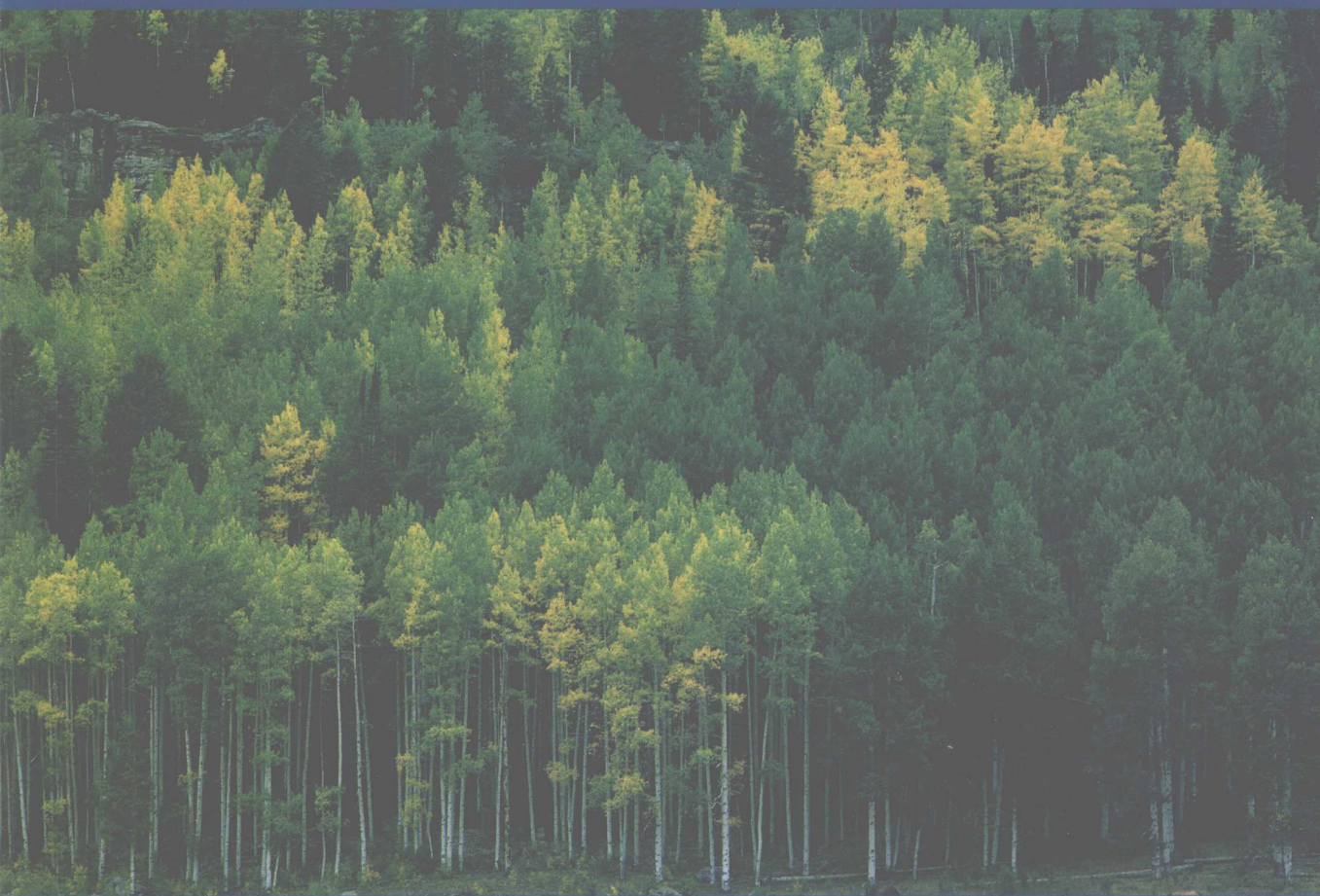


张煜星 等著

基于SPOT数据的 森林林相图更新技术研究



中国林业出版社

基于 SPOT 数据的森林 林相图更新技术研究

张煜星 等著

中国林业出版社

《基于 SPOT 数据的森林林相图更新技术研究》编委会

主 编 张煜星

副主编 李增元 徐泽鸿 武红敢 杨雪清

编 委 白降丽 庄越挺 王 雪 冯益明 高金萍 吴 飞

赵有贤 闫宏伟 刘清旺 庞军利 高作峰 贺珊珊

图书在版编目 (CIP) 数据

基于 SPOT 数据的森林林相图更新技术研究/张煜星 等著.
—北京: 中国林业出版社, 2008. 4
ISBN 978-7-5038-5201-5

I. 基… II. 张… III. 森林更新—林相图—研究
IV. S757.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 037697 号

中国林业出版社·环境景观与园林园艺图书出版中心

电话: 66176967 66189512 传真: 66176967

出版 中国林业出版社 (100009 北京西城区刘海胡同 7 号)

E-mail cfphz@public.bta.net.cn 电话 66184477

网址 www.cfph.com.cn

发行 新华书店北京发行所

印刷 三河市富华印刷包装有限公司

版次 2008 年 3 月第 1 版

印次 2008 年 3 月第 1 次

开本 787mm × 1092mm 1/16

印张 6.5

字数 166 千字

印数 1 ~ 2000 册

定价 26.00 元

前 言

森林资源规划设计调查是新中国开展最早的森林资源调查之一,主要用于全面详细获取森林资源的类型、数量、质量、结构等信息,是森林资源经营单位或县级行政区域掌握森林资源现状和动态变化,分析评价经营成效,制定和调整森林经营策略、规划、设计和经营技术,编制森林经营方案,实施森林经营管理等不可或缺的调查。

