

# 一种基于多阈值的形态学提取 遥感图象海岸线特征方法

瞿继双<sup>1),2)</sup> 王超<sup>2)</sup> 王正志<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(国防科学技术大学自动控制系机器人实验室,长沙 410073)

<sup>2)</sup>(中国科学院遥感应用研究所开放实验室,北京 100101)

**摘要** 在利用遥感数据进行海洋监测、海事救援、海洋污染监控等应用时,往往需要首先确定图象的海岸线特征,也就是说,需要对图象中海岸线进行分割提取. 阈值方法是一类简洁而有效的图象分割方法,其虽可以用于检测遥感图象中的海岸线特征,然而用传统的阈值方法来对光学遥感图象进行海岸线检测时,对于图象中沿海岸线的物体阴影、散射特性很弱的植被、很暗的人工设施、受噪声影响的海湾水域等往往缺乏足够的区别辨识能力. 为此提出了一种基于多阈值的形态分割方法,该方法首先将阈值检测后的孤立区域划分为内陆、外海和沿海岸线3种孤立区域,然后根据区域距离和最小路径的定义,并利用形态学算子来对沿海岸线的孤立区域进行处理,以提高海岸线检测的精确度和降低误检率,实验结果表明,该方法不仅提高了对上述物体阴影、植被、暗的人工设施的准确检测率,而且该方法较传统的阈值方法具有更好的检测效果.

**关键词** 计算机图象处理(520·6040) 阈值 形态算子 区域距离 孤立区域 最小路径

**中图法分类号:** TP751.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2003)07-0805-05

## A Multi-threshold Based Morphological Approach for Extracting Coastal Line Feature from Remote Sensed Images

QU Ji-shuang<sup>1),2)</sup>, WANG Chao<sup>2)</sup>, WANG Zheng-zhi<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(Robot Lab of Institute of Mechatronics Engineering and Automation,  
National University of Defense Technology, Changsha 410073)

<sup>2)</sup>(Key Lab of Remote Sensing Information, Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101)

**Abstract** While executing tasks such as sea surveilling, maritime searching and rescue, sea pollution monitoring utilizing remote sensed images, the coastal line feature should be determined at first. Thresholding method is a type of simple but valid method for image segmentation, likewise, they can be used to detect coastal line feature in remote sensed images. However, while conventional thresholding methods used to do it, they are always short of enough discriminating ability to objects' shadow, weak-scattering vegetations, dark artificial buildings, sea gulf blurred by noise along costal line. This paper proposes a multi-threshold based morphological approach, which divides the isolated regions by thresholding detecting into intra-continent, exterior-sea, and along-coastal isolated regions at first, and then utilizes two definitions and morphological operators to process along-coastal regions further so as to improve the detecting accuracy and decreasing false detecting, especially to enhance detecting accuracy for above objects' shadow, vegetations and dark artificial builds. Experiments are executed and the results exhibit the proposed approach possessing better performance than conventional thresholding approach.

**Keywords** Threshold, Morphological operators, Region distance, Isolated region, Min-path

## 0 前言

利用遥感数据进行海洋监测、海事救援、海洋污

染监控,具有监控面积广阔,反应时间迅速的特点,因此近10年来,星载或机载光学和SAR传感器数据已经越来越多地被用于海洋监控等领域.

在对遥感数据进行上述应用处理时,提高效率

的一个基本环节就是需要自动确定海岸线特征,然后对海上目标作进一步处理<sup>[1]</sup>.在用 SAR 数据进行海岸线特征提取时,由于水域和其他固体物质散射特性的不同,因而可以有效地利用灰度阈值方法来确定海域,不过 SAR 数据处理的效果往往受分辨率不高和斑点噪声的制约.对于光学遥感数据而言,分辨率可以达到很高,除了上述的海洋监测、海事救援、海洋污染监控等应用外,甚至还可以利用这些数据监视沿海岸线区域,包括海岛、海湾等区域的偷渡、走私等犯罪活动.此时一般情况下,仍然可以利用灰度阈值方法对海岸线进行有效的提取.

