

遥感图像处理 关键技术

何宁 吕科 著

清华大学出版社

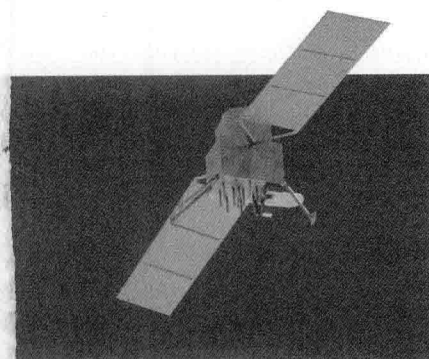


内容简介

本书全面系统地介绍了遥感图像处理的关键技术，包括遥感图像处理的基本概念、遥感图像处理的基本原理、遥感图像处理的基本方法、遥感图像处理的基本应用等。本书可作为高等院校遥感专业及相关专业的教材，也可供从事遥感工作的工程技术人员参考。

— 1 —

本书可作为高等院校遥感专业及相关专业的教材，也可供从事遥感工作的工程技术人员参考。



遥感图像处理 关键技术

何宁 吕科 著

清华大学出版社
北京

清华大学出版社
北京

1999年1月第1版
1420000字·0.15元

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书总结了作者近年来在卫星遥感图像处理方面的研究成果,重点介绍我国风云系列气象卫星遥感图像的处理技术。本书从建立卫星自动导航的技术需求出发,系统地论述卫星遥感图像边缘检测与提取、遥感图像地标匹配、红外卫星图像自动匹配与校正及遥感图像配准与融合等方面的关键技术、实现过程以及实验结果与分析。

本书在内容安排上力求做到深入浅出、通俗易懂,不仅具有一定的深度和广度,而且反映学科的新动向和应用前沿。读者在阅读本书前应具备数字图像处理相关理论基础和专业知识。

本书既可作为高等学校数字图像处理、遥感相关专业的研究生教学用书,也可供遥感相关科技人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

遥感图像处理关键技术/何宁,吕科著. --北京:清华大学出版社,2015

ISBN 978-7-302-40782-9

I. ①遥… II. ①何… ②吕… III. ①遥感图像—图像处理—研究 IV. ①TP751

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 162287 号

责任编辑:焦虹 李晔

封面设计:傅瑞学

责任校对:李建庄

责任印制:宋林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社总机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者:三河市君旺印务有限公司

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:10.75

字 数:270 千字

版 次:2015 年 7 月第 1 版

印 次:2015 年 7 月第 1 次印刷

印 数:1~1000

定 价:29.50 元

产品编号:066016-01

前言

遥感技术是 20 世纪末发展最为迅速的科技领域之一,其优势在于能够频繁持久地提供地表的面状信息,具有宏观、动态、精确地监测地表环境变化的特点。由于人类的信息需求有 80% 与地理空间位置有关,而我国正面临着日益严重的资源环境问题,因此遥感技术在国民经济、社会发展和国防安全中起着越来越重要的作用。进入 21 世纪,自然灾害、气候变化、环境保护、资源开发等行业领域对卫星观测提出了高时效、高辐射精度、三维、定量、全球、全天时、全天候的要求。遥感仪器时空分辨率和探测性能向“高空间分辨率、高时间分辨率、高光谱分辨率、高辐射精度以及全球、全天候、多波段观测”发展,这些性能已成为卫星观测的发展趋势。伴随着航天技术、通信技术、传感技术和信息技术的飞速发展,为了更加准确、全面地认识空间,人类的观测手段已从单一模式向多模式(光学、红外、微波、多光谱等)协同的方向发展,人们将可以在各种航天、近空间和地面平台上,用紫外、可见光、红外、合成孔径雷达、激光雷达、太赫兹等多种传感器获取目标的多种分辨率影像和非影像数据,其空间分辨率、光谱分辨率和时间分辨率得到了极大的提高。借助空、天、地各类传感器,可实现全天候、全天时、全方位的全球空间数据获取,并对全球进行立体的实时观测和动态监测,遥感影像数据在环境、交通、海洋、农业、水利、测绘、地质领域得到了广泛的应用。

我国已发射了包括气象卫星、海洋卫星、减灾卫星等多个系列的对地观测卫星,这些卫星上装载了大量传感器,成像方式从被动探测到主动探测,探测谱段从红外、可见光、紫外到微波探测。利用这些探测器进行对地观测,可获得大量多源(多个卫星平台)、多谱段(不同波段)卫星资料,这些卫星数据的综合应用非常重要。随着传感器数量和种类的增加,获得的信息量急剧增加并且呈现多样性和复杂性,传统的数据处理理论与方法已经不能很好地解决多源卫星数据处理所带来的新问题,必须发展新的理论和方法解决所面临的新问题。

