

Journal of Image  
and Graphics

# 中国图象图形学报



ISSN1006-8961  
CN11-3758/TB

2012 3  
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所  
中国图象图形学学会主办  
北京应用物理与计算数学研究所

# 中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年3月 第17卷 第3期(总第191期)

## 目次

### 图像处理和编码

- 摄影测量共线方程的单位四元数描述 ..... 杨化超,卢晓攀,王永波,姚国标(301)
- 分形压缩感知高维信号重构方法 ..... 刘佶鑫,孙权森(309)
- 自适应子矢量划分的快速码字搜索算法 ..... 吴鑫鹏,潘志斌,李达(315)
- 基于人类视觉模型的各向异性扩散滤波方法 ..... 宋建军,侯志强,余旺盛(321)
- 整数提升小波多相矩阵分解系数的快速提取算法 ..... 王锋,赵志文,牟盛(329)
- 自适应样本块大小的图像修复方法 ..... 孟春芝,何凯,焦青兰(337)

### 图像分析和识别

- 改进FCM在交互式图像分割中的应用 ..... 依玉峰,高立群,郭丽(342)
- 输电导线图像目标识别方法 ..... 孙凤杰,杨镇浓,李媛媛,范杰清(349)
- 无表观特征小目标检测与跟踪 ..... 陶霖密,李亮,邸慧军(357)
- 应用改进频率调谐的海上小目标检测方法 ..... 任蕾,施朝健,冉鑫(365)
- 视觉注意原理局部特征的行人检测 ..... 刘俊涛,刘文予,吴彩华,李雄伟,冯镔(370)
- 尺度不变单样本人脸识别方法 ..... 王炜强,张晓阳,曹春芹,付奎生(380)
- 复杂交通场景中采用稀疏表示的车辆识别方法 ..... 李修志,吴健,崔志明,陈建明(387)
- 利用复合导数的边缘检测新算法 ..... 程金梅,叶永强,姜斌(393)

## 图像理解和计算机视觉

迭代分割逼近:新的基于局部响应显著度的角点检测 ..... 马丽红,谭幸均(402)

融合 SIFT 特征的熵图估计医学图像非刚性配准 ..... 张少敏,支力佳,赵大哲,林树宽,赵宏(412)

## 计算机图形学

面向非均匀采样点集的 3 维表面重建算法 ..... 刘晓平,段瑞青,余烨(419)

基于可编程图形管线的大规模流程工厂模型多分辨率绘制方法 ..... 周剑,唐卫清,朱耀琴,夏明,黄晓剑(426)

带有位置修正的环境映射 ..... 王晨昊,汤晓安,孙即祥,马伯宁(435)

## 遥感图像处理

海岸线遥感信息提取的元胞自动机方法及其应用 ..... 冯永玖,韩震(441)

## 中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 3 期

2012 年 3 月 16 日出版

主管单位 中国科学院

主 办 中国科学院遥感应应用研究所

中国图象图形学学会

北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会

北京 9718 信箱 邮编 100101

电子信箱:jig@irsa. ac. cn

电话:010-68407995 010-82614429

网 址:www. cjig. cn

印刷装订 北京北林印刷厂

广告经营许可证 京朝工商广字第 0346 号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

国外发行 中国国际图书贸易总公司

(中国国际书店)

(北京 399 信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,  
CAS China Society of Image and Graphics  
Institute of Applied Physics and Computational  
Mathematics

Chief editor LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board  
of Journal of Image and Graphics  
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)  
E-mail:jig@irsa. ac. cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers  
and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading Corporation  
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)

Printed by Beijing Beilin Printing House

# Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 3 March 2012

## Contents

### Image Processing and Coding

- Unit quaternion based description of collinearity equations ..... Yang Huachao, Lu Xiaopan, Wang Yongbo, Yao Guobiao(301)
- Fractal compressive sensing for high-dimension signal recovery ..... Liu Jixin, Sun Quansen(309)
- Fast codeword search algorithm based on adaptive subvector partitions ..... Wu Xinpeng, Pan Zhibin, Li Da(315)
- Anisotropic diffusion image smoothing method based on human visual model ..... Song Jianjun, Hou Zhiqiang, Yu Wangsheng(321)
- Fast extraction algorithm of the polyphase matrix decomposition coefficient based integer lifting wavelet  
..... Wang Feng, Zhao Zhiwen, Mou Sheng(329)
- Image completion method with adaptive patch size ..... Meng Chunzhi, He Kai, Jiao Qinglan(337)

