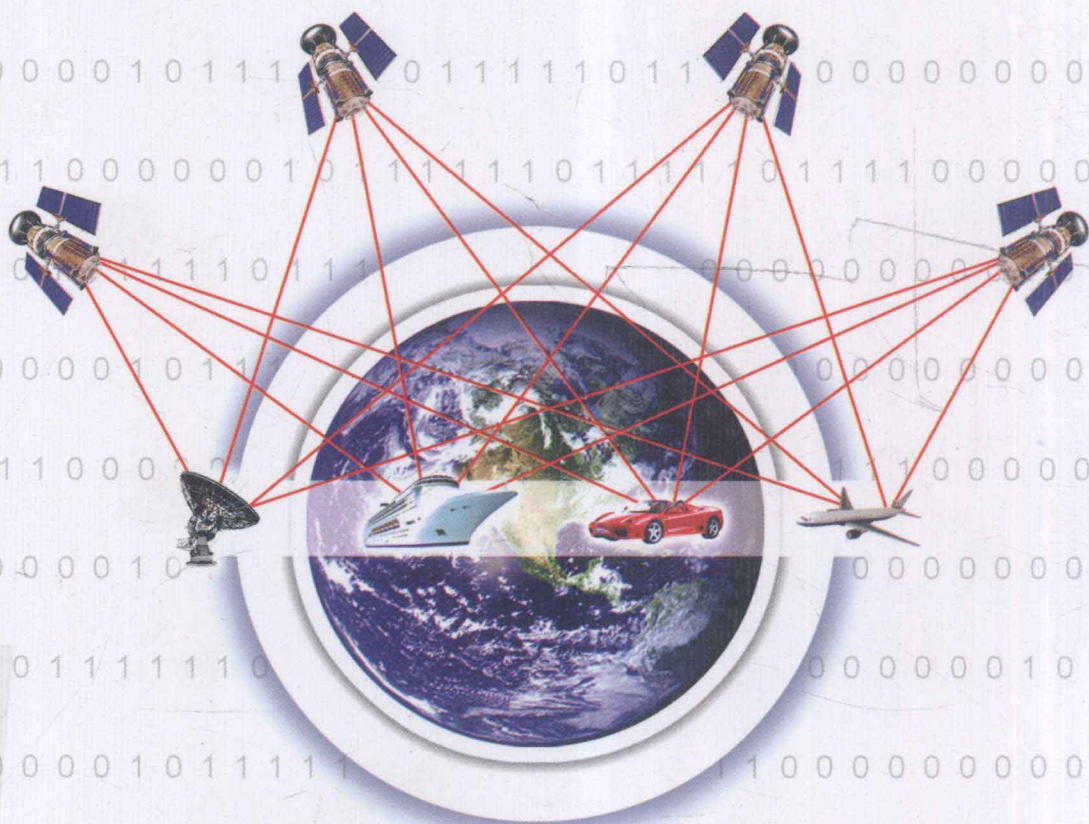


高等学校
测绘工程专业核心课程规划教材

数字摄影测量学

(第二版)

张祖勋 张剑清 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

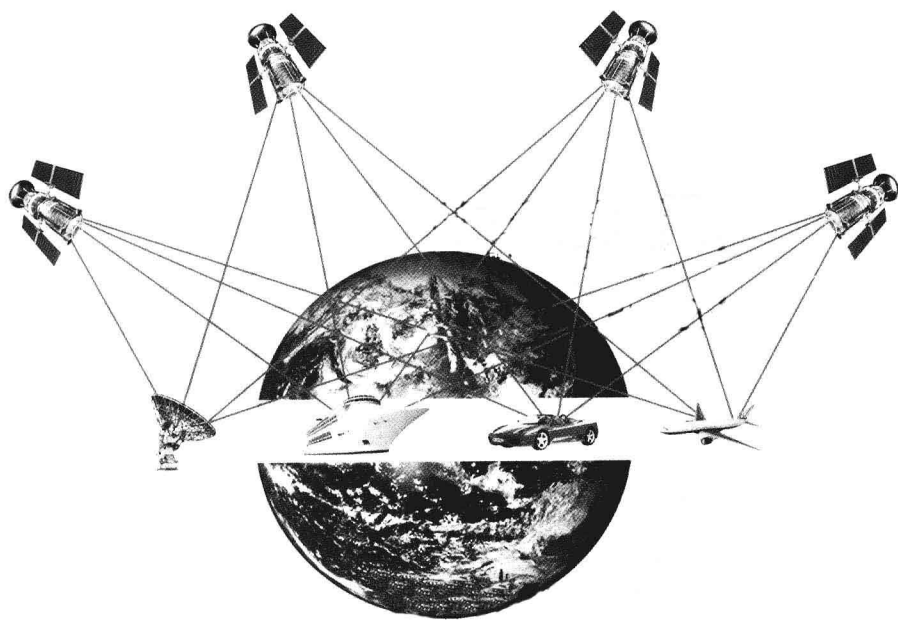
武汉大学出版社

高等学校
测绘工程专业核心课程规划教材

数字摄影测量学

(第二版)

