

高等教育“十二五”规划教材

数字摄影测量学

Shuzi Sheying Celiangxue

林 卉 王仁礼 主编

中国矿业大学出版社



高等教育“十二五”规划教材

数字摄影测量学

林 卉 王仁礼 主编

中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本书系统介绍了数字摄影测量的理论基础、基本过程、基本算法以及数字摄影测量新技术等。全书分为两部分共十七章:第一部分为数字摄影测量理论基础,内容包括数字影像获取与处理基础、数字影像解析基础、影像的特征提取与定位、数字影像匹配、影像的自动定向、数字高程模型(DEM)采集与编辑、影像正射纠正与配准、数字摄影测量系统;第二部分为数字摄影测量的新发展,内容有线阵扫描影像摄影测量、雷达摄影测量、三维激光扫描数据处理、低空及近景摄影测量和高分辨率卫星航天摄影测量,每章附有思考题。全书力争用通俗易懂的语言来叙述相关内容,并对相关的理论与算法进行比较深入的分析和连贯的推导。全书既立足基础知识、基本原理与基本方法,又面向学科前沿、发展趋势,反映了当代数字摄影测量的新发展与新水平。

本书可作为摄影测量与遥感、遥感科学与技术、测绘工程、地理信息系统等专业本科生和研究生使用的教材,也可供有关影像获取与信息处理专业的师生、工程技术人员和研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字摄影测量学/林卉,王仁礼主编. —徐州:中国矿业大学出版社, 2015. 8

ISBN 978 - 7 - 5646 - 2610 - 5

I. ①数… II. ①林… ②王… III. ①数字摄影测量—高等学校—教材 IV. ①P231.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 312417 号

书 名 数字摄影测量学
主 编 林 卉 王仁礼
责任编辑 潘俊成
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 22 字数 563 千字
版次印次 2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷
定 价 35.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

本书编委会

主 编	林 卉	王仁礼	
副主编	李天子	孙久运	薛永安
	牛全福	刘慧敏	盛 辉
	杨化超	任东风	田艳凤
参 编	胡伟倩	刘 军	郭 辉
	朱文博	吴 磊	张春森
	罗 艳	张 卡	王树果
	杨文环	玉文龙	蒋志勇
	孙华生	朱 玉	孙小荣
	梅 艳	张彦丽	崔马军
	孙美萍		

序

摄影测量发展至今经历了模拟、解析、数字摄影测量三个阶段。在 20 世纪 30 年代,德国著名的摄影测量专家 V. Gruber 给摄影测量下了这样的定义:“摄影测量是一种技术,它可以避免计算”。1957 年,芬兰摄影测量学家海拉瓦(Helava)提出了摄影测量的一个新的概念——用数字投影代替物理投影,开创了解析摄影测量时代。数字摄影测量是利用计算机进行数字影像相关计算实现自动化测绘。在 1978 年年底,中科院院士、国际摄影测量与遥感学会荣誉会员王之卓教授提出了“全数字化自动测图系统的研究方案”;1982 年,欧美等国家也系统地提出了研发数字摄影测量系统。在 1992 年的国际摄影测量与遥感(ISPRS)大会上第一次推出了基于 SUN、SGI 工作站的商用数字摄影测量系统(DPW),标志着摄影测量真正地进入了“数字摄影测量时代”,进入了“全计算机化”的新时代。美国著名的摄影测量专家 Ohio 大学的 Toni Schenk 教授在其著作《数字摄影测量学》序言中指出:“数字摄影测量是一门相对年轻的并且迅速发展的学科。它的许多基本概念与方法来自影像处理与计算机视觉。但是不管它们对它的影响有多强烈,数字摄影测量还是一门有自己特色的学科”。

