

基于 DTM 的水边线遥感信息提取方法

郑宗生, 周云轩, 沈芳, 蒋雪中, 田波

(华东师范大学河口海岸国家重点实验室, 上海 200062)

摘要: 水边线附近的高浊度悬沙及浅滩表层的残余水体是影响水边线信息提取的重要因素。在分析长江口区不同浓度水体与背景地物光谱特征的基础上, 采用决策树分析方法进行水边线提取, 在分类器的节点用水深信息作为约束条件, 消除了水边线附近热流对热红外波段水边线提取的影响。同时, 利用参考 DTM 及潮位信息实施了水边线的提取, 此方法有效消除了表层残余水体对水边线提取的影响。最后运用统计学中自身一致性校验及平均偏移指数来评价提取结果。结果表明, 两种方法的总体提取效果较好, 精度令人满意。

关键词: 水边线; 长江口; 决策树模型; DTM

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2007)02-0056-04

0 引言

淤泥质海岸潮滩面积宽广、水浅滩平且变化频繁, 给常规专业调查和观测带来很大困难, 研究程度相对较低。遥感与地面调查方法相结合被认为是监测潮滩的一种有效手段^[1]。遥感影像上陆地和水体的边界线被定义为水边线 (Waterline), 利用水边线方法可以很容易地监测海岸带潮滩的动态变化, 也可以利用不同时相的水边线信息构建潮滩的三维地形模型, 为淤泥质潮滩剖面的研究提供重要的数据保证。因此水边线方法仍然是目前卫星遥感监测潮滩环境的有效方法之一^[1]。

1 水体遥感模型

水体因对入射能量 (太阳光) 具有强吸收性, 所以在大部分遥感传感器的波长范围内, 总体上呈现较弱的反射率, 并具有随着波长的增加而进一步减弱的趋势。水体在近红外及随后的中红外波段范围内 (740~2 500 nm) 具有强吸收的特点, 导致了清澈水在这一波长范围内几乎无反射率, 因此, 此波长范围常被用来研究水陆分界、圈定水体范围。但是随着水体浑浊度 (各种有机、无机物质浓度) 的增加, 水体的反射率会有所变化, 如水体泥沙含量的增加会导致反射率的提高, 并使光谱曲线的反射峰往长波方向移动; 另外, 在比较浅的潮滩区, 由于涨落潮的影响, 滩面往往有大量的残余水体存在。高浊度

的悬沙和表层残余水体一直是影响水边线提取的重要因素。

利用遥感信息提取水边线信息的方法一般可分为单波段法和多波段法。单波段法主要选取遥感影像中的近红外波段并辅于阈值来提取水体; 多波段法则主要利用多波段的优势综合提取水体信息, 可分为比值法和谱间关系阈值法。比值法根据不同地类在不同波段中的波谱特征, 利用比值计算快速提取水边线信息^[3]; 谱间关系阈值法通过分析水体与背景地物的波谱曲线特征, 找出它们之间的变化规律, 进而根据光谱特征知识和空间关系知识, 建立基于知识的遥感信息提取模型^[4]。此方法具有灵活、直观和运算效率高等特点, 在遥感影像分类和专题信息提取中被广泛应用。

2 长江口区水体的光谱特性分析

根据卫星过境时刻的潮位资料, 本次研究选取了 5 景 TM 影像, 分别是: 1999 年 9 月 24 日 10 时 01 分影像, 潮高 3.88 m; 2000 年 5 月 21 日 10 时 00 分影像, 潮高 1.63 m; 2001 年 11 月 16 日 10 时 04 分影像, 潮高 4.12 m; 2002 年 3 月 8 日 10 时 02 分影像, 潮高 2.31 m; 2004 年 2 月 26 日 10 时 03 分影像, 潮高 1.55 m。以上潮位数据为长江口区佘山潮位站 (122°14'18"E 31°25'12"N) 资料。为保证水边线提取的空间精度, 对选取的影像根据 2004 年 1:5 万地形图及实测 GCP 点进行几何精校正, 最终误差控制在 0.5 个像元以内。研究区范围不大, 在无云

