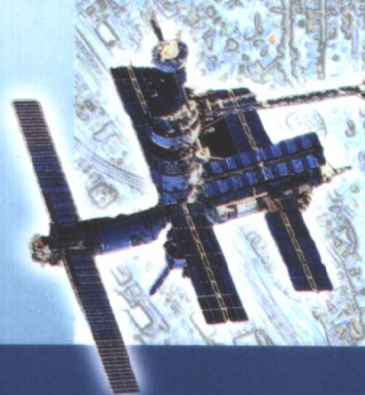
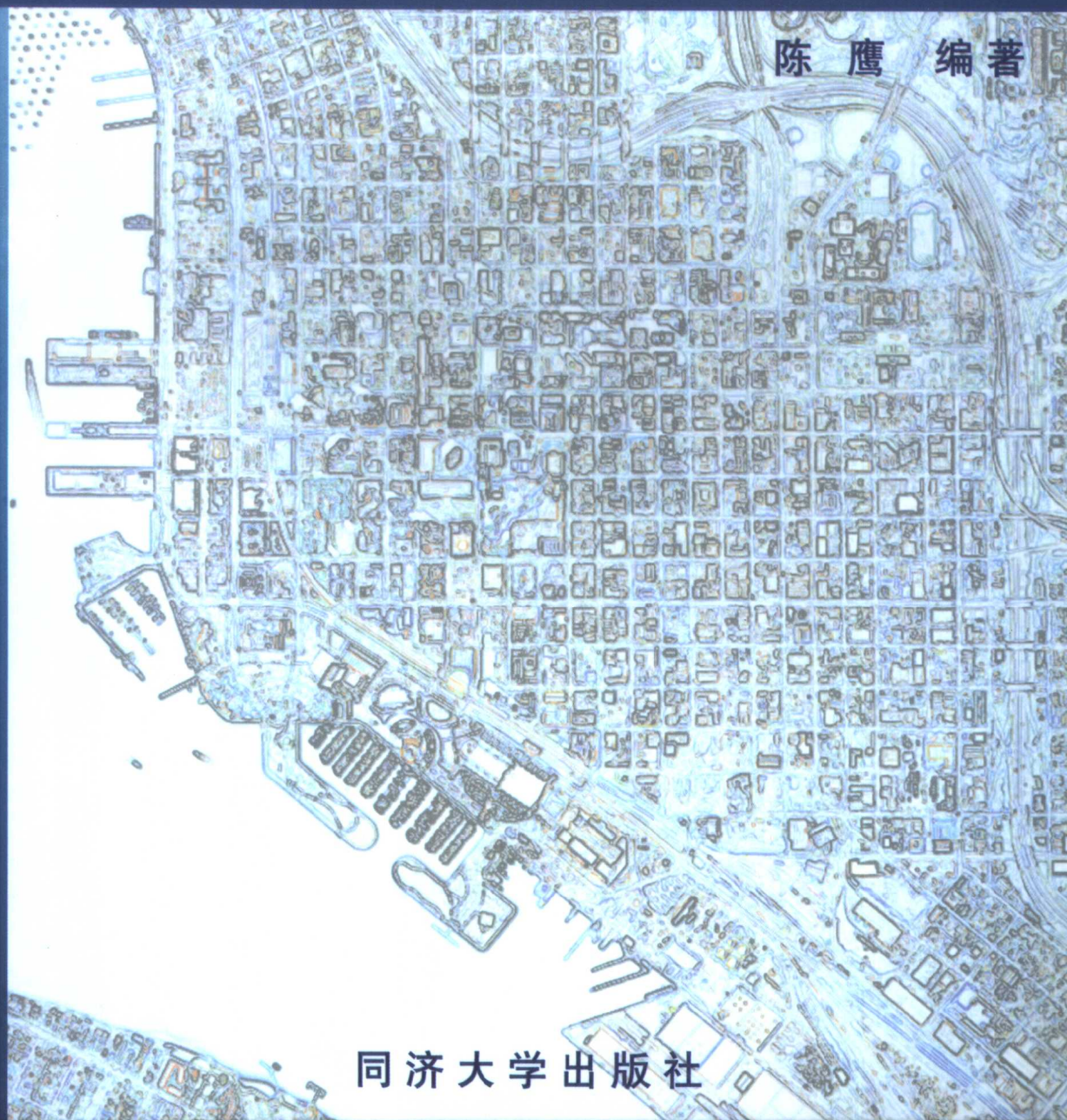


DIGITAL PHOTOGRAMMETRY FOR REMOTE SENSING IMAGE



遥感影像的数字摄影测量

陈鹰 编著



同济大学出版社

遥感影像的 数字摄影测量

陈 鹰 编著

同济大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

遥感影像的数字摄影测量/陈鹰编著. —上海: 同济大学出版社, 2003. 9

ISBN 7-5608-2690-3

I. 遥… II. 陈… III. 遥感图像—数字摄影测量
IV. TP75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 061655 号

遥感影像的数字摄影测量

陈 鹰 编著

责任编辑 郁 峰 责任校对 徐春莲 封面设计 陈益平

出 版	同济大学出版社
发 行	(上海四平路 1239 号 邮编 200092 电话 021-65985622)
经 销	全国各地新华书店
印 刷	江苏启东市印刷厂印刷
开 本	787mm×1092mm 1/16
印 张	17.5
字 数	448 000
印 数	1—1500
版 次	2003 年 9 月第一版 2003 年 9 月第一次印刷
书 号	ISBN 7-5608-2690-3/TP·261
定 价	25.00 元

