

刘朝霞 邵峰 廖圣龙◎著

基于特征的航空遥感图像 配准及部件检测技术

非外信



科学出版社

基于特征的航空遥感图像配准 及部件检测技术

刘朝霞 邵峰 廖圣龙 著

本研究得到 2019 年度大连外国语大学学科建设专项经费资助

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书以作者近年来在遥感图像配准技术和部件检测方面的研究成果为主线,结合国内外相应的发展动态,较全面系统地介绍遥感图像配准和部件检测技术的基本理论和近年来的新方法与新成果。书中围绕遥感图像配准过程和部件检测中遇到的几个重要问题,对基于点特征、基于区域特征、基于结构特征的三种图像配准技术及基于视觉约束能量最小化的特征点配准技术,输电线故障检测算法,基于局部特征和主动轮廓模型、基于局部特征和空间分布特征、基于颜色聚类和纹理特征三种绝缘子检测算法,以及绝缘子缺陷检测算法分别进行详细的阐述。对每种算法采用的方法进行重点分析,并介绍其主要应用情况。本书介绍的成果在国内遥感监测实践中得到了应用,也为解决其他领域模式识别及故障检测中遇到的问题提供了依据。

本书内容新颖,实用性强,可作为遥感技术与应用、模式识别、图像处理等相关专业的研究人员、工程技术人员、高校教师、研究生等的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

基于特征的航空遥感图像配准及部件检测技术/刘朝霞,邵峰,廖圣龙著. —北京:科学出版社,2019.8

ISBN 978-7-03-061342-4

I. ①基… II. ①刘…②邵…③廖… III. ①航空遥感-图像处理②航空设备-遥感设备-故障检测 IV. ①TP72②V243.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第107615号

责任编辑:孙露露 王会明 / 责任校对:王颖

责任印制:吕春珉 / 封面设计:东方人华平面设计部

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>

三河市骏志印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019年8月第一版 开本:787×1092 1/16

2019年8月第一次印刷 印张:12

字数:270 000

定价:98.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈骏杰〉)

销售部电话 010-62136230 编辑部电话 010-62138978-2010

版权所有,侵权必究

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

前 言

图像配准和部件检测是图像处理中的重要内容，并且是极富挑战性的研究和应用领域。目前此项技术已经在遥感、医学图像分析、制图、机器视觉和模式识别等领域得到广泛应用。与航天遥感相比，航空遥感更为机动、灵活，具有获取图像周期短、分辨率高并且不受地面条件的限制、资料回收方便，以及能够实时动态检测等特点，因而被广泛应用于军事、农业、林业、地质、矿产、水文和水资源、海洋、环境等领域的侦察监测。在航空遥感图像的实际拍摄过程中，对同一场景或目标区域使用相同或不同的传感器（成像设备），在不同条件（天气、照度、摄像位置和角度等）下获取的两个或多个图像会存在复杂的背景干扰、分辨率、灰度属性、位置（平移和旋转）、比例尺、非线性变形等方面的变化，为环境监测带来极大的挑战。例如，图像间变化比较大导致的特征匹配不一致、背景噪声引起的误检测、不同种类配件的检测结果不同等。因此，在图像配准中需要分析动态变化的图像、含重复特征多的图像、重叠区域小的图像、发生亮度变化的图像，以提高配准算法的效率和准确性为目的，从不同角度入手，对目前航空遥感图像配准技术进行深入分析和研究；在部件检测中，需要分析不同配件在不同环境背景下的各种图像数据，研究针对不同情况的检测方法，为输电线及其相关部件的检测识别和故障诊断提供支持，以便快速准确地检测出各种情况出现的故障，实现真正意义上的智能巡线。

在目前的航空遥感应用中，尤其是在检测动态变化、亮度变化、几何变化比较大，以及相似特征比较多、重叠区域比较小、背景复杂的图像时，容易出现误差较大的问题，而且海量的遥感数据也对算法的效率提出了较高要求。因此，算法的准确性、效率和稳定性仍为亟待解决的问题。这些问题不仅是遥感领域而且也是模式识别领域的热点问题，仍具有挑战性，因此航空遥感图像的配准及故障检测是具有现实意义和科研价值的重要课题。

近年来，航空遥感图像配准技术和部件检测技术作为基础研究，无论是方法还是应用都在不断地涌现和扩展。因此，很有必要向读者及时地介绍该领域涌现出来的新的研究成果。本书是在作者及其研究团队多年航空遥感监视监测技术科研工作的基础上撰写而成的。其内容以作者的理论研究成果为主线并结合国内外相关研究的发展动态，系统介绍航空遥感的单模图像配准技术和部件检测技术的基本理论与方法。

本书的特点是：从点特征、区域特征及结构特征信息入手，针对遥感图像配准中由于重叠区域低、特征单一、大尺度仿射变换及亮度变化导致的匹配不一致问题和故障检测中背景干扰问题，重点介绍基于点特征、基于区域特征、基于结构特征的三种图像配准技术及基于视觉约束能量最小化的特征点配准技术，输电线故障检测算法，基于局部特征和主动轮廓模型、基于局部特征和空间分布特征、基于颜色聚类 and 纹理特征三种绝