我国目前正在实施国家中长期科技发展规划,到 2020 年,我国发射的在轨运行卫星将达上百颗,将具备准实时、全天候获取各种空间数据的能力,并逐步形成集高空间、高光谱、高时间分辨率和宽地面覆盖于一体的对地观测系统,从而可为地球空间信息数据的处理与应用提供坚实的基础。由于遥感卫星数据量巨大,遥感卫星数据的预处理也变得越来越费时,因此需要建立图像自动导航的卫星系统。对遥感卫星数据进行处理就要进行图像的自动导航,通过图像研究人员可以得到遥感卫星图像像素对应的地理纬度和经度,图像自动导航能够使大量数据的应用成为可能。从技术的角度来看,图像自动导航是非常困难的一件事情。自动导航的关键环节是调整模型图像,调整导航、调整模型的常用方法是解决导航调整量偏差。一般来说,地标有明显的几何结构,但随着卫星位置的变动查看地标的视野和视角会发生变动,因而地标图像内容也会发生改变。此外,卫星有效载荷能力变化,如传感器感应能力的衰减,也会使得图像内容发生改变,因此研究遥感图像处理技术将推进卫星自

动导航技术的发展。

在国家自然科学基金项目“基于稀疏表示理论的高光谱遥感图像的特征提取与分类”(61271435)、“分数阶变分 PDE 图像复原关键技术研究”(61370138)和北京市自然科学基金重点项目“遥感图像精确定位与参数反演的理论及关键技术研究”(4141003)的支持下,作者总结近年来在遥感图像处理方面的研究成果,深入分析国内外相关研究进展,从卫星遥感图像边缘检测、遥感图像地标匹配、遥感图像校正及遥感图像的配准与融合等方面论述了遥感图像处理技术的思路、关键技术及其实现过程。

全书共 5 章。第 1 章论述遥感图像处理技术的研究背景和国内外研究进展,介绍了卫星遥感图像处理的相关关键技术。第 2 章深入阐述卫星遥感图像的边缘检测与提取技术,提出了基于 Level Sets 方法的海岸线检测、海陆边缘检测及基于改进的 Canny 算子和改进的 LOG 算子的遥感图像边缘检测方法。第 3 章论述地标匹配关键技术,提出了海陆边界模板的生成算法、地面控制点与地标生成算法,并在此基础上提出针对地标匹配的云检测算法。第 4 章分析遥感图像产生畸变的原因,提出了红外遥感图像校正方法,并分别对海陆分界模板、图像匹配、图像校正三个层次的实验评价结果进行分析。第 5 章提出了基于改进的 FMT 图像配准方法、基于特征点的图像配准方法及伪颜色矢量和图像分解的图像融合技术。

本书是近年北京联合大学信息学院和中国科学院大学智能信息处理实验室的师生共同完成的研究成果,全书由何宁、吕科设计并主持撰写。参与本书编写的研究生有王茜、徐文、林政宗、蔡君伟等人。最后由何宁负责全书的统稿、修改和校对,由吕科负责全书的审阅。

限于作者的水平及经验,书中的错误在所难免,恳请专家和读者批评、指正。

何 宁

2015 年 4 月于北京联合大学信息学院

目 录

第 1 章 卫星遥感图像处理相关理论及方法概述	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 研究意义	1
1.1.2 国内外气象卫星及其特点	3
1.2 卫星遥感图像处理相关技术	7
1.2.1 卫星遥感图像文件格式	7
1.2.2 红外遥感图像介绍	7
1.2.3 Trie 树数据结构	9
1.3 卫星遥感图像处理技术的国内外研究进展	10
1.3.1 卫星遥感图像边缘检测与提取研究进展	10
1.3.2 卫星遥感图像校正技术研究进展	13
1.3.3 卫星遥感图像配准技术研究进展	15
1.3.4 卫星遥感图像融合技术研究进展	18
参考文献	19
第 2 章 卫星遥感图像边缘检测与提取	27
2.1 基于 Level Sets 静止卫星遥感图像海岸线检测算法设计	27
2.1.1 基于边界能量的水平集方法	27
2.1.2 基于区域能量的水平集方法	28
2.1.3 基于先验知识的水平集方法	31
2.1.4 基于先验知识的可扩展区域能量模型	32
2.2 静止气象卫星遥感图像海岸线检测	37
2.2.1 海岸线检测目标	37
2.2.2 海岸线检测流程	37
2.2.3 红外卫星数据导入导出	38
2.2.4 地标模板生成	40
2.2.5 边缘检测系统	40
2.3 海陆边缘检测	47
2.3.1 传统的边缘检测算法在遥感图像的应用现状	47