20 世纪 50~60 年代,森林航空测量和森林航空调查在森林资源规划设计调查中发挥了巨大作用,原苏联以及俄罗斯现在仍然大量应用这一技术。由于森林航空调查成本过高等原因,20 世纪 70 年代以后,我国森林航空调查基本停止。随着航天遥感技术的发展,特别是 20 世纪 90 年代以来中高空间分辨率遥感数据的发展,为森林资源规划设计调查中有效使用遥感技术提供了新的机遇和可能。目前,遥感技术在森林资源规划设计调查中的应用仍停留在科研阶段模式上,在完成大量生产任务时,遥感影像处理、遥感分类判读、森林资源信息提取、调查成果分析与调查信息管理等各个技术环节互相脱节,没有形成完整业务系统的技术集成,生产应用效率也较低。

在森林资源规划设计调查中,森林林相图更新和森林分布图生成是其极为重要的核心内容,林相图和森林分布图也是森林资源经营管理中使用最多的图形资料,因此,研究和探索应用遥感技术进行森林林相图更新和森林分布图生成,对缩短林相图和森林分布图更新周期,全面、快速、准确、有效地获取森林资源信息,实时监测森林动态变化情况,及时指导森林资源经营管理,提高森林资源规划设计调查效率具有极为重要的作用。

本著作是在“十五”国家高技术研究发展计划(863 计划)资助课题“森林资源遥感监测量化综合处理与业务运行系统”(2003AA131030)的资助下完成的。该研究成果主要以 SPOT 遥感数据为基础,核心解决森林资源遥感动态变化信息的量化提取,集成与森林资源规划设计调查技术流程相适应的遥感技术应用系统,补充和完善传统森林规划设计调查林相图和森林分布图的更新方法,对森林经营单位应用遥感技术,提高调查效率,丰富调查成果信息,满足森林资源管理和对森林资源宏观信息的需求具有一定的借鉴意义。

本著作是课题全体科研人员共同努力、集体智慧的结晶。参加该课题研究的有:张煜星、李增元、武红敢、徐泽鸿、庄越挺、杨雪清、白降雨、赵有贤、王雪、闫宏伟、高金萍、冯益明、吴飞、刘清旺、高作峰、庞军利、贺珊珊等。本书内容共分五章,主要论述了森林资源规划设计调查概述及遥感技术在该调查中的应用现状、特点和前景;基于 SOPT 数据的林相图更新技术及 SPOT 5 图像预处理、几何校正、正射校正、图像融合技术和森林资源图斑信息提取、林相图生成和森林分布图生成技术;林相图更新系统数据库设计;基于 SPOT 数据的林相图更新业务运行系统和主要技术规范等。本书由张

煜星、白降雨撰写，许多科研人员虽没有参加书稿的撰写，但在课题研究中做出了同样的贡献。本书最后的统稿由张煜星完成。

课题和本书的完成得到了有关领导和同仁的大力支持与帮助，谨在本书出版之际，衷心感谢中国林业科学研究院资源信息研究所、浙江大学计算机学院、中国科学院遥感应用研究所等所有参加课题的人员在研究中的紧密友好合作，感谢 863 专家组在课题研究的不同阶段提出的宝贵意见，感谢所有对课题研究和撰写书稿给予支持和帮助的领导、同事和同仁。

由于研究时间较短，成书过程仓促，书中错误和不妥之处，恳请读者批评和指正。

张煜星

目 录

前 言

第一章 绪论	1
1.1 森林资源规划设计调查概述	1
1.2 遥感技术在森林资源规划设计调查中的应用现状	2
第二章 基于 SPOT 数据的林相图更新技术	4
2.1 示范区基本情况	4
2.2 SPOT 5 图像预处理	4
2.3 基于 SPOT 5 数据的森林资源图斑信息提取	12
2.4 分类图像数据类后处理	18
2.5 栅格图像矢量化	20
2.6 小班数据更新	24
2.7 林相图生成和森林分布图生成	26
第三章 林相图更新系统数据库设计	27
3.1 数据采集	27
3.2 数据库设计	29
3.3 平台选择	31
第四章 林相图更新系统	32
4.1 系统设计原则	32
4.2 系统结构	32
4.3 系统功能	32
第五章 主要技术规范	61
5.1 森林资源信息编码规范	61
5.2 数据采集技术规范	84
5.3 数据库结构表规范	87
5.4 输出产品规范	90
参考文献	98

第一章 绪 论

1.1 森林资源规划设计调查概述

1.1.1 森林资源规划设计调查的概念

森林资源规划设计调查是以经营管理森林资源的企业、事业或行政区划单位（如县）为对象，为制定森林经营计划、规划设计、林业区划和检查评价森林经营效果、动态而进行的森林资源调查。

森林资源规划设计调查一般称二类调查，主要用于全面详细获取森林资源的类型、数量、质量、结构等信息，分析评价森林经营成效，制定和调整森林经营策略、规划、设计和经营技术等，是森林经营单位编制森林经营方案必须进行的基础调查。

1.1.2 森林资源规划设计调查的目的和任务

森林资源规划设计调查的任务是在调查的区域内，查清森林资源的种类、数量和质量，以及有关的自然、社会、经济条件状况，然后对其进行分析、评价，提出对森林资源的经营管理计划方案，或对森林资源经营管理的现状进行检查和评价。

森林资源规划设计调查的目的：

- （1）为调查区域制定和修正经营管理计划提供依据。
- （2）检查、分析、评价森林经营管理的效果。
- （3）为制定、检查、评价林业政策、方针、法规等的执行情况和效果，并为其修订提供依据。
- （4）为区域社会和国家主管部门提供决策依据。

