

测绘院士专著

三线阵CCD影像 卫星摄影测量原理

(第二版)

Satellite Photogrammetric Principle for
Three-line-array CCD Imagery

王任享 著



测绘出版社

测绘院士专著

三线阵CCD影像 卫星摄影测量原理

(第二版)

Satellite Photogrammetric Principle for Three-line Array CCD Imagery

王任享

著

藏书



测绘出版社

·北京·

© 王任享 2006,2016

所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

图书在版编目(CIP)数据

三线阵 CCD 影像卫星摄影测量原理 / 王任享

著. —2 版. —北京:测绘出版社,2016.5

ISBN 978-7-5030-3932-4

I. ①三… II. ①王… III. ①卫星测量法—摄影测量法 IV. ①P236

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 086349 号

责任编辑 吴 芸 封面设计 李 伟 责任校对 董玉珍 责任印制 陈 超

出版发行	测绘出版社	电 话	010-83543956(发行部)
地 址	北京市西城区三里河路 50 号		010-68531609(门市部)
邮政编码	100045		010-68531363(编辑部)
电子信箱	smp@sinomaps.com	网 址	www.chinasmp.com
印 刷	北京新华印刷有限公司	经 销	新华书店
成品规格	169mm×239mm	印 张	14
版 次	2006 年 8 月第 1 版	字 数	265 千字
	2016 年 5 月第 2 版	印 数	2001—3500
印 次	2016 年 5 月第 2 次印刷	定 价	68.00 元

书 号 ISBN 978-7-5030-3932-4

本书如有印装质量问题,请与我社门市部联系调换。

序*

“摄影测量学”(photogrammetry)有着悠久的历史。1839年法国Daguerre报道了第一张摄影(像片)的产生,差不多同时就有“摄影测量学”这一学名首次见诸学术刊物。早在15世纪末叶,就有人利用中心投影的透视图像,用手描绘下来进行测量绘图;并且在16世纪末叶出现这样用手素描的立体图像。那时候摄影还没有发明,这种测绘技术还没有叫“摄影测量学”,而称之为量影术(iconometry)。名称不同而实质相同,所以可以说摄影测量的历史已经有500年了。

摄影测量学在这500年的发展是比较缓慢的,封闭式的。直到最近30~40年间才有了急剧的变化。这主要是由于其他依托学科的出现和发展,主要是数字电子计算机的技术和空间技术的发展。摄影测量本身的重大变化是走向了数字化的道路,使得摄影测量的应用范围扩大,深入而且能够逐渐走向自动化。摄影测量学作为从事地学信息工程的一门学科,可以概括地说:在1960年以前,称之为“摄影测量”学科,而在1960年以后,应该与新兴的遥感(RS)技术和地理信息系统(GIS)技术等综合到一起,改称为通过图像获取(广义的获取)地学信息的一门学科,实际上遥感技术就是摄影测量的发展,地理信息系统的基础数据库是数字化摄影测量的必然成果。按照这种意义起一名字叫作“影像信息工程”(iconic informatics)也可以考虑,有的单位已经正式改用类似的名称了。但总的来说,对这种名称方面的问题到现在还缺乏统一的共识。

从事摄影测量学科的科学工作者,一方面要注意前沿发展,也就是所谓“影像信息工程”方面发展的新课题,另一方面也要保存摄影测量学数百年的遗产,加以充分利用和做出有益的补充。欣闻西安测绘研究所将对资深中老年科学家王任享同志的著作选

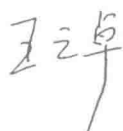


王之卓院士于1988年12月30日参观西安测绘研究所的“我国卫星摄影测量成果展览”并做学术报告

* 此序言是王之卓院士为《王任享研究员学术论文选集》作的序,笔者将其作为本书的序言,以示对王先生的怀念和敬仰。

出 20 余篇准备刊出,这是一件好事。

王任享同志年过六旬,从事摄影测量科研工作 35 年,致力于摄影测量网平差、粗差定位、数字摄影测量、微分纠正影像、卫星摄影测量以及三线阵 CCD 影像的利用等方面的研究工作,孜孜不倦,建树甚多。王任享同志才华出众,勤奋治学,为人谦虚谨慎,虽已进入老年仍能坚持科学研讨,令人钦佩。乐于为其专著集作序。