阈值方法是一种简洁有效的图象分割方法,迄今为止,已经被广泛应用于各种图象分割,同时也衍生出很多具体的阈值方法<sup>[2~12]</sup>.

然而当海岸区域有物体的阴影和有散射特性很弱的植被,或者有很暗的建筑物时,用灰度阈值法提取海岸线将存在较大的误差.另外,噪声的影响也将使一些真正的海域,如海湾等水域成为孤立区域,从而导致误判.数学形态学算子通常包括腐蚀(Erosion)、膨胀(Dilatation)、形态开(Open)、形态闭(Close)等算子,通常用于图象分割、图象增强等图象分析<sup>[13,14]</sup>.

本文提出了一种用于处理光学遥感图象的基于多阈值分割的形态学方法.该方法首先利用灰度阈值方法来对图象数据进行初步的海岸线特征提取,此时获得的是包含大量孤立区域的二值图象;紧接着通过对区域距离的定义,将这些孤立区域划分为内陆孤立区域  $A_{iso-Cont}$ ,外海孤立区域  $A_{iso-Sea}$ ,以及沿海岸线孤立区域  $A_{iso-Coast}$ ;尔后,还需对沿海岸线的孤立区域进行精细处理,即利用基于先验知识的面积阈值来确定  $A_{iso-Coast}$  的陆地或海域属性;之后再利用形态腐蚀算子来对最小路径进行运算,使属于海域的沿海岸线孤立区域与主体海域连通.这样处理将可以改善划分海域和陆地的准确度和降低错误判断率;最后利用 Open 和 Close 算子来填充灰度值一致的孤立区域,以精确地获取海岸线特征.

## 1 阈值法提取海岸线特征

不同物体对太阳光有着不同的散射特性,其在光学遥感图象中即体现为不同的色彩或灰度信息.灰度阈值分割方法正是利用海域体现出来的不同灰度信息来进行海岸线特征提取的.

设定灰度分割阈值为  $T$ ,对光学遥感图象  $I$ ,对于其中的任意像素  $I_{i,j}$ ,进行如下处理:

$$I_{i,j} = \begin{cases} 255 & \text{if } I_{i,j} \geq T \\ 0 & \text{if } I_{i,j} < T \end{cases} \quad (1)$$

经验分析, $T$ 一般选取图象灰度值的平均值或其邻域值,即

$$T = \text{mean}(I) + \Delta \quad (2)$$

式中, $\text{mean}(I)$ 为光学图象  $I$  的灰度均值, $\Delta$ 为  $T$  的微调值. $T$ 也可以使用 Otsu 提出的方法来计算获取<sup>[2]</sup>.实验证明,一般情况下,使用式(2)与使用 Otsu 阈值方法计算的结果非常接近.

这样就很容易将遥感图象中灰度比较暗的主体海域  $A_{main-Sea}$  与散射特性较强的主体陆地  $A_{main-Cont}$ ,尤其是容易与广大人工建筑物区分开.当然,由于陆地部分也会有灰度比较暗淡的区域,如湖泊、散射特性很弱的植被和建筑物、物体的阴影等等,因此,它们经过灰度阈值方法处理后,将形成很多孤立的“水域”.另外,在海岸线附近的海湾等区域也有可能因为图象噪声等因素的影响而成为孤立的水域.同样,海域中的海岛、船只则会形成孤立的“陆地”点或区域,此时得到的将是一景包含主要海岸线特征的复杂的二值区域图象.

影响海岸线准确提取的干扰因素主要是孤立的“水域”,因此要提取出准确的海岸线特征,还需要利用形态学算子来对这些孤立“水域”点和区域作进一步的处理.为了描述方便,本文把孤立点和孤立区域均视为孤立区域.

## 2 利用形态学算子改善海岸线特征提取

### 2.1 形态学算子

设结构元素为  $S$ ,对于图象  $I$  的任意像素  $p$ ,令由  $S$  作用于  $p$  所形成的邻域为  $N_s(p)$ ,则以结构元素  $S$  对像素  $p$  进行腐蚀的腐蚀算子  $E$  定义为

$$E_s(p) = \{ \wedge p' | p' \in \{p\} \cup N_s(p) \} \quad (3)$$

其中,符号  $\wedge$  表示求极小值运算.