1.1.3 森林资源规划设计调查的内容

森林资源规划设计调查的内容主要包括以下几个方面：

（1）林业生产条件调查

主要包括自然条件、社会条件、经济条件，林业在当地社会中的地位和作用，过去和现在的森林经理状况、生产经营状况和评价等方面的调查。

（2）小班调查

小班调查是森林经理调查中外业工作量最大的一部分，主要内容包括各小班地块的林况和地况调查，小班调查方法和步骤的确定，调查簿的编制，资源档案的建立与更新等。

（3）专业调查

专业调查是在二类调查中为完成某一专项任务而进行的调查，主要有：生长量调查、更新调查、土壤调查、森林病虫害调查、出材量调查、制表调查、立地条件调查等。

(4) 多资源调查

世界各国对多资源内容的界定不同。如美国从 20 世纪 70 年代起进行的多资源调查包括森林中全部资源：林木、草地、野生动物、林副产品、水资源、景观资源、渔业资源等。而我国的多资源调查主要指林区内除林木资源及相关条件调查以外的资源调查，主要包括水资源、景观资源、游憩资源、野生动物、经济植物、放牧资源、农业资源、渔业资源等。

1.2 遥感技术在森林资源规划设计调查中的应用现状

1.2.1 遥感技术在森林资源规划设计调查中应用的特点

遥感是 20 世纪 60 年代发展起来的一门综合性探测技术，是一门集空间科学技术、通信技术、计算机技术等技术以及跨地球科学、电子科学、物理学等学科的新兴科学与技术，是 20 世纪地球科学进步的一个突出标志。遥感技术的应用在地球系统科学、资源与环境科学以及农业、林业、地质、水文、城市与区域开发、海洋、气象、测绘等科学和国民经济的重大领域，发挥着巨大的作用，尤其是在森林资源二类调查中的应用，大大提高了调查的工作效率，节省了大量的物力、财力。总体来说，遥感技术在二类调查中的应用具有以下两个方面的特点：

(1) 应用类型的多样性

随着目标识别从传统的目视解译、常用的人机交互判读，向自动化和智能化方向发展，高光谱遥感、雷达遥感、TM 图像、新型航空遥感等先进的遥感技术被应用在森林资源二类调查中，遥感应用的类型越来越多，由单一的航空遥感向天—空—地不同层次、多类型遥感应用发展。

高光谱遥感 (Hyper Spectral Remote Sensing) 是国际上 20 世纪 80 年代开始发展起来的遥感技术。我国于 80 年代中后期亦开始着手发展自己的高光谱成像系统，现在，其研究与应用已经走在了国际前列。1995 年 11 月加拿大雷达卫星 Radarsat-1 的发射，标志着卫星微波遥感的重大进展。我国的雷达遥感也有较大的发展，我国在机载和星载 SAR 传感器及其应用研究方面正在形成体系。到 1997 年底，我国已经能接收所有正在运行的雷达卫星数据。2002 年 12 月 30 日发射的神舟 4 号飞船轨道舱中装有多模态微波遥感器，能够有效地进行数据传输，是有较好的应用效果。

在卫星遥感发展的同时，新型航空遥感技术也在不断发展，特大特小比例尺航空像片，多光谱、高光谱航空遥感图像在实践中都得到了应用，而基于 GIS 的数字化航空摄影技术，也在不断发展完善，能依林区内某地块发生的情况，可简单、快速、廉价地进行数据更新。

(2) 应用范围的广泛性

遥感技术自 20 世纪 70 年代开始应用以来，因其具有宏观性、综合性、可重复性和成本低的特点，自然成为研究森林资源现状及其动态变化的理想手段。世界上许多国家，特别是林业发达国家，在林业生产中都采用遥感技术进行森林资源清查及病虫害监测、灾后评估等。随着遥感技术的迅速发展，遥感资料的空间分辨率在不断提高，其应用技术也日益广泛和日趋成熟。特别是近年来，遥感 (RS) 与地理信息系统 (GIS)、全球定位系统 (GPS) 相结合，被应用于树种识别、森林郁闭度信息提取、森林蓄积量估计等更广泛的领域，显示

出了强大的生命力。

遥感在空间分辨率和光谱分辨率方面的提高及雷达遥感和航空遥感的发展为林业遥感提供了丰富的信息源,拓宽了林业遥感应用的深度和广度,给我国的森林资源调查和监测工作带来了新的契机。当前,林业正走向信息化,“数字林业”正在建设和完善中,而作为“数字林业”最重要的数据源的遥感的发展,为“数字林业”的顺利实施提供了强大的信息保证。

1.2.2 林业遥感技术发展前景

1.2.2.1 遥感技术由粗放向精准化方向发展

随着计算机科学的发展,航天遥感已在森林资源综合监测、资源调查方面广泛应用。由于 RS 分辨率大幅度提高,波谱范围不断扩大,特别是星载和机载成像雷达的出现,使 RS 具备多功能、多时相、全天候能力。其中 NOAA 卫星广泛用于监测全球森林宏观变化, MSS、TM、SPOT 用于区域中森林资源动态监测以及资源调查。

近年来分辨率更高的高光谱 RS 以及 IKONOS 可实现对林班、小班乃至单木的更加监测精准。可监测每一棵树木的 RS 技术当属地面近景数字摄影测量,特别是数码像机配合共线方程自动解算及制图分析测树系统将是森林精确监测的有效高新技术,这种无像控制点的近景数字摄影系统在德国、中国均进行了探索性研究,将有可能代替多年来沿用的固定样地实测调查技术。

1.2.2.2 森林资源遥感数据库技术和网络技术的广泛应用

建立适合栅格—矢量结构一体化,适合关系模型和面向对象模型可实现网络通信的森林监测数据库系统,已是当务之急。如美国 20 世纪 80 年代建立了东部森林清查数据库 EWDB 和西部森林清查数据库 WWDB,加拿大也建立森林清查数据库 CFRDS。

