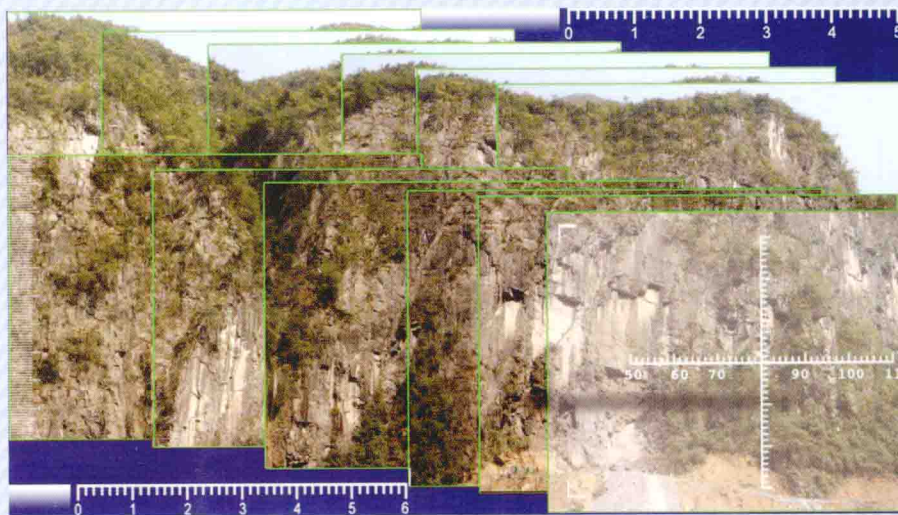




测·绘·科·学·与·技·术 著作系列

普通数码影像 量测应用方法

李 浩 杨 彪 陈新玺 张雅楠 著



科学出版社

测绘科学与技术著作系列

普通数码影像量测 应用方法

李 浩 杨 彪 著
陈新玺 张雅楠

国家自然科学基金资助项目
数码影像高精度工程监测关键技术及质量控制方法
(项目批准号: 51079053)

江苏省自然科学基金资助项目
地质体及工程体 TP 统一建模方法研究
(项目批准号: SBK201221489)

“十一五”国家科技支撑计划重点项目
高陡边坡、超大洞室群安全监测技术与预警方法
(项目批准号: 2008BAB29B01)

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书针对普通数码相机被广泛应用于量测用途,然而又存在应用瓶颈的状况,系统地研究了相机检校、影像定向和立体匹配等决定数码影像量测应用水平的关键技术和方法,以期改善数码影像量测应用的精度和适用条件。书中首先提出了几种能够提高检校质量或降低检校条件的相机量测化检校方法,为普通数码相机的量测化应用提供影像保证;其次,在摄影测量学基本算法解析的基础上,阐述了适应普通数码影像量测应用的定向处理算法体系和改进算法;再次,针对数码相机及其量测对象的特殊性,阐述了普通数码影像立体匹配的新方法;最后,面向技术和方法的综合运用,阐述了普通数码影像量测应用实施方法和实例分析。

本书可供工程、工业等行业从事勘测、设计的专业技术人员阅读,也可作为测绘或影像相关专业研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

普通数码影像量测应用方法 / 李浩等著. —北京: 科学出版社, 2013
(测绘科学与技术著作系列)
ISBN 978-7-03-038855-1

I. ①普… II. ①李… III. ①数字照相机-应用-普通测量学
IV. ①P21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 243794 号

责任编辑: 童安齐 王 钰 / 责任校对: 刘玉靖
责任印制: 吕春珉 / 封面设计: 耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

双 青 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013年12月第 一 版 开本: B5 (720 × 1000)

2013年12月第一次印刷 印张: 12 3/4

字数: 247 000

定价: 60.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换<双青>)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62137026 (BZ08)

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

普通数码相机的出现,使影像获取变得如此简便。这不仅鼓励了人们在工作中广泛使用影像来观察记录对象并做定性分析,而且大大激发了人们使用数码相机去解决各自领域中的快速量测、非接触式量测和自动化量测等技术难题的热情。实际上,伴随着计算机技术和空间信息技术的发展,广泛分布于基础地理测绘、城建规划、工程勘察、工业制造、生物医学等领域的基于影像信息的量测技术,已经超越了传统近景摄影测量的研究及应用范畴,成为影像技术中最为活跃的一个发展方向。