### Image Analysis and Recognition

- Application of improved FCM for interactive image segmentation ..... Yi Yufeng, Gao Liqun, Guo Li(342)
- Methods of transmission line target recognition ..... Sun Fengjie, Yang Zhenhuan, Li Yuanyuan, Fan Jieqing(349)
- Featureless small object detection and tracking ..... Tao Linmi, Li Liang, Di Huijun(357)
- Small target detection method under sea surface environment using revised frequency tuned saliency detection  
..... Ren Lei, Shi Chaojian, Ran Xin(365)
- Pedestrian detection method using local feature based on vision attention  
..... Liu Juntao, Liu Wenyu, Wu Caihua, Li Xiongwei, Feng Bin(370)
- Scale invariant face recognition from single sample ..... Wang Weiqiang, Zhang Xiaoyang, Cao Chunqin, Fu Kuisheng(380)
- Sparse representation method of vehicle recognition in complex traffic scenes  
..... Li Xiuzhi, Wu Jian, Cui Zhiming, Chen Jianming(387)
- Novel edge detection algorithm using a composite derivative ..... Cheng Jinmei, Ye Yongqiang, Jiang Bin(393)

### Image Understanding and Computer Vision

- Iterative segment approaching: new corner detection based on local response saliency ..... Ma Lihong, Tan Xingjun(402)
- Entropic graph estimation integrated with SIFT features for medical image non-rigid registration  
..... Zhang Shaomin, Zhi Lijia, Zhao Dazhe, Lin Shukuan, Zhao Hong(412)

### Computer Graphics

- Three-dimensional surface reconstruction algorithm for non-uniform sampling points ..... Liu Xiaoping, Duan Ruiqing, Yu Ye(419)
- Multi-resolution rendering approach of large-scale process plant models based on programmable graphics pipeline  
..... Zhou Jian, Tang Weiqing, Zhu Yaoqin, Xia Ming, Huang Xiaojian(426)
- Environment mapping with position rectification ..... Wang Chenhao, Tang Xiao'an, Sun Jixiang, Ma Boning(435)

### Remote Sensing Image Processing

- Cellular automata approach to extract shoreline from remote sensing imageries and its application  
..... Feng Yongjiu, Han Zhen(441)

中图分类号: TP79 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2012)03-0441-06

论文引用格式: 冯永玖, 韩震. 海岸线遥感信息提取的元胞自动机方法及其应用 [J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(3): 441-446

# 海岸线遥感信息提取的元胞自动机方法及其应用

冯永玖, 韩震

上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306

**摘要:** 从遥感资料中准确提取海岸线信息, 是海岛海岸带遥感调查与海岸带综合管理的重要内容。为了对多类型海岸线进行准确提取, 基于“自下而上”演化的元胞自动机方法, 结合遥感图像方向信息权重, 构建了一种新的岸线提取算法, 并在 Matlab 环境下开发实现包括均值平滑、海陆分离、离散地物去除和目标追踪的功能。以 Landsat ETM+ 遥感影像作为数据源, 分别对人工海岸上海市长兴岛-横沙岛和淤泥质海岸上海市崇明东滩岸线进行了检测, 验证了该岸线信息提取的元胞自动机算法。研究表明, 基于元胞自动机的岸线提取方法, 能够以较高精度提取人工海岸和淤泥质海岸的岸线信息。

**关键词:** 海岸线提取; 元胞自动机; 方向信息; 遥感影像

## Cellular automata approach to extract shoreline from remote sensing imageries and its application

Feng Yongjiu, Han Zhen

College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

**Abstract:** Extraction shoreline information from remotely sensed imagery is important for islands investigation With remote sensing and the coastal comprehensive management. In order to accurately extract the information of shorelines, a new algorithm was developed based on a “bottom-up” approach cellular automata (CA) by considering the direction information of images. The algorithm was developed under a Matlab environment, which includes functions such as mean smooth, land/water segmentation, discrete objects removal, and shoreline tracing. Using the proposed algorithm, the shorelines of an artificially coast at the Changxing-Hengsha islands of Shanghai and a muddy coast at Chongming Dongtan of Shanghai were extracted from Landsat ETM+ images. The results demonstrate that the CA based shoreline extractor can accurately detect shoreline information of different coast types (e.g. artificially coast and muddy coast) from remote sensing images.