收稿日期: 2006-08-09; 修订日期: 2006-10-30

基金项目: 国家 973 项目“长江口及其邻近海域细颗粒泥沙沉积动力过程” (973-2002CB412403) 和教育部“高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划”联合资助。

的情况下, 可以认为各点受到的大气辐射影响基本一致。因此, 采用了较为常用的最暗像元法 (Dark Object Subtraction, DOS) 进行大气辐射校正^[5]。

为了分析不同类型地物与水体在光谱特征上的差别, 把长江口区可能与水体交界的地物按其特征分为低潮出露的沙体、长期出露的沙体和受表层残余水体影响最大的崇明东滩等 3 种主要地物类型。同时, 根据对含沙量最敏感的 TM4 波段, 把整个长江口区分为 8 个不同的泥沙浓度带。结合遥感影像目视解译选出各类有代表性的感兴趣区域, 共 81 个, 分别统计其光谱特征。对所有地物类型分别计算它们在不同波段的最大值、最小值、均值和方差, 如图 1 所示。

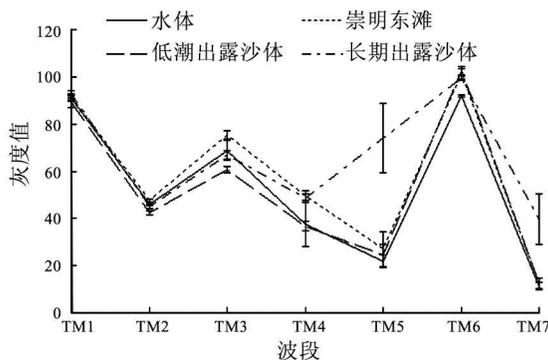


图 1 水体与各背景地物的光谱特征比较

由图 1 可得出以下结论: ① TM 1、2 波段对区分水体不够明显; ② 在区分长期出露沙体与水体时, TM5、7 和 TM 6 是有效波段, 其区分度依次降低; ③ TM 3 波段比其它波段更能区分低潮出露沙体与水体; ④ 崇明东滩区由于受表层残余水的影响, 除

$$T = \bar{x}_{in} + \sigma_{in} + \frac{\bar{x}_{max} - \sigma_{max} - (\bar{x}_{in} + \sigma_{in})}{2} = \frac{\bar{x}_{max} - \sigma_{max} + \bar{x}_{in} + \sigma_{in}}{2} \quad (1)$$

式中, \bar{x}_{in} 、 σ_{in} 分别为某一段水体和背景地物样本统计均值最小地物类型的均值和方差; \bar{x}_{max} 、 σ_{max} 分别为某一段水体和背景地物样本统计均值最大地物类型的均值和方差。

按照公式 (1) 分别计算 TM 3、5 ~ 7 波段的阈值, 计算结果如表 1 所示。

表 1 TM 3、5 ~ 7 波段分类阈值计算结果

波段	\bar{x}_{max}	σ_{max}	\bar{x}_{in}	σ_{in}	阈值
TM 3	68.9	4.32	60.7	1.47	63
TM 5	74.0	14.60	27.1	7.32	47
TM 6	101.2	2.27	92	0.54	96
TM 7	39.7	10.54	12.4	2.33	22

根据以上的统计分析结果, 长期出露的沙体与水体在 TM 5 及 TM 7 波段光谱特征差异显著, 两者的统计均值在这两个波段分别相差 53 和 28 因此,

TM 6 波段外, 其它任何波段都不能很好的把两者区分开来; ⑤ TM 4 波段虽然低潮出露沙体的灰度值均值比长期出露沙体和崇明东滩的都低, 但是由于其含沙量的巨大差异, 也很难将其与水体区分开来。