张祖勋 张剑清 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数字摄影测量学/张祖勋,张剑清编著. —2版. —武汉:武汉大学出版社,
2012.7

高等学校测绘工程专业核心课程规划教材

ISBN 978-7-307-09674-5

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第054045号

责任编辑:王金龙

责任校对:黄添生

版式设计:马佳

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:湖北金海印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:28.5 字数:687千字 插页:1

版次:1997年1月第1版 2012年7月第2版

2012年7月第2版第1次印刷

ISBN 978-7-307-09674-5/P·199

定价:45.00元

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

高等学校测绘工程专业核心课程规划教材 编审委员会

主任委员

宁津生 武汉大学

副主任委员

贾文平 解放军信息工程大学

李建成 武汉大学

陈 义 同济大学

委员

宁津生 武汉大学

贾文平 解放军信息工程大学

李建成 武汉大学

陈 义 同济大学

汪云甲 中国矿业大学

刘雁春 海军大连舰艇学院

靳奉祥 山东科技大学

岳建平 河海大学

宋伟东 辽宁工程技术大学

李永树 西南交通大学

张 勤 长安大学

朱建军 中南大学

高 飞 合肥工业大学

朱 光 北京建筑工程学院

郭增长 河南理工大学

刘爱松 武汉大学出版社

序

根据《教育部财政部关于实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”的意见》中“专业结构调整与专业认证”项目的安排，教育部高教司委托有关科类教学指导委员会开展各专业参考规范的研制工作。我们测绘学科教学指导委员会受委托研制测绘工程专业参考规范。

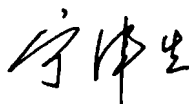
专业规范是国家教学质量标准的一种表现形式，并是国家对本科教学质量的最低要求，它规定了本科学生应该学习的基本理论、基本知识、基本技能。为此，测绘学科教学指导委员会从2007年开始，组织12所测绘工程专业的高校建立了专门的课题组开展“测绘工程专业规范及基础课程教学基本要求”的研制工作。课题组根据教育部开展专业规范研制工作的基本要求和当代测绘学科正向信息化测绘与地理空间信息学跨越发展的趋势以及经济社会的需求，综合各高校测绘工程专业的办学特点，确定专业规范的基本内容，并落实由武汉大学测绘学院组织教师对专业规范进行细化，形成初稿。然后多次提交给教指委全体委员会、各高校测绘学院院长论坛以及相关行业代表广泛征求意见，最后定稿。测绘工程专业规范对专业的培养目标和规格、专业教育内容和课程体系设置、专业的教学条件进行了详尽的论述，提出了基本要求。与此同时，测绘学科教学指导委员会以专业规范研制工作作为推动教学内容和课程体系改革的切入点，在测绘工程专业规范定稿的基础上，对测绘工程专业9门核心专业基础课程和8门专业课程的教材进行规划，并确定为“教育部高等学校测绘学科教学指导委员会规划教材”。目的是科学统一规划，整合优秀教学资源，避免重复建设。

2009年，教指委成立“测绘学科专业规范核心课程规划教材编审委员会”，制订“测绘学科专业规范核心课程规划教材建设实施办法”，组织遴选“高等学校测绘工程专业核心课程规划教材”主编单位和人员，审定规划教材的编写大纲和编写计划。教材的编写过程实行主编负责制。对主编要求至少讲授该课程5年以上，并具备一定的科研能力和教材编写经验，原则上要具有教授职称。教材的内容除要求符合“测绘工程专业规范”对人才培养的基本要求外，还要充分体现测绘学科的新发展、新技术、新要求，要考虑学科之间的交叉与融合，减少陈旧的内容。根据课程的教学需要，适当增加实践教学内容。经过一年的认真研讨和交流，最终确定了这17门教材的基本教学内容和编写大纲。

为保证教材的顺利出版和出版质量，测绘学科教学指导委员会委托武汉大学出版社全权负责本次规划教材的出版和发行，使用统一的丛书名、封面和版式设计。武汉大学出版社对教材编写与评审工作提供必要的经费资助，对本次规划教材实行选题优先的原则，并根据教学需要在出版周期及出版质量上予以保证。广州中海达卫星导航技术股份有限公司对教材的出版给予了一定的支持。