缘子检测算法，以及绝缘子缺陷检测算法。全书涉及图像配准和部件检测过程中的特征提取、特征描述及特征匹配与部件识别的最新研究成果，为解决其他领域的模式识别及故障检测所遇到的问题提供依据。这些成果在国内遥感监测实践中得到了应用，取得了良好的社会价值和经济效益，同时也在国际遥感领域获得了专家的认可。

本书共分为5章，第1章主要介绍遥感技术发展概况、航空遥感的特点及航空遥感图像配准和输电线图像中部件检测技术的研究现状；第2章主要介绍图像特征提取方法、特征描述及特征匹配，重点介绍点特征、区域特征、基于结构的特征描述及特征匹配方法；第3章主要介绍图像配准和部件检测算法原理及相关技术；第4章重点介绍航空遥感图像配准技术，主要从点特征、区域特征及结构特征信息入手，针对图像配准中由重叠区域低、特征单一、大尺度仿射变换及亮度变化导致的匹配不一致问题，分别对基于点特征、基于区域特征、基于结构特征的三种图像配准技术及基于视觉约束能量最小化的特征点配准技术进行详细阐述，实现了对遥感图像的高效、准确和稳定配准；第5章重点介绍航拍输电线图像中部件检测技术，包括输电线故障检测算法研究，基于局部特征和主动轮廓模型、基于局部特征和空间分布特征、基于颜色聚类 and 纹理特征的三种绝缘子检测算法研究，以及绝缘子缺陷检测算法研究。输电线故障检测中主要介绍如何检测输电线上是否有异物附着或者是否断股以及输电线上相关部件的检测（防震锤），绝缘子图像处理中主要介绍绝缘子检测技术和绝缘子缺陷检测技术。

本书成书于大连外国语大学软件学院应用转型期间，出版之际，衷心感谢安居白教授、祁瑞华教授在本书编写过程中给予的指导和支 持。特别感谢“2019年度大连外国语大学学科建设专项经费资助项目”对本书的资助。

由于作者水平有限，书中难免存在疏漏与不妥之处，恳请读者批评指正。

刘朝霞

2019年1月

于大连外国语大学

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 遥感技术发展概况	1
1.1.1 遥感技术相关概念	1
1.1.2 航空遥感成像方式	3
1.2 航空遥感的特点	5
1.3 航空遥感图像处理技术研究现状	6
1.3.1 航空遥感图像配准技术研究现状	6
1.3.2 输电线图像中部件检测技术研究现状	11
第 2 章 图像特征提取、特征描述及特征匹配	17
2.1 图像的点特征	17
2.1.1 Harris 特征点	17
2.1.2 SIFT 特征点	18
2.1.3 SURF 特征点	19
2.2 图像的区域特征	20
2.2.1 Hessian 仿射区域特征	20
2.2.2 最大稳定极值区域特征	20
2.3 特征描述	21
2.3.1 基于直方图分布的描述符	21
2.3.2 基于空间频率技术的描述符	22
2.3.3 基于统计的描述符	22
2.3.4 多尺度自动卷积区域描述符	23
2.3.5 几何均值距离	24
2.3.6 基于形状的描述符	24
2.3.7 基于空间关系的描述符	26
2.4 特征匹配	26
2.4.1 基于局部特征相似性的特征匹配	27
2.4.2 基于空间关系的特征匹配	27
2.4.3 局部特征和空间关系结合的特征匹配	28
第 3 章 图像配准及部件检测技术	29
3.1 图像配准技术	29
3.1.1 图像配准原理	29
3.1.2 图像配准方法	31

3.2	部件检测技术	36
3.2.1	基于直线的部件检测	36
3.2.2	基于特征的部件检测	37
3.2.3	基于轮廓和结构特征的部件检测	39
3.2.4	图像分割技术	41
第4章	航空遥感图像配准技术	43
4.1	基于点特征的航空遥感图像配准技术	43
4.1.1	特征点提取	43
4.1.2	特征点匹配	44
4.1.3	实验和结果分析	50
4.2	基于区域特征的航空遥感图像配准技术	54
4.2.1	基于三角形区域的图像配准算法	54
4.2.2	基于亮度仿射不变量 IIMS A 的图像配准算法	64
4.3	基于结构特征的航空遥感图像配准技术	77
4.3.1	基于结构特征的图像配准模型	77
4.3.2	基于 K 近邻图结构的航空遥感图像特征快速配准算法	79
4.3.3	基于受限空间顺序约束的特征配准算法	86
4.4	基于视觉约束能量最小化的特征点配准技术	106
4.4.1	匹配模型	107
4.4.2	匹配算法	108
4.4.3	实验与结果分析	109
4.5	遥感图像配准技术的应用	113
第5章	航空遥感图像部件检测技术	121
5.1	输电线故障检测算法研究	121
5.1.1	输电线视频图像分析	122
5.1.2	输电线故障检测算法	123
5.1.3	实验与结果分析	129
5.2	基于局部特征和主动轮廓模型的绝缘子检测算法研究	132
5.2.1	局部特征提取和描述	132
5.2.2	基于局部特征和主动轮廓模型的绝缘子分割算法	135
5.2.3	实验与结果分析	139
5.3	基于局部特征和空间分布特征的绝缘子检测算法研究	141
5.3.1	特征库(空间关系特征)	141
5.3.2	绝缘子检测算法	142
5.3.3	实验与结果分析	144
5.4	基于颜色聚类和纹理特征的绝缘子检测算法研究	147
5.4.1	彩色绝缘子图像的纹理特征提取	148

