

基于小波多分辨率分析提取长江口淤泥质潮滩水边线

韩 震^{1,2,3}, 郭永飞¹

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 防灾减灾研究所, 上海 201306; 3. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306)

摘要: 以长江口九段沙作为研究区, 通过数学形态学的方法对图像进行预处理, 消除潮沟形成的破碎带, 然后利用小波多分辨率分析法, 去除高悬浮泥沙以及其他细节等高频信息, 进行了水边线信息提取研究, 最后采用基于连通性边缘评价的方法对不同分辨率下提取的水边线进行了评价。研究结果表明, 小波多分辨率分析方法是淤泥质潮滩水边线信息提取的有效方法之一。开展水边线遥感信息提取研究, 对于合理开发潮滩资源和研究现代海岸带动态变化具有重要意义。

关键词: 水边线; 小波多分辨率; 阈值分割; 长江口

中图分类号: P737.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2011)07-0067-04

水边线是淤泥质潮滩重要特征参数之一, 它是潮汐波动下起伏不平的海面和陆地的瞬时交接线。淤泥质潮滩水边线在研究淤泥质海岸动态变化趋势时有着重要的指示意义。但由于受周期性涨落潮的影响, 获取水边线信息, 通常是通过目视解译遥感图像而获得的, 虽然方法简单, 但受目视判读者的经验影响, 费时费力。而计算机提取则具有快速、方便等优点。

通常从遥感数据中提取水边线信息主要是将水边线作为线性边缘检测出来, 阈值分割是水边线信息提取常用的方法。Ryu^[1]在分析潮滩光谱特征的基础上, 根据 TM4 和 TM5 两个波段对水体和陆地反射率的差别, 选择出合适的阈值, 进行了水边线信息提取; Lohani^[2]采用 ATM 数据提取水边线, 通过对 5, 6, 7 三个波段比值组合而成的特征图像阈值分割进行水边线提取, 建立了霍尔德内斯海岸的数字高程模型; 霍继双^[3]针对传统的阈值方法对沿海岸水边线的阴影往往缺乏足够辨识能力的情况, 提出了一种基于多阈值的形态分割方法来提取水边线, 该法降低了误检率, 提高了水边线检测的精确度。本文利用 Landsat TM5 数据对长江口九段沙淤泥质潮滩水边线进行了信息提取研究。

1 研究方法

由于淤泥质潮滩水体区域悬浮泥沙含量较高, 水边线在海陆交界处灰度值变化往往并不明显, 在一定程度上影响了水边线提取的精度。在借鉴其他领域线性信息提取方法的基础上, 我们选取长江口九段沙作为研究区, 先通过数学形态学的方法对图像进行预处理, 消除潮沟形成的破碎带, 然后利用

小波多分辨率分析法, 去除高悬浮泥沙以及其他细节等高频信息, 进行了水边线信息提取研究。

2 研究区概况

九段沙位于长江和东海交汇处(图 1), 是长江口最年轻的河口型沙岛“第三代崇明岛”, 其形成时间距今只有 50 a 左右的历史, 是正处于冲淤变化中的、在大潮时部分被淹没的、高潮滩上部分被高等植物覆盖的河口沙洲型岛屿湿地。九段沙由上沙、中沙和下沙组成, 自 1992 年江亚南沙与九段沙上沙发生并沙后就成了九段沙的一部分。

3 水边线信息遥感提取机理及技术流程

图 2 是我们在长江口实测的淤泥和水体的反射光谱曲线。从图 2 可以发现淤泥的反射波谱曲线的总趋势是上升的, 反射率在 0.1~0.7 之间, 而水体各个波段的反射率都较低, 尤其在近红外部分, 在 1 000 nm 以后下降至 0.01~0.02。在近红外波段范围内, 淤泥的反射率要高于水体的反射率, 两者有明显的区别, 这为识别淤泥和水体提供了依据。作为淤泥质潮滩和水体的交界处, 水边线应该是图像上灰度值变化最大的部分, 但是由于水边线附近高泥沙含量水体的存在, 提取的水边线往往会出现不连续