目前，“高等学校测绘工程专业核心课程规划教材”编写工作已经陆续完成，经审查

合格将由武汉大学出版社相继出版。相信这批教材的出版应用必将提升我国测绘工程专业的整体教学质量,极大地满足测绘本科专业人才培养的实际要求,为各高校培养测绘领域创新性基础理论研究和专业化工程技术人才奠定坚实的基础。



二〇一二年五月十八日

前 言

数字摄影测量是一个相对年轻、非常具有活力而且快速发展的学科。它的出现使得摄影测量发生了革命性的变化，传统摄影测量中许多由人工操作光机仪器的繁杂作业，改而由数字摄影测量软件和计算机自动快速地完成，大大提高了摄影测量信息提取的效率。随着新型传感器的出现，摄影测量不仅没有被终结，而且为解决新型传感器出现的问题，数字摄影测量得到了进一步的发展，如 POS 辅助的空中三角测量与 LiDAR 与影像结合的信息提取等。数字摄影测量具有使当前的许多问题得到更有效解决的潜力，它必将进一步的发展。

数字摄影测量与数字影像处理、模式识别、人工智能、专家系统和计算机视觉等学科的发展是分不开的，数字摄影测量的许多理论与方法，多来自这些相关学科。虽然数字摄影测量与计算机科学、信号与影像处理学等相关学科密不可分，但它的直接基础主要还是基础摄影测量与解析摄影测量。只有较好地掌握摄影测量基础知识，才能更好地理解数字摄影测量的理论与方法。

本书的内容分两部分。第一部分是计算机辅助测图与数字地面模型，分为六章，介绍早期数字摄影测量发展的相关理论与方法。计算机辅助测图也称数字测图，用于矢量数据的采集，包括计算机辅助测图的数据采集、计算机辅助测图的数据处理与计算机辅助测图的数据输出。数字地面模型是数字摄影测量的重要产品，是各种应用的基础，包括数字地面模型的建立、数字地面模型的应用与三角网数字地面模型。第二部分是数字影像自动测图，分为九章，主要论述数字摄影测量自动化处理的理论与方法。有关数字影像的内容分为三章：数字影像获取与重采样、数字影像解析基础及影像特征提取与定位算子。数字影像自动测图的核心影像匹配分为三章：影像匹配基础理论与算法、最小二乘影像匹配及特征匹配与整体匹配。第 7 章数字微分纠正介绍正射影像、立体正射影像对与真正射影像的相关内容。第 8 章新型航空摄影测量传感器介绍近年来出现的新传感器及其数字摄影测量数据处理方法。第 9 章介绍数字摄影测量系统，包括历史上著名的和近年来出现的新的数字摄影测量系统。

本书是在我们团队多年科研与教学的基础上，并引用国内外的许多研究成果编著而成，反映了数字摄影测量的新发展与水平。许多老师和学生为本书的编著付出了辛勤的劳动，在此向他们表示衷心的感谢！

编 者

2012 年 3 月于武汉大学

目 录

绪 论	1
0.1 摄影测量的发展阶段及特点	1
0.2 数字摄影测量	3
0.3 当代数字摄影测量的若干典型问题	5
习题与思考题	8
第 1 篇 计算机辅助测图与数字地面模型	
第 1 章 计算机辅助测图的数据采集	11
1.1.1 数据采集设备与数据采集主要过程	11
1.1.2 属性码的输入与管理	12
1.1.3 坐标的量测与管理	13
习题与思考题	19
第 2 章 计算机辅助测图的数据处理	20
1.2.1 数据的图形显示	20
1.2.2 人机交互	21
1.2.3 图形编辑	22
1.2.4 字符编辑	24
习题与思考题	24
第 3 章 计算机辅助测图的数据输出	25
1.3.1 绘图基本算法	25
1.3.2 图板定向	32
1.3.3 点状符号的绘制	33
1.3.4 线状符号与面状符号的绘制	34
1.3.5 裁剪与注记	35
1.3.6 机助测图系统简介	36
习题与思考题	39
第 4 章 数字地面模型的建立	40
1.4.1 概述	40