1996 年 11 月于武汉

序言

"摄影测量学"有着悠久的历史。1839年法国 Daguerre 报导了第一张摄影的产生,差不多同时就有"摄影测量学"这一名称首次见诸学术刊物。早在15世纪末叶起就有人利用中心投影的透视图象,用尺描绘下来进行测量绘图。并且在16世纪末叶开始用素描的立体图象。那时候摄影还没有发明,把这种测绘技术叫"摄影(测量学)"而称之为量影术(Iconometry)。名称不同而实质相同,所以可以说摄影测量的历史已经有500年了。

②

摄影测量学这500年的发展是比较缓慢的,封闭式的。直到最近30~40年间才有了急剧的变化。这主要是由其他摄影学科的发现和发明,主要是电子计算机技术和空间技术的发明。摄影测量本身的重大变化是走向数字化的道路,使得摄影测量的应用范围扩大,深入而且逐步走向自动化。作为一门学科,可以概括地说:1960年以前,身称为"摄影测量"学科,而在1960年以后,应该与新兴的遥感和地理信息系统技术学综合到一起,以称为通过图象获取(广泛的获取)地理信息的一门

③
实际上这门技术就是摄影测量的分支,地理信息系统的分支,也是数字地理学的重要组成部分。
学科,按照这种意义已有一个子叫做

"影像信息工程"(Iconic Informatics)也可以考虑,但有的单位已经正式改用类似的名词了,但总的说来,则现在还缺乏统一的认识。

从事摄影测量学科的科工作者,一方面要注意前边谈的,也就是所谓"影像信息工程"方面的发展课题,另一方面也要注意保存和整理测量几十年的遗产,加以充分利用和作者有益的补充。欣闻西安测绘研究所将对资深中老科学家王任章同志的著作选编20余篇编印刊出,这是一件好事。

王任章同志年过六旬,从事摄影测量工作卅五年,致力于摄影测量平差,粗差定位,数字摄影测量,像差分纠正,全景摄影测量以及三线阵 CCD 影像的利用等方面的研究

工作,孜孜不倦,建树甚多。王任章同志才华出众,勤奋治学,为人谦虚谨慎,现已进入老年仍能坚持研讨,令人钦佩。乐于为其专著集作序。

王之卓 1996年11月
于武汉

第二版前言

卫星摄影测量是人类获取地球空间信息的重要手段,也是解决全球无图区或困难地区测绘的有效途径。阿波罗测月开启了无地面控制点卫星摄影测量(本书简称无控定位)的先河,深深地影响了摄影测量学的发展。在有控制点条件下,测制1:5万比例尺地形图困难不大;但在无控制点条件下,测制1:5万比例尺地形图(制图标准为水平位置误差12m,垂直高程误差6.0m),即使是技术很发达的国家也经历了相当艰难的研发过程。中国以自身的空间技术研发了我国第一颗传输型立体测绘遥感卫星“天绘一号”,并成功地进行了光学卫星影像摄影测量实验研究,无地面控制点目标定位精度实现了美国StereoSat、MapSat、OIS和德国MOMS等光学卫星摄影测量系统(学术思想或工程)期望实现而没有实现的目标。

自2006年《三线阵CCD影像卫星摄影测量原理》一书出版以来,受到从事卫星摄影测量同仁的青睐,相关工业部门也颇感兴趣。由于我国测绘卫星发展进程的原因,第一版全部是理论基础和笔者的模拟实验研究,并未有实际在轨卫星数据研究。随着笔者对“嫦娥一号”及“天绘一号”卫星影像的处理,其理论和工程实践仍有许多可扩展点,在实际卫星工程中应予以关注。为了使三线阵摄影测量从理论到模拟实验,再到实际卫星工程的验证与完善,便于读者对卫星摄影测量有一个整体理解,决定在第一版基础上补充完善后重新出版。

此次修改主要是将“嫦娥一号”及“天绘一号”卫星影像处理的相关理论和实验结果纳入本书中。将笔者处理后的“嫦娥一号”部分红绿立体影像首次展现给读者,使读者可以“俯瞰月球”;重点介绍了EFP全三线交会光束法平差、集外方位角元素低频误差改正及偏流角平差效应处理等功能为一体的“天绘一号”特殊光束法平差软件。

