



测绘科技专著出版基金资助

CEHUI KEJI ZHUANZHU CHUBAN JIJIN ZIZHU

Geometric Correction and 3D Reconstruction for Remote Sensing Images

宋伟东 王伟玺 著

遥感影像几何纠正与 三维重建



测绘出版社

测绘科技专著出版基金资助

遥感影像几何纠正与三维重建

Geometric Correction and 3D Reconstruction
for Remote Sensing Images

宋伟东 王伟玺 著

测绘出版社

· 北京 ·

序

遥感对地观测技术是实时获得地球空间信息的重要手段,在资源调查、环境保护、防灾减灾、重大工程和国防建设等许多领域得到了广泛的应用,成为国家经济建设和人类社会可持续发展的主要技术支撑手段。近年来,随着遥感对地观测技术向多传感器、多平台、多角度和高空间分辨率、高时相分辨率、高光谱分辨率方向的发展,遥感对地观测已将人类带入一个立体、多角度、全方位和全天候对地观测的新时代。遥感对地观测所提供的数据也越来越丰富、及时和有效。

遥感影像的几何纠正和三维重建是对地观测技术的重要应用,并受到国内外学者的关注。近年来,随着航空航天遥感技术的发展和新型传感器的广泛应用,遥感影像的几何定位与纠正技术也由常规面向航空遥感的共线方程摄影测量模型,发展到基于多源航天线阵传感器的通用几何模型,并逐步实现了稀少地面控制的高精度对地直接定位技术,为遥感影像几何纠正与三维重建奠定了理论基础。

到目前为止,系统介绍和研究遥感影像几何纠正和三维重建理论与方法的著作尚不多见。辽宁工程技术大学宋伟东教授、王伟玺博士及其研究团队在国家自然科学基金等项目的资助下,经过近五年来在该领域的研究,取得了一定的研究成果,在此基础上形成了《遥感影像几何纠正与三维重建》一书。该书从遥感成像原理出发,系统地归纳了传统遥感影像几何纠正和三维重建的基本理论和方法,重点探讨了基于有理函数模型的几何纠正与三维重建;提出了采用单张影像实现建筑物三维重建的理论和方法,以及基于多源遥感数据的三维重建思想,并实现了异源遥感影像的三维重建。

该书从理论、方法和应用等方面分别阐述,理论与实践相结合,体系完整;全书内容丰富、结构严谨、层次清晰、语言简练、图文并茂,适合测绘及其相关学科领域的科技人员和高等院校的师生参考。

本书所展示的理论与相关技术方法等研究成果独特、新颖,期望本书的出版,能够对我国遥感对地观测技术及其应用的研究与发展起到促进和推动作用。

中国工程院院士

刘洪林

前 言

随着传感器技术、航空航天技术和数据通信技术的不断发展,现代遥感技术已经进入一个能动态、快速、多平台、多时相、高分辨率地提供对地观测数据的新阶段,在空间探测、资源调查、通信、导航、气象、测绘和军事侦察等领域得到了广泛的应用。

在遥感技术应用的各个领域,基于遥感图像的信息提取与准确定位是其应用的技术关键,而这其中,遥感图像的几何纠正与三维重建是应用的基础,也是近年来遥感技术应用领域研究的热点。本书集成了作者及其研究团队近五年来在该领域取得的研究成果,在系统归纳了遥感影像几何纠正和三维重建基本理论和方法的基础上,重点对有理函数模型的几何纠正和三维重建方法进行了深入的探讨,提出了单张影像下的建筑物三维重建、异源遥感影像三维重建模型,进一步丰富了遥感影像数据处理的理论和方法。

本书的出版得到了国家自然科学基金“基于异源遥感数据的三维重建模型研究”(40771159)和“面向复杂建筑物部件的地面激光扫描点云与近景影像混合三维建模方法研究”(40901222),以及教育部高校博士学科点专项科研基金“基于广义立体像对的三维重建方法研究”(20070147008)的大力支持。

参与本书编写的还有辽宁工程技术大学张继超副教授、赵泉华讲师、戴激光讲师、王丽英讲师,以及王竞雪博士、陈静波和刘艳春硕士。中国测绘科学研究院刘先林院士为本书作序并提出了宝贵意见,武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室朱庆教授、中国测绘科学研究院张继贤研究员对此书的编写给予了无私的帮助。借此出版之际,谨向为此书出版做出贡献的同事和朋友们表示衷心感谢。

