



航空遥感图像 边缘检测技术及其应用

Aerial Remote Sensing Image Edge
Detection Technology and Applications

景 雨 吴庆岗 安居白 刘建鑫/著



科学出版社

航空遥感图像边缘检测技术 及其应用

景 雨 吴庆岗 安居白 刘建鑫 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书以作者近年来在遥感图像边缘检测技术方面的研究成果为主线,结合国内外相关发展动态,系统全面地介绍遥感图像边缘检测技术的基本理论和近年来的新方法、新成果。本书围绕遥感图像边缘检测过程中存在的几个重要问题,重点阐述基于传统边缘检测流程的非封闭边缘检测技术和基于几何主动轮廓模型的封闭边缘检测技术,同时介绍遥感图像边缘检测技术在海上溢油灾害预警和航空输电线故障诊断等领域中的典型应用。

本书内容新颖、结构合理、实用性强,可供遥感技术与应用、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、研究生等参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

航空遥感图像边缘检测技术及其应用/景雨等著. —北京:科学出版社, 2017.3

ISBN 978-7-03-049330-9

I. ①航… II. ①景… III. ①航空遥感—图象处理—研究 IV. ①TP72

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第152032号

责任编辑:张震 杨慎欣 / 责任校对:何艳萍

责任印制:张伟 / 封面设计:无极书装

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>

北京厚诚则铭印刷科技有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年3月第一版 开本:720×1000 1/16

2017年3月第一次印刷 印张:11 1/2

字数:225 000

定价:76.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

航空遥感技术自出现以来,就在海洋环境监测、对地观测及军事侦察等领域得到广泛应用。相应的航空遥感图像边缘检测技术也随着航空遥感技术的不断推广与发展被应用到各个领域。

图像的边缘检测是遥感图像处理领域中的一个重要问题,并且是极富挑战性的研究领域,也是图像分割、纹理特征提取和形状特征提取等图像分析方法的重要基础,同时也为图像理解、模式识别和计算机视觉等高层次的图像处理任务提供了一定的依据。与卫星遥感相比,航空遥感更为机动灵活,其具备获取图像周期短、分辨率高、不受地面条件限制、资料回收方便及实时动态监测等特点,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、环境等领域侦查监测,以及台风、洪水、地震、海啸和海洋污染等大型灾难与事故处理等方面。尽管遥感领域的边缘检测方法有很多且各具特点,但由于航空遥感图像数据来源的多样性、应用背景的复杂性和边缘检测问题的局限性,到目前为止仍然很难找到一种普适性的边缘检测方法。同时,航空遥感图像通常具有低对比度、边界模糊、复杂噪声及背景、灰度不均匀性和纹理不一致性等问题,这些问题会直接影响目标检测和识别等后续任务处理的准确率和难易程度,且海量的遥感数据也对算法的效率提出了较高要求。因此,边缘检测算法的精确性、有效性、鲁棒性、通用性以及实时性仍然是亟待解决的问题。这些问题不仅是遥感图像边缘检测领域,而且也是其他图像边缘检测领域的研究热点,仍具有一定的挑战性。所以,航空遥感图像的边缘检测是富有现实意义和科研价值的重要课题。目前,国内航空遥感领域中尚无系统介绍遥感图像边缘检测算法的学术专著,希望本书的出版能够为促进航空遥感图像边缘检测算法的研究发挥积极的作用。

近年来,遥感领域中不断涌现新的边缘检测思路与方法,作者认为有必要向读者及时介绍这些新成果。由于边缘检测方法的多样性,本书主要以作者近年来的理论研究成果为主线,结合正在进行的科研项目,在研究团队多年从事海上溢油监视监测技术和航空输电线故障诊断技术的科研工作和教学工作的基础上撰写完成,同时穿插介绍一些国内外的相关发展情况,以及系统全面地介绍航空遥感图像边缘检测技术的基础理论与方法。本书围绕航空遥感图像边缘检测算法中遇到的几个重要问题展开研究,不仅对现有遥感图像边缘检测算法进行全面的总结和分析,而且提出多种航空遥感图像边缘检测的新思路和新算法,为解决其他领