收稿日期: 2009-12-07; 修回日期: 2011-04-26

基金项目: 上海市教育委员会科研创新重点项目(08ZZ81); 上海市科委项目(08230510700); 教育部科学技术研究重点项目(209047)

作者简介: 韩震(1969-), 男, 山东德州人, 上海海洋大学教授, 博士, 主要从事海洋遥感技术研究, 电话: 021-61900339, E-mail: zhhan@shou.edu.cn

或者位置发生偏差等现象,因而降低了实际的提取效果。本文采用 2007 年 7 月 28 日的 Landsat TM5(1.55~1.75 μm)数据,利用小波多分辨率分析方法进行了淤泥质潮滩水边线信息提取的研究,图 3 为小波多分辨率分析提取水边线技术流程图。



图 1 研究区域地理位置

Fig. 1 Geographic location of the study area

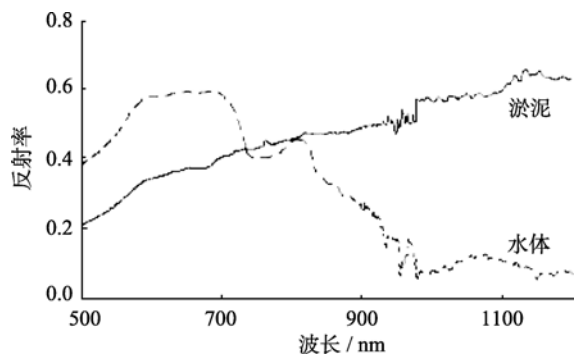


图 2 淤泥和水体反射光谱

Fig. 2 Reflection spectra of silt and water

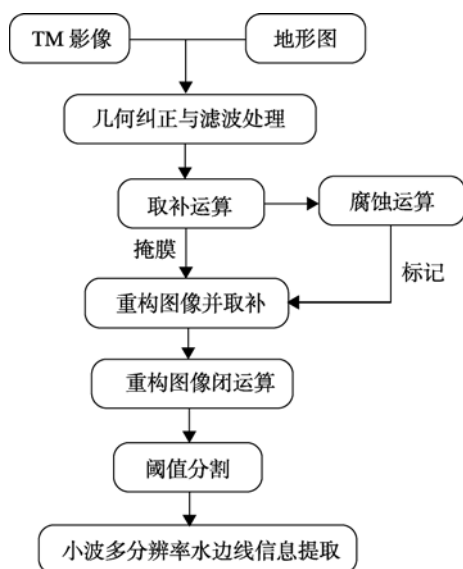


图 3 小波多分辨率分析提取水边线技术流程图

Fig. 3 Flow chart of waterside line extraction by the wavelet multi-resolution analysis method

4 数据处理

4.1 阈值分割

首先对 Landsat TM5 原始图像(图 4)进行几何校正和 Gaussian 函数滤波处理,然后进行了数学形态学图像分析。具体步骤包括:为了消除 Gaussian 滤波后的图像中较小的暗色斑块,首先将图像进行取补运算,其中的暗色斑块将变为亮色区域突出显示;然后定义一个球型结构元素,对图像进行腐蚀,消除图像中小于结构元素的亮色区域;接着将图像作为标记,腐蚀前的图像作为掩膜进行形态学重构,生成重构图像;将重构图像进行取补后,对图像进行闭运算;最后采用大津法(OTSU 法)^[4]对 Landsat TM5 图像进行了阈值分割(图 5)。