由于作者水平有限,书中不妥乃至错误之处在所难免,恳请读者不吝批评指正。

目 录

第 1 章 绪论	1
§ 1.1 卫星遥感的历史进程及发展趋势	1
§ 1.2 卫星遥感影像的几何纠正技术	4
§ 1.3 基于影像的三维重建技术	6
第 2 章 传统遥感影像几何纠正的基本原理与方法	8
§ 2.1 常用坐标系统及转换	8
§ 2.2 基于共线方程模型的遥感影像几何纠正原理	15
§ 2.3 基于多项式模型的遥感影像几何纠正原理	22
§ 2.4 基于直接线性变换的遥感影像几何纠正原理	25
§ 2.5 基于仿射变换的遥感影像几何纠正原理	31
第 3 章 基于有理函数模型的遥感影像几何纠正与三维重建	36
§ 3.1 有理函数模型	36
§ 3.2 有理多项式系数及其解算	42
§ 3.3 有理函数模型的优化	45
§ 3.4 基于有理函数模型的几何纠正	48
§ 3.5 基于有理函数模型的三维重建	60
第 4 章 基于单张影像的建筑物三维重建	72
§ 4.1 基于灭点理论的单像三维重建	72
§ 4.2 基于空间几何约束的单像三维重建	77
§ 4.3 基于有理函数模型的单像三维重建	81
§ 4.4 基于阴影量测的单像三维重建	86
§ 4.5 单像三维重建实验	89
第 5 章 异源遥感影像三维重建的预处理	92
§ 5.1 基于异源遥感影像的广义立体像对构建	92
§ 5.2 异源遥感影像的预处理技术	95

第 6 章 基于异源遥感影像的三维重建·····	102
§ 6.1 基于有理函数模型的广义立体像对空间前方交会模型的建立 ···	102
§ 6.2 基于广义立体像对的三维重建 ·····	119
§ 6.3 三维重建精度分析 ·····	132
参考文献·····	144

CONTENTS

Chapter 1 Introduction	1
§ 1.1 History and Development Trend of Satellite Remote Sensing	1
§ 1.2 Technology of Geometric Correction Based on Satellite Remote Sensing Images	4
§ 1.3 3D Reconstruction Technology Based on Images	6
Chapter 2 Traditional Principle and Methods of Geometric Correction	8
§ 2.1 Common Coordinate Systems and Coordinate Transformation	8
§ 2.2 Principle of Geometric Correction Based on Collinearity Equation Model	15
§ 2.3 Principle of Geometric Correction Based on Polynomial Model	22
§ 2.4 Principle of Geometric Correction Based on Direct Linear Transformation	25
§ 2.5 Principle of Geometric Correction Based on Affine Transformation	31
Chapter 3 Geometric Correction and 3D Reconstruction Based on Rational Function Model	36
§ 3.1 Rational Function Model	36
§ 3.2 Rational Polynomial Coefficients and Its Calculation	42
§ 3.3 Rational Function Model Optimization	45
§ 3.4 Geometric Correction Based on Rational Function Model	48
§ 3.5 3D Reconstruction Based on Rational Function Model	60
Chapter 4 3D Building Reconstruction Based on Single Image	72
§ 4.1 3D Reconstruction Based on Vanishing Point Theory with Single Image	72
§ 4.2 3D Reconstruction Based on Space Geometrical Constraints with Single Image	77
§ 4.3 3D Reconstruction Based on Rational Function Model with Single Image	81

§ 4.4 3D Reconstruction Based on Shadow Measurements with Single Image	86
§ 4.5 Experiment of 3D Reconstruction with Single Image	89
Chapter 5 3D Reconstruction Preprocessing of Different-source Remote Sensing Images	92
§ 5.1 Construction of Generalized Stereopair with Different-source Remote Sensing Images	92
§ 5.2 Preprocessing Technology of Different-source Remote Sensing Images	95
Chapter 6 3D Reconstruction of Different-source Remote Sensing Images	102
§ 6.1 Construction of Spatial Forward Intersection Model with Generalized Stereopair Based on Rational Function Model	102
§ 6.2 3D Reconstruction with Generalized Stereopair Images	119
§ 6.3 Accuracy Analysis of 3D Reconstruction	132
Reference	144

