

## 基于内港区域的港口目标识别

邢 坤 付宜利

(哈尔滨工业大学现代生产技术中心 哈尔滨 150001)

**摘 要:** 遥感图像中不同港口的内港区域呈现出不同的形状, 该文提出一种基于内港区域的港口目标识别方法。首先利用直方图和形态学算子分割海域; 再利用多边形近似法提取海岸线上的特征点, 根据特征点的闭合度确定内港区域, 通过检测直线和角点结构减少虚警; 然后计算内港区域的形状主方向; 最后提取特征并进行相似性度量。实验证明, 该方法检测的港口目标准确, 提取的特征具有良好的不变性, 满足识别的要求。

**关键词:** 遥感图像; 港口识别; 内港区域; 闭合度

中图分类号: TP751.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2009)06-1275-04

## Harbor Target Recognition Based on Inside Region

Xing Kun Fu Yi-li

(Advanced Manufacturing Technology Center, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

**Abstract:** Different inside regions of harbors show different shapes from remote sensing images. A method of harbor target recognition based on inside region is proposed. Firstly, potential sea regions are segmented from image by using histogram and dilation operations. Secondly, the coastline is partitioned into a series of feature points with polygon approximation in order to compress the shape description datum. After calculating the closure from feature points, the inside regions are extracted. Straight lines and corner structures are detected to reduce false alarms. Then the principal orientation of inside region is rotated to the same right horizontally to avoid the rotation effect. Finally, the features are extracted to measure the similarity. Experiments show that harbors are detected accurately using the proposed method. Besides, the extracted features have good invariability and can meet the need of recognition.

**Key words:** Remote sensing images; Harbor recognition; Inside region; Closure

### 1 引言

在遥感图像处理过程中, 特征提取和目标识别是两个紧密联系的概念。对于港口目标提取特征进行识别的研究, 国外相关文献很少, 文献[1]通过检测轮廓线的角点, 进而识别港口轮廓基元来达到识别港口轮廓的目的, 但算法依赖于轮廓的提取。文献[2]提出了基于黑板结构的产生式网港口识别模型。文献[3]提出一种大尺度卫星遥感图像中基于知识的快速识别方法, 利用了港口半封闭区域的特征。文献[4]提到事先将港口轮廓以模板的形式预先存储起来, 通过地理坐标的匹配识别。上述方法只是判定了港口存在的位置, 没有作进一步识别分析, 本文根据内港海岸线的闭合度检测港口, 利用轮廓线的角点减小虚警, 在分割内港区域的基础上, 提取形状特征进行识别。形状描述方法大致分为两类: 基于边缘和基于区域的方法。基于边缘的形状描述方法利用图像的边缘信息, 如边缘曲线、边缘方向直方图、角点、兴趣点等来描述物体的形状<sup>[5]</sup>; 基于区域的形状描述方法利用区域内的灰度分布信息, 包括不变矩法、小波重要系数法等<sup>[6]</sup>。港口

一般邻海而建, 将海域分割为内港水域和外港水域, 每个港口的内港有特殊的形状, 利用内港区域的形状特征进行识别是值得期待的。港口识别流程如图1所示。

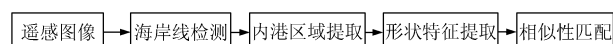


图1 港口识别示意图

### 2 算法描述

#### 2.1 海岸线特征点检测

遥感图像中海域最显著的特征是面积较大而且表面灰度均匀。经过对港口区域的分析发现, 其统计直方图有明显的双峰形状, 采用阈值方法可以将目标和背景较好地分离, 最佳阈值一般取直方图两峰之间的谷所对应的灰度值。经过直方图阈值分割后, 图像上仍有部分离散的噪声, 由于有的噪声面积还比较大, 但一般比海域要小, 此时若用形态学算子腐蚀和膨胀的方法来剔除, 将会对区域形状保持有所影响。本文通过连通区域标记法, 根据面积阈值剔除小面积的假目标<sup>[7]</sup>, 最大的连通区域记为海域, 其余为陆地。经过形态学的膨胀和腐蚀后对海岸线的形状进行一定的规整, 最后