“天绘一号”卫星工程目标的实现,终于使光束法平差途径在光学卫星无控摄影测量中占了一席之地,也圆了笔者三十多年前研发中国传输型摄影测量卫星的梦。至此,可以告慰恩师王之卓先生,学生遵从老师的教诲,在保存摄影测量百年遗产、加以充分利用方面做出了一点点有益的补充。

笔者在完成本书过程中,得到共同工作的许多同志的支持与参与。杨俊峰同志和王建荣博士为本书的出版做了大量的工作,测绘出版社吴芸编辑为本书出版付出了辛勤的劳动,在此一并表示感谢。

王汝享

2015年6月于北京

第一版前言

框幅式摄影机用于无地面控制点的卫星摄影测量,技术上突出的优点为:一是静态摄影,对卫星平台稳定度要求较低;二是空中三角测量构建航线立体模型无扭曲(不计观测值偶然误差),平差后外方位元素观测值误差被较大幅度地削弱,使得满足制图精度的摄影测量工程技术难度大为降低。

三线阵 CCD 摄影机无疑是无地面控制点传输型摄影测量卫星的理想传感器,但利用动态摄影的三线阵 CCD 影像构建达到制图精度要求的立体模型,则对卫星平台的稳定度和外方位元素测定精度要求都很苛刻,卫星工程技术难度很大。长期以来,摄影测量工作者期望动态摄影影像与相当参数的框幅式像片在空中三角测量方面有相同的性能,以降低卫星工程技术难度,但始终未解决空中三角测量航线模型的无扭曲问题。

本书研究的目标是无地面控制点的卫星摄影测量,长期以来定位在三线阵 CCD 影像的摄影测量理论研究,也曾经同王之卓先生谈起突破这一命题之难度,他一直鼓励我要不断努力。

2001 年,我整理了自己的研究成果,尤其是 1998 年以来研究三线阵 CCD 影像空中三角测量的阶段成果,虽未解决航线模型的扭曲问题,但已找到解决的可能方向,并将手稿寄给了王先生。不料,此时王先生健康状况已经极度恶化,他只能用一只眼借助放大镜才能看到粗体的题目,已无法看我的手稿,但还是吃力地写了“成就极多可喜可贺!”加以勉励。见信后,我心里非常难受,之后试图加紧努力走出三线阵影像空中三角测量的阴影,但由于个人才智所限,历经两年之后才在理论上有所突破,随后又同一起工作的同事推出线阵——面阵 CCD 探测器混合配置的所谓 LMCCD 摄影机思想,并用于卫星摄影测量的建议,以此摄影机为主要传感器可以解决设计无地面控制点的卫星摄影测量系统,遗憾的是未能让先生在在世时看到这一结果。

王先生是我们最尊敬的前辈和师长,在高龄之际依然关心我们学科的发展。1994 年给我的信中写到,“现在我们从事摄测的人,很少做摄测的经典性工作了,言必称遥感或 GIS 或计算机视觉。今后应该怎样安排咱们的专业或学科值得研究”。1996 年欣然为我的个人学术论文选作序。序言中提出摄影测量学重新起名问题,并语重心长地提到,“从事摄影测量学科的科学工作者,一方面要注意前沿发展,也就是所谓‘影像信息工程’方面发展的新课题,另一方面也要保存摄影测量学数百年的遗产,加以充分利用和做出有益的补充”。

王先生给我个人学术论文集撰写的序言涉及的是摄影测量发展的重要问题,并对摄影测量工作者提出厚望,其学术价值比我所有论文之总和都重要。该论文集出版后,我只赠送给少数我的朋友和学生,测绘界绝大多数同仁无缘拜读先生的教诲。为弥补这一缺憾和保存王先生的手迹,我将其作为本书的序言刊出。本书是我多年科研成果的系统集成,确切地说是一份研究报告,其基本思路是针对三线阵 CCD 影像空中三角测量方法及精度上存在的问题,找出原因,提出解决途径与方法,最终目标是实现无地面控制点的卫星摄影测量。研究内容主要包括三线阵 CCD 影像空中三角测量;三线阵 CCD 影像无扭曲立体模型建立的条件;LMCCD 摄影机的设计思想及其影像空中三角测量的特点;三线阵 CCD 摄影机在轨检测;短航线自由网立体模型的建立;无地面控制点卫星摄影测量高程精度估算以及三线阵 CCD 影像立体测绘等。所有以上研究内容均采取理论推导、计算机数字模拟和数字影像模拟加以计算验证。也正因为如此,所以本书的结果在将来实际卫星摄影影像处理中将不断完善与修正。