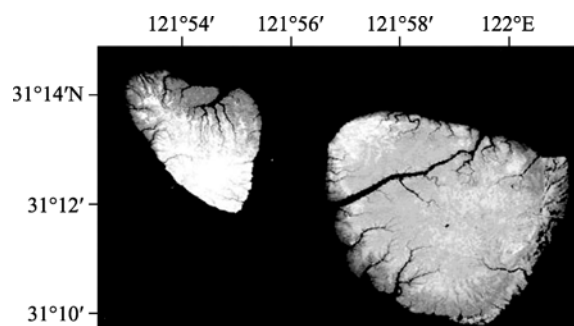


图 4 Landsat TM5 原始图像

Fig. 4 Original image of Landsat TM5

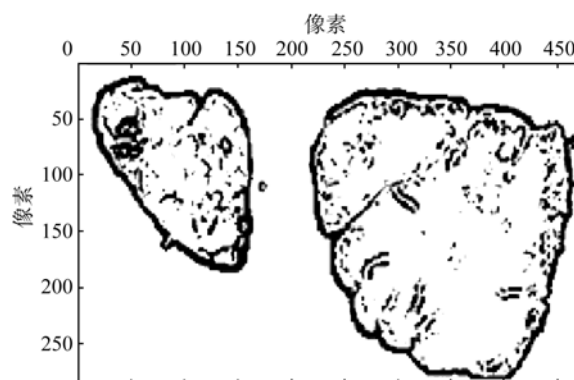


图 5 Landsat TM5 阈值分割后的图像

Fig. 5 Threshold segmentation image of Landsat TM5

4.2 小波多分辨率分析

通过阈值分割,水边线的轮廓已经显现了出来,但是由于水体高浓度悬浮泥沙的影响,提取的水边线较粗,影响了水边线位置的准确性,而且水边线附近出现了很多毛刺,又影响了水边线的光滑度;此外水边线内部也出现了很多无用的细节信息,影响了水边线信息提取的连贯性。针对以上问题,我们采用小波多分辨率分析方法对图 5 进行了处理。

小波多分辨率分析,也称为多尺度分析或多尺度逼近,是由 Mallat 提出的^[5]。定义 $(\phi(t))$ 为尺度函数,若其经过整数平移 k 和尺度 j 上的伸缩,得到一个尺度和位移均可变化的函数集合式:

$$\phi_{jk}(t) = 2^{-j/2} \phi(2^{-j}t - k), (j, k \in \mathbb{Z}) \quad (1)$$

其中 j 为尺度参数(伸缩参数), k 为位移参数, $\phi(t)$ 是一个单个小波函数, $\phi_{jk}(t)$ 是 $\phi(t)$ 作位移 k 后,再在不同尺度 j 下伸缩构成的函数集合。

它的线性组合式为

$$f(t) = \sum_k a_k \phi_{jk}(t) = 2^{-j/2} \sum_k a_k \phi(2^{-j}t - k) \quad (2)$$

随着尺度 j 的增大,函数 $\phi_{jk}(t)$ 的定义域变大,平移的间隔 $2^j \tau_0$ 也变大,它的线性组合式(2)不能表示函数小于该尺度的细微变化,所以其尺度空间只能包括大尺度的缓变信号。反之,如果尺度 j 减小,函数 $\phi_{jk}(t)$ 的定义域就变小,平移间隔 $2^j \tau_0$ 也变小,则它的线性组合式(2)就能表示出函数的更细微的变化。

小波多分辨率分析具体步骤如下:

1) 采用 bior2.2 小波基对图 5 进行二维离散小波分解,得到小波分解的近似部分 a 和细节部分 d 。

2) 保持近似部分不变,对各个细节部分进行二次小波分解。以 $d1$ 为例:用(3)式进行小波变换得到各个尺度上的小波分解系数,再利用阈值滤波的方法对各高频系数进行阈值量化处理,得到处理后的小波系数。

$$W_x(\alpha, \tau) = \frac{1}{\sqrt{\alpha}} \int_{\mathbb{R}} x(t) \psi\left(\frac{t-\tau}{\alpha}\right) dt \quad (3)$$

