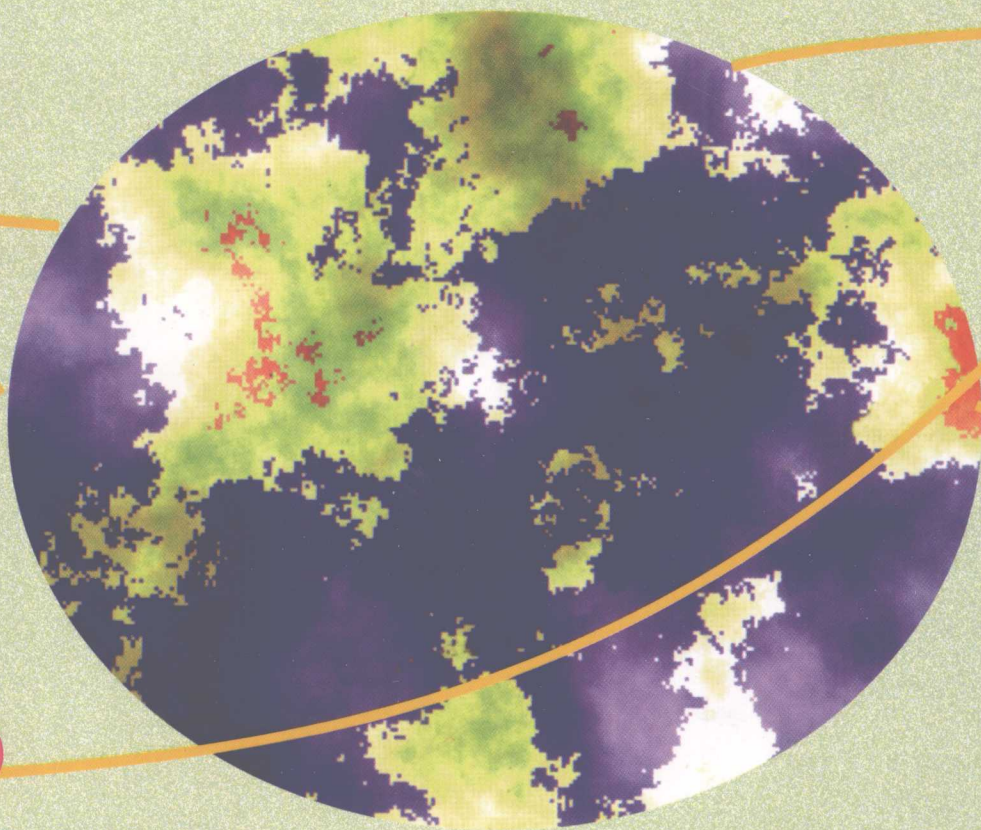


普通高等教育测绘类规划教材

数字摄影测量学

张祖勋 张剑清 编著



武汉大学出版社

普通高等教育测绘类规划教材

数字摄影测量学

张祖勋 张剑清 编著



武汉大学出版社

内容简介

本书系统讲述了数字摄影测量的基本理论和基本方法,主要内容包括:计算机辅助测图(数字测图)的方法与主要过程;数字地面模型的理论与应用;数字影像基础;数字影像特征提取与定位;数字影像匹配理论与算法;数字微分纠正与数字摄影测量系统。全书分两篇共十四章,每章附有思考题,有关基础知识则列入附录。全书反映了当代数字摄影测量的新发展与新水平,可作为高等院校摄影测量与遥感专业本科生与研究生的基本教材,也可供其他有关影像信息提取专业的师生、工程技术人员和研究人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字摄影测量学/张祖勋,张剑清编著. —武汉:武汉大学出版社,
1997. 1

普通高等教育测绘类规划教材

ISBN 7-307-03233-3

I. 数… II. ①张… ②张… III. 数字摄影测量—测量学
IV. P231. 5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 16617 号

责任编辑:王金龙

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:wdp4@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:湖北金海印务公司

开本:787×1092 1/16 印张:19.125 字数:490千字

版次:1997年1月第1版 2006年6月第5次印刷

ISBN 7-307-03233-3/P·7 定价:38.50元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