“花钱少、门槛低、上手快”似乎是大家对普通数码影像量测应用的最直观认识,但在应用“热闹”的表象下,真正对应用结果满意的却并不多。造成这种情形的原因,正是人们在消费普通数码相机低廉、方便等优点的同时,忽视了普通数码影像几何质量不佳的缺点;而对普通数码影像直接沿用量测影像处理算法尤其是航测算法的做法,加深了这个缺点的不利影响。本书正是针对影响普通数码影像量测精度及应用水平的主要因素,以摄影测量学理论方法为依据进行拓展研究,以期能够更好地适应普通数码影像的量测应用,进一步满足不同行业尤其是工程勘测业界的影像量测技术需求,不断开拓数码影像量测技术的适用领域。

本书撰写的目的并不是为了完整地阐述或再现近景摄影测量现有的技术和方法,而是围绕相机量测化检校、影像定向、影像立体匹配等基本问题,研究新方法、改进方法和算法的新用法,使普通数码影像量测应用的关键环节可以进一步被认识、理解和改善,希望从某些方面能够有助于提高该技术的研宄、设计、开发和应用水平。本书共分12章,第1章概述了普通数码影像量测应用的现状及发展;第2章分析了普通数码影像的构像特性,为数码相机量测化提供依据;第3~7章,提出了普通数码相机量测化应用的概念,在此基础上阐述了PTR、SSC和LBC三种新的相机量测化检校方法,并验证了新方

法的优点和特点，为提高普通数码影像量测精度和降低方法的适用条件提供了基本保障；第8章和第9章在对影像量测处理基本算法展开解析和实验的基础上，明确了普通数码影像量测处理的适应算法并论述了算法改进；第10章阐述了几种面向普通数码影像的立体匹配方法；第11章和第12章阐述了普通数码影像量测在工程领域应用中的若干问题和解决方案，以及应用实例分析。

本书是在作者近年相关研究和应用成果的基础上写作而成的，在此感谢历届研究生杨朝辉、杨林、杨立君、张曼祺、王正培、杜丽丽、黄河、王森、王亚芹、苏博、毛羽丰、张荣春、陈舒、吴铭飞、杨畅等同学为本书所做的相关工作。由于作者水平所限，书中难免有不当之处，敬请读者批评指正。

李 浩 杨 彪（河海大学）

陈新玺（国家海洋局东海分局）

张雅楠（中国电力工程顾问集团 西北电力设计院）

2013年1月于南京

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 近景摄影测量技术	1
1.2 数码影像的工程量测应用现状	2
1.3 数码影像量测应用技术的发展前景	5
第 2 章 普通数码相机及其构像特性	8
2.1 构像几何畸变差的特性	9
2.2 构像畸变差的表示及校正效果	12
2.2.1 常用的径、切向畸变差模型	12
2.2.2 模型中添加仿射畸变的不良影响	15
2.2.3 k_1 项作用的讨论	18
2.3 普通数码相机内方位的稳定性	19
第 3 章 三维控制的相机量测化检校方法	21
3.1 三维控制场及其建立	21
3.2 三维光线束检校方法	24
3.2.1 检校参数的整体解算	24
3.2.2 BCT 方法实验精度分析	29
3.3 PTR 检校方法	31
3.3.1 关于二维控制场	32
3.3.2 畸变系数的解算	32
3.3.3 内方位元素的解算及精度估计	35
3.3.4 PTR 方法实验精度分析	36
3.3.5 相机量测化检校的适用性评价	40
第 4 章 平面控制检校的参数相关性分析	42
4.1 平面控制场的建立	42
4.2 平面控制相机检校存在的问题	43
4.3 平面控制单像片检校的相关性分析	44
4.3.1 Z_s 与 f 相关性	44
4.3.2 X_s 、 Y_s 与 x_0 、 y_0 相关性分析	46
4.4 平面控制多像片检校的相关性分析	49
4.5 参数相关性模拟分析	50

