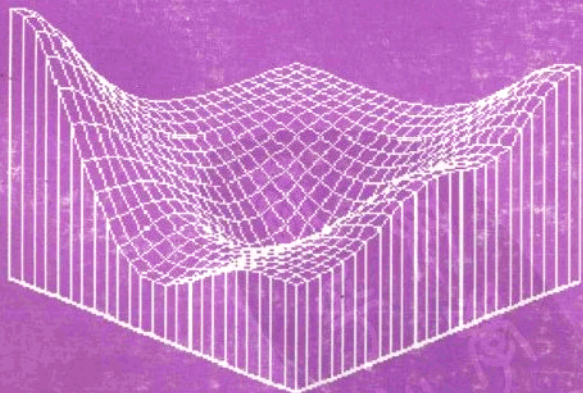


工程中数字地面模型的建立 与应用及大比例尺数字测图

刘友光 黄桂兰 黄全义 徐亚明 黄金森 编



武汉测绘科技大学出版社

内容简介

全书共分八章。第一章绪论；第二章介绍数字地面模型原始数据的各种采集方法；第三章介绍了数据预处理及各种内插方法；第四章叙述了原始数据的精度、可靠性、粗差探测，以及地面模型精度的评定方法；第五、六章叙述计算机辅助制图和数字测图的基本原理和方法；第七章叙述了数字地面模型在工程中的各种应用，并结合实例介绍在线路工程和水利工程中的应用；第八章以瑞得数字测图系统 RDMS 为例，介绍了掌上电脑 RD-EB1 的功能与应用，外业数据采集、内业处理以及图形编辑、输出及报表等。

前 言

武汉测绘科技大学工程测量专业最初开设“数字地面模型”这一课程时,所用教材是由黄腊芝副教授于1991年编写的。这门课程通过几年的教学实践和教学内容的改革,教材作了较大的补充与修改。在此基础上,我们总结这几年来的科研、生产实践与指导研究生的成果,重新编写,并定书名为“工程中数字地面模型的建立与应用及大比例尺数字测图”。

本书系统地介绍了数字地面模型(DTM)建立的基本理论和方法,包括数据的采集,数据处理,精度分析以及在工程中的实际应用。此外,数字测图是建立数字地面模型的基础,故在本书中又介绍了在工程中大比例尺数字测图的基本原理与方法,并结合实际应用介绍了RDMS数字测图系统,以帮助读者更好地学习和实际应用。

本书在编写时一方面考虑到各章节之间的联系和系统性,另外也尽量反映当前的发展和目前的实际,力求理论联系实际,注重可操作性。

全书共分八章。第一章、第三章(第一节至第七节)由徐亚明(讲师、博士生)编写;第二章由刘友光(教授)编写;第三章(第八节)、第四章、第七章(第四节至第八节)由黄桂兰(博士、讲师)编写;第五章、第六章、第七章(第一节至第三节)由黄全义(副研究员、博士生)编写;第八

章由黄金森(工程师)编写。

数字地面模型及数字测图均为当前发展较快并应用广泛的技术,相信随着教学和科研以及生产实际的发展,这一领域的研究会达到一个更高的水平。

编者

1996年11月

目 录

第一章 绪论

第二章 数字地面模型原始数据的采集

- 2.1 野外常规数据采集方法 (5)
- 2.2 摄影测量方法采集数据 (10)
- 2.3 地面立体摄影像片的数据采集 (20)
- 2.4 原有地形图的数字化 (24)

第三章 数字地面模型的内插方法

- 3.1 数据预处理 (38)
- 3.2 线性和双线性多项式内插法 (42)
- 3.3 移动拟合和加权平均法 (44)
- 3.4 按方位取点加权法 (48)
- 3.5 多层叠加面法 (49)
- 3.6 分块多项式(样条函数)内插法 (52)
- 3.7 最小二乘配置法 (54)
- 3.8 有限元内插法 (62)

第四章 数字地面模型的精度分析

- 4.1 原始数据采集的精度分析 (67)
- 4.2 原始数据采集的可靠性分析与粗差探测 (68)

- 4.3 数字地面模型高程内插精度分析..... (78)
- 4.4 数字地面模型的精度评定方法..... (82)

第五章 计算机辅助制图基础

- 5.1 窗口、视图及其坐标变换 (86)
- 5.2 二维图形的裁剪..... (90)
- 5.3 曲线的光滑处理..... (94)
- 5.4 地图符号的自动绘制方法 (108)