王作亨

2005 年 8 月于西安

目 录

第一篇 卫星摄影测量科学理论研究

第一章 概 述	2
§ 1.1 返回式卫星摄影测量	2
§ 1.2 传输型摄影测量卫星	3
第二章 三线阵 CCD 推扫影像摄影测量数学关系	7
§ 2.1 三线阵 CCD 相机	7
§ 2.2 三线阵 CCD 相机推扫式卫星摄影	9
§ 2.3 三线阵 CCD 影像坐标	11
§ 2.4 三线阵 CCD 影像空间坐标与地面坐标关系	12
第三章 EFP 光束法空中三角测量原理及数学模型	16
§ 3.1 EFP 空中三角测量原理	16
§ 3.2 EFP 光束法空中三角测量的数学模型	21
§ 3.3 平差数据的数学模型	23
第四章 EFP 光束法空中三角测量误差特性研究	24
§ 4.1 卫星摄影测量的基本参数	24
§ 4.2 EFP 光束法平差几何特性	24
§ 4.3 自由网加 4 个控制点平差	28
§ 4.4 自由网加多个控制点平差	31
§ 4.5 外方位元素量测值参与平差	31
§ 4.6 外方位元素带有常差的空中三角测量	34
§ 4.7 区域网平差	34
第五章 三线阵 CCD 影像无扭曲模型的建立	39
§ 5.1 EFP 时刻像点误差方程式系数归算比较	39
§ 5.2 单航线模型扭曲原因分析	41
§ 5.3 提高单航线 4 个控制点平差精度的措施	44
§ 5.4 单航线平差精度与相机主距的关系	49

§ 5.5	外方位元素参与平差计算	51
第六章	三线阵 LMCCD 相机卫星摄影测量	53
§ 6.1	三线阵 LMCCD 相机	53
§ 6.2	三线阵 LMCCD 影像自由网空中三角测量	54
§ 6.3	LMCCD 相机推扫式摄影的数字影像模拟	56
§ 6.4	具有框幅像片空中三角测量的特性	58
§ 6.5	卫星三线阵 CCD 摄影测量系统预期精度	61
§ 6.6	无地面控制点卫星摄影测量的思考	63
第七章	卫星三线阵 CCD 相机动态标定	64
§ 7.1	动态标定内方位元素的基本问题	64
§ 7.2	EFP 法反求内方位元素改正数	68
§ 7.3	星地相机夹角变化值的标定	71
§ 7.4	实验分析	72
第八章	卫星光学立体影像测图高程误差估算	75
§ 8.1	框幅式影像立体模型高程误差	76
§ 8.2	二线阵 CCD 影像空间交会高程误差	80
§ 8.3	LMCCD 相机推扫式摄影测量高程误差估算	83
§ 8.4	小 结	85
第九章	三线阵 CCD 影像 FEO 光束法平差	86
§ 9.1	三线阵 CCD 影像无 y 视差立体模型的建立	86
§ 9.2	模型绝对定向	89
§ 9.3	实验研究	93
第十章	EFP 全三线交会光束法平差	99
§ 10.1	全三线交会光束法平差	99
§ 10.2	EFP 全三线交会光束法平差流程	101
§ 10.3	EFP 全三线交会光束法平差数学模型	102
§ 10.4	航线模型系统变形的改正	103
§ 10.5	实验分析	105
§ 10.6	小 结	106
第十一章	星载二线阵 CCD 影像激光数据联合平差	108
§ 11.1	卫星推扫摄影及激光测距仪工作	108
§ 11.2	激光测距数据辅助高程计算	108

§ 11.3	二线阵影像与激光测距数据联合平差	110
§ 11.4	实验分析	111
第十二章	三线阵 CCD 影像立体测图	113
§ 12.1	三线阵 CCD 影像及其正射影像模拟	113
§ 12.2	纠正为正射影像进行影像匹配	114
§ 12.3	断面引导逼近影像匹配法采集 DEM	115
§ 12.4	栅格 DEM 生成栅格等高线	121
§ 12.5	实验分析	124
第十三章	变换三线阵 CCD 影像为正直影像立体测绘	129
§ 13.1	正直摄影像对生成	129
§ 13.2	实验分析	134
第十四章	“嫦娥一号”三线阵 CCD 影像摄影测量	139
§ 14.1	模拟实验研究	139
§ 14.2	内部精度估算	144
§ 14.3	“嫦娥一号”影像处理	146
§ 14.4	多视角摄影测量展示	148