4.5.1	方位元素之间相关性度量	50
4.5.2	单片参数相关性模拟分析	50
4.5.3	多片参数相关性模拟分析	51
4.5.4	拍摄方式影响相关性的模拟分析	51
第5章	平面控制的相机量测参数分步检校方法	56
5.1	基于平面线特征的畸变及像主点检校	56
5.1.1	直线参数的确定	56
5.1.2	畸变系数检校	58
5.1.3	像主点位置检校	59
5.2	相机主距的检校	60
5.2.1	主距检校的影像获取方式	60
5.2.2	主距检校原理	61
5.2.3	投影中心 X_s 、 Y_s 的确定	62
5.2.4	主距 f 及 φ 、 ω 、 κ 的解算	63
5.3	SSC 方法实验精度分析	66
5.3.1	实验数据的获取	66
5.3.2	实验结果的解算	68
5.3.3	畸变系数检校的质量分析	69
5.3.4	内方位元素解算的稳定性测试	73
5.3.5	检校结果的量测应用精度	74
第6章	直线约束的平面控制光线束检校方法	76
6.1	LBC 方法检校原理	76
6.2	LBC 方法的未知数初值计算	78
6.2.1	畸变系数及内方位元素初值计算	78
6.2.2	外方位元素初值计算	79
6.3	LBC 拍摄方式及算法流程	81
6.4	LBC 方法实验精度分析	82
6.4.1	实验数据的获取	82
6.4.2	检校实验结果	83
6.4.3	畸变系数检校的质量分析	84
6.4.4	检校结果的量测应用精度	86
6.5	LBC 与通常平面光束法检校的比较	87
第7章	相机不同检校方法的比较与分析	90
7.1	PTR 与三维光束法检校的对比	90
7.2	两种新的平面控制检校算法的特性	92
7.2.1	畸变系数检校精度比较	92

7.2.2	检校结果的应用精度比较	94
7.2.3	检校结果的其他比较	95
第 8 章	数码影像量测基本算法解析	97
8.1	数码影像单像后交-多片前交算法	97
8.1.1	单像空间后方交会的初值估算方法	97
8.1.2	空间后方交会及前方交会解算	100
8.1.3	数码影像空间后交的精度分析	102
8.1.4	多片前交的精度及可靠性	103
8.2	数码影像的相对定向	107
8.2.1	相对定向迭代解法及初值确定	107
8.2.2	相对定向直接解法	109
8.2.3	数码影像相对定向精度分析	110
8.3	普通数码影像的 DLT 算法特性	114
8.3.1	DLT 算法的广义解析	114
8.3.2	精化畸变差改正模型对 DLT 的影响	117
8.3.3	附加约束条件对 DLT 解算的作用	117
第 9 章	数码影像区域网光束法	119
9.1	数码影像区域网光束法及其算法特性	119
9.1.1	区域网光束法概述	119
9.1.2	虚拟观测方程构建对计算的影响	121
9.1.3	内方位已知/未知处理的光束法适用性	124
9.1.4	构像畸变系数的组合效应	125
9.1.5	畸变差预先校正对光束法精度的影响	126
9.1.6	实时对焦(变主距)光束法的适用条件	129
9.1.7	多基线对提高光束法精度的作用	130
9.1.8	稀疏控制下光束法处理的若干问题	131
9.2	光束法与单像后交-多片前交的比较	134
9.2.1	两种算法的实施特点	134
9.2.2	两种算法实验精度分析	135
9.3	近景影像的自由网光束法探讨	136
9.3.1	自由网平差的一般解法	136
9.3.2	近景影像自由网拟稳平差	139
9.3.3	改进的基于赫尔默特方差估计的自由网平差	141
第 10 章	数码影像的立体匹配方法	145
10.1	同名核线影像的生成	145
10.1.1	连续法相对定向的核线模型	145

10.1.2	直接法相对定向的核线模型	147
10.2	普通数码影像的同名核线误差	147
10.3	随点生成短核线匹配策略	148
10.4	种子点约束的概率松弛匹配方法	150
10.4.1	基于种子点的搜索策略	150
10.4.2	松弛法匹配的概率更新	151
10.4.3	种子点约束的概率松弛匹配	151
10.5	虚拟核面的多基线影像立体匹配方法	153
10.5.1	多基线立体匹配常用方法	153
10.5.2	虚拟核面的多基线立体匹配	154
第 11 章	数码影像量测工程应用的若干问题	159
11.1	近景影像技术的工程适用条件	159
11.1.1	拍摄成像适用条件	159
11.1.2	数据处理设备和方法适用条件	160
11.1.3	成果类型及精度适用条件	161
11.2	近景影像的拍摄方式	163
11.2.1	单像对影像拍摄方式	163
11.2.2	多基线影像拍摄方式	165
11.2.3	像方控制影像拍摄方式	166
11.3	数码影像量测常见问题解决方案	168
第 12 章	普通数码影像量测应用实例	171
12.1	高山峡谷数码影像测绘系统	171
12.1.1	系统结构及数据处理流程	171
12.1.2	系统及其方法特点	172
12.1.3	系统应用实例	173
12.2	基于数码影像的地质工程三维建模	177
12.2.1	数码影像工程地质编录技术	177
12.2.2	边坡地质工程影像三维建模	188
12.2.3	硐室地质工程影像三维建模	192
主要参考文献		196