边界跟踪可以得到完整的海岸线。图2为某港口提取海岸线的例子，图2(b)为海域分割的结果，得到的海岸线如图2(c)所示。



图2 海岸线提取

曲线特征点是曲线上的高曲率点或者曲线变化的关键点。海岸线主要的结构信息包含在相对较少的特征点之中，提取海岸线上的特征点，即可以保持海岸线主要结构信息不损失，又大大降低处理过程的时间和空间复杂度。常用的曲线特征点提取算法有角点检测法<sup>[8]</sup>和多边形近似法。利用角点检测法必然获得大量角点，难以形成全局最优的多边形。本文采用多边形近似法提取海岸线的特征点，利用模拟退火算法求解最优近似多边形<sup>[9]</sup>，然后以多边形的顶点作为曲线的特征点，通过调整准则还可以灵活控制多边形近似法提取的特征点数目。

2.2 内港区域提取

内港海岸线的封闭特性是绝大多数港口普遍具有的、比较稳定的结构特征。本文提出了一种计算海岸线的闭合度的方法来提取内港海岸线，分割内港区域。海岸线的闭合度定义在海岸线上的任意两个特征点之间，反映的是位于这两点之间的海岸线所围成的海域的封闭程度。假设图2(b)分割图像为  $s(x,y)$ ，它是一个取值为 0, 1 的二值图像， $s(x,y) = 1$  表示像素  $(x,y)$  属于海域， $s(x,y) = 0$  表示像素  $(x,y)$  属于陆地。根据图像  $s(x,y)$  可以将陆地 (Land) 和海域 (Water) 表示为两个像素集合：

$$\text{Land} = \{(x,y) | s(x,y) = 0\} \tag{1}$$

$$\text{Water} = \{(x,y) | s(x,y) = 1\} \tag{2}$$

假设提取的海岸线特征点表示为  $\text{Coastline} = \{P_i, i = 1, 2, \dots, n\}$ ，其中  $P_i$  表示海岸线上的第  $i$  个像素， $n$  表示海岸线所包含的像素数目。对于海岸线上任意两个特征点  $P_i, P_j \in \text{Coastline}$ ，假设位于  $P_i$  和  $P_j$  之间的原始海岸线为  $R_{ij}$ ，以位于  $P_i$  和  $P_j$  (包括  $P_i$  和  $P_j$ ) 之间的海岸线  $R_{ij}$  上的像素数目来表示海岸线  $R_{ij}$  的长度  $|R_{ij}|$ ，连接  $P_i$  和  $P_j$  的直线段为  $L_{ij}$ ，以特征点  $P_i$  和  $P_j$  的欧氏距离作为直线段  $L_{ij}$  的长度  $|L_{ij}|$ 。直线段  $L_{ij}$  与 Water 的关系用集合之间的包含关系来表示：若直线段  $L_{ij}$  完全位于 Water 之中，则记为  $L_{ij} \subset \text{Water}$ ；否则，记为  $L_{ij} \not\subset \text{Water}$ 。于是， $P_i$  和  $P_j$  之间的海岸线为  $R_{ij}$  的闭合度  $\text{Close}(i, j)$  定义为

$$\text{Close}(i, j) = \begin{cases} \frac{|R_{ij}|}{|L_{ij}|}, & L_{ij} \subset \text{Water} \text{ 和 } i \neq j \\ 0, & L_{ij} \not\subset \text{Water} \text{ 或 } i = j \end{cases} \tag{3}$$