2.3.2 基于动态阈值和水平集的海陆边缘检测	48
2.4 基于改进 LOG 和 Canny 算子的遥感图像边缘检测	51
2.4.1 LOG 算子	51
2.4.2 Canny 算子	52
2.4.3 LOG 和 Canny 算子抗噪性能对比	53
2.4.4 改进的 LOG 算法	54
2.4.5 改进的 Canny 算法	55
参考文献	60
第 3 章 遥感图像地标匹配关键技术	62
3.1 海陆边界模板生成	62
3.1.1 海陆边界模板的定义	62
3.1.2 海陆边界模板生成的基本步骤	63
3.1.3 实验结果分析	70
3.2 地面控制点与地标生成	71
3.2.1 Voronoi 图理论	72
3.2.2 角点检测算法	73
3.2.3 地面控制点与地标生成算法	75
3.3 针对地标匹配的云检测	80
3.3.1 云检测的理论基础	81
3.3.2 基于直方图特点的动态阈值云检测	81
3.3.3 针对地标匹配的云检测	83
参考文献	86
第 4 章 红外图像自动匹配与校正	88
4.1 图像匹配	88
4.1.1 图像匹配介绍	88
4.1.2 图像匹配算法研究	89
4.2 图像校正	93
4.2.1 图像校正介绍	93
4.2.2 图像校正算法研究	94
4.3 卫星遥感红外图像自动匹配与校正	96
4.3.1 卫星遥感数据处理	96
4.3.2 海陆分界模板处理	97
4.3.3 卫星遥感图像地标匹配	99
4.3.4 卫星红外遥感图像校正	102
4.3.5 卫星红外图像批量匹配与校正	103
4.4 卫星红外图像自动匹配与校正系统分析与评价	105
4.4.1 海陆分界模板分析与评价	105

4.4.2 图像匹配效果分析与评价·····	106
4.4.3 图像校正效果分析与评价·····	107
参考文献·····	108
第5章 卫星遥感图像配准与融合·····	110
5.1 基于FMT的遥感图像配准方法·····	110
5.1.1 图像配准概述·····	110
5.1.2 基于FMT的配准方法原理·····	117
5.1.3 改进的基于FMT的配准方法·····	119
5.1.4 基于边缘的FMT配准方法·····	122
5.2 基于特征点的遥感图像配准方法·····	125
5.2.1 基于SIFT的配准方法·····	125
5.2.2 SURF配准算法·····	129
5.2.3 Harris配准算法·····	131
5.2.4 改进的基于SIFT的配准算法·····	133
5.2.5 基于全局几何约束的筛选法则·····	136
5.2.6 其他配准方法·····	143
5.3 基于伪颜色矢量和小波分解的遥感图像融合方法·····	147
5.3.1 遥感图像融合概述·····	147
5.3.2 多通道遥感图像融合处理技术·····	149
5.3.3 基于小波分解的图像融合方法·····	153
参考文献·····	163

第 1 章

卫星遥感图像处理相关理论及方法概述

随着空间遥感技术和其他相关技术的发展,我国已经成功发射了多颗遥感卫星(包括气象卫星、海洋卫星、地球资源卫星、环境与灾害监测预报卫星等),遥感技术在许多领域得到了广泛发展与应用,并且产生了巨大的社会效益和经济效益。遥感图像处理技术已经成为当前研究热点问题。本章首先阐述卫星遥感图像处理关键技术的研究意义与背景,然后分别论述卫星遥感图像处理关键技术的原理,总结各个相关技术的国内外研究进展,主要从遥感图像边缘提取、遥感图像地标匹配、红外图像自动匹配校正及遥感图像配准与融合等方面展开论述。

1.1 研究背景

1.1.1 研究意义

视觉是人类赖以获取外部世界信息的最主要手段,人类约 70% 的信息依靠视觉得到。图像是视觉信息的最主要的载体,一般来说,图像是通过各种观测系统获得的。遥感卫星是对地球和大气的各种特征和现象进行遥感观测的人造地球卫星,卫星遥感图像已经成为人类获取有关地球与大气信息的重要数据来源之一。

遥感卫星是用作外层空间遥感平台的人造卫星,用卫星作为平台的遥感技术称为卫星遥感。随着遥感技术的迅猛发展,世界各国正在开发、发射和运行的有几千颗轨道卫星及相应的地面应用平台。其中,气象卫星是全球天基观测系统中十分重要的组成部分,它通过多通道高分辨率扫描辐射计、微波辐射计和红外分光计等有效载荷,从外层空间对地球及其大气层进行气象观测^[1]。气象卫星通过源源不断地获取各类遥感信息,在天气系统分析和天气预报方面显示出独特的能力和作用,而且随着卫星有效载荷性能和遥感信息处理手段的不断提高和完善,其应用范围日益扩大,为国民经济建设和国防建设提供可靠而高效的服务保障。

近年来,随着遥感技术的发展,遥感数据的分辨率(包括时间、空间和光谱)不断提高,使得遥感数据呈现海量数据的特点。由于遥感卫星数据量非常大,遥感卫星数据的预处理也变得越来越费时,因此,建立图像自动导航的卫星系统是非常必要的。首先对遥感卫星数据进行处理就要进行图像的自动导航。通过图像研究人员可以得到遥感卫星图像像素对应的地理纬度和经度。图像自动导航能够使大量数据的应用成为可能。从技术的角度来看,图像自动导航是非常困难的一件事情。自动导航关键环节是调整模型图像,调整导航、调整模型的常用方法是解决导航调整量偏差问题。一般来说,地标有明显的几何结构,但随着卫星位置的变动地标的视野和视角会发生变动,因而地标图像内容也会发生改变。此外,卫