第 1 章 绪 论

1.1 近景摄影测量技术

传统上,地面拍摄影像的量测处理技术,主要归属于近景摄影测量,它是摄影测量学的一个分支学科。近景摄影测量重点研究利用影像来确定非地形目标物的形状、大小及空间位置关系。因其具有目标信息的快速获取、非接触式量测方式和场景再现能力等独特的技术优势,被广泛应用于工业制造、建筑工程、生物医学,以及考古、变形观测、事故勘察、弹道测量、矿山工程等诸多领域。

摄影测量的发展史就是从地面摄影测量开始。自 1839 年法国人 Daguerre 和 Niepce 发明摄影术之后不久,法国陆军上校 Aime' Laussedat 即开始了摄影测量的研究。1849 年,Laussedat 首次利用地面摄影的照片进行地形图的绘制,1851 年又利用地面摄影的照片开展建筑图的测绘,后续研究亦取得多方面的成果。鉴于 Laussedat 在摄影测量领域的开创性贡献,其个人被人们称为“摄影测量之父”。

1910 年,国际摄影测量协会(International Society for Photogrammetry, ISP)成立。之后,航空摄影测量技术得到了快速的发展、成熟和应用,而作为摄影测量学科体系中的重要分支的近景摄影测量,却一直被人们所忽视。直到 1960 年,当广大摄影测量工作者利用廉价的、非定制的相机进行影像采集时,这项重要的学科分支才被人们所关注。1970 年开始,得益于计算机技术的迅速发展及其应用领域拓展,近景摄影测量技术得到了快速地普及。随着 1990 年数码时代的来临,近景摄影测量进入了一个飞速发展的时期。

Gruen 研究认为(Gruen, 2000),近景摄影测量的历史主要包括四个阶段。第一个阶段是 1850~1984 年,该阶段建立了近景摄影测量技术的基础。这一时期后期的理论研究主要针对于图像处理算法、联合平差处理、电荷耦合器件(CCD)应用于图像记录、最小二乘影像匹配方法等。第二个阶段是 1984~1988 年,这一阶段主要从事早期原型系统的研发,其中包括仪器校准、CCD 数字图像系统、高速数据获取与处理系统等多个方面。当 ISP 第五委员会更名为“近景摄影测量与计算机视觉”,近景摄影测量进入了快速发展时期。第三个阶段是 1988~1992 年,在这一阶段近景摄影测量的研究得到了广泛的认同和改进。这一时期近景摄影测量产生了各种各样的应用系统,近景摄影测量的相关研究和应

用得到了加速发展。随着全自动摄影测量系统的研制,高精度近景摄影测量技术趋于成熟。第四个阶段是从1992年至今,这一时期数字近景摄影测量得到了稳定的发展。其中普通数码相机和其他数码传感器的普及应用,成为推动数字近景摄影测量发展的关键因素,并使其现在在广泛领域的研究应用成为可能。研究的重点从几何量测精度转为实时性、全自动化和测量结果的深加工应用(如三维建模与虚拟现实技术)等。尤其三维激光扫描技术的发展,使得多传感器数据采集及融合等问题备受关注,从而使数字近景摄影测量与计算机视觉的关系亦越发密切。

总之,近景摄影测量技术在百年发展历史中,不同程度地满足了工程、工业等领域对快速、间接、动态量测技术的需求。随着数字化、信息化时代的到来,相关领域对影像空间信息技术有了更高的要求。近景摄影测量技术被期望用于解决复杂现场的快速信息获取、影像信息的自动化处理、目标及环境信息的可视化分析应用等技术难题。现今,其涉及的许多技术内容和要求,已经远远超出了以测量和制图为目的的传统的近景摄影测量研究范畴,并且趋向于成为不同行业和领域空间信息新技术的一部分。非测绘专业技术人员也已成为相关研究和应用的主力队伍。因此,作为依据影像来获取目标的空间信息,并进行影像信息处理、表达和应用的遥感技术,似乎称其为近景影像量测技术或近景影像技术,更为合适。