相应地,以结构元素  $S$  对像素  $p$  进行膨胀的膨胀算子  $D$  定义为

$$D_s(p) = \{ \vee p' | p' \in \{p\} \cup N_s(p) \} \quad (4)$$

其中,符号  $\vee$  表示求极大值运算.

于是形态开算子  $O$  和形态闭算子  $C$  分别定义为

$$O_s(p) = D_s \circ E_s(p) \quad (5)$$

$$C_s(p) = E_s \bullet D_s(p) \quad (6)$$

## 2.2 孤立区域判定

对于孤立区域,可以使用区域擦除算子来将这些孤立的点或区域去除,使之成为陆地或海域的一部分。

**定义 1 区域距离** 设两个 4 邻域模式下的不连通区域分别为  $A_1, A_2, P_1, P_2$  分别为区域  $A_1, A_2$  中的任意像素点,  $c$  为像素之间的邻域连接模式,定义  $A_1, A_2$  之间的距离为

$$D(A_1, A_2) = \min_{P_1 \in A_1, P_2 \in A_2} (d(P_1, P_2), c) \quad (7)$$

其中,  $d(\cdot, \cdot)$  为像素点之间的 Euclidean 距离。 $A_1, A_2$  中,对应于区域距离的像素点  $P_{D_1}, P_{D_2}$  称为距离像素点。

式(7)中的  $c$  一般取 8 邻域或 4 邻域连接,若  $A_1, A_2$  连通,则距离为 0。显然,区域距离  $D$  与  $A_1, A_2$  中对应的距离像素点  $P_{D_1}, P_{D_2}$  不一定唯一对应。

在擦除孤立区域  $A_{iso}$  时,需要确定该区域属于陆地  $A_{Cont}$ ,还是海域  $A_{Sea}$ ,然后才可将这些孤立区域划分为内陆孤立区域  $A_{iso-Cont}$ ,外海孤立区域  $A_{iso-Sea}$ ,以及沿海岸线孤立区域  $A_{iso-Coast}$ 。设定区域距离阈值  $T_{D_1}, T_{D_2}$  则孤立区域  $A_{iso}$  划分如下:

$$A_{iso} \in \begin{cases} A_{iso-Cont} & \text{if } D(A_{iso}, A_{main-Sea}) > T_{D_1} \\ A_{iso-Sea} & \text{if } D(A_{iso}, A_{main-Cont}) > T_{D_2} \\ A_{iso-Coast} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

事实上,对于内陆孤立区域和外海孤立区域,在确定其内陆或外海属性后,其陆地或海域属性也相应地确定了,然而对于沿海岸线的孤立区域  $A_{iso-Coast}$ ,则需要进一步确定其究竟是属于陆地还是海域。

这种判定可以根据孤立区域的面积结合一定的先验知识来确定。通过对遥感图象经验分析,一般可以认为面积在一定范围内的孤立区域属于海域,例如海湾等实际水域,而认为面积较小的点或区域以及面积较大的区域不属于海域,而是图象中的噪声、陆地中的水域以及暗淡的植被等。

## 2.3 连通孤立区域

在确定沿海岸线孤立区域  $A_{iso-Coast}$  的归属属性后,即确定其属于海域还是陆地。若海岸线附近陆地上的孤立区域属于海域  $A_{main-Sea}$ ,则需要将其与主体海域连通,以使其成为海域的一部分。

**定义 2 最小路径** 设区域  $A_1, A_2$  中的距离像

素点分别为  $P_{D_1}, P_{D_2}, c$  为连通模式,则最小路径定义为:

$$L_{min} = \{Pixels | \min(d(P_{D_1}, P_{D_2}), c)\} \quad (9)$$

式中,  $L_{min}$  表示构成最小路径像素的集合。

如何将属于海域的沿海岸线的孤立区域  $A_{iso-Coast}$  与主体海域  $A_{main-Sea}$  连通,可以通过它们之间的最小路径海域化来实现,即通过对  $L_{min}$  进行腐蚀运算来实现。