星有效载荷能力的变化,如传感器感应能力的衰减,也会使得图像内容发生改变,因而图像自动导航难度很大。

理论上,在轨定点静止卫星在不同时间拍摄的不同区域内的地球地貌,遥感图像应该是完全相同的(忽略云、地壳变化、海洋变化、人为地面活动等因素)。但实际上,由于气象卫星受到热辐射产生热变形、太阳光压、设备自然老化、星载设备的安装误差等多种因素影响,都会引起卫星姿态(俯仰、滚动、偏航等)发生不同程度的变化,从而改变了有效载荷扫描镜的指向,导致遥感图像产生几何畸变,造成失真,对卫星整体性能的发挥产生重大影响。遥感图像地标导航方法能够有效地纠正由于卫星姿态发生变化而引起的定位误差,首先,根据遥感图像中海洋、岛屿、陆地、植被、河流等地物特征的能量概率分布情况,利用全球地理信息数据建立地标库,然后比对计算图像与地标的偏移量,根据偏移量计算获得卫星的姿态偏差,之后利用得到的姿态偏差对遥感卫星图像重新导航,从而获得准确的地理定位结果^[2]。目前国内气象研究机构的图像导航主要采取交互式人工选取地标的导航方法,手工作业量大,对操作者的专业经验依赖性强,导航精度受主观因素影响大。采用卫星红外图像自动匹配校正技术,可使地标导航从高重复性、大劳动量的工作状态中解脱出来,并有效提高导航精度,对工作人员的专业经验要求也大大降低。由于航天工程经济成本巨大,卫星导航技术在提高卫星整体性能的同时亦产生着巨大的经济效益,使其成为国内外专业人士关注的焦点,极具研究和应用价值。

气象卫星多为遥感类卫星,利用多通道高分辨率扫描辐射计、红外分光计和微波辐射计等传感器从外层空间“俯视”风云变幻的地球,每天都会拍摄多幅不同时间、不同波段的遥感图像^[3]。如果卫星在理想轨道运行,那么不同时段所拍摄图像的对应像素的地理经纬度应该相同。但是受轨道偏移和卫星姿态变化的影响,像素往往会发生偏离。因此必须对遥感图像进行导航和配准。图像导航是确定图像中像素经纬度的过程,图像配准是使两幅图像上所有对应的像素都达到空间位置一致的过程,配准包括帧内配准和帧间配准两种。帧内配准是为了消除一帧(一幅)遥感图像中任意两个像素的相对位置偏差,帧间配准是为了消除不同帧(两幅或多幅)遥感图像中任意对应像素的相对位置偏差。

目前国内气象研究人员通常采用人工选取地标的方式,进行交互式的卫星图像配准和导航工作^[4]。人工方式选取地标通常效率较低,不能适应数据量大的特点和实效性的需求。而且,在卫星图像导航配准中一个很小的误差就会对后期的实际应用产生很大的影响。因此,研究遥感图像的高精度实时自动配准方法对气象遥感图像应用具有重大的理论和现实意义。

另外,为了综合利用来自不同空间分辨率、波谱分辨率和时间分辨率的遥感图像,必须寻求一种综合利用多源图像的技术方法,图像融合是满足这种要求的重要手段之一。图像融合的目的是将多幅图像中所具有的优势信息或互补性信息有机地结合起来,融合产生的新图像,有助于对观察对象形成更全面、更真实、更有用的认知。同单一信源的图像相比,融合图像能够降低被观察对象存在的二义性、模糊性和误差,最大限度地利用各种信源提供的信息,提高人们对图像进行信息分析和提取的能力。

因此本书主要研究卫星遥感图像边缘检测与提取、遥感图像地标匹配、卫星红外图像自动匹配校正及遥感图像配准与融合等关键技术。

1.1.2 国内外气象卫星及其特点

1. 美国 GOES 系列卫星系统

美国作为最早发射和应用气象卫星的国家,在极轨和静止气象卫星领域一直处于世界领先地位。美国 GOES(Geostationary Operational Environmental Satellites)地球静止业务环境卫星分为 GOES I-M 与 GOES N-P 两类,至今已有 15 颗该系列卫星先后发射进入太空。第三代静止气象卫星 GOES 8、GOES 9 与前两代相比,主要的改进是采用了三轴稳定的控制方式,卫星的有效载荷为成像仪、空间环境监测器、大气探测器和太阳 X 射线成像仪,这些设备可独立开展工作,同时对地球及其外层空间进行检测,可不间断地获取高质量观测资料^[5]。GOES 卫星在天气预报、太阳干扰预测、灾害预报等方面为政府部门和各类民间环境预报机构提供了重要信息支持。GOES 卫星地标定位系统,是世界最为先进的卫星地标导航系统,代表了地标导航技术的最高水平,其星载导航简化了影像导航流程,提高了影像导航精度,其主要特点如下。

1) 系统设计简单

由于有丰富、详细的地理信息的支持,GOES 地标定位系统可以在较大范围的地理区域内优选最符合特征的地标与卫星图像进行匹配,而且 GOES 的图像不良匹配重合率很低,有效降低了查询幅度,从而使得匹配计算量、匹配计算时间和误匹配几率的产生大大降低。同时,借助对卫星及卫星成像设备的精确控制,可以精确掌握卫星图像的各项指标参数,去除如缩放、旋转等因素的干扰,可较好地保持原始图像的各项特征,提高图像匹配的准确性和可靠性。