本书若有印装质量问题, 请向本社发行部调换

前 言

自从第一颗地球资源技术卫星升空以来,遥感技术有了突飞猛进的发展,是 20 世纪末期发展最为迅速的科学技术领域之一,在经济建设、国防建设和社会发展的各个方面,得到越来越广泛的应用。数字摄影测量作为摄影测量发展的第三个里程碑,在空间信息处理、特别在遥感信息处理方面有着十分重要的作用,是遥感信息处理的重要手段。数字摄影测量的发展,为摄影测量与遥感学科注入了新的活力,使得遥感影像的量测、识别、处理、转换、传输、管理、存储与更新更加灵活方便,从而使得摄影测量与遥感在土木工程、城市规划、环境监测与保护、地图测绘、灾害评估、资源探测与开发、农业工程、工业过程控制与机器人视觉、医学诊断、公安侦破、飞行器导航与定位等各个领域得到了广泛的应用。

随着计算机技术、影像传感器技术的发展,摄影测量与遥感和空间信息系统、计算机视觉技术等交叉,从而形成了影像信息学(李德仁,2001),并正在获得快速的发展。本书以遥感影像为信息源,以数字摄影测量的理论和方法为基础,结合数字图像处理以及计算机视觉的理论和方法,讨论如何从遥感影像中提取二维和三维基础空间信息,以满足地理信息系统和其他空间信息系统的需要。

全书共分 11 章,第一章主要叙述摄影测量和遥感的发展历史,遥感与数字摄影测量的结合及其内涵。第二章和第三章介绍遥感平台与传感器成像特性,讨论遥感影像的构像方程及解算方法。第四章和第五章主要讲述遥感影像数字摄影测量基础,论述自动定向的理论、方法和策略。第六章介绍影像的统计特性,讨论影像的点、线特征提取的理论、算法和特征定位算子。第七章讨论影像相关理论、影像空域与频域滤波方法和影像相关极值测度。第八章论述影像最小二乘法匹配的理论 and 算法,并引入了多影像匹配与多子区匹配方法。第九章讨论影像特征匹配算法,着重论述了基于计算机视觉的匹配方法、基于小波变换的匹配方法和参数匹配算法。第十章论述数字高程模型原理和方法,并着重讨论了基于数学形态变换的 DEM 生成方法。第十一章叙述遥感影像的数字纠正和镶嵌方法,并着重讨论了遥感影像的融合原理和算法。

在本书的编写过程中,融入了作者长期以来在摄影测量与遥感的科研与教学实践中积累的经验,以期充实其内容,但由于水平所限,难免有疏漏之处,敬请读者指正。

作 者

2003 年 6 月

于同济大学

目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 摄影测量与遥感的基本概念	(1)
1.2 摄影测量与遥感的发展历程	(2)
1.3 数字摄影测量、遥感与影像信息科学	(4)
第二章 遥感平台与传感器成像特性	(7)
2.1 航空遥感平台及传感器概述	(7)
2.1.1 LH-ADS40 数字成像系统	(7)
2.1.2 数字组合相机(DMC)	(9)
2.2 航天遥感平台及传感器	(11)
2.2.1 Landsat 卫星及其传感器	(12)
2.2.2 SPOT 卫星及其传感器	(13)
2.2.3 IRS 卫星及其传感器	(16)
2.2.4 ZY(CBERS)资源卫星及其传感器	(16)
2.2.5 ALOS 资源卫星及其传感器	(17)
2.2.6 返回式摄影对地观测卫星 KOMETA 及空间制图系统	(18)
2.2.7 IKONOS 与几种高分辨率卫星及其传感器	(20)
2.2.8 EOS 计划的第一颗卫星 EOS AM-1	(22)
2.3 微波遥感卫星及其传感器概述	(23)
2.3.1 SAR 的主要技术指标简介	(23)
2.3.2 航天飞机成像雷达 SIR (Spaceborne Image Radar)	(25)
2.3.3 ERS,ENVISAT-1 和 JERS 卫星成像雷达性能	(25)
2.3.4 Radarsat 卫星及性能	(26)
2.3.5 LightSAR 卫星成像系统	(28)
2.3.6 几种计划中的雷达卫星 SAR 成像系统	(28)
第三章 遥感影像构像方程及解算方法	(30)
3.1 遥感影像的坐标系	(30)
3.1.1 影像的扫描坐标系	(30)
3.1.2 像平面坐标系和像空间坐标系	(30)
3.1.3 像空间辅助坐标系	(30)
3.1.4 地面坐标系	(30)
3.2 框幅式遥感影像的构像方程	(31)
3.2.1 基本方程	(31)
3.2.2 经典的答解方法	(33)
3.2.3 角锥体法	(35)