**Key words:** shoreline extraction; cellular automata; direction information; remote sensing imagery

## 0 引言

海岸线信息的提取、变迁过程及其变迁趋势研究, 是海岛海岸带遥感调查与研究的重要组成, 关系

到海岸带资源利用与环境管理<sup>[1-2]</sup>。随着多光谱甚至高光谱遥感资料的丰富和 GIS 技术的成熟, 岸线信息越来越多地实现了从遥感资料进行自动提取, 而岸线信息提取的实质是遥感影像的边缘检测<sup>[2-3]</sup>。

对海岸线的遥感提取, 通常是在单波段影像或

收稿日期: 2011-05-19; 修回日期: 2011-09-06

基金项目: 上海市教育委员会科研创新项目(11YZ154); 上海市科学技术委员会重点项目(08230510700); 上海海洋大学校博士启动基金暨环境工程重点学科基金(A-2400-10-0134)

第一作者简介: 冯永玖(1981—), 男, 讲师, 2009年于同济大学获地理信息系统专业博士学位, 主要研究方向为海岸带遥感与GIS。

E-mail: yjfeng@shou.edu.cn

多波段影像组合的基础之上<sup>[4]</sup>,采用以下方法实现:1)微分检测方法,如 Roberts、Prewitt、Sobel、Laplace、LOG 及 Canny 等算子<sup>[5]</sup>;2)数学形态学检测方法<sup>[6-7]</sup>;3)人工智能检测方法<sup>[8]</sup>等。研究认为,Canny 算子在人工海岸、基岩海岸、砂质海岸及粉砂淤泥质海岸等的岸线检测中均能够取得良好的效果<sup>[9]</sup>,是海岸线检测的基本方法;但是对于地物复杂、边缘特征或线特征破碎的遥感影像存在着明显的缺陷<sup>[10]</sup>;而结合小波变换和数学形态学方法可以用来检测边缘信息,能够获取较好的轮廓效果<sup>[4]</sup>。此外,通过非监督分类、复杂地物简化和地图综合等方法可以获取图像的边缘信息,用于检测岸线的变化能够获取较好的效果<sup>[11]</sup>。同样,基于监督分类方法也能够从影像中提取边缘信息,例如 Li 和 Michiel 从 MSS/TM/ETM 和 SPOT 影像中提取了 1960 年以来的珠三角海岸线<sup>[2]</sup>。Liu 等人的研究表明,上述岸线检测算法中一些方法较为复杂且存在岸线提取不连续的弊端<sup>[12]</sup>。因此,研究一种能够提取不同类型岸线信息的可靠方法,是一个亟待解决的关键问题。

有研究认为,一个好的算子需满足信噪比准则、定位精度准则和单边缘响应准则等基本要求<sup>[9]</sup>。为了提高岸线检测的精度,近年来发展了多种智能检测方法,如神经网络<sup>[8]</sup>、遗传算法<sup>[13]</sup>、数据挖掘<sup>[14]</sup>和元胞自动机模型(CA)<sup>[15]</sup>等。其中,具有“自下而上”自动演化结构的智能 CA 模型,近 20 余年来广泛用于地理环境模拟领域,如城市生长与土地利用<sup>[16-17]</sup>。近年来,人们开始意识到 CA 在图像分类与模式识别中的作用,将其用于混合像元分解<sup>[18]</sup>及图像边缘检测等<sup>[19]</sup>。例如,有学者利用基于冯·诺依曼邻域的 CA 演化规则,在二值和灰度图像上进行边缘检测<sup>[15]</sup>;基于分区的 CA 算法,可以自动地提取每个区域的边缘线<sup>[20]</sup>。此外,也有研究结合形态梯度与 CA 方法提取红外影像的边缘,认为该方法比传统的形态梯度法的效果要好<sup>[19]</sup>。

