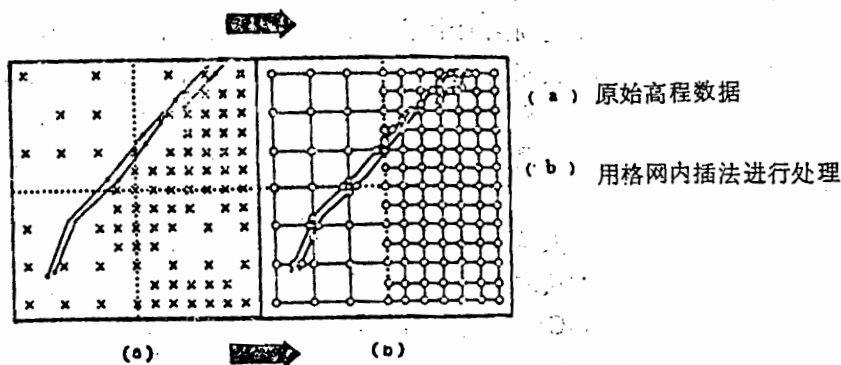


图5 现代格式数字高程模型

#### 4. 结论

生成数字高程模型之高级软件包的开发和应用，使得地形信息系统可直接应用于通用目的。这些软件包除可以提供数字高程模型外，还可以提供其他一些副产品，如等高线、用于正射象片生产的断面、土方量等等，它们代表着各自的“高程信息系统”。一些有关精度，特别是有关等高线精度情况的调查结果证明已达到了相当高的标准。但是，在数据采样、编辑和建立模型方面还需进一

步加以改善，而且应继续朝着尽可能接近“真实世界”之高精度复制品方向改进。

此外，还存在着有关高程信息系统和普通地形信息系统之间接口的改善方面的一些未来发展，因此，数据库中的数据结构问题便显得更为重要了。

格网式高程数据的使用进而使得着眼于高水平计算机辅助规划和制图的一些数字信号处理算法的应用成为可能。

张淑萍译 唐 粮校

（上接第134页）

其小组，还在继续发展MDIF。这两种标准在概念和实现过程上都不同，但都将广泛采用CCSM地物分类编码和适应DTIM的概念。

计划成立一个常设秘书处以保持和更新标准，该秘书处将接纳和处理各种意见并结

合新地物的要求设置新的编码。我们计划拥有一种动态的并且能向上兼容的标准，它可以不断地更新，以反映数字化测图界的不断变化的需求。

梁宜希 译