1.2.2.3 智能化分类软件研发

高分辨率卫星数据为目标地物的识别提供了丰富的信息,但是,以灰度为基础的遥感信息分类与提取技术发展相对滞后,取得的成就有限,在森林资源遥感技术应用中,必须研发以结构信息为主的智能化分类软件,才能进一步提高森林资源二类调查的精度和效率。

1.2.2.4 技术集成及综合应用

以航天遥感、航空遥感、近地面近景摄影测量为信息源,配合少量的地面测树仪器,如全站仪、电子经纬仪、GPS 电子罗盘、电子测高仪、激光测高仪等,结合样地调查,实现地面、航空、航天多层次数据通讯和信息集成,可以建成内业处理与分析功能强大的业务运行系统,提高遥感技术的综合应用能力。

第二章 基于 SPOT 数据的林相图更新技术

在我国林业调查工作中,林相图是森林资源规划设计调查的主要成果之一,它的时效性对森林资源的管理工作起着举足轻重的作用。在传统的林相图更新工作中,由于森林资源规划设计调查是每 10 年进行一次,所以林相图也是 10 年更新一次,而且主要依靠手工更新,既费时费力,精度也难达到要求。因此,研究基于 SPOT 5 卫星遥感数据的林相图更新技术是十分必要的。

2.1 示范区基本情况

本研究选择浙江省玉环县作为试验地区。玉环县位于东南沿海 ($E121^{\circ}05' \sim 121^{\circ}32'$, $N28^{\circ}01' \sim 28^{\circ}19'$),地处温州和台州两个港口城市之间。东濒东海,南连洞头洋,西嵌乐清湾,北接温岭市。境域总面积 2279.4km^2 ,其中陆地面积(含岛屿面积) 377.7km^2 ,海域面积 1901.73km^2 ,是全国 12 个海岛县之一。地处亚热带季风气候区,温和湿润,四季分明,土壤肥沃,物产丰富,在国内享有盛誉。

全县林业用地面积 $52\,958\text{hm}^2$,有林地面积 $42\,231\text{hm}^2$,无林地面积 1006hm^2 。全县森林覆盖率 44.2%,林木绿化率 44.4%,活立木总蓄积 $49\,026\text{m}^3$,其中森林蓄积量为 $47\,856\text{m}^3$ 。林分面积 $47\,921\text{hm}^2$,蓄积 $42\,231\text{m}^3$,其中防护林面积 $47\,838\text{hm}^2$,蓄积量 $28\,766\text{m}^3$;用材林面积 599hm^2 ,全为竹林;经济林面积 $12\,848\text{hm}^2$,全为果树林。

2.2 SPOT 5 图像预处理

2.2.1 SPOT 5 图像的几何校正

遥感图像在获取过程中,由于多种原因导致景物中目标物相对位置的坐标关系在图像中发生变化,这种变化称为几何畸变。遥感图像的几何畸变来源主要分为内部误差和外部误差两类,内部误差主要是由于卫星传感器自身的性能、结构等因素造成;外部误差主要是由于传感器以外的各因素所造成的,例如地球曲率、地形起伏、地球旋转、飞行器姿态等因素所引起的变形误差等。

遥感图像几何校正分几何粗校正和几何精校正,一般地面站提供的卫星遥感数据都经过了几何粗校正的处理,所以用户只需进行几何精校正。几何精校正是实现遥感数据与实测数据相配准的主要环节,直接影响着分类结果的准确性。

几何精校正的方法很多,如多项式变换、共线方程变换、随机场中插值变换,以及具有高程的 DEM 变换等。在林相图数据更新过程中,主要采用多项式变换的方法。

(1) 多项式变换 多项式变换的基本思想是把 SPOT 图像的总变形,用一个适当的多项式来表达,即用一合适的多项式,来描述校正前后相应点的坐标关系。在 SPOT 图像校正

中,常用的为二次多项式。校正方法有直接法和间接法两种,一般采用间接法。

设校正模型为二次多项式形式:

$$\begin{aligned}x &= a_0 + a_1 xX + a_2 xY + a_3 xX^2 + a_4 xXxY + a_5 xY^2 \\y &= b_0 + b_1 xX + b_2 xY + b_3 xX^2 + b_4 xXxY + b_5 xY^2\end{aligned}\quad (1)$$

其中, (x, y) 为图像行列值, (X, Y) 为地面坐标。

间接法校正分为 3 步, 第一步, 确定几何变换关系。先确定 GCP (X, Y) 在图像上的位置 (x, y) , 然后根据上式列出线性化的误差方程式:

$$V_{xi} = da_0 + X_i \times da_1 + Y_i \times da_2 + X_i^2 \times da_3 + X_i \times Y_i \times da_4 + Y_i^2 \times da_5$$

$$V_{yi} = db_0 + X_i \times db_1 + Y_i \times db_2 + X_i^2 \times db_3 + X_i \times Y_i \times db_4 + Y_i^2 \times db_5$$

n 个 GCP 可列出 $2n$ 个误差方程, 用最小二乘法求解 12 个未知参数需要至少 7 个点 (6 个定向点和 1 个检查点)。

误差方程对应法方程: $A^T PAX = A^T P$

其中: P 为 GCP 点的权, 若各控制点之间不相关, $P_{2n \times 2n}$ 为单位矩阵。

$$A = \begin{bmatrix} 1 & X_i & Y_i & X_i^2 & X_i Y_i & Y_i^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & X_i & Y_i & X_i^2 & X_i Y_i & Y_i^2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}_{2n \times 12}$$

$$L = \begin{bmatrix} x_i - (x_i) \\ \dots \\ y_i - (y_i) \\ \dots \end{bmatrix}$$