式(3)中，当直线段  $L_{ij}$  完全属于海域 ( $L_{ij} \subset \text{Water}$ ) 且  $i \neq j$  时， $P_i$  和  $P_j$  之间的海岸线  $R_{ij}$  的闭合度为海岸线的长度除以直线段的长度；如果直线段部分或全部穿越陆地 ( $L_{ij} \not\subset \text{Water}$ ) 时，则海岸线  $R_{ij}$  的闭合度为 0；对于  $P_i$  和  $P_j$  为同一点 (即  $i = j$ ) 的特殊情况，闭合度为 0。在判断直线段  $L_{ij}$  与海域的包含关系  $L_{ij} \subset \text{Water}$  时，采用阈值技术，提高闭合度的抗噪性能。具体做法是，设位于直线段  $L_{ij}$  上的像素数目为  $N_1$ ，其中属于海域的像素数目为  $N_2$ ，若  $N_2/N_1 > \text{Th}$ ，则认为  $L_{ij} \subset \text{Water}$  成立，Th 根据实验设定。对海岸线上的所有特征点计算闭合度，判断闭合度是否符合港口的阈值，把疑似内港区域提取出来。偶尔一些半封闭区域被误判为港口，港口轮廓存在角点间直线连接的结构，通过判断疑似区域轮廓是否存在港口结构进一步减少虚警。提取的内港区域如图3所示。

2.3 形状主方向的确定

为保证内港区域的形状特征具有旋转不变性，将图像旋转到同一方向，即使得形状主方向  $\varphi$  水平向右。形状的主方向由形状特征决定，位于通过重心且倾角为  $\alpha$  的直线上。由形状区域的 KL(Kahunen-Loeve)变换<sup>[10]</sup>可知， $\alpha$  是具有最大特征值的特征向量的方向：

$$\alpha = \arctan \left[ \frac{\mu_{02} - \mu_{20} + \sqrt{(\mu_{02} - \mu_{20})^2 + 4\mu_{11}^2}}{2\mu_{11}} \right] \tag{4}$$

式中  $\mu_{pq}$  为形状所围区域的  $p + q$  阶中心矩，

$$\mu_{pq} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) \tag{5}$$

$\bar{x}$  与  $\bar{y}$  为图像的重心坐标。计算出  $\alpha$  以后，由形状的三阶矩决定形状的主方向  $\varphi$  是在正向  $\alpha$  方向上还是在反向  $\alpha + \pi$  方向上，原理是根据能量的大小确定形状的主方向。

$$\varphi = \begin{cases} \alpha + \pi, & \mu_{30} > 0 \\ \alpha, & \mu_{30} \leq 0 \end{cases} \tag{6}$$

图4为旋转形状主方向的结果。根据式(6)计算得到的主方向  $\varphi$ ，将图3围绕重心旋转  $-\varphi$ ，得到图4。由此通过确定图像的形状主方向消除旋转带来的变化。



图3 内港区域提取的结果

图4 形状主方向的旋转

2.4 特征提取

Hu 最早提出了矩的概念，并推导出了矩的一系列基本性质，进一步证明了矩的平移不变性、比例不变性和旋转不变性<sup>[11]</sup>。这个矩组对于区域形状识别是很有用的，称为 Hu 矩组。已知图像的灰度分布为  $f(x,y)$ ，其二维  $p + q$  阶矩为

$$m_{pq} = \sum_{x=0}^N \sum_{y=0}^M x^p y^q f(x, y) \quad (7)$$

$p + q$  阶中心矩为式(5), 由式(5)和式(7)导出的二阶和三阶规格化中心矩可以计算得到 7 个 Hu 不变矩, 另外 Suk 等人用几何方法推导出了 10 个仿射不变矩的计算公式<sup>[12]</sup>。Hu 不变矩记做  $\Phi_i (i = 0, 1, \dots, 6)$ 。仿射不变矩记作  $\Psi_j (j = 0, 1, \dots, 9)$ 。得到一个形状特征序列  $T = \{\Phi_i, \Psi_j\} (i = 0, 1, \dots, 6; j = 0, 1, \dots, 9)$ 。

