

学 位 论 文



海岸线卫星遥感提取方法研究

马 小 峰

指 导 教 师 赵冬至 研究员

申请学位级别 工 学 硕 士

专 业 名 称 环 境 工 程

学位授予单位 大 连 海 事 大 学

2007 年 3 月

分类号 _____

U D C _____

单位代码 10151

海岸线卫星遥感提取方法研究

马 小 峰

指导教师 赵冬至 职称 研究员

学位授予单位 大连海事大学

申请学位级别 硕士 学科与专业 环境工程

论文完成日期 2007年3月 论文答辩日期 2007年3月24日

答辩委员会主席



The Means of Withdrawing Coastline by Remote Sensing

A thesis Submitted to

Dalian Maritime University

In partial fulfillment of the requirements for the degree of

Master of Engineering

by

Ma Xiaofeng

(Environment Engineering)

Thesis Supervisor: Professor Zhao Dongzhi

March 2007

大连海事大学学位论文原创性声明和使用授权说明

原创性声明

本人郑重声明：本论文是在导师的指导下,独立进行研究工作所取得的成果,撰写成硕士学位论文“海岸线卫星遥感提取方法研究”。除论文中已经注明引用的内容外,对论文的研究做出重要贡献的个人和集体,均已在文中以明确方式标明。本论文中不包含任何未加明确注明的其他个人或集体已经公开发表或未公开发表的成果。

本声明的法律责任由本人承担。

论文作者签名: 马小峰 2007年3月21日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者及指导教师完全了解“大连海事大学研究生学位论文提交、版权使用管理办法”,同意大连海事大学保留并向国家有关部门或机构送交学位论文的复印件和电子版,允许论文被查阅和借阅。本人授权大连海事大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索,也可采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编学位论文。

保密□, 在____年解密后适用本授权书。

本学位论文属于: 保密□

不保密 (请在以上方框内打“√”)

论文作者签名: 马小峰 导师签名: 赵冬云

日期: 2007年3月21日

摘 要

海岸线是划分海洋与陆地管理区域的基准线。不同海岸地貌的海岸线划分依据各不相同,因此,它们在卫星图像上的解译标志与提取方法也存在差异。本文论述了利用遥感进行海岸线动态监测的优势与海岸线的基本特点及其分类,明确了在各个领域中对海岸线的不同定义,指出了不同类型海岸的遥感解译标志。详细论述了不同种类卫星图像中的海岸线成像机理,介绍了使用卫星遥感图像提取各类海岸线的算法及其发展过程,并对遥感图像中的海岸线提取算法的发展方向做出了分析。

本文致力于遥感技术在海岛海岸带卫星遥感调查中海岸线确定方面的研究工作,以辽宁省地区四种典型的海岸为研究区域,实地观测了不同类型海岸,获取了准确的辅助资料。在此基础上,使用各种遥感图像处理技术中的方法对陆地资源卫星 Landsat TM 图像数据进行分析处理,结合数字图像处理中的边缘检测技术,针对不同类型的海岸使用不同的方法完成了对海岸线的提取,提出了对大面积未开发的淤泥质海岸坡度的计算方法,并证明了其在工程上的可行性,为其海岸线位置的确定提供了校正的依据。

关键词: 遥感; 海岸线; Canny 算子; 海岸坡度

The Means of Withdrawing Coastline by Remote Sensing

Abstract

The coastline is the base directrix divides the region of sea and land management. The different seacoast landform coastline division rests on various, therefore, they translate the symbol on the satellite imagery solution with to withdraw the method also to have the difference. This article elaborated has carried on the coastline dynamic monitor using the remote sensing the superiority and the coastline essential feature and the classification, has been clear about in each domain to the coastline different definition, had pointed out the different type seacoast remote sensing solution translated the symbol. In detail elaborated in the different type satellite imagery coastline image formation mechanism, introduced the use satellite remote sensing image withdraws each kind of coastline the algorithm and the developing process, and withdrew the algorithm to in the remote sensing image coastline the development direction to make the analysis.

This article is devoted to the research of confirming coastline from remote sensing. investigation about coast and island, as studying the region take four kind of typical seacoasts in Liao Ning Province, observing the different type seacoast on the spot, getting the accurate auxiliary material. In this foundation, using in each kind of remote sensing imagery processing technology the method image data to carry on analysis processing for land resources satellite Landsat TM. Uniting edge detection technology from digital image processing, the coastline extraction has been completed in view of the different type seacoast to use different method. It was proposed to the slope computational method of big area undeveloped silt argillaceous seacoast, proving its feasibility in the project, providing the adjustment gist for coastline position determination.

Key word: remote sensing; coastline; Canny operator; coast slope

第1章 绪论.....	1
1.1 研究目的与意义	1
1.2 海岸线卫星遥感提取研究的现况与发展趋势	2
1.2.1 水边线卫星遥感提取算法	2
1.2.2 海岸线卫星遥感提取方法	4
第2章 海岸线的地貌特征与解译标志.....	6
2.1 海岸线的基本概念	6
2.1.1 海岸线的位置	6
2.1.2 海岸线的意义	6
2.2 海岸线的类型与特点	7
2.2.1 人工海岸	7
2.2.2 基岩海岸	7
2.2.3 砂质海岸	8
2.2.4 淤泥质海岸	10
2.2.5 生物海岸	11
2.2.6 入海河口的岸线	12
2.3 海岸线的解译方法	12
2.3.1 用于海岸线解译的遥感图像及解译原理	12
2.3.2 识别海岸地物的依据	13
2.3.3 人工海岸	15
2.3.4 基岩海岸	16
2.3.5 砂质海岸	17
2.3.6 淤泥质海岸	18
2.4 小结	18
第3章 海岸线提取的基本算法优化.....	20
3.1 ROBERTS 算法	20
3.2 PREWITT 算法与 SOBEL 算法	20
3.3 LAPLACE 算法	21
3.4 CANNY 算法	21
3.5 小结	23
第4章 海岸线提取方法.....	24
4.1 研究区域及资料选取	24
4.1.1 研究区域	24
4.1.2 资料选取	24
4.2 提取技术流程	25
4.2.1 图像预处理	25
4.2.2 分类提取步骤	26

4.2.3 精度检验方法	26
4.3 人工海岸与基岩海岸的海岸线提取方法	27
4.4 砂质海岸的海岸线提取方法	29
4.4.1 图像噪声的平滑	29
4.4.2 海岸线提取	30
4.5 淤泥质岸线的提取方法	31
4.5.1 数学形态学算法	31
4.5.2 已开发的淤泥质海岸	33
4.5.3 未开发的淤泥质海岸	33
4.6 精度分析	36
结 论.....	37
参 考 文 献.....	39
附录 A 边缘检测算子程序	43
附录 B 中值平滑程序	43
攻读学位期间公开发表论文.....	45
致 谢.....	46
研究生履历.....	47

第1章 绪论

快速而又准确的测定海岸线的动态变化,对于海域使用管理具有十分重要的意义^[1]。但是,由于河口淤积、气候变暖导致的海平面上升等自然条件的变化及人类围垦、填海造地、海洋工程等人类活动的影响,导致海岸线在不断地发生着变化。传统的野外实地调查方法花费人工多、效率低、工作周期长,而且获取的数据不易统计。遥感是一种以物理手段、数学方法和地学分析为基础的综合应用技术,其最大优势在于强大的数据获取能力,在海岸线调查中具有显而易见的优势^[1]。卫星观测的大面积、同步、高精度特点可准确的记录海岸线状况及其相关的地面信息,有效地克服地面调查中可能遇到的各种限制;其独有的时效性可以使之在短时间内对同一地区进行重复探测,实现海岸线的动态监测;而其数据的综合性和可比性让人们可以从中有选择的提取所需信息,如可见光遥感可以发现海岸线附近土壤、植被等特征的变化,SAR可以在恶劣天气情况下记录水边线变化的信息;与传统方法相比,遥感监测可以大大地节省投入的费用,具有很高的经济效益和社会效益;遥感图像以数字方式记录下来,可直接用计算机来处理,提高了后期处理的效率。

1.1 研究目的与意义

海岸线卫星遥感提取技术是建立在传感器对不同地物分界线特征的探测基础上的。不同类型的海岸在不同的季节、气候等条件下有不同的地物特征,其海岸线在图像中的纹理特征也各不相同。此次研究目的是以实际观测的海岸特征为依据分析海岸线在卫星图像中的解译标志,根据其地貌特点提出了对卫星图像中海岸线的解译方法,借助数字图像处理技术对不同类型海岸的图像进行针对性的预处理,使用IDL语言实现Canny算子、中值滤波器和腐蚀算子,完成对卫星图像中海岸线的自动提取,证明使用潮位与卫星图像结合计算坡度的方法,为无明显解译标志的未开发淤泥质海岸带的海岸线确定提供校正的依据。

本次研究希望通过对海岸线类型的研究来补充国内的海岸线卫星遥感提取技术系统,文章中还存在很多的不足之处,还需要更加充足的数据和资料,以及更多的努力加以完善。

1.2 海岸线卫星遥感提取研究的现况

目前遥感图像中海岸线的解译有两种方法：目视解译和自动解译。传统的目视解译经手工透图作业，方法简单，但误差较大。自动解译是将岸线作为边缘检测出来，一些已经提出的海岸线提取方法是利用图像的边缘检测器技术^[4]或者对图像进行纹理分析^[5]。边缘检测的方法很多，随着计算机技术的不断发展，自动解译技术的水平也有很大的提高，各种新的算法不断出现，成为解译技术发展的主流。

1.2.1 水边线卫星遥感提取算法

大部分关于海岸线自动解译算法研究都是提取卫星图像中的水边线，即卫星在过顶时刻所记录的海陆分界线。这些方法只是单纯的利用数字图像处理技术来确定海陆分界线，没有考虑到其它因素的影响，因此并不能作为海岸线。但是，作为海岸线自动提取的必要步骤，对图像上的水边线提取算法的研究是必不可少的，是进行海岸线动态研究的必要环节。

(1) 近红外图像的水边线提取算法

小波变换提取图像边缘是一种新的水边线提取算法，最关键的是对其提取的边缘点的连接。在含有水边线的遥感图像中，海水图像的灰度值与陆地图像的灰度值是不同的。当把海水和陆地的灰度值转化为数字信号进行分析处理时，在海陆交界处数字信号会有明显的奇异性（不连续性），利用小波技术对这种数字信号进行分析处理，找到奇异点的位置，并把它们顺序的连接起来，就可以把水边线确定下来。冯兰娣等^[6]使用高斯函数的一阶导数作为小波变换函数的核函数，在对黄河三角洲的Landsat近红外遥感图像做小波变换后，通过检测小波变换模式的极值点得到图像水边线的候选边缘点，然后再经过滤波得到图像的边缘。在试验中发现并非所有候选边缘点都是原图像真正意义的边缘，它仅仅是图像灰度有突变的潜在的边缘点位置。要得到真正的边缘还需将候选边缘图像的非边缘点滤除，然后再连接剩余点构成最终的边缘图像。

数学形态学（mathematical morphology）是一种基于集合论的非线性图像处理理论。它从集合的角度来刻画和分析图像，通过一个“探针”集合（即结构元素）对目标物体集合进行变换，以突出所需信息。王宇等^[7]利用数学形态学可有针对性地选择结构元素和变换方式，对某一类特定目标进行减弱或加强这一特性，

提出了一种新的水边线提取算法。这种算法在对Landsat-7的近红外图像进行海岸线提取的同时也对不同河道、公路和地貌的边缘信息进行了成功的提取,并且排除了噪声的干扰。而且数学形态学运算具有天然的并行性,因而能实现算法的快速完成。

(2) SAR数据的水边线提取算法

相干斑(speckle)噪声是SAR图像的一个特点,因此,去除其干扰成为SAR图像水边线提取的重要环节。Jong-Sen Lee(1990)最早指出了SAR图像提取水边线的障碍在于噪声和强烈的暴风与海浪的反射信号所产生的干扰^[14],他提出的斑点平滑算法^[15]和Mason与Davenport(1996)提出的半自动算法^[16]都能有效的去除SAR图像中的噪声。

Marcus Schwabisch等^[17]提出了利用干涉测量法(interferometry)对SAR图像进行校正,并在此基础上做出了对水边线进行精确提取的算法。这个算法的主要思路是在图像上检测到较大的干涉值梯度的位置,从而使图像上显示出连续的陆地和与之不连续的水体之间的边界。

水平截集(level set)^[18]算法是一种基于人类视觉特性的边缘检测方法。由于它具备检测效果好、抗噪能力强等优点,因而在水边线检测方法的研究和应用两方面都有实用价值。但是,水平截集算法由于迭代方式复杂等原因在应用于分辨率较大的图像时,检测速度比较慢,而且此方法在每次迭代时要移动图像中所有点构造三维曲面,增加了计算复杂度。为了解决此算法中所存在的问题,针对SAR图像,欧阳越等^[19]提出一种基于水平截集算法的改进算法,先在低分辨率图像中用水平截集算法进行粗略检测,得到贴近真实水边线的轮廓线,然后将轮廓线映射到高分辨率图像上,继续用水平截集算法进行检测,最后得到精确的结果。

小波变换也同样适用于SAR图像的水边线提取。杜涛等^[20]提出利用小波进行水边线的提取,并使用SAR图像进行了试验,变换后所确定的水边线与遥感图像中显示的海陆边界吻合的很好。但该方法有一个缺陷,即当沿岸海域有岛屿、导流堤或排污物干扰时,所检测的结果就会受到一定的影响。为了较好的连接边缘点,李林茹等^[21]提出用主动轮廓模型(Snake模型)来连接边缘点并取得了良好的效果。由于水边线一般都较为曲折,传统的主动轮廓模型在凹度较大的边缘处不能很好

的收敛,所以使用了基于梯度矢量流的主动轮廓模型来更好的拟合水边线。它的主要优点是可以在噪声干扰比较严重的SAR图像中准确地提取出边缘,并且能拟合比较曲折的边缘线。此外,Andreas Niedermeier等^[22]也使用小波理论对SAR图像中的水边线进行了提取,并结合前人理论总结出一种方法。