5.4.2 绝缘子检测算法描述	150
5.4.3 实验与结果分析	156
5.5 绝缘子缺陷检测算法研究	161
5.5.1 绝缘子缺陷检测算法描述	162
5.5.2 实验与结果分析	166
参考文献	170

第1章 绪 论

任何物体都有不同的电磁波反射或辐射特征。遥感技术就是通过人造卫星、飞机或其他飞行器上应用的各种传感器对远距离目标所辐射和反射的电磁波信息进行收集、处理,感知目标的某些特性并加以探测、分析和识别的技术。它是20世纪60年代在航空摄影和判读的基础上随航天技术和电子计算机技术的发展而逐渐形成的综合性感测技术。遥感技术的最大优点是能于短时间内取得大范围的数据信息,以图像与非图像方式表现出来,可以代替人类前往难以抵达或危险的地方观测^[1]。

1.1 遥感技术发展概况

下面分别从遥感平台、传感器类型、研究对象及空间分辨率等不同的角度介绍遥感相关技术,并介绍航空遥感的成像方式。

1.1.1 遥感技术相关概念

1. 航天遥感、航空遥感和地面遥感

根据遥感平台分类,遥感大体上可分为航天遥感、航空遥感和地面遥感三大类。

(1) 航天遥感

航天遥感又称太空遥感(space remote sensing),泛指以利用各种太空飞行器为平台的遥感技术系统。它以地球人造卫星为主体,包括载人飞船、航天飞机和太空站,有时也把各种行星探测器包括在内。卫星遥感(satellite remote sensing)为航天遥感的组成部分,以人造地球卫星作为遥感平台,主要利用卫星对地球和低层大气进行光学和电子观测。航天遥感使用的极地轨道卫星的高度一般约1000km,静止气象卫星轨道的高度约3600km。

(2) 航空遥感

航空遥感(aerial remote sensing; airborne remote sensing)又称机载遥感,是指利用各种飞机、飞艇、气球等作为传感器运载工具、在空中应用的遥感技术系统,是由航空摄影侦察发展而来的一种多功能综合性探测技术。航空遥感按飞行高度可分为低空(600~3000m)、中空(3000~10000m)和高空(10000m以上)三级,此外还有超高空(U-2侦察机)和超低空的航空遥感。航空遥感具有机动、灵活的特点。

由此可见,航天遥感和航空遥感的区别主要包括两点:一是使用的遥感平台不同;二是遥感的高度不同。

(3) 地面遥感

地面遥感主要指以高塔、车、船为平台的遥感技术系统,地物波谱仪或传感器安装在这些地面平台上,可进行各种地物波谱测量。

2. 可见光-近红外遥感、红外遥感和微波遥感

根据传感器感知电磁波波长的不同, 遥感又可分为可见光-近红外 (visible-near infrared) 遥感、红外 (infrared) 遥感及微波 (microwave) 遥感等^[2]。

(1) 可见光-近红外遥感

可见光-近红外遥感是利用可见光 ($0.4\sim 0.7\mu\text{m}$) 和近红外 ($0.7\sim 2.5\mu\text{m}$) 波段的遥感技术的统称, 前者是人眼可见的波段, 后者即是反射红外波段, 人眼虽不能直接看见, 但其信息能被特殊传感器接收。它们的共同特点是, 其辐射源是太阳, 在这两个波段上只反映地物对太阳辐射的反射, 根据地物反射率的差异, 就可以获得有关目标物的信息, 它们都可以用摄影方式和扫描方式成像。

(2) 红外遥感

红外遥感是通过红外敏感元件探测物体的热辐射能量, 显示目标的辐射温度或热场图像的遥感技术的统称。红外遥感指 $8\sim 14\mu\text{m}$ 波段范围, 地物在常温 (约 300K) 下热辐射的绝大部分能量位于此波段。在此波段, 地物的热辐射能量大于太阳的反射能量。红外遥感具有昼夜工作的能力。

(3) 微波遥感

微波遥感是利用波长 $1\sim 1000\text{mm}$ 电磁波的遥感技术的统称。通过接收地面物体发射的微波辐射能量, 或接收传感器本身发出的电磁波束的回波信号, 对物体进行探测、识别和分析。微波遥感的特点是对云层、地表植被、松散沙层和干燥冰雪具有一定的穿透能力, 又能夜以继日地全天候工作。