在数字摄影测量领域,我国处于国际领先水平。2008 年 7 月,第 21 届国际摄影测量与遥感大会在我国北京召开,ISPRS 主席伊恩·道曼郑重指出,中国已成为世界上培养摄影测量与遥感领域科学家的主要国家之一,并在传感器方面居于领先地位。会上,经全体会员国一致同意,中国与美国、加拿大、德国、俄罗斯一起,成为 ISPRS 的最高级别会员国,在国际摄影测量与遥感领域重要事务讨论与决定中具有较大的影响力,投票权重较高,彰显了我国作为测绘强国的国际地位。数字摄影测量的发展主要沿着两条主线进行:一是数字摄影测量系统的数据采集端,主要包括数字传感器和平台;二是数字摄影测量的数据后处理软件系统。从 JX-1 解析测图仪、SWDC 数字航空摄影仪、无人机低空摄影测量平台到摄影全站仪系统(Photo Total Station System, PTSS),到 VirtuoZo 全数字摄影测量系统、JX-4 全数字摄影测量工作站、月球三线阵数字摄影测量处理系统平台、国产的“像素工厂”(Pixel Factory)——高分辨率遥感影像数据一体化测图系统 PixelGrid、多基线近景摄影测量系统 LensPhoto 到 DPGrid、PixelGrid 数字摄影测量网格,无论是设备研制还是在影像数据处理系统开发上我国均处在国际前列,尤其近年来在数字摄影测量理论与技术应用、航空摄影

自动定位技术、近景摄影测量、低空摄影测量、机载激光扫描、车载移动测图系统等方面取得了重大突破,呈现出欣欣向荣的繁荣景象。从教育的角度来看,过去欲从事摄影测量的研究、开设摄影测量相关专业或课程非常困难,这是由于摄影测量专用仪器十分昂贵。而现在所有摄影测量专用仪器多由当代最通用的设备——计算机所替代,摄影测量除了专用的软件外,几乎没有专用的硬件设备。因此,数字摄影测量被称为 Soft-copy photogrammetry,这似乎很有道理。

进入 21 世纪,我国数字摄影测量以世人难以想象的速度发展,数字摄影测量工作站在中国的摄影测量生产中获得了普遍的应用与推广,摄影测量的教学也由过去只有少数院校才能进行的“贵族”式的教学得到了极大的普及。目前,全国有 100 多所院校的测绘工程及其相关专业开设了摄影测量课程,这极大地拓宽了摄影测量所需人才的培养渠道,也是我国在未来的国际竞争中继续保持领先优势的强有力保障,因此必须抓好摄影测量人才的培养,而教材建设是实现人才培养的载体和关键。数字摄影测量的研究核心是将摄影测量原理以数字影像方式实现,大大超出了“测绘”范畴,已成为计算机应用科学的一部分,这就为我们提出了一个新的教学研究问题,即数字摄影测量的教学体系问题。这次由十多所院校从事数字摄影测量(或摄影测量)教学和科研一线的青年教师集体编写了这本《数字摄影测量学》教材,他们多次与我商议,我也提出了一些修改意见。该书是一批摄影测量工作者集体智慧的结晶,也是作者长期以来在数字摄影测量领域教学和科研实践中积累的经验与成果,同时也吸取了许多摄影测量研究人员的研究成果。该书章节安排科学合理,既有经典的数字摄影测量理论,又阐述了数字摄影测量的新技术与应用,注重理论联系实际,具有鲜明的学科发展时代性。作者在参考国内外大量教材、专著和文献资料基础上,经过认真梳理和消化提炼,按照数字摄影测量发展脉络整理成通俗易懂、论据充分、逻辑严谨的教材内容。书中现代摄影测量部分,充分阐述了数字摄影测量的新发展、新技术与新应用,全方位展示了数字摄影测量的魅力与活力,会很好地激发学习者的学习热情。本书是一部全面介绍数字摄影测量理论、算法、技术与应用的教材,是测绘相关专业本科生和研究生学习数字摄影测量的优秀教材和参考书,对从事数字摄影测量理论研究和工程实践的技术人员也有较好的参考价值。我相信,本书的出版与使用将会推动摄影测量与遥感学科的发展和测绘人才的培养,将吸引更多的青年英才加入摄影测量与遥感事业,为我国测绘信息化增添活力。