3.2.4	外方位元素的直接解法	(36)
3.3	扫描式影像的构像方程	(40)
3.3.1	线性阵列传感器影像的构像方程及其解算	(40)
3.3.2	全景扫描影像构像方程	(45)
3.3.3	多光谱扫描传感器的构像方程	(46)
3.4	侧视雷达影像构像方程	(47)
3.4.1	真实孔径雷达(SLR)影像的构像方程	(47)
3.4.2	合成孔径雷达(SAR)影像的构像方程	(48)
3.5	像点地面坐标计算	(51)
3.5.1	框幅式影像的前方交会	(51)
3.5.2	线性阵列影像的前方交会	(52)
第四章	遥感影像数字摄影测量基础	(55)
4.1	影像的傅立叶变换	(55)
4.1.1	一维傅立叶变换	(55)
4.1.2	二维离散傅立叶变换及其特性	(56)
4.1.3	快速傅立叶变换(FFT)	(59)
4.1.4	几个重要函数的傅立叶变换	(60)
4.2	影像的卷积	(63)
4.2.1	卷积的概念和特性	(63)
4.2.2	离散卷积	(64)
4.2.3	卷积定理	(66)
4.3	影像的采样与重采样	(67)
4.3.1	数字影像的量化	(67)
4.3.2	由采样重建影像和采样定理	(68)
4.3.3	实际采样分析	(71)
4.3.4	影像的重采样理论	(73)
第五章	影像的自动定向方法	(81)
5.1	影像的内定向	(81)
5.1.1	内定向的原理	(81)
5.1.2	框标点的识别	(83)
5.1.3	框标点的精确定位	(84)
5.2	自动相对定向	(85)
5.2.1	相对定向的迭代解	(85)
5.2.2	相对定向的直接解(RLT)	(88)
5.2.3	自动相对定向的策略	(89)
5.2.4	模型坐标的计算	(90)
5.3	核线影像与核线方程	(91)

5.3.1	核线的基本概念与性质	(91)
5.3.2	基于数字纠正的核线影像生成	(92)
5.3.3	核线方程	(95)
5.3.4	基于核线方程的核线影像生成	(98)
第六章 遥感影像的特征提取		(100)
6.1	影像的特性及信息量	(100)
6.1.1	影像的统计特性	(100)
6.1.2	特征与信息量	(101)
6.2	点特征提取算子	(102)
6.2.1	Moravec 算子	(102)
6.2.2	Förstner 算子	(103)
6.3	线特征提取算子	(105)
6.3.1	梯度算子	(106)
6.3.2	加权算子	(107)
6.3.3	二阶差分算子	(108)
6.3.4	高斯-拉普拉斯算子	(110)
6.3.5	Facet 边缘检测算子	(111)
6.3.6	Hough 变换	(114)
6.4	影像分割	(116)
6.4.1	阈值法	(116)
6.4.2	区域生长法	(117)
6.4.3	集群分类法	(121)
6.5	特征定位算子	(122)
6.5.1	Medioni-Yasumoto 定位算子	(122)
6.5.2	基于小面元模型的定位算子	(123)
6.5.3	矩不变定位算子	(126)
6.5.4	Wong-Trinder 圆点定位算子	(127)
6.5.5	Mikhail 定位算子	(128)
6.5.6	Förstner 定位算子	(128)
6.5.7	高精度角点与直线定位算子	(129)
第七章 影像相关理论		(134)
7.1	影像相关函数与频谱分析	(134)
7.1.1	影像的相关函数及其功率谱	(134)
7.1.2	影像相关函数的估计与极值	(137)
7.2	影像低通滤波与影像金字塔	(141)
7.2.1	邻域平均滤波	(141)
7.2.2	空域低通滤波	(143)

7.2.3	频域低通滤波	(144)
7.2.4	分频道相关与匹配模式	(147)
7.3	影像匹配的极值测度	(149)
7.3.1	影像匹配的统计判决理论	(149)
7.3.2	相关测度	(150)
7.3.3	最小距离测度	(155)
7.3.4	匹配测度的统计特性	(156)
7.3.5	匹配测度的概率	(162)
7.3.6	相关长度与独立像元素的估计	(162)
7.3.7	匹配点的精度估计	(164)
第八章	最小二乘影像匹配(LSM)	(167)
8.1	最小二乘法影像匹配的基本原理	(167)
8.1.1	影像匹配的误差源与最小二乘匹配原理	(167)
8.1.2	基于辐射改正的最小二乘影像匹配	(168)
8.1.3	兼顾几何变形与辐射改正的最小二乘影像匹配	(170)
8.2	直接生成 DEM 的最小二乘法影像匹配	(174)
8.2.1	垂直线轨迹法(VLL)	(174)
8.2.2	VLL 最小二乘法	(175)
8.3	多点与多影像最小二乘匹配	(177)
8.3.1	多点最小二乘匹配	(177)
8.3.2	多影像最小二乘法匹配	(179)
8.3.3	多子区最小二乘法匹配	(181)
8.4	最小二乘影像匹配精度概述	(184)
第九章	特征匹配	(188)
9.1	特征匹配概述	(188)
9.1.1	特征匹配的过程与参数描述	(188)
9.1.2	特征匹配的匹配策略	(190)
9.2	跨接法特征匹配	(190)
9.2.1	特征分割与匹配窗口的构成	(191)
9.2.2	跨接法匹配	(192)
9.3	基于计算机视觉的特征匹配	(194)
9.3.1	关系匹配	(194)
9.3.2	松弛法匹配	(196)
9.4	基于小波变换的特征提取	(200)
9.4.1	小波与小波变换	(200)
9.4.2	小波多尺度分析与影像金字塔	(201)
9.4.3	多尺度边缘特征提取与正则性约束	(204)