第六章 地面数字测图基本原理

- 6.1 地面数字测图的发展和应用 (116)
- 6.2 地面数字测图的控制数据采集方法 (119)
- 6.3 地面数字测图的碎部测量方法 (126)
- 6.4 观测数据记录和图形信息编码 (131)
- 6.5 图形的生成与输出 (135)

第七章 数字地面模型在工程中的应用

- 7.1 三角网法绘制等高线 (140)
- 7.2 网格法绘制等高线图 (148)
- 7.3 用断面法计算土石方 (156)
- 7.4 坡度坡向的计算 (161)
- 7.5 地形断面图的计算机绘制算法 (164)
- 7.6 数字地面模型在公路勘测设计中的应用 (171)
- 7.7 DTM 在秦沈线评述中的应用(实例介绍) (178)
- 7.8 数字地面模型在水利工程中的应用 (184)

第八章 瑞得数字测图系统 RDMS

- 8.1 掌上电脑 RD-EB1 及其开发 (199)

8.2	RDMS 原始数据采集	(204)
8.3	RDMS 内业数据处理	(220)
8.4	RDMS 等高线处理	(223)
8.5	RDMS 地图数字化	(226)
8.6	RDMS 图形编辑	(228)
8.7	RDMS 图形输出	(232)
8.8	RDMS 报表处理及系统服务	(234)

参考文献

第一章 绪 论

电子计算机为各种自然科学的发展提供了能够进行严密、快速演绎的工具。使用计算机和计算技术是当今信息时代的一个重要标志。在测绘方面的应用使得测绘逐步向自动、实时与多用途全方位发展。地图制图也由传统的手工操作向计算机自动成图方向发展,并改变了地图单纯是表示地形的概念,而拓宽为包括图形、影像、数值及其他属性的多种用途,这不仅充实了图的内涵,而且便于使用、管理和维护。

某些单位和设计部门,往往需要一种能被计算机识别的“数字地图”,即将地图的信息以数字形式表达并贮存于计算机中,其中地形的数字化表达形式称为“数字地面模型”(Digital Terrain Model 简称 DTM)。该术语最早是由美国麻省理工学院 Chaires. L. Miller 教授提出的。1955 年~1960 年期间,Miller 教授在美国麻省土木工程部门和美国交通部门指导研究工作,内容是用摄影测量方法测得地形数据,然后用数字计算的方法进行公路设计。虽然当时提出的数字地面模型的方法还比较简单,但它却具备了 DTM 的雏形。1978 年 F. T. Doyle 在《数字地面模型综述》一文中对 DTM 下了这样的定义:“DTM 是描述地面诸特性空间分布的有序数值阵列,在最通常的情况下,所记的地面特性是高程 z , 它们的空间分布由 x, y 水平坐标系统来描述,也可由经度 λ 、纬度 φ 来描述海拔 h 的分布。在新近的文献中称,若仅是将高程或海拔分布作为地面特性的描述称为数字高程模型(Digital Elevation Model 缩写为 DEM)。数字地面模型可以是每三个三维坐标值为一组元的散点结构,也可以是多项式或富里叶级数确定的曲面方程。特别注意的是,数字地面模型可以包括除高程以外的诸如地

价、土地权属、土壤类型、岩层深度及土地利用等其它地面特性信息的数字数据”。这些数据点可以是离散的，或者是规则的（例如格网点）。一个完整的用于建立数字地面模型的软件系统必须包括以下几个方面：数据获取，数据预处理，数据存贮和管理以及数据的应用。

数字地面模型和地形图相比，有如下特点：

(1)容易以多种形式显示地形信息。地形数据经过计算机软件处理后，产生多种比例尺的地形图、纵横断面图和立体图；而常规地形图一经制作完成后，比例尺不容易改变，如需改变或者要绘制其它形式的图，需要经人工处理。

(2)精度不会损失。常规地形图随着时间的推移，图纸变形，失掉原有的精度，而DTM是采用数字媒介（因为存贮于磁带或磁盘上，所以也叫磁性媒介），能保持精度不变。另外，由常规的地形图用人工的方法制作其它种类的图，精度要受损失，而由DTM直接输出，精度可得到控制。

(3)容易实现实时化。增加或改变的地形信息直接输入到计算机，经软件处理后立即产生实时化的各种地形图。

(4)数字地面模型的构成需要以计算机为中心的一套硬件和软件系统，初期投资大。

对数字地面模型分类方法有很多种，就其结构形式来分，DTM可分为以下几种类型：规则格网数字地面模型、散点数字地面模型、等值线数字地面模型、曲面数字地面模型、线路数字地面模型、平面多边形数字地面模型及空间多边形数字地面模型。现就几个在测量上常用的数字地面模型作一简单介绍。