中国工程院院士
中国测绘科学研究院名誉院长



前 言

数字摄影测量的发展起源于摄影测量自动化的实践,主要就是实现利用计算机立体视觉代替人眼的观测,确定相应光线的过程。20世纪90年代随着数字摄影测量时代的到来,相对于传统的模拟、解析摄影测量,其最大的特点是将计算机视觉、影像匹配技术、计算机技术、数字影像处理、人工智能、传感器技术和认知科学等应用到摄影测量过程中,使得作业方式发生了巨大变化,计算机的自动处理代替了作业员手工操作,人工交互方式变为自动处理方式,把摄影测量从传统的测绘产业发展为新兴的信息产业,极大地拓宽了它的应用领域,其在国民经济的许多领域,在基础地理信息数据的获取、工业和工程测量、大型和复杂工业设备的安装、资源调查、环境保护与监测、灾害预报与防治、地理国情监测、地球外部空间测量等,都有重要的应用。

数字摄影测量技术的发展日新月异,为了使“数字摄影测量学”教学适应新时代教育理念,反映新时期高等教育的特点,亟须在原有教科书的基础上重新编写一本能够适应学科发展,反映当代摄影测量基本原理、方法与内涵的高水平教材,为教师教学、学生和相关技术人员自主学习提供完整的教学方案。本教材编写坚持科学性、思维性、启发性、先进性和适用性等原则,系统讲述了数字摄影测量的理论基础,综合拓宽了当代数字摄影测量技术的新发展,全面展示了现代数字摄影测量技术集三多(多平台、多传感器、多角度)和三高(高空间分辨率、高光谱分辨率和高时相分辨率)的数据获取技术、地面观测系统、大数据存储技术、计算机技术等多种设备和技术手段于一体,通过多学科联合,实现空天地一体化观测应用。

本教材的特点是注重系统性,强调实用性,保持前沿性。全书分两部分共十七章。第一部分为数字摄影测量理论,包括数字影像获取与处理基础、数字影像解析基础、影像的特征提取与定位算子、影像匹配基础、基于灰度的影像匹配、基于特征的影像匹配、影像的自动定向、DEM采集及其编辑、数字矢量地图测制、影像正射纠正与影像配准、数字摄影测量系统。第二部分为现代摄影测量,包括线阵扫描影像摄影测量、雷达摄影测量、三维激光扫描数据处理与应用、低空及近景摄影测量、高分辨率卫星航天摄影测量。在各章后都附有一定量的思考题,在实际教学活动中可以结合各自的专业方向进行选择。

本书为集体编写而成,由江苏师范大学林卉和山东科技大学王仁礼担任主

编,中国矿业大学孙久运、杨化超、杨文环,解放军信息工程技术大学刘军,中南大学刘慧敏,江苏师范大学王树果、梅艳、朱玉,河南理工大学李天子,太原理工大学薛永安,辽宁工程技术大学任东风、孙华生,兰州理工大学牛全福,中国人民解放军空军勤务学院田艳凤,中国石油大学盛辉,安徽理工大学郭辉,南京师范大学张卡,北京四维远见信息技术有限公司胡伟倩、吴磊,山西农业大学朱文博,西安科技大学张春森,东华理工大学罗艳,昆明理工大学玉文龙,兰州大学蒋志勇,西北师范大学张彦丽,扬州市职业大学崔马军,淮海工学院孙美萍,宿迁学院孙小荣共同参加了本书的编写工作,全书由编委会全体成员讨论拟定编写大纲,然后分工协作,最后由林卉、王仁礼进行统稿和定稿。

本书在编写过程中得到了江苏师范大学测绘学院和山东科技大学测绘科学与工程学院的大力关心与支持,国家测绘地理信息局燕琴研究员,中国测绘科学研究院刘先林院士、左建章研究员、张力研究员、杜全叶博士,北京朗天博泰科技有限公司白瑞杰总经理,南京大学杜培军教授,南京师范大学盛业华教授、中国矿业大学邓喀中教授、张书毕教授、山东科技大学江涛教授、阳凡林教授、东华理工大学程朋根教授和江苏师范大学张连蓬教授给予了悉心的指导与帮助,武汉大学张永军教授和中国地质大学(北京)康志忠博士审阅了全书并提出了宝贵的修改意见,在此致以深深的谢意。本书在编写过程中参考了众多同行专家的研究资料,并借鉴了相关网络资源,吸取了有关教材、专著和期刊论文的最新成果,谨在此表示诚挚的敬意与真诚的感谢!