## 2.4 去除孤立区域

在进行完以上处理后,孤立区域中的海域部分已经与海域连通为一体,剩下的处理就是去除其余的孤立区域。对于二值图象  $I$  中孤立区域  $A_{iso}$ ,设  $s(\cdot)$  为同一灰度值连通区域面积算子,则有

$$I = \begin{cases} O(A_{iso}) & \text{if } A_{iso} = 1 \text{ and } s(A_{iso}) < T_{Open}^{(s)} \\ C(A_{iso}) & \text{if } A_{iso} = 0 \text{ and } s(A_{iso}) < T_{Close}^{(s)} \end{cases} \quad (10)$$

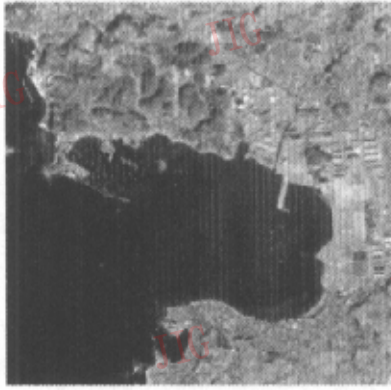
其中,  $T_{Open}^{(s)}$  和  $T_{Close}^{(s)}$  分别为形态开和形态闭运算的面积阈值。

经过以上处理后,光学遥感图象中的海岸线特征即可以被准确地提取出来。

## 3 实验及结果分析

为了验证本文的海岸线提取方法的效果,选择某海岸地带遥感数据进行了实验。这里取  $A_{iso-Sea}$  的区域距离阈值  $T_{D_2}$  为 2,区域距离和最小路径的连通模式  $c$  均为 4,对  $A_{iso}$  进行形态开和形态闭处理的面积阈值  $T_{Open}^{(s)}$  和  $T_{Close}^{(s)}$  分别为 16 和 50 000。实验结果如图 1 所示,图 1(a) 为原图象,图 1(b) 为使用式(1)、(2)对原图象进行阈值分割的结果。图 1(c) 显示了传统阈值方法使用形态开和形态闭算子处理提取的海岸线,该方法将 3 个孤立水域区域(见图 1(b)和图 1(c)中的 A 和 B 区域)错分为陆地,而用本文方法提取的海岸线,则将上述 3 个水域区域正确划分为海域,见图 1(d)中的 A 和 B 区域。

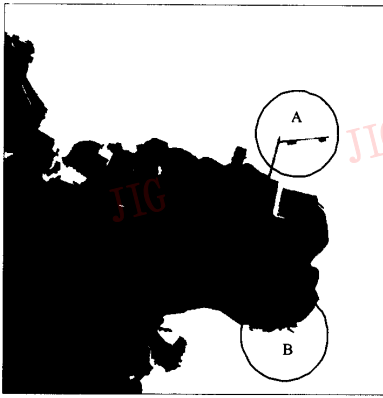
图 1(e)~图 1(g) 分别为图 1(b)、图 1(c)、图 1(d)中区域 A 的放大图,图 1(h)~图 1(j) 则分别为图 1(b)、图 1(c)、图 1(d)中区域 B 的放大图,从这些放大的图象可以清晰地看出两种方法处理结果的差别。实验结果证明,本文提出的方法可以有效地区分沿海岸线容易引起误分割的图象区域。



(a) 原图象



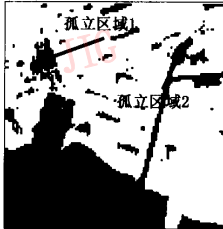
(b) 使用灰度阈值分割后的二值图象



(c) 直接使用形态开和形态闭算子处理获得的海岸线特征



(d) 使用本文方法处理获得的海岸线特征



(e) 图 1(b)A 区域的放大图象



(f) 图 1(c)A 区域的放大图象



(g) 图 1(d)A 区域的放大图象



(h) 图 1(b)B 区域的放大图象



(i) 图 1(c)B 区域的放大图象



(j) 图 1(d)B 区域的放大图象

图 1 本文方法与传统阈值分割方法处理的实验结果比较

## 4 结论

本文讨论了一种用于提取光学遥感图象海岸线特征的基于多阈值的形态学分割方法。尽管传统的灰度阈值方法是一种简洁有效的图象分割方法,然而对于海岸区域有物体的阴影和散射特性很弱的植被存在时,或者有很暗的建筑物时,用灰度阈值法提取的海岸线将存在较大的误差。本文方法则根据区域距离和最小路径的定义,并运用形态学算子和多阈值来处理沿海岸线的孤立区域,从而准确地确定了这些孤立区域的属性。实验结果表明,该方法较传统阈值方法具有更好的海岸线特征提取效果。