1. 规则格网数字地面模型

把数字地面模型覆盖区划分成为规则格网，每个网格的大小和形状都相同，用相应矩阵元素的行列号网格的二维地理空间定位，第三维为专题类型、属性或等级信息的取值，将矩阵相邻首尾

相接,能将二维规则格网简化成为一维序列的数据结构,可顺序存贮于磁带或磁盘上,这是DTM常用的结构形式。规则格网数字地面模型数据可直接由各类数据源规则获取(如从航测立体模型上规则采点),或由其它结构形式的DTM内插变换而来。

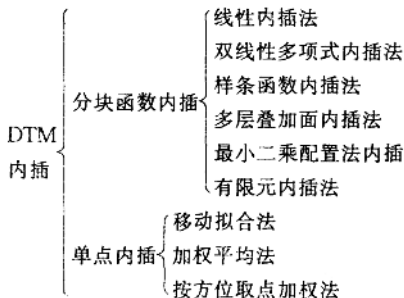
2. 离散点数字地面模型

它的二维地理空间定位由不规则分布的离散样点平面坐标实现,第三维为某一类专题地面特性信息的取值(如在野外实测采样的数据 X, Y, H)。

3. 等值线数字地面模型

它以平面曲线轨迹的坐标串实现二维地理空间定位,第三维是专题信息类型或属性的取值,如某一高程数值、某一地温数值,一组平面坐标串只需配一个第三维坐标的数据。如在现有地形图上沿等高线数字化即属这一类型,当然它也可以从其它类型的DTM通过内插计算变换而来。

提到DTM就必然要谈到内插,因为通过数字地面模型内插,可以对数字地面模型进行加密,以补充实地采点数量和密度上的不足;另外还可以对不同结构的数字地面模型之间进行变换,较常用的内插方法有以下几种:



内插的方法有如此之多,选择内插方法要根据实际情况,重点考虑内插精度和内插速度这两个指标。

数字地面模型既然是地理空间定位的数字数据的集合,那么,凡涉及到地理空间定位,在研究过程中又依靠计算机系统支持的课题,都必须建立数字地面模型。所以说数字地面模型应用很广,它可以应用于以下几个方面:(1)地理信息系统(GIS);(2)计算机辅助制图(CAM)/计算机辅助设计(CAD);(3)城镇规划;(4)计算机辅助工程;(5)自动导航系统;(6)医学图像解析处理;(7)遥感,等等。

本书讲述DTM原始数据的采集方法,DTM内插方法,原始数据的精度、可靠性和粗差探测,DTM的精度评定与分析,大比例尺数字测图的基本原理和方法,以及DTM在工程中的各种应用。此外,结合实际工作,以RDMS数字测图系统为例,阐述该系统的原理、设计和特性,以帮助读者理解与实际应用。

第二章 数字地面模型原始数据的采集

数字地面模型建立在数据点的平面位置和高程的基础上。因为将数据点的三维信息(X, Y, Z)作为建立地表模型的函数式的参数,可以获得数字地面模型的控制基础。而原始数据采集的主要方法有:野外常规数据采集、摄影测量方法的数据采集和现有地形图数字化的数据采集。

2.1 野外常规数据采集方法

2.1.1 野外常规数据采集

野外常规数据采集是工程测量工作中,尤其是工程中大比例尺测图获取数据信息的主方法。而采集数据的方法随着野外作业的方法和使用的仪器设备不同可以分为下面三种形式。

一、普通地形测图方法

使用普通的测量仪器,例如使用经纬仪、平板仪和水准仪等,将外业观测成果人工记录于手簿中,再进行内业数据的处理,然后输入到计算机内。

二、使用测距经纬仪和电子手簿方法

用测距经纬仪进行外业观测距离、水平方向和天顶距等,用电子手簿在野外进行观测数据的记录以及必要的计算并将成果贮存。内业处理时再将电子手簿中的观测数据或经处理后的成果输

人计算机。

三、野外使用全站型电子经纬仪方法

用全站型电子经纬仪(也称电子速测仪)进行外业观测(也包括使用电子水准仪等),测量数据自动存入仪器的数据终端,然后将数据终端通过接口设备(通讯电缆)输入到计算机。采用这种方式则从外业观测到内业处理直至成果输出(包括地形图、各种专题图和数据表格等)整个流程实现自动化。