9.5 基于参数的特征匹配	(206)
9.5.1 边缘特征的编码与线矩描述	(206)
9.5.2 特征参数匹配	(208)
第十章 数字地形模型原理与方法	(211)
10.1 概述	(211)
10.1.1 数字地形模型与数字高程模型	(211)
10.1.2 数字地形模型的应用与数据源	(212)
10.2 DEM 的内插方法	(212)
10.2.1 移动曲面拟合法	(213)
10.2.2 辐射搜索法	(214)
10.2.3 多面函数最小二乘推估法	(216)
10.2.4 最小二乘配置法	(218)
10.3 DEM 的有限元内插法	(225)
10.3.1 双线性有限元 DEM 内插原理	(226)
10.3.2 误差方程的构成	(226)
10.3.3 法方程结构及解算方法	(229)
10.3.4 三次样条有限元 DEM 内插法	(230)
10.4 基于数学形态学生成 DEM 的方法	(233)
10.4.1 二值图像的形态变换基本运算	(234)
10.4.2 形态变换算子及基本特性	(236)
10.4.3 用数学形态变换构建泰森多边形	(237)
10.4.4 Delaunay TIN 的自动生成	(239)
10.4.5 由 TIN 建立规则格网 DEM	(241)
第十一章 遥感影像的数字纠正与融合	(243)
11.1 遥感影像的二维纠正	(243)
11.1.1 齐次多项式纠正	(243)
11.1.2 勒让德正交多项式纠正	(245)
11.2 框幅式遥感影像的数字微分纠正	(245)
11.2.1 框幅式影像的数字微分纠正原理	(245)
11.2.2 数字微分纠正的反解法	(246)
11.2.3 数字微分纠正的正解法	(248)
11.3 线性阵列遥感影像的数字微分纠正	(249)
11.3.1 线性阵列遥感影像的数字微分纠正原理	(249)
11.3.2 线性阵列影像数字微分纠正的反解法	(250)
11.3.3 正解法与正解插值法	(251)
11.4 数字影像镶嵌	(252)
11.4.1 影像配准与色调调整	(252)

11.4.2	直方图影像变换与色调调整	(254)
11.4.3	基于小波变换的影像镶嵌	(255)
11.5	遥感影像融合的理论与方法	(256)
11.5.1	影像的的表色系统	(256)
11.5.2	IHS 变换融合法	(258)
11.5.3	主成分分析法(PCA)	(261)
11.5.4	Brovery 变换法	(263)
11.5.5	小波变换融合法	(263)
参考文献		(266)

第一章 绪论

1.1 摄影测量与遥感的基本概念

从 1851 年法国人劳赛达特提出交会摄影测量开始,经过了 150 余年,摄影测量得到了迅速的发展。特别是近 30 年以来,随着遥感技术的出现,为摄影测量提供了更加丰富的信息源和广阔的应用空间,从而形成了一个崭新的学科——摄影测量与遥感。

传统的摄影测量学是利用光学摄影机获取的像片,经过处理,以获取被摄物体的形状、大小、位置、特性和相互关系的一门学科。在传统的摄影测量中,使用的传感器主要是光学摄影机,信息源主要是硬拷贝像片,其探测的空间也主要限于低空和地面。

1972 年,美国发射了第一颗地球资源技术卫星 ERTS-1(Landsat-1),拉开了人类对地探测的序幕,该卫星在资源与环境等领域得到了广泛的应用,并受到全世界的关注。在随后的 30 余年中,形成了人类从空间对地球表面进行探测的热潮,世界主要发达国家和中国,在遥感卫星平台和遥感传感器领域都取得了重大进展。在遥感信息获取方面,不仅可以利用黑白成像、彩色成像、彩色红外摄影的框幅式摄影机,而且可以利用全景扫描仪、多光谱扫描仪、高光谱成像系统、CCD 线性阵列扫描仪、面阵扫描仪、侧视雷达与合成孔径雷达成像系统等多种手段,从不同的高度、不同的时间对地球表面进行动态观测,从而获得多时相、多光谱、多尺度的遥感信息。这些信息都可以成为摄影测量处理的对象,从而使得摄影测量发展成为摄影测量与遥感(Photogrammetry and Remote Sensing)这一新的学科。国际摄影测量与遥感学会(ISPRS)曾于 1988 年在第 16 届大会上给出了这样的定义:“摄影测量与遥感是一门利用非接触成像或其他传感器系统获取地球及其周围环境和其他目标的可靠信息、并对这些信息进行记录、量测、分析和表达的科学技术”。这一定义概括了遥感信息探测、获取和处理的全过程,使得摄影测量与遥感融为一体。

摄影测量学问世以来,经历了模拟摄影测量与解析摄影测量的发展阶段,随着计算机技术、航天技术和信息技术的发展,逐步形成了数字摄影测量。数字摄影测量是利用数字影像或数字化影像,经过计算机处理,提取目标的几何与物理信息的摄影测量分支学科。它的特点是:利用数字影像作为信息源,运用数字处理技术,产生数字化的产品。因此也被王之卓教授称之为全数字摄影测量(All Digital Photogrammetry)。