### 2.5 相似性匹配

目标之间的相似性匹配可以通过比较它们的特征来进行。对于两目标  $M$  和  $N$ , 它们的特征分别为  $T_M = \{\Phi_M(i), \Psi_M(j)\}$  和  $T_N = \{\Phi_N(i), \Psi_N(j)\}$ , 将  $T$  中的特征向量分别看作是高斯序列, 分别计算其均值和标准差, 然后利用其均值和标准差将它们分别归一化为  $N(0, 1)$  分布的正态分布序列。对特征序列进行归一化处理后, 两目标特征之间的欧氏距离为

$$\begin{aligned} \text{Dis}(M, N) = & \omega_\Phi \times \sqrt{\sum_{i=0}^6 (\Phi_M(i) - \Phi_N(i))^2} + \omega_\Psi \\ & \times \sqrt{\sum_{j=0}^9 (\Psi_M(j) - \Psi_N(j))^2} \end{aligned} \quad (8)$$

其中  $\omega$  表示特征的属性权重, 根据实验确定。特征间的距离越大表明两目标的形状特征差别越大, 两个目标也就越不相似。反之, 特征间的距离越小则说明两个目标形状越接近。

## 3 实验分析

### 3.1 港口检测实验

图 5, 图 6 分别显示了采用本文方法从两个港口提取内港区域的结果。表 1 为对多幅遥感图像检测港口的结果。漏警在于海岸线提取存在误差, 虚警的一个原因是河流的入海口被误判为港口。

### 3.2 不变性实验

定义每个特征为服从高斯分布的随机变量, 可以用它的



图 5 港口 1 的内港区域提取



图 6 港口 2 的内港区域提取

表 1 港口检测结果

港口个数	识别数目	虚警	漏警	识别率
35	32	6	3	91.4%

均值和标准偏差来定量描述特征的质量, 从不同成像距离、方向以及位置采集目标的多个样本, 并从每个样本中提取出该特征, 用这些特征值的均值和标准偏差来描述特征质量, 经过试验和计算可以得出, 不变矩的低阶矩比高阶矩表述性能好。表 2 给出了图 5 和图 6 中两个港口 Hu 的前 4 个矩和 Jan 的前 3 个矩组成的特征向量(数据保留六位小数), 目标存在旋转、平移和尺度变化的情况下, 由表中数据可以看出, 提取的特征具有很好的鲁棒性, 另外目标被遮挡、缺失和仿射畸变的情况下, 该方法仍具有稳定性, 满足识别的要求。

表 2 港口的特征向量

矩特征	港口 1				港口 2			
	原图	旋转60° +平移	放大 2 倍 +平移	缩小 2 倍+ 旋转30°+平移	原图	旋转60° +平移	放大 2 倍 +平移	缩小 2 倍+ 旋转30°+平移
$\Phi_1$	0.183058	0.183884	0.183074	0.185144	0.401573	0.412507	0.407772	0.403442
$\Phi_2$	0.001402	0.001467	0.001402	0.001514	0.053368	0.057608	0.055769	0.062217
$\Phi_3$	0.001244	0.001238	0.001244	0.001343	0.001902	0.002128	0.002030	0.004848
$\Phi_4$	0.000045	0.000049	0.000045	0.000056	0.002902	0.003501	0.003220	0.005174
$\Psi_1$	0.008027	0.008086	0.008029	0.008191	0.026973	0.028138	0.027627	0.025137
$\Psi_2$	-0.000011	-0.000012	-0.000014	-0.000015	0.000016	0.000018	0.000016	0.000015
$\Psi_3$	-0.000183	-0.000178	-0.000192	-0.000194	-0.000121	-0.000132	-0.000118	-0.000115