1.2 数码影像的工程量测应用现状

作为工程领域中重要的遥感监测技术和手段,近景影像量测技术被用来满足工程勘测、设计、建设或运行阶段对影像量测技术的需求。事实上,对动态目标,影像量测几乎是不可替代的监测技术;对不可或不易接近的目标,影像量测也是首选的监测技术。借助于专业的光学近景摄影机,近景影像量测技术研究解决了众多工程难题。

以水利水电工程为例,近景影像技术作为一种十分重要的监测技术手段,长期以来发挥着重要作用。在水工模型研究中,近景影像技术用于测定动态水舌形态、模型水流场和泥沙淤积等;在水工原型监测中,近景影像技术用于监测泄洪口水流形态及消力池底板损蚀情况,监测大坝溢流面形态及磨蚀状况,监测水闸、船闸等闸门的静态及动态变形,监测升船机建造形态及变形等;在大江截流过程中,近景影像技术用于观测龙口水流的流速和流态等;在水工建筑物建设过程中,近景影像技术用于监测高边坡变形,监测洞室、边坡、基坑的工程开挖形态及工程量等。在其他工程领域,近景影像技术的应用同样丰富多彩而特色鲜明。

对不同时期的应用而言,开展影像量测首先要解决的都是相机问题。然而,与数字航空摄影机的快速发展相比,现今数字型的地面量测摄影机则很不成熟,其无论在设计、制造还是在应用方面,尚不能同数字航空摄影机相提并论。目前开展高精度的近景影像量测应用,大多还需依赖于原有的光学近景摄影机。但这类摄影机不但很少、价格昂贵,而且作业对专门设备和专业技能要求甚高。更主要的是,基于光学近景摄影的作业方式常常无法满足现代工程应用的要求。因为影像的采集方式和影像质量决定了整个作业过程的效率、精度和技术水平。利用光学型摄影机拍摄胶片或干板作业,对多数的应用会失去近景影像技术的优势。

20世纪90年代初期,数码相机的问世,不但改变了人们长达100年来使用胶卷的摄影习惯,更使影像信息处理及应用跃上了新台阶,也为促进近景影像技术的研究和应用带来了机遇。数码相机信息处理效率高,可满足快速甚至实时的工程监测技术需求;数码相机影像数据处理过程为全数字流程,自动化程度高,便于信息管理与共享;数码相机作业方便,适应性强,在条件复杂的工程现场拍摄具有良好的机动性。正因如此,在达到精度的前提下,数码相机已成为工程中影像监测首选或必选的成像设备。20世纪90年代中期,商业化的普通数码相机出现后,人们即开始从事普通数码影像的工程应用研究,并取得了良好的成果。

1997年,李冬田即在小浪底水利工程开展了应用数码相机进行隧洞摄影工程地质编录的试验;熊忠幼等在1998年前后,研究了岩质高边坡摄像地质素描成图;1999年,黄醒春等采用基于数码影像的方法实施大型沉井施工全过程的动态监测。这些都是较早探讨的普通数码影像技术的工程应用问题。2000年后,由于数码相机的进一步普及,数字近景影像技术的研究和应用进入了较快的发展阶段。2000年,于承新等应用普通数码相机开展钢结构瞬间变形监测的研究;2001年,范中原等较早地开展了钻孔彩色电视孔壁成像系统研究,并应用于三峡厂房坝段的地质勘测,对工程决策起到了重要作用;马国辉等研究了用普通数码相机进行深基坑的支护结构位移观测方法;寇新建等研究矿山活动塌陷区大范围的地表监测问题,发挥了近景影像技术在对危险现场处理的技术优势;同一时期,王秀美等研究了利用数字近景技术开展滑坡监测的问题。数据来源考虑了采用电子经纬仪虚拟照片、光学量测摄影机、普通光学相机、普通数码相机等,反映了摄影机,特别是专业量测摄影机由光学向数字过渡时期的作业特点。刘志铭等采用普通数码相机,成功实施了带长度相对控制的区域网光束法平差计算,结果表明基于普通数码相机的光束法,在2m摄影距离上可达到毫米级测量精度。这是较早的一次基于普通数码相机的高精度应用尝试,使人们对普通数码相机的量测精度和性能有了进一步了解。2002年,费璟昊等研究二维图像处理解决水工隧洞断面面积测算及超欠挖监测问题。2004年后,数码相机的应用进一步活跃和拓展。代福仲等利用CCD摄像机配合望远镜成像,实现了隧道塌方自动监测