遥感是 20 世纪末期发展最为迅速的科学技术领域之一,由于它的科学性、技术性和实用性,已经深入到经济建设、国防建设和社会发展的各个方面。数字摄影测量作为摄影测量发展的第三个里程碑,在空间信息处理、特别在遥感信息处理方面得到越来越广泛的应用,是遥感信息处理的重要手段。本书就是从航空航天遥感信息获取和数字摄影测量处理方法的角度的进行系统的讨论。

1.2 摄影测量与遥感的发展历程

150 多年以来,摄影测量与遥感的发展经历了三个阶段。

(1) 模拟摄影测量

摄影测量的起源可以追溯到 1839 年,法国的达意尔发明了摄影术,为摄影测量的出现提供了基本手段,直到 1851—1859 年,法国陆军上校劳赛达特提出交会摄影测量并测绘了万森城堡图,才真正开始了摄影测量发展历程。由于当时飞机尚未发明,摄影测量仅限于在地面、利用几何交会原理、进行非地形摄影测量——建筑物摄影测量。

1858 年,拉达利用气球对地面摄影,是人类利用摄影术从空中对地面摄影的最初尝试。1903 年,莱特兄弟发明了飞机,使得航空摄影和航空摄影测量成为可能。20 世纪初,第一次世界大战时期,首台航空摄影机问世,为从空中获取地面的信息提供了有效手段,使航空摄影测量成为大面积进行地形测量的快速而且可靠的方法。随后,1901 年、1909 年分别出现了立体坐标量测仪和 1318 自动立体测图仪,开始了利用立体像对进行双像测量的最初尝试。直到 20 世纪中期,世界各国的主要测量仪器生产厂商,成功地研制了各种类型的模拟测图仪器,包括分工法和全能法测图仪,光学投影、机械投影和光学机械投影的立体测图仪,简易型和精密型的测图仪,这一发展历程一直持续到 20 世纪 70 年代,这是模拟摄影测量的全盛时期。所谓模拟摄影测量,就是利用光学或机械投影的方法来实现摄影过程的反转,用两个或多个投影器模拟摄影机摄影时的位置和姿态、构成与实际地形表面成比例的几何模型,通过对几何模型的量测,得到地形图和各种专题图。

(2) 解析摄影测量

随着计算机的问世及计算技术和自动控制技术的发展,带来了摄影测量的进步。

作为解析摄影测量发展的第一项成果,就是解析空中三角测量,这是一种利用计算机大面积测定点位的精确方法。解析空中三角测量始于 20 世纪 50 年代末期,首先经历了航带法的发展,随后由施密特教授和阿克曼教授分别提出了光束法和独立模型法,并广泛应用于地面控制点的加密、地籍测量、航空航天摄影测量与非地形测量。经过长期的研究与发展,还解决了像片系统误差的补偿和观测值粗差的检测等一系列问题,提高了平差的精度和可靠性,使得解析空中三角测量成为一种摄影测量与非摄影测量数据进行整体平差的高精度定位方法。

由模拟摄影测量向解析摄影测量发展的一个重要标志就是解析测图仪的出现与发展。1957 年,Helava 博士提出了“用数字投影代替物理投影”的思想,也就是说,利用计算机实现共线方程的实时解算,代替光学、机械的模拟投影过程,从而提取地面三维信息。基于这一思想,1961 年,由意大利 OMI 公司与美国 Bendix 公司合作制成了第一台解析测图仪 AP/1。此后,1976 年,德国 Zeiss 厂推出了 Planicomp C100,并形成了 C110, C120, C130 序列;1980 年,瑞士 Wild 厂和 Kern 厂也制造了 AC1, AC2, BC1, BC2 和 DISRI, DISRII 解析测图仪;20 世纪 80 年代,中国也出现了两种解析测图仪。

解析测图仪比起模拟测图仪的进步在于实现了数字投影,能够在机助测图软件的控制下,将从立体模型上测绘的结果以数字的方式存储,并能够进行某些必要的后处理和编辑,然后由数控绘图设备输出图件。正是由于这种数字存储方式,为早期的测绘数据库以及各

种地理信息系统提供了基础信息,同时也促进了数据采集与图形编辑系统的发展,例如,Zeiss 厂的 P1,P2,P3 解析测图仪就是在 PHOTOCUS 数据库系统支持下的数据采集系统;Wild 厂和 Prime 公司推出的 System9,以数据库管理系统为中心,可以配备 BC3 解析测图仪或地图数字化工作站和图形编辑工作站。这些就使得解析摄影测量成为地理信息系统的基础数据获取和更新的重要手段。

解析摄影测量发展,突破了模拟测图仪的限制,它不仅可以进行航空摄影测量、航天摄影测量,而且能够用来完成近景摄影测量和其他非地形测量任务。它可以用不同的摄影方式对不同目标进行摄影,来研究和测绘目标的几何位置与形状,例如,目标外形与几何位置的变化;动态目标的轨迹测量;不可接触物体的测量,如燃烧爆炸物体、病灶变化与细胞生长等;同时,在建筑工程、地质、考古、医学、生物、交通管理、公安侦破、冶金、采矿、机械制造等领域,也都得到了广泛的应用。