#### 4 结束语

本文将港口目标视为具有特定结构的一个区域, 通过提取内港区域, 计算具有不变性的特征值, 为实现港口目标的识别创造了条件。下一步的工作重点是将 Snake 模型算法应用到海岸线特征点检测, 使得检测的海岸线特征点更精确, 另外需要结合识别模型知识, 对港口目标进行层次结构化分析, 提高识别率。

#### 参考文献

- [1] 李艳, 彭嘉雄. 港口目标特征提取与识别[J]. 华中科技大学学报, 2001, 29(6): 9-11.  
Li Yan and Peng Jia-xiong. Feature extraction of the harbor target and its recognition [J]. *Journal of Huazhong Univ. of Sci. & Tech*, 2001, 29(6): 9-11.
- [2] 杨耘, 王树根, 邱丹丹. 基于规则的高分辨率影像港口识别模型[J]. 测绘信息与工程, 2005, 30(5): 40-42.  
Yang Yun, Wang Shu-gen, and Qiu Dan-dan. Harbor recognition model from high-resolution images based on rules [J]. *Journal of Geomatics*, 2005, 30(5): 40-42.
- [3] 朱兵, 李金宗, 陈爱军. 基于知识的快速港口识别[J]. 计算机应用, 2006, 26(3): 729-732.  
Zhu Bing, Li Jin-zong, and Chen Ai-jun. Fast knowledge based recognition of harbor target[J]. *Computer Applications*, 2006, 26(3): 729-732.
- [4] 隆刚, 陈学俭. 高分辨率遥感图像港内舰船的自动检测方法[J]. 计算机仿真, 2007, 24(5): 198-201.  
Long Gang and Chen Xue-quan. A method for automatic detection of ships in harbor area in high-resolution remote sensing image [J]. *Computer Simulation*, 2007, 24(5): 198-201.
- [5] Han Jun-wei and Guo Lei. New image retrieval approach based on interest points[C]. *Internet Multimedia Management Systems III*, Boston, MA, United States, Jul 31-Aug 1, 2002: 187-197.
- [6] Mehtre B M, Kankanhalli M S, and Lee W F. Shape measures for content-based image retrieval: A comparison [J]. *Information Processing & Management*, 1997, 33(3): 319-337.
- [7] 吴樊, 王超, 张红等. 基于知识的中高分辨率光学卫星遥感影像桥梁目标识别研究[J]. 电子与信息学报, 2006, 28(4): 587-591.  
Wu Fan, Wang Chao, and Zhang Hong, et al. Knowledge-based bridge recognition in high resolution optical imagery [J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2006, 28(4): 587-591.
- [8] 张小洪, 李博, 杨丹. 一种新的 Harris 多尺度角点检测[J]. 电子与信息学报, 2007, 29(7): 1735-1738.  
Zhang Xiao-hong, Li Bo, and Yang Dan. A novel Harris multi-scale corner detection algorithm [J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2007, 29(7): 1735-1738.
- [9] 毛盾, 郭雷. 基于启发式模拟退火的曲线多边形近似算法[J]. 微处理机, 2007, 2(1): 82-85.  
Mao Dun and Guo Lei. Optimal polygon approximation of planar curve using heuristic dimulated annealing[J]. *Microprocessors*, 2007, 2(1): 82-85.
- [10] Comon P. Independent component analysis, a new concept?[J]. *Signal Processing, Special Issue on Higher Order Statistics (S0165-1684)*, 1994, 36(3): 287-314.
- [11] Liao S X and Pawlak M. On image analysis by moments[J]. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1996, 18(3): 254-266.
- [12] Suk Tomas and Flusser Jan. Graph method for generating affine moment invariants [C]. *Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition*, Cambridge, United States, Aug 23-26, 2004: 192-195.

邢 坤: 男, 1980 年生, 博士生, 研究方向为遥感图像处理。

付宜利: 男, 1966 年生, 教授, 博士生导师, 研究领域为生物医疗机器人和数字图像处理。