第1章 绪论

卫星遥感是在摄影测量学的基础上,随着空间技术、信息技术、电子计算机技术等当代高新技术的迅速发展,以及陆地、海洋、大气、环境等学科的发展需要,逐步形成的一门新兴交叉科学技术。随着传感器技术的不断提高,卫星遥感形成了以不同的空间尺度来观测地球的方式,这大大扩展了人们的观测视野与观测领域,并在空间探测、资源调查、通信、导航、气象、测绘和军事侦察等领域得到了广泛的应用。由于卫星遥感获取资料及时迅速,成本相对较低,而且不受区域限制,可以自由获取境外军事目标信息,因此,从卫星发射之日起,人们就意识到卫星遥感的重要性,并开始了卫星遥感应用技术的研究工作。

§ 1.1 卫星遥感的历史进程及发展趋势

1.1.1 卫星遥感的历史进程

卫星遥感技术的广泛应用始于 20 世纪 70 年代(杨敏华等,2000),美国于 1967 年发射了第一颗实验型极轨气象卫星。20 世纪 70 年代至 90 年代,在气象卫星的基础上,美国又先后研制并发射了一代实验型地球资源卫星(Landsat-1~Landsat-7)。而 20 世纪 80 年代以来,法国、欧空局、日本、俄罗斯、加拿大等国家也相继发射了一系列卫星,如法国的 SPOT 系列卫星、欧空局的 ERS 系列卫星和 ESOURCE-02 卫星(1995 年)、加拿大的 Radarsat 雷达卫星。在企业方面,美国 Space Imaging 公司于 1999 年 9 月发射了商用卫星 IKONOS。进入 21 世纪,美国 DigitalGlobe 公司则发射了 QuickBird 卫星。这些卫星多数已进入商业运行阶段,这标志着遥感技术进入全面发展和应用的阶段。

从卫星遥感应用的角度来看,很重要的衡量指标是遥感卫星所携带的传感器类型和传感器所能获取图像的空间分辨率、光谱分辨率及遥感卫星对同一地区重访的时间周期(即图像数据的时间分辨率)。随着传感器技术、航空、航天平台、数据通信技术的发展,传感器种类包括框幅式光学仪器、全景相机、光机扫描仪、光电扫描仪、CCD 线阵、面阵扫描仪、微波散射计、雷达测高仪、激光扫描仪和合成孔径雷达等。它们几乎覆盖了大气窗口的所有电磁波段,而且有些遥感平台还可以多角度成像,如 3 行 CCD 阵列可以同时得到 3 个角度的扫描成像;Terra(EOS AM-1)卫星上的 MISR 可同时从 9 个角度对地成像。从图像的空间分辨率、光谱

分辨率和重访周期来看,对于美国 Landsat 系列,20 世纪 70 年代初发射的 Landsat 上的 MSS(多光谱扫描仪)有 4 个波段,其平均光谱分辨率为 150 nm,空间分辨率为 80 m,重复覆盖周期为 16~18 天;80 年代的 TM(专题制图仪)提高到了 7 个波段,在可见光到近红外范围的平均光谱分辨率为 137 nm,空间分辨率提高到 30 m;2000 年后,出现 ETM+(增强型专题制图仪),其全色波段空间分辨率可达 15 m。法国 SPOT-4 卫星多光谱波段的平均光谱分辨率为 87 nm,空间分辨率为 20 m,重复周期为 26 天;SPOT-5 空间分辨率最高可达 2.5 m,重复覆盖周期提高到 1~5 天。1999 年发射的美国 IKONOS-2 卫星可获得 4 个波段 4 m 空间分辨率的多光谱数据和 1 个波段 1 m 空间分辨率的全色数据。IKONOS 发射不久,又出现了空间分辨率更高的 OrbView-3(轨道观察 3 号)和 QuickBird(快鸟)卫星,其最高空间分辨率分别达 1 m 和 0.62 m。