由于 SAR 图象能够很好地解决物体阴影等光谱特性较弱目标成像的问题,因此利用多源数据融合方法可以充分利用各数据源的优点来显著地改善遥感图象海岸线特征的提取效果,以便更好地开展海洋监测、海事救援、海洋污染监控等应用。

**致谢** 这项工作是在中科院遥感应用研究所开放实验室雷达组的刘智副教授、高鑫博士后、张红讲师等的帮助下完成的,作者在此向他们表示感谢。

### 参考文献

- Arvelyna Y, Oshima M, Kristijono A *et al.* Auto segmentation of oil slick in Radarsat SAR image data around rupt island[EB/OL]. <http://www.crisp.nus.edu.sg/~acrs201/pdf/231Arve.pdf>
- Otsu N A threshold selection method from gray-level histograms [J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 1979, 9(1):62~66.
- Perez A, Gonzalez R C. An iterative thresholding algorithm for image segmentation [J]. *IEEE Pattern Analysis Machine Intelligence*, 1987, 9(7):742~751.
- Nakagawa Y, Rosenfeld A. Some experiments on variable thresholding[J]. *Pattern Recognition*, 1979, 11(2):191~204.
- Sahoo P K Soltani, Wong S A K C, Chen Y C. A survey of thresholding techniques [J]. *Computer Vision Graphics Image Processing*, 1988, 41:233~260.
- Wang S, Haralick R M. Automatic multithreshold selection[J]. *Computer Vision Graphics Image Processing*, 1984, 25:46~67.

- Kohler R. A segmentation system based on thresholding [J]. *Computer Vision Graphics Image Processing*, 1981, 15:319~338.
- Kapur J N, Sahoo P K, Wong A K C. A new method for gray level picture thresholding using the entropy of histogram [J]. *Computer Vision Graphics Image Processing*, 1985, 29:273~285.
- 王培珍, 杜培明. 一种用于多阈值图象自动分割的混合遗传算法 [J]. *中国图象图形学报*, 2000, 5A(1):44~47.
- 金立左, 夏良正, 杨世周. 图象分割的自适应模糊阈值法 [J]. *中国图象图形学报*, 2000, 5A(5):390~395.
- 付忠良. 图象阈值选取方法的构造 [J]. *中国图象图形学报*, 2000, 5A(6):466~469.
- 郑宏, 潘勋. 基于遗传算法的图象阈值的自动选取 [J]. *中国图象图形学报*, 2000, 5A(4):327~330.
- Pesaresi M, Benediktsson J A. A new approach for the morphological segmentation of high-resolution satellite imagery [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2001, 39(2):309~320.
- 蒋刚毅, 郑义, 郁梅等. 关于彩色图象处理的形态学算子研究 [J]. *中国图象图形学报*, 2000, 5A(4):293~299.



**瞿继双** 1974年生,1996,1999年分别在国防科学技术大学自动控制系统获取学士学位和硕士学位,现为国防科大机电工程与自动化学院与中国科学院遥感应用研究所联合培养博士生。主要感兴趣方向为遥感图象处理、数据融合处理、神经网络等。



**王超** 1963年生,1989年获南京大学理学博士,现为中国科学院遥感应用研究所研究员、博士生导师。主要研究领域为微波遥感、InSAR 测量技术等。

**王正志** 1945年生,1984年获美国 Rice 大学博士学位,现为国防科学技术大学机电工程与自动化学院教授、博士生导师。研究领域包括遥感信息处理、控制,自适应控制,模式识别及机器学习等。