其中 α 为尺度参数(伸缩参数), τ 为位移参数,即把 bior2.2 小波作位移 τ 后,再在尺度 α 下与图 5 和 $x(t)$ 做内积。

3) 根据小波分解最底层低频系数和各层高频系数用(4)式进行重构得到 $d1$ 滤波后的信号 $d11$, $d22$, $d33$ 。

$$f(t) = \frac{1}{C_\psi} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \alpha^{-2} W_f(\alpha, b) \Psi_{\alpha, b}(t) d\alpha db \quad (4)$$

$C_\psi = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\Psi(\omega)}{\omega} d\omega, \omega < \infty$ 为小波都要满足的容许性条件。

$W_f(\alpha, b)$ 是连续小波变换。 $\Psi(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} \psi(t) e^{-j\omega t} dt$ 为小波的 Fourier 变换。

4) 最后得到尺度 1 图像 $a+d11$ 、尺度 2 图像 $a+d11+d22$ 、尺度 3 图像 $a+d11+d22+d33$ (图 6)。

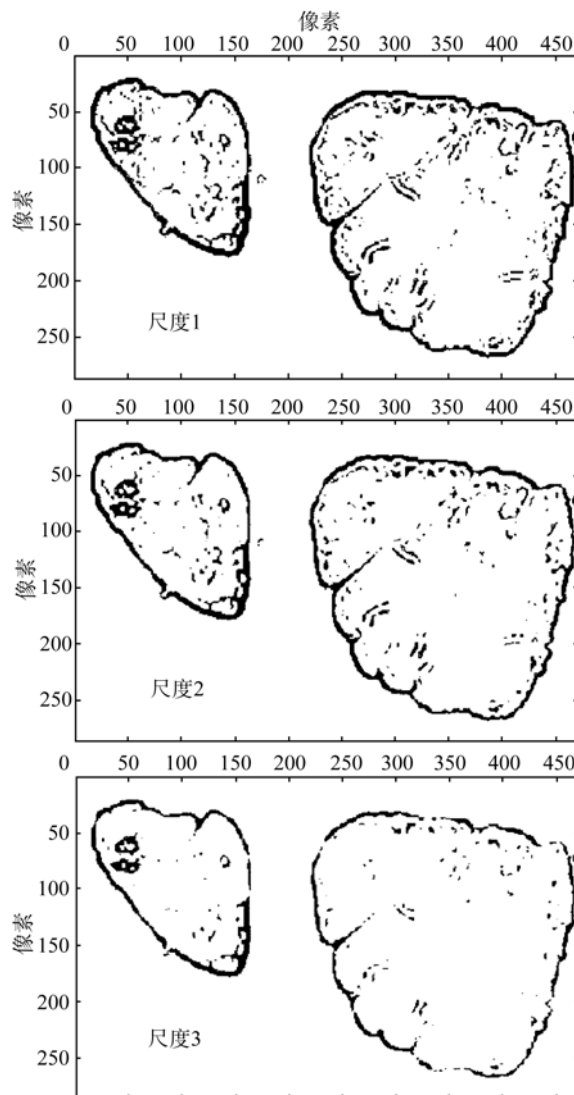


图 6 尺度 1、尺度 2、尺度 3 下检测的水边线

Fig. 6 Waterside lines detected at scales 1, 2 and 3

5 结果与讨论

从尺度 1 图像到尺度 3 图像(图 6)可以发现,在小尺度下图像的细节部分较清晰,例如小潮沟。随着尺度的增大水边线附近的干扰信息减少,图像的细节部分显示被抑制,水边线信息被突出,水边线逐渐变细,变光滑。但随着尺度的增大,可以发现水边线变得不连续。小尺度下,细节信息较多;大尺度下,检测出的水边线会出现不连续现象。

为了更客观地评价小波多分辨率分析在不同尺度下检测水边线的效果,我们使用了基于连通成分的边缘评价方法^[6]。图 6 是二值图像,它的像素值只有 0 和 1 两个值。对于一个像素集合,如果集合内的每一个像素与集合内其他像素连通,就称该集合为一个连通成分。4 连通成分就是指它在 4 邻域内是否

