

# 复杂场景下的 SAR 图像水域边缘特征提取

吴 戌<sup>a</sup>, 叶 伟<sup>b</sup>

(装备学院 a. 研究生管理大队; b. 信息装备系, 北京 101416)

**摘要:** 合成孔径雷达(SAR)图像中的水域具有极高的遥感应用及地理应用价值;针对 SAR 图像固有的相干斑以及复杂场景下 SAR 图像水域边缘检测算法受到建筑物等人造地物强散射点干扰造成虚假边缘的问题,提出了复杂场景下 SAR 图像水域边缘特征提取方法;该方法通过构建 SAR 图像的二维灰度直方图对 SAR 图像进行预处理,一定程度抑制了相干斑噪声对边缘检测的影响,并在分析 SAR 图像中建筑物等人造地物与水域散射特性差异基础上利用二维灰度直方图对 SAR 图像进行分割,抑制强散射点;通过实验验证,该方法有效抑制了相干斑以及建筑物等人造地物强散射点的干扰,实现了复杂场景下的 SAR 图像水域边缘特征自动提取。

**关键词:** 合成孔径雷达(SAR)图像;二维灰度直方图;图像分割;相干斑抑制;边缘检测;ROEWA 算子

**本文引用格式:** 吴戌,叶伟. 复杂场景下的 SAR 图像水域边缘特征提取[J]. 兵器装备工程学报,2017(8):136-139.

**Citation format:** WU Xu, YE Wei. Water Area Edge Extraction of SAR Images in Complex Scene[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2017(8):136-139.

中图分类号:TN957.52

文献标识码:A

文章编号:2096-2304(2017)08-0136-04

## Water Area Edge Extraction of SAR Images in Complex Scene

WU Xu<sup>a</sup>, YE Wei<sup>b</sup>

(a. Department of Graduate Management; b. Department of Information Equipment, Academy of Equipment, Beijing 101416, China)

**Abstract:** The water area of synthetic aperture radar (SAR) images have very high remote sensing and geographical application value. Aiming at the speckle and strong scattering in SAR images, the edge feature extraction method of the SAR image in the complex scene is proposed. This method prepares the SAR image by constructing a two-dimensional histogram of the SAR image, which suppresses the influence of the speckle noise. Based on the different scattering characteristics between the man-made objects and the water area in the SAR image, strong scattering points are suppressed. The results show that the method can effectively reduce the interference of the strong scattering points and the speckle of man-made objects such as buildings.

**Key words:** synthetic aperture radar(SAR) image; 2-D gray histogram; image segmentation; despeckling; edge detection; ROEWA operator

SAR(synthetic aperture radar)图像中的水域目标在军事和民用上具有重要的意义,多应用于目标识别、船舶导航、地图更新、灾害检测等,而水域边缘的检测是实现这些应用的基础<sup>[1]</sup>。

SAR 不同于光学卫星,在成像时为侧视,水域表面平整,发生镜面反射的回波强度较弱,因此在高分辨率 SAR 图像

中,水域呈现暗区域。然而在对水域边缘提取的过程中,由于 SAR 图像固有的相干斑噪声,造成水域边缘模糊;并且 SAR 图像覆盖范围较大,场景较为复杂,除水域外还有建筑等其他地物。而建筑物等人造地物对雷达入射波形成强反射,造成亮白色干扰,产生虚假边缘。目前,在针对 SAR 图像水域边缘特征提取算法研究中,存在应用场景相对简单,

收稿日期:2017-03-11;修回日期:2017-04-10

作者简介:吴戌(1992—),男,硕士研究生,主要从事雷达图像处理研究。

通讯作者:叶伟(1969—),男,博士,教授,主要从事空间信息处理研究。

边缘检测算法适用范围较小的缺陷。

本文针对上述问题,通过构建待检测 SAR 图像的二维灰度直方图,对相干斑噪声以及建筑物等强散射点分割并抑制,采用由 Fjortoft 等人提出的符合 SAR 图像多边缘模型的指数加权均值比率(Ratio of Exponentially Weighted Averages, ROEWA)算子来进行边缘检测,采用数学形态学对边缘做进一步处理得到结果。

## 1 构建二维灰度直方图对 SAR 图像预处理

在一幅场景较为复杂的 SAR 图像中,除去水域外还有建筑物等其他人造地物,因此直接应用边缘检测算子还需要人为判断检测结果是水域或建筑物的边缘,这样不利于边缘检测的自动化。因此,根据 SAR 图像中不同地物散射特性的不同而导致的灰度值不同,并且考虑到 SAR 图像受到相干斑噪声的影响,本文通过构建二维灰度直方图对 SAR 图像进行预处理,达到抑制相干斑及建筑边缘的目的,避免了边缘检测中的虚警。

在高分辨率 SAR 图像中,建筑物等人造地物主要表现为亮线和亮点的集合<sup>[2]</sup>。由于人造地物具有表面结构复杂,材质特殊,易形成角反射或二次散射等特点,因此建筑物等人造地物在图像上的灰度要明显高于其他地区。而 SAR 图像中的水域由于表面平整,镜面反射回波较弱,在图像中表现为暗区域。因此可以通过阈值分割的方法对建筑物等人造地物目标和水域进行区分。

一维阈值分割是简单的分割方法。由于该方法只考虑像素自身灰度,没有利用像素与其邻域空间的相关性和统计信息,对于 SAR 图像的分割效果并不理想。

本文构建 SAR 图像的二维灰度直方图对建筑物、水域及噪声进行区分。该方法以像素灰度和邻域均值表示二维直方图,同时考虑像素自身灰度信息与像素的邻域空间灰度信息,抗噪性有了很大增强。

设一幅灰度级为  $L$  的图像,在像素点  $(x_0, y_0)$  处的灰度值为  $f(x_0, y_0)$ , 该点周围  $N \times N$  邻域空间的平均灰度值为  $g(x_0, y_0)$ 。设满足  $f=i$  和  $g=j$  的像素个数为  $h(i, j)$ , 构建二维直方图图像  $H(f, g)$ <sup>[3]</sup>。

如图 1 所示,对角线上的两个区域 I 和 II 分别对应于背景和目标,远离对角线的区域 III 和 IV 对应于边缘和噪声。

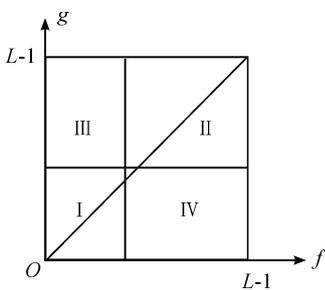


图 1 二维灰度直方图

图 2 为待处理的高分辨率 SAR 图像,可以看出,除去水域外,还有许多建筑物等人造地物亮白色强散射点,这些区域在边缘检测中具有较大的边缘强度,造成虚警。



图 2 待处理高分辨率 SAR 图像

本文以  $5 \times 5$  窗口作为像素的邻域计算该幅 SAR 图像每个像素邻域的均值构建二维灰度直方图,如图 3 所示。可以看出,直方图的亮点几乎都分布在对角线附近的一个条带内,根据直方图的定义条带外的点为边缘像素点和噪声像素点。

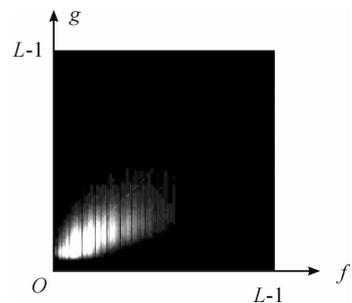


图 3 构建二维灰度直方图

首先确定条带的宽度  $c$ , 参见图 4 直方图对角线附近区域, 对应像素点的噪声或边缘不明显, 对后续边缘检测处理影响不大; 而越远离直方图对角线的点, 说明噪声越明显, 对后续处理影响越大。为了对噪声较好抑制, 条带宽度应尽量小, 但这样增大了运算量, 也损失了图像的信息。综合考虑, 本文以条带内的点数占总点数的 95% 为例, 求得条带宽度  $c$ 。

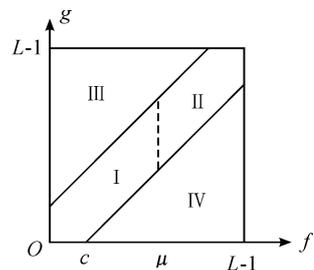


图 4 条带与垂直直线分割

为获得更好地分割及相干斑抑制效果, 对条带外的像素点作中值滤波处理<sup>[4]</sup>。中值滤波法是一种非线性平滑技术, 它用某一像素点周围邻域空间的所有像素灰度的中值来代

替该像素,在去除噪声的同时,可以保留图像的边缘信息。

在一维形式下,设输入序列为  $\{x_i, i \in I\}$ , 则中值滤波后输出为  $y_i = \text{Med}\{x_i\}$ 。在二维图像中,中值滤波器的窗口为方形,近似圆形或十字形。本文选取以条带外的点对应的原图像的像素点为中心  $5 \times 5$  的方形窗口为例,选取该窗口内的像素的中值,用这个中值来代替该像素点的灰度。

对条带外的点进行滤波后,该区域的点将会向对角线接近。随后在条带内选择一条垂直直线对图像进行分割,该直线横坐标  $\mu$  为整幅图像灰度的均值,将大于该阈值的像素视为建筑物等人工目标,并进行硬限幅处理,减少建筑等强散射点的强度以减小边缘强度,为后续处理做准备。图 5 是预处理后的 SAR 图像,有效抑制了建筑物等强散射点以及相干斑,保留了边缘信息。



图 5 预处理后的 SAR 图像

## 2 利用 ROEWA 算子对 SAR 图像边缘检测

SAR 图像不同于光学图像,受相干斑的影响严重。由于相干斑噪声的随机特性,基于单边缘的算子已经不再适用。虽然上文已经对待检测图像进行了相干斑的抑制,在一定程度上克服了相干斑造成的多边缘效应,但为了获得更好的效果,仍旧需要采用适合于 SAR 图像的多边缘检测算子。

由 Fjortoft 等人提出的 ROEWA 算子<sup>[5]</sup>,本质上是一种基于线性最小均方误差的指数平滑滤波器,使用这种滤波器计算出的均值不是算术均值,而是根据经过指数加权处理后的均值。该算子采用多边缘模型,并且具有恒虚警特性,因此适合于 SAR 图像的边缘检测。

一维情形下,该滤波器的表达式为

$$f(x) = C \exp\{-\alpha |x|\}$$

其中,  $C$  是归一化常数,  $\alpha$  是滤波系数。

在离散情况下,  $f(x)$  可以通过一个因果滤波器  $f_1(n)$  和一个非因果滤波器  $f_2(n)$  实现:

$$f_1(n) = a \cdot b^n u(n)$$

$$f_2(n) = a \cdot b^{-n} u(-n)$$

其中,  $0 < b = e^{-\alpha} < 1, a = 1 - b, u(n)$  为离散 Heaviside 函数。

因此,该滤波器在离散情况下通过下式实现:

$$f(n) = c \cdot b^{|n|} \equiv \frac{1}{1+b} f_1(n) + \frac{b}{1+b} f_2(n-1)$$

其中,  $c = (1-b)(1+b)$ 。

输入图像序列  $e(n)$  与滤波器  $f_1(n)$  与  $f_2(n)$  卷积  $s_1(n)$ 、

$s_2(n)$  可用如下的简单迭代表达式求得:

$$s_1(n) = a(e_1(n) - s_1(n-1)) + s_1(n-1), n = 1, \dots, N$$

$$s_2(n) = a(e_2(n) - s_2(n+1)) + s_2(n-1), n = N, \dots, 1$$

为计算点  $(x, y)$  在水平方向指数加权均值比  $r_{Xmax}(x, y)$ , 首先在垂直方向用  $f$  与图像  $I(x, y)$  卷积滤波,然后在水平方向分别用因果滤波器  $f_1(n)$  和非因果滤波器  $f_2(n)$  进行卷积滤波,并将结果代入上式:

$$\hat{\mu}_{X1}(x, y) = f_1(x) * (f(y) \cdot I(x, y))$$

$$\hat{\mu}_{X2}(x, y) = f_2(x) * (f(y) \cdot I(x, y))$$

$$r_{Xmax} = \max\left\{\frac{\hat{\mu}_{X1}}{\hat{\mu}_{X2}}, \frac{\hat{\mu}_{X2}}{\hat{\mu}_{X1}}\right\}$$

同理可得到  $r_{Ymax}(x, y)$ :

$$\hat{\mu}_{Y1}(x, y) = f_1(y) \cdot (f(x) * I(x, y))$$

$$\hat{\mu}_{Y2}(x, y) = f_2(y) \cdot (f(x) * I(x, y))$$

$$r_{Ymax} = \max\left\{\frac{\hat{\mu}_{Y1}}{\hat{\mu}_{Y2}}, \frac{\hat{\mu}_{Y2}}{\hat{\mu}_{Y1}}\right\}$$

则点  $(x, y)$  的边缘强度为

$$|r(x, y)| = \sqrt{r_{Xmax}^2(x, y) + r_{Ymax}^2(x, y)}$$

对进行预处理后的 SAR 图像进行 ROEWA 算子边缘检测,得到边缘强度图。在得到边缘强度图后,对边缘强度图进行二值分割如图 6 所示。

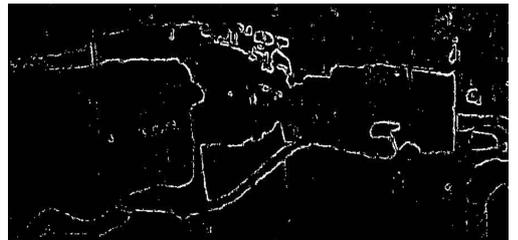


图 6 边缘检测结果

## 3 利用数学形态学增强边缘特征

在得到二值边缘后,边缘图像中有许多孤立亮点,并且边缘存在断裂以及特征不明显的情况,本文利用数学形态学运算来对边缘检测结果做进一步处理,去除孤立亮点,并增强水域边缘特征。

数学形态学在数字图像处理具有广泛应用。其利用具有一定形态的结构元素去度量或提取图像中的对应形状以实现图像中特定目标的识别或分析<sup>[6]</sup>。

数学形态学运算的基本运算为膨化和腐蚀,定义如下,其中  $E$  为待处理图像,  $B$  为结构元素:

$$\text{膨化: } E \oplus B = \{(x, y) : B(x, y) \cap E \neq \Phi\}$$

$$\text{腐蚀: } E \ominus B = \{(x, y) : B(x, y) \subset E\}$$

膨化即把结构元素  $B$  平移  $(x, y)$  后使  $B$  与  $E$  的交集非空的所有点构成的集合,而腐蚀即把结构元素  $B$  平移  $(x, y)$  后  $B$  包含于  $E$  的所有点构成的集合。通常结构元素选择元素为 1 的方阵:

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

本文利用 Matlab 提供的数学形态学族函数 bwmorph 对二值边缘图做数学形态学运算<sup>[7-8]</sup>。

$$BW2 = \text{bwmorph}(BW1, \text{operation}, n)$$

其中参数 operation 为对二值图像的形态学操作,包括 dilate 腐蚀运算,erode 膨化运算,clean 清除孤立亮点等,参数 n 为对其操作的次数。本文首先对二值边缘图像做腐蚀运算消除毛刺等,再清除孤立亮点,最后做膨化运算增强边缘特征。

经过数学形态学处理得到最终边缘检测结果如图 7 所示,没有进行预处理而直接进行边缘检测的结果如图 8。



图 7 数学形态学处理结果



图 8 直接边缘检测结果

方法,该方法有效解决了当 SAR 图像中同时存在水域、建筑等多种地物时水域边缘检测出现的虚警问题。该方法在 ROEWA 算子边缘检测前对 SAR 图像构建二维灰度直方图进行预处理,抑制建筑物等强散射点及相干斑噪声,扩大了边缘检测算法的适用场景。通过实验验证,与未进行预处理而直接进行边缘检测的结果相比,该方法可以有效抑制建筑物等边缘。

## 参考文献:

- [1] 侯彪,胡育辉,焦李成. SAR 图像水域的改进 Shearlet 边缘检测[J]. 中国图象图形学报,2010,15(10):1549-1554.
- [2] 王国军,张风丽,徐旭,等. 几何模型约束的 SAR 图像建筑物提取[J]. 红外与毫米波学报,2013,32(5):444-449.
- [3] 朱俊,王世喆,计科峰,等. 一种适用于 SAR 图像的二维 Otsu 改进算法[J]. 中国图象图形学报,2009,14(1):14-18.
- [4] 刘珩. SAR 图像去噪方法研究[D]. 苏州:苏州大学,2013.
- [5] FJORTOFT R, MARTON P, LOPES A, et al. Multiedge Detection in SAR Images[C]//IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. IEEE Computer Society,1997:2761.
- [6] 陈立福,文俊,肖红光,等. 一种融合 MRF 分割与数学形态学的道路提取算法[J]. 中国空间科学技术,2015,35(2):17-24.
- [7] 杨文海. 应用星载 SAR 辐射的定标算法[J]. 重庆理工大学学报(自然科学),2014(1):75-79.
- [8] 潘建平,邬明权. 基于数学形态学的道路提取[J]. 计算机工程与应用,2008,44(11):232-233.

## 4 结论

本文研究了复杂场景下的 SAR 图像水域边缘特征提取

(责任编辑 杨继森)