域图像边缘检测及模式识别中所遇到的问题提供了依据；书中成果在国内航空遥感海上溢油监测和航空输电线故障诊断等领域得到了较好的应用，取得了良好的社会价值和经济效益，同时也得到了国际遥感领域专家的认可。

本书主要从图像的灰度特征、区域特征和纹理特征信息入手，针对遥感图像边缘检测过程中存在的对比度低、边界模糊、复杂噪声及背景、灰度不均匀性和纹理不一致性等问题，重点阐述基于传统边缘检测流程的非封闭边缘检测技术和基于几何主动轮廓模型的封闭边缘检测技术，同时介绍遥感图像边缘检测技术在海上溢油灾害预警和航空输电线故障诊断等领域中的典型应用。

本书共 7 章。第 1 章和第 2 章主要介绍与边缘检测技术相关的基本理论和基本概念，分析航空遥感图像的成像方式、特点以及国内外相关技术的研究现状。第 3 章主要介绍基于传统边缘检测流程的航空遥感图像非封闭边缘检测技术，从算法描述、算法流程图和仿真实验等方面详细介绍作者所做的工作，包括基于动态分块阈值去噪和改进的 GDNI 边缘连接的边缘检测算法、基于纹理特征差异的边缘检测算法和基于纹理特征和 Γ 分布的边缘检测算法。第 4 章详细介绍基于区域特征的几何主动轮廓封闭边缘检测技术，首先对现存的简化的 Mumford-Shah 主动轮廓封闭边缘检测模型做简要的概述，然后针对现有主动轮廓封闭边缘检测算法存在的问题，介绍基于变分对偶规则和区域可扩展拟合的全局最小化主动轮廓边缘检测算法，并讨论其在溢油航空遥感图像中的应用。第 5 章详细介绍基于灰度不均匀性特征的几何主动轮廓封闭边缘检测技术，分析灰度不均匀特征及基于灰度不均匀性特征纠正的边缘检测模型，重点介绍 LGF-IHC 边缘检测数学模型的构造以及最优化问题，并通过仿真实验讨论其在溢油航空遥感图像中的应用。第 6 章和第 7 章详细介绍基于纹理特征的几何主动轮廓封闭边缘检测技术，首先对遥感图像的纹理特征进行分析，重点介绍基于 PCA-GMTD 模型的航空遥感图像边缘检测算法和基于 STD-GMAC 模型的航空遥感图像边缘检测算法，并通过仿真实验讨论其在航空输电线图像故障诊断中的应用，为边缘检测提供新的思路。

本书出版之际，衷心感谢安居白教授和祁瑞华教授在本书编写过程中给予指导、支持和鼓励，同时感谢刘朝霞、李邵华、楼偶俊、陈恒、李敏给予的帮助和启发。

本书的出版得到国家自然科学基金项目（No.61501082、No.61502435、No.61471079 和 No.61201454）、辽宁省教育厅科学研究一般项目（No.L2013432 和 No.L2015137）、辽宁省自然科学基金项目（No.2015020017）、辽宁省高等学校优秀人才支持计划（No.LJQ2014127）、河南省教育厅科学技术研究重点项目（No.14A520034）和郑州轻工业学院博士基金（No.2013BSJJ0041）资助，在此表示感谢。

景 雨
2016 年 10 月

目 录

前言

1 绪论	1
1.1 遥感基本概念	1
1.1.1 遥感的定义	1
1.1.2 遥感的分类	2
1.2 遥感信息获取	4
1.2.1 遥感平台	4
1.2.2 遥感传感器	5
1.2.3 航空遥感成像方式	5
1.2.4 航空遥感获取信息的特点	7
1.3 航空遥感图像边缘检测的意义	8
1.4 航空遥感图像边缘检测的国内外研究现状	12
2 航空遥感图像边缘检测基本原理与技术	15
2.1 边缘检测基本原理	15
2.2 边缘检测相关技术	16
2.2.1 非封闭边缘检测算法	16
2.2.2 封闭边缘检测算法	20
3 基于传统边缘检测流程的航空遥感图像非封闭边缘检测技术	27
3.1 引言	27
3.2 基于动态分块阈值去噪和改进的 GDNI 边缘连接的边缘检测算法	27
3.2.1 算法描述	27
3.2.2 算法流程图	28
3.2.3 候选边缘点的确定	28
3.2.4 动态分块阈值去噪	30
3.2.5 改进的 GDNI 的边缘连接算法	32
3.2.6 MATLAB 仿真实验结果与分析	33