3. 资源遥感和环境遥感

按照研究的对象分类, 遥感又可分为资源遥感和环境遥感两大类。

资源遥感是以地球资源作为调查研究对象的遥感方法和实践, 调查自然资源状况和监测再生资源的动态变化, 是遥感技术应用的主要领域之一。利用遥感信息勘测地球资源, 成本低、速度快, 有利于克服自然界恶劣环境的限制, 减少勘测投资的盲目性。

环境遥感是利用各种遥感技术, 对自然与社会环境的动态变化进行监测或作出评价与预报的统称。由于人口的增长与资源的开发、利用, 自然与社会环境随时都在发生变化, 利用遥感多时相、周期短的特点, 可以迅速为环境监测、评价和预报提供可靠依据。

4. 空间分辨率、时间分辨率、光谱分辨率和温度分辨率

在遥感图像处理及应用中, 需要考虑几个基本要素, 即空间分辨率、时间分辨率、光谱分辨率和温度分辨率^[2]。

(1) 空间分辨率

空间分辨率是指遥感影像上一个像元所对应的地面实际面积的大小, 是用来表征图像分辨地面目标细节能力的指标, 是评价传感器性能和遥感信息的重要指标之一, 也是识别地物形状大小的重要依据。通常用像元大小、像解率或瞬时视场角来表示。

像元是指单个像元所对应的地面面积的大小, 以 m (米) 或 km (千米) 为单位。

航空遥感的分辨率一般能达到 0.5~0.25m 或者更高的精度。例如,美国 QuickBird 商业卫星一个像元相当于地面面积 $0.61\text{m} \times 0.61\text{m}$,其空间分辨率为 0.61m。像元是扫描影像的基本单位,由行、列号及对应的亮度值描述。像元越小,空间分辨率越高。

像解率,用单位距离内能分辨的线宽或间隔相等的平行细线的条数来表示,如线/mm 或线对/mm。

瞬时视场角是指传感器内单个探测元件的受光角度或观测视野,单位为 mrad,瞬时视场角越小,空间分辨率越高。瞬时视场角取决于传感器光学系统和探测器的大小,一个瞬时视场角内往往包含不止一种地物覆盖类型,这就是“混合像元”,其中包含的每一种类型称为“纯”的“终端单元”。

(2) 时间分辨率

时间分辨率是指在同一区域进行的相邻两次遥感观测的最小时间间隔。对轨道卫星,也称覆盖周期。时间间隔大,时间分辨率低;反之,时间分辨率高。航空遥感调查周期短,其时间分辨率往往比较高。时间分辨率是评价遥感系统动态监测能力的重要指标。根据地球资源与环境动态信息变化的快慢,可选择适当的时间分辨率范围。

(3) 光谱分辨率

光谱分辨率是指成像的波段范围,光谱分得越细,波段越多,光谱分辨率就越高,现在的技术可以达到 6nm (纳米)量级、400 多个波段。细分光谱可以提高自动区分以及识别目标性质和组成成分的能力。

(4) 温度分辨率

温度分辨率是指热红外传感器分辨地表热辐射(温度)最小差异的能力。

1.1.2 航空遥感成像方式

利用安装在飞机(或气球)上的航空摄影机,按照预定的计划从空中向地面摄影取得航空照片(aerial photos)的全部作业过程(包括飞行摄影、暗室冲洗、质量评定等环节)称为航空摄影。航空摄影一般选在上午或下午,因为上午或下午地面上的景物比较清晰,有足够的光照度,容易收到较好的影调效果。如果地面上有雾,那么拍摄时需要使用适当的滤光器,以增强画面的反差。

航空遥感成像方式除传统的航空摄影外,有多波段摄影、彩色红外和红外摄影、多波段扫描和红外扫描、侧视雷达等成像遥感方式;还有进行激光测高、微波探测、地物波谱测试等非成像遥感方式。航空遥感所用的传感器多为航空摄影机、航空多谱段扫描仪和航空侧视雷达等^[3]。由航空摄影机获取的图像资料为多种形式的航空照片(如黑白片、黑白红外片、彩色片、彩红外片等)。由航空多谱段扫描仪可获得多光谱航空照片,其信息量大大多于单波段航空照片。航空侧视雷达从飞机侧方发射微波,在遇到目标后,其后向散射的返回脉冲在显示器上扫描成像,并记录在胶片上,产生雷达图像。下面分别对常见航空遥感成像方式进行简要介绍。

1. 航空摄影

航空摄影现在多采用数字摄影技术,航空数字摄影是通过放置在焦平面的光敏元

件,经过光电转换,以数字信号来记录物体的影像。依据探测波长的不同,可分为近紫外摄影、可见光摄影、红外摄影、多光谱摄影等。摄影机可分为分幅式摄影机、全景式摄影机和多光谱摄影机。分幅式摄影机一次曝光得到目标物一幅照片,镜头分为常角、宽角和特宽角。全景式摄影机分为缝隙式和镜头转动式。多光谱摄影机又分为多相机组合、多镜头组合和光速分离型三种。多光谱摄影机可同时直接获取可见光和近红外范围内若干分波段影像。