本文基于元胞自动机模型并结合图像的方向信息权重,构建了一种新的海岸线遥感信息提取算法,并在 Matlab 环境下开发实现。采用 Landsat ETM + 遥感影像作为数据源,分别以人工海岸上海市长兴岛—横沙岛和淤泥质海岸上海市崇明东滩验证本海岸线提取算法。

## 1 基于 CA 的岸线提取算法

### 1.1 元胞自动机图像处理规则

演化规则是元胞自动机模型框架的核心。在图像边缘检测中,演化规则定义为元胞(像元)从上一时刻转换到下一时刻所依据的规则,表示如下<sup>[16-17]</sup>:

$$S_t = f(S_{t-1}, N_{ei}, C_{con}) \quad (1)$$

式中, $t$ 为迭代运算时间, $N_{ei}$ 为邻近元胞状态, $N$ 为邻域元胞数量, $C_{con}$ 为元胞演化的限制条件, $f$ 为演化规则函数, $S_t$ 和 $S_{t-1}$ 是中心元胞在 $t$ 和 $t-1$ 时刻的状态。

### 1.2 结合方向信息的海陆分离

以带有方向信息权重的邻域元胞灰度指数作为海陆分离的指标,表示如下:

$$G_{Nei} = \frac{\sum_{i=1}^N w_i \times C_i}{n \times n - 1} \quad (2)$$

式中, $n$ 是元胞邻域半径(可选择 Moore 邻域), $N$ 是邻域元胞的总数量( $N = n \times n - 1$ ), $C_i$ 是第 $i$ 个元胞的灰度值, $w_i$ 是第 $i$ 个元胞的权重, $G_{Nei}$ 是元胞邻域决定的灰度指数。

权重 $w$ 是一个带有方向信息的矩阵,其中每个元素为对应位置的元胞的权重。一个好的方向信息矩阵应尽可能检测出图像中各个方向上的灰度值突变信息,该方向信息矩阵也可以称之为“模板”<sup>[10]</sup>。对于局部区域,从灰度值变化的方向来看,存在水平、垂直、对角线等 4 个基本方向的灰度突变信息(如图 1 所示),其中处于中心位置的为中心元胞,在 CA 演化规则中其状态由邻域决定。

为了检测上述方向的灰度突变信息,需要选取合理的权重矩阵 $w$ ,结合定向检测算子,将对应的 4 个矩阵 $w_{a-d}$ 依次定义如下(仅以 $3 \times 3$ 邻域为例):

$$\begin{aligned} w_a &= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} & w_b &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \\ w_c &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & 0 \end{bmatrix} & w_d &= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (3)$$

总体灰度指数 $G_N$ 邻域灰度指数的最大值,可表示为

$$G_N = \max(G_{Nei,a}, G_{Nei,b}, G_{Nei,c}, G_{Nei,d}) \quad (4)$$

式中, $G_{Nei,a}$ , $G_{Nei,b}$ , $G_{Nei,c}$ , $G_{Nei,d}$ 分别为对应于权重

$w_a, w_b, w_c, w_d$  的邻域灰度指数。

总体灰度指数是刻画中心元胞状态的标识。将该指数  $G_N$  与预先设置的阈值  $G_{thd}$  进行比较,当  $G_N$  大于阈值时,中心元胞状态记为  $G_B$  (灰度值可为 0

或 255),反之记为  $G_w$  (对应的灰度值可为 255 或 0,与  $G_B$  相反),其数学表达式为

$$S_i = \begin{cases} G_B & G_N \geq G_{thd} \\ G_w & G_N < G_{thd} \end{cases} \quad (5)$$