报警；刘大刚等应用数码摄像技术开展洞室断面收敛测量，对隧壁上近距监测点的测定误差小于 1mm；王靖涛等将数码相机应用于土三轴试样变形的图像采集，取得了比常规土三轴试验测量更优的结果；李元海等将数码相机应用于砂土模型试验变形场量测，分析了砂土局部化变形、剪切带和渐进破坏过程；周拥军对高速公路边坡滑移物理试验模型进行数码影像测量，其结果与传统的千分表测量结果相符；王端宜等还使用数字图像测量沥青路表面结构深度，王志和则利用非量测相机多幅序列影像进行小型目标三维模型的重建研究。2006~2007 年，王凤艳研究数字近景摄影测量快速获取岩体裂隙信息，张璞研究以普通数码相机获取岩体变形信息，严建国等继续研究地下洞室围岩地质编录成图技术。2008~2009 年邓喀中、刘昌华等继续研究数码影像技术在矿山地表沉陷监测中的应用，以期寻求经济、快速、高效、安全、高精度监测矿区采动损害的新途径，并对比了数码影像技术与三维激光扫描在监测方面的各自适用性。2010 年，卢璟春等将数码相机应用于短螺旋挤土灌注桩成桩挤土效应模型试验中，获得高精度的土体位移场云图和等值线图，一定程度上满足了桩周土体变形的非接触量测技术需求。2011 年，罗仁立等将数码相机应用于边坡位移自动监测，程序控制相机按时间间隔拍摄边坡，经标志点影像自动提取及定位处理，50m 距离的位移识别精度达到 3mm。同年，李欣等将数字近景摄影测量应用于高速公路边坡模型的变形测量中，所测位移场规律与试验中出现的现象一致，平面位置测量精度达 0.23mm，满足模型变形测量 $\pm 0.50\text{mm}$ 的精度要求。2012 年，刘豪杰等利用数码相机进行水利工程地形测绘，结果表明非量测数码影像能够满足高山峡谷地区 200m 摄影距离内的 1m 等高距 1:1000 地形图成图要求，也可以满足高山峡谷地区 400m 摄影距离内的 2m 等高距 1:2000 地形图成图要求。毫无疑问，近 10 年来搭载普通数码相机的无人小飞机低空影像测绘的研究及应用发展迅速，已经成为工程勘测领域一项非常活跃的新技术。1997 年起，作者面向近景摄影机的发展应用现状，重点结合普通数码相机，研究近景数字影像技术及其工程应用问题，取得了良好的科研和生产成果。

在国外，数字近景影像技术的研究与应用同样依赖于普通数码相机。J. H. Chandler 等人于 2000 年，应用普通数码影像技术研究水工模型的流速、紊流、泥沙运动机理、不同深度洪水影响、流体地形等，采用自检校光束法在 4m 摄影距离取得了 2mm 精度。开展类似工作的还有 Alberto Pellegrinelli、J. B. Butler 等。2003 年 M. Sedat Kabdashi 在港口水工模型的研究中，应用普通数码相机监测分析位于掘进隧道沙基上的护岸的稳定性，并表达了监测对高质量量测影像的迫切需求。2004 年 A. Zamirroshan 利用特定室内控制场进行物体三维建模软件的开发；Katrin Schneeberger 等人运用普通数码相机研究地表粗糙度对土壤湿度的影响，仍然采用自检校光束法处理。值得一提的是，Katrin Schneeberger 利用