其中, $(x_i), (y_i)$ 为计算值, 由 GCP 坐标代入 (1) 式求得。

逐次叠代求出未知数 $X = (a_0 a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 b_0 b_1 b_2 b_3 b_4 b_5)^T$ 的改正数 $dX = (da_0 da_1 da_2 da_3 da_4 da_5 db_0 db_1 db_2 db_3 db_4 db_5)$ 。未知数 x 的初始值可这样确定:

$$a_0 = \sum_{i=0}^n x_i, b_0 = \sum_{i=0}^n y_i, a_1 = a_2 = a_3 = a_4 = a_5 = b_1 = b_2 = b_3 = b_4 = b_5 = 0$$

间接法纠正的第二步, 对图像进行重采样。如图 2-1 所示规则排列的像元, 经纠正后变成了不规则排列, 为此, 需要对图像进行重采样。重采样即确定纠正后图像范围及像元的亮度值。确定纠正后图像范围, 即将图像的 4 个角由 (x, y) 变换到 (X, Y) 空间, 由 (X, Y) 确定的范围即为输出图像的范围。先将 (1) 式线性化, 得误差方程式为:

$$Vx = (a_1 + 2a_3X + a_4Y) aX + (a_2 + a_4X + 2a_5Y) dY$$

$$Vy = (b_1 + 2b_3X + b_4Y) aX + (b_2 + b_4X + 2b_5Y) dY$$

同样可以列出误差方程的法方程: $ATA\xi = AIL$,

$$A = \begin{bmatrix} a_1 + 2a_3X + a_4Y & a_2 + a_4X + 2a_5Y \\ b_1 + 2b_3X + b_4Y & b_2 + b_4X + 2b_5Y \end{bmatrix}$$

$$\xi = [a'X \quad dY]^T \quad L = \begin{bmatrix} x - (x) \\ y - (y) \end{bmatrix}$$

未知数 ξ 的初始值可以为: $x = \sum_{i=0}^n X_i$, $Y = \sum_{i=0}^n Y_i$, 即控制点的中心。逐次叠代求出未知数的值。这样, 由 4 个角 (X, Y) 确定的范围即为输出图像的最大范围, 然后确定一个重采样间隔, 使得纠正后图像按规则格网排列。由 (1) 式计算出来的是像元纠正后的位置, 因此还需要确定输出像元的亮度值。先按 (1) 式计算出每个像元在原始图像上的位置 (x, y) , 图 2-1 (x, y) 往往不是位于格网点上, A 点的亮度值常用最邻近元法或双线性内插法求出。

最邻近元法: 图 2-1 中, 离 A 点最近的 1 点的亮度值将作为 A 点的输出亮度值。

双线性内插法: A 点的亮度根据周围 4 个点的亮度值进行距离加权内插得到。

设格网间距为 1, A 与 1 的水平距离为 W_1 , 竖直距离为 W_2 , 则 1、2、3、4 各点权值为:

$Weight1 = (1 - W_1) \cdot (1 - W_2)$ $Weight2 = W_1 \cdot (1 -$

$W_2)$ $Weight3 = W_1 \cdot W_2$ $Weight4 = (1 - W_1) \cdot W_2$

A 点输出亮度值为:

$gA = g1 \times Weight1 + g2 \times Weight2 + g3 \times Weight3 + g4 \times Weight4$

(2) 多项式变换的不足之处 采用多项式法进行卫星图像校正时, 对地面控制点的数量和分布均有要求, 它要求 GCP 在图像中尽可能均匀分布, 并要求边缘和 4 角均要有 GCP 分布。对二元 N 次多项式来说, GCP 数量为 $N > (n+1)(n+2)/2$ (式中 N 点数, n 为次方数)。这是满足要求的最基本的 GCP 数量。在实际工作中, 常要采用 GCP 数量的 2 倍, 对二元 2 次式来说, 约需要 12 个控制点。

同时, GCP 的地面坐标一般从较大比例尺的地形图上直接量测出来, 由于自然地理环境的变化、地形图上地物的综合取舍、影像与地图时间相隔较远或人为等因素, GCP 位置误差不可避免地存在。为了提高 GCP 精度, 减少粗差的可能性, 除了必要的定向点以外, 还需要增加一些检查点, 只计算残差, 不参与平差计算。

多项式纠正最大的不足之处在于不能改正投影差, 当地形起伏超过 500m 时, 一方面, 在高山区很难找得到 GCP 点, 即使找到了, 因为它有投影差的存在, 其位置也是不正确的; 另一方面, 当平地上的 GCP 点拟合的多项式精度很高时, 发现高山上仍然有无法纠正的部分; 有时, 若所有 GCP 都避开高程值大的点时, 计算的残差会较小, 但若有个别点在山上时, 此点的残差会特别的大, 作业员肯定会把它当作粗差点删除掉的。

2.2.2 SPOT 5 图像的正射校正

1. SPOT 5 图像正射校正方法

SPOT 5 图像的正射校正方法的基本思想是回避成像的几何过程, 而直接对图像的变形本身进行数字模拟。把遥感图像的总变形看作是平移、缩放、旋转、偏扭、弯曲, 以及更高次的基本变形综合作用的结果。因而, 校正前后图像相应点之间的坐标关系多选用一个适当的多项式来表达。

在进行林相图数据更新过程中, 运用的多项式模型有二维多项式和三维多项式两种。

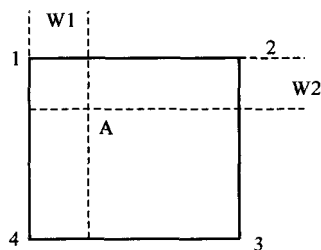


图 2-1 双线性内插

$$x = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n a_{ij} X_i Y_j \quad x = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^p a_{ijk} X_i Y_j Z_k$$

$$y = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n b_{ij} X_i Y_j \quad y = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^p b_{ijk} X_i Y_j Z_k$$