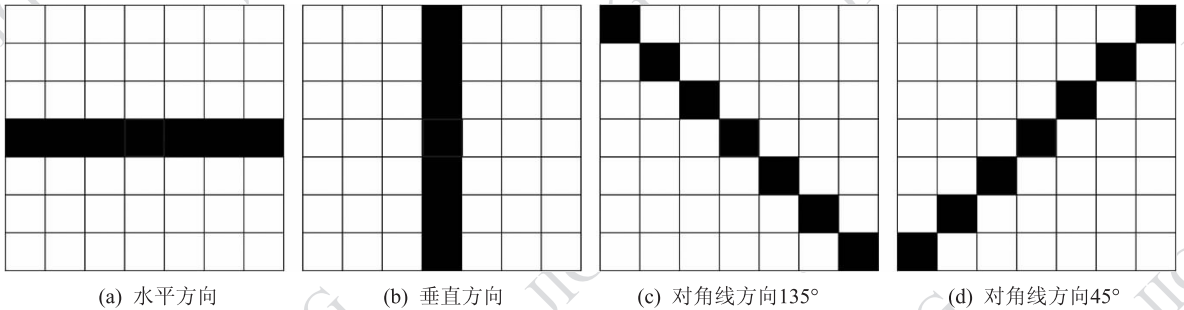


图1 4个基本方向的灰度突变信息

Fig. 1 Information of gray mutation at four basic directions

### 1.3 海岸线目标追踪

在海陆分离二值化图像的基础上进行海岸线目标的追踪,是海岸线信息提取的重要环节。该追踪算法的思想类似于卷积运算,即通过  $3 \times 3$  模板对图像中的每个元胞(像元)进行其上下左右邻域的检测。当中心元胞的邻域内存在一个水域元胞,则该中心元胞即为海岸线的组成部分,同时给该元胞赋以不同于陆地和水域的固定灰度值。当整个图像被该模板检测完毕,将海岸线元胞以外的图像设置为背景,即可获取完整的海岸线信息。

在 Matlab 环境下开发具有图形用户界面 GUI 的岸线检测与提取模块,其核心在于可以执行多种元胞邻域构型而达到海陆信息分离的目的,其余功能包括图像输入和输出、离散地物去除和目标岸线追踪等(如图 2 所示)。

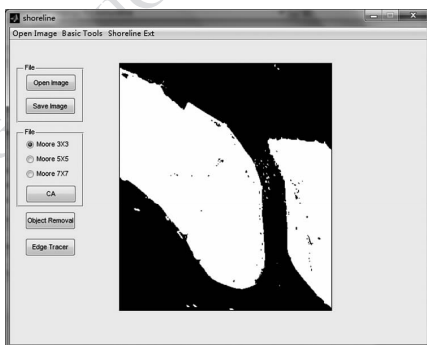


图2 基于元胞自动机的岸线提取模块

Fig. 2 The shoreline extraction module based on cellular automata in a Matlab environment

## 2 提取算法应用

分别以人工海岸上海市长兴岛-横沙岛以及淤泥质海岸上海市崇明东滩验证本海岸线提取算法。采用 2008 年 3 月 24 日的 ETM+ 影像作为原始数据,其空间分辨率为 30 m。由于 ETM+ 第 5 波段能够较好地地区分海陆信息,因此将其作为基础数据,检验本方法对不同海岸线提取的有效性。

上海市长兴岛和横沙岛区域均是构筑了堤坝的人工海岸类型,因此这类海岸比较规则,且由于构筑物在 ETM+ 第 5 波段中的光谱反射率较高,因此表现在图像上一般呈白色或灰白色。为了更好地验证本算法,人为地增加研究区域的复杂度,通过在长兴岛和横沙岛各取一部分(分别为长兴岛东侧和横沙岛西侧)作为研究区域,图像大小为  $344 \times 402$ ,面积为  $124.46 \text{ km}^2$ ,提取结果如图 3 所示。海岸线信息提取过程为:首先进行  $3 \times 3$  均值平滑如图 3(a)所示,继而利用该基于元胞自动机的算法进行了海陆信息分离如图 3(b)所示,将海域和陆域中的离散地物去除如图 3(c)所示,最后对岸线目标进行追踪,结果如图 3(d)所示。该结果表明,尽管人为增加了海岸线的复杂度,但均属于人工海岸,在岸线提取方法上并不会因此呈现差异,因此获取的结果较为一致。