2. 扫描成像

扫描成像是依靠探测元件和扫描镜对目标物体以瞬时视场角为单位进行逐点、逐行取样,以得到目标地物电磁辐射特征信息,形成一定谱段的图像。其探测波段可包括紫外、红外、可见光和微波波段。成像方式有以下三种。

(1) 光/机扫描成像

光/机扫描仪是一种对地表的辐射分光后进行观测的机械扫描型辐射计。它是把搭载扫描仪的飞行平台的移动与利用旋转镜或摆动镜对平台移动的直角方向进行扫描结合起来,从而得到二维信息的遥感器。光/机扫描的几何特征取决于瞬时视场角、总视场角。进行扫描成像时,总视场角不宜过大,否则图像边缘的畸变太大。通常在航空遥感中,总视场角取 $70^{\circ} \sim 120^{\circ}$ 。光/机扫描仪可分为单波段和多波段两种。多波段扫描仪的工作波段范围很宽,从近紫外、可见光至远红外都有。

(2) 固体自扫描成像

固体自扫描成像是用固定的探测元件,通过遥感平台的运动对目标进行扫描的一种成像方式,目前常用的探测元件是电荷耦合器件 CCD (charge-coupled device)。CCD 通过光学系统一次获得一条线的图像,然后由多个固体光电转换元件进行电扫描,将探测器搭载于飞行平台上,通过和探测器成正交方向的移动而得到目标物的二维信息。CCD 通过自扫描,具有感受波谱范围宽、畸变小、体积小、重量轻、系统噪声低、功耗小、寿命长、可靠性高等优点。

(3) 高光谱成像光谱扫描

通过多波段扫描仪将可见光和红外波段分割成几个到几十个波段。对遥感而言,在一定波长范围内,被分割的波段数越多,即波谱取样点越多,越接近于连续波谱曲线,因此可以使扫描仪在取得目标地物图像的同时也能获取该地物的光谱组成。这种既能成像又能获取目标光谱曲线的“谱像合一”的技术称为成像光谱技术。

按成像光谱技术原理制成的扫描仪称为成像光谱仪。成像光谱仪是新一代传感器,于 20 世纪 80 年代正式开始研制。成像光谱仪的目的是在获取大量目标窄波段连续光谱图像的同时,获得每一个像元几乎连续的光谱数据,主要应用于高光谱航空遥感。

高光谱成像光谱仪获取的图像由多达数百个波段的非常窄的连续的光谱波段组成,光谱波段覆盖了可见光、近红外、中红外和热红外区域的全部光谱带。光谱成像多采用扫描式或推帚式,可以收集 200 个或 200 个以上波段的数据。图像中的每一像元均得到连续的反射率曲线。

3. 雷达成像

雷达意为无线电测距和定位,是由发射机通过天线在很短时间内,向目标地物发射一簇很窄的大功率电磁波脉冲,然后用同一天线接收目标地物反射的回波信号而进行显示的一种传感器。不同物体,回波信号的振幅、相位不同,故接收处理后,可测出目标地物的方向、距离等数据。按发射波源,雷达可分为红外雷达和激光雷达。按工作方式,雷达可分为成像雷达(真实孔径侧视雷达和合成孔径侧视雷达)和非成像雷达。

雷达成像属于微波遥感的一种,其特点如下:

- ① 可全天候、全天时工作。
- ② 对某些地物具有特殊的波谱特征,如水和冰,它们的微波波段发射率有差异。
- ③ 对冰、雪、森林、土壤(尤其对干燥、松散物质)等具有一定的穿透能力。
- ④ 适宜对海面动态情况(海面风、浪)进行监测,对海洋遥感具有特殊意义。
- ⑤ 分辨率低,但特征明显。

1.2 航空遥感的特点

与航天遥感相比,航空遥感有着许多不可比拟的优点。首先飞机可在监测区域做长时间的盘旋飞行,易于观测目标的动态变化。另外,航空遥感机动灵活,在突发事件发生时能及时升空监测,并且飞行器可根据需要调整飞行高度,可在云层下飞行而少受云的干扰,且可以获得高分辨率数据。航空遥感的优点总结如下。

(1) 航空遥感空间分辨率高,信息容量大

通常情况下,空间分辨率越高,识别地物的能力越强。但实际上每一目标在图像上的可分辨程度,不完全由空间分辨率决定,还与目标的形状、大小以及它周围的亮度、结构的差异有关。

利用航空图像可以取得较精确的位置、方位、距离、面积、高度、体积和坡度等数据。利用空间分辨率来选择遥感数据时,主要考虑需要识别的地物的最小尺寸,数据量对计算机存储、计算的压力以及成本。航空遥感主要服务于较大比例尺的区域资源与环境详查、制图,以及解决工程技术上的具体问题,其经济效益与社会效益明显。