其中 x, y 是像点坐标, X, Y, Z 是地面坐标。

正射校正步骤:

由地面控制点和多项式类型 (如二元二次多项式) 采用最小二乘法求出多项式系数。

由原始图像的 4 个角的坐标求输出图像栅格范围。方法是把原始图像的 4 个角的坐标分别代入求出的多项式方程组, 利用牛顿法求方程组的解为 4 个点的投影坐标; 以 4 个点的坐标范围作为投影图像的投影坐标范围 (4 个点中最左的坐标为图像投影坐标的最左边界, 其他 3 个边界也如此); 图像右下角投影坐标减去左上角投影坐标, 再除以地面分辨率为输出图像的右下角坐标, 左上角为 (0, 0); 从而得到输出图像范围。

对输出图像上每一点的坐标求其对应原始图像上的坐标, 方法是乘以地面分辨率, 加上左上角的投影坐标, 经过多项式变换得到原始图像空间的坐标。

求出每一点在原始图像中的坐标后, 按照重采样算法, 从原始图像中算得该点的像素值。

显示输出图像。

正射校正流程图 (图 2-2)

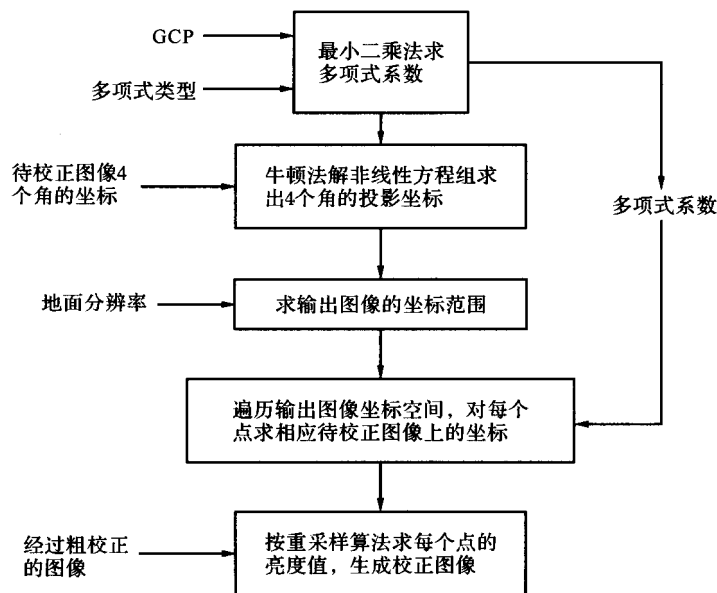


图 2-2 基于多项式模型的几何校正流程图

2. SPOT 5 图像的正射校正算法

(1) 最小二乘法求多项式系数原理

对于非线性方程 $s = a_0 + a_1 \cdot f_1(X, Y) + a_2 \cdot f_2(X, Y) + \cdots + a_n \cdot f_n(X, Y)$; 已知方程的 $m+1$ 个解 $(X_0, Y_0, s_0), (X_1, Y_1, s_1), \cdots, (X_m, Y_m, s_m)$ 。令 $S(X, Y) =$

$a_0 + a_1 \cdot f_1(X, Y) + a_2 \cdot f_2(X, Y) + \cdots + a_n \cdot f_n(X, Y)$, 要用这 $m+1$ 个点来拟合出多项式的系数 $(a_0, a_1, \cdots, a_n)$, 可认为求 $(a_0, a_1, \cdots, a_n)$ 使 $\sum_{i=0}^m (S(X_i, Y_i) - s_i)^2$ 最小。令 $\psi(a_0, a_1, \cdots, a_n) = \sum_{i=0}^m (S(X_i, Y_i) - s_i)^2 = \sum_{i=0}^m (\sum_{j=0}^n (a_j \cdot f_j(X_i, Y_i)) - s_i)^2$, 由连续函数性质知 $\psi(a_0, a_1, \cdots, a_n)$ 在 $(a_0^*, a_1^*, \cdots, a_n^*)$ 处取得极小值。由函数取极值的必要条件: $\frac{\partial \psi}{\partial a_k} = 0$ ($k=0, 1, \cdots, n$), 得到

$$\sum_{i=0}^m \left(\sum_{j=0}^n (a_j \cdot f_j(X_i, Y_i)) - s_i \right) \cdot f_k(X_i, Y_i) = 0 (k=0, 1, \cdots, n)$$

$$\text{即: } \sum_{j=0}^n \left(\sum_{i=0}^m (f_j(X_i, Y_i) \cdot f_k(X_i, Y_i)) \cdot a_j \right) = \sum_{i=0}^m s_i \cdot f_k(X_i, Y_i) (k=0, 1, \cdots, n)$$

令 $f_r = (f_r(X_0, Y_0), f_r(X_1, Y_1), \cdots, f_r(X_m, Y_m))$; ($r=0, 1, \cdots, n$), $s = (s_0, s_1, \cdots, s_m)$

并且定义内积为: $(f_j, f_k) = \sum_{i=0}^m f_j(X_i, Y_i) \cdot f_k(X_i, Y_i)$; $(s, f_k) = \sum_{i=0}^m s_i \cdot f_k(X_i, Y_i)$ 。