崇明东滩为典型的淤泥质海岸,是验证该基于元胞自动机的岸线提取方法的理想区域,该区域图

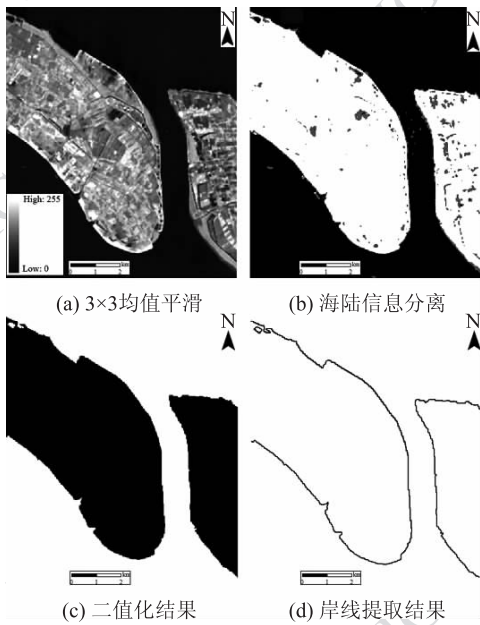


图 3 人工海岸长兴岛-横沙岛岸线提取

Fig. 3 Shoreline extraction of artificially coast:  
Changxing-Hengsha islands

像大小为  $844 \times 882$ , 面积为  $669.97 \text{ km}^2$ 。对于该淤泥质海岸的岸线提取, 其过程与人工海岸类似, 图 4 分别为崇明东滩岸线提取过程中的均值平滑图像、海陆分离图像、离散地物去除图像和提取的最终岸线。崇明东滩岸是一种淤泥质潮滩岸线, 由于长江泥沙常年淤积的作用, 岸线随时间的变化非常显著, 因此, 其复杂度远超过人工海岸。元胞自动机岸线提取算法, 在不考虑潮位的情况下, 对淤泥质潮滩提取的结果, 实际上是该区域的水边线。

人工海岸与淤泥质海岸在岸线提取中的区别, 体现在该基于元胞自动机的方法中, 主要是海陆分离的阈值  $G_{\text{thd}}$  与迭代次数  $Iter$  的确定问题。一般地, 把阈值确定为 0.5, 然后改变阈值获取不同的海陆分离图像, 继而获取目标岸线。由于阈值不同, 所获取的目标岸线会存在一定的差异, 因此, 设置 0.5 左右的 5 个阈值获取目标岸线。

同时, 迭代次数  $Iter$  会极大地影响岸线提取的结果, 当迭代次数较少时, 海陆信息的分离不完全, 且剩余的离散地物较多; 而当迭代次数较大时, 岸线会向海域一侧部分地扩张, 但是剩余的离散地物较少。实验表明, 当迭代达到一定次数, 再进行迭代运行时, 海陆分离结果并不会发生改变。因此, 适合的迭代次数, 需要将所提取的岸线与参考岸线进行比较方能确定, 即每次迭代都进行目标岸线提取, 并将