1.4.2	DEM 数据采集与质量控制	42
1.4.3	DEM 数据预处理	47
1.4.4	移动曲面拟合法 DEM 内插	49
1.4.5	多面函数法 DEM 内插	51
1.4.6	最小二乘法内插(配置法)	53
1.4.7	有限元法内插	59
1.4.8	DEM 的精度	65
1.4.9	DEM 的存储管理	67
	习题与思考题	71
第 5 章	数字地面模型的应用	72
1.5.1	基于矩形格网的 DEM 多项式内插	72
1.5.2	等高线的绘制	76
1.5.3	立体透视图	83
1.5.4	DEM 的其他应用	87
	习题与思考题	90
第 6 章	三角网数字地面模型	91
1.6.1	三角网数字地面模型的构建	91
1.6.2	三角网数字地面模型的存储	92
1.6.3	三角网中的内插	94
1.6.4	基于三角网的等高线绘制	96
	习题与思考题	97
第 2 篇 数字影像自动测图		
第 1 章	数字影像获取与重采样	101
2.1.1	数字影像	101
2.1.2	数字影像采样	102
2.1.3	数字影像量化	107
2.1.4	数字影像传感器	108
2.1.5	影像重采样理论	109
	习题与思考题	113
第 2 章	数字影像解析基础	114
2.2.1	数字影像的内定向	114
2.2.2	相对定向的直接解	117
2.2.3	空间后方交会的直接解	121
2.2.4	核线几何关系解析与核线排列	129
2.2.5	有理函数模型	135

2.2.6 自动空中三角测量	137
习题与思考题	138
第3章 影像特征提取与定位算子	139
2.3.1 影像信息量与特征	139
2.3.2 点特征提取算子	142
2.3.3 线特征提取算子	150
2.3.4 影像分割	156
2.3.5 定位算子	163
习题与思考题	173
第4章 影像匹配基础理论与算法	175
2.4.1 影像相关原理	175
2.4.2 影像相关的谱分析	180
2.4.3 数字影像匹配基本算法	193
2.4.4 基于物方的影像匹配(VLL法)	203
2.4.5 影像匹配基本方法统计理论基础与错误概率	206
习题与思考题	211
第5章 最小二乘影像匹配	213
2.5.1 最小二乘影像匹配原理	213
2.5.2 单点最小二乘影像匹配	216
2.5.3 最小二乘影像匹配的精度	224
习题与思考题	225
第6章 特征匹配与整体匹配	226
2.6.1 基于特征的影像匹配	226
2.6.2 关系匹配与单像计算机视觉	234
2.6.3 整体影像匹配	242
习题与思考题	253
第7章 数字微分纠正	255
2.7.1 框幅式中心投影影像的数字微分纠正	255
2.7.2 线性阵列扫描影像的数字纠正	260
2.7.3 彩色变换及应用	266
2.7.4 立体正射影像对的制作	273
2.7.5 景观图的制作原理	279
2.7.6 真正射影像的概念及其制作原理	283
习题与思考题	287

第 8 章 新型航空摄影测量传感器	288
2.8.1 数码相机	288
2.8.2 机载定位定向系统(POS)	295
2.8.3 机载激光扫描系统(LiDAR)	298
2.8.4 摄影测量处理的相关坐标系统	301
2.8.5 框幅式数码影像的 POS 辅助区域网平差	309
2.8.6 ADS40 影像的几何处理	314
2.8.7 光达数据的摄影测量处理	322
习题与思考题.....	345
第 9 章 数字摄影测量系统	346
2.9.1 数字摄影测量系统	346
2.9.2 混合型数字摄影测量系统	349
2.9.3 全数字型数字摄影测量系统	354
2.9.4 实时摄影测量系统	375
2.9.5 新一代数字摄影测量系统	381
习题与思考题.....	393
附录一 利用分形几何理论估计地形粗糙度	394
附录二 利用图论提取子区的边界	395
附录三 基函数与样条函数	403
附录四 矩阵的直积	411
附录五 用数学形态学建立 TIN	412
附录六 三角网数字地面模型的压缩存储	416
附录七 傅立叶分析与卷积	423
附录八 动态规划基本原理	429
主要参考文献	434

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，现在已经进入数字摄影测量发展阶段。当代的数字摄影测量是传统摄影测量与计算机视觉相结合的产物，它研究的重点是从数字影像自动提取所摄对象的空间信息。基于数字摄影测量理论建立的数字摄影测量工作站和数字摄影测量系统基本上已经取代了传统摄影测量所使用的模拟测图仪与解析测图仪。