3.3 基于纹理特征差异的边缘检测算法	37
3.3.1 航空输电线图像纹理特征分析	37
3.3.2 SWIFTS 算法描述	41
3.3.3 SWIFTS 算法流程图	42
3.3.4 SWIFTS 窗口宽度 β 的确定	44
3.3.5 MATLAB 仿真实验结果与分析	46
3.4 基于纹理特征和 Γ 分布的边缘检测算法	57
3.4.1 TGA 算法描述	58
3.4.2 TGA 算法流程图	60
3.4.3 TGA 算法中新参数 ε 的理论作用分析	61
3.4.4 MATLAB 仿真实验结果与分析	63
4 基于区域特征的航空遥感图像封闭边缘检测技术	68
4.1 引言	68
4.2 Chan-Vese 边缘检测模型	71
4.2.1 Chan-Vese 的理论模型	71
4.2.2 Chan-Vese 模型的水平集能量最小化	72
4.2.3 MATLAB 仿真实验结果与分析	73
4.3 区域可扩展的变分水平集边缘检测模型 (RSF)	75
4.3.1 区域可扩展数据拟合模型的定义	76
4.3.2 区域可扩展拟合的边缘检测能量模型的水平集定义	77
4.3.3 基于梯度下降法的能量最小化	78
4.3.4 MATLAB 仿真实验结果与分析	78
4.4 基于 Chan 的全局最小化主动轮廓边缘检测模型 (GMAC)	81
4.4.1 Chan-Vese 能量模型求全局极小解问题的转化	82
4.4.2 Chan-Vese 能量模型的全局极小解的数字化实现	83
4.4.3 MATLAB 仿真实验结果与分析	83
4.4.4 Chan-Vese 模型、RSF 模型和 GMAC 模型这三种基于区域的主动轮廓模型的性能分析	85
4.5 基于变分对偶规则和区域可扩展拟合的全局最小化主动轮廓边缘检测模型	86
4.5.1 全局主动轮廓框架下的区域可扩展边缘检测模型 RSF-GAC 的定义	87
4.5.2 能量模型求全局极小解问题的转化	87
4.5.3 基于加权全变分对偶规则的快速能量最小化	88
4.5.4 MATLAB 仿真实验结果与分析	90

5 基于灰度不均匀性特征的航空遥感图像封闭边缘检测技术	103
5.1 引言	103
5.2 灰度不均匀性特征纠正的边缘检测算法	103
5.3 基于灰度不均匀性特征纠正的边缘检测新模型的构造	104
5.3.1 基于局部高斯拟合和灰度不均匀性纠正的边缘检测数学模型	104
5.3.2 引入边缘梯度特征构造的边缘检测新模型 LGF-IHC	107
5.3.3 LGF-IHC 模型的凸性转化	108
5.3.4 基于加权全变分对偶规则的快速能量最小化	109
5.3.5 MATLAB 仿真实验结果与分析	110
6 基于 PCA 优化纹理特征的航空遥感图像封闭边缘检测技术	123
6.1 引言	123
6.2 图像纹理特征提取的分类	123
6.2.1 基于统计的纹理特征提取	123
6.2.2 基于结构的纹理特征提取	124
6.2.3 基于信号的纹理特征提取	124
6.2.4 基于模型的纹理特征提取	124
6.3 基于 PCA 的纹理特征优化	125
6.4 基于 PCA-GMTD 模型的航空遥感图像边缘检测模型	127
6.4.1 PCA-GMTD 边缘检测模型的来源	127
6.4.2 PCA-GMTD 边缘检测模型的定义	128
6.4.3 能量模型最小化求解	129
6.4.4 MATLAB 仿真实验结果与分析	132
7 基于纹理特征分布的航空遥感图像封闭边缘检测技术	150
7.1 引言	150
7.2 半局部纹理特征及其分布	152
7.3 基于 STD-GMAC 模型的航空遥感图像边缘检测模型	153
7.3.1 STD-GMAC 边缘检测模型的来源	153
7.3.2 STD-GMAC 边缘检测模型的定义	154
7.3.3 STD-GMAC 边缘检测模型的快速求解	154
7.3.4 MATLAB 仿真实验结果与分析	156
参考文献	165
附录 Rec 和 Var 的 GLCIA 实现	176