3 决策树模型与分类节点阈值设置

3.1 决策树模型

水体光谱特征分析结果表明, 单纯依靠某一个波段很难进行水边线的提取, 多波段比值分析方法虽然能在一定程度上抑制噪声突出水体信息, 但是它无法彻底抑制与水体无关的背景信息, 特别是当背景地物发生改变时, 其水体信息的提取很不成功。

决策树是遥感图像分类中的一种分层处理结构, 其基本思想是通过一些判断条件对原始数据集逐步进行二分和细化。其中, 每一个分叉点代表一个决策判断条件, 每个分叉点下有两个叶节点, 分别代表满足和不满足条件的类别。这种方法不仅不需要依赖任何先验的统计假设条件, 而且可以方便地利用除光谱值以外的其它知识, 所以在遥感影像分类和专题信息提取中已被广泛应用^[6]。

3.2 分类器节点阈值的设置

为了能够很好地区分水体及其背景地物, 以便更精确地提取水边线信息, 必须合理计算各个波段的分类阈值。曹凯等曾利用相同波段不同地物光谱最大值及最小值之间的关系来计算阈值^[7]。本文从统计学角度综合考虑均值和方差对分类结果的影响, 按照式 (1) 计算各个波段的分类阈值, 即

首先选择 TM 5 及 TM 7 波段为判别条件, 设立第一层分类节点, 使长期出露沙体首先被分离, 即长期出露沙体应满足下列 2 个条件: ① $DN_{TM5} > 47$; ② $DN_{TM7} > 22$ 。同理, 第二层分类节点选择 TM 3 波段, 将低潮时出露的沙体与水体区分开来, 即满足条件 $DN_{TM3} < 63$ 的地物为低潮时出露的沙体。对于崇明东滩地区, 按照前面的分析结果, 由于大量表层残余水体的存在, 除 TM 6 波段外的任何其它波段很难将其分离出来, 因此, 在第三层分类节点选择 TM 6 波段, 即 $DN_{TM6} > 96$ 。

4 基于 DIM 的水边线信息提取

4.1 陆地热源污染消除

由以上提取结果可知, TM 6 波段是提取水边线的有效波段, 但是由于水边线附近受陆地较热水体

注入的影响,水陆边界变得模糊。为了消除上述影响,假定在坡度较大的区域不存在表层残余水体的影响, TM6波段提取的水边线外移完全是由于陆地热水注入引起,此时可把 TM5波段提取的水边线作为真实的水边线。这是因为,在岸边一定的范围内,如果水深发生较大的变化,说明该地区水底地形

坡度变化较大,可以看成是长期出露沙体与水体的边界, TM5波段可以很好地反映这时的水边线信息。基于以上知识,在分类器节点可增加地形信息,以消除较热水体对水边线的影响。经过反复实验,分类器的地形节点阈值设在 5 m比较合适。利用水深节点前后的提取结果对比如图 2(左)、2(中)所示。

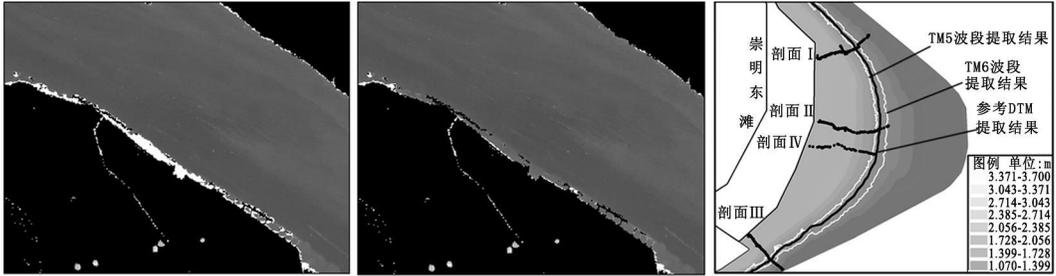


图 2 应用 3种方法提取的水边线结果(剖面 I ~IV为 4条实测高程剖面)
(左: TM6波段提取结果;中:考虑水深的提取结果;右:参考 DIM与的提取结果)