20 世纪 80 年代后卫星遥感技术的最大成就之一是高光谱遥感技术的兴起(杜培军,2006)。第一代航空成像光谱仪以 AIS-1 和 AIS-2 为代表,光谱分辨率分别为 9.3 nm 和 10.6 nm;1987 年,第二代高光谱成像仪问世,即 NASA(美国国家航空航天局)研制的 AVIRIS(航空可见光及红外成像光谱仪),其光谱分辨率为 10 nm;而 Terra 卫星上的 MODIS 则具有 36 个波段。如今的卫星遥感光谱分辨率可达到 10 nm,波段可达数百个,如在轨的美国 EO-1 高光谱遥感卫星上的 Hyperion 传感器,具有 220 个波段,光谱分辨率为 10 nm。

我国在航空、遥感领域也有了重要的发展。到目前为止,我国应用卫星由试验阶段进入应用阶段,返回式卫星的返回技术达到世界领先水平,通信卫星和气象卫星逐步形成系列,资源卫星、导航卫星的研制取得重大进展,多功能、多用途的应用卫星体系正在逐步形成。我国自行研制和发射了包括太阳和地球同步轨道在内的六颗气象卫星。气象卫星数据已在气象研究、天气形势分析和天气预报中广为使用,实现了业务化运行。1999 年 10 月,我国第一颗以陆地资源和环境为主要观测目标的中巴地球资源卫星发射成功,结束了我国没有较高空间分辨率传输型资源卫星的历史,并已在资源调查和环境监测方面实际应用,正逐步发挥效益。我国还发射了第一颗海洋卫星 HY-1A(海洋一号 A 卫星),为我国海洋环境和海洋资源的研究提供了及时可靠的数据。

对于卫星遥感的研究,我国于 20 世纪 70 年代末建立了中国科学院遥感应用研究所,后又相继成立了国家遥感中心、国家气象卫星中心、中国资源卫星应用中心、卫星海洋应用中心和中国遥感卫星地面接收站等国家级遥感应用机构。同时,国务院各部委及省市地方纷纷建立了一百多个省市级遥感应用机构。这些遥感科研机构广泛地开展气象分析、国土调查、作物估产、森林调查、地质找矿、海洋预报、环境保护、灾害监测、城市规划和地图测绘等遥感业务,并与地理信息技术和导航定位卫星相配合,为国家经济建设和社会主义现代化建设提供多方面的信息服务。

1.1.2 卫星遥感的发展趋势

随着传感器技术、航空航天技术和数据通信技术的不断发展,现代遥感技术已经进入了一个能动态、快速、多平台、多时相、高分辨率地提供对地观测数据的新阶段。

美国 NOAA2005—2015 国际遥感研究报告提出“在未来 10 年遥感工业强壮大发展”,由此可看出卫星遥感有如下主要发展趋向。

1. 携带传感器的微小卫星发射与普及

为协调时间分辨率和空间分辨率之间的矛盾,小卫星群计划将成为现代遥感的另一发展趋势。例如,可用 6 颗小卫星在 2~3 天内完成一次对地重复观测,可获得高于 1 m 的高分辨率成像光谱仪数据。除此之外,机载和车载遥感平台,以及超低空无人机载平台等多平台的遥感技术与卫星遥感相结合,将使遥感应用呈现出一派百花争芳的景象。

2. 地面高分辨率传感器的使用

商业化的高分辨率卫星将是未来发展的趋势,目前已有亚米级的传感器(如 QuickBird)在运行。未来几年内,将有更多的亚米级的传感器升空,满足 1:5 000 甚至更大比例尺地图制图的要求。

3. 高光谱、超光谱卫星遥感传感器的使用

高光谱数据能以足够的光谱分辨率区分出那些具有诊断性光谱特征的地表物质(如定量作物评估),而这是传统宽波段卫星遥感数据所不能解决的。从几十到上百个波段,光谱分辨率也向更小的数量级发展。

从遥感影像处理技术和应用水平上看,卫星遥感的主要发展方向如下。

1. 多源遥感数据源的应用

信息技术和传感器技术的飞速发展带来了遥感数据源的极大丰富,每天都有数量庞大的不同分辨率的遥感信息,从各种传感器上接收下来。这些数据包括了光学、高光谱和雷达影像数据,如何对其进行数据的挖掘,从浩如烟海的数据中提炼出有用的信息,从而综合应用发挥不同数据源的优点将成为未来研究的一个重点。