其与参考岸线进行比较得到精度。研究表明, 迭代次数偏少或偏多时, 得到的精度均不高, 因此将岸线精度最高时对应的迭代次数确定为适合的迭代次数。

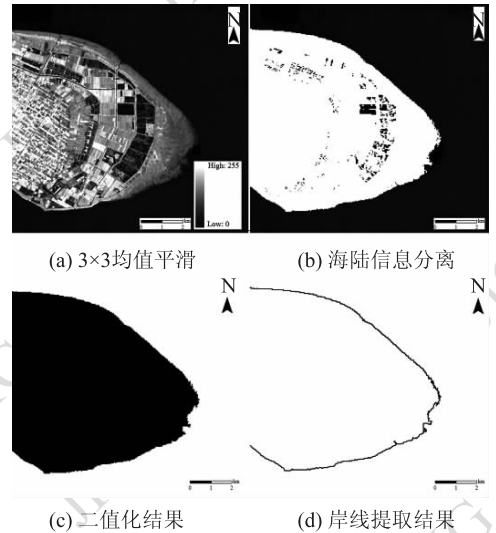


图 4 淤泥质海岸崇明东滩岸线提取

Fig. 4 Shoreline extraction of muddy coast:  
Chongming Dongtan

参考岸线通过高空间分辨率卫星影像 QuickBird 进行人工解译获取。在精度评价中, 应注意 Landsat 与 QuickBird 是两种不同的卫星, 它们经过同一地区上空的时间肯定不会是相同的, 因此, 应尽量采用过境时间相差最小的影像作为基准, 本文评价时采用的 QuickBird 影像获取的时间为 2008 年 3 月。由于时间差较小, 用于人工岸线的精度评价几乎没有影响, 而对于淤泥质岸线的评价其影响会大一些, 因此, 在岸线的目视解译中要求解译者具有较好的遥感与 GIS 基础, 熟悉研究区域情况, 并通过 3 人以上讨论决定。采用的评价标准如下: 选用相对误差作为评价指标, 相对误差 =  $\sum (\text{测量值} - \text{真值}) / \text{真值} / n \times 100\%$ , 即 30 m 空间分辨率下所有 (记为  $n$  个) 岸线像元的误差的平均值。在此精度评定方法下, 对于 5 个阈值获取的目标岸线, 肯定有 1 个阈值对应的目标岸线其精度是最高的, 将这个阈值确定为最终阈值。最终, 人工海岸上海市长兴岛-横沙岛确定为 0.5, 迭代次数为 5, 其相对精度 (精度计算中, 左上角岛屿统计在内) 为 0.028%; 淤泥质海岸崇明东滩阈值为 0.48, 迭代次数为 18, 其相对精度为 0.045%。

由于人工海岸较规则,因此需要的迭代次数较少,淤泥质海岸需要的次数较多,而另一个影响迭代次数的因素则为研究区域的面积。在 Duo Core 2.0 GHz处理器和2.0 GB内存的硬件环境下,长兴岛-横沙岛岸线提取所需时间为3 s,而崇明东滩岸线提取所需时间为15 s,该运行时间与硬件环境及数据大小相关。岸线提取结果表明,人工海岸的精度高于淤泥质海岸,且其精度水平与最近报道的增强型 Sobel 算法相近,而优于传统的 Sobel 算子<sup>[21]</sup>。总体而言,基于元胞自动机方法提取的结果较好,可为海岛海岸带遥感调查与海岸带综合管理提供一定的依据。

### 3 结 论

提出了一种基于方向信息权重和元胞自动机的岸线提取方法。在 Matlab 环境下,开发实现了包括均值平滑、海陆分离、离散地物去除和岸线目标追踪等功能。建模理论与实验研究表明,通过总体灰度阈值的设定及与参考结果的比较,该算法能够从遥感影像中有效提取人工海岸和淤泥质海岸的岸线信息。在这两类岸线的提取中,人工海岸的难度较小,即阈值的设定只需要少数几次测试就能够确定比较适合的数值;淤泥质海岸较为复杂,为了得到精度较高的岸线结果,需要测试的阈值则较多,总体上该方法提取的人工海岸和淤泥质海岸的岸线精度较好。另一方面,由于传统方法在人工海岸的岸线提取方面,效率和精度均可以接受、难度也不高,因此比之已有的算法,基于元胞自动机的岸线提取方法对于淤泥质海岸的意义更大。

该算法的验证所利用的测试数据量相对较小,但是涉及了两种不同的海岸类型,证明该方法具有一定的普适性。在进一步研究中,将利用更大范围的数据(如完整的上海市海岸带或杭州湾海岸带)进行实例研究,分析模型与结果的空间不确定性,进而揭示研究区岸线的时空变迁过程。