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 报道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, 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 20 世纪 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，用它们交会被摄物体的空间位置，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 年在他的论文中谈道：“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 20 世纪 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在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, 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 年在赫尔辛基召开的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。到了 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, 使其逐渐成为计算机的一个“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相纸上的影像图, 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。最早涉及摄影测量自动化的研究可追溯到 1930 年, 但并未付诸实施。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化自动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(后称 VirtuoZo),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、专家系统与计算机视觉等学科不断发展,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:它处理的原始信息不仅可以是像片,更主要的是数字影像(如 SPOT 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,特别是当代,计算机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	相片	物理投影	模拟测图仪	作业员手工	模拟产品
解析摄影测量	相片	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。

一种观点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曾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相片,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(现阶段对矢量数据的获取还不可能做到完全自动化的方式,而只能是半自动的方式,甚至是全人工的方式)。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(目前这种混合数字摄影测量系统已经基本上不再使用了)。

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(也称影像扫描仪)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,或记录在存储器上,通过存储器输入计算机。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的自动化处理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(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 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)与中国武汉测绘科技大学(现武汉大学)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，传感器必须与主计算机联机使用。若传感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-256 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。

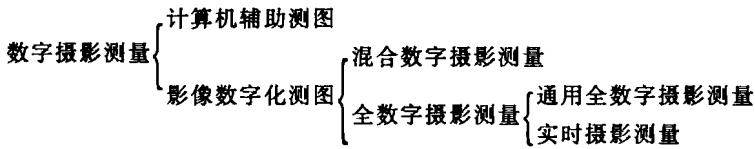


图 0-1 数字摄影测量的组成

0.3 当代数字摄影测量的若干典型问题

一、辐射与纹理

当代数字摄影测量与解析摄影测量、模拟摄影测量根本的差别之一在于对影像辐射信息的计算机数字化处理。在此之前，影像的辐射信息是利用光机设备给以极简单的处理(如利用加强光源对其增强)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摄影测量自动化的。在解析摄影测量中，一个目标点向量 X_{dp} 是三维的，即

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

而在数字摄影测量中，目标点向量 X_{dp} 变为四维或者六维的了，即

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

其中 $D = D(X, Y, Z)$ 是该点的辐射量(灰度值)或色彩向量 $D = (R, G, B)$ ， $R = R(X, Y, Z)$ ， $G = G(X, Y, Z)$ ， $B = B(X, Y, Z)$ 是该目标点的红、绿、蓝颜色分量。集合 $\{D\}$ 即目标的纹理信息，它在影像上的投影 $d = d(x, y)$ 就是数字影像。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，以下将数字影像与数字化影像均称为数字影像)。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。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结合完成影像信息的提取、管理与应用。

随着虚拟现实与可视化需求的迅速增长,快速确定目标的纹理 $D=D(X, Y, Z)$, 也已经成为当代数字摄影测量的一项重要任务了。也就是说,当代数字摄影测量不仅要自动测定目标点的三维坐标,还要自动确定目标点的纹理。正射影像是摄影测量的重要产品。影像的匀光、影像色彩的均匀、镶嵌影像间色彩的平滑过渡方法是制作高质量的正射影像的基础,也是确定目标点合理的纹理的基本方法。

二、数据量与信息量

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数表示,在计算机中占用一个“字节”(byte)。若是彩色影像,则需要3个字节分别存放红、绿、蓝或其他色彩系统的数值。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0.02mm时,一张23cm×23cm的影像包含大约120兆(M)字节($1M=10^6$)。直接由传感器获取的高分辨率遥感影像的数据量甚至更大,如一幅IKONOS影像可能包含1.6千兆(G)字节($1G=10^9$)字节。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。

传统的航空摄影,在航向上的重叠率一般是60%,旁向重叠率一般是30%。这对于人工作业,一般是足够了。但是,对于计算机来说,几乎没有多余观测。由于信息量偏少,对自动化处理(如房屋的自动提取)非常不利。在许多非地形摄影测量的应用中,由于摄影重叠率小,连相邻影像的匹配,也很困难。因此,当代数字摄影测量在摄影时,要尽量加大重叠率,甚至要获取序列影像。在交向摄影时,虽然影像的重叠率可能会很大,但因摄影的角度相差很大,因而物体的影像变形很大,因此影像匹配的难度也很大。此时也应该在其间增加摄影,构成多基线摄影测量。

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,其匹配速度一般可达500~1000点/秒,利用全数字摄影测量自动立体量测DTM的速度可达100~200点/秒甚至更高,这是人工量测无法比拟的。但是数字摄影测量中量测与识别的计算任务是如此巨大,目前的计算机速度还不能实时完成,对于许多需要实时完成的应用,快速算法依然是必要的。另一方面可以利用计算网络,实现多计算机并行处理,加速数字摄影测量的处理过程。

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的重要发展,也是摄