2. 空间位置定量化和空间地物识别量化

遥感信息定量化,建立地球系统科学信息系统,实现全球观测海量数据的定量管理、分析、预测、模拟是遥感当前重要的发展方向之一(梁顺林,2009)。目前遥感影像的分析,仅靠目视解译和常规的计算机数据统计方法来进行,比如常规的监督分类和非监督分类。这些方法在应用的过程中总体精度不高,效率相对低,尤其在多时相、多遥感器、多平台、多光谱波段遥感数据的复合研究中问题更为突出。其主要原因之一是,遥感器在获取数据时,受到诸多因素的影响,如仪器灵敏度、大气

效应、太阳高度角、双向反射、地形及几何配准等,使其获取的遥感信息中带有一定的非目标地物的成像信息,这些误差无法通过目视解译和常规的数学计算机方法解决,致使遥感数据定量分析专题应用模型得不到高质量的数据作为输入参数而无法推广。地理信息系统的实现和发展及全球变化研究更需要遥感信息的定量化,遥感信息定量化研究在当前遥感发展中具有牵一发而动全局的作用,因而是当前遥感发展的前沿。

3. 遥感应用的网络化

Google Earth 的出现,使遥感数据的表达和共享产生了一个新的模式。如何将较为专业化的遥感影像放到网络中去,使其真正地服务大众,这将是未来卫星遥感处理的一个重要方向。

§ 1.2 卫星遥感影像的几何纠正技术

在对遥感图像进行分析应用之前,必须要进行相应的影像预处理,而其中一个重要的工作就是进行几何纠正。这是因为在遥感成像过程中,由于各种因素的影响,使得遥感图像存在一定的几何变形。遥感影像的几何变形是指影像像元在影像坐标系中的变化规律,与其在地图坐标系等参考系中的变化规律之间的差异。遥感影像的变形误差总的可以分为静态误差和动态误差两大类。静态误差是在成像过程中,传感器相对于地球表面呈静止状态时所具有的各种变形误差;而动态误差主要是在成像过程中地球的旋转等所造成的图像变形误差。遥感影像的变形误差又分为内部误差和外部误差。内部误差主要是由于传感器自身的性能、技术指标偏离标称数值所造成的。例如,对于框幅式航空摄像机,有透镜焦距变动、像主点偏移、镜头光学畸变等误差;对于 MSS,有扫描线首末点成像时间差、不同波段相同扫描线的成像时间差、扫描镜旋转速度不均匀、扫描线的非线性和非平行性及光电检测器的非对中等误差。通常内部误差项目是随传感器的结构不同而不同的,其数值一般较小,可以通过检校的方式得以测定。外部变形误差指的是遥感传感器本身处在正常工作条件下,而由传感器以外的各种因素造成的误差,如传感器的外方位(位置、姿态)变化、传感器介质的不均匀、地球曲率、地形起伏、地球旋转等因素所引起的变形误差。

遥感中的几何变形,主要表现为位移、旋转、缩放、仿射、弯曲和更高阶的歪曲,或者表现为像元相对地面实际位置产生挤压、伸展、扭曲或偏移。这些降低了遥感图像在某些应用(如影像匹配、影像融合、目标量测及综合制图等)中的使用价值,只有用模型修正原始遥感影像所存在的几何变形并投影到合适的投影系统中,高分辨率卫星遥感影像才能得到更有效的应用。因此,高精度的几何纠正是遥感影像在投入应用之前必须解决的重要问题,研究各种地理数据几何纠正的算法、开发

相关的几何精纠正系统具有重要的实际意义。

国外学者从 20 世纪 60 年代就开始研究遥感数据处理技术和遥感图像的几何纠正问题,其中大多数研究都是针对不同传感器所获得的遥感图像进行讨论的。从目前国内外发表的文献来看,对于经过系统几何处理的遥感影像而言,小于一个像元的校正精度已经很容易达到,几何校正技术比较成熟,达到了实际应用的要求。