### 参考文献 (References)

- [ 1 ] Boak E H, Turner I L. Shoreline definition and detection: a review [J]. *Journal of Coastal Research*, 2005, 21(4): 688-703.
- [ 2 ] Li X, Michiel C J. Coastline change detection with satellite remote sensing for environmental management of the Pearl River Estuary, China [J]. *Journal of Marine Systems*, 2010, 82: S54-S61.
- [ 3 ] Dellepiane S, Laurentis R D, Giordano F. Coastline extraction from SAR images and a method for the evaluation of the coastline precision [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2004, 25: 1461-1470.
- [ 4 ] Ryu J, Won J, Min K D. Waterline 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.
- [ 5 ] Hua J Z, Wang J G, Yang J Y. A novel approach to edge detection based on PCA [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2009, 14(5): 912-919. [华继利,王建国,杨静宇. 基于 PCA 的边缘检测方法[J]. *中国图象图形学报*, 2009, 14(5): 912-919.]
- [ 6 ] Tao H J, Liu J, Tian J W. Remote sensing image edge detection based on wavelet transform and mathematical morphology [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2002, 31(2): 154-157. [陶洪久,柳健,田金文. 基于小波变换和数学形态学的遥感图像边缘检测[J]. *红外与激光工程*, 2002, 31(2): 154-157.]
- [ 7 ] Wei M, Chang W G. The application of morphology to the edge detection of road from UWB SAR images [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2010, 15(10): 1555-1560. [卫蒙,常文革. 数学形态法在超宽带 SAR 道路边缘检测中的应用[J]. *中国图象图形学报*, 2010, 15(10): 1555-1560.]
- [ 8 ] Waldemark K, Lindblad T, Beanovi V, et al. Patterns from the sky: Satellite image analysis using pulse coupled neural networks for pre-processing, segmentation and edge detection [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2000, 21(3): 227-237.
- [ 9 ] Nadernejad S. Edge detection techniques: evaluations and comparisons [J]. *Applied Mathematical Sciences*, 2008, 2(31): 1507-1520.
- [ 10 ] Liu H, Jezek K C. Automated extraction of coastline imagery by integrating Canny edge detection and locally adaptive thresholding methods [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2004, 25(5): 937-958.
- [ 11 ] Liu H, Sherman D J, Wang L, et al. Algorithmic foundation and software tools for extracting shoreline features from remote sensing imagery and LiDAR data [J]. *Journal of Geographic Information System*, 2011, 3: 99-119.
- [ 12 ] Liu H, Sherman S, Gu S. Automated extraction of shorelines from airborne light detection and ranging data and accuracy assessment based on Monte Carlo simulation [J]. *Journal of Coastal Research*, 2007, 23(6): 1359-1369.
- [ 13 ] Bhandarkar S M, Zhang Y, Potter W D. An edge detection technique using genetic algorithm-based optimization [J]. *Pattern Recognition*, 1994, 27(9): 1159-1180.
- [ 14 ] Miao J, Huang H X, Cheng W S, et al. Fuzzy clustering analysis based on ant colony algorithm for image edge detection [J]. *Engineering Journal of Wuhan University*, 2005, 38(5): 124-127. [苗京,黄红星,程卫生,等. 基于蚁群模糊聚类算法的图像边缘检测[J]. *武汉大学学报:工学版*, 2005, 38(5): 124-

127. ]
- [15] Wongthanavas S, Sadananda R. A CA-based edge operator and its performance evaluation [J]. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 2003, (14): 83-96.
- [16] Feng Y J, Tong X H, Liu M L. Modelling urban growth based on geographical cellular automata with partial least squares regression [J]. *Journal of Tongji University: Natural Science*, 2010, 38(4): 608-612. [冯永玖,童小华,刘妙龙. 基于偏最小二乘地理元胞模型的城市生长模拟[J]. 同济大学学报:自然科学版, 2010, 38(4): 608-612.]
- [17] Feng Y J, Liu M L, Tong X H, et al. Kernel principal components analysis based cellular model for restructuring and predicting urban evolution [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(6): 665-675. [冯永玖,刘妙龙,童小华,等. 基于核主成分元胞模型的城市演化重建与预测. 地理学报, 2010, 65(6): 665-675.]
- [18] Wang X H, Guo J M, Jia B J, et al. Mixed pixels classification of remote sensing images based on cellular automata [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2008, 37(1): 42-48. [王旭红,郭建明,贾百俊,等. 元胞自动机的遥感影像混合像元分类[J]. 测绘学报, 2008, 37(1): 42-48.]
- [19] Liu S T, Yang S Q, Chen H. New method of infrared image edge detection based on cellular automata [J]. *Laser & Infrared*, 2008, 38(4): 396-399. [刘松涛,杨绍清,陈洪. 基于元胞自动机的红外图像边缘检测新方法[J]. 激光与红外, 2008, 38(4): 396-399.]
- [20] Nakano T, Morie T, Nagata M, et al. A cellular automaton type image extraction algorithm and its implementation using an FPGA [C] // *Proceedings of IEEE. New York: IEEE Press*, 2002: 197-200.
- [21] Wang L J, Niu Z, Zhao D G, et al. The study of coastline extraction and validation using ETM remote sensing image [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2010, 25(2): 235-239. [王李娟,牛铮,赵德刚,等. 基于ETM遥感影像的海岸线提取与验证研究[J]. 遥感技术与应用, 2010, 25(2): 235-239.]