(2) 航空遥感灵活,适用于一些专题遥感研究

航空遥感可以根据用户的需求,灵活选择具有特定空间分辨率、波谱分辨率、时间分辨率的传感器,设计航空遥感飞行的方案和路线等。

(3) 航空遥感作为实验性技术系统,是各种星载遥感器的先行检验者

一般来说,检测传感器的功能首先需要用遥感飞机作为平台在地面实验场上空采集数据。可以认为,一切星载传感器都是以机载试验为前提的。

(4) 信息获取方便

航天遥感需要发射卫星,因此受时间和空间的限制,不能随时对目标进行观测。而航空遥感的平台主要是飞机,所受限制少,可以随时随地对需要侦察或普查的地区进行遥感。

与其他遥感技术系统一样,航空遥感也有其固有的弱点,主要表现在:航空遥感受天气等条件限制大;航空遥感的观察范围受限制;航空遥感数据的周期性和连续性不如航天遥感。

1.3 航空遥感图像处理技术研究现状

本节重点介绍航空遥感图像配准技术和部件检测技术研究现状。

1.3.1 航空遥感图像配准技术研究现状

1. 航空遥感图像配准的背景及意义

航空遥感具有机动、灵活,获取图像周期短、分辨率高并且不受地面条件的限制,资料回收方便,以及能够实时动态检测等特点,因此被广泛应用于军事、农业、林业、地质、矿产、水文和水资源、海洋、环境等领域的侦察监测,以及台风、洪水、地震、海啸、海洋污染等大型灾难与事故的处理^[4,5]。

另外,由于飞行高度以及摄像设备等各种因素的限制,在研究区域较大时,一幅图像往往不能完全覆盖整个目标,因此可能需要将连续拍摄的两幅或者多幅序列图像拼接成一幅完整的目标区域的全景图像,为后期的目标监测、事故跟踪等工作提供基础数据,这就需要图像配准技术。除此之外,由于航空遥感的数据量往往比较大,巡航周期短,为了更好地发挥航空遥感的实时性特点,也要求相应的配准算法不仅要准而且要快。

图像配准(image registration)是图像处理中的一个重要环节,并且是极富挑战性的研究领域。图像配准就是将不同时间、不同传感器或不同条件下获取的两幅或多幅图像进行匹配、叠加而使图像上的同名点精确对准的过程。各种图像配准的文献都会出现“配准”“匹配”“几何校正”三个词,它们的含义比较相似:一般求两幅图像的几何变换使两幅图像坐标达到一致的过程叫“配准”;寻找对应特征(点)的过程叫“匹配”;根据参考图像和待配准图像之间的几何变换关系,对待配准图像进行逐像素处理使其变为配准图像的过程叫“几何校正”。

通过对两幅图像进行配准,使得多模信息融合成为可能,可以从现有数据中进一步获得场景的深度信息、检测场景的变化以及识别和跟踪运动目标。图像配准已经被广泛应用于遥感、医学图像分析、制图、机器视觉和模式识别等领域^[6]。尽管如此,在不同的时间、不同的光照、不同的视角及不同的传感器下获取的图像,它们之间会发生很大的变化,对于这些图像的配准仍没有一个通用的方法。目前大部分研究都是针对某一方面的问题,例如一些关于处理宽视角的算法^[7-9]。而对含低重复区域、大尺度仿射变换及亮度变化的图像配准仍是研究的难点。此外,配准的精度和有效性仍是研究者十分关注的热点问题,配准算法的精确性和有效性会影响很多实际的应用,如图像融合、图像镶嵌、时序图像分析、目标变化检测、目标识别等。

航空遥感领域是图像配准技术的重要应用领域之一^[10-12]。但是,由于航空遥感应用的特殊性,航空遥感图像配准也存在许多因为应用环境的不同而具有的特点。在航空遥

感图像的实际拍摄过程中,由于对同一场景或目标区域使用相同或不同的传感器(成像设备),在不同条件(天气、照度、摄像位置和角度等)下获取的两个或多个图像会有所差异。其差别表现在分辨率、灰度属性、位置(平移和旋转)、比例尺、非线性变形等方面。

在航空遥感成像过程中,影响配准精度的干扰因素主要有如下几个方面:

① 由于飞行高度、飞行方向和相机视角的不同,仅用 GPS(global position system, 全球定位系统)获取的图像间的变换关系不准确,因此在相机参数未知的情况下,基于图像内容的配准就变得十分必要。