根据误差的来源和影响方式,影像的几何纠正有光学纠正和数字纠正之分。光学纠正的基本形式是利用一台光学纠正仪进行摄影过程的几何反转,它是摄影测量中纠正图像的传统方法。但这些经典的光学纠正仪在数学关系上受到很大的限制,特别是近年来遥感技术中许多新传感器的出现,产生了与经典框幅式航摄像片不同的影像,不便再使用这些光学纠正仪。

对于数字影像,目前主要采用的是数字几何纠正,这种方式不仅灵活性大,而且所需设备少,适用于工程实践。它实际上是根据有关的参数与数字地面模型,利于相应的构像方程或按一定的数学模型用控制点解算,从原始非正射投影的数字影像获取正射影像的过程。

因此实际采用的纠正方法大致有两类:其一是使用数字高程模型(digital elevation model, DEM)和相应构像方程的共线方程纠正法;其二是根据一定的数学模型采用控制点解算方法。前者主要针对遥感影像,严格按照成像时的空间几何关系进行模拟,几何纠正精度较高,但是必须首先获得该影像范围的数字高程模型,否则影像的纠正将变得复杂而困难。后者是一种传统的几何纠正方法,它原理直观,计算方法较为简单,而且回避了成像的空间几何过程,直接对图像变形本身进行数学模拟,该方法对各种类型传感器的几何纠正都是普遍适用的。无论采用哪一种纠正方法,均离不开足够数量的控制点,它们实际上都是按一定的数学模型,利用控制点解算转换矩阵的方法对图像进行几何纠正的;它们都需要控制点提供影像在空间上的地理位置控制,而且控制点精度的高低和分布将直接影响影像几何纠正的精度,并最终影响纠正后影像的地理精度,从而影响数据分析的可靠性。所以,如何获取高精度的控制点也是几何纠正中的关键。

根据以上思想,本书结合目前遥感卫星传感器几何纠正的研究现状,对几何纠正进行了深入的探讨。其中第 2 章详细论述了传统的影像几何纠正的基本原理和方法,包括多项式纠正、共线方程纠正、直接线性变换法、仿射变换 4 种方法;第 3 章重点论述了目前高分辨率遥感影像通用的有理函数模型几何纠正的原理与方法,并对各方法从计算量、实用性及精度等方面进行了分析。这些联系影像空间和物方空间的成像数学模型对正射影像的生成同样有着重要的意义,因为精确的传感器成像模型可以将原始影像精确地转换成正射影像,为影像制图、三维重建等工作奠定基础。

§ 1.3 基于影像的三维重建技术

在遥感领域,利用影像获取地面三维信息、构建相应三维模型,进而完成数字城市,乃至数字地球的构建,已经成为该学科的研究热点和发展趋势,并在经济建设、国防建设等领域广泛应用。比如,在城市导航和各种应急系统等领域的研究开发中,迫切需要建立起相应城市或地区的数字三维模型,实现目的地导航定位、最优路径选择、灾害覆盖范围预测等功能,以便为各种决策提供数据支持;而在未来的战争中,信息化、数字化水平高低将对战争起到重要的作用,无论是军事战略的力量分析,还是战术上的精确制导,都离不开新一代的包括数字高程模型、影像和其他军事目标的矢量数据在内的三维数字地图。全球性三维数字地图的数据主要靠卫星遥感技术获取地面影像,然后通过三维成像处理技术,包括军事目标的识别技术,得到地形地貌和军事目标的数据。结合我国目前对全球重点军事目标三维影像处理技术的需要,亟需直接利用卫星遥感影像进行重点军事目标区域的中、小比例尺地形数据的获取和全球重点军事目标区域三维模型的重建。在这些领域,利用航空影像和卫星遥感影像生成相应地区的数字表面模型(digital surface model, DSM),实现该地区三维模型的快速重建,已经成为其主要技术手段。比如,美国 Google 公司研发的 Google Earth 软件,可以对世界任一地区进行影像查询和浏览;Microsoft 公司收购的 SilverEye 软件是世界上第一款利用单张影像获取三维模型的软件(现已更名为 Microsoft Virtual Earth);另外, DigitalGlobe 公司研发的 MIHEA 遥感软件也同样能够利用单张高分辨率遥感影像实现三维重建。这些软件的出现,为基于遥感影像的三维重建技术注入了新的活力,指明了新的方向,更为城市导航、各种应急系统的三维模型构建提供了新的技术支持。