(3) 数字摄影测量

如前所述,解析摄影测量实现了数字投影和数据存储,为数字摄影测量打下了初步基础。随着计算机技术、空间技术和信息技术的不断进步,解析摄影测量也发展成为数字摄影测量。数字摄影测量被称为摄影测量发展的第三个里程碑,代表着摄影测量发展的重要方向,是处理遥感影像的重要手段,也成为摄影测量与遥感的重要结合点。

数字摄影测量能够处理遥感所获取的数字影像(Digital Image)或数字化影像(Digitized Image),所谓数字影像,是指直接利用各种数字传感器所获得的、以数字形式记录的影像;而利用影像扫描仪对已经存在的像片进行数字化得到的就是数字化影像。显然,数字摄影测量所处理的信息不再是硬拷贝,而是影像数据,因而具有更大的灵活性,这就在更大程度上突破了解析摄影测量的限制,能够通过计算机处理,实现数字定向、共轭影像匹配、三维信息提取,可以获得数字高程模型、数字正射影像以及其他多种数字产品。这一过程是利用计算机处理代替人眼观测的过程,因而是一种计算机视觉的方法。数字摄影测量的另一个重要任务就是自动解译和判读,对影像目标进行分类和定性描述。一般的分类方法是基于影像灰度、特征和纹理的统计分类方法;而基于知识的图像理解、构成分类专家系统的方法则是更高一级的计算机视觉方法。

早期的数字摄影测量是以在线的方式实现的,即在一台解析测图仪上加上 CCD 数字摄像机、数字摄影测量软件,在计算机的控制下,实现像片数字化与摄影测量处理的同步完成。

由于计算机技术、数据存储技术的不断进步,出现了离线数字摄影测量。离线数字摄影测量首先对像片数字化或者直接处理数字影像,可以进行影像的预处理、自动定向、立体匹配、DEM 和数字正射影像生成,并能实现处理过程的可视化;同时,可以进行基础信息的后处理、派生出多种数字产品,满足各种不同的需要。可以说,离线数字摄影测量是真正的全数字摄影测量。

全数字摄影测量的出现,极大地推动了数字摄影测量工作站 DPW(Digital Photogrammetric Workstation)的发展,目前较成熟的有 Helava 数字摄影测量工作站 DPW750 序列和 Integraphy 公司的立体影像工作站(Stereo Image Station),它们都是以计算机工作站为支撑的全数字摄影测量处理系统,同时备有高精度影像扫描仪,能够处理数字影像或数字化影像。除了能够完成数字定向、立体相关、数字空中三角测量、地形地物的测绘、DEM 的建立、正射影像的生成外,还具有强大的影像处理功能和可视化功能。这些工作站在实现影像相

关与同名像点的量测方面,具有很高的效率,每秒钟可达几百个到上千个点。在中国,由武汉大学研制的 VirtuoZo 全数字自动测图系统和中国测绘研究院研制的 JX-4 数字摄影测量工作站,都具有上述功能。

数字摄影测量的发展,进一步突破了解析摄影测量的局限性,它可以利用各种遥感影像,如光学影像、微波影像、多光谱影像和高光谱影像等实现高精度的点定位和自动测量,进行影像分析、融和、分类、特征提取和目标识别,获得目标的几何与物理特性,从而提供各种数字地图产品或图解产品,成为各种地理信息系统和数据库的直接信息入口。

数字摄影测量使得摄影测量自动化水平大大提高,使作业员越来越多地摆脱繁琐的操作,从而实现更高层次的监控与质量控制。同时,由于数字摄影测量的高度的灵活性,不仅使得产品的形式多样,而且使得数据的转换、传输、管理、存储与更新更加灵活方便,因而在城市规划、环境监测与保护、地图测绘、灾害评估、燃油开发、资源探测、精细农业、通讯策划等领域得到了广泛的应用。另一方面,数字摄影测量的发展还促成了实时摄影测量的问世。所谓实时摄影测量,就是利用数字影像传感器,直接获取被探测目标的影像进行影像匹配、识别等摄影测量处理,从而对目标进行实时控制与操作。这一技术被成功地应用于车载实时数据采集、工业零件检测、过程控制与机器人视觉、医学诊断、公安侦破、飞行器导航定位等各个领域。

1.3 数字摄影测量、遥感与影像信息科学

综观摄影测量发展历程,可以看出,传统的摄影测量是利用摄影机在不接触目标的情况下对目标进行探测,而遥感的含义也是一种利用传感器、从远距离探测物体的技术,从这一意义上来说,传统摄影测量是一种初级的遥感方法,只不过其传感器是单一的摄影机,探测的距离和空间都是有限的,而且局限于测定目标的大小与几何形状。随着空间技术、传感器技术、计算机技术的进步,摄影测量有了迅速发展,遥感技术的出现,更使得摄影测量的结构发生了巨大变化,促成了数字摄影测量的发展,使得摄影测量、遥感与地理信息系统(GIS)结合,形成了影像信息科学。