② 由于目标自身(形状、温度)的变化,同一目标的红外图像在细节和亮度上发生变化。

③ 若目标单一,背景简单,则获取的航空遥感图像重复特征较多,仅依赖局部描述符将会导致误匹配。

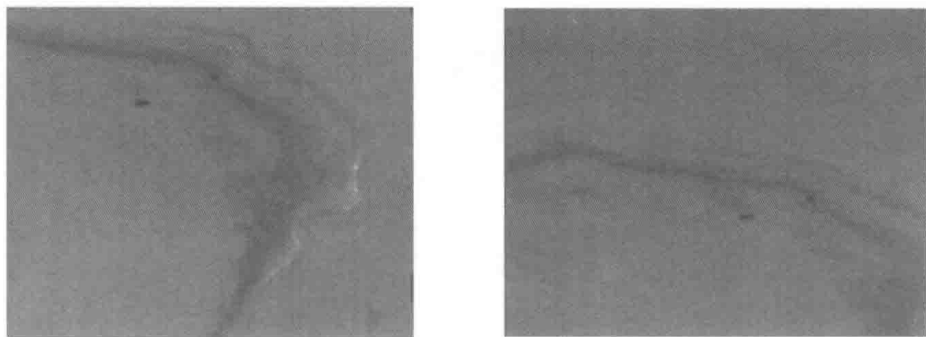
④ 传感器成像设备的限制也会影响配准精度。例如,红外传感器是热成像设备,而目标物体导热特性和环境的因素以及红外热像系统的限制都能影响成像效果,这样就导致红外图像普遍对比度低,特征不明显。

⑤ 环境因素的影响也会影响配准精度,包括光线的变化和环境的干扰。光线的变化有可能导致不同时间拍摄的图像在亮度上发生很大的变化,而环境的干扰则有可能导致出现容易混淆的特征。

⑥ 在航空拍摄过程中,相机在低帧频下获取的序列图像含有的重叠区域较低,这可能导致在非重叠区域出现较多的误匹配特征。

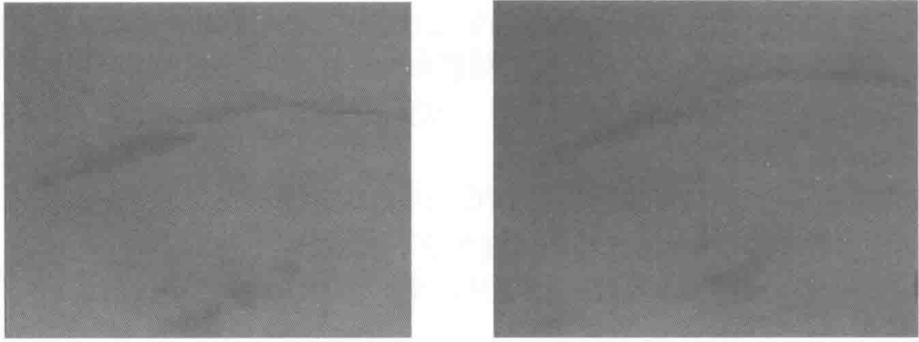
上述干扰因素导致航空遥感图像具有动态变化、亮度变化、几何变化大、相似特征多、重叠区域小等特点。航空遥感图像的这些特点使得在图像配准过程中存在很多干扰特征,给图像配准带来极大困难。因而,对航空遥感图像配准算法进行系统的研究和总结十分必要。