随着遥感卫星数量的增加和卫星立体成像能力的不断提高,越来越多的卫星影像资源为全球范围内目标的三维重建提供了可能,如美国的 IKONOS 和 QuickBird,法国的 SPOT,我国的中巴资源卫星和尖兵三号,都具备立体成像能力;加拿大的商业化雷达卫星 Radarsat,欧空局 Envisat-1 卫星的 ASAR,日本 ALOS 卫星的 PolSAR,美国的 SMTR 和 LightSAR,均具有多极化、干涉成像能力,有利于获取旁轨立体影像对及进行干涉测量,获取三维地形信息和军事目标探测的能力明显提高。

本书在第 3 章详细论述了基于有理函数模型的遥感影像三维重建的理论和方法,而在第 4 章中则阐述了采用单张影像实现建筑物三维重建的理论和方法。

一般而言,传统的三维重建需要该地区的立体影像对,但是由于各种特殊原因,比如政治原因(对非盟国或地区实行信息封锁)、价格昂贵(立体遥感影像价格比一般影像高几倍)、数据缺失(许多特殊地区或目标往往没有同一卫星资源的立

体影像)和安全保密(特殊敏感地区的高分辨率影像常不提供)等,导致可用的立体遥感影像资源十分有限。基于上述原因,有时针对某些特殊区域,往往难以得到同一颗卫星传感器或者同一相机所拍摄的立体影像,却可得到不同卫星传感器或者不同相机所拍摄的同一地区影像。因此,从数据的可得性和成本考虑,通过不同传感器或相机所拍摄的非立体影像,按照双目视觉原理和相应的数学理论、摄影测量与遥感原理,同样能够构建起广义的立体影像对(即左右影像的成像几何模型可以完全不同),达到提取三维立体信息的目的,从而实现对该地区地形和目标的三维重建。通过这种广义立体影像对模型的构建,可以广泛利用多种卫星所提供的影像为某一地区服务,而又不必拘泥于卫星类型、影像分辨率、成像时相、飞行高度等制约因素,从而可以充分利用已有影像资源为生产服务,节省人力物力,避免工作的重复和数据的冗余。因此,如何利用多源遥感数据及相关信息实现准确可靠的地形与地面目标三维重建,其迫切性和重要性日益突显,亟待对该问题所涉及的关键理论和技术进行攻关。

为此,本书第5章和第6章提出基于多源遥感数据进行三维重建的思想,利用现有某一区域不同传感器获取的遥感影像,分别作为左右影像,构建起立体影像,完成三维重建。通过这种方法,既扩大了构建立体像对时影像的选择范围,可以充分利用现有的数据资源,又能够节省下为购买某一卫星立体影像而支付的高额费用,节约人力物力。另外,由于遥感数据的多源性,使得信息量得到很大程度上的扩充,为获取更高精度、更多属性的三维信息提供了一个新的信息和数据支撑。

第2章 传统遥感影像几何纠正的基本原理与方法

人们对遥感影像的利用可以归结为对地物在时间和空间上变化的了解、分析和掌握,并以此为基础作出相应判断或响应的活动,因此确保地物在空间位置、几何形状、尺寸大小等特征上的准确性就显得尤为重要。为了实现这一目标,人们建立了各种参考系(即坐标系),以便测量地物的以上信息。在现实中,各种遥感系统在成像过程中,由于这样或那样的原因,必然造成地物空间位置、几何形状、尺寸大小等特征与参考系表达要求不一致,这就产生了影像的几何变形问题。遥感影像的几何纠正是其进一步应用的基础,是图像预处理工作的重要环节。本章介绍了作为遥感影像几何分析基础的坐标系统和构像方程,并归纳分析了遥感影像几何变形的主要来源和现有的纠正方法。

§2.1 常用坐标系统及转换

遥感影像反映的是像平面上的像点与地球表面上物点的空间关系,影像的几何纠正就是要在两者之间建立正确的映射关系。在这一过程中涉及两类坐标系之间的转换,这两类坐标系分别是用于描述像点位置的像方空间坐标系和用于描述物点位置的物方空间坐标系。