(1) 卫星影像分辨率的不断提高,为获取主数据提供了可靠的手段,促进了数字摄影测量的发展

自从第一颗地球卫星升空以来,卫星影像的空间分辨率得到了迅速提高。1972年,Landsat-1的MSS(多光谱扫描仪)影像的像素地面分辨率仅为79m;而11年后,1983—1984年,Landsat-4/5的TM(主题制图仪)影像的像素地面分辨率则为30m;目前,Landsat-7的ETM(增强型主题制图仪)影像像素地面分辨率则为15m。1986年、1990年,法国的SPOT1/2卫星的全色影像地面分辨率达到10m,并具有异轨成像、立体测图功能;2002年SPOT5的发射成功,全色影像地面分辨率被提高到5~2.5m;前苏联KOMETA卫星携带KVR-1000传感器的像片地面分辨率为2m;更具有标志性意义的、由美国Space Imaging公司于1999年9月发射的IKONOS卫星影像地面分辨率达到1m,使得空间遥感影像与航空遥感影像在空间分辨率方面具有可比性。类似的还有美国的快鸟(QuickBird)卫星影像,其地面分辨率也能达到1m。这些影像都可以用来进行单像或立体数字摄影测量。

除了光学遥感外,微波遥感也有了快速发展,特别是合成孔径雷达(SAR)由于其全天

候、强穿透性能而得到广泛应用。继 1978 年美国发射的海洋卫星 SEASAT 后,1981 年,美国哥伦比亚号航天飞机携带了与 SEASAT SAR 相类似的合成孔径雷达 SIR-A 进入太空;1984 年,挑战者号航天飞机又携带了改进后的 SIR-B 升空;1994 年,SIR-C/X 搭载奋进号航天飞机进入轨道运行。另外还有俄罗斯的 ALMAZ-SAR、欧空局的 ESR-SAR、加拿大的 RADARSAT-SAR 等,特别是装在美国“奋进号”航天飞机上的干涉合成孔径雷达成像系统 (INSAR),是世界上第一个合成孔径雷达干涉测量系统,在 2000 年 2 月仅仅 11 天的全球性作业中,测绘了地球 60°N 至 56°S 间陆地表面 80% 面积的高精度数字高程模型。

遥感技术的进步,不仅表现在空间分辨率的提高,其光谱分辨率(光谱段数)、时间分辨率(重复周期)乃至温度分辨率都有了很大的提高,这就为遥感影像的定量和定性分析提供了有力的数据保障。

综上所述,由于卫星遥感影像分辨率不断提高,为数字摄影测量处理提供了重要的信息源,极大地促进了数字摄影测量技术的发展。

(2) 数字摄影测量是遥感信息处理的重要手段

遥感技术的进步促进了摄影测量、数字摄影测量技术的发展;同样,数字摄影测量技术的发展,已成为遥感信息处理的重要手段,使得遥感信息得到广泛的应用,推动了遥感技术的发展。

近 40 余年以来,数字摄影测量已经大大突破了传统摄影测量的局限,它不仅能够处理地面摄影像片、航空像片,而且能够处理从数百公里外获得的航天影像。同时,它能够处理的信息源,不仅是硬拷贝像片(数字化影像),而且更主要的是海量的数字影像。另一方面,数字摄影测量产品结构的变化也是显而易见的,它能够根据不同的需要,生成多种形式的数字产品,这些产品不仅便于存储、转换和更新,并且很容易实现二维和三维显示、便于进行各种几何和物理的分析。这就是说,数字摄影测量是遥感影像的重要处理手段,遥感影像经过数字摄影测量处理,扩大了它的应用范围。

数字摄影测量之所以成为遥感影像的重要处理手段,首先在于它在理论上更加成熟和完善。它不仅能以数字投影的方式实现遥感影像成像过程的几何反转,而且能够以全数字方式完成影像数字定向、影像匹配和三维信息提取。数字摄影测量能够将数字影像处理、计算机视觉和摄影测量数字投影融为一体,成为实现遥感影像信息提取的重要手段。同时能够运用图像形态分析、小波与分形理论、模式识别等技术实现影像的融合和分类,而且正在深入地利用人工智能、专家系统和认知科学等实现影像的知识挖掘、影像的理解和解译。另一方面,一个完善的数字摄影测量系统几乎和遥感影像处理系统没有差别,一般都具有影像处理和分析功能,同时还能够提供具有高精度的“地学编码”的遥感影像,与摄影测量的其他数字产品 DEM、数字地形图、专题图等成为各种信息系统的直接信息入口,而且还能够为“数字城市”、“数字地球”提供基础地理信息。

(3) 数字摄影测量与遥感、GIS 和影像信息科学

如前所述,数字摄影测量与遥感的产物,已经成为各种信息系统的重要信息源,反之,通过摄影测量与遥感所获得的数据,也需要一个空间信息系统或者数据库来存储、管理、分析和应用,这就是数字摄影测量、遥感与 GIS 必然走向结合的原因。

摄影测量、遥感与地理信息系统结合的历史渊源,可以追溯到 1974 年,在那一年的国际测量师联合会第 14 届代表大会上,第一次给出了土地信息系统(LIS)的定义,而土地信息系统(LIS)是最早的地理信息系统之一。而 1968 年,美国摄影测量学会首先使用了 GIS 这

个词,可见,摄影测量与遥感学会是最早涉足 GIS 研究的学术组织。

自从 1988 年摄影测量学会更名为摄影测量与遥感学会后,摄影测量、遥感与 GIS 的结合更加密切。目前,国际摄影测量与遥感学会共有七个委员会,在第二委员会“数据处理、分析和表达”中,设立了“GIS 建模与软件集成”工作组,该工作组主要研究数据采集、摄影测量数据与 GIS 接口的数据结构与表达以及 GIS 数据模型。并专门设立了第四委员会“数字制图与空间信息系统”,其中包括“GIS 基础数据库与空间数据库”、“影像分析与 GIS 集成”、“数据库设计与空间数据存取”等直接与 GIS 相关的工作组,这些工作组研究的范围涉及到利用摄影测量和遥感建立 GIS 基础数据库和空间数据库的方法,利用影像分析和数字摄影测量实现目标的重建与定位,以及影像分析在 GIS 中的应用,栅格数据与矢量数据的集成,数据库的设计和 data 存取模式等。在第七委员会“资源与环境监测”中,还设立了“遥感与 GIS 在可持续发展中的应用”,主要研究摄影测量与遥感和 GIS 的结合在资源探测与环境监测方面的应用。上述研究内容充分体现了摄影测量、遥感与 GIS 的密切结合和相互作用,摄影测量、数字摄影测量与遥感是获取和更新 GIS 信息的重要手段,而 GIS 是摄影测量与遥感的重要信息载体和分析应用平台,二者的结合,形成了影像信息科学。

王之卓教授曾经给出了这样的定义:影像信息科学是一门记录、存储、传输、量测、处理、解译、分析和显示由非接触传感器影像所获得目标及其环境信息的科学、技术和经济实体。这一定义,包含了摄影测量与遥感信息获取和处理的过程,也包含了作为信息分析及应用平台的地理信息系统。

可以说,影像信息科学是摄影测量、遥感、GIS、计算机图像图形学、计算机视觉、空间科学与传感器技术相结合的一个边缘学科,是人类通过影像来认识和解释世界的重要手段,具有广阔的应用前景。

习题与思考

1. 什么是摄影测量与遥感?
2. 试述摄影测量与遥感的三个发展阶段及它们的特点。
3. 为什么说数字摄影测量是遥感影像处理的重要手段?
4. 什么是影像信息科学? 试述数字摄影测量与遥感在影像信息科学中的作用与地位。

第二章 遥感平台与传感器成像特性

人类对地球表面乃至宇宙空间进行探测,是利用各种传感器从远距离并以非接触方式来获取信息,而搭载传感器的工具被称为遥感平台,遥感平台大致可分为航空遥感平台和航天遥感平台两类。

本章将分别介绍航空遥感平台和航天遥感平台及其传感器。

2.1 航空遥感平台及传感器概述

航空遥感平台一般是指在高度 30000m 以下工作的飞行器,根据飞行的高度不同,可以获得不同比例尺的航空影像和地物波谱特性信息,其中最典型的是航空遥感飞机,这种遥感平台一般在中、低空飞行,飞行高度在 10000m 以下,并配备先进的导航系统,以保证飞行过程的稳定,并满足影像之间以及飞行航线之间的重叠度要求,是生产各种地形图、专题地图和进行地物波谱探测的主要工具。

除了遥感飞机外,轻型飞机、直升飞机一般用于低空遥感,在 150~3000m 的高度飞行,并可以灵活地搭载各种不同的传感器,以满足各种专业遥感的需要。

高空遥感平台一般飞行高度为 10000~30000m 左右,军用侦察机、高空无人驾驶飞机多在这一高度飞行。

机载传感器是航空遥感的主要探测手段,由于其运载工具的飞行高度远低于航天平台,因此,视场角比航天传感器的视场角大得多,一般在 $69^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 之间。最经典的航空传感器就是航空摄影机,主要有瑞士徕卡公司的 RC 系列摄影机(如 RC-30)、德国蔡司厂的 LMK 系列摄影机(如 LMK2000)、RMK 系列的摄影机以及中国的 HS2323 摄影机。这些框幅式传感器所获取的是记录在软片上的光学影像,经过扫描仪数字化扫描后成为数字化影像,是数字摄影测量重要的信息源。

随着数字摄影技术的不断发展,电荷耦合器(CCD; Charge Coupled Device)正在取代传统的软片摄影和光导摄像技术而被广泛应用于航空航天遥感。电荷耦合元件固态阵列传感器的应用,使得数字摄影比常规摄影具有更高的分辨率和精度,更加廉价,可以直接用于数字摄影测量处理。下面介绍几种重要的数字航空传感器。

一般来说,数字成像有两种解决方案:使用 CCD 线阵传感器或面阵传感器,线阵传感器以线扫描方式,依赖遥感平台的运动而构成影像;面阵传感器是在某一时刻一次成像,具有中心投影的特性。下面介绍两种新型的数字航空成像系统。

2.1.1 LH-ADS40 数字成像系统

该系统是由 LH 公司(由瑞士徕卡公司和美国 HELAVA 公司共同组建)研制的 CCD 三线阵机载数字传感器,该系统主要由四部分组成,即相机主体、成像处理器、位置与姿态处理器和后处理软件包,如图 2-1-1 所示。