图 1.1 给出了六组典型的航空遥感图像。

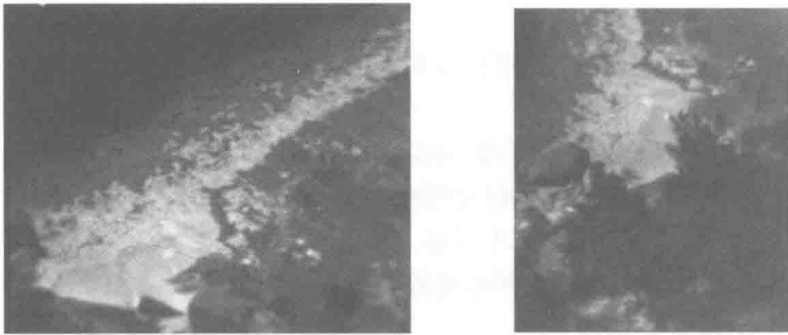


(a) 目标发生动态变化的红外图像

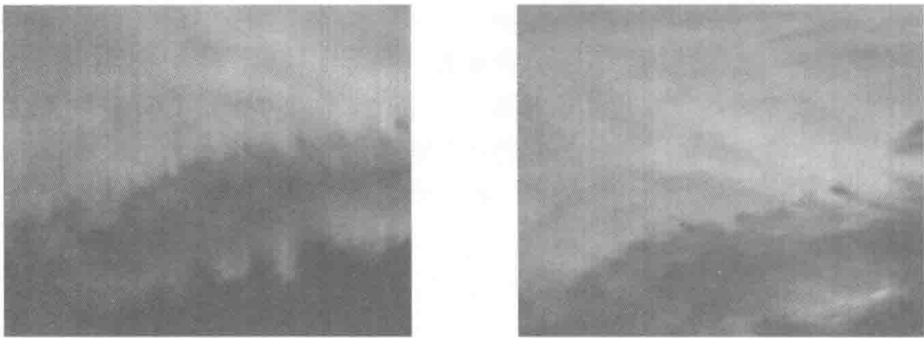
图 1.1 六组典型航空遥感图像



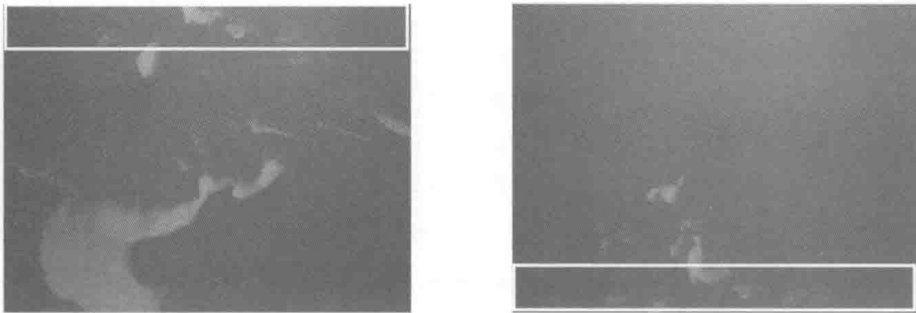
(b) 亮度变化的红外图像



(c) 几何变化较大的红外图像

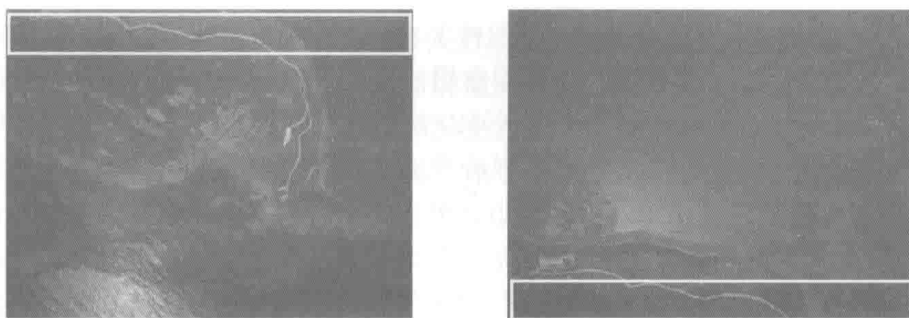


(d) 含相似特征的红外图像



(e) 重叠区域低且特征相似的可见光图像

图 1.1 (续)



(f) 重叠区域低的可见光图像

图 1.1 (续)

2. 航空遥感图像配准技术的研究现状

遥感领域的图像配准技术最早出现在 20 世纪 70 年代, Anuta^[13,14]和 Barnea 等^[15]提出了利用绝对偏差对特征的相似性进行比较,实现了对卫星遥感图像的自动配准。自此之后,基于不同特征和算法思想的配准技术相继出现。

相位相关图像配准方法首先由 Kuglin 和 Hines^[16]提出。此后, Hoge 等^[17]用相位相关匹配方法对多维图像进行配准。Erives 等^[18]采用增强的相位相关法进行高光谱图像配准。

基于边缘的图像配准方法也得到了研究和应用。Takagi 等^[19]根据 NOAA 卫星遥感图像中海岸线较为明显且常年保持不变的特点,提出了基于遥感图像边缘的快速匹配算法。该算法由遥感图像沿海岸线取出若干典型区域进行边缘提取,然后由标准海岸线数据形成与这些边缘区域相对应的标准海岸线区域,最后将这些区域作为图像特征,根据它们之间的配准结果确定实际遥感图像的空间几何变形参数。Hirata 等^[20]又进一步将这些方法用于不同分辨率遥感图像间的匹配。Flusser^[21]针对变形图像间的配准又提出了自适应映射方法,自动地对两幅遥感图像进行分割,使得分割后的两幅图像上相应子块间的相似度最大,最终通过这些子块之间的空间位置关系对原来的两幅图像进行配准。

基于区域的图像配准算法中,比较典型的包含以下几种。一种是 Arévalo 和 González^[22]通过改进分段线性变换,处理高光谱图像中存在的几何扭曲的图像配准,并通过改变边的连接得到改进的三角网,以提高配准精度。另一种是 Shah 等^[23]找到稳定的河流作为 PIFs (pseudo-invariant features, 伪不变特征),对这些伪不变量区域用矩不变量描述,以配准植被或者用地发生变化的卫星图像来评价植被和用地的变化。还有一种是 Fan 等^[24]提出了改进的最大化互信息图像配准,该方法通过基于特征的选择机制结合空间信息和互信息进行配准。

近年来,人们又提出了许多基于特征点的图像配准技术^[10,11],尤其是 Bentoutou 等^[25-28]提出的多时相多传感器图像配准算法。他们分别从不同的角度解决不同的问题。其中 Dai 和 Khorram^[11]提出了新的基于特征的图像自动配准算法。该方法结合矩不变量形状描述符和改进的连码匹配方法建立区域的对应关系,用最小距离分类器的工作原理克服了仅用特征进行匹配的弊端。Bentoutou 等^[25]提出了自动配准遥感图像的配准算法,