1.1 遥感基本概念

1.1.1 遥感的定义

遥感一词最早由美国 Evelyn Pruitt 女士（美国海军研究所一名地理学家）于 20 世纪 60 年代在一篇非正式的文章中提出，意思是遥远的感知。传说中的“千里眼”“顺风耳”就具有这样的能力。

从广义上理解，遥感泛指一切无接触的远距离探测。其严格的定义为，任何物体都有不同的电磁波反射或辐射特征，遥感则从不同角度的遥感平台上，使用安装在遥感平台上的各种电子和光学传感器对地观测，在高空或远距离处接收来自地球表层的各种电磁波信息，并对这些信息进行加工处理，从而对不同的地物及其特性进行远距离探测和识别的综合技术。

地物目标信息的获取主要是利用从目标反射和辐射来的电磁波。接收从目标反射和辐射来的电磁波信息的设备称为传感器，如航空摄影中的航空摄像机等。搭载这些传感器的载体称为遥感平台，如航摄飞机、人造地球卫星等。由于地面目标的种类及其所处环境条件的差异，地面目标具有反射或辐射不同波长电磁波信息的特性，遥感正是利用地面目标反射或辐射电磁波的固有特性，通过观察目标的电磁波信息以达到获取目标的几何信息和物理属性的目的（苏娟，2014）。

例如，大兴安岭森林火灾发生的时候，由于着火的树木温度比没有着火的树木温度高，着火的树木在电磁波的热红外波段会辐射出比没有着火的树木更多的能量，这样，当消防指挥官面对着熊熊烈火担心不已的时候，如果正好有一个载着热红外波段传感器的卫星经过大兴安岭上空，传感器拍摄到大兴安岭周围上万平方米的影像，由于着火的区域在热红外波段比没着火的区域辐射更多的电磁能量，在影像中着火的区域就会显示出比没有着火的区域更亮的浅色调。当影像经过处理后交到消防指挥官手里，指挥官就能根据图像上发亮的范围的大小判断火情大小及范围，及时调遣更多的消防员到火情严重的地点参加灭火战斗。

上面的例子简单地说明了遥感的基本原理和过程，同时涉及遥感的许多方面，除了上文提到的不同物体具有不同的电磁波特性这一基本特征外，还有遥感平台。在上面的例子中遥感平台就是卫星，其作用就是稳定地运载传感器。传感器是安

装在遥感平台上探测物体电磁波的仪器。针对不同的应用和波段范围,人们已经研究出多种传感器,探测和接收物体在可见光、红外线和微波范围内的电磁辐射。传感器会把这些电磁辐射按照一定的规律转换为原始图像。原始图像被地面站接收后,要经过一系列复杂的处理,才能提供给不同的用户使用,人们再利用这些处理过的影像开展自己的工作。

遥感在地表资源环境监测、农作物估产、灾害监测、全球变化等方面具有显而易见的优势,正处于飞速发展中。更理想的平台、更先进的传感器和影像处理技术正在不断地发展,促进遥感在更广泛的领域里发挥更大的作用。

1.1.2 遥感的分类

依据分类标准的不同,遥感可分为不同的类型。

1. 按照遥感平台的高度分类

按照遥感平台的高度可将遥感分为航天遥感、航空遥感和地面遥感。

航天遥感又称太空遥感(space remote sensing),泛指利用各种太空飞行器为平台的遥感技术系统。航天遥感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)是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约为1000km,静止气象卫星轨道的高度约为3600km。

航空遥感又称机载遥感,是指利用各种飞机、飞艇、气球等作为传感器运载平台在空中进行的遥感技术,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。依据飞行器的工作高度和应用目的,航空遥感分为高空(10 000~20 000m)、中空(5000~10 000m)和低空(<5000m)三种类型遥感作业,具有机动灵活的特点。

地面遥感主要指以三脚架、塔、车和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,高度在100m以下。

2. 按照所利用的电磁波的光谱段分类

按照所利用的电磁波的光谱段可将遥感分为可见光/反射红外遥感、热红外遥感和微波遥感(罗小波等,2011)。

可见光/反射红外遥感,主要指利用可见光(波长为0.4~0.7 μm)和近红外(波长为0.7~2.5 μm)波段的遥感技术。前者是人眼可见的波段,后者是反射红外波段,人眼虽不能直接看见,但其信息能被特殊传感器所接收。这两个波段有共同的特点: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地物的信息,两个波段都可以用摄影方式和扫描方式成像。

热红外遥感,指通过红外敏感元件,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。波段范围为 $8\sim 14\mu\text{m}$,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。热红外遥感具有昼夜工作的能力。

微波遥感,指利用波长 $1\sim 1000\text{mm}$ 的电磁波遥感。其通过接收地面物体发射的微波辐射能量,或接收遥感仪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,还能夜以继日地全天候工作。

3. 按照传感器的工作方式分类

按照传感器的工作方式可将遥感分为被动遥感与主动遥感。

被动遥感的传感器不向目标发射电磁波,仅被动接收目标地物的自身发射和对自然辐射源的反射能量。被动遥感器的工作波段范围涵盖紫外、可见光、红外和微波区域,其类型包括各种成像仪、辐射计和光谱仪。

主动遥感由探测器主动发射一定的电磁波能量,并接收目标反射(散射)回来的电磁波,如雷达和激光。雷达为无线电探测和测距仪器,向目标发射微波脉冲辐射,接收目标后向散射的微波辐射。激光为光探测和测距仪器,向目标发射激光脉冲,测量目标后向散射或反射的激光辐射。雷达和激光均可用于测高、测距和成像。

4. 按照研究对象分类

按照研究对象可将遥感分为资源遥感与环境遥感两大类。

资源遥感:以地球资源作为调查研究的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带来的困难,减少勘测投资的盲目性。

环境遥感: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做出评价与预报。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。

5. 按照应用空间尺度分类

按照应用空间尺度可将遥感分为全球遥感、区域遥感和城市遥感。

全球遥感：全面系统地研究全球性资源与环境问题的遥感的统称。

区域遥感：以区域资源开发和环境保护为目的的遥感信息工程，通常按行政区划（国家、省区等）、自然区划（如流域）或经济区进行。

城市遥感：以城市环境、生态作为主要调查研究对象的遥感工程。

6. 按照遥感资料的获取方式分类

按照遥感资料的获取方式可将遥感分为成像遥感和非成像遥感。

成像遥感将探测到的目标电磁辐射转换为可以显示为图像的遥感资料，如航空影像、卫星影像等。非成像遥感将所接收的目标电磁辐射数据输出或记录下来而不产生图像，如反射波谱等。

1.2 遥感信息获取

遥感是从不同角度的遥感平台上，使用安装在遥感平台上的各种电子和光学传感器对地观测，在高空或远距离处接收来自地球表层的各种电磁波信息，并对这些信息进行加工处理，从而对不同的地物及其特性进行远距离探测和识别的综合技术。遥感平台指放置遥感传感器的运载工具，是遥感中“遥”字的体现者。遥感传感器是遥感中“感”字的体现者，是遥感技术中最核心的组成部分，直接用于测量来自地物的电磁波特性。因此，完成遥感信息的获取和图像采集的关键在于遥感平台和遥感传感器的选择。

1.2.1 遥感平台

根据工作高度的不同，可将遥感平台分为地面平台、航空平台和航天平台。

1. 地面平台

地面平台主要包括三脚架、遥感塔、遥感船和遥感车等，高度在 100m 以下，主要目的是对地物进行波谱测量。

三脚架：0.75~2m，对测定各种地物的波谱特性进行地面摄影。

遥感塔：固定地面平台，用于测量固定目标和进行动态监测，高度在 6m 左右。

遥感车、遥感船：高度可变化，可测定地物波谱特性，取得地面图像；遥感船除了从空中对水面进行遥感外，还可以对海底进行遥感。

2. 航空平台

航空平台主要有飞机和气球等，高度在 20km 以内。

飞机包括高空无人机和低空航空摄影测量飞机（高度小于 2km）。飞机按高度

可分为低空平台、中空平台和高空平台。

低空平台：2km 以内，位于对流层下层。

中空平台：2~6km，位于对流层中层。

高空平台：位于 12km 的对流层以上。

气球包括低空气球（发放到对流层的气球）和高空气球（发放到平流层的气球），可上升到 12~20km 的高空，填补高空飞机升不到，低轨卫星降不到的空中平台的空白。

3. 航天平台

航天平台主要有航天飞机、宇宙飞船、火箭和人造卫星等，高度在 150km 以上。根据轨道的高度不同，人造卫星可分为低轨卫星、中轨卫星和高轨卫星。

低轨卫星的高度为 150~500km，主要用于拍摄大比例尺和高分辨率图像，由于地心力和大气摩擦的影响，低轨卫星的寿命较短，一般为几天到几周，如 NOAA 气象卫星（833~870km），Landsat 1~Landsat 3（915km），Landsat 4~Landsat 5（705km），SPOT（832km）。

中轨卫星的高度为 300~1500km，寿命可达一年以上，如陆地卫星、气象卫星和海洋卫星。

高轨卫星主要指地球同步卫星，其轨道高度为 35 860km，主要用于通信和气象等。

1.2.2 遥感传感器

传感器是收集、探测、记录地物电磁波辐射信息的工具。其性能决定遥感的能力，即传感器的空间分辨率及图像的几何特征、传感器获取地物信息量的大小和可靠程度。

由于设计和获取数据的特点不同，遥感传感器有多种分类，例如，按照电磁波辐射来源可分为主动式传感器和被动式传感器；按照传感器工作的波段可分为可见光传感器、红外传感器、微波传感器和多光谱传感器；按照数据记录方式可分为成像方式传感器和非成像方式传感器，成像方式传感器的输出结果是目标的图像，非成像方式传感器的输出结果是研究对象的特征数据，如微波高度计记录的目标与平台距离的高度数据。成像方式传感器是目前最常见的传感器类型，按照其成像原理，又可分为摄影成像、扫描成像和雷达成像等类型（苏娟，2014）。

1.2.3 航空遥感成像方式

飞机是航空遥感的主要平台，具有分辨率高、调查周期短、不受地面条件限制、资料回收方便等特点。高空气球或飞艇遥感具有飞行高度高、覆盖面大、空

中停留时间长、成本低和飞行管制简单等特点，同时还可对飞机和卫星均不易到达的平流层进行遥感活动。

航空遥感成像是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像片的全部作业过程（包括飞行摄影、暗室冲洗、质量评定等环节），也称为航空摄影。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，则拍摄时要使用适当的滤光器，以增强画面的反差。

遥感方式除传统的航空摄影外，还有多波段摄影、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；也可进行激光测高、微波探测、地物波谱测试等非成像遥感。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（汤国安等，2004）。由航空摄影机获取的图像资料为多种形式的航空像片（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像片，其信息量远多于单波段航空像片。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。以下对常见的航空遥感成像方式进行简要的介绍。

1. 航空摄影成像

摄影是通过成像设备获取物体影像的技术。传统摄影是依靠光学镜头及放置在焦平面的感光胶片来记录物体影像的，而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。常用的摄影机有很多种类，如框幅式摄影机、缝隙式摄影机、全景式摄影机和多光谱摄影机等。根据探测波长的不同，航空数字摄影可分为紫外摄影、可见光摄影、红外摄影和多光谱摄影等。

2. 扫描成像

扫描成像是依靠探测元件和扫描镜对目标地物以瞬时视场为单位进行的逐点逐行取样，从而得到目标物电磁辐射特性信息，利用光电效应和光热效应，将辐射能转换成电能（电流、电压），或者其他物理特性（体积、压力等）的变化，从而形成一定波段的图像，对物体进行探测。扫描成像可探测的波段包括紫外、可见光、红外和微波。成像方式有以下四种。

（1）电子扫描成像。电视接收机天线接收到调制过的视频信号，经变频、中放、检波、视放，由显像管的电子枪发射出随视频信号变化的电子束，电子束轰击荧光屏，就会把高速电子的动能转化为光能，在屏幕上出现亮点，而受高速电子轰击打出的二次电子被栅极捕获。电子束在荧光屏上迅速扫描，由于荧光屏的余晖和人的视觉暂留，可以看到整幅画面，还可将画面用照相机翻拍下来，成为

照片。

(2) 光学机械扫描成像。机械扫描成像使用的扫描系统多为抛物面聚焦系统——卡塞格伦光学系统, 其会将地物的电磁辐射聚焦到探测器。光学扫描系统的瞬时视场角很小, 扫描镜只收集点的辐射能量, 利用本身的旋转或摆动形成一维线性扫描, 加上平台移动, 实现对地物平面扫描, 达到收集区域地物电磁辐射的目的。

(3) 固体扫描成像。这是通过遥感平台的运动对目标地物进行扫描的一种成像方式。目前常用的探测元件是电子耦合器件, 其是一种用电荷量表示信号大小、用耦合方式传输信号的探测元件, 具有感受波谱范围宽、畸变小、体积小、重量轻、系统噪声低、灵敏度高、能耗小、寿命长、可靠性高等一系列优点。

(4) 高光谱扫描成像, 又称为成像光谱仪, 是遥感领域中的新型遥感器。高光谱扫描成像把可见光、红外波谱分割成几十个到几百个波段, 每个波段都可以取得目标图像, 同时对多个目标图像进行同名地物点取样, 取样点的波谱特征值随着波段数越多越接近连续波谱曲线。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, 按该原理制成的扫描仪称为成像光谱仪。高光谱成像光谱仪是遥感研究的新技术, 其图像由多达数百个波段的非常窄的连续的光谱波段组成, 光谱波段覆盖可见光、近红外、中红外和热红外区域全部光谱带。光谱仪成像时多采用扫描式和推帚式, 可以收集 200 个或 200 个以上波段的数据, 使图像中的每一个像元均得到连续的反射率曲线, 而不像其他一般传统的成像光谱仪在波段之间存在间隔。高光谱扫描成像方式主要应用于高光谱航空遥感。

3. 雷达成像

雷达成像技术是 20 世纪 50 年代发展起来的, 是雷达发展的一个重要里程碑。雷达成像技术使雷达不仅是将所观测的对象视为“点”目标来测定其位置与运动参数, 而是能获得目标和场景的图像。同时, 由于雷达具有全天候、全天时、远距离和宽广观测带, 以及易于从固定背景中区分运动目标的能力, 雷达成像技术受到广泛重视。

雷达成像技术应用最广的是合成孔径雷达 (synthetic aperture radar, SAR)。当前, 机载 SAR 的应用已十分广泛, 可得到亚米级的分辨率, 场景图像的质量可与同类用途的光学图像媲美。利用 SAR 的高分辨能力, 并结合其他雷达技术, 还可完成场景的高程测量, 以及在场景中显示地面运动目标。

1.2.4 航空遥感获取信息的特点

与卫星遥感相比, 航空遥感有许多优点。首先, 飞机可在监测区域做较长时间的盘旋飞行, 适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, 并且可以获得高分辨率数据。航空遥感优点总结如下(刘朝霞等, 2014)。

(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、大小及周围的亮度、结构的差异有关。利用航空图像可以取得较精确的位置、方向、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,大数据量对计算机存储、计算的压力及成本。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,是各种星载遥感仪器的先行检验者。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,一切星载遥感仪器都是以机载实验为前提的。

(4) 信息获取方便。航天遥感需要发射卫星,因此受到时间和空间的限制,不能随时对感兴趣的目标进行观测,而航空遥感的平台主要是飞机,受到的限制少,可以随时随地对需要侦查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到限制、航空遥感数据的周期性和连续性不如航天遥感。