陆立明等^[13]通过真实星载SAR回波数据应用于实验,证明了直接利用SAR回波数据对水边线检测的有效性。根据这一原理,他们首先对回波数据进行特征提取,然后根据其特征进行分析,得出了海洋与陆地回波数据的相关函数,从而提取出SAR回波数据中的水边线。

杨虎等^[23]提出用sobel滤波方法对不同时相的SAR—TM融合图像进行边缘检测,使水边线更加清晰^[24]。SAR为侧视成像,空间分辨率较高,能突出反映地物纹理特征,更好区分海陆界限。TM为7波段传感器,对地物光谱数据反应敏感。选择相近时相TM与SAR进行数据融合,融合后图像界限清楚,易于识别,较之任何单一TM或SAR图像能提供更为丰富的地物信息。

1.2.2 海岸线卫星遥感提取方法

(1) 可见光及近红外图像的人工海岸、基岩海岸、砂质海岸的海岸线提取方法

这三种海岸线在可见光及近红外图像上都有明显的解译标志,因此,通过对图像进行分类和对比可以确定它们的位置。

王琳等^[25]利用TM图像使用直接光谱对比法对厦门岛海岸线进行提取。这种方法是首先对不同种类的地物进行分类,再对不同地物赋予不同的颜色,从而突出不同地物之间的分界线,达到提取海岸线的目的。孙美仙等^[3]使用人工目视解译与计算机分类相结合的方法对福建省海岸线进行了调查。他们使用海水大潮高潮时刻的卫星图像,以确保提取海岸线的准确度;对于无法找到合适潮位图像的地区,则结合其海岸线的解译标志,对提取的海岸线进行校正。张永继等^[26]提出了一种利用邻域相关信息快速提取人工岸线的方法。这种方法是利用IKONOS的全色影像(分辨率1m),使用二维类间方差最大阈值法^[27]将图像中的海水和人工海岸划分为两部分,实现对整幅图像的二值化处理,大大提高了图像中海岸线提取的效率和精度。

(2) 可见光及近红外图像的淤泥质海岸的海岸线提取方法

对于小面积的淤泥质海岸,由于其岸滩面积小,大潮时海水能覆盖整个海岸,

在卫星图像上有明显的解译标志，因此使用分类对比的方法可以提取其海岸线；对于面积较大的淤泥质海岸（如黄河口淤泥质海岸），由于其面积比较大，岸滩坡度较缓，无法在卫星图像上确定其解译标志，需要根据图像中水边线的位置和潮位高度进行计算才能得出海岸线的准确位置，然后在图像上进行校正。

Kevin White等^[28]利用Landsat卫星的图像，对1984年~1991年的尼罗河三角洲河口地区的海岸线变化进行了对比，实现了对海岸线的动态监测。朱小鸽等^[29]使用1973年、1992年及1998年MSS与TM图像，采用神经网络分类方法，监测珠江口海岸线的变化并计算增长的陆地面积，分析了海岸线发生变化的最主要原因。但是他们所说的海岸线只是使用不同年份的图像针对河口地区的水边线的变化进行粗略的比较，并没有考虑到海水悬浮泥沙、潮位、季节等因素的影响。

Lodhi等^[30]经过试验指出使用归一化植被指数（NDVI）可以减少海岸边悬浮泥沙的影响。淤泥质海岸在海水浑浊的地方近红外波段的反射率是比较高的，而在红光波段对于完全暴露的淤泥质海岸反射率是低的，但是对于混浊海水的反射率比较高，通过这两个波段对不同物质的反射率的差别把单纯的淤泥质海岸与浑浊海水分开。Joo-Hyung Ryu等^[31]根据这一原理，对韩国Gomso湾淤泥质海岸使用不同波段的TM图像进行波段运算，去除了海水中悬浮泥沙对海岸线解译的影响。

黄海军等^[32]使用三个年代阶段的TM图像对黄河三角洲地区海岸线的变化进行动态分析，并考虑了季节和卫星过顶时潮位的影响。他们根据图像中水边线的位置和潮位高度计算出海岸的坡度，再根据平均大潮高潮的潮位对某一潮位时图像的水边线进行校正得出海岸线位置，近一步提高了结果的精确度。韩震等^[33]以伶仃洋大铲湾为研究区，使用美国陆地卫星MSS、TM及ETM三类数据源，共计17幅图像，时间跨度为1978~2001年，利用多时相卫星遥感图像水边线高程反演技术，确定了大铲湾岸线变化，并进行了滩涂分带及面积的估算，滩涂利用状况、淤涨速度的确定及不同部位潮滩坡度及淤积速度的反演。他们在对海岸线的测定中已经考虑到潮位与季节因素的影响，近一步提高了淤泥质海岸线位置的精度。

第2章 海岸线地貌特征与解译标志

2.1 海岸线的基本概念

2.1.1 海岸线的位置

海岸线包括大陆海岸线和岛屿海岸线。在测绘学中，海图上的海岸线为多年平均大潮高潮的水陆分界线，但航海图上的海岸线以最低低潮线为分界线，为了航海安全上的需要，实际绘制的航海图上的海岸线会比最低低潮线还略微低一些；在自然地理学中，通常是用海洋最高的暴风浪在陆地上所达到的位置来划定海岸线^[2]；在我国海域使用管理中，海岸线即指多年大潮平均高潮位时海陆分界线，现有的海洋管理工作都是以海岸线为标准的^[34]。

海岸线是人为在海岸带内划定的为不同领域使用的标准，其具体位置与海岸的类型有密切关系，而在不同学科领域内，海岸线的位置也各不相同，如图2.1所示。

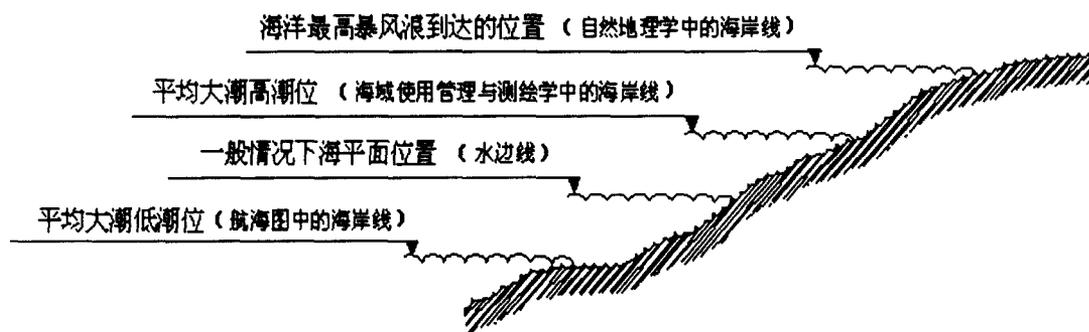


图 2.1 海岸线位置

Fig. 2.1 the Position of Coastline

2.1.2 海岸线的意义

海岸线是确定海岸带管理范围的重要依据。由于海岸带管理的范围由沿海国家或者沿海省（市）、州、县等行政部门根据当地的自然资源与环境状况、社会经济发展需求和规划而确定，所以统一海岸线的划定标准是十分必要的。

我国的海岸带调查研究范围陆上边界统一定为海岸线以上10Km，海上边界为15m等深线。长期以来，从国家到地方，我国的海域使用管理、海底电缆管道管理、海洋环境保护、海洋监测预报、海洋执法监察等各项管理工作，都是以这个范围

作为工作标准。由此可见，研究海岸线确定的方法并对其的进行动态监测，对我国经济发展有重要的实际意义。

2.2 海岸线的类型与特点

2.2.1 人工海岸

人工海岸是为了满足人类日常活动而用石块、混凝土、砖石等材料在海陆交界处修筑的具有生产或生活功能的海岸，常见的人工海岸有用于停靠船舶的海港，用于养殖生产的虾池、盐田，用于交通的海岸公路等。

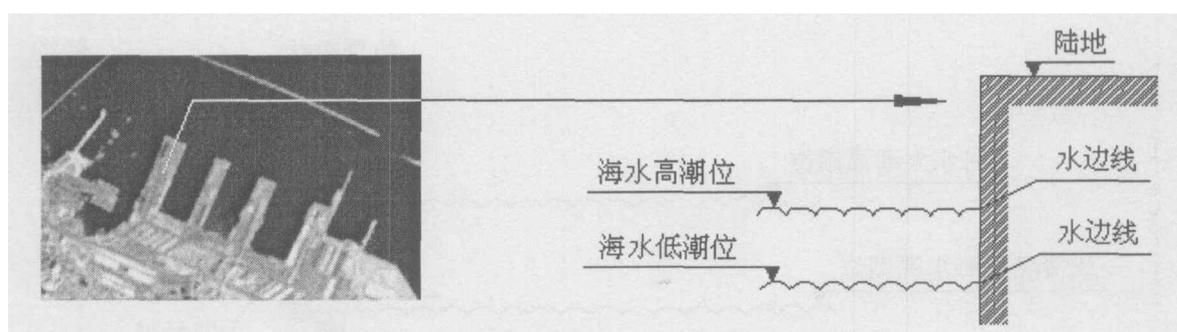


图 2.2 人工海岸剖面图

Fig. 2.2 Seaport and Bulwark

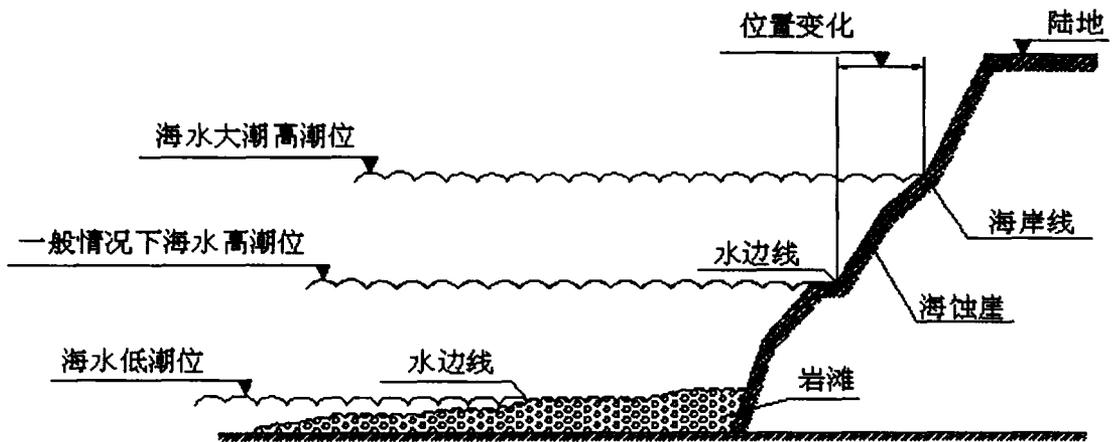
因为潮汐的作用，海浪会对海岸边的人工建筑物产生侵蚀，为了防止建筑遭到破坏，人工海岸由石块或各种形式的混凝土块体抛筑而成，面层护以重量较大的混凝土块体；有的是用封底钢筋混凝土沉箱或混凝土方块砌筑而成。人工海岸的目的就是为了防止海水侵入陆地，因此人工海岸与海水的交界的水边线就是海岸线；人工海岸的几何形状比较规则，与海水交界处是竖直的平面，所以任何时刻人工海岸的岸线水平位置都不会发生变化，如图2.2所示。

2.2.2 基岩海岸

基岩海岸由岩石组成，波浪作用是使其形成的主要动力。基岩海岸初期岸线非常曲折，在波浪作用下，岬角全部被侵蚀掉，残留宽广的岩滩，海蚀崖在宽广岩滩的保护下，形成平直立陡的基岩海岸。由于基岩海岸靠海一侧的岩滩起到了防波堤的作用，阻止海水进一步的侵蚀，海水无法越过海蚀崖^[97]。

海蚀崖不是90°的竖直面，所以海平面与海蚀崖在不同高度上的交界会产生水边线在位置上的变化。当海水处于低潮位或一般情况下的高潮位时，卫星图像拍摄的海水与陆地的分界线是水边线；当海水处于大潮高潮时刻图像中的海陆分界线就可以认为是定义中的海岸线，如图2.3所示。

但是，由于海蚀崖的坡度比较大，因此潮位的高度变化对基岩海岸的水陆分界线在水平位置上的变化影响很小；同时受卫星图像分辨率的限制，这种变化无法在图像中表现。所以，只要图像是海水在高潮时刻拍摄且海水与海蚀崖相接触，则可认为图像中的水陆分界线是海岸线。



注：海水并不是一直保持和海蚀崖相接触，退潮后海水与岩滩的交界不是海岸线。

图 2.3 基岩海岸剖面图

Fig. 2.3 the Cutaway View of Basement Rock

2.2.3 砂质海岸

砂质海岸是指由大于0.1mm粒级的砂组成的海岸，其主要成分可以分为三大类，如表2.1所示。根据其海岸线的特点，砂质海岸可以分为两类：

沙滩海岸：泥沙在激浪带堆积而形成的海岸，其范围从波浪破碎开始点起到海岸陆地上波浪作用消失处止。海滩上常发育一些与岸线平行的沿岸堤，它们的高度代表海面高度，这种砂质海岸的岸线就是沙堤靠陆地一侧边缘与非砂质地物的分界线，如图2.4(a)所示。

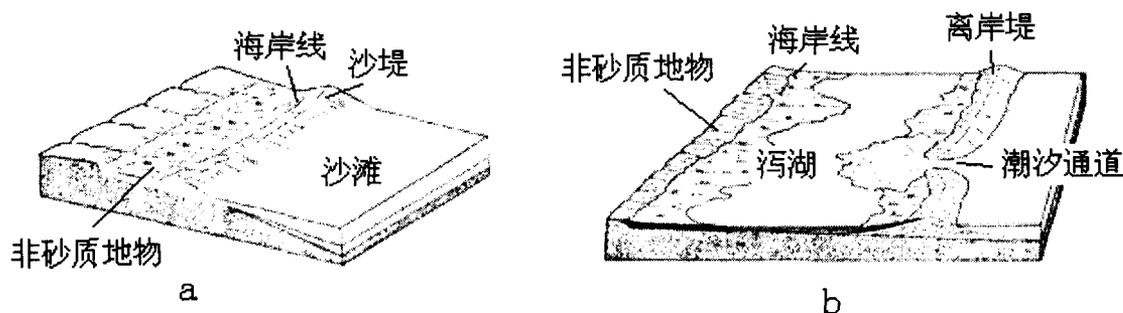


图 2.4 两种主要的砂质海岸

Fig. 2.4 Two Kinds of Main Sandy Coast

沙堤—泻湖海岸：在砂质海岸堆积体及其封闭或半封闭海湾形成泻湖构成的海岸，在潮差较小的砂质海岸，波浪作用位置比较稳定，易于形成离岸堤且能连续分布很长的距离；在潮差大的海岸，离岸堤不易连续堆积增长，激浪流经常越过堤顶甚至冲开离岸堤使泻湖与外海相连，形成潮汐通道。