于是方程组可表示为:

$$\sum_{j=0}^n (f_j, f_k) \cdot a_j = (s, f_k) (k=0, 1, \cdots, n)$$

用矩阵表示为:

$$\begin{bmatrix} (f_0, f_0) & (f_0, f_1) & \cdots & (f_0, f_n) \\ (f_1, f_0) & (f_1, f_1) & \cdots & (f_1, f_n) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ (f_n, f_0) & (f_n, f_1) & \cdots & (f_n, f_n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \cdots \\ a_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (s_0, f_0) \\ (s_1, f_1) \\ \cdots \\ (s_n, f_n) \end{bmatrix}$$

这样解非线性方程的问题就转变成求解线性方程组的问题, 本项目中采用高斯消元法来求解上面的线性方程组。

(2) 最小二乘法算法

算法使用的数据结构如下:

$P[(m+1) \cdot (n+1)]$: 用于存放非线性函数值 $f_j(X_i, Y_i)$, ($i=0, 1, \cdots, m$; $j=0, 1, \cdots, n$)

$A[(n+1) \cdot (n+1)]$: 用于存放线性方程组系数 (f_i, f_k) , ($i=0, 1, \cdots, n$; $k=0, 1, \cdots, n$)

$b[n+1]$: 用于存放线性方程组等号右边系数 (s_i, f_k) , ($i=0, 1, \cdots, n$; $k=0, 1, \cdots, n$) 算法流程见图 2-3。

(3) 牛顿法解非线性 (高次多项式) 方程组原理

牛顿法是收敛较快的求根方法。假定 x_k 是函数 $f(x)$ 零点 α 的近似值, 将 $f(x)$ 在 x_k 处作一次泰勒展开, 即用 $y = f(x_k) + f'(x_k)(x - x_k)$ 作为函数 $f(x)$ 的近似解。从几何上看, 上式是 $y = f(x)$ 在 $(x_k, f(x_k))$ 处的切线。由多项式函数的性质, 在曲线上零点附近点的切线与 x 轴的交点总比曲线上点的 x 值一般更接近曲线与 x 轴的交点。所以由 $y = f$

$(x_k) + f'(x_k)(x - x_k)$ 与 x 轴的交点 $x_{k+1} = x_k - \frac{f(x_k)}{f'(x_k)}$ 构成的序列 $\{x_k\}$ 收敛于 α 。

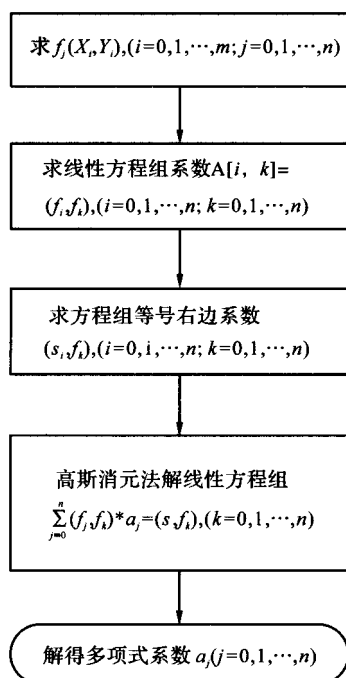


图 2-3 最小二乘法算法流程图

对于多项式方程组，以二元二次为例： $f_1(t, u) = 0, f_2(t, u) = 0$ ，设 $x_k = (t_k, u_k)$ 是方程组的一个近似解将 f_1, f_2 在 x_k 处泰勒展开：

$$0 = f_1(t, u) = f_1(t_k, u_k) + (t - t_k) \frac{\partial f_1}{\partial t} + (u - u_k) \frac{\partial f_1}{\partial u},$$

$$0 = f_2(t, u) = f_2(t_k, u_k) + (t - t_k) \frac{\partial f_2}{\partial t} + (u - u_k) \frac{\partial f_2}{\partial u}$$

其中 $\frac{\partial f_i}{\partial t}, \frac{\partial f_i}{\partial u}$ 分别在 (t_k, u_k) 处取值由右端解出 (t, u) ，记为 (t_{k+1}, u_{k+1}) 。然后再在 (t_{k+1}, u_{k+1}) 处泰勒展开，如此迭代可求出方程组的解。

(4) 牛顿法解非线性（高次多项式）方程组算法

设定方程解的精度 E 和近似解得初值 $x_0(t_0, u_0, \dots)$ （离零点最近的控制点的投影坐标值）。

求线性方程组的各项系数 $\frac{\partial f_i}{\partial t_k}, \frac{\partial f_i}{\partial u_k}, \dots$ 。

求线性方程组的解记为 $x_{k+1}(t_{k+1}, u_{k+1}, \dots)$ 。

如果 $\left| 1 - \frac{x_{k+1}}{x_k} \right| < E$ 则 $x_{k+1}(t_{k+1}, u_{k+1}, \dots)$ 即为方程组得解，否则 $x_k = x_{k+1}$ 转 2。

如果不收敛，用 $x_0(t_0, u_0, \dots)$ 作为方程组得解返回（图 2-4）。

传统的遥感图像正射校正模型比较简单易于实现，且算法效率高。但缺点也很显著，首先，由于要经过两次重采样，引起图像辐射量的两次退化；其次，多项式变换并不是真实的物理成像过程，因而需要大量的良好分布的地面控制点（GCP）来弥补模型的偏差；另外，