第二篇 卫星摄影测量工程实践研究

第十五章	“天绘一号”卫星摄影测量	156
§ 15.1	“天绘一号”卫星工程目标及研制历程	156
§ 15.2	“天绘一号”技术特色	157
§ 15.3	无地面控制点定位精度检测	159
第十六章	角元素低频补偿	162
§ 16.1	光束法平差中对俯仰和偏航误差补偿	162
§ 16.2	试验验证	164
第十七章	卫星摄影测量中偏流角问题	169
§ 17.1	摄影中偏流角	169
§ 17.2	前、后视同名像点错开的距离计算	171
§ 17.3	偏流角上下视差改正处理	172
第十八章	LMCCD 相机影像摄影测量首次实践	175
§ 18.1	LMCCD 相机配置及其影像	175

§ 18.2	LMCCD 影像用于相机参数在轨标定	176
§ 18.3	相机参数在轨标定中地面点高程误差	177
§ 18.4	小 结	180
第十九章	“天绘一号”卫星相机参数在轨标定	181
§ 19.1	相机参数在轨标定	181
§ 19.2	相机参数在轨标定结果	182
§ 19.3	相机参数在轨标定结果平差试验	182
第二十章	无地面控制点卫星摄影测量仿真试验研究	184
§ 20.1	模拟数据生成	184
§ 20.2	摄影测量主要软件	184
§ 20.3	摄影参数在轨标定	185
§ 20.4	无地面控制点光束法平差	187
§ 20.5	卫星三线阵 CCD 影像目标定位精度提高的方向	192
参考文献	194
附 录	卫星摄影测量工程图片	198

Contents

First Part: Scientific theory research on satellite photogrammetry

Chapter 1	Summar	2
§ 1.1	Film-returned satellite photogrammetry	2
§ 1.2	Date-transmitted satellite photogrammetry	3
Chapter 2	Basic mathematic relations of three-line-array CCD camera for photogrammetry	7
§ 2.1	Three-line-array camera	7
§ 2.2	Three-line-array CCD camera satellite photogrammetry	9
§ 2.3	Image coordinates for three-line-array CCD camera	11
§ 2.4	Coordinate relations of three-line-array CCD image between image space and ground	12
Chapter 3	EFP bundle triangulation principle and mathematic model for three-line-array CCD image	16
§ 3.1	EFP bundle triangulation principle	16
§ 3.2	Mathematic model for EFP bundle triangulation	21
§ 3.3	Mathematic model for adjustment data	23
Chapter 4	Experimental research on error characteristics of EFP bundle triangulation of three-line-array CCD image	24
§ 4.1	Main parameters of satellite photogrammetry	24
§ 4.2	Geometrical characteristics of EFP bundle triangulation	24
§ 4.3	Adjustment for free net and absolute orientation with four control points	28
§ 4.4	Adjustment for free net and absolute orientation with multi control points	31
§ 4.5	Adjustment with observations of exterior orientation element	31
§ 4.6	Aerial triangulation using exterior orientation elements with constant error	34
§ 4.7	Block adjustment	34
Chapter 5	Establishment of strip stereo model with tiny deformation for three-line-array CCD image	39
§ 5.1	Coefficient comparison of EFP time image point error equation	39