2.1.2 全站型电子经纬仪和电子手簿

一、全站型电子经纬仪

它是外业观测获取点位空间信息的工具。自1968年世界上第一台电子经纬仪(西德OPTON厂生产的Reg Elta 14)问世以来,得到了迅速的发展。与传统的经纬仪相比,它具有自动记录测量数据,减少读数误差和记簿的粗差和错误,自动改正仪器的倾斜误差(包括仪器水平横轴和仪器竖轴的倾斜误差),可以自动消除度盘的偏心差和度盘分划线误差的影响等功能,它还可以利用附在仪器内的微处理器(现已发展为电脑),自动进行如投影归算、大气改正、地球曲率影响改正以及坐标计算等。

电子经纬仪发展至八九十年代的代表性产品有:瑞士Wild厂的T 1000,T 2000,TC 2000;Kern厂的E1,E2;瑞典AGA厂的AGA140;原西德OPTON厂的Elta 3,Elta 4;美国HP 3820A;日本测机舍的SET 2,SET 3等等。以上这些都可称为第二代产品(见表2-1)。

表 2-1

全站型电子经纬仪

型号 (系统)	最大测程 (km)	精 度		电子测角 方 式	备 注
		距离	角度		
TC1600	5	$\pm 3\text{mm} + 2\text{ppm}$	$\pm 2''$	编码度盘 (绝对式)	接 Geocomp 系统
HP 3820A	5	$\pm 5\text{mm} + 5\text{ppm}$	$\pm 2'' \sim 4''$	编码度盘 (绝对式)	接 HP 测图系统
ELTA 2	5	$\pm 5 \sim 10\text{mm}$ $+ 2\text{ppm}$	$\pm 0.6''$	编码度盘 (绝对式)	GEOS 型绘图系统
AGA 140	5.5	$\pm 5\text{mm} + 3\text{ppm}$	$\pm 2''$		GEODIMETER 测图系统
SET 4	3	$\pm 5\text{mm} + 3\text{ppm}$	$\pm 2''$	光栅度盘 (增量式)	Sokkisha 测图系统
TC2000	5.5	$\pm 3\text{mm} + 2\text{ppm}$	$\pm 0.5''$		

组合式全站型仪器

系统	最大测程 (km)	精 度		电子测角 方 式	主要部件
		距离	角度		
VECTRON	4	$\pm 5\text{mm} + 6\text{ppm}$	$\pm 3''$	增量式	Vectront Autoranger
KERN	5	$\pm 5\text{mm} + 5\text{ppm}$ $\pm 3\text{mm} + 1\text{ppm}$	$\pm 2'' \sim 1''$	增量式	E1/E2 + DM502/503
WILD	14	$\pm 5\text{mm} + 5\text{ppm}$ $\sim \pm 5\text{mm} + 1\text{ppm}$	$\pm 0.5''$	动态法	T2000 + DI4L /DI20 等

电子经纬仪发展到今天,已经向电脑型过渡。代表性的产品有日本杰科公司开发研制的新一代 FALDY 系列全站仪(又称大地之王, FIELD STATION)。它将已知数据与观测数据的存储一体化,并融汇了与 MS-DOS 相兼容的计算机系统。内置大容量电脑系统,功能卡自由配置,使一机多用。超大屏幕汉字显示,人机对话,而且对中国用户专门开发了汉字屏幕显示系统。这种全站型电子经纬仪是第三代电脑型仪器,功能强,操作方便,自动化程度高,是理想的外业测量仪器。其性能参数见表 2-2 所示。