由于多项式变换没有考虑地面高程变化影响的因素，因此对于地面起伏比较大的遥感图像难以校正。

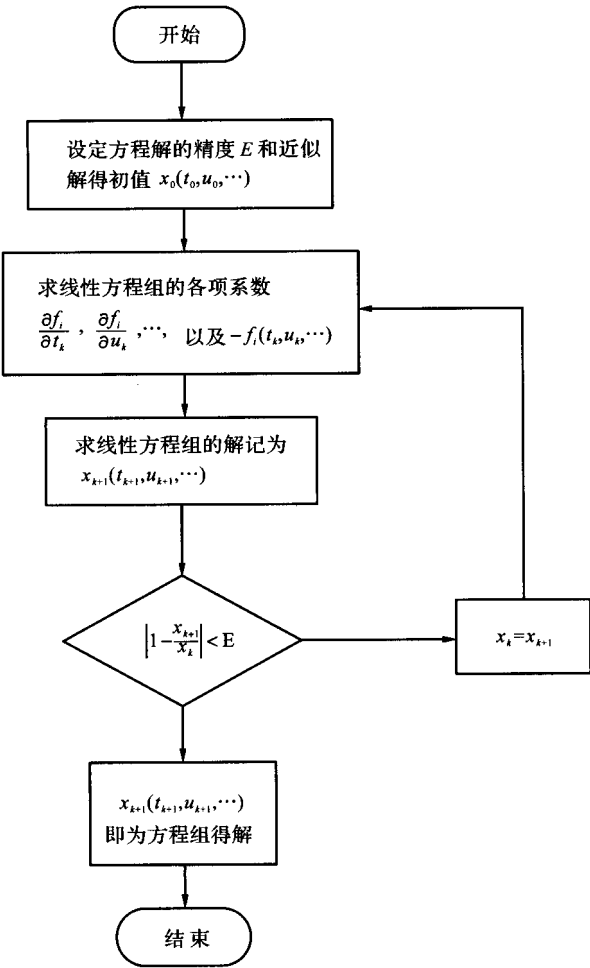


图 2-4 牛顿法解非线性方程组算法流程图

2.2.3 SPOT 5 图像融合技术

1. 图像融合技术

图像融合处理的目的是①用于可视显示；②在提高融合图像空间分辨率的同时，尽可能保持原始图像的光谱特征；③基于对被融合图像辐射特性的相关分析。

为了能对地物进行更准确的分类或增加定位精度，就要求有更高空间分辨率与更高光谱率的遥感图像。实现图像融合有两种不同的方法，一种方法是采用具有更高空间分辨率与更高光谱分辨率的遥感图像产品；另外一种方法是利用图像处理技术，进行高光谱遥感图像与高空间分辨率遥感图像的融合，或称多光谱图像空间分辨率增强、多光谱图像的锐化。

遥感图像的融合划分为以下 5 种不同的类型：不同的传感器记录的数据的融合；同一传感器对同一地区在不同时间扫描所得数据的融合；同一传感器在不同的波段所得数据的融合；同一传感器在不同的偏光下所得数据的融合；同一传感器在不同的高度下所得数据的融合。

由于有效利用了多个传感器资源提供信息的互补性,多传感器数据融合可以获得被探测目标和环境更为全面的信息。对应于数据融合中的 3 个不同的信息层,即数据层(或像素层)、特征层和决策层(即证据层),图像信息融合也被分为 3 级,分别是像素级融合、特征级融合和决策级融合(图 2-5)。

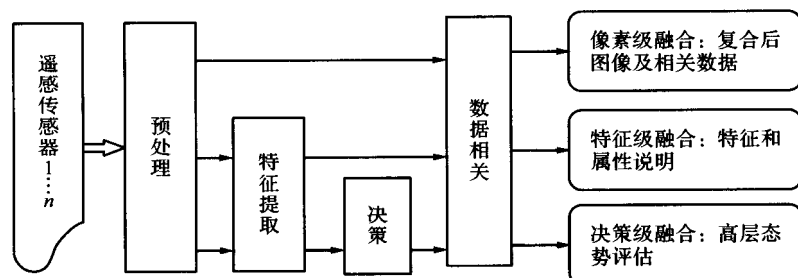


图 2-5 遥感图像信息融合的 3 级

(1) 像素级融合 像素级融合是最低层次的信息融合,其实现过程是直接在采集到的原始图像数据层上进行的,如在可见光、红外线及 SAR 图像等原始数据基础上进行数据的综合分析。常用的像素级融合的算法有 IHS 变换、PCA 变换、高通滤波法、线性加权法和小波变换法等。

(2) 特征级融合 特征级融合属于中间层次,其处理方法是首先对来自不同传感器或同一传感器不同分辨率的原始信息进行特征抽取,然后再对多个特征信息进行综合分析和处理,以实现数据的分类、汇集和综合。一般来说,提取的特征信息应是像素信息的充分表示量或充分统计量,包括目标的边缘、方向、运动速度等。

目前,特征级数据融合的主要算法有聚类分析法、Dempster - shafer 推理法、贝叶斯估计法、熵法、加权平均法、表决法以及神经网络法等。

(3) 决策级融合 决策级融合是一种高层次信息融合,其结果将为各种控制或决策提供依据。为此,决策级融合必须结合具体的应用及需求特点,有选择地利用特征级融合所抽取或测量的有关对象的各类特征信息,才能实现决策级别融合的目标,其结果也将直接影响最后的决策水平。

目前,常用的决策级数据融合的算法主要有:贝叶斯估计法、神经网络法、模糊聚类法及专家系统等。

2. 图像融合的算法

在林相图数据更新过程中,SPOT 5 图像信息融合也被分为像素级融合、特征级融合和决策级融合 3 级。主要采用的算法有 2 种。

(1) 高通滤波法 高通滤波在频率域表示频率在某一阈值以上的信号通过,低于此频率的信号则被舍弃,在空间域则可以表示成卷积的形式,根据确定的卷积核 w 对原始图像 g 上 (i, j) 处的相应像素加权求和得到相应的输出值,可表示为:

$$g(m, n) = g(i, j) \cdot w(i, j) = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n g(i, j) \cdot w(m - j, n - k)$$

高通滤波的卷积核通常有下面的几种形式: