

中图法分类号: TP753 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2010)10-1555-06

索引信息: 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

数学形态法在超宽带 SAR 道路边缘检测中的应用

卫 蒙, 常文革

(国防科技大学 电子科学与工程学院, 长沙 410073)

摘 要: 超宽带 SAR 由于杂波模型多样化, 当使用传统的基于单一杂波统计模型进行边缘检测时容易造成虚警高, 定位精度差, 边缘不连续, 处理时间长等问题。基于数学形态学思想, 提出了一种多方向多尺度结构元素的二值形态学边缘检测算法, 先对原始图像进行二值化处理, 再运用多方向多尺度结构元素进行循环闭-开形态运算得到多个方向结果图, 最后将各方向结果图进行融合得到最终的图像边缘。与传统边缘检测算法的对比实验表明, 本文提出的算法由于采用了多尺度结构元素并且结合了图像的灰度信息, 图像边缘检测虚警低, 定位精确, 耗时短, 边缘更连续。

关键词: 超宽带 SAR; 边缘检测; 数学形态学; 多结构元素

The application of morphology to the edge detection of road from UWB SAR images

WEI Meng, CHANG Wenge

(School of Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073)

Abstract: Due to the multifomity of the clutter statistic property in UWB SAR image, there are much false lines, discontinuity of road edge and big computation load when using traditional method based on one clutter statistical property, like ROA, to detect road edge from UWB SAR image. In this article, a novel method based on morphology is proposed which not only uses multidirectional and multiscale structures, but also utilizes original gray image information. First, the original image is transformed to binary image. Second, circular close-open operation is processed with the structures mentioned above to get consequential images. Finally with the original gray image information, the consequential images are fused to obtain the final results. Experiments show that the presented method, compared with the traditional edge detecting methods, can get fewer false lines, more accurate localization, better continuity and smaller computational load.

Keywords: UWB SAR images; edge detection; morphology; multi-structure

0 引 言

超宽带 SAR 是 20 世纪 90 年代初发展起来的一种新体制雷达, 与高波段 SAR 相比, 它的优点是广域成像能力和强穿透性, 可探测隐蔽在树林中或地表下的军事目标。在超宽带 SAR 图像处理中, 道

路边缘检测结果不仅可用于多传感器图像配准、绘图学应用, 还可用于隐蔽目标的定位与识别等。目前对高频 SAR 图像中的道路检测已有很多方法^[1-6], 其中效果较好的检测方法大都基于局部统计特征, 此类方法的前提是假设 SAR 图像杂波属同一分布^[6]。然而, 与常规高波段 SAR 相比, 超宽带 SAR 目标特性的复杂性主要表现在: 1) 超宽带 SAR

收稿日期: 2009-05-05; 改回日期: 2009-11-04

第一作者简介: 卫 蒙(1985—), 男, 2007 年于国防科技大学攻读信息与通信工程专业硕士学位。主要从事 UWB SAR 图像处理方面的研究。E-mail: weimeng1120@yahoo.com.cn。

工作在低频段,雷达回波特征主要反映了目标散射体的总体轮廓,而缺乏部分精细结构信息。这在对道路进行边缘检测时会降低道路边缘的定位精度;2) 对于超宽带 SAR,叶簇对电磁波的反射很弱,粗大的树干对电磁波的反射很强,在图像上形成很多亮点,进行目标检测时产生较大虚警。同时雷达电磁波在穿透叶簇时,雷达信号的幅度和相位发生畸变,降低了图像的聚焦精度和分辨力也给目标检测带来不利影响;3) 超宽带 SAR 在不同的植被覆盖环境下工作时,杂波的统计特性是变化的。所以传统的基于局部统计特征的道路边缘检测方法是太适合的。

综上所述,传统的高频 SAR 道路边缘检测算法是不适合超宽带 SAR 图像的。数学形态学是一门新兴的图像分析工具,其在图像分析与处理的诸多领域都取得了非常成功的应用。它的基本思想是用具有一定形态的结构元素去度量和提取图像中的对应形状,以达到对图像分析和识别的目的。本文提出了一种多方向多尺度结构元素的形态学边缘检测算子,通过运用不同结构元素的逻辑组合,使结构元素覆盖了原图中几乎所有线条走向,从而可以检测出具有不同方向特性的边缘。在对各方向图进行融合时结合原图的灰度信息使得边缘定位更精确。实验结果表明,本文所提方法有很强的抗噪性能,能有效检测超宽带 SAR 图像的道路边缘。

1 数学形态学基本理论

数学形态学最早是以二值图像为研究对象,称为二值形态学, Sternber^[7] 和 Serra^[8] 把二值形态学推广到灰度图像处理,称为灰度形态学。基于形态学的图像边缘检测的关键是如何利用形态学各种基本运算组合构造出形态学边缘检测算子以及如何选取结构元素来较好地解决边缘检测精度与抗噪声性能的协调问题。

下面介绍几种基本二值形态学运算。设 A 为二值图像, B 为结构元素, $-B$ 为将 B 相对原点旋转 180° 得到的图像, x 为图像平移距离。

$$\text{腐蚀算子 } A \ominus B = \{x: B+x \subset A\} \quad (1)$$

$$\text{膨胀算子 } A \oplus B = \{x: (-B+x) \cap A \neq \emptyset\} \quad (2)$$

$$\text{开运算 } A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (3)$$

$$\text{闭运算 } A \cdot B = [A \oplus (-B)] \ominus (-B) \quad (4)$$

基于以上几种基本形态学变换,产生了以下灰度形态学边缘检测算子(设 $E(A)$ 为图像边缘)^[9]。

$$\text{膨胀型 } Ed(A) = (A \oplus B) - B \quad (5)$$

$$\text{腐蚀型 } Ee(A) = A - (A \ominus B) \quad (6)$$

$$\text{膨胀腐蚀性 } E(A) = (A \oplus B) - (A \ominus B) \quad (7)$$

抗噪膨胀腐蚀性

$$E(A) = (A \cdot B) \oplus B - (A^\circ B) \ominus B \quad (8)$$

式(5)~(7)所表示的形态学边缘提取算子实际上是一种非线性差分算子,检测后仍有噪声存在。式(8)是由杨述斌等人^[10]提出的一种改进形态学边缘检测算子,但由于采用单一结构元素,不能较好地兼顾抗噪性与细节边缘的保持,且只能检测出与结构元素同方向的边缘,因此效果也不理想。

2 多结构元素形态学边缘检测

利用数学形态学进行图像分析的基本步骤一般如下^[11]:

- 1) 提出所要描述的物体的几何结构模型,即提取物体的几何结构特征。
- 2) 根据这种模型选择相应的结构元素,结构元素应该简单并对模型有良好的表征性。
- 3) 用选定的结构元素对图像进行形态变换,得到比原图像更突显特征信息的图像。
- 4) 用经过形态变换的图像提取所需要的图像信息。

基于上述思想,刘清,林土胜等人^[9]提出了一种基于多方向结构元素的灰度形态学的边缘检测。该算法先对原灰度图像用两个大小不同的近似圆形结构元素分别进行灰度闭-开平滑和开-闭平滑以滤除图像中的点噪声,然后利用图 1 中的 8 个不同方向的结构元素分别提取图像的边缘,最后对各边缘图进行加权融合以得到最终的边缘图。图 2 是采用该算法对超宽带图像进行边缘检测的效果图。

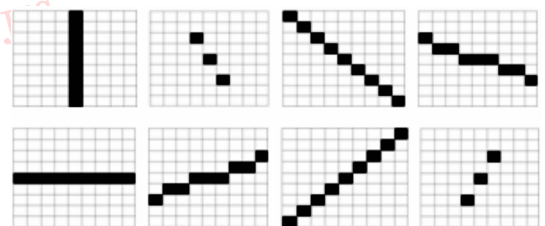


图 1 多方向结构元素图

Fig. 1 Multidirectional structure

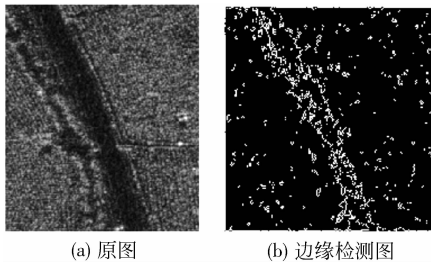


图 2 传统多方向性边缘检测算法边缘检测效果图
Fig.2 Edge detecting result using conventional method based on multidirectional structure

通过图 2 可以发现:传统多方向结构元素的灰度形态学算法存在以下问题:1) 因为直接处理的对象为灰度图像,其像素值动态范围较大,导致通过交替开-闭运算滤除脉冲噪声的效果较差;2) 因为采取单一尺度的方向结构元素和简单的膨胀-腐蚀型边缘检测方法,导致该算法抗噪性与细节边缘保持性均不佳,从而在边缘检测图中存在许多的虚警线段且边缘定位精度较差。针对上述问题,本文提出一种基于多方向多尺度结构元素的二值形态学边缘检测算法,其流程如图 3 所示。

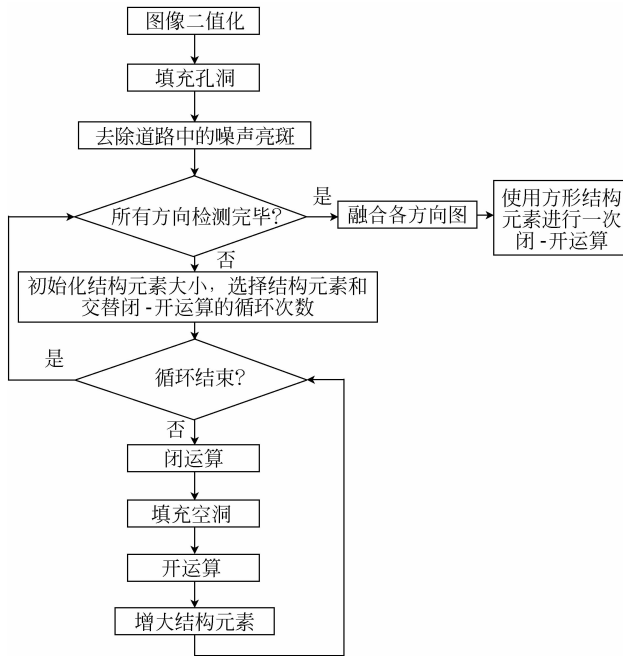


图 3 多方向多尺度结构元素的边缘检测流程图
Fig.3 Flow chart of edge detection using multidirection and multiscale structure

在该方法中,首先对图像进行二值化处理,这样一方面压缩了图像的灰度范围,使用交替闭-开运

算时可以有效去除噪声。一方面增大了道路与背景的分度程度(类似于灰度图像的对比度增强),提高了边缘的定位精度;其次用每一方向的结构元素对上述二值图像进行交替闭-开运算,得到图像在每一方向结构元素下的结果图。本方法采取在每个方向下使用多个尺度的结构元素对二值图像进行多次闭-填充空洞-开运算,由于使用了多尺度结构元素和填充空洞操作,使得背景区域更加“统一”;最后结合原图的灰度信息对各方向结果图进行融合得到最终的道路边界。

2.1 图像预处理

图像的预处理包括:图像二值化、填充空洞操作和去除道路间噪声亮斑。

设 I 为一大小为 $M \times N$ 、灰度级为 L 的灰度图像,则图像 I 的二值化过程可描述为

$$b(m, n) = \begin{cases} 1 & I(m, n) \geq T \\ 0 & I(m, n) < T \end{cases} \quad (9)$$

式中, $T = (L - 1) \times a$ 。通过大量实验发现:当检测暗边缘的道路时, $a = 0.9$ 效果较好;当检测亮边缘的道路时, $a = 0.2$ 效果较好。在得到二值图像后,一方面,为了减少虚警线段的数量,需尽可能地去除道路中间的亮斑(这里将这种亮斑称为噪声亮斑);另一方面,在去除这些噪声亮斑的时候很可能会将道路边缘的亮斑当成噪声亮斑去除。为获得较好的去道路间噪声亮斑效果,通过观察发现,道路间的噪声亮斑幅度一般较小,而边缘亮斑和杂波背景区域亮斑幅度均较大,因此可以通过下式去除道路间的亮斑:

$$x = \begin{cases} 1 & \text{其他} \\ 0 & \max(I(x)) < t \text{ 且 } s(x) < p \end{cases} \quad (10)$$

式中, x 是二值图像中的某一连通区域, $\max(I(x))$ 是该连通域对应在原灰度图像区域的灰度最大值, $s(x)$ 是该连通域的面积。通过上式可较有效地去除道路中的噪声亮斑。图 4 是图像进行预处理的结果图。

2.2 边缘检测

传统的基于多方向结构元素的形态学边缘检测方法选用的是单一尺度的结构元素,结构元素尺度的选择对最终的检测结果有较大的影响:大尺寸的结构元素能滤除大尺寸的噪声点,但是会损失更多的图像细节;反之,小尺寸的结构元素能较好地保护图像的细节,但对尺寸较大的噪声的抑制能力相对较弱。因此,传统方法很难达到好的边缘检测效果。鉴于此,提出在多方向的基础上利用尺度依次递增的结构元素,对图像进行迭代的开-填充孔

洞-闭运算操作。这样既能在小尺度下检测出细节边缘,又能在大尺度下滤除噪声。图 5 是分别用多尺度结构元素和单一尺度结构元素对图像进行 -67.5° 方向形态学检测的结果对比图。

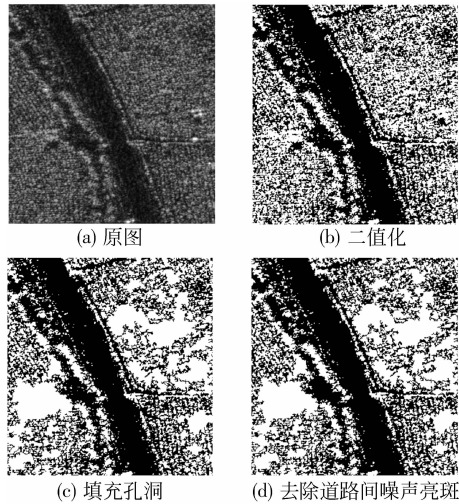


图 4 图像预处理结果图
Fig. 4 Results of image pre-processing

结果图进行迭代闭-填充孔洞-开运算得到的多个方向的结果图。

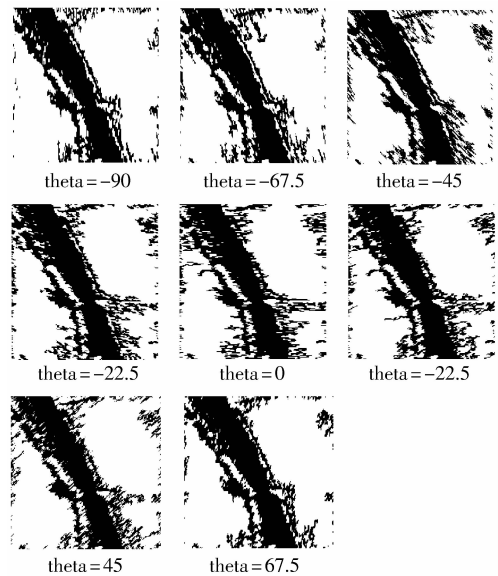


图 6 各方向边缘检测结果图
Fig. 6 Edge detection results in different direction

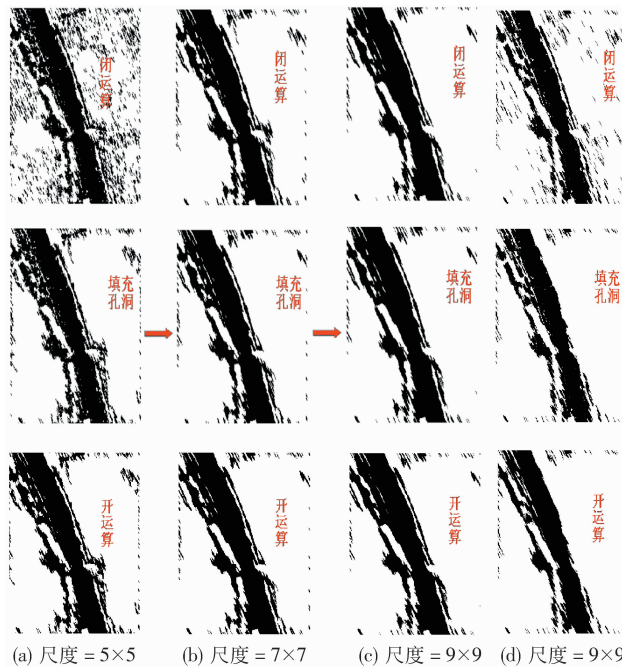


图 5 多尺度结构元素与单尺度结构元素检测效果对比图
Fig. 5 Comparison of edge detecting results using multiscale structures and single structure separately

从图 5 可以清晰地发现多尺度结构元素在保持图像边缘特征上更有效。图 6 是在不同方向下,利用大小依次为 2 4 6 的多尺度结构元素对预处理后

2.3 融合各方向图

在得各方向图后需进行图像融合,以获取最终的道路边缘图。从方向图结果可以发现,由于模板与真实道路方向失配导致失配方向的边缘图会出现边缘“粘连”现象,如果直接将方向图取“与”运算则会出现边缘误检、漏检现象。为此,我们先对每一个方向边缘图进行如下处理以去“边缘粘连”,最后再把处理结果取“与”运算以得到最终的边缘图:

首先,因为须检测的边缘为亮边缘,因此根据像素点的某一方向邻域(与该方向图的方向一致)计算该点的幅度均值。如果大于阈值 T_1 保留该点,否则认为该点为非边缘点,舍去;其次,依据偏离系数(在 UWB SAR 图像中非均匀区域的偏离系数较大,均匀区域偏离系数较小)去除边缘区域的外围边缘点,以分离粘连部分的虚假边缘;然后进行开-腐蚀-闭形态学运算(结构元素方向与该方向图一致),去除已分离的粘连部分的边缘;最后,根据连通域内像素幅度均值去除值小于阈值 T_1 的连通域。通过上述处理基本上可以消除边缘“粘连”现象。图 7 是各方向图去“边缘粘连”的结果图以及融合后的最终边缘图。

2.4 后期处理

为了方便后续的道路网的提取,需尽可能地去掉一些宽度不满足要求的细小边缘。基于此目的,

提出对融合后的图再一次闭-填充空洞-开运算。这里的结构元素选为方形结构,大小与要检测的最窄道路宽度一致。进行完上述操作后,我们最终对结果图进行“掏空”处理就得到图 8 所示的最终的道路边缘图。

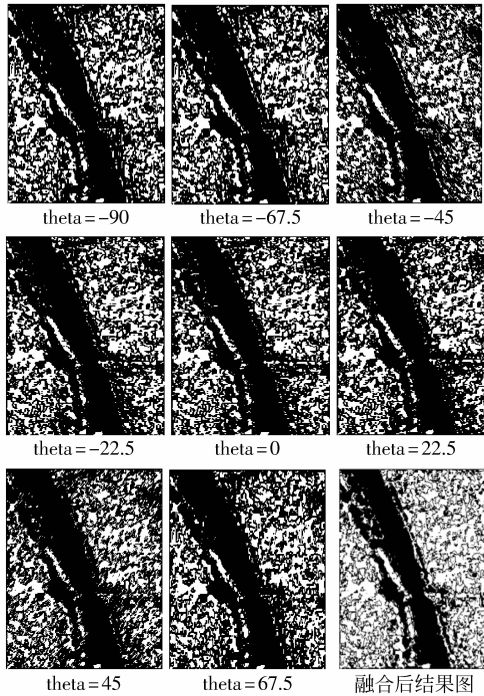


图 7 融合后结果图
Fig. 7 Results of direction-image fusing

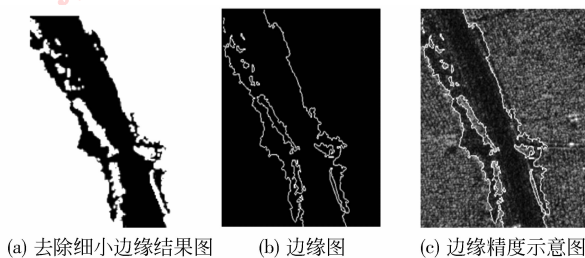


图 8 后期处理结果图
Fig. 8 Results of post-processing

3 实验结果与分析

实验是在 Matlab7.1 环境下完成的。实验用图采用真实的超宽带 SAR 灰度图像。算法参数值设置为 $a=0.2, t=55, p=10, T_1=40$, 边缘检测时的结构元素起始尺度为 2×2 , 每个方向的循环闭-开运算的次数为 2。几种算法的检测结果如图 9 所示。

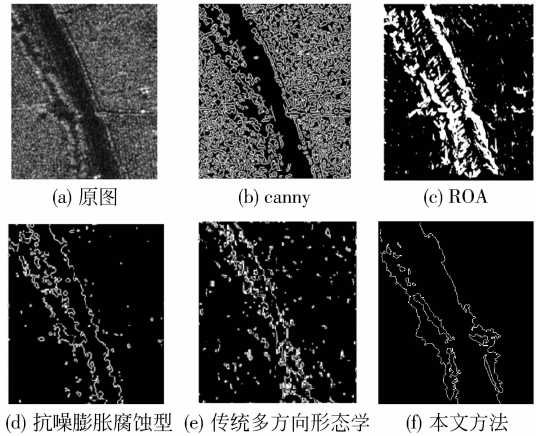


图 9 超宽带 SAR 图像及其边缘检测结果对比图
Fig. 9 Comparison of edge detection results using different methods

从图 9 (b) 可以看出,由于 SAR 图像乘性噪声而非加性噪声的原因,传统光学算子检测效果比较差;从图 9 (c) 可以看出,基于统计的边缘检测算法^[6]由于杂波建模不精确的原因,其检测出来的边缘不连续且边定位不精确;而图 9 (d)(e) 所示的传统数学形态法方法^[4]虽然简单,但由于采用固定尺度结构元素且没有充分利用原图的灰度信息导致算法的抗噪性与边缘精度效果不佳,检测结果也不理想。从图 9 (f) 可以很清楚地看到,本文方法由于采用了多尺度结构元素并且结合了图像的灰度信息,具有较强的抗噪性且检测出的边缘连续性、定位精度均较佳。

在处理时间上,形态学方法整体上要优于基于统计特征算法。图 10 显示了基于统计的边缘检测

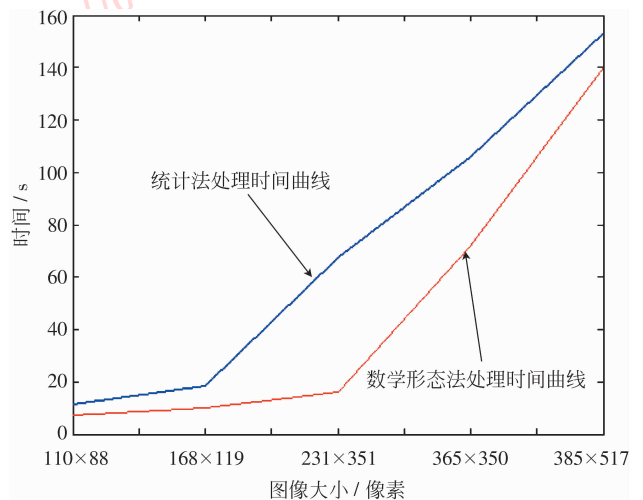


图 10 基于统计特征算法与本文算法处理时间曲线图
Fig. 10 Comparison of calculating time between methods based on statistic and presented in this article

算法与本文提出的形态学边缘检测算法的处理时间曲线图,之所以曲线会越来越接近,是因为在进行基于统计边缘检测时,虽然图像越来越大但始终用的是同一大小窗口,这样虽然处理时间与形态学越来越接近,但边缘检测效果会越来越差。

4 结 论

超宽带 SAR 图像因为具有杂波非均匀性,所以传统的基于局部统计特征的高频 SAR 边缘检测算法和光学图像检测算法均无法获得良好的边缘检测效果,而传统的基于数学形态法的边缘检测虽然简单,但由于采用固定尺度结构元素且没有充分利用原图信息导致算法的抗噪性和边缘精度不佳,检测结果不理想。鉴于此,提出了一种基于多方向多尺度结构元素的二值形态学边缘检测算法,它利用了大小依次递增的多尺度结构元素对图像进行迭代形态学闭-填充孔洞-开处理,在方向图的融合时既考虑了超宽带 SAR 图像特征又结合了原图的灰度信息。实验结果证明该算法是可行和有效的。与其他算法相比,本文算法具有较强的抗噪性,检测出的边缘更完整,连续性更好,定位精度更高。

参考文献 (References)

- [1] Oliver C J. Simultaneous mean and texture edge detection in SAR clutter [J]. IEE Proceedings of Radar Sonar Navig, 1996, 143(6) : 391-340.
- [2] Oliver C J, Blacknell D, White R G. Optimum edge detection in SAR [J]. IEE Proceedings of Radar Sonar Navig, 1996, 143(1) : 31-40.
- [3] Hellwich O, Meyer H. Extracting line feature from synthetic aperture radar using a Markov random field mode [J]. Proceedings of 3rd IEEE International Conference on Image Processing, 1996, 3(3) : 883-887.
- [4] Fjortoft R, Lopes A, Bruniquel J, et al. Optimal edged etection and edge localization in complex SAR images with correlated speckle [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1999, 37(5) : 2272-2281.
- [5] Tupin Florence, Maitre H, Margin J F, et al. Detection of linear features in SAR images: application to road network extraction [J]. IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, 1998, 36(2) : 434-453.
- [6] Li Sudan, Zhang Cui. A study of road network detection method for SAR images [J]. Journal of Astronautics, 2002, 23(1) : 17-24. [郇苏丹, 张翠. SAR 图像中道路检测算法研究 [J]. 宇航学报, 2002, 23(1) : 17-24.]
- [7] Sternberg S R. Grayscale morphology computer vision [J]. Graphics and Image Processing, 1986, 35(3) : 333-355.
- [8] Serra J. Image Analysis and Mathematical Morphology [M]. New York: Academic Press, 1982.
- [9] Liu Qing, Lin Tusheng. Image edge detection algorithm based on mathematical morphology [J]. Journal of South China University, 2008, 36(9) : 113-116. [刘清, 林土胜. 基于数学形态学的图像边缘检测算法 [J]. 华南理工大学学报, 2008, 36(9) : 113-116.]
- [10] Yang Shubin, Peng Fuyuan. Application of morphological edge detectors in image corrupted by noise [J]. Computer Engineer and Applications, 2002, 38(17) : 91-92. [杨述斌, 彭复员. 噪声污染图像中的广义形态边缘检测器 [J]. 计算机工程与应用, 2002, 38(17) : 91-92.]
- [11] Cai Zhengtao. Edge detection algorithm based on mathematical morphology using double-structure element [D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2003. [蔡正涛. 基于双结构元的数学形态学边缘检测方法 [D]. 西安:西北工业大学, 2003.]