4.2 表层残余水体影响消除

上述操作虽然减少了深水区热源污染对水边线信息提取的影响,但是在水深比较浅的区域,也就是表层残余水体大量存在的区域,残余水体对水边线信息的影响加大^[2]。崇明东滩区在落潮时刻由于表层残余水的影响, TM6波段提取的水边线要比 TM5波段提取结果偏向海的一侧近 500 m,严重影响了水边线的提取精度。为了解决上述问题,本文采用了另一种方法:

首先,假定潮滩剖面在一个较短的时间段内稳定,同时水边线是一条水平线的情况下,根据不同年份提取的水边线信息和实测的断面高程信息,内插出滩涂的数字地形模型(DIM)作为参考 DIM(由于此种情况只把水边线作为一种数据插值的基线,不同波段提取结果的偏差不会影响参考 DIM的精度);然后,根据参考 DIM与卫星过境时的实测潮位信息,在参考 DIM上提取与潮位等值的高程点并连接,最终得到水边线信息(图 3)。

$$H = a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 xy + a_4 x^2 + a_5 y^2 \quad (2)$$

式中, H为潮位面高程; a_0, a_1, \dots, a_5 为待定系数; x, y 为地理坐标。

4.3 提取结果精度评价

4.3.1 一致性检验

文中,用来进行误差检验的图像同时参与了参考 DIM的创建,因此,这里采用统计学中的自身一致性检验(Self-consistency)来对提取结果进行精度评价^[8]。此外,由于不同水边线提取结果的形状差异较大,本文构造了平均偏移指数(Mean Offset MO)来评价提取结果,即

$$MO = \pm \frac{A}{\frac{WL_{real} + WL_{extracted}}{2}} \quad (3)$$

式中, A为真实水边线与提取水边线所围的面积; $WL_{real}, WL_{extracted}$ 为真实水边线与提取水边线长度; +号表示向海的一侧偏移, -号表示向陆地一侧偏移。

从一致性检验结果(表 2)可以得出:如果选用 TM5波段水边线建立参考 DIM一致性检验结果为 -103.3 m;如果选择 TM6波段,一致性检验结果则为 184.1 m。用参考 DIM方法提取的水边线介于 TM5波段和 TM6波段提取的水边线之间。检验结果也表明,由于表层残余水体的存在,仅用 TM5波段提取的水边线比实际水边线偏向陆地一侧; TM6波段提取的水边线则偏向海的一侧。另外,依据不同潮情,不同波段水边线提取结果的偏移程度也存在着差异^[2]。

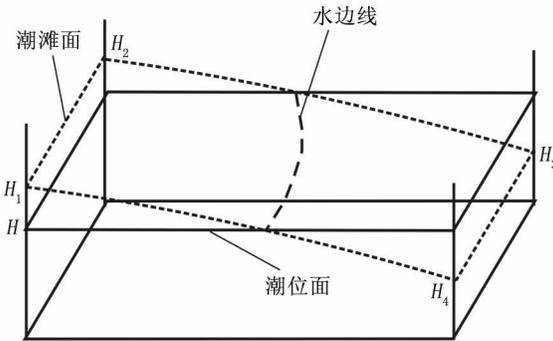


图 3 水边线信息提取示意图

由于参考 DIM可以利用数学曲面模拟其分布及变化,据此,水边线的位置可由下面的 2次趋势面模型公式给出

表 2 一致性检验结果

波段	参量			
	A/m^2	WL_{real}/m	$WL_{extracted}/m$	MO/m
TM 5	2 682 906.12	29 399.58	22 548.66	-103.3
TM 6	4 465 041.30	22 548.66	25 968.69	184.1