光束法解算的附加参数对图像重采样生成校正变形的影像,再用于通用图像软件的处理,反映了在缺乏量测近景摄影机状况下的技术特点;2005年 M. J. McGinnis 等用三维影像相关,比较钻孔前后的影像,获得岩体形变信息;2007年, Ali Yalcin, Fikri Bulut 将数字摄影测量用于分析当地山崩的危险等级。同年英国拉夫堡大学的 Rene Wackrow 等,利用1年时间对典型的普通数码相机(Nikon Coolpix 5400)的几何稳定性及加工一致性进行检验,结果表明普通数码相机的时相稳定性及加工一致性可以保证其内部几何精度。2008年 Wackrow 等从普通数码影像测量后得到的验后精度入手,提出了一种更加稳定的普通相机量测化方式并应用于精密工程测量之中。2009年德国罗斯托克大学的 Hartwig Thomas 等,提出利用多台低成本的普通数码相机对岩土实验室中的实验材料进行复杂量测的方法,以此获取材料的压缩、应力、变形等信息。2009年葡萄牙埃武拉大学的 M. Janeiro Fernando 等,利用普通数码相机在不同位置拍摄云层图像,通过三角化及图像配准识别云层特征,估计云层高度,并可获取云层位置风速及风向。这也是一次远距离影像量测应用的研究。2011年日本东京电机大学 Hirofumi Chikatsu 等,开发并使用包含普通数码相机及手持激光测距仪的 Image Based Integrated Measurement (IBIM) 系统进行三维测量。相对于普通光线束算法,该系统工作具有无需控制点、比例尺、内定向元素的优势,并以此实现三维考古文物建模等。2011年美国密歇根大学的 Fei Dai 等,设计一种针对高层建筑的半自动化快速测量方法,利用单反相机,结合近景摄影测量及增强现实可视化技术,对建筑物因震动(如地震、爆炸)导致的结构损伤进行测量,以此分析其对建筑物结构一致性及安全性的影响。可以看出,国外对普通数码影像的工程应用,大多直接沿用了量测影像处理的方法,尤其以使用共线方程及光线束算法为主。

1.3 数码影像量测应用技术的发展前景

近景影像量测技术在过去和现今得到了良好的发展,被广泛地应用于各类建筑工程、机械制造、船舶制造、汽车制造、航空航天技术、城市区域规划,以及地质、医学、生物、考古、采矿、冶金、结构变形、海洋调查、粒子运动等领域。得益于目前数码摄影机、传感器平台和图像处理系统的发展成果,数字近景影像量测技术,将会有更加广阔的前景。更加快速、稳定、自动化的数据获取及处理,更加精确、逼真、多样化的量测成果及信息化服务,成为近景影像量测技术今后一段时期的研究发展方向。

在摄影机方面,随着高性能的半量测数码相机(如哈苏 555ELD 等)甚至专门的量测型数码相机服务于近景影像的量测用途,相对量测精度已达到 1/3 万到

1/12 万,可以满足高精度间接测量的技术需求。

在传感器平台方面,轻巧的普通数码相机和灵活的无人飞机集成在一起,使得近景摄影测量和航空摄影测量不再泾渭分明,两者的科技内容和服务对象交叉融合,也使得近景摄影测量更加融入摄影测量发展的主流。轻型无人机低空摄影测量系统作业机动、安全,工序中间环节少、飞行成本低廉,综合效益突出。在保证数码相机的视场角大、空间分辨率高、几何形变小的前提下,多光谱传感器也会用于摄影测量,使得低空摄影同时具备几何精确度和高分辨率光谱成像能力,以便对复杂地区的对象和环境信息进行物理分析。

在图像处理系统方面,国内的如 VirtuoZo、JX-4C、MapMatrix,国外的如 LPS、PCI、ImageStation SSK 等,不下 10 余种有名的数字摄影测量系统已经成熟地应用于“4D”测绘产品的生产;通用的近景摄影测量系统如国内朗视公司的 Lensphoto、河海大学的 EgoInfo 影像量测系统等,均在电力、交通、水利水电工程领域有较多成功的应用。针对工业制造、工程监测和自动控制等领域用户的专门需求,研发的影像量测系统为数众多。随着影像量测应用领域的不断拓展和专业化需求的提高,近景影像量测技术及其图像处理系统也面临着更多机遇与挑战。

多种因素促进着影像量测技术的发展,但从根本上讲,传感器是决定影像量测精度的最主要因素。摄影测量与遥感的发展历史表明,多数情况是传感器及其成像方式引领着摄影测量与遥感的技术水平进入不同的发展阶段。可以预见,在今后一段较长的时间内,普通数码相机仍然是开展近景影像量测应用最普及的成像设备,基于普通数码影像的近景影像量测技术是近景影像技术研究和应用的重点,一定程度上反映着数字近景影像量测技术的总体水平。