由于编者专业水平和学术视野所限,书中难免存在不足、差错与疏漏之处,恳请专家、同仁和广大读者不吝指正。

编者

2015年6月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 摄影测量的发展阶段与特点	1
第二节 数字摄影测量概述	4
第三节 数字摄影测量新进展	6
思考题	11
第二章 数字影像获取预处理基础	12
第一节 数字影像的定义	12
第二节 数字影像处理基础	13
第三节 数字影像插值与重采样	17
第四节 数字影像量化	20
第五节 航空数字影像获取及特点	21
第六节 航天数字影像获取及特点	30
思考题	37
第三章 数字影像解析基础	38
第一节 数字影像内定向	38
第二节 单像空间后方交会	39
第三节 数字影像相对定向	42
第四节 立体模型绝对定向	47
第五节 核线几何解析与核线影像生成	52
思考题	55
第四章 影像的特征提取与定位算子	57
第一节 影像信息量与特征	57
第二节 点特征提取算子	59
第三节 线特征提取算子	62
第四节 定位算子	68
思考题	78

第五章 影像匹配基础	80
第一节 影像匹配的基本概念	80
第二节 影像匹配的基本问题及其解决方案	82
第三节 影像相关的谱分析	88
思考题	90
第六章 基于灰度的影像匹配	91
第一节 概述	91
第二节 基于相关系数的灰度匹配	96
第三节 最小二乘影像匹配	100
第四节 基于物方的影像匹配	104
思考题	106
第七章 基于特征的影像匹配与整体匹配	108
第一节 特征匹配概述	108
第二节 基于点特征的影像匹配	111
第三节 基于线特征的影像匹配	119
第四节 整体影像匹配	125
思考题	130
第八章 影像的自动定向	131
第一节 自动内部定向	131
第二节 自动相对定向	133
第三节 自动外部定向	134
思考题	136
第九章 DEM 采集及其编辑	137
第一节 DEM 数据采集及预处理	137
第二节 DEM 内插方法	139
第三节 DEM 的应用	145
第四节 数字表面模型	150
思考题	151
第十章 数字矢量地图测制	152
第一节 数字矢量地图	152
第二节 数字矢量地图数据采集	153
第三节 数字矢量地图数据编辑	156

思考题	159
第十一章 影像正射纠正	161
第一节 基本原理	161
第二节 真正射影像纠正	166
第三节 正射影像图的制作	169
思考题	178
第十二章 数字摄影测量系统	179
第一节 数字摄影测量系统组成与功能	179
第二节 常见数字摄影测量系统简介	181
第三节 基于网格的数字摄影测量系统	201
思考题	211
第十三章 线阵影像摄影测量	212
第一节 线阵影像的成像模型	212
第二节 线阵影像外部定向	219
第三节 基于 RFM 的三维重建	226
思考题	230
第十四章 雷达摄影测量	231
第一节 雷达遥感	231
第二节 雷达摄影测量	239
第三节 雷达立体摄影测量原理与方法	241
思考题	248
第十五章 三维激光扫描数据处理与应用	249
第一节 LiDAR 系统简介	249
第二节 LiDAR 系统原理	261
第三节 LiDAR 数据处理	269
第四节 三维激光扫描数据的应用	276
思考题	280
第十六章 低空及近景摄影测量	281
第一节 低空摄影测量简介	281
第二节 无人机低空摄影测量	282
第三节 无人飞艇低空摄影测量	293

第四节	近景摄影测量	294
第五节	多基线地面近景摄影测量	296
第六节	倾斜摄影测量	300
思考题		303
第十七章	高分辨率卫星航天摄影测量	304
第一节	卫星遥感技术发展概述	304
第二节	高分辨率卫星影像的几何模型与立体定位技术	323
第三节	线阵列 CCD 卫星影像的处理	327
第四节	IKONOS 卫星影像立体测图	329
第五节	资源三号测绘卫星影像立体测图	332
思考题		336
参考文献		337

第一章 绪论

相对于测绘科学技术学科其他方向而言,摄影测量无疑是比较年轻的一个分支学科。从 1851 年法国人劳赛达(Aime Laussedat,被认为是“摄影测量之父”)提出交会摄影测量开始,至今已走过了 160 余年。期间,经历了模拟摄影测量与解析摄影测量阶段,随着计算机技术和信息技术的快速发展,摄影测量逐步进入数字摄影测量阶段。