4.3.2 实测高程断面 检验

水边线提取误差包括图像校正误差、建立参考 DIM 的水边线提取误差、DIM 插值误差及利用参考 DIM 提取水边线的误差等。将利用实测的其它 3 条高程断面的高程值推算出的水边线与提取的水边线进行比较 (表 3)。

表 3 实测剖面与水边线提取结果误差统计

剖面	TM 5 波段 提取结果	TM 6 波段 提取结果	参考 DIM 提取结果
I 剖面偏移 /m	183.30	190.93	40.74
II 剖面偏移 /m	280.25	222.51	56.92

5 结论

本文利于 DIM 模型及决策树模型, 从遥感影像上成功提取了水边线信息, 有效消除了高浊度含沙、边界热流及表层残余水体对水边线信息提取的影响。长江口区的水边线识别实例表明, 利用上述模型能够明显提高水边线提取的精度。

参考文献

- [1] Phinn S R, Menges C, Hill G J, et al. Optimizing Remotely Sensed Solutions for Monitoring, Modeling, and Managing Coastal Environments [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2000, 73: 117-132.
- [2] Joo-Hyung Ryu, Joong-Sun Won, Kyung Duck Min. Waterline Extraction from Landsat TM Data in a Tidal Flat: A Case Study in Gonso Bay, Korea [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 28: 442-456.
- [3] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数 (MNDWI) 提取水体信息的研究 [J]. *遥感学报*, 2005, 9(5): 589-595.
- [4] 杨存建, 周成虎. 基于知识发现的 TM 图像居民地自动提取研究 [J]. *遥感技术与应用*, 2001, 16(1): 1-6.
- [5] 李胜, 徐涵秋, 王琳. 环厦门岛水域悬浮物的遥感监测研究 [J]. *国土资源遥感*, 2005, (4): 60-64.
- [6] 都金康, 等. SPOT 卫星影像的水体提取方法及分类研究 [J]. *遥感学报*, 2001, 5(3): 214-219.
- [7] 曹凯, 江南, 李新国, 等. 基于 SPOT-5 图像的城市水体自动提取模型研究 [J]. *国土资源遥感*, 2005, (4): 24-27.
- [8] Chen L C, Rau J Y. Detection of Shoreline Changes for Tidal and Areas Using Multi-temporal Satellite Images [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1998, 19: 3383-3397.

WATERLINE EXTRACTION FROM REMOTELY SENSED IMAGES WITH DIM

ZHENG Zong-sheng, ZHOU Yun-xuan, SHEN Fang, JIANG Xue-zhong, TIAN Bo

(State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: The locations of waterline in remotely sensed images are mainly affected by high concentration suspended sediments and surface remnant water. A decision tree model considering the water depth was applied in this paper to detecting waterline. Furthermore, waterline was also traced from the reference digital terrain model (DIM) and the associated tidal elevation. The two approaches were both used to delineate the waterline in the Yangtze Estuary and the experimental results indicate that they are fairly effective in waterline extraction.

Key words: Waterline; The Yangtze Estuary; Decision tree model; DIM

第一作者简介: 郑宗生 (1981-), 男, 博士研究生, 主要从事海岸带资源遥感与 GIS 研究。

(责任编辑: 李 瑜)

消息报道

《国土资源遥感》进入中国科学引文数据库核心库

《国土资源遥感》进入中国科学引文数据库 (CSCD) 核心库。被誉为“中国的 SCF”的中国科学引文数据库分为核心库和扩展库, 核心库的来源期刊经过严格的评选, 是各学科领域中具有权威性和代表性的核心期刊; 扩展库的来源期刊经过大范围的遴选, 是我国各学科领域优秀的期刊。

中国科学引文数据库 (2007 年—2008 年) 共遴选期刊 1081 种, 其中英文刊 52 种, 中文刊 1029 种; 核心库期刊 732 种 (以 C 为标记), 扩展库期刊 349 种 (以 E 为标记)。

详情请登陆: www.sciencechina.ac.cn 点击“CSCD 来源期刊列表更新”图标。

(本刊编辑部)