1.3 航空遥感图像边缘检测的意义

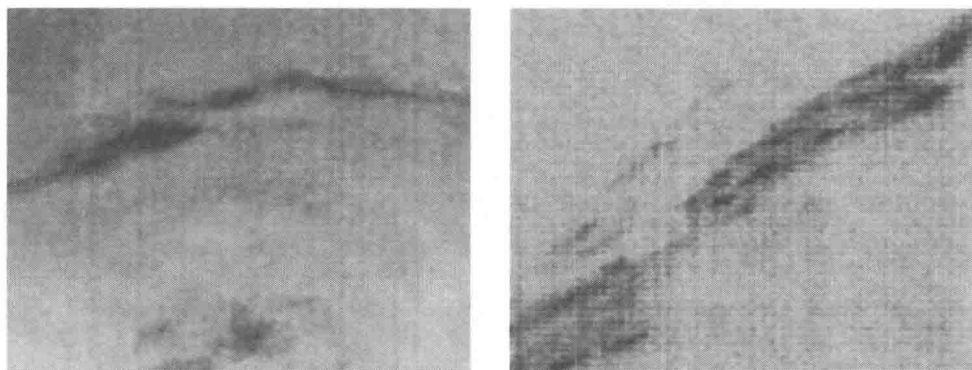
航空遥感具有机动灵活、获取图像周期短、分辨率高、不受地面条件限制、资料回收方便及实时动态监测等特点,因此被广泛应用于军事、农业、林业、地质、矿产、水文和水资源、海洋、环境等领域侦查监测,以及台风、洪水、地震、海啸和海洋污染等大型灾难与事故处理(安居白和张永宁,2002;安居白,2002)。

图像的边缘检测问题是遥感图像处理领域中的一个重要问题。图像的边缘蕴涵感兴趣目标的特征信息,包含用于识别目标的有用信息,为人们描述或识别目标以及解释图像提供了一个有价值的和重要的特征参数,广泛存在于目标与背景之间、目标与目标之间以及区域与区域之间,是图像分割、纹理特征提取和形状特征提取等图像分析方法的重要基础,同时也为图像理解、模式识别和计算机视觉等高层次的图像处理任务提供一定的依据。由于图像本身的多样性和复杂性,尽管研究者们对此已经做了大量的研究工作,到目前为止仍然很难找到一种普适性的边缘检测算法。所以,边缘检测被认为是计算机视觉和图像处理领域中的一个瓶颈和经典难题。近年来,边缘检测领域的新理论和新方法层出不穷,对边缘

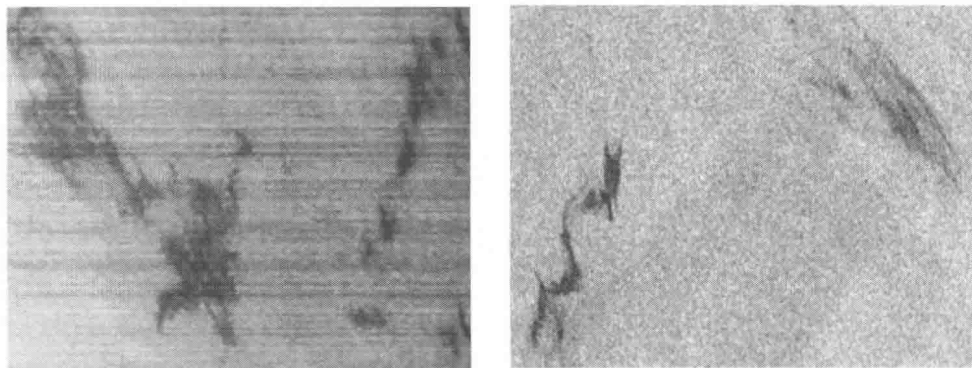
检测算法展开研究,是对边缘检测理论一种有益的补充,具有重要的理论意义。

目前,对边缘检测算法的研究,可以分为两大学派:研究通用的边缘检测算法和研究适合特定类型图像的边缘检测算法。前者主要集中在边缘检测算法理论、边缘检测性能评价标准等方面的研究。实际上,很难找到适合于各类图像的通用的边缘检测算法,而现有边缘检测算法用于航空遥感图像的边缘获取时,存在着诸多问题,如对弱边缘处理能力差、易受噪声影响、难以获得封闭边缘等。边缘提取的好坏直接影响目标检测和识别等后续任务处理的准确率和难易程度,准确、高效的边缘提取技术为航空遥感图像的目标识别和缺陷诊断等提供前提,因此具有重要的现实意义。

航空遥感领域是图像边缘检测的一个最重要的应用领域。但是由于航空遥感应用的特殊性,航空遥感图像既有遥感图像的共性,也有许多因应用环境不同而特有的特征。几组典型的航空遥感图像如图 1.1 所示。下面总结了航空遥感在获取海上溢油图像和地面输电线图像方面所具有的不同特征,这些特征为航空遥感图像的边缘检测带来了一定的难度。



(a) 低对比度的溢油红外图像



(b) 含有条纹噪声和斑点噪声的溢油红外图像