在传统的摄影测量中主要是利用光学摄影机获取航摄像片,经数据处理后获得被摄物体的形状、大小、位置、特性和相互关系。而数字摄影测量则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。数字摄影测量表现出以下几个区别于传统摄影测量的特点:① 信息源为数字影像;② 处理手段为数字图像处理技术;③ 成果为数字化产品。也就是说,从数据的获取、处理到成果提交都是数字化的。因此,王之卓教授将之称为全数字摄影测量。

第一节 摄影测量的发展阶段与特点

摄影测量学的发展可划分为三个阶段——模拟摄影测量、解析摄影测量与数字摄影测量。在这三个阶段,不管是模拟摄影测量、解析摄影测量,还是数字摄影测量,其本质都是通过航摄像像重建被摄物体的空间几何模型,进而对模型进行量测和识别,得到被摄物体的空间三维位置。只是在三个阶段上对应的研究内容、特点及使用的仪器设备大不相同。

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(Frege Perspective, Zurich, 1759)中就论述了摄影测量的基础——透视几何理论。1839 年法国尼埃普斯与达盖尔发明了摄影技术后,摄影测量学开始了它的发展历程。19 世纪中叶,劳赛达利用所谓“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”(Stereo Autograph)。经过了半个世纪的发展,到 60~70 年代,这种类型的仪器发展到顶峰。由于这种类型的仪器均采用光学投影机或机械投影机或光学—机械投影机“模拟”摄影过程,用它们交会被摄物体的空间位置(摄影光束的几何反转),所以称其为“模拟摄影测量仪器”。著名摄影测量学者海拉瓦于 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,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,其含义也仅在于此,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量测,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基本上是围绕着十分昂贵的模拟立体测图仪进行的。模拟立体测图仪就是利用光学机械模拟投影的光线,由“双像”上的“同名像点”进行“空间前方交会”,获得目标点的空间位置,建立立体模型,进行立体测图。根据投影方式的不同,模拟立体测图仪可分为光学投影、光学—机械投影和机械投影三种类型。由于模拟立体测图仪比较昂贵,一般的测绘单位无法开展摄影测量的生产任务。

模拟摄影测量存在明显的缺点与局限性,主要表现为精度低、对原始资料有较大的限制、产品单一且不便修改和更新等。但因其直观地实现摄影光束的几何反转,对于学习和了解摄影测量原理十分有效,从 19 世纪中叶开始,经历了整整一个世纪,在我国该方法一直沿用到 20 世纪 70 年代。

二、解析摄影测量

随着模数转换技术、电子计算机技术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概念——“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投影光线(共线方程)解算,从而交会被摄物体的空间位置。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,加上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的发展方向,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 虽为民用,但也没有获得广泛的应用。直到 1976 年在赫尔辛基召开的国际摄影测量协会的大会上,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 20 世纪 80 年代,由于大规模集成芯片的发展,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。后来解析测图仪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。

解析摄影测量阶段具有代表性的仪器设备就是“解析立体测图仪”。在这一时期收益最多、效果特别显著的是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,人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。由此导致的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。操作方式也不同:前者是计算机辅助的人工操作;后者是完全的手工操作。由于解析测图仪中应用了电子计算机,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。但他们都是使用摄影的正片(或负片)或相片,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于纸上的线画地图或印在相纸上的影像图,即模拟产品。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,也可形成数字产品。

三、数字摄影测量

解析摄影测量的进一步发展是数字摄影测量,它的发展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追求的理想。最早涉及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,才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。当时是将像片上的灰度变化转换成电信号,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 UN-AMACE、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换成数字信号(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 20 世纪 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 Wild 厂生产的 STK-1 精密立体坐标仪进行影像的数字化,然后用一台 IBM7094 型电子计算机实现影像量测的自动化。原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的设想与方案,并于 1985 年完成了全数字自动化测图系统 WUDAMS(后发展为全数字自动化测图系统 Virtuoz),也采用数字方式实现影像测量自动化。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 展,数字摄影测量的内涵已远远超过了传统摄影测量的范围,现已被公认为摄影测量的第三个发展阶段。数字摄影测量与模拟、解析摄影测量的最大区别在于:它处理的原始资料是数字影像或数字化影像,它最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;其产品是数字形式的,传统的产品只是该产品的模拟输出。表 1-1 列出了摄影测量发展的三个阶段的特点。