由于泻湖内的海水与海洋的潮位涨落变化有直接关系，因此应作为海洋的一部分，这种砂质海岸的海岸线是泻湖靠陆地一侧边缘与非砂质地物的分界线，如图 2.4 (b) 所示。

表 2.1 砂质海岸的主要成分

Tab. 2.1 the Main Component of Sandy Coast

名称	主要成分	各种物质含量
砂	细砂(0.25—0.0625mm)	(1) 三类砂混合，比例均超过20%
	中砂(0.5—0.25mm)	(2) 三类砂中的一类含量大于75%或80%
	粗砂(2—0.5mm)	(3) 三类砂中的两类混合，不属于上述两类比例
砾	砂砾	以砾石为主
	砾砂	以砂为主
	砾石	指粒径>2mm 的粗碎屑沉积
贝壳砂	贝壳	指沉积物中含有较多的贝壳，主要见于部分潮流深槽底部

由于在海浪无法作用的地方泥沙不会产生沉积生成砂质海岸，因此砂质海岸的岸线位置与海平面没有直接关系，沙滩或泻湖与其它海水不能影响的地物的分界线就可以认为是砂质海岸的岸线，如图 2.5 所示。

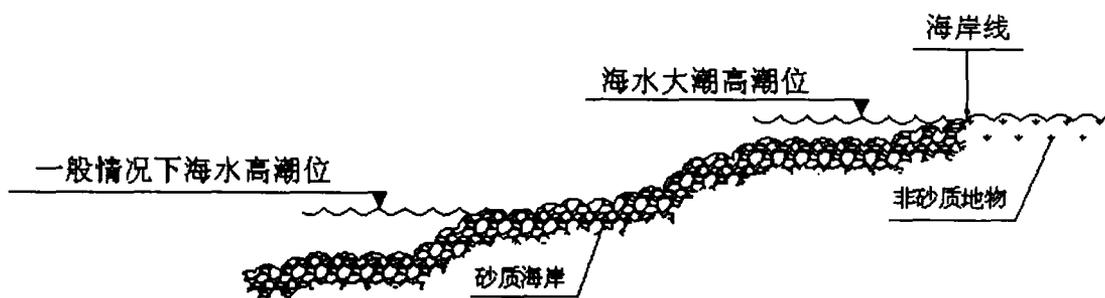


图 2.5 砂质海岸剖面图

Fig. 2.5 the Cutaway View of Sandy Coast

2.2.4 淤泥质海岸

淤泥质海岸是指由小于0.05mm粒级的粉砂与淤泥组成的海岸，主要分布在泥沙供应丰富而又比较掩蔽的堆积海岸段，如含沙量大的河流下游平原、构造下沉区、岸外有沙洲岛屿掩护的海岸段和有大量淤泥供应的港湾内，根据其各种物质的含量可以分为三种类型，如表2.2所示。

表2.2 淤泥质海岸的主要成分

Tab. 2.2 the Main Component of Silty Soil Coast

名称	粉砂质粘土	粘土质粉砂	粘土—粉砂—砂
各种物质含量	以粘土(<0.004mm)为主，含量在51~60%之间。粉砂(0.004~0.063mm)含量多在37~49%之间，其中砂(0.063~2.0mm)的含量小于1%	以粉砂为主，含量在51~65%之间，粘土含量多在35~48%之间，不含砂粒或者不超5%，少数近砂质沉积区可达5~10%	三个粒组均超过20%，砂含量达65%左右，粉砂和粘土含量多小于20%，大于15%

淤泥质海岸的潮滩可以划分为潮上带、潮间带和潮下带三部分。潮上带也称

后海滨，指大潮高潮面以上的地区，其陆上界限为特大潮汛与风暴潮海水可淹没和激浪海水可溅到的地带；潮间带也称前海滨，指大潮高潮线与大潮低潮线之间的潮浸地带，由于周期性出没于海水中，因此潮间带的地貌、沉积物与植被等具有明显的分带性；随着潮汐的周期变化和水位的升降，可以将潮间带分为高潮滩（大潮高潮位—小潮高潮位）、中潮滩（小潮高潮位—小潮低潮位）、低潮滩（小潮高潮位—大潮低潮位）三个亚区；潮下带也称内海滨，或称水下岸坡，指大潮低潮面以下直至藻类分布的最低界限，如图2.6所示。

淤泥质海岸一般形成于有充足细粒物质来源的河流入海口或深入陆地的港湾，由于潮间浅滩将不断淤高并向海推进，浅滩逐渐脱离海水作用，先形成湿地，然后成为海积平原，因此淤泥质海岸的潮间浅滩与潮上带无明显的地形界线。基于以上原因，淤泥质海岸的岸线没有可以直接进行判别的特点，需要通过计算推导出其具体位置。

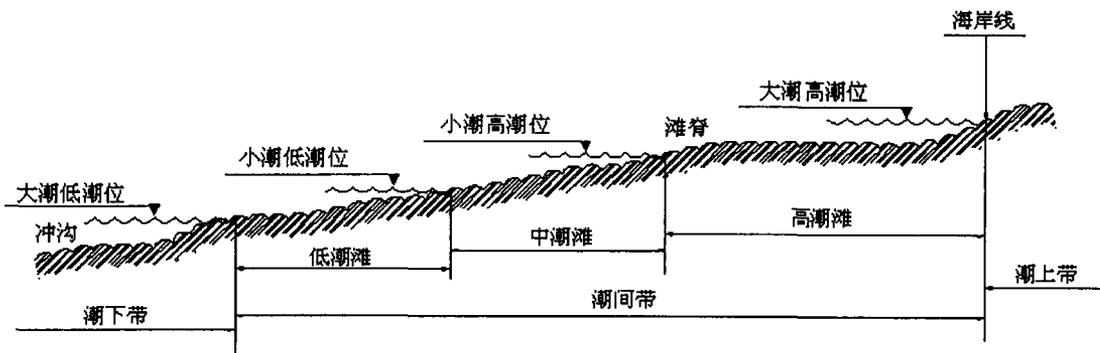


图 2.6 淤泥质海岸分区图

Fig. 2.6 the Sketch Map of Silty Soil Coast

2.2.5 生物海岸

生物海岸有红树林海岸和珊瑚礁海岸。

红树林海岸：红树是热带、亚热带的隐蔽海岸常见的一种灌木，它们成片地分布在淤泥质的潮间浅滩上，形成红树林。红树具有非常发达的根系，能抵御风浪和减缓潮流，促使悬浮泥沙在滩面上沉积下来，形成特殊的红树林海岸。红树林对保护海岸免受冲蚀有积极意义。

珊瑚礁海岸：珊瑚礁主要由造礁珊瑚的骨骼构成。由于珊瑚生存对海水的温度、盐度和深度的要求都很敏感，因此珊瑚礁的地理分布有很大局限性。我国的珊瑚礁主要分布在台湾省沿岸、雷州半岛西南岸、海南岛周围的基岩海岸以及西沙、东沙、中沙和南沙群岛等地。珊瑚是固着生长的，比较坚硬的基底有利于大规模珊瑚礁海岸的发育。

2.2.6 入海河口的岸线

沿海河口岸线是整个大陆岸线的重要组成部分。由于河口地貌的形态和成因各异，很难确定一个简单、统一的办法解决沿海河口海陆管理分界线的划分问题。按学科的不同，划分原则也不完全相同，有的学科以咸淡水的界线作为河口海陆管理分界线；有的学科则以海陆生物的生长界线作为河口的海陆管理分界线；有的学科以河流出海口的突然变宽处作为河口的海陆管理分界线；有的学科采用两岸大潮平均高潮位上的两点之间横越河口的直线划定分界线，因此，科学统一的划出沿海河口海陆管理分界线也是一个重要问题，需要做进一步研究。

由于本次课题研究区范围内没有生物海岸，而沿海河口的海岸线仍没有准确的定义，因此只在这里做简单介绍，不进行详细探讨。

2.3 海岸线的解译方法

2.3.1 用于海岸线解译的遥感图像及解译原理

不同类型海岸的海岸线有不同的特点，需要通过可见光及近红外图像解译和光谱分析才能进行准确的判断。近红外波段对大气的透射率比较高，在其所成的灰度图像上，植被表现为浅白色，含水量大的土壤呈深灰色，含水量小的土壤呈灰白色，而对海水的反射率仅为 1%，在灰度图像上呈黑色，根据近红外波段成像的这一特性可以在图像上观察到水体与陆地的分界线。可见光的蓝色、绿色、红色波段也分别对不同的地物有很强的探测能力，可以用于判断图像中各种类型的海岸线。各波段的主要应用范围如表 2.3 所示。

根据合成孔径雷达（SAR）对目标检测处理对象的不同，可以分为两类方法。一类是依据 SAR 的基本成像原理，基于 SAR 图像的目标检测^{[81][9]}。海水对微波的吸收能力远远大于陆地，在 SAR 图像上能形成明显的分界线，因此，可以利用目标

自身的后向散射特征和图像的几何、纹理特征区分海水与陆地^[10]。另一类则是综合 SAR 的成像机理, 基于 SAR 回波数据的目标检测^[11]。这是一种在非成像状态下进行水边线提取的新方法, 它是根据 SAR 的信号方位向上的某一频率成分反映了来自某特定方向上的目标的后向散射特性, 对方位谱的分组带通滤波可以刻画目标在不同历程上的子视图像, 它们之间存在着相关性, 而这种相关性又与地面目标的特性有着密切的关系^[12]。海水表面相对均匀, 时变特性明显, 不同子视间的相关性较弱。陆地的综合目标的 RCS 相对于 SAR 的几何分辨率要大得多, 时变特性不明显, 不同子视间的相关性比较大。这一性质为检测和定位水边线提供了直接证据^[13]。

表 2.3 各波段的应用范围

Tab. 2.3 the Applicability of Various Wave Band

波段序号	波段	波长范围/ μm	应用区域
1	蓝色	0.45-0.52	对水体有透射能力, 能够反射浅水水下特征, 可区分土壤和植被, 区分人造地物类型
2	绿色	0.52-0.60	探测植被的反射率, 可区分作物类型, 评估作物长势, 区分人造地物类型, 对水体有一定透射能力
3	红色	0.63-0.69	探测植物叶绿素吸收率并进行植物分类, 也可区分人造地物类型
4	近红外	0.76-0.90	测定生物量和作物长势, 绘制水体边界、探测水中生物含量和土壤湿度
5	短波红外	1.55-1.75	探测植物含水量及土壤湿度, 区别云与雪
6	热红外	10.4-12.5	探测地球表面不同物质的自身热辐射, 用于识别岩石和地质探矿
7	短波红外	2.08-2.35	探测高温辐射源, 用于监测森林火灾、火山活动, 区分人造地物类型

2.3.2 识别海岸地物的依据

目视判读需要的设备少, 简单方便, 可以随时从遥感图像中获取许多专题信息。通过目视解译, 可以核查遥感图像处理的效果或计算机解译的精度, 查看它们是否符合地域分部规律, 是遥感图像计算机解译的一项基础工作。遥感图像的目视解译主要根据目标地物的以下特征进行:

(1) 色调 全色遥感图像中从白到黑的密度比例叫色调(也叫灰度)。例如,

砂质海岸中的砂砾，因含水量不同，在遥感黑白像片中其色调是不同的，干燥的砂砾色调显亮白色，而潮湿的砂砾则显暗灰色。色调标志是识别目标地物的基本依据，依据色调标志可以区分出目标地物，同时还可以识别出目标地物的属性，而目标地物与背景之间必需存在能被人的视觉所分辨出的色调差异才能够被区分。

(2) 颜色 是彩色遥感图像中目标地物识别的基本标志。日常生活中目标地物的颜色是地物在可见光波段对入射光选择性吸收与反射在人眼中的主观感受，遥感图像中目标地物的颜色是地物在不同波段中反射或发射电磁辐射能。

(3) 形状 目标地物在遥感图像上呈现的外部轮廓。用于图像判读的图像通常多是垂直拍摄的，遥感图像上表现的目标地物形状是顶视平面图，立体感差，不同于我们日常生活中经常看到的物体形状。由于成像方式的不同，会造成同一目标物在图像上呈现出不同的形状，因此解译时必须考虑遥感图像的成像方式。

(4) 大小 指遥感图像上目标物的形状、面积与体积的度量，是遥感图像上测量目标地物最重要的数量特征之一。根据物体的大小可以推断物体的属性，有些地物如湖泊和池塘，主要依据它们的大小来区别。判读地物大小时必须考虑图像的比例尺，根据比例尺的大小可以计算或估算出图像上物体所对应的实际大小。同时，影响图像上物体大小的因素有地面分辨率、物体本身亮度与周围亮度的对比关系等。

(5) 纹理 也叫内部结构，是指遥感图像中目标地物内部色调有规则变化造成的影像结构。纹理在高分辨率像片上可以形成目标物表面的质感，在视觉上看上去显得平滑或粗糙，因此可以作为区别地物属性的重要依据。

(6) 阴影 是遥感图像上光束被地物遮挡而产生的地物的影子，根据阴影形状、大小可判读物体的性质或高度。阴影的长度、方向和形状受到光照射角度、光照射方向和地形起伏等影响。不同遥感影像中阴影的解译是不同的，例如侧视雷达影像中目标地物阴影由目标阻挡雷达波束穿透而产生，热红外图像中目标地物阴影是由于温度差异所形成。