从数字近景影像技术短短 20 年的发展来看,基于普通数码影像的近景影像技术对开展各类工程勘测和监测,确实起到了独特作用。对工程模型试验的量测,可以达毫米级精度;对工程原型建设和运行的量测,一般达到厘米或分米级精度。然而,这尚不能够满足多数工程监测的精度要求。因为工程监测中,对模型的监测多数要求达到亚毫米级,对原型的监测多数要求达到毫米或厘米级。精度不足,是基于普通数码影像的近景影像量测技术需要继续改善的最大问题和最主要因素。

制约普通数码近景影像量测精度和应用水平的,正是以下几个基本问题:

一是影像的构像畸变差消除不佳,以及内方位元素检测准确性不高,从源头上限制了数码影像的量测精度。

二是现有的影像量测处理算法对普通数码影像不尽适用。因为摄影测量的算法体系是为量测用摄影机建立的,尤其是为航空摄影测量建立的。普通数码影像直接套用现有量测算法,必然造成无法很好地消除各类误差对量测结果的影响,

甚至会遏制对量测精度的进一步挖掘和提高。

三是数码影像量测与其他空间信息新技术结合的水平较低,如数码影像虽然与三维激光扫描系统、POS系统、三维GIS、虚拟现实等新技术广为结合,但未能形成相应的深度融合技术,达到类似现有航空、航天遥感中的“3S”技术集成水平,这影响了数码影像技术的应用基础。由于是底层技术问题,一般用户并不能自行开展解决这方面问题的相关研究。

四是关于数码影像量测质量控制及评价方法的研究远远不足,开展数码影像量测缺少最基本的技术规范,导致量测成果质量不可控制。这还会导致影像量测技术的发展后劲不足。

显然,上述问题涉及影像、算法、技术以及过程控制,均是关于数码影像量测技术水平和适用性的基本问题。就这些问题开展深入研究并取得成果,将能够突破数码影像量测在精度方面现存的瓶颈,尤其改善工业和工程最常用监测距离,即几十米至几百米处的影像监测精度的低谷。结合相机本身的提升,普通数码影像量测技术将成为诸多领域中解决高精度影像监测难题和相关技术革新的有力工具,甚至成为信息社会中人们定量观测世界的一种方法。正在迅速发展并被广泛应用的数码影像量测技术,具有广阔的发展前景。

第2章 普通数码相机及其构像特性

量测型摄影机作为近景摄影测量的专门仪器设备,其光学成像变形误差小,具备测定或记录内方位元素的功能,拥有外部定向装置。这保证了影像信息的获取质量,也从定向方面考虑到了技术使用的方便性。数字化和信息化技术的发展,使影像量测与分析不再局限于测绘领域,而是以前所未有的程度被工程勘察、工业制造、安全监控、生物医学等学科领域广泛关注和融入。然而,此时传统的光学量测摄影机的应用却受到了根本的限制,因为光学成像使它无法发挥数字化技术之所长。普通数码相机开始成为近景影像技术的成像主角。

从量测的角度看,相比于传统的光学型相机,数码相机具有以下优点:

(1) 虽然普通数码相机属非量测相机,未提供内方位元素,但相机固定的像元阵列为像点位置定量量测提供了理想的像平面坐标系。

(2) 软片压平误差是传统光学相机成像的主要系统误差之一。若量测时采用复制片,影像变形误差将会更加显著。数码相机摄影不使用光学底片,不存在软片压平误差。

(3) 光学相机摄影需要经暗房摄影处理过程,工作量大,数据处理周期较长,信息反馈慢,以致在许多工程中无法应用。数码相机采用数字方式记录存储影像,可直接与计算机连接,信息处理周期短,可满足快速甚至实时监控的技术需求。

(4) 数码相机影像数据处理过程为全数字流程,自动化程度高,便于信息管理与共享。

(5) 数码相机体积小、质量轻,适应性强,在条件复杂的工程现场拍摄具有良好的机动灵活性。

然而,普通数码相机应用于量测目的,首先遇到并且需要解决的就是其构像几何质量不佳的问题。普通数码相机为非量测相机,特殊的成像方式使普通数码影像存在较大的构像畸变误差,其几何畸变差通常大于同类光学相机的指标。因此数码相机量测化的关键是相机量测性能测试和构像畸变差的检校。

数码相机的量测性能主要由构像几何畸变差的分布规律及重复稳定性、检校后的畸变残差大小和内方位元素稳定性等来反映,它们是相机量测化成功与否的关键要素。