2.1.1 像方空间坐标系

1. 扫描坐标系

对于一幅数字影像,其结构形式是一个数字阵列。通常采用影像左上角作为扫描坐标系 $o-cr$ 的原点; c 为横轴,取值为影像的列号; r 为纵轴,取值为影像的行号,如图 2-1 所示。

2. 像平面坐标系

为了描述影像中心透视投影的特性,引入像平面坐标系 $o-xy$,该坐标系以像主点为坐标原点,对于框幅式摄影影像,可以取近似平行于摄影方向的框标连线作为 x 轴,取垂直于摄影方向的框标连线作为 y 轴;对于直接从空间获取的数字影像,取投影中心向像平面所做垂线的垂足即像主点为原点,以接近航线方向的框标连线作为 x 轴,取飞行方向或其反方向为正方向, y 轴与 x 轴垂直, y 轴的正方向按右手直角坐标系的规则确定,像点在像平面坐标系中的坐标为 (x,y) 。像平面坐标系如图 2-2 所示。

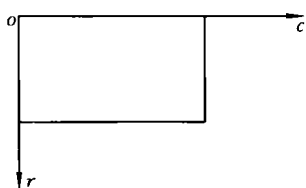


图 2-1 扫描坐标系

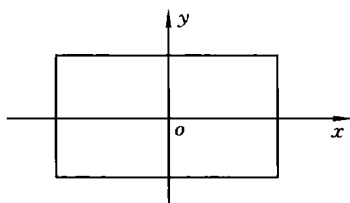


图 2-2 像平面坐标系

3. 像空间坐标系

以摄站点(或投影中心) S 为坐标原点, 摄影机的主光轴 So 为坐标系的 z 轴, 从 S 向像主点 o 的方向为负, x, y 轴分别与像平面坐标系 $o-xy$ 的 x, y 轴平行。这样像点的空间坐标为 $(x, y, -f)$, 其中 (x, y) 为像点的像平面坐标, f 为摄影机的焦距。像空间坐标系如图 2-3 所示。

4. 像空间辅助坐标系

像空间辅助坐标系的原点仍选在摄影中心 S , 坐标轴的选择视需要而定, 通常有三种选取方法。其一是取铅垂方向为 Z 轴, 航向为 X 轴, 构成右手直角坐标系, 如图 2-4(a) 所示。其二是以每条航线内第一张像片的像空间坐标系作为像空间辅助坐标系, 如图 2-4(b) 所示。其三是以每个像片对的左片 P_1 的摄影中心为坐标原点, 摄影基线 B 的方向为 X 轴, 以摄影基线及左片主光轴构成的面作为 XZ 平面, 构成右手直角坐标系, 用 $S-XYZ$ 表示, 如图 2-4(c) 所示。

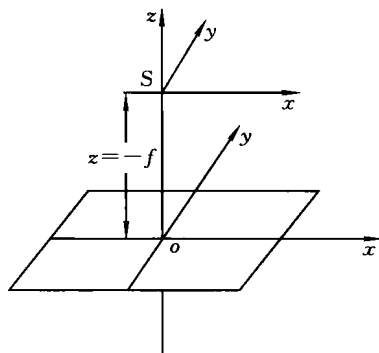


图 2-3 像空间坐标系

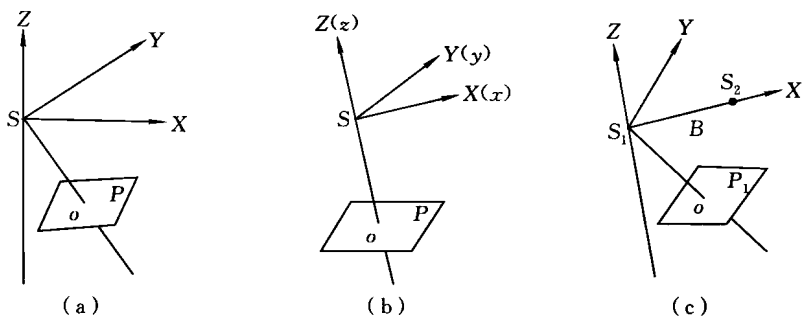


图 2-4 像空间辅助坐标系

2.1.2 物方空间坐标系

1. 大地坐标系

大地经纬度也称为地理坐标, 是一种以大地经纬度 (B, L) 和大地高 (H) 来表