表 2-2 FALDY 汉显电脑型全站仪性能参数表*

	FALDY-5i	FALDY-10i	FALDY-10is	FALDY-20is
测距部	测距范围 (能见度 40km)	1 块棱镜 2 700m 3 块棱镜 3 600m		1 块棱镜 2 000m 3 块棱镜 3 000m
	测距精度(精密)	$\pm(2\text{mm}+3\text{ppm}\times D)$ $\pm(2\text{mm}+2\text{ppm}\times D)$	$\pm(3\text{mm}+3\text{ppm}\times D)$ $\pm(3\text{mm}+2\text{ppm}\times D)$	
	测距精度(速测)	$\pm(5\text{mm}+3\text{ppm}\times D)$		
	最小显示	精密测距...1mm(可转换成 0.2mm)高速测距...1mm		
	测距时间	精密测距...约 3.0s(第一测回约 4.0s)高速测距...约 0.8s(第一测回约 1.8s)		
	棱镜常数	-999mm~+999mm 直接输入		
	气象修正	温度(-40℃~+55℃)气压(400mmHg~999mmHg)直接输入		
测角部	读数方式	光电增量编码器检测方式 水平角:对读 竖直角:对读		
	精 度	2"以内(标准差)	3"以内(标准差)	5"以内(标准差)
	最小读数	5"(可转换成 1")	10"(可转换成 5")	20"(可转换成 10")
	微动方式	(高度、水平二个方向)同轴粗动,微动方式		
	自动补偿	(±3' 范围内)自动补偿超出范围自动警告二轴补偿		
	测角方式	水平角...盘左/盘右 竖直角...天顶角/高度角		
	气泡灵敏度	长水准管 20"/2mm 圆水准器 10"/2mm	长水准管...30"/2mm	
计算机部	内部辅助存储器	256KB	128KB	
	时 钟	有		
	存储卡接口	2 只		
	卡片型号	PCMCIA		
	卡片容量	512KB 1MB		

续表 2-2

红光方向指示器		内藏
其它	手柄式蓄电池	7.2V(镍镉蓄电池)连续使用时间约 2.5 小时,不连续使用约 4 小时
	充电时间	约 1.5 小时
	使用温度	-20℃~+50℃
	尺 寸	175(长)×182(宽)×367(高)
	重 量	6.8kg(不包括内部蓄电池 0.7kg) 6.5kg(不包括内部蓄电池 0.7kg)

* 参照 JEC 上海杰科测绘系统有限公司仪器说明。

二、电子手簿

电子手簿用于观测数据的记录、处理和存储,一般与测距经纬仪或普通电子经纬仪配合使用。它的功能大小与操作简便程度影响着大比例尺数字测图的作业效率。目前作为电子手簿开发的产品很多,在此仅将电子手簿应具备的通用功能作简要介绍。电子手簿(又称掌上电脑)体积小,重量轻,一次充电可用几小时至几天,内存从几十 KB、几百 KB 到几 MB,贮存测点量可由几千个至一万个。好的电子手簿应具有的功能包括:

(1) 控制测量观测记录(包括平面控制与水准测量、图根控制)。

(2) 碎部测量(包括地形测量和土地地籍测量)。

(3) 自由设站测量。即在未知点上设站,根据已有控制点,求得测站点坐标。这不仅为了碎部测量或工程放样,更使得设站十分方便灵活。

(4) 导线测量。可进行各种导线(符合导线、闭合导线、无定向导线等)的测量记录、计算和贮存。

(5) 工程放样。平面位置,高程位置,平面与高程同时放样等。

(6) 断面测量。适应道路、管线等的工程勘测。

(7)一般可进行直观的外业图形显示。

(8)一般还可以进行其他用途的开发,以及提供与各种测距经纬仪或普通电子经纬仪的通讯接口。

野外采集的各种数据一般应用一定格式的数字、英文字母(包括汉字化)记录,不同的大比例尺数字测图,其外业数据记录格式也不相同。因此,应用同一个系统的采集格式较为方便。否则需要进行格式的转换,以满足各种测图系统的要求。

2.2 摄影测量方法采集数据

摄影测量方法包括航空摄影测量和地面摄影测量。长期以来,它是通过摄影像片通过各种模拟测图仪器测绘地形图。将所有的像对在立体测图仪上相对定向,并按已确定的模型比例尺进行绝对定向,在定向好的模型上用空间测标切准模型点,描绘地物的特殊线性结构或数学定义(例如等高线、纵断面线等)的线条,得到测绘的点位或线划图,并利用等高线、独立高程点,读出高程和注记。这种常规的摄影测量系统,是利用现有的仪器和技术手段,完成以地形测量为目的的测图工作,但是在现今技术发展的影响下,快速获取的、多种多样的、且多种选择的信息需求日益增长,尤其在高速公路、铁路的勘测设计,远程输电线路、给水工程、水利工程的设计规划,以及建筑工程,土地规划及环境保护、林业规划等方面的应用更为广泛。这些都促进了数字地面模型(DTM)(包括数字高程模型 DEM)的发展和应用。

利用摄影测量像片建立数字地面模型,可以采用航空摄影的像片,也可以采用地面摄影的像片。数据采集的方法分为二种,一种是通过立体测图仪器,另一种是通过坐标量测仪。