2) 灰度值图像准确

GOES 地标提供有满足计算使用的地面真实信息,可单独计算地标及相关图像中像素的概率数值,使得 GOES 地标定位系统可以针对不同的匹配需求制定不同的标定过程。这种自标定方法消除了由于进行对比度反转而造成的灰度不同,保证了图像灰度值的准确。

3) 分辨率较高

GOES 地标定位系统对于可见光信道图像的处理可以达到亚像素精度,相当于 250m。对有部分云层遮挡的图像仍可达到同样的精度(以前的系统对有云层遮挡的可见光信道可以达到 64km,而现在可以达到 12km)^[6]。

评价 GOES 地标定位系统与图像导航系统的性能指标主要有三个:导航误差(NAV)、帧间误差(FFR)、帧内误差(WIFR)^[7]。美国 GOES 系列卫星导航性能指标如表 1-1 所示。

表 1-1 美国 GOES 系列卫星导航性能指标^[8]

指标条件	GOES I-M Imager ^[1]	GOES N-P Imager ^[7]	GOES-R ABI ^[4]
	1994+	2006+	2015+
导航误差	112 μ rad (白天) 168 μ rad (夜晚)	55 μ rad	28 μ rad
帧间误差 (15 分帧间对比)	50 μ rad (白天) 70 μ rad (夜晚)	41 μ rad	21 μ rad

续表

指标条件	GOES I-M Imager ^[1]	GOES N-P Imager ^[7]	GOES-R ABI ^[4]
	1994+	2006+	2015+
帧间误差 (90 分帧间对比)	84 μ rad (白天) 105 μ rad (夜晚)	53 μ rad	无
帧内误差	50 μ rad (白天) 50 μ rad (夜晚)	54 μ rad	无

从表 1-1 中可以看出,GOES 卫星地标定位系统的主要性能在二十年间得到了很大改进和提升。

2. 欧洲 Meteosat/MSG/MTG 静止轨道气象卫星

欧洲气象卫星组织(EUMETSAT)由欧洲的 17 个国家组成,共同出资发展气象卫星。其第一颗静止气象卫星 Meteosat-1 于 1977 年 11 月发射升空,由此开始参与全球大气研究计划和气象监测网。第一代 Meteosat 系列静止轨道气象卫星有效载荷为 3 通道可见光/红外成像仪(MVIRI),分辨率为 2.5km/5km。第二代气象卫星(MSG)有效载荷改进为可见光/红外辐射仪,成像通道由 3 个增加到 12 个,分辨率提高到 1km/3km。第三代气象卫星(MTG)拟采用三轴稳定方式,MTG-1 预计 2016 年发射,有效载荷为增强 12 通道可见光/红外成像辐射仪(SEVIRI)、静止卫星地球辐射收支仪器(GERB)和气象通信系统,成像和传输性能都将得到极大的提高。

欧洲气象卫星导航性能的评价指标主要有三个:绝对导航误差、相对误差、频道间误差。绝对导航误差是图像中实际地理坐标和图像计算得出的坐标之间的差值;相对误差是一个像素在相继两帧图像中的绝对导航误差;频道间误差是通过两个不同频道对同一采样点采样而发生的相对位移误差。表 1-2 是欧洲 MSG、MTG 卫星导航性能指标。

表 1-2 欧洲 MSG、MTG 卫星导航性能指标

指标条件	绝对导航误差	相对误差	频道间误差
MSG-1/2	3.50km(98 μ rad)	0.90km(25.2 μ rad)	0.30km(84 μ rad)
MTG-1	0.75km(21 μ rad)	1.05km(29.4 μ rad)	0.75km(84 μ rad)

3. 日本 GMS/MTSAT 气象卫星

GMS 气象卫星是日本第一代气象卫星,GMS-1 于 1977 年 7 月发射升空,而后又陆续发射了 4 颗该系列卫星,其中 GMS-5 于 1995 年发射升空,其有效载荷为:4 通道可见光/红外扫描辐射器、数据收集平台和搜索救援系统。GMS 卫星的可见光/红外分辨率为 1.25km/5km,可提供高分辨率数字资料(S-VISSR)和低分辨模拟云图(WEFAX)。第二代 MTSAT 静止气象卫星为多用途卫星,相对于第一代 GMS 卫星在设计 and 有效载荷性能上有了重大改进。MTSAT 卫星采用了三轴稳定方式,星载扫描辐射器的通道数增加到 5 个,可见光/红外分辨率为 1km/4km,可提供高分辨率图像数据(HIRID)、低速率信息传输(LRIT)和低分辨率模拟云图(WEFAX)等遥感信息资料,卫星的综合性能指标有了较大幅

度的提升。GMS-5 卫星性能指标如表 1-3 所示。

表 1-3 日本 GMS-5 卫星性能指标

通道	波长/ μm	分辨率/km	扫描线	量化等级/b
可见光	0.55~0.90	1.25	2500×4	6
红外	10.50~11.50	5.00	2500	8
红外	11.50~12.50	5.00	2500	8
水汽	6.50~7.00	5.00	2500	8