有与它连通的像素,如果有,就可把它们称为一个 4 连通成分。同理,8 连通成分指它在 8 邻域内的连通情况(图 7 所示)。8 连通成分与 4 连通成分的商可以作为衡量线型连接程度的重要指标,8 连通成分与 4 连通成分的商数值越小,线型连接程度越好,提取的边缘效果越好。

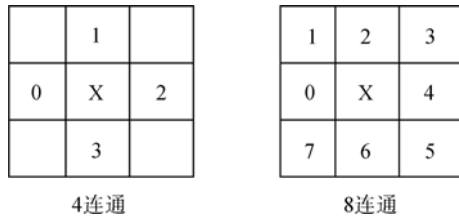


图 7 连通类型

Fig. 7 Types of connection

表 1 不同尺度边缘连通程度评价表

Tab. 1 Edges connectivity evaluation table at different scales

尺度	4 连通成分	8 连通成分	8 连通成分/ 4 连通成分
尺度 1	57	45	0.789 5
尺度 2	30	18	0.600 0
尺度 3	18	15	0.833 3

从表 1 数据可以发现,尺度 2 时 8 连通成分与 4 连通成分商的值最小,说明尺度 2 时检测到的边缘连接程度最好,提取的边缘效果最好。尺度 1 时,提取的边缘细节较多,往往会出现错检现象,影响边缘提取的效果;而尺度 3 时,由于尺度较大,对边缘信息也产生了抑制,出现了漏检现象,使得边缘出

现不连续现象。

本文提出的通过数学形态学预处理,采用小波多分辨率分析重构提取水边线的方法与传统的方法相比,不仅可以有效地去除悬浮泥沙信息对水边线信息提取的影响,而且对无用细节信息以及毛刺现象的抑制作用也相当显著,使得提取的水边线更准确、更清晰。它是高浑浊水体水边线信息的提取的有效方法之一。

参考文献:

- [1] Ryu J H, Won J S, Min K D. Water extraction from Landsat TM data in a tidal flat: A case study in Gomso Bay, Korea[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 83(3): 442-456.
- [2] Lohani B, Mason D C. Construction of a digital elevation model of the holderness coast using the waterline method and airborne thematic mapper data[J]. Remote Sensing, 1999, 20(3): 593-607.
- [3] 霍继双, 王超, 王正志. 一种基于多阈值的形态学提取遥感图像海岸线特征方法[J]. 中国图象图形学报, 2003, 8(7): 805-809.
- [4] 王家文, 李仰军. Matlab7.0 图形图像处理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006: 266.
- [5] Mallat S. A wavelet tour of signal processing [M]. Third Edition. Burlington: Elsevier Inc, 2009: 264-270.
- [6] 林卉, 舒宁. 一种新的基于连通成分的边缘评价方法[J]. 国土资源遥感, 2003, 3(57): 37-40.

Waterside line information extraction of tidal flat at the Yangtze River Estuary by wavelet multi-resolution analysis

HAN Zhen^{1,2,3}, GUO Yong-fei¹

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Institute of Ocean Disaster Prevention and Reduction, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China)

Received: Dec., 7, 2009

Key words: waterside line; wavelet multi-resolution analysis; threshold segmentation; the Yangtze River Estuary

Abstract: Jiuduansha was selected as a study area at the Yangtze River Estuary. First, we pretreated the image by the mathematical morphology method in order to eliminate the fracture zone formed by inlets. Then, we extracted the waterside line information and removed the high suspended sediment information and other high frequency information by the wavelet multi-resolution analysis method. At last, we evaluated the effect of the waterside line information extraction by the edge connectivity evaluation method. The results show the wavelet multi-resolution analysis method is one of the effective methods to extract waterside line information in the silty tidal flat. Remote sensing information extraction of waterside line has important significance for the reasonable development of tidal flat resources and the study of modern tidal flat coastal dynamic changes.

(本文编辑: 刘珊珊)