(7) 相关布局 指多个目标地物之间的空间配置关系。地面物体之间存在着密切的物质与能量上的联系，依据空间布局可以推断目标地物的属性。例如在人

工海岸的解译中，货运码头的修筑位置与货物存储堆放区等都是进行判别的主要标志。

综上所述，由于地面各种目标地物在遥感图像中存在着不同的色、形、位的差异，因此构成了可供识别的目标地物特征，它们都可以作为分析、解译、理解和识别遥感图像的依据。

2.3.3 人工海岸

人工海岸大部分是由混凝土修筑而成的水工建筑，目的是为了阻挡海水，在设计上是要确保特大海潮时不能漫堤，而且人工海岸的建筑几何形状一般比较规则，例如码头与岸上的仓库，船在水面上行驶的时候会出现逐渐扩展的水迹线，这些都是判别人工海岸的标志，如图2.7所示。人工建筑在近红外波段的图像上具有较高的光谱反射率，与图像中的海水区分明显，其海岸线易于计算机自动提取。由于在提取海岸线时所使用TM图像分辨率为30米，因此人工海岸内的防波堤宽度在图像上仅为一个像元的宽度，在图像中的显示比较模糊，所以没有把防波堤列入人工海岸的海岸线提取范围。

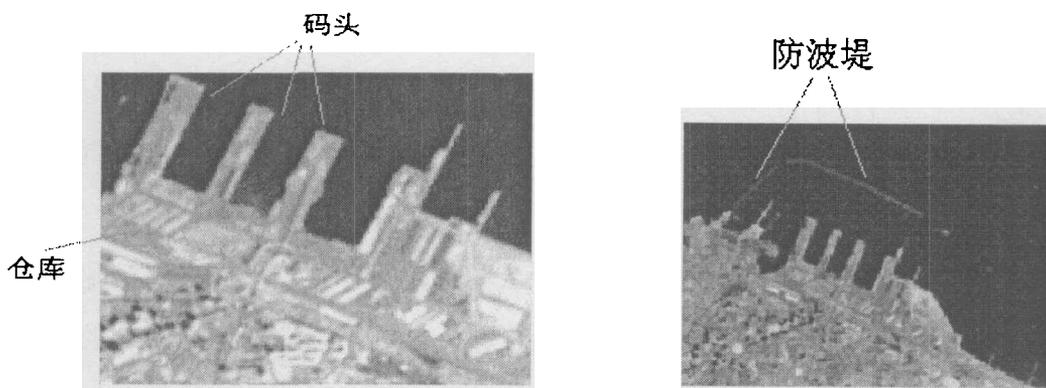


图 2.7 人工海岸

Fig. 2.7 Artificial Coast

为了提高目视解译的效率，选用海水与地物区分明显的波段的图像，首先在TM图像的人工海岸与海水中分别随机选取10个点，做出这20个点在6个波段中的光谱图，如图2.8所示，海水与人工海岸的光谱反射率在6个波段中分为两部分，在第3波段和第5波段都显示出了很大的差别，因此在对人工海岸的解译中可以选择

这两个波段的图像。同时，这种方法也适用于其它几种海岸的目视解译工作。

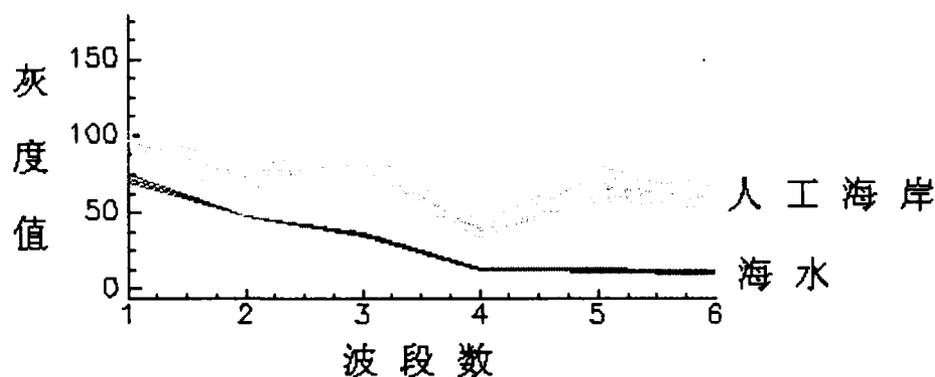


图 2.8 灰度值对比图

Fig. 2.8 the Figure of Contrasting Gray

2.3.4 基岩海岸

基岩海岸是海边的岩石山体受海水侵蚀形成，由于海水不能越过海蚀崖，可以作为基岩海岸的岸线。沿海地区是人口居住的密集区域，海边绿化程度较高的山体光谱反射率较低，表现为粗糙的斑块状，能够区别于一般的岩石或裸地；岩石山体的面积比较大，植被覆盖较少，因此在图像中能表现出明显的凹凸感，有比较明显的山脉纹理特征，根据以上两种特征可以判别出基岩海岸，如图2.9所示。而基岩海岸与海水相连接的边界非常明显，其解译标志就是海岬角以及直立陡崖与海水的结合处。

同时，如果使用三个波段的假彩色合成图像也可以很清楚的发现绿化后的岩石山体，从而判断出基岩海岸。根据加色法彩色合成原理选择遥感影响的某三个波段，分别赋予红、绿、蓝三种颜色，就可以合成彩色图像，由于原色的选择与原来遥感波段所代表的真实颜色不同，因此生成的合成彩色不是地物真实的颜色，称为假彩色合成。一般以合成后的信息量最大和波段之间的信息相关最小作为选取合成的最佳目标。例如，使用TM的3, 4, 5波段依次赋予红、绿、蓝色进行合成，可以突出丰富的信息，包括水体、森林、城区、山区、平原及其它线性纹理特征。

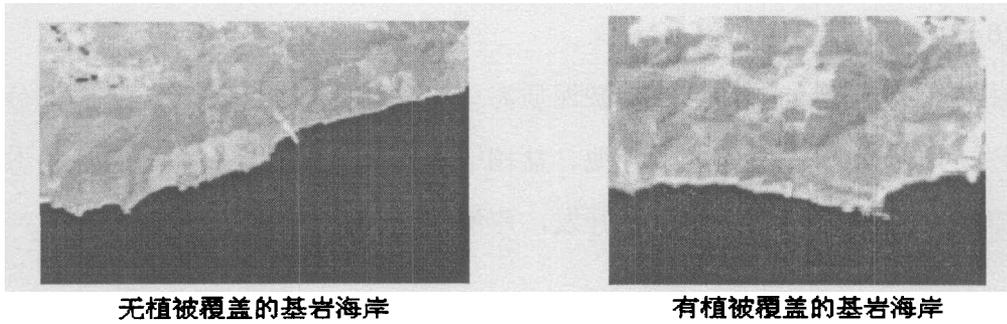


图 2.9 基岩海岸

Fig. 2.9 Basement Rock Coast

2.3.5 砂质海岸

砂质海岸是砂粒在海浪作用下堆积形成的，在波浪无法作用的区域砂质也就会消失，因此可以把砂质海岸和陆地上非砂质地物的分界线作为海岸线。砂质海岸在靠近陆地的方向上与其它类型的地物相连接，有可能是建筑物、公路等用地，也可能是海水不能到达的其它非砂质地物，这些与沙滩相接的地物亮度比较低，所以砂质海岸的岸线在图像上的纹理特征是比较明显的。

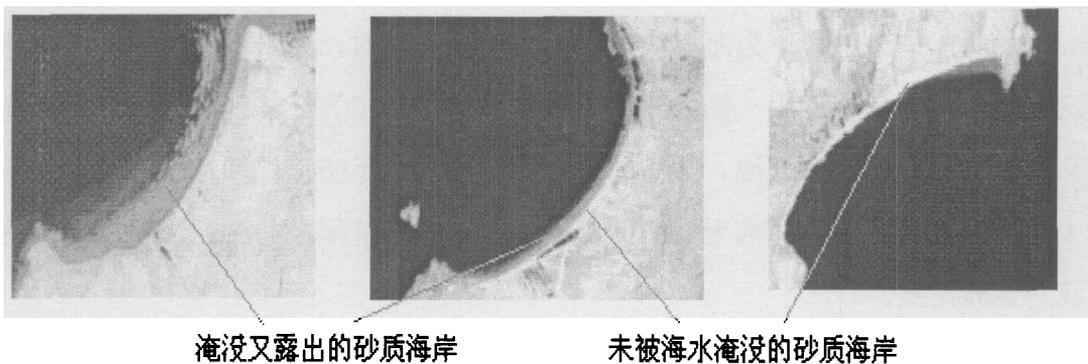


图 2.10 砂质海岸

Fig. 2.10 Sandy Coast

需要注意的是，由于潮汐作用的影响，沙滩有时会被海水部分或全部淹没，当海水退去时，被海水淹没又露出的沙滩在图像上亮度较低，未被海水淹没的沙滩亮度较高，而海岸线应该是整个砂质海岸与非砂质地物的分界线，因此应该选取图像上亮度较高的沙滩与非砂质地物的分界线作为海岸线，如图 2.10 所示。

2.3.6 淤泥质海岸

根据遥感图像的解译方法，淤泥质海岸可分为两种类型，一类是大部分已经被开发的淤泥质海岸，建成了虾池、盐田等养殖区；另一类是保持自然状态的淤泥质海岸，这类淤泥质海岸未经开发，岸滩面积较大，如图2.11所示。

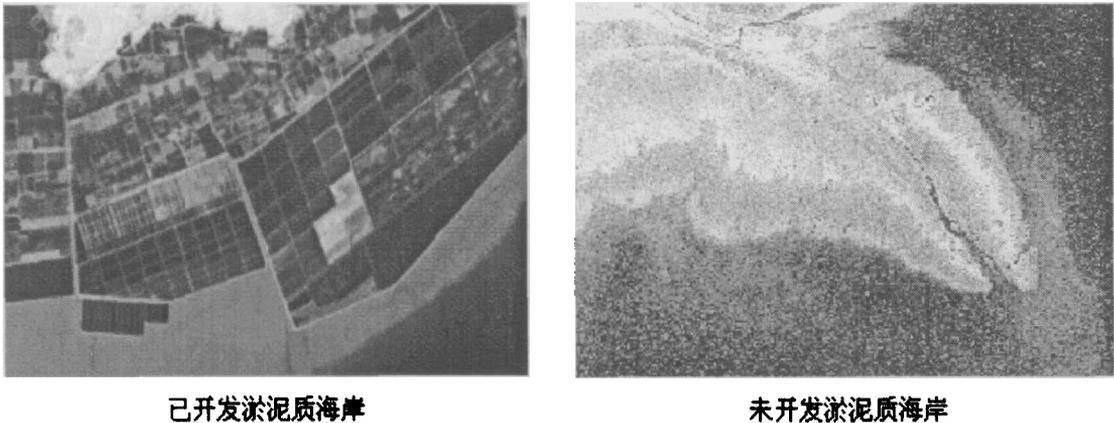


图 2.11 淤泥质海岸

Fig. 2.11 Silty Soil Coast

对于已开发的淤泥质海岸，可以选择其它地物（如植被，虾池，公路等）与淤泥质海岸的分界线作为海岸线，因为在大潮高潮时，海水不能越过其分界线。这类淤泥质海岸的近岸一侧修建了大量的虾池、盐田等经济区域，为了避免海洋恶劣天气的影响，在虾池、盐田的近海一侧均修筑了防浪堤坝，目的是为了防止大潮高潮或风暴潮时海水无控制的灌入，而这些经济区域与淤泥质海岸的分界线就是其海岸线。

对于未开发的淤泥质海岸，淤泥质岸滩与海水的分界线在图像上很清晰。但是，由于其岸滩面积较大，在图像上无法找到明显的解译标志，需要通过潮位与卫星图像的对比进行计算，才能得出海岸线在淤泥质海岸上的准确位置。

2.4 小结

为了提高目视解译的质量，在工作开始前要明确解译任务与要求，而且要收集并分析该地区的有关资料，并选择恰当时相与合适波段的遥感影像。同时，为了保证解译标志的正确性和可靠性，必须进行解译区的野外调查，通过影像与野

外实际地物进行对比，以检验目视判读的质量和译精度。

在本文的研究中使用的是Landsat的TM图像，在对图像中各种类型海岸进行解译的过程中总结出了一些判断各种地物色调与颜色标志，如表2.4所示。

表 2.4 图像中的地物色调

Tab. 2.4 the Hue of Physiognomy in the Image

波段 地物	2 (绿色)	3 (红色)	4 (近红外)	2, 3, 4合成假彩色
浑浊水体	深灰	深灰	灰黑	浅蓝
清澈水体	灰黑	灰黑	暗黑	深蓝
草地	灰	暗灰	灰白	粉红—红
裸地	浅灰	灰白	灰白	灰白
街道	灰	浅白	浅灰	蓝
湿地	深灰	浅白	灰	淡蓝
耕地	灰	灰黑	浅白	粉红—红
林地	浅灰	暗灰	浅白	红

第3章 海岸线提取的基本算法优化

对海岸线自动提取的研究首先是对水边线提取算法的分析,是进行海岸线动态研究的必要环节。水边线可以看作灰度图像中的边缘点集合,而常见的边缘点有三种,第一种是阶梯形边缘,即从一个灰度到比它高好多的另一个灰度;第二种是屋顶型边缘,它的灰度是慢慢增加到一定程度然后慢慢减小;第三种是线性边缘,它的灰度从一个级别跳到另一个灰度级别之后然后回来。水边线在卫星图像中显示为水陆分界线,也就是灰度图像的灰度值发生阶跃变化的像素点的集合。

针对灰度图像中水陆分界线的提取,本文使用了各种边缘检测算法对卫星图像进行了处理,对比其水陆分界线的效果,从而确定出一种检测效果较好的算子。

3.1 Roberts算法

这种算法是用图像的垂直和水平差分来逼近梯度算子,采用交叉差分的方法:

$$T_1=f(x,y)-f(x+1,y+1), T_2=f(x+1,y)-f(x,y+1) \quad (3.1)$$

用模板可以表示为 $T_1=\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$, $T_2=\begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$ 。Roberts梯度^[38]相当于在图像上开一个 2×2 的窗口,用模板 T_1 计算后取绝对值再加上模板 T_2 计算后取绝对值,将计算值作为中心像元 (x,y) 的梯度值。