§ 5.2	Analysis of deformation for adjustment of single strip	41
§ 5.3	Some techniques for improving accuracy of single strip with four control points	44
§ 5.4	Relationship of single strip adjustment accuracy and camera focal length ...	49
§ 5.5	Adjustment with observations of exterior orientation element	51
Chapter 6	Satellite photogrammetry with LMCCD camera	53
§ 6.1	LMCCD camera	53
§ 6.2	Free net aerial triangulation with LMCCD image	54
§ 6.3	Digital image simulation of LMCCD camera in push-broom photograph model	56
§ 6.4	Characteristics similar to aerial triangulation of frame image	58
§ 6.5	Expected accuracy and efficiency of three-line-array photogrammetric system	61
§ 6.6	Ideas about satellite photogrammetry without GCPs	63
Chapter 7	Dynamic calibration of three-line-array CCD camera using GCPs ...	64
§ 7.1	Dynamic calibration of interior orientation elements	64
§ 7.2	Computation of correction of interior orientation element using EFP bundle triangulation	68
§ 7.3	Calibration of the changes of angle between stellar camera and LMCCD cameras	71
§ 7.4	Experimental analyzing	72
Chapter 8	Height error estimation for satellite photogrammetry without GCPs	75
§ 8.1	Height error estimation for frame stereo image	76
§ 8.2	Height error estimation for two-line-array CCD image	80
§ 8.3	Height error estimation for LMCCD image	83
§ 8.4	Summary	85
Chapter 9	FEO bundle adjustment of three-line-array image	86
§ 9.1	Establishment stereo model without vertical parallax of three-line-array image	86
§ 9.2	Absolute orientation for stereo model	89
§ 9.3	Experimental analyzing	93
Chapter 10	EFP bundle adjustment of all three-line-intersection	99
§ 10.1	Bundle adjustment of all three-line-intersection	99
§ 10.2	Process of EFP bundle adjustment of all three-line-intersection	101

§ 10.3	Mathematic model for EFP bundle adjustment of all three-line-intersection	102
§ 10.4	Systematic deformation correction of route	103
§ 10.5	Experimental analyzing	105
§ 10.6	Summary	106
Chapter 11	Combined adjustment of two-line-array CCD satellite image with laser data	108
§ 11.1	Push-broom photography and working principle of laser rangefinders	108
§ 11.2	Height calculation with laser ranging data	108
§ 11.3	Combined adjustment of two-line-array CCD image with laser data	110
§ 11.4	Experimental analyzing	111
Chapter 12	Stereo mapping using three-line-array CCD image	113
§ 12.1	Simulation of three-line-array CCD image and its ortho-image	113
§ 12.2	Image match by rectified ortho-image	114
§ 12.3	Generation DEM by image match of profile-guided approach	115
§ 12.4	Generation grid contour using grid DEM	121
§ 12.5	Experimental analyzing	124
Chapter 13	Stereo mapping using normal image transformation from three-line-array CCD image	129
§ 13.1	Generation image pairs of normal image	129
§ 13.2	Experimental analyzing	134
Chapter 14	Chang'e-1 satellite photogrammetry of three-line-array CCD image	139
§ 14.1	Simulation study	139
§ 14.2	Estimation of internal accuracy	144
§ 14.3	Image process of Chang'e-1	146
§ 14.4	Display photogrammetry with Multi-angle	148

Second Part: Practice research on satellite photogrammetry engineering

Chapter 15	TH-1 satellite photogrammetry	156
§ 15.1	Goal and development history of TH-1 satellite engineering	156
§ 15.2	Technical features of TH-1	157
§ 15.3	Validation the location accuracy of TH-1 without GCPs	159

Chapter 16	Compensation low-frequency errors of attitude determination system	162
§ 16.1	Compensation low-frequency errors of pitch and yaw in bundle adjustment	162
§ 16.2	Test and validation	164
Chapter 17	Drift angle correction in satellite photogrammetry	169
§ 17.1	Drift angle in photogrammetry	169
§ 17.2	Distance calculation about offset of same point of forward and backward image	171
§ 17.3	Vertical parallax correction caused by drift angle	172
Chapter 18	Photogrammetry practice of LMCCD camera for the first time	175
§ 18.1	Configuration of LMCCD and its image	175
§ 18.2	On-orbit calibration of camera parameters using LMCCD image	176
§ 18.3	Height errors of GCPs during on-orbit calibration of camera parameters	177
§ 18.4	Summary	180
Chapter 19	On-orbit calibration of camera parameters in TH-1	181
§ 19.1	On-orbit calibration of camera parameters	181
§ 19.2	Results of on-orbit calibration of camera parameters	182
§ 19.3	Bundle adjustment test using on-orbit calibration of camera parameters	182
Chapter 20	Simulation study on satellite photogrammetry without GCPs	184
§ 20.1	Generation of simulation data	184
§ 20.2	Main software of Photogrammetry	184
§ 20.3	On-orbit calibration of camera parameters	185
§ 20.4	Bundle adjustment without GCPs	187
§ 20.5	Fields on improvement location accuracy of three-line CCD satellite image	192
References		194
Appendix		198