表 1-1 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	数字影像 数字化影像	数字投影	计算机	自动化操作 +作业员干预	数字产品 模拟产品

自 20 世纪 60 年代以来航天技术迅速发展,70 年代美国的陆地资源卫星(Landsat)上天后,“遥感”技术得到了极为广泛的应用,打破了摄影测量学长期以来过分局限于测绘物体形状与大小等数据的几何处理,尤其是航空摄影测量长期以来只偏重于测制地形图的局面。在资源勘查与环境监测中,多采用“探测物体而又不接触物体”的遥感技术,而且由于其工作效率高,很快在全世界得到重视并为多种学科所采用。

当前,遥感常用的传感器有航空摄影机(航摄影)、全息摄影机、多光谱摄影机、多光谱扫描仪(Multi Spectral Scanner, MSS)、专题制图仪(Thematic Mapper, TM)、反束光导摄像管

(Return Beam Vidicon Camera, RBV)、HRV(High Resolution Visible Range Instruments)扫描仪、合成孔径侧视雷达(Side Looking Airborne Radar, SLAV)等。

第二节 数字摄影测量概述

伴随着数字影像获取能力的提高以及计算机处理能力的增强,摄影测量的数据处理越来越多地融合了其他学科的处理技术。最有代表性的就是数字图像处理技术,即用计算机来完成一系列关于数字图像的处理任务,如图像压缩、图像增强、图像复原、图像编码、图像分割、边缘检测等。其次是模式识别,具体点说就是基于图像的目标识别,它是模式识别的一个分支,它的输入是图像,输出是图像的分类和结构描述。最后是图像理解,它是人工智能的一个分支,它的输入是图像,输出是对图像的描述和解译。进一步说,当代数字摄影测量的发展与计算机视觉的研究联系紧密,计算机视觉的研究目标是使计算机具有通过二维图像认知三维环境中物体的几何信息的能力,包括它的形状、位置、姿态、运动等,并对它们进行描述、存储、识别与理解。或者简单地说,计算机视觉是用计算机模拟人的眼睛,对空间物体进行识别与理解。从这点来讲,计算机视觉与数字摄影测量有极大的相似之处。

一、数字摄影测量的定义

世界上对于数字摄影测量的定义,主要有以下两种观点:

一种观点认为数字摄影测量是基于数字影像和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,提取所摄对象以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之为软拷贝摄影测量(Softcopy-Photogrammetry)。中国著名摄影测量学家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,在数字摄影测量过程中,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,数字影像或数字化影像)提取所摄对象以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。数字摄影测量的组成如图 1-1 所示。

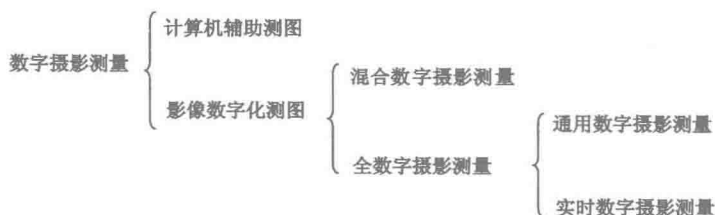


图 1-1 数字摄影测量的组成

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学测图仪与计算机相连的机助(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上输出线划图,或在数控绘图仪上输出正射影像图,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,计算机则起数据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,用计算机视觉(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学仪器与传统的人工操作方式。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数字化。根据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,对要量测的局部影像进行数字化,由数字相关(匹配)获得点的坐标。例如,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 的解析测图仪也可构成类似的系统;海拉瓦的 DCCS(Digital Comparator Correction System)也属于此种系统。

2. 全数字摄影测量系统

全数字摄影测量系统(也称软拷贝摄影测量)处理的是完整的数字影像,若原始影像是像片,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。由于自动影像解译仍然处于研究阶段,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。其主要内容包括方位参数解算、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等。第一套全数字摄影测量系统是 20 世纪 60 年代在美国建立的 DAMCS(Digital Automatic Map Compilation System)。到了 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)、原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

当影像的获取与处理几乎同时进行,在一个视屏周期内完成,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仪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)就是通用性(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