4. 俄罗斯 GOMS 气象卫星

俄罗斯继承了前苏联的航天科技基础,卫星技术实力雄厚。其第一颗静止气象卫星 GOMS-1 于 1994 年 11 月发射升空,该卫星采用三轴姿态稳定方式,有效载荷为 3 通道扫描辐射器、辐射及测量系统和数据收集平台。但由于卫星姿态控制故障和设计错误,扫描辐射器可见光通道和水汽通道一直未能正常工作,卫星只能获得红外图像。俄罗斯 GOMS 卫星性能指标如表 1-4 所示。

5. 印度 INSAT 气象卫星

印度第一颗静止气象卫星 INSAT-1A 于 1982 年 4 月发射升空,该卫星为气象与通信多功能卫星。其后,又陆续研制应用了 INSAT-2 系列和 INSAT-3 系列,在全球大气研究计划和气象监测网中占有了一席之地。印度 INSAT-3A 卫星性能指标如表 1-5 所示。

表 1-4 俄罗斯 GOMS 卫星性能指标

通道	波长/ μm	分辨率/km
可见光	0.46~0.70	1.25
红外	10.00~12.50	6.50
水汽	6.00~7.00	6.50

表 1-5 印度 INSAT-3A 卫星性能指标

通道	波长/ μm	分辨率/km
可见光	0.55~0.75	2.00
红外	10.50~12.50	8.00
水汽	5.70~7.10	8.00

6. 我国气象卫星

我国气象卫星事业经历了创建、发展、壮大三个阶段,现已成为世界上少数几个同时具有研制发射极轨和静止气象卫星能力的国家之一。我国极轨系列气象卫星是以风云一、三、五……号(FY-1、FY-3、FY-5……)等奇数排序的;静止气象卫星则以风云二、四、六、……号(FY-2、FY-4、FY-6……)等偶数排序^[9]。

风云二号(FY-2)气象卫星是我国第一代静止轨道气象卫星,在我国的卫星研发计划中,风云二号静止气象卫星共有 3 个批次,01 批为风云二号 A 星和 B 星,这两颗星为试验型卫星。02 批卫星为风云二号 C 星、D 星和 E 星三颗卫星,这三颗卫星为业务型卫星。03 批有风云二号 F 星和 G 星两颗卫星,F 星和 G 星的性能将在前一批次的基础上进一步加以完善。03 批卫星的研发计划是在原有两个批次卫星发展计划后增加的,增加这两颗星的主要目的就是为了使我国一、二代地球静止轨道气象卫星实现在轨平稳过渡。风云二号系列地

球静止气象卫星将一直沿用到 2015 年,之后,它的在轨运行服务任务将由风云四号卫星取代^[10]。中国地球静止气象卫星预定的定点位置有三个:105°E、86.5°E 和 123°E,其中 105°E 为业务卫星的定点位置,其他两个位置一般是备份卫星或准备废弃卫星的位置。

1997 年 6 月 FY-2A 卫星发射升空,由此进入了我国地球静止气象卫星在轨运行的时代。2000 年 6 月 FY-2B 卫星发射升空,成功定点于 105°E 赤道上空,进入地球同步轨道,同年 7 月 6 日向卫星气象地面站发回首张可见光云图,7 月 20 日发回第一张红外和水汽云图。2004 年 10 月和 2006 年 12 月发射的 FY-2C 星和 FY-2D 星实现了我国气象卫星双星组网运行观测,将卫星观测时间周期缩短了一半,大大提高了卫星的连续观测能力和运行的可靠性。双星组网运行观测对发展较快、监测生命较短的小尺度天气系统的连续监测有着明显的优势。风云二号静止轨道气象卫星的控制姿态为自旋稳定式,FY-2B 之前的卫星有效载荷为 3 通道扫描辐射计,FY-2C 之后的卫星为 5 通道扫描辐射计,综合性能得到了较大改进和提高。风云二号卫星可对地球进行全天候连续气象监测,持续搜集地球空间环境的红外、可见光云图和大气水汽分布图等遥感信息,并不间断探测和发布地球大气状况、海洋状况和水文状况等多种气象和地理信息数据,实时监测太阳 X 射线、空间粒子辐射等信息^[11]。在世界气象组织的空间计划中,我国风云二号卫星被列为骨干业务卫星,承担着全球天气和气候的观测任务。我国 FY-2A 卫星的性能指标如表 1-6 所示。

表 1-6 我国 FY-2A 卫星性能指标

通 道	波长/ μm	分辨率/km	视场/ μrad	量化等级/b
可见光	0.55~1.05	1.25	35	6
红外	10.50~12.50	5.00	140	8
水汽	6.20~7.60	5.00	140	8

风云四号(FY-4)静止轨道气象卫星是中国气象局和中国人民解放军总参气象局为军民用户共用研制的新一代静止气象卫星,计划 2016 年完成发射。该型号卫星的设计遵循“军民综合应用”的原则,并充分考虑现有资源的综合利用,把农、林、海洋和水利领域的实际应用要求和环境、空间科学的科研需求等诸多科学领域的实际需求融合进来。风云四号卫星发展的重点主要有以下几个方面^[12]:

- (1) 在卫星的时间分辨率上进一步寻求提高,并增强卫星对指定区域探测的机动能力。
- (2) 针对小尺度天气系统监测的应用需求,有针对性地提高有效载荷成像仪性能。
- (3) 大力发展微波和大气垂直探测等新型探测手段,努力在高轨三维遥感等技术领域寻求实质性突破。

(4) 提高对空间天气和太阳的监测预警能力,拓展极紫外、X 射线等新型观测途径,丰富对太阳的观测手段。

风云四号卫星采用三轴稳定姿态控制方式,多功能设计,以多种有效载荷可协同完成观测,15 分钟就可以生成一幅地球圆盘图。表 1-7 列出了我国 FY-4 卫星的主要有效载荷。风云四号气象卫星重点扩展探测谱段,

表 1-7 我国 FY-4 卫星主要有效载荷

10 通道二维扫描成像仪
闪电成像仪
CCD 相机
干涉型大气垂直探测器
地球辐射收支仪

提高有效载荷时间、地域和光谱分辨率,加强三维探测能力,增加新颖的探测仪器,可全天候连续获取高质量的多信道卫星图像。

当前,我国气象研究分析机构在进行卫星图像导航时,仍主要使用人工选取地标、手工校正的交互式地标导航方法,工作重复性高、劳动量大、主观性强,缺乏一致性,其准确性过多依赖工作人员的专业经验,缺少自动化的工作平台和手段,与美国、欧洲存在较大差距。

1.2 卫星遥感图像处理相关技术

1.2.1 卫星遥感图像文件格式

卫星图像的接收存储是在遥感卫星地面站中完成的,收集到的数据通过数模转换变成数字数据。目前的卫星图像数据都是以数字形式保存的。随着计算机技术的飞速发展,卫星图像的保存格式也趋于标准化,大多采用了 TIFF 或者 GeoTIFF 的格式。从数据的文件内部读写格式上区分,大致可分为以下几种:

1) BSQ(Band Sequential)格式

BSQ 是按波段保存数据的,即一个波段保存后接着保存第二个波段。按图像的波段顺序分为独立文件记录存放,每个波段的文件则以像元的行、列序号排列。当图像处理仅需对一个波段的数据进行处理时,这种格式最为方便。只要调用所需的波段数据文件即可。

2) BIL(Band Interleaved by Line)格式

BIL 是按行保存数据的,即保存第一个波段的第一行后,接着保存第二个波段的第一行,依次类推。这种格式比较节省存储空间。

3) BIP(Band Interleaved by Pixel)格式

BIP 是按像元保存数据的,即先保存第一个波段的第一个像元,接着保存第二个波段的第一个像元,依次保存。这种格式最适于提取典型地物光谱曲线,分析遥感图像光谱特征,依据光谱特征进行合成增强以及自动识别分类处理,因为各个波段的同一个像元灰度值集中在一起,因此可以一次读出,调用方便。

4) HDF(Hierarchical Data Format)格式

随着高光谱成像技术的发展,卫星图像数据量急剧增大,传统的图像格式很难全面体现卫星信息,需要功能更强的记录卫星信息的图像文件格式。HDF 层次式文件格式是美国国家计算中心推出的一种新型数据格式,用于记录不同计算机平台产生的各类型的科学数据。

HDF 采用分层数据管理结构,通过层次式的方式,有效建立了文件内部对象之间的逻辑关系和组织方式。通过所提供的“总体目录结构”可直接从嵌套的文件中获得各种信息,在读取图像数据的同时,可以方便获取其地理定位、轨道参数、图像属性、图像噪声等各种信息参数。文件中的基本元素以 B 树节点的方式存储在文件中,借用关系数据库的信息检索技术,允许对象分散灵活存储并能高速访问。

1.2.2 红外遥感图像介绍

红外图像是卫星遥感信息的重要载体媒介,研究红外图像的生成机理及其特点性质,对

卫星红外图像的处理与应用具有重要的实践意义。

1. 红外图像的生成机理

红外成像技术是红外热辐射转换为可见光的波长转换技术,使用场景本身温度不同部分的辐射和发射率的差别来获取图像的特征^[13],将红外图像转换为肉眼可以识别的图像^[14]。自然世界中的所有对象,只要温度高于绝对零度时,总是在不断地发射辐射^[15]。通过收集并检测这些辐射,就能够形成一个图像^[16],这个图像与物体的温度分布相对应,反映了物体辐射发射率和温度不同部分的差异,体现了对象的特征,从而形成了红外热图像,即红外图像^[17]。红外图像的生成过程如图 1-1 所示。

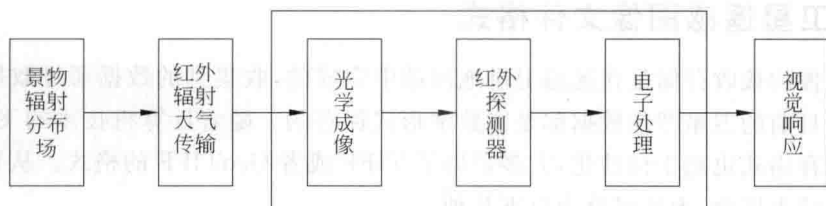


图 1-1 红外图像生成过程原理图

热成像系统借助光电转换功能,把人眼观察不到的红外图像转换成为人眼可识别的可见光图像。这种转换通过两个步骤来实现:

(1) 借助光学系统将红外热辐射经红外探测器转换为电信号,这一信号的强弱可以反映红外辐射的强度。

(2) 由电视成像系统进行处理,在监视器上将符合目标红外辐射强度分布的电子视频信号显示出来,完成了从电信号到可见光的转换,最终生成肉眼可以观察到的红外图像。

2. 红外图像的特点与性质

1) 红外图像的特点^[18]

(1) 红外图像中反映的目标与背景,其温度与发射功率都可以在图像的灰度分布中找到相应的对应关系。数字图像可以通过图像像素点的强弱抽取所需的基本信息。

(2) 红外图像在成像过程中,受成像系统的物理特性及系统缺陷的影响,会产生噪声、畸变等情况,使生成的红外图像具有非均匀性^[19]。

(3) 红外图像生成的各个环节都处于外部噪声环境的随机干扰下,加之成像系统自身存在缺陷,使得生成的红外图像中的噪声分布更为复杂,造成了红外图像的信噪比低于一般的电视图像。

(4) 红外图像需要借助二维数据处理的方法和随机信号分析的方法进行处理和分析,由此造成了红外图像处理时计算量、存储量巨大的特点。

(5) 红外图像中场景的红外辐射能量会受到大气的散射和吸收影响,造成不同程度的能量损耗,使得红外图像的分辨率和对比度与可见光图像有着较大的差距。

(6) 红外图像的边缘比较平滑,纹理信息很少,图像灰度方差变化非常小且灰度均值变化不大。

因为红外线的波长比无线电波短,比可见光长,所以红外图像的空间分辨率比雷达高、

比可见光低。由于成像器件本身受其自身物理特性、设计、安装缺陷,以及不可预测的外在环境干扰,都会对红外成像的效果产生影响^[20]。所以,需要对图像进行适当的处理,以得到适合人眼观察或机器识别的图像,才能从红外图像中正确地识别、检测出目标。

2) 红外图像的特征

红外图像的生成过程和可见光图像的生成过程存在很大差别^[21],图像的生成机理各异,导致红外图像的特征和可见光图像的特征也有很大不同,主要表现为以下几点:

(1) 红外图像成像属于被动成像,它是根据目标的温度或者是辐射率存在的差别成像。可见光图像成像属于主动成像,它依据的是物体反射率存在的差别进行成像。

(2) 红外图像的空间分辨率和可见光图像的空间分辨率存在差异。因为红外线的波长比可见光长,所以红外图像的空间分辨率比可见光图像低。

(3) 对于一个相同的景物,红外和可见光图像的灰度差别很大。红外图像灰度层次没有可见光图像的那么分明。

(4) 红外图像的纹理特征和可见光图像的差别较大。红外图像纹理特征很少,不能像可见光图像那样很好地反映物体表面的纹理信息。

(5) 红外图像的边缘特征和可见光图像存在差异。红外图像边缘要比可见光图像的更加平滑,边缘结构也较为简单,而且,在同一个场景下,红外图像的边缘还存在着一定程度的缺失和偏移。

(6) 红外图像中各像素点之间的相关性和可见光图像的差别较大。在相同场景的图像中,由于红外图像所包含的低频成分比例较大,所以各像素之间的相关长度比可见光的长。

正是因为红外和可见光图像之间存在着较大的特征差别,将直接影响对图像的互补特征分析与利用,特别是在图像区域匹配时要充分考虑这些区别。

1.2.3 Trie 树数据结构

Trie 树^[22]数据结构的核心思想是以空间换时间,利用字符串的公共前缀来降低查询时间的开销,达到提高效率的目的。

Trie 树,即字典树,又称作单词查找树,是一种树形结构。Trie 树最典型的应用是对大量字符串进行排序,在各种搜索引擎系统中,它经常被用来进行文本词频的统计,它的优点是最大限度地减少无谓的字符串比较,主要有 3 个基本性质:

(1) 它的根节点不包含任何字符,除了根节点以外,每个节点都只包含有一个字符。

(2) 从根节点出发到任何一个节点,将其路径上经过的各节点即各字符连接起来,就是这个节点所对应的字符串。

(3) 在整个 Trie 树结构中,每个节点的所有子节点中包含的字符都不相同。

Trie 树本质上是一棵存储多个字符串的树,相邻节点间的边代表一个字符,树的每条分支代表一个子串,而树的叶节点则代表完整的字符串,且相同的字符串前缀共享同一条分支。对于目标网格中的经纬度数组,每一位数字就是一个字符,一组经纬度数据就是一个完整的字符串。假设要查询的一个目标网格纬度值是 12.344 321,那么在全球海岸线数据集中,以“0、2、3、4、5、6、7、8、9”开头的就可以不必考虑了,而只要找以“1”开头的数组中是否存在 12.344 321 就可以了,同样,在以“1”开头的数组中,只要考虑以“2”作为第二个字符的,一次次缩小范围可