目 录

绪论	(1)
§ 0.1 摄影测量的发展阶段及特点	(1)
一、模拟摄影测量	(1)
二、解析摄影测量	(1)
三、数字摄影测量	(2)
§ 0.2 数字摄影测量	(3)
一、数字摄影测量的定义	(3)
二、计算机辅助测图	(3)
三、影像数字化测图	(3)
§ 0.3 全数字摄影测量的若干典型问题	(5)
一、辐射信息	(5)
二、数据量	(5)
三、速度与精度	(5)
四、影像匹配	(6)
五、影像解译	(6)
习题与思考题	(6)
第一篇 计算机辅助测图与数字地面模型	
第一章 计算机辅助测图的数据采集	(8)
§ 1.1.1 数据采集设备与数据采集主要过程	(8)
一、数据采集设备	(8)
二、数据采集主要过程	(8)
§ 1.1.2 属性码的输入与管理	(9)
一、编码	(9)
二、编码输入方式	(9)
三、属性码表 ACL	(9)
§ 1.1.3 坐标的量测与管理	(10)
一、坐标表 CL	(10)
二、封闭地物的自动闭合	(11)
三、直角点的自动增补	(11)
四、遮蔽房角的量测	(12)
五、直角化处理	(12)
六、平行化处理	(13)
七、Snap 功能	(13)

八、公共边	(13)
九、复制(拷贝)	(15)
习题与思考题	(15)
第二章 计算机辅助测图的数据处理	(16)
§ 1.2.1 数据的图形显示	(16)
§ 1.2.2 人机交互	(17)
§ 1.2.3 图形编辑	(18)
一、屏幕检索表	(18)
二、图形编辑	(18)
§ 1.2.4 字符编辑	(19)
习题与思考题	(19)
第三章 计算机辅助测图的数据输出	(21)
§ 1.3.1 绘图基本算法	(21)
一、曲线拟合	(21)
二、平行线	(26)
三、晕线	(26)
四、区域符号填充	(27)
§ 1.3.2 图板定向	(27)
一、由绘图比例尺确定变换关系	(27)
二、根据控制点图廓点确定变换关系	(27)
§ 1.3.3 点状符号的绘制	(28)
一、点状符号库	(28)
二、点状符号的绘制	(29)
§ 1.3.4 线状符号与面状符号的绘制	(29)
一、符号库	(29)
二、线状符号与面状符号的绘制	(29)
§ 1.3.5 裁剪与注记	(30)
一、裁剪	(30)
二、注记	(31)
§ 1.3.6 机助测图系统简介	(31)
一、国外数字测图系统简介	(31)
二、国内数字测图系统简介	(32)
习题与思考题	(33)
第四章 数字地面模型的建立	(34)
§ 1.4.1 概述	(34)
一、数字地面模型的发展过程	(34)
二、数字地面模型的概念	(34)

三、DEM 的形式	(35)
§ 1.4.2 DEM 数据采集与质量控制	(36)
一、DEM 数据点的采集方法	(36)
二、数字摄影测量的 DEM 数据采集方式	(37)
三、DEM 数据采集的质量控制	(38)
§ 1.4.3 DEM 数据预处理	(40)
一、格式转换	(40)
二、坐标变换	(41)
三、数据编辑	(41)
四、栅格数据转换为矢量数据	(41)
五、数据分块	(41)
六、子区边界的提取	(42)
§ 1.4.4 移动曲面拟合法 DEM 内插	(42)
§ 1.4.5 多面函数法 DEM 内插	(44)
* § 1.4.6 最小二乘法内插(配置法)	(46)
一、配置法(collocation)	(46)
二、推估法(prediction)	(47)
三、滤波(filtering)	(48)
四、协方差函数	(49)
* § 1.4.7 有限元法内插	(51)
一、一次样条有限元 DEM 内插	(51)
二、三次样条有限元 DEM 内插	(55)
§ 1.4.8 DEM 的精度	(56)
一、由地形功率谱与内插方法的传递函数估计 DEM 精度	(56)
二、利用检查点的 DEM 精度评定	(57)
§ 1.4.9 DEM 的存贮管理	(57)
一、DEM 数据文件的存贮	(57)
二、地形数据库	(58)
三、DEM 数据的压缩	(58)
四、DEM 的管理	(60)
习题与思考题	(61)
第五章 数字地面模型的应用	(62)
§ 1.5.1 基于矩形格网的 DEM 多项式内插	(62)
一、双线性多项式(双曲面)内插	(62)
二、双三次多项式(三次曲面)内插	(64)
§ 1.5.2 等高线的绘制	(66)
一、等高线跟踪	(66)
二、等高线光滑(曲线内插)	(71)
§ 1.5.3 立体透视图	(72)

§ 1.5.4 DEM 的其他应用	(75)
一、坡度、坡向的计算	(75)
二、面积、体积的计算	(76)
三、单片修测	(77)
四、数控微分纠正与数字微分纠正	(77)
习题与思考题	(77)
第六章 三角网数字地面模型	(79)
§ 1.6.1 三角网数字地面模型的构建	(79)
一、角度判断法建立 TIN	(79)
二、泰森(Thiessen)多边形与狄洛尼(Delaunay)三角网	(80)
§ 1.6.2 三角网数字地面模型的存贮	(80)
一、直接表示网点邻接关系的结构	(80)
二、直接表示三角形及邻接关系的结构	(81)
三、混合表示网点及三角形邻接关系的结构	(81)
四、TIN 的压缩存贮	(82)
§ 1.6.3 三角网中的内插	(82)
一、格网点的检索	(82)
二、高程内插	(82)
三、沿剖面内插	(83)
§ 1.6.4 基于三角网的等高线绘制	(83)
一、基于三角形搜索的等高线绘制	(84)
二、基于格网点搜索的等高线绘制	(84)
习题与思考题	(85)

第二篇 数字影像自动测图

第一章 数字影像获取与重采样	(88)
§ 2.1.1 数字影像	(88)
§ 2.1.2 数字影像采样	(88)
一、采样定理	(89)
二、实际采样分析	(91)
三、采样孔径与颗粒噪声	(92)
§ 2.1.3 数字影像量化	(93)
§ 2.1.4 数字影像传感器	(94)
一、传感器	(94)
二、数字影像传感器的检校	(94)
§ 2.1.5 影像重采样理论	(95)
一、双线性插值法	(95)

二、双三次卷积法	(96)
三、最邻近像元法	(97)
四、双像素重采样	(98)
习题与思考题	(98)
第二章 数字影像解析基础	(100)
§ 2.2.1 数字影像的内定向	(100)
* § 2.2.2 相对定向的直接解	(103)
一、相对定向直接解的数学模型	(103)
二、相对定向直接解的参数解算	(104)
* § 2.2.3 空间后方交会的直接解	(106)
一、距离方程组	(107)
二、解求摄站坐标与影像方位元素	(108)
三、解求摄站到控制点的距离	(109)
§ 2.2.4 核线几何关系解析与核线排列	(114)
一、核线几何关系解析	(115)
二、核线的重排列(重采样)	(117)
* 三、利用相对定向直接解进行核线排列	(119)
习题与思考题	(120)
第三章 影像特征提取与定位算子	(121)
§ 2.3.1 影像信息量与特征	(121)
一、信息量	(121)
二、比特分割	(122)
三、特征	(123)
§ 2.3.2 点特征提取算子	(123)
一、Moravec 算子	(123)
二、Förstner 算子	(124)
§ 2.3.3 线特征提取算子	(126)
一、梯度算子	(126)
二、二阶差分算子	(127)
三、高斯-拉普拉斯算子(LOG 算子)	(129)
四、特征分割法	(130)
五、Hough 变换	(130)
* § 2.3.4 影像分割	(131)
一、影像分割的定义	(132)
二、阈值法	(132)
三、区域生长法	(133)
四、集群分类法	(137)
§ 2.3.5 定位算子	(137)

(30)	一、Medioni-Yasumoto 定位算子	(138)
(30)	二、基于小面元模型的定位算子	(139)
(30)	三、矩不变定位算子	(140)
(30)	四、Wong-Trinder 圆点定位算子	(142)
(00)	五、Mikhail 定位算子	(142)
(00)	六、Förstner 定位算子	(143)
(00)	七、高精度角点与直线定位算子	(143)
(00)	习题与思考题	(146)
(00)	第四章 影像匹配基础理论与算法	(148)
(00)	§ 2.4.1 影像相关原理	(148)
(70)	一、相关函数	(148)
(80)	二、电子相关	(149)
(90)	三、光学相关	(150)
(41)	四、数字相关	(152)
(01)	§ 2.4.2 影像相关的谱分析	(153)
(71)	一、相关函数的谱分析	(153)
(01)	二、滤波与金字塔影像相关(分频道相关)	(157)
(01)	§ 2.4.3 数字影像匹配基本算法	(163)
(15)	一、相关函数(矢量数积)测度	(164)
(15)	二、协方差函数(矢量投影)测度	(165)
(15)	三、相关系数(矢量夹角)测度	(166)
(15)	四、差平方和(差矢量模)测度	(169)
(25)	五、差绝对值和(差矢量分量绝对值和)测度	(170)
(51)	六、相关精度	(170)
(01)	§ 2.4.4 基于物方的影像匹配(VLL 法)	(172)
(01)	§ 2.4.5 影像匹配基本方法统计理论基础与错误概率	(174)
(15)	* 一、贝叶斯判别原则	(174)
(00)	* 二、正态分布模式的贝叶斯判别	(174)
(00)	* 三、贝叶斯判别的错误概率	(176)
(70)	* 四、噪声的影响	(178)
(05)	五、多测度(多重判据)影像匹配	(178)
(00)	习题与思考题	(179)
(00)	第五章 最小二乘影像匹配	(180)
(00)	§ 2.5.1 最小二乘影像匹配原理	(180)
(00)	一、仅考虑辐射的线性畸变的最小二乘匹配——相关系数	(181)
(00)	二、仅考虑影像相对移位的一维最小二乘匹配	(182)
(70)	§ 2.5.2 单点最小二乘影像匹配	(183)
(00)	一、二维影像匹配的基本算法	(183)

二、带共线条件的最小二乘影像匹配	(186)
§ 2.5.3 最小二乘影像匹配的精度	(189)
习题与思考题	(191)
第六章 特征匹配与整体匹配	(192)
§ 2.6.1 基于特征的影像匹配	(192)
一、基于特征的影像匹配的策略	(193)
二、跨接法影像匹配	(195)
* § 2.6.2 关系匹配与单像计算机视觉	(198)
一、集合与关系	(198)
二、二元关系的矩阵表示与运算	(199)
三、关系匹配	(200)
四、单像计算机视觉	(202)
§ 2.6.3 整体影像匹配	(205)
一、多点最小二乘影像匹配(有限元最小二乘影像匹配)	(205)
* 二、动态规划影像匹配	(207)
三、松弛法影像匹配	(213)
习题与思考题	(215)
第七章 数字微分纠正	(216)
§ 2.7.1 框幅式中心投影影像的数字微分纠正	(216)
一、数字微分纠正的基本原理与两种解算方案	(217)
二、反解法(间接法)数字微分纠正	(217)
三、正解法(直接法)数字微分纠正	(218)
四、数字纠正实际解法及分析	(220)
§ 2.7.2 线性阵列扫描影像的数字纠正	(220)
一、间接法	(220)
二、直接法	(222)
三、直接法与间接法相结合的纠正方案	(223)
四、多项式纠正	(223)
* § 2.7.3 彩色变换及应用	(224)
一、彩色变换	(225)
二、遥感图像的复合	(227)
§ 2.7.4 景观图的制作原理	(228)
一、模拟灰度景观图	(229)
二、真实景观图(landscape)	(231)
习题与思考题	(232)
第八章 数字摄影测量系统	(233)
§ 2.8.1 数字摄影测量系统	(233)

(108) 一、主要功能与产品	(233)
(108) 二、作业方式	(234)
(108) 三、硬件	(234)
(108) 四、软件	(235)
* § 2.8.2 混合型数字摄影测量系统	(235)
(109) 一、DSR11 + CCD	(236)
(109) 二、C100 + CCD	(236)
(109) 三、DCCS 数字坐标仪相关系统	(239)
(108) § 2.8.3 全数字型数字摄影测量系统	(240)
(108)* 一、全数字化自动测图系统 DAMC	(241)
(108)* 二、DSP1 数字立体摄影测量系统	(242)
(108)* 三、最简单的数字摄影测量工作站	(244)
(108) 四、Leica 经销的 Helava 的数字摄影测量系统	(245)
(108) 五、中国的 WUDAMS 全数字自动化测图系统	(247)
(108) 六、其他系统简介	(249)
* § 2.8.4 实时摄影测量系统	(250)
(108) 一、DIPS 数字摄影测量站	(250)
(108) 二、IRI D256 视觉系统“OBJECT”程序	(253)
习题与思考题	(255)
附录一 利用分形几何理论估计地形粗糙度	(257)
附录二 利用图论提取子区的边界	(258)
附录三 基函数与样条函数	(265)
附录四 矩阵的直积	(272)
附录五 用数学形态学建立 TIN	(273)
附录六 三角网数字地面模型的压缩存储	(277)
附录七 傅立叶分析与卷积	(283)
附录八 动态规划基本原理	(289)
主要参考文献	(293)

绪 论

摄影测量学有着悠久的历史,从 19 世纪中叶至今,它从模拟摄影测量开始,经过解析摄影测量阶段,现在正向数字摄影测量阶段发展。数字摄影测量包括计算机辅助测图与影像数字化测图,它与电子计算机的发展紧密相关。

§ 0.1 摄影测量的发展阶段及特点

摄影测量至今可划分为三个发展阶段,即模拟摄影测量、解析摄影测量与数字摄影测量。

一、模拟摄影测量

早在 18 世纪,数学家兰伯特(J H Lambert)在他的著作中(“Frege Perspective”, Zurich, 1759)就论述了摄影测量的基础——透视几何理论。1839 年法国 Daguerre 报导了第一张摄影像片的产生后,摄影测量学开始了它的发展历程。19 世纪中叶,劳塞达(A Laussedat,他被认为是“摄影测量之父”)利用所谓“明箱”装置,测制了万森城堡图。当时一般采用图解法进行逐点测绘,直到 20 世纪初,才由维也纳军事地理研究所按奥雷尔(Orel)的思想制成了“立体自动测图仪”,后来由德国卡尔·蔡司厂进一步发展,成功地制造了实用的“立体自动测图仪”(stereoautograph)。经过了半个多世纪的发展,到 60~70 年代,这种类型的仪器发展到了顶峰。由于这些仪器均采用光学投影器或机械投影器或光学-机械投影器“模拟”摄影过程,用它们交会拍摄物体的空间位置,所以称其为“模拟摄影测量仪器”。著名摄影测量学者 U V Helava 于 1957 年在他的论文中谈到:“能够用来解决摄影测量主要问题的现有的全部的摄影测量测图仪,实际上都是以同样的原理为基础的,这个原理可以称为模拟的原理”。这一发展时期也被称为“模拟摄影测量时代”。在这一时期,摄影测量工作者们都在自豪地欣赏着 30 年代德国摄影测量大师 Gruber 的一句名言,那就是:“摄影测量就是能够避免繁琐计算的一种技术。”有些仪器冠以“自动”二字,其含意也仅在于此,即利用光学机械模拟装置,实现了复杂的摄影测量解算。但是,它并不意味着不需要人工的立体观测,而真的实现“自动测图”。

在模拟摄影测量的漫长发展阶段中,摄影测量科技的发展可以说基本上是围绕着十分昂贵的立体测图仪进行的。

二、解析摄影测量

随着模/数转换技术、电子计算机与自动控制技术的发展,Helava 于 1957 年提出了摄影测量的一个新的概念,就是“用数字投影代替物理投影”。所谓“物理投影”就是指“光学的、机械的,或光学-机械的”模拟投影。“数字投影”就是利用电子计算机实时地进行共线方程的解算,从而交会拍摄物体的空间位置。当时,由于电子计算机十分昂贵,且常常受到电子故障的影响,而且,实际的摄影测量工作者通常没有受过有关计算机的训练,因而没有引起摄影测量界

很大的兴趣。但是,意大利的 OMI 公司确信 Helava 的新概念是摄影测量仪器发展的方向,他们与美国的 Bendix 公司合作,于 1961 年制造出第一台解析测图仪 AP/1。后来又不断改进,生产了一批不同型号的解析测图仪 AP/2, AP/C 与 AS11 系列等。这个时期的解析测图仪多数为军用,AP/C 虽是民用,但也没有获得广泛应用。直到 1976 年在赫尔辛基召开国际摄影测量学会大会上,由 7 家厂商展出了 8 种型号的解析测图仪,解析测图仪才逐步成为摄影测量的主要测图仪。到 80 年代,由于大规模集成电路的发展,接口技术日趋成熟,加之微机的发展,解析测图仪的发展更为迅速。目前它正在逐步成为计算机的一个“外部设备”。它已不再是一种专门由国际上一些大的摄影测量仪器公司生产的仪器,有的图像处理公司(如 I²S, Intergraph 公司等)也生产解析测图仪。

摄影测量的这一发展时期有代表性的产品就是“解析立体测图仪”。在这一时期受益最多,效果特别显著的还是在测量控制点位的内业“加密”方面,人们看到了以电子计算机为基础的解析空中三角测量,这可是一项不小的改革。我们称摄影测量的这一发展时期为“解析摄影测量时代”。解析测图仪与模拟测图仪的主要区别在于:前者使用的是数字投影方式,后者使用的是模拟的物理投影方式。由此导致仪器设计和结构上的不同:前者是由计算机控制的坐标量测系统;后者使用纯光学、机械型的模拟测图装置。还有操作方式的不同:前者是计算机辅助的人工操作;后者是完全的手工操作。由于在解析测图仪中引入了半自动化的机助作业,因此,免除了定向的繁琐过程及测图过程中的许多手工作业方式。但它们都是使用摄影的正片(或负片)或像片,并都需要人用手去操纵(或指挥)仪器,同时用眼进行观测。其产品则主要是描绘在纸上的线划地图或印在像纸上的影像图,即模拟的产品。当然,在模拟测图仪上附加数字记录装置,或在解析测图仪上以数字形式记录多种信息,也可形成数字的产品。

三、数字摄影测量

数字摄影测量的发展起源于摄影测量自动化的实践,即利用相关技术,实现真正的自动化测图。摄影测量自动化是摄影测量工作者多年来所追求的理想。最早涉及到摄影测量自动化的研究可追溯到 1930 年,但并未付诸实施。直到 1950 年,由美国工程兵研究发展实验室与 Bausch and Lomb 光学仪器公司合作研制了第一台自动化摄影测量测图仪。当时是将像片上灰度的变化转换成电信号,利用电子技术实现自动化。这种努力经过了许多年的发展历程,先后在光学投影型、机械型或解析型仪器上实施,例如 B8-Stereomat, Topocart 等。也有一些专门采用 CRT 扫描的自动摄影测量系统,如 UNAMACE, GPM 系统。与此同时,摄影测量工作者也试图将由影像灰度转换成的电信号再转变成数字信号(即数字影像),然后,由电子计算机来实现摄影测量的自动化过程。美国于 60 年代初,研制成功的 DAMC 系统就是属于这种全数字的自动化测图系统。它采用瑞士 Wild 公司生产的 STK-1 精密立体坐标仪进行影像数字化,然后用 1 台 IBM 7094 型电子计算机实现摄影测量自动化。武汉测绘科技大学王之卓教授于 1978 年提出了发展全数字自动化测图系统的设想与方案,并于 1985 年完成了全数字自动化测图软件系统 WUDAMS,也采用数字方式实现摄影测量自动化。因此,数字摄影测量是摄影测量自动化的必然产物。

随着计算机技术及其应用的发展以及数字图像处理、模式识别、人工智能、专家系统以及计算机视觉等学科的不断发

终是以计算机视觉代替人眼的立体观测,因而它所使用的仪器最终将只是通用计算机及其相应外部设备,特别是当代,工作站的发展为数字摄影测量的发展提供了广阔的前景;其产品是数字形式的,传统的产品只是该数字产品的模拟输出。表 0-1 列出了摄影测量三个发展阶段的特点。

表 0-1 摄影测量三个发展阶段的特点

发展阶段	原始资料	投影方式	仪器	操作方式	产品
模拟摄影测量	像片	物理投影	模拟测图仪	作业员手工	模拟产品
解析摄影测量	像片	数字投影	解析测图仪	机助作业员操作	模拟产品,数字产品
数字摄影测量	像片 数字化影像 数字影像	数字投影	计算机	自动化操作 + 作业员的干预	数字产品 模拟产品

§ 0.2 数字摄影测量

一、数字摄影测量的定义

对数字摄影测量的定义,目前在世界上主要有两种观点。

其一认为数字摄影测量是基于数字影像与摄影测量的基本原理,应用计算机技术、数字影像处理、影像匹配、模式识别等多学科的理论与方法,提取所摄对象用数字方式表达的几何与物理信息的摄影测量学的分支学科。这种定义在美国等国家称为软拷贝摄影测量(softcopy photogrammetry)。中国著名摄影测量学者王之卓教授称之为全数字摄影测量(all digital photogrammetry 或 full digital photogrammetry)。这种定义认为,在数字摄影测量中,不仅其产品是数字的,而且其中间数据的记录以及处理的原始资料均是数字的,所处理的原始资料自然是数字影像。

另一种广义的数字摄影测量定义则只强调其中间数据记录及最终产品是数字形式的,即数字摄影测量是基于摄影测量的基本原理,应用计算机技术,从影像(包括硬拷贝与数字影像或数字化影像)提取所摄对象用数字方式表达的几何与物理信息的摄影测量分支学科。这种定义的数字摄影测量包括计算机辅助测图(常称为数字测图)与影像数字化测图。

二、计算机辅助测图

计算机辅助测图是利用解析测图仪或模拟光机型测图仪与计算机相联的机助(或机控)系统,进行数据采集、数据处理,形成数字高程模型 DEM 与数字地图,最后输入相应的数据库。根据需要也可在数控绘图仪输出线划图,或在数控正射投影仪输出正射影像图,或用打印机打印各种表格。在这种情况下所处理的依然是传统的像片,且对影像的处理仍然需要人眼的立体量测,计算机则起进行数据的记录与辅助处理的作用,是一种半自动化的方式。计算机辅助测图是摄影测量从解析化向数字化的过渡阶段。

三、影像数字化测图

影像数字化测图是利用计算机对数字影像或数字化影像进行处理,由计算机视觉(其核心是影像匹配与影像识别)代替人眼的立体量测与识别,完成影像几何与物理信息的自动提取。

此时不再需要传统的光机仪器与传统的人工操作方式,而是自动化的方式。若处理的原始资料是光学影像(即像片),则需要利用影像数字化器对其进行数字化。按对影像进行数字化的程度,又可分为混合数字摄影测量与全数字摄影测量。

1. 混合数字摄影测量

混合数字摄影测量通常是在解析测图仪上安装一对 CCD 数字相机,对要进行量测的局部影像进行数字化,由数字相关(匹配)获得点的空间坐标。Zeiss 的解析测图仪 C100 附加一对 CCD 相机构成 INDU SURF(industrial surface measurement)系统,可自动量测物体的表面。原 Wild 与 Kern 的解析测图仪也可以构成类似的系统。海拉瓦的 DCCS(digital comparator correlation system)也属于此种系统。

2. 全数字摄影测量

全数字摄影测量(也称软拷贝摄影测量)处理的是完整的数字影像,若原始资料是像片,则首先利用影像数字化仪对影像进行完全数字化。利用传感器直接获取的数字影像可直接进入计算机,或记录在磁带上,通过磁带机输入计算机。由于自动影像解释仍然处于研究阶段,因而目前全数字摄影测量主要是生成数字地面模型(DTM)与正射影像图。其主要内容包括:方位参数的解算、沿核线重采样、影像匹配、解算空间坐标、内插数字表面模型(如 DTM)、自动绘制等值线、数字纠正产生正射影像及生成带等值线的正射影像图等。第一套全数字摄影测量系统是 60 年代在美国建立的 DAMCS(digital automatic map compilation system)。到 90 年代,随着计算机的飞速发展,许多全数字摄影测量系统已相继建立,如 Helava 的 DPW(digital photogrammetry workstation)与中国武汉测绘科技大学的 WUDAMS(Wuhan digital automatic mapping system)等。

3. 实时摄影测量

当影像获取与处理几乎同时进行,在一个视频周期内完成,这就是实时摄影测量,它是全数字摄影测量的一个分支。显然,在实时摄影测量中,数字相机必须与主计算机联机使用。若传感器或影像数字化器不与主计算机联机使用,这种系统(如上一段中所提到的系统)就是通用型(离线)全数字摄影测量系统。在实时摄影测量系统中需要实时地获取数字影像与实时地处理,这就需要高性能硬件的支持并运用快速适用的算法。当前,实时摄影测量被用于视觉科学,如计算机视觉、机器视觉及机器人视觉等。它在工业上的典型应用是流水生产线上移动零件或产品的监测。它可用于制造工业、运输、导航及各种需要实时对一定物体进行监视与识别的情况。对于摄影测量学者,实时摄影测量也是近景摄影测量的数字自动化发展。芬兰的 MAPVISION、加拿大的 IRI-D256 及瑞士的 RTP 都是由摄影测量学界建立的实时摄影测量系统。

数字摄影测量的组成如图 0-1 所示。

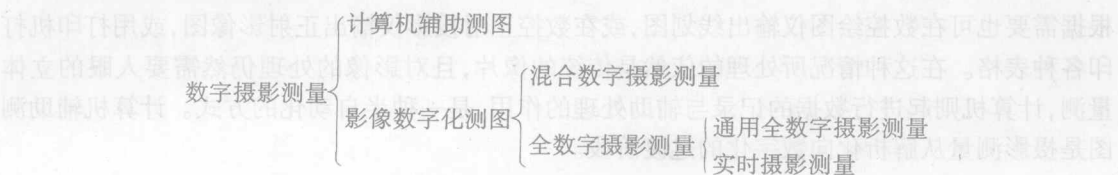


图 0-1 数字摄影测量的组成

§ 0.3 全数字摄影测量的若干典型问题

一、辐射信息

全数字摄影测量与解析摄影测量、模拟摄影测量根本的差别在于对影像辐射信息的计算机数字化处理。在此之前,影像的辐射信息是光机给以极简单的处理(如利用加强光源照度给以增强)及由人眼与脑进行处理,因而它在摄影测量的模拟与解析理论中没有一席之地,而在当时,我们也无法精确地测定它。随着遥感技术的迫切需要与科技的发展,这种情况得到完全改变,辐射信息在摄影测量中也变得非常重要,不利用辐射信息是无法实现完全的摄影测量自动化。在解析摄影测量中,一个目标点向量 X_{ap} 是三维的,即

$$X_{ap} = (X, Y, Z)^T \quad (0-1)$$

而在全数字摄影测量中,目标点向量 X_{dp} 变为四维,即

$$X_{dp} = (X, Y, Z, D)^T \quad (0-2)$$

其中 $D = D(X, Y)$ 是该点的辐射量(影像的密度或灰度值),集合 $\{D\}$ 就构成了数字影像。现在我们可以利用各种传感器精确获取多种频带多时域的辐射信息,即直接获取数字影像;也可利用影像数字化仪将像片上的影像数字化获取数字化影像。为了叙述方便以下均称其为数字影像。由于数字影像的运用,许多在传统摄影测量中很难甚至不可能实现的处理,在全数字摄影测量中都能够处理甚至变得极为简单。如消除影像的运动模糊、按所需要的任务方式进行纠正、反差增强、多影像的分析与模式识别等等。由于数字摄影测量直接使用的原始资料是数字影像,特别为摄影测量设计的传统光学机械型模拟仪器已不再是必需的了,其硬件系统实际上是一套计算机或工作站,因此它更加适合于当前的发展,即与遥感技术和地理信息系统相结合完成影像信息的提取、管理与应用。

二、数据量

数字影像的每一个数据代表了被摄物体(或光学影像)上一个“点”的辐射强度(或灰度),这个“点”称为“像元素”,通常称为“像素”。像素的灰度值常用八位二进制表示,在计算机中为 1byte。像素的间隔即采样间隔根据采样定理由影像的分辨率确定。当采样间隔为 0.05mm 时,一张 23cm×23cm 的影像包含 21MB($1M = 10^6$),直接由传感器获取的遥感影像的数据量甚至更大,如一幅 SPOT 影像包含 36MB。因而“数据量大”是全数字摄影测量的一个特点与问题,要处理这样大的数据量,必然依赖于计算机的发展。而目前的计算机已经能够在一定程度上达到这一要求。

三、速度与精度

数字摄影测量已经获得了迅速的发展,尽管它尚处在不甚成熟(或基本成熟)的阶段,可是它已经创造了惊人的奇迹,无论在量测的速度还是达到的精度,都大大超过了人们最初的想象。例如利用现有的计算机工作站,其速度一般可达 16 或 32MIPS,利用全数字摄影测量立体量测 DTM 的速度可达 100~200 点/s,甚至更高,这是人工量测无法比拟的。又例如精度问题,利用采样间隔 50 μ m 的数字影像进行相对定向,其残差的中误差(均方根误差)可达 $\pm 3 \sim 5\mu$ m,这相当于在 1 台分辨率为 2 μ m 的解析测图仪上进行人工量测的结果。

对影像进行量测是摄影测量的基本任务之一,它可分为单像量测与立体量测,这同样是数字摄影测量的基本任务。在提高量测精度方面,用于单像量测的“高精度定位算子”和用于立体量测的“高精度影像匹配”的理论与实践是数字摄影测量中的重要发展,也是摄影测量工作者对“数字图像处理”所做的独特的贡献。现在,无论是高精度定位算子还是高精度影像匹配,其理论精度均可高于 1/10 像素,达到所谓子像素级的精度。

四、影像匹配

影像匹配的理论与实践,是实现自动立体量测的关键,也是数字摄影测量中的重要研究课题之一。影像匹配的精确性、可靠性、算法的适应性及速度均是其重要的研究内容,特别是影像匹配的可靠性一直是其关键之一。多级影像匹配与从粗到细的匹配策略是早期提出的,但至今仍不失为提高可靠性的有效策略,而近年来发展起来的整体匹配是提高影像匹配可靠性的极其重要的进展。从“单点匹配”到“整体匹配”是数字摄影测量影像匹配理论和实践的一个飞跃。多点最小二乘影像匹配、动态规划法影像匹配与松弛法影像匹配等整体影像匹配方法考虑了匹配点与点之间的相互关联性,因而提高了匹配结果的可靠性与结果的相容性、一致性。

五、影像解译

到目前为止,全数字摄影测量主要用于自动产生 DTM 与正射影像图,但随着对影像进行自动解译的要求以及城镇地区大比例尺航摄影像、近景等工业摄影测量中几何信息提取需利用“基于特征匹配”与“关系(结构)匹配”的要求,全数字摄影测量领域很自然地展开了影像特征提取与进一步处理、应用的研究。各种特征提取算法很多,可分为点特征、线特征与面特征的提取。各种点特征提取算子中有的可以定位,有的还可以确定该点的性质(独立点、线特征点或角点等);面特征提取中有的采用区域增长法,有的则基于点特征采用线跟踪法再构成线与面。线特征提取也可利用 Hough 变换进行或利用 Fourier 变换、Gabor 变换(也称短时傅立叶变换或窗口傅立叶变换)及近年来发展起来的 Wavelet 变换(小波变换)进行。这些特征提取方法及基于特征匹配与关系(结构)匹配方法均与影像分析、影像理解紧密地联系,它们是数字摄影测量另一基本任务——利用影像信息确定被摄对象的物理属性的基础。常规摄影测量采用人工目视判读识别影像中的物体,遥感技术则利用多光谱信息辅之以其他信息实现机助分类。数字摄影测量中对居民地、道路、河流等地面目标的自动识别与提取,主要是依赖于对影像结构与纹理的分析,这方面已经有了一些较好的研究成果。

数字摄影测量的基本范畴还是确定被摄对象的几何与物理属性,即量测与理解。前者虽有很多问题尚待解决,需继续不断研究,但已开始走向实用阶段;后者则离实用阶段有很大距离,还处于研究阶段,但其中某些专题信息(如高速公路等)的自动提取可能会首先进入实用阶段。

习题与思考题

1. 摄影测量的三个发展阶段及其特点各是什么?
2. 为什么数字摄影测量是摄影测量的发展方向?
3. 什么是数字摄影测量,它包括哪些部分,各部分的特点是什么?
4. 数字摄影测量对辐射信息的应用产生了哪些优点?
5. 试述数字摄影测量的任务及现状。