这种算法的意义在于用交叉的方法检测出像元与其在上下之间或左右之间或斜方向之间的差异,采用这种方法对图像中的每个像元计算其梯度值,最终产生一个梯度图像,达到突出边缘的目的。

3.2 Prewitt算法与Sobel算法

与Roberts梯度相比,Prewitt算法^[38]较多地考虑了邻域点的关系,扩大了模板,从 2×2 扩大到 3×3 进行差分((x,y) 为中心像元):

$f(x-1,y-1)$	$f(x-1,y)$	$f(x-1,y+1)$
$f(x,y-1)$	$f(x,y)$	$f(x,y+1)$
$f(x+1,y-1)$	$f(x+1,y)$	$f(x+1,y+1)$

用模板表示为

$$T_2 = \begin{array}{|c|c|c|} \hline -1 & -1 & -1 \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline \end{array} \quad T_2 = \begin{array}{|c|c|c|} \hline -1 & 0 & 1 \\ \hline -1 & 0 & 1 \\ \hline -1 & 0 & 1 \\ \hline \end{array}$$

Sobel算法^[38]是在Prewitt算法的基础上,对4邻域采用加权方法进行差分,考虑到周围不同灰度的像素对中心像素的影响,因而对边缘的检测更加精确。

Roberts算法中提取的边界是边缘中的一条边,也就是一个像元的宽度;Sobel算法则提取了边缘处的双边,即两个像元的宽度。计算机中的卫星图像都是栅格图像,栅格的宽度就代表一定的地面距离,为了降低分辨率对海岸线位置产生的影响,应尽量使图像中的海岸线保持一个像元的宽度,基于以上原因,Sobel算法不适用于卫星图像的海岸线提取。

3.3 Laplace算法

Laplace算子^[38]是线性二阶微分算子,即

$$\nabla^2 f(x, y) = [\partial^2 f(x, y) / \partial x^2] + [\partial^2 f(x, y) / \partial y^2] \quad (3.2)$$

对于离散的数字图像,二阶导数可以用二阶差分近似计算,由此可推导出Laplace算子的表达式为

$$\nabla^2 f(x, y) = f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1) - 4f(x, y) \quad (3.3)$$

用模板可表示为

$$\varphi(m, n) = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0 & 1 & 0 \\ \hline 1 & -4 & 1 \\ \hline 0 & 1 & 0 \\ \hline \end{array}$$

此模板的意义是取一个像元的上下左右4个相邻像元的值相加的和减去该像元的4倍,作为该像元新的灰度值。

3.4 Canny算法

Canny边缘检测算子提出了如下3个判断准则,推导出了边缘检测算子^[36]。

(1) 信噪比准则

信噪比的数学表达式为

$$SNR = \frac{\left| \int_{-w}^{+w} G(-x)f(x)dx \right|}{n_0 \sqrt{\int_{-w}^{+w} f^2(x)dx}} \quad (3.4)$$

其中, $f(x)$ 是边界为 $[-w, +w]$ 的滤波器的脉冲响应, $G(x)$ 代表边缘, n_0 是高斯噪声的均方根。如果信噪比大, 则边缘提取效果就好。

(2) 定位精度准则

定位精度的数学表达式为

$$Localization = \frac{\left| \int_{-w}^{+w} G'(-x)f'(x)dx \right|}{n_0 \sqrt{\int_{-w}^{+w} f'^2(x)dx}} \quad (3.5)$$

其中, $G'(x)$ 和 $f'(x)$ 分别表示 $G(x)$ 及 $f(x)$ 的一阶导数。若满足此准则, 边缘定位精度就高。求取 (3.4) 式及 (3.5) 式的乘积的最大值, 是设计最佳算子的基础。

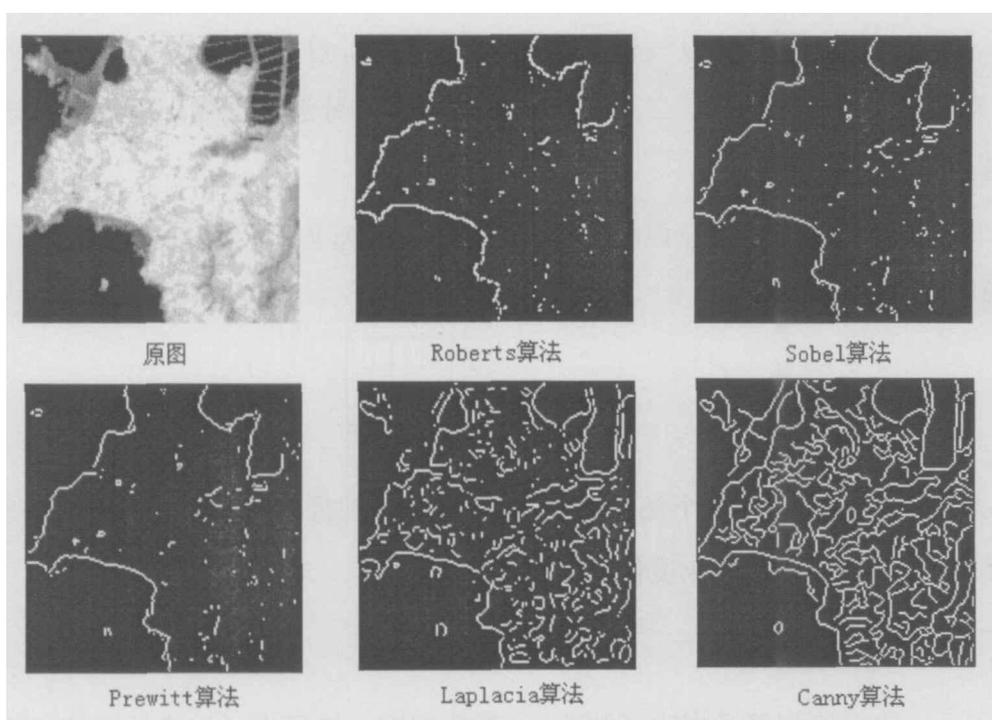


图 3.1 各种边缘检测算子效果

Fig. 3.1 the Effect of Various Edge Detection Operator

(3) 单边缘响应准则

这要求在了对噪声的响应中, 两个相邻最大值间的距离为 $x_{\max}(f)$, f' 的零交

叉点平均距离为 $x_u(f)$ 。两者间的关系是

$$x_{\max}(f) = 2x_u(f) = KW \quad (3.6)$$

其中, k 为小于1的系数, 而

$$X_u(f) = \left[\frac{\int_{-\infty}^{+\infty} f'^2(x) dx}{\int_{-\infty}^{+\infty} f''(x) dx} \right]^{1/2} \quad (3.7)$$

若满足此准则, 就能保证单边缘只有一个响应。

3.5 小结

在matlab平台实现上述边缘检测算法, 并且把这些算法应用于卫星图像的边缘提取, 经过对比可以看出Canny算法检测出的图像边缘最清晰, 没有断点出现, 如图3.1所示。Canny算子提出了好的检测结果、对边缘的定位要准确、对同一边缘要有低的响应次数三个图像边缘提取限制条件, 是效果最好的阶梯型边缘检测算子, 而卫星图像中的水陆分界线基本都是阶梯型边缘, 即灰度图像从陆地跃迁到海水的变化, 使用Canny算子获得了超出其它算子的检测效果, 可以作为卫星图像的海岸线自动提取的基本算法。

第4章 海岸线提取方法

4.1 研究区域及资料选取

4.1.1 研究区域

本文选取辽宁省锦州市、大连市、营口市地区的海岸为试验研究对象，大连市沿岸地质结构以花岗岩为主，在市区内有大型港口；在锦州市的锦州湾南部是典型的基岩海岸；在瓦房店地区有大面积的砂质海岸；营口市靠近辽河口，有范围较大的淤泥质海岸与滩涂养殖区，如图4.1所示。这四个地区包括了我国北方最常见的四类海岸：淤泥质海岸，砂质海岸，基岩海岸和人工海岸。本文所说的海岸线是指海水在多年平均大潮高潮位时刻的海陆分界线。

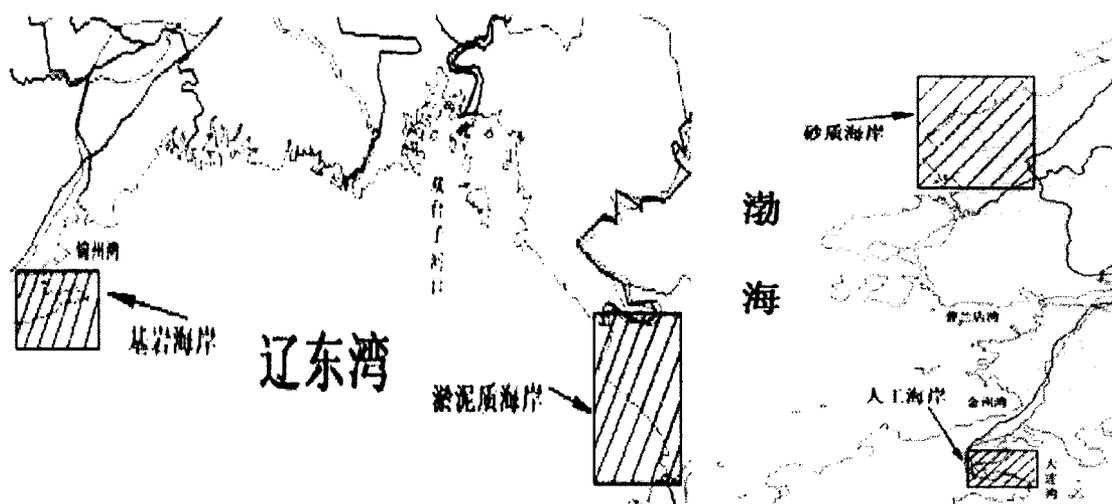


图 4.1 研究区域

Fig. 4.1 the Researched District

4.1.2 资料选取

本项工作选择了四个不同时相和地区的Landsat-7全景图像，如表4.1所示，开展了海岸线提取方法的试验研究。Landsat-7每16至18天覆盖地球一次，图像的覆盖范围为 $185 \times 170 \text{ km}^2$ ，携带的ETM传感器共8个波段，其中7个单色波段空间分辨率为30m，全色波段空间分辨率为15m。

表4.1 ETM图像资料
Tab. 4.1 ETM Image Data

序号	成像时间	地理位置	条带号	行编号
1	2001. 08. 11	辽东湾东部及黄海北部	119	032
2	2001. 08. 27	大连沿海地区及黄海西北部	119	032
3	2001. 09. 03	辽东湾全景	120	032
4	2001. 05. 01	辽东湾全景	120	032

4.2 提取技术流程

4.2.1 图像预处理

卫星传感器由于受到运动状态变化、地形起伏、地球表面曲率、大气折射和地球自转等因素的影响,使其在几何位置上发生了变化,像元大小与地面大小对应不准确。针对这种情况,图像在使用之前需要进行精校正。

(1) 基本思路 校正前的图像由于几何畸变,图像中像元点间所对应的地面距并不相等。校正后的图像是由等间距的像元组成,且以地面为标准,符合投影的均匀分布。校正的最终目的是确定校正后图像的行列数值,然后找到新图像中每一像元的亮度值。

(2) 具体步骤 找出一种数学关系,建立变换前图像坐标 (x, y) 与变换后图像坐标 (u, v) 的关系,通过每个变换后图像像元的中心位置(u 代表行数, v 代表列数)计算出变换前对应的图像点坐标 (x, y) 。分析得知,整数 (u, v) 的像元点在原图像坐标系中一般不在整数 (x, y) 点上,即不在原图像像元中心。计算校正后图像中的每一点所对应原图中的位置 (x, y) 。计算时按行逐点计算,每行结束后进入下一行计算,直到全图结束。

由于计算后的 (x, y) 多数不在原图的像元中心处,因此必须重新计算新位置的亮度值。一般情况下,新点的亮度值介于邻点亮度值之间,所以常用内插法计算。

(3) 计算方法 首先建立两图像元点之间的对应关系,记作:

$$\begin{aligned} x &= f_x(u, v) \\ y &= f_y(u, v) \end{aligned} \quad (4.1)$$

通常数学关系 f 表示为二元 n 次多项式:

$$\begin{aligned} x &= \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-i} a_{ij} u_i v_j \\ y &= \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-i} b_{ij} u_i v_j \end{aligned} \quad (n=1, 2, 3, \dots) \quad (4.2)$$

实际计算时采用二元二次多项式, 展开式为:

$$\begin{aligned} x &= a_{00} + a_{10}u + a_{10}v + a_{11}uv + a_{20}u^2 + a_{02}v^2 \\ y &= b_{00} + b_{10}u + b_{10}v + b_{11}uv + b_{20}u^2 + a_{02}v^2 \end{aligned} \quad (4.3)$$

为了通过 (u, v) 找到对应的 (x, y) , 首先必须计算出公式(4.3)的12个系数。由线性理论可知, 求12个系数必须列出12个方程, 即找到6个已知的对应点, 也就是这6个对应点的 (u, v) 和 (x, y) 均为已知。称这些已知坐标的对应点为控制点, 然后通过这些控制点, 解方程组求出12个 a 、 b 系数值。

本次研究根据以上原理对所有试验图像均进行几何精校正。数据都统一到以 117° 为中央经线的 6° 带高斯-克吕格投影的地形图上, 采用WGS-84坐标系和1985国家高程基准, 以ERDAS 8.7软件为支持平台, 在1:50000地形图上选取了126个分布均匀的地面控制点进行图像几何校正, 保证了校正精度在一个像元以内^[35]。

4.2.2 分类提取步骤

不同类型的海岸线有不同的遥感解译标志, 不能把图像中的海陆分界线作为海岸线进行简单的提取, 而应该针对不同类型的海岸线进行解译分析, 确定其在图像中的准确位置, 然后使用边缘检测算子进行提取。各类海岸都有各自的地貌特征, 在卫星图像上的光谱特征也有很大差异, 但单波段灰度图像中的海岸线特征不十分明显, 而边缘检测算子只能对灰度图像进行处理, 因此需要根据海岸类型对灰度图像进行预处理后才能提取, 具体的提取过程如图4.2所示。

4.2.3 精度检验方法

为了验证提取效果, 首先在原图像中的海岸线上随机取像素点, 然后在提取出海岸线的图像中找出与之相对应的像素点, 比较二者之间的位置变化, 根据发生位移的点的个数可以知道提取的精度。如果两个像素点的位置重叠则效果达到最好, 如果两个像素点相邻则在误差允许范围之内, 如果两个像素点不重叠或不

相邻，则表示这一点的像素提取失败。

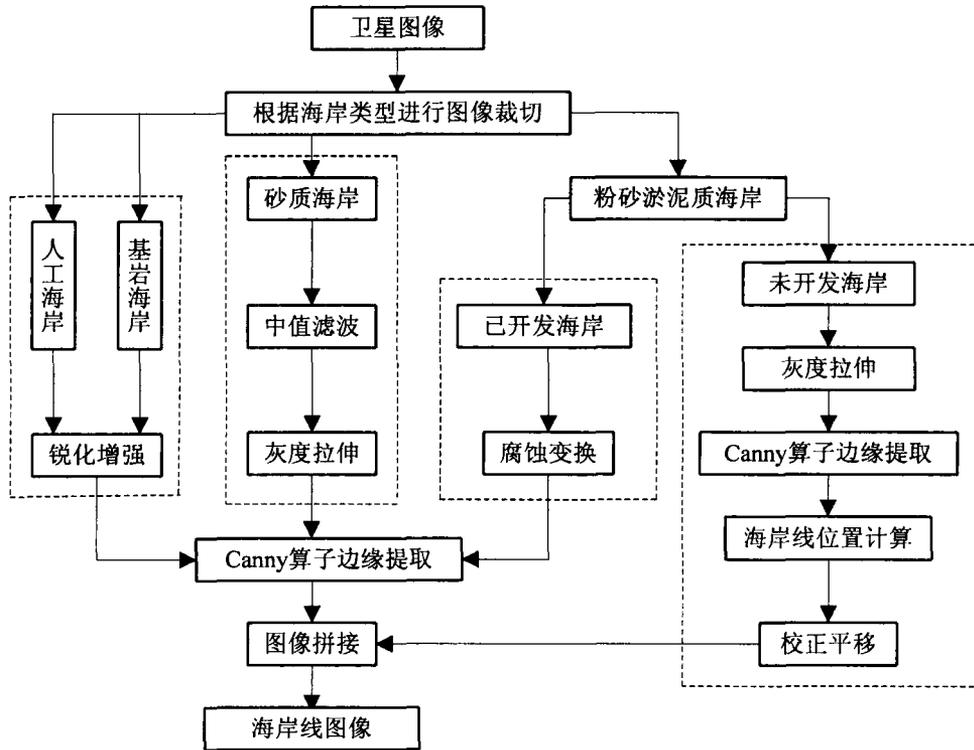


图 4.2 海岸线提取流程图

Fig. 4.2 the Flow Chart of Withdrawing Coastline

4.3 人工海岸与基岩海岸的海岸线提取方法

卫星图像中人工海岸与基岩海岸的共同特点是水陆分界线非常明显，可以用高通滤波器进行图像锐化增强，前面使用的几种边缘检测算法也属于高通滤波器，因此图像锐化增强原理与边缘检测算法原理相同，只是在模板的设置方法上有区别。锐化增强模板的中心像元值远远大于周围像元值，可表示为

1	1	1
1	X	1
1	1	1

使用该模板从需要处理的图像的左上角开始，在图像上开一个与模板同样大小的活动窗口，使图像窗口与模板像元的灰度值相乘再相加，计算的结果作为窗口中心像元的新的灰度值，依次类推逐列逐行将全副图像扫描一遍，生成新的被增强

图像。

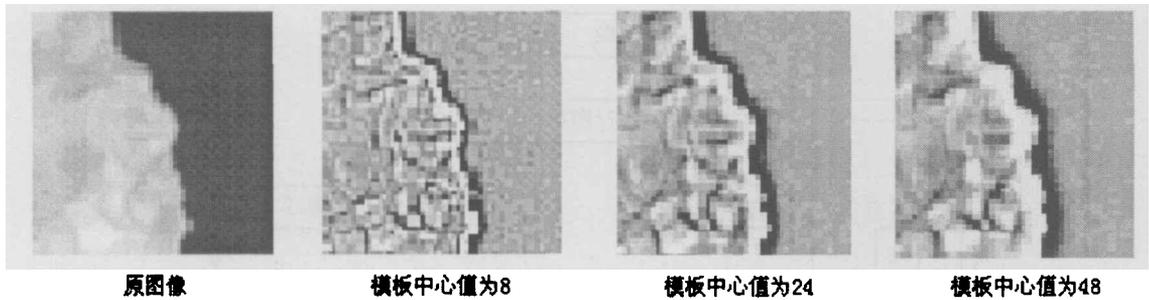


图 4.3 图像锐化效果

Fig. 4.3 the Effect of Sharpening Image

从图 4.3 所示的对比可以看出，模板的中心值越大，则图像的边缘越突出，但是，中心值达到一定量以后图像的边缘完全可以满足海岸线提取的要求，如果中心值很高，会影响图像处理的速度，因此模板的中心值不需要很高，只要能够满足海岸线提取的要求即可。

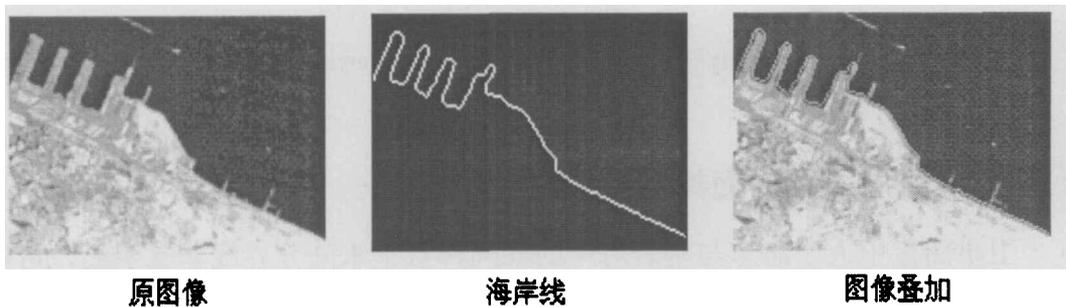


图 4.4 人工海岸的岸线提取

Fig. 4.4 the Effect of Withdrawing Coastline about Artificial Coast

经过锐化增强的图像的边缘特征更加突出，使用 Canny 算子直接进行提取，即可获得很好的效果，如图 4.4、图 4.5 所示。需要注意的是，涨落潮对图像中基岩海岸的岸线位置判断会造成影响。由于潮流的作用，海水并不是一直与海蚀崖相接，只有当大潮高潮时卫星过顶拍摄到的图像中水边线才满足海岸线定义的要求。因此，在确定基岩海岸的时候所选用的图像应尽量选取高潮位时刻的图像，以保证所提取的海岸线的准确性。

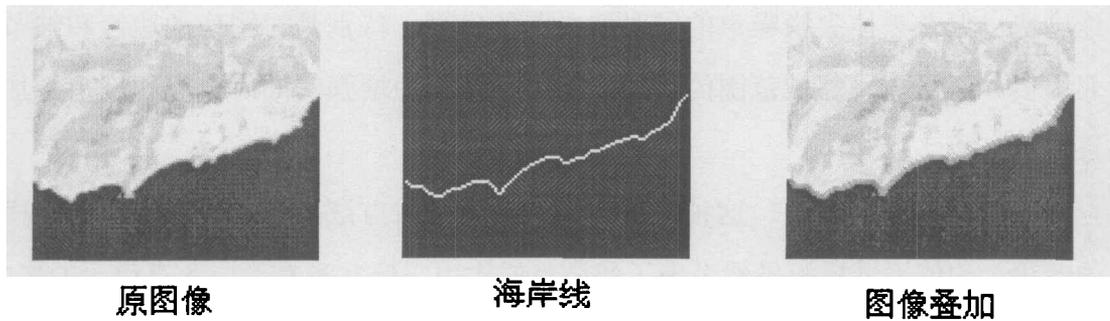


图 4.5 基岩海岸的岸线提取

Fig. 4.5 the Effect of Withdrawing Coastline about Basement Rock Coast

4.4 砂质海岸的海岸线提取方法

根据砂质海岸的海岸线解译方法，首先要在图像上提取出整个砂质海岸图块，然后取砂质海岸靠近陆地一侧的边缘即可作为砂质岸线。但是砂质海岸在卫星图像上并不是每个像素都是同样的灰度，在和非砂地区的连接处会有一些亮度低于砂质地物而高于非砂地物的像素。为了去掉这些像素的干扰，可以使用平滑图像的方法，把这些点作为噪声去除。

4.4.1 图像噪声的平滑

平滑图像的方法有许多种，其中比较常用的有均值平滑、中值滤波、高斯低通滤波三种方法：

(1) 均值平滑 这种方法均等地对待邻域中的每个像元，对于每个像元在以它为中心的邻域内取平均值，作为该像元新的灰度值。假定邻域的大小为 $M \times N$ ，则均值平滑的公式为

$$g(i, j) = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N f(m, n) \quad (4.4)$$

当 $M=N$ 时，用 3×3 的模板进行运算，此时的模板 $\varphi(m, n)$ 为

1	1	1
1	1	1
1	1	1

为了避免中心像元值过高影响平均值升高，在运算时可不取中心值，用周围 8 个像元值进行计算，即把上述模板中的中心值的 1 变为 0。均值平滑算法简单，计算

速度快，但在去掉尖锐噪声的同时造成图像模糊，特别是对图像的边缘和细节削弱很多。而且随着邻域范围的扩大，在去噪声能力增强的同时模糊程度也更加严重。

(2) 高斯低通滤波 这种平滑方法与均值平滑方法类似，是对均值平滑模板的改进。均值平滑模板虽然考虑了邻域点的作用，但并没有考虑各点位置的影响，对于所有的 9 个点都一视同仁，所以平滑的效果并不理想。实际上离中心点越近的点对该中心点的影响应该越大，为此高斯低通滤波器引入了加权系数，将均值平滑模板改造成为

1	2	1
2	4	2
1	2	1

这个模板是通过采样二维高斯函数得到的，因此也称为高斯 (Gauss) 模板。

(3) 中值滤波 这种方法是对以每个像元为中心的 $M \times N$ 邻域内所有像元按灰度值大小排序，用其中值作为中心像元的灰度值，是一种非线性的图像平滑方法。中值滤波以中值替代平均值，起到滤波器的作用，在抑止噪声的同时能够有效地保留边缘，减少模糊。以一副 5×5 的图像为例，采用 1×3 的模板对其做中值滤波，令其最左和最右两列保留原值。

从中值滤波的结果可以看出，在噪声点 10 和 12 被去除的同时，图像中间部分的灰度变化趋势保守。

中值滤波与均值平滑的目的都是为了去除图像上的尖锐“噪声”，平滑处理图像，但两者之间又有区别，选用方法需要根据图像特点和处理目的来决定。

4	2	7	6	3			
2	1	0	5	2			
3	3	4	1	7			
5	6	10	4	3			
2	4	12	6	7			

→

4	4	6	6	3
2	1	1	2	2
3	3	3	4	7
5	6	6	4	3
2	4	6	7	7

4.4.2 海岸线提取

根据以上提出的三种图像平滑方法对研究区内部分砂质海岸进行了图像平滑的预处理，对比其效果可见中值滤波后图像灰度变化的“阶梯效果”被保留，而均值平滑后“阶梯效果”消失，边缘模糊、灰度值呈渐变趋势，如图4.6所示。根

据图像平滑方法的特点和对图像的预处理的视觉效果，中值滤波后的图像更能突出图像的边界，符合海岸线提取研究的要求。

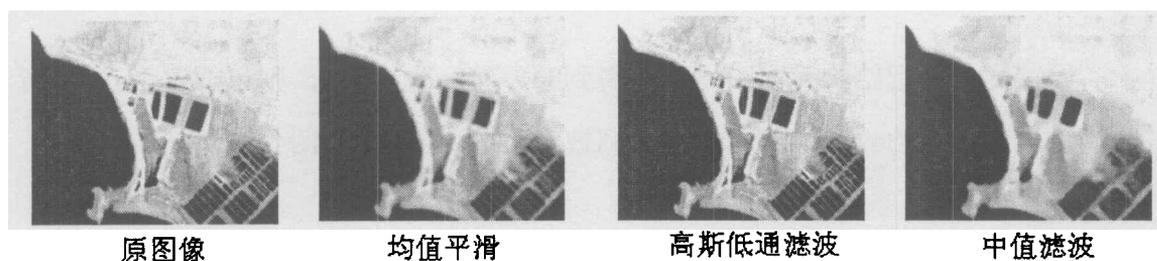


图 4.6 图像平滑效果

Fig. 4.6 the Effect of Smoothing Image

经过中值滤波以后，图像中砂质海岸的边界已经清晰，为了把砂与非砂地物确定为两类不同的图像类型，还要使用目视解译的方法对图像的直方图进行拉伸，确定一个域值使砂质海岸与其它地物分为不同的两个灰度值，从而实现图像二值化。经过二值化后的图像，其砂质海岸与非砂质地物的分界线非常明显，可以使用Canny算子进行海岸提取，如图4.7所示。

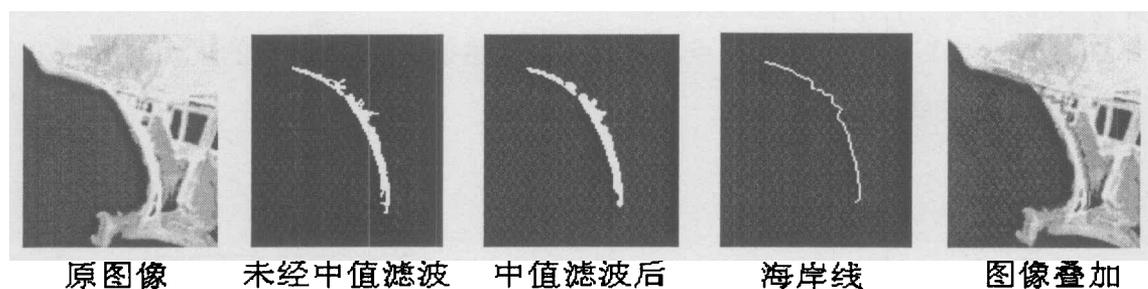


图 4.7 砂质海岸的岸线提取

Fig. 4.7 the Effect of Withdrawing Coastline about Sandy Coast

4.5 淤泥质岸线的提取方法

4.5.1 数学形态学算法

数学形态学^[39]是分析几何形状和结构的数学方法，是建立在集合代数基础上，用集合论方法定量描述几何结构的科学。这种分析方法是由一组形态学的代数算

子组成,用这些算子及其组合进行图像形状和结构的分析处理。最常用的有七种基本变换,包括膨胀、腐蚀、开、闭、击中、薄化、厚化。其中膨胀(Dilation)和腐蚀(Erosion)是两种最基本最重要的变换,其它变换由这两种变换的组合来定义。

腐蚀变换是把结构元素B平移a后得到Ba,若Ba包含于X,则记下这个a点,所有满足上述条件的a点组成的集合称为X被B腐蚀的结果,如图4.8所示。

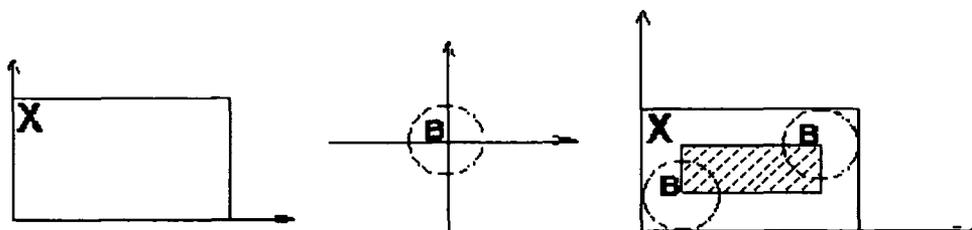


图 4.8 腐蚀变换原理

Fig. 4.8 the Theory of Erosion Transformation

用公式表示为

$$E(X) = \{a | Ba \in X\} = X \ominus B \quad (4.5)$$

膨胀变换可以看做是腐蚀的对偶运算,其定义是:把结构元素B平移a后得到Ba,若Ba击中X,则记下这个a点,所有满足上述条件的a点组成的集合称为X被B膨胀的结果,如图4.9所示:

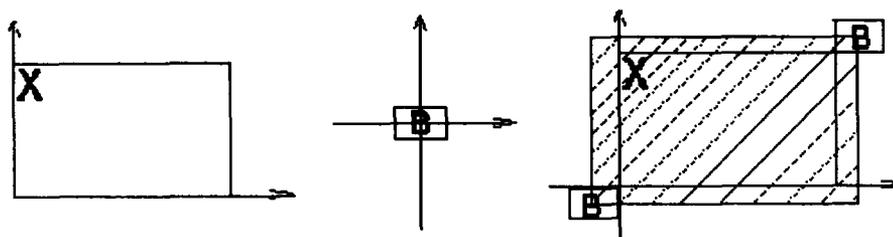


图 4.9 膨胀变换原理

Fig. 4.9 the Theory of Dilation Transformation

用公式表示为:

$$D(X) = \{a | Ba \uparrow X\} = X \oplus B \quad (4.6)$$

4.5.2 已开发的淤泥质海岸

对于以开发的淤泥质海岸，可以选择其它地物（如植被，虾池，公路等）与淤泥质海岸的分界线作为海岸线，因为在大潮高潮时，海水不能越过其分界线。这类淤泥质海岸的近岸一侧修筑了大量的虾池、盐田等经济区域，为了避免海洋恶劣天气的影响，在虾池、盐田的近海一侧均修筑了防浪堤，目的是为了防止大潮高潮时海水无控制的灌入，而这些经济区域与淤泥质海岸的分界线就是其海岸线。图像中的虾池、盐田储有大量海水，与淤泥质海岸区分明显，但是在不同虾池的分界处有一些引海水入池的槽沟（箭头所示），这些槽沟在图像中与淤泥质海岸相同，而且与其相连同，影响了对岸线的提取。

为了去除对海岸线提取的影响因素，首先利用数学形态学中的腐蚀变换对图像进行了滤波，使图像中的槽沟与虾池融为一体，再利用Canny算子完成了对图像中海岸线的提取，如图4.10所示。

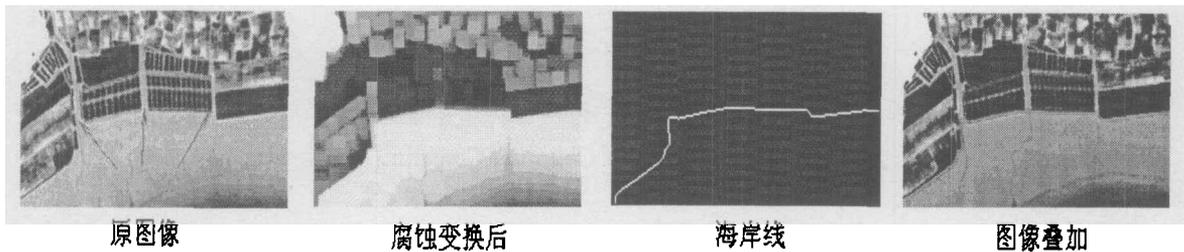


图 4.10 已开发淤泥质海岸的岸线提取

Fig. 4.10 the Effect of Withdrawing Coastline about Empoldered Silty Soil Coast

4.5.3 未开发的淤泥质海岸

对于未开发的淤泥质海岸，淤泥质岸滩与海水的分界线在图像上很清晰，经过锐化滤波器增强图像后即可使用Canny算子提取岸线。但是，由于其岸滩面积较大，在图像上无法找到明显的解译标志，需要通过潮位与卫星图像的对比进行计算，才能得出海岸线在淤泥质海岸上的准确位置。

考虑到海岸线与低潮线的特点以及遥感图像的瞬时性，为了提高海岸线提取的精度，需要进行潮汐校正。根据海洋观测站的验潮数据，根据潮间带的地形坡度和水边线与潮位线的高差值，可以推算出海岸线的位置。根据计算海湾年沉积

速率时使用的 $Y = X A$ 的计算公式，其计算原理认为可以将淤泥质海岸在整体上看作光滑的坡面，其中 Y 为年沉积速率， A 为潮滩坡度， X 为水边线年淤涨速率^[33]。

本文选取了三个相近时期的同一地区淤泥质岸滩的卫星图像，计算三条水边线之间的两块淤泥质岸滩坡度，验证了计算淤泥质海岸坡度的方法，如图 4.11 所示。取两景卫星图像，提取出其中的水边线，分别设为 C_1 、 C_2 ，量出图像上两水边线的距离，设为 ΔL ，同时确定这两副图像的卫星过顶时刻的潮位高度，分别设为 h_1 、 h_2 ($h_2 > h_1$)，可得出岸滩的坡度为：

$$\theta = \arctg[h_2 - h_1 / \Delta L] \quad (4.7)$$

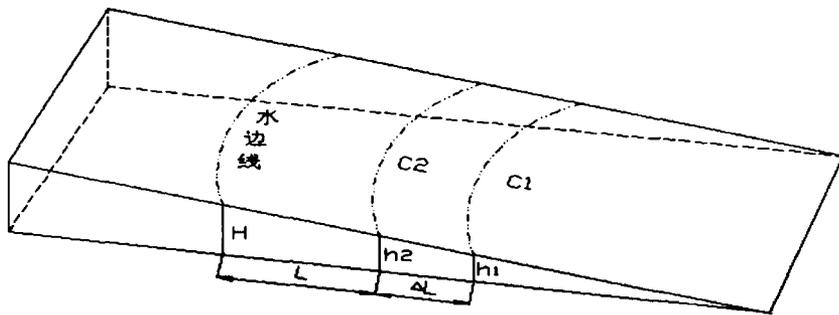


图 4.11 海岸线位置计算的原理

Fig. 4.11 the Theory of Counting Coastline Position

再确定平均大潮高潮位的潮水高度 H ，计算出对水边线（以 C_2 为例）的校正距离为：

$$L = (H - h_2) / \tg\theta \quad (4.8)$$

将需要校正的水边线向前移动距离 L 就可以在图上得出真正意义的海岸线位置。

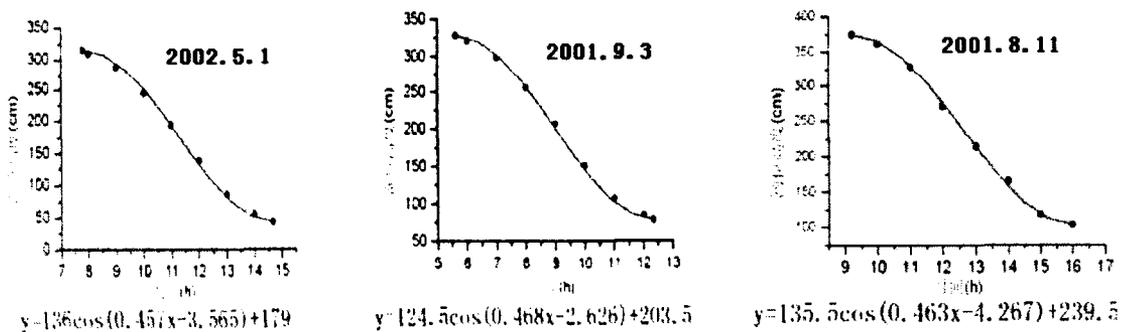


图 4.12 潮位线性方程与拟合曲线

Fig. 4.12 the Linear Equation and Fit Curve about Tidal Level

根据上述原理, 首先要获取卫星过顶时刻的潮位数据, 但是潮汐表^[40]中没有具体时刻的潮位数据, 只有整点时刻的潮位数据, 而淤泥质海岸的坡度较缓, 大约在0.1‰以上, 如果忽略潮汐时间的影响将会影响计算的精度。为了计算具体时刻的潮位, 把已有的潮位数据进行线性拟合, 得出了潮位与时间的线性关系方程, 从而计算出具体时刻的潮位高度^[41], 如图4.12所示。

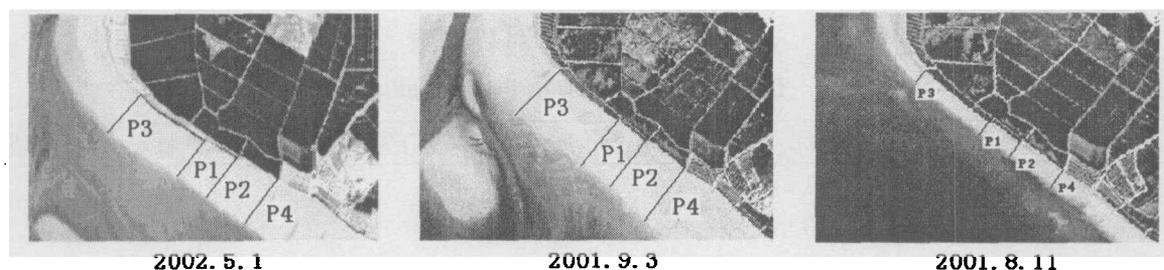


图 4.13 三期淤泥质海岸图像对比

Fig. 4.13 the Three Times Images about Silty Soil Coast

在三幅图像中的淤泥质海岸与虾池分界线上选取相同的点做起点, 沿垂直于虾池防浪堤向海洋一侧作垂线, 垂线与水边线的交点为终点, 得出三组直线 l_1 (2001年9月)、 l_2 (2002年5月)、 l_3 (2001年8月), 每组选择4个剖面, 验证坡度的计算方法, 三幅图像中的潮位分别为 $h_1=127\text{cm}$, $h_2=216\text{cm}$, $h_3=359\text{cm}$ 。如图4.13所示。计算中所使用的均为ETM单波段图像, 分辨率为15米, 潮位记录精确到厘米整数位, 因此坡度在15m的水平距离内其计算的潮位误差不超过1cm就可认为此方法可行, 如表4.2所示。

表 4.2 坡度计算分析

Tab. 4.2 the Grade about Calculation and Analysis

坡度计算	剖面P1	剖面P2	剖面P3	剖面P4
l_1 (m)	1714.9640	1718.7650	1844.6459	1995.2036
l_2 (m)	1214.7687	1317.3126	1373.7904	1507.2748
l_3 (m)	425.3560	583.8127	654.2985	670.0910
$(h_2-h_1)/(l_1-l_2)$	1.78×10^{-3}	2.12×10^{-3}	1.89×10^{-3}	1.82×10^{-3}
$(h_3-h_2)/(l_2-l_3)$	1.81×10^{-3}	1.95×10^{-3}	1.99×10^{-3}	1.71×10^{-3}
潮位误差(cm)	0.045	0.255	0.15	0.165

通过以上计算可以看出使用潮位高度与卫星图像结合能够准确的计算出淤泥质海岸的坡度，为卫星图像中淤泥质海岸线的解译提供了校正的依据。

4.6 精度分析

使用前面提出的精度检验方法，在每幅提取图像中均选择30个像素点，对提取的海岸线图像进行了检验，如表4.3所示。

表 4.3 像素点位置检验结果

Tab. 4.3 the Veracity of Pixel Position

	人工海岸	基岩海岸	砂质海岸	已开发淤泥质海岸	未开发淤泥质海岸
重叠像素点	11	22	24	14	14
相邻像素点	10	8	6	9	4
提取失败像素点	9	0	0	7	2

从检验结果可以看出基岩海岸和砂质海岸的提取效果最好，人工海岸和已开发淤泥质海岸的提取效果较差，这是因为这两类海岸修筑有人工堤坝，岸线平直，而对栅格图像进行边缘检测时，提取的线形栅格图像无法表现出这种平直，产生了点的位移，特别是人工海岸地物有直角弯的像素点，位移最为严重；而基岩海岸、砂质海岸和未开发淤泥质海岸的岸线相对曲折，提取出的像素点也曲折排列，岸线位置没有发生变化。

结 论

由于海岸类型有复杂多样的特点,因此,人工目视解译不同种类的海岸是提取海岸线过程中的重要手段。在解译过程中,首先要熟悉研究区域的地质特点,尽可能的进行实地考察,与图像中的海岸地物特点进行对比后进行判断。在对卫星图像进行判读时要首先对图像的整体进行观察,了解各种地理要素在空间上的联系,综合分析目标地物与周围环境的关系。由于多光谱扫描影像可以同时获取多个波段的扫描图像,因此在判读过程中要进行多个波段与不同地物的对比,根据不同波段的色调与颜色标志及时间变化产生的差异做出正确的判断。

本文把各类海岸不同的地物类型作为依据,以数字图像处理手段为基础,根据海岸的特点使用不同的解译方法,分别提取出各类岸线,避免了提取过程中海岸线与水边线的混淆;Canny算子作为海岸线卫星遥感提取的基本算法,在应用中获得了良好的效果,可以满足工程中的需要。海岸坡度计算方法已应用于海岛海岸带卫星遥感调查中海岸线的测定工作,解决了对淤泥质海岸缺乏常规的地形测量资料,岸滩坡度变化迅速,岸线难以确定的问题。

从遥感技术的种类来看,尽管卫星遥感在其数据获取方面具有明显的优越性,但是应该看到,在目前的卫星遥感海岸线测绘工作中,其它测绘手段仍是必要的补充。在国家908专项的海岸带遥感调查中,普查采用卫星遥感的手段进行,而详查则采用航空遥感的手段。

从数字图像处理技术的发展来看,新的数学算法的不断发展,为遥感图像中的海岸线分析解译提供了必要的支持。小波变换法的多尺度特点在图像的海岸线提取中显示出了充分的优越性,能适用于多种图像的海岸线提取。不同尺度的小波变换可以提供不同的边缘信息,小尺度描绘细节,大尺度显示轮廓,从而实现了由粗到细的海岸线精确提取。

从卫星技术的自身发展来看,卫星的种类不断增多,不同卫星的传感器在空间分辨率或光谱分辨率上发挥各自的优势,扬长避短,大大提高了卫星图像的质量,而使用高分辨率的卫星图像是提高海岸线测绘精度和简化提取算法的关键。

从国内外可借鉴的资料来看,卫星遥感图像的海岸线检测主要是根据具体的图像选择算法,到目前为止,还没有一种通用的算法可以应用于任何遥感图像中

海岸线的提取，而且不同类型的海岸线也要根据其光谱特征选择不同的预处理方法进行增强。

参 考 文 献

- [1]刘宝银, 苏奋振. 中国海岸带于海岛遥感调查—原则 方法 系统[M]. 北京: 海洋出版社, 2005.
- [2]丁登山等译. 自然地理学原理[M]. 北京: 高等教育出版社, 1996.
- [3]孙美仙, 张伟. 福建省海岸线遥感调查方法及其应用研究[J]. 台湾海峡, 2004, 23(2): 213—218.
- [4]Le Moigne, J., Tilton, J. C.. Refining image segmentation by integration of edge and region data[J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens, 1995, 33, 605-615.
- [5]Palmer, P. L., Petrou, M.. Locating boundaries of textured regions[J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sense, 1997, 35(5): 1367 - 1371.
- [6]冯兰娣, 孙效功, 胥可辉. 利用海岸带遥感图像提取岸线的小波变换方法[J]. 青岛海洋大学学报, 2002, 32(5): 777—781.
- [7]王宇, 王乘, 刘吉平. 一种基于数学形态学的遥感图像边缘检测算法[J]. 重庆邮电学院学报, 2003, 15(2): 57—60.
- [8]Giancarlo B, Silvana D, Raimondo D. Semiautomatic coastline detection in remote sensing images[A]. Proc. of the IEEE 2000 Int' l Geoscience and Remote Sensing Symp, (IGARSS 00), Hawaii, 2000.
- [9]Onana VP, Mvogo J, Trebossen H, Rudant JP. Coastline detection in SAR images using texture analysis in textural or geometrical multi-resolution[A]. Proc. of the IEEE 2001 Int' l Geoscience and Remote Sensing Symp, (IGARSS 01), Sydney, 2001.
- [10]Lu LM, Wang RS. SAR regional object detection based on multi-scale features[A]. In: Petrou M, ed. Proc. of the 2nd Pattern Recognition for Remote Sensing Workshop (PRRS), 2002, 90~93.
- [11]Marques PAC. Efficient detection and ground mapping of selected moving targets using SAR raw-data[A]. Proc. of the IEEE 1999 Int' l Geoscience and Remote Sensing Symp, (IGARSS' 99), Hamburg, 1999.
- [12]Lu LM, Wang RS, Li WG. A target detection method in range-Doppler domain from SAR Echo data[A]. Proc. of the 16th Int' l Conf. on Pattern Recognition (ICPR). 2002, 1:91~94.
- [13]陆立明, 王润生, 李武皋. 基于合成孔径雷达回波数据的海岸线提取方法[J]. 软件学报, 2004, 15(4): 531—536.
- [14]JONG-SEN LEE and Igor Jurkevich. Coastline Detection and Tracing in SAR

- Image[J]. IEEE Transactions On Geoscience and Remote Sensing, 1990, 28(4):662-668.
- [15]J. S. Lee. Speckle analysis and smoothing of Synthetic Aperture Radar images[J]. Computer Graph. Image process., 17, 24-32, 1981.
- [16]S. Dellepiane, R. De Laurentiis, F. Giordano. Coastline extraction from SAR images and a method for the evaluation of the coastline precision[J]. Pattern Recognition Letters, 2004, 25:1461-1470.
- [17]Marcus Schwabisch, Susanne Lehner, Norbert Winkele. Coastline Extraction Using ERS SAR Interferometry[A]. Proc. 3rd ERS Symp. on Space at the Service of our Environment, Florence, Italy, 1049-1053.
- [18]Stanley Osher, James Sethian. Fronts Propagating with Curvature-Dependent Speed: Algorithms Based on Hamilton-Jacobi Formulations[J]. Journal of Computational Physics, 1988, 79:12-49.
- [19]欧阳越, 钟劲松. 基于改进水平截集算法的 SAR 图像海岸线检测[J]. 遥感技术与应用, 2004, 19(6): 456-460.
- [20]杜涛, 张斌. 小波技术分析遥感图像确定岸线位置的研究[J]. 海洋科学, 1999, 4: 19-21.
- [21]李林茹, 高双喜, 曹淑服. 基于小波变换和梯度矢量流 Snake 模型的 ERS-1 SAR 图像的海岸线探测[J]. 河北工业科技, 2004, 21(4): 24-33.
- [22]Andreas Niedermeier, Edzard RomaneeBen, Susanne Lehner. Detection of Coastlines in SAR Images using Wavelet Methods[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2000, 38(5):2270-2281.
- [23]杨虎, 郭华东, 王长林. TM-SAR 数据融合在黄河口沙嘴动态监测中的应用研究[J]. 2001, 17(4): 15-19.
- [24]Balkema, Rotterdam. Progress in Environmental Remote Sensing research and Application[M]. 1996, 227-283.
- [25]王琳, 徐涵秋, 李胜. 厦门岛及其邻域海岸线变化的遥感动态监测[J]. 遥感技术与应用, 2005, 20(4): 404-410.
- [26]张永继, 闫冬梅, 曾峦等. 基于邻域相关信息的海岸线提取方法[J]. 装备指挥技术学院学报, 2005, 16(6): 88-92.
- [27]景晓军, 蔡安妮, 孙景鳌. 一种基于二维最大类间方差的图像分割算法[J]. 通信学报, 2001, 22(4): 72-76.
- [28]Kevin White, Hesham M. El Asmar. Monitoring changing position of coastlines using Thematic Mapper imagery, an example from the Nile Delta[J]. Geomorphology, 1999,

- 29: 93-105.
- [29]朱小鸽. 珠江口海岸线变化的遥感监测[J]. 海洋环境科学, 2002, 21(2): 20-22.
- [30]Lodhi, M. A., Rundquist, D. C., Han, L., et al.. The potential for remote sensing of loess soils suspended in surface water[J]. Journal of the American Water Resources Association, 33(1):111-127.
- [31]Joo-Hyung Ryu, Joong-Sun Won, Kyung Duck Min. Waterline extraction from Landsat TM data in a tidal flat A case study in Gomso Bay[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 83:442-456.
- [32]黄海军, 李成治, 郭建军. 卫星影像在黄河三角洲变化研究中的应用[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1994, 14(2): 30-37.
- [33]韩震, 恽才兴. 伶仃洋大铲湾潮滩冲淤遥感反演研究[J]. 海洋学报, 2003, 25(2): 58-63.
- [34]孙美仙, 张伟. 福建省海岸线遥感调查方法及其应用研究[J]. 台湾海峡, 2004, 23(2): 213-218.
- [35]冯兰娣, 孙效功, 胥可辉. 利用海岸带遥感图像提取岸线的小波变换方法[J]. 青岛海洋大学学报, 2002, 32(5): 777-781.
- [36]朱小鸽, 珠江口海岸线变化的遥感监测[J]. 海洋环境科学, 2002, 21(2):19-22.
- [37]刘宝银, 苏奋振. 中国海岸带与海岛遥感调查—原则 方法 系统[M]. 北京: 海洋出版社, 2005.
- [38]恽才兴. 海岸带及近海卫星遥感综合应用技术[M]. 北京: 海洋出版社, 2005.
- [39]国家海洋局 908 专项办公室. 海岛海岸带卫星遥感调查技术规程[Z]. 北京: 海洋出版社, 2005.
- [40]John Canny. A Computational approach to edge detection[J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(1):679-697.
- [41]严钦尚, 曾昭璇. 地貌学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1985.
- [42]汤国安, 张友顺, 刘咏梅等. 遥感数字图像处理[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [43]Osher S ,Sethian J A. Fronts propagating with curvature dependent speed:Lalgorithms based on Hamilton-jacobi formulations[J]. Journal of computation Physics, 1988, 79:12 -491.
- [44]韩震, 恽才兴. 伶仃洋大铲湾潮滩冲淤遥感反演研究[J]. 海洋学报, 2003, 25(2): 58-63.

- [45]黄海军, 李成治, 郭建军. 卫星影像在黄河三角洲岸线变化研究中的应用[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1994, 14(2): 29-37.
- [46]陈宗镛. 潮汐学[M]. 北京: 科学出版社, 1980.

附录 A 边缘检测算子程序

```

B=imread('');
imshow(B)                                读入并显示原图像
BW1=edge(B,'roberts');
figure,imshow(BW1)                       Roberts 边缘检测算子
BW2=edge(B,'sobel');
figure,imshow(BW2)                       Sobel 边缘检测算子
BW3=edge(B,'prewitt');
figure,imshow(BW3)                       Prewitt 边缘检测算子
BW4=edge(B,'log');
figure,imshow(BW4)                       Laplace 边缘检测算子
BW5=edge(B,'canny');
figure,imshow(BW5)                       Canny 边缘检测算子

```

附录 B 中值平滑程序

```

PRO SmoothingWithMEDIAN
; 从文件导入图像。
file=FILEPATH('rbcells.jpg',$
SUBDIRECTORY=['examples','data'])
READ_JPEG,file,image
imageSize=SIZE(image,/DIMENSIONS)
;初始化显示。
DEVICE,DECOMPOSED=0
LOADCT,0
;建窗口并显示原始图像 :
WINDOW,0,XSIZE=imageSize[0],YSIZE=imageSize[1],$

```

```
TITLE = 'Original Image'
TV, image
;创建另一个窗口并将原始图像
;作为表面显示
WINDOW, 1, TITLE = ' Original image as a Surface'
SHADE_SURF, image, /XSTYLE, /YSTYLE, CHARSIZE=2., $
XTITLE= ' Width Pixels', $
YTITLE= ' Height Pixels', $
ZTITLE= ' Intensity Values', $
TITLE = ' Red Blood Cell Image'
; 用 MEDIAN ( 中值 ) 函数平滑图像
; 该函数图像中值。
smoothedImage=MEDIAN(image, 5)
; 创建另一个窗口并将平滑化的图像
;表面显示。

WINDOW, 2, TITLE = ' Smoothed image as a Surface'
SHADE_SURF, smoothedImage, /XSTYLE, /YSTYLE, CHARSIZE=2., $
XTITLE= 'Width Pixels', $
YTITLE= ' Height Pixels', $
ZTITLE=' Intensity Values', $
TITLE = ' Smoothed Cell Image'
;创建另一个窗口并显示平滑化的图像 :
WINDOW, 3, XSIZE=imageSize[0], YSIZE=imageSize[1], $
TITLE = ' Smoothed Image'
TV, smoothedImage
END
```

攻读学位期间公开发表论文

马小峰, 赵冬至, 邢小罡, 张丰收, 文世勇, 杨帆. 海岸线卫星遥感提取方法研究. 海洋环境科学.

马小峰, 赵冬至, 张丰收, 文世勇, 杨帆. 海岸线卫星遥感提取方法研究进展. 遥感技术与应用. (已投稿, 初审通过)

致 谢

本文是在赵冬至研究员的精心指导下完成的。两年多来，导师严谨的治学风和宽厚的待人品质给我留下深刻的印象，为我树立了榜样。在老师的悉心指导下，是我不仅完成了学业和论文的协作，而且掌握了科学的研究方法，让我受益非浅。在此，谨向导师赵冬至研究员以崇高的敬意和由衷的感谢。

在论文写作中，得到国家海洋环境监测中心的赵玲、张丰收、杨建洪、陈艳拢的指导，大连海事大学环境学院文世勇、杨帆和中国海洋大学的邢小罡的协助，他们提出的很多宝贵意见为本文的完成起到很大的作用。

感谢所有在我攻读研究生学位期间给予我帮助的老师 and 同学。

感谢一直以来支持我的父母和家人。

研究生履历

姓 名	马小峰
性 别	男
出生日期	1978 年 11 月 26 日
获学士学位专业及门类	建筑工程 工学
获学士学位单位	河北工程大学
获硕士学位专业及门类	环境工程 工学
获硕士学位单位	大连海事大学
通信地址	辽宁省大连市凌海路 1 号
邮政编码	116026
电子邮箱	mxfl978fly@yahoo.com.cn