



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108805186 B

(45) 授权公告日 2020.11.17

(21) 申请号 201810530879.9

CN 107609577 A, 2018.01.19

(22) 申请日 2018.05.29

CN 107256547 A, 2017.10.17

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 101587189 A, 2009.11.25

申请公布号 CN 108805186 A

US 2016077195 A1, 2016.03.17

US 2015324989 A1, 2015.11.12

(43) 申请公布日 2018.11.13

李轩等. 基于似圆阴影的光学遥感图像油罐检测.《电子与信息学报》.2016, 第38卷(第6期), 第1489-1495页.

(73) 专利权人 北京师范大学

地址 100875 北京市海淀区新街口外大街19号北京师范大学

Song Tu.et..Fast and Accurate Target Detection Based on Multiscale Saliency and Active Contour Model for High-Resolution SAR Images.《IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING》.2016, 第54卷(第10期), 第5729-5744页.

(72) 发明人 张立保 王悦 王士一

审查员 葛晓倩

(51) Int.Cl.

G06K 9/62 (2006.01)

G06K 9/46 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 107895139 A, 2018.04.10

CN 104217196 A, 2014.12.17

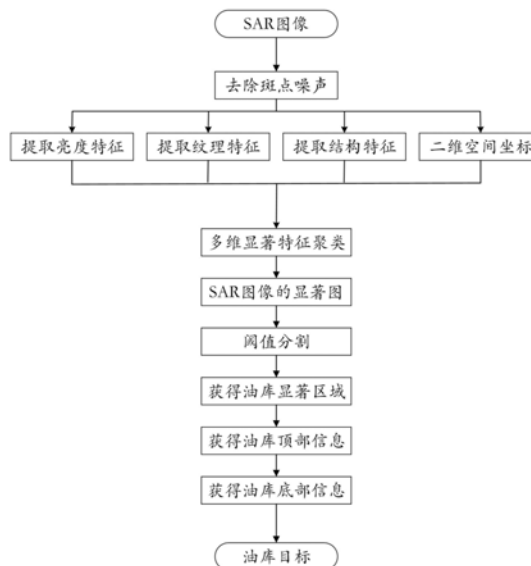
权利要求书1页 说明书7页 附图3页

## (54) 发明名称

一种基于多维显著特征聚类的SAR图像圆形油库检测方法

## (57) 摘要

本发明公开一种基于多维显著特征聚类的SAR图像圆形油库检测方法,属于遥感图像处理及图像识别技术领域。实施过程包括:1) 引入均值滤波器对整幅SAR图像进行具有边缘保持特性的低通滤波;2) 提取SAR图像中的亮度特征、纹理特征和结构特征,生成SAR图像的多维显著特征向量;3) 利用k-means聚类算法对多维显著特征向量进行聚类,计算簇的显著值,生成SAR图像显著图;4) 根据生成的显著图,利用主动轮廓模型获得油库顶部信息;5) 结合油库直径信息,精确获得油库的底部信息;与传统的方法相比,本发明实现了对SAR图像圆形油库的准确检测,对于港口建设、资源调查以及石油资源储量分析具有重要的意义。



1. 一种基于多维显著特征聚类的SAR图像圆形油库检测方法,本方法针对SAR图像中的圆形油库进行检测,首先,去除SAR图像中的斑点噪声;其次,提取SAR图像中的亮度特征、纹理特征与结构特征,并将这些特征与SAR图像中各像素的二维空间坐标联合,组成多维显著特征向量;再次,采用k-means聚类算法对上述多维显著特征向量进行聚类,计算SAR图像的显著图;然后,使用最大类间方差法分割SAR图像显著图,得到油库顶部的初始轮廓,同时使用主动轮廓模型优化油库顶部初始轮廓,得到油库顶部的精确轮廓并利用该轮廓计算油库顶部中心位置与油库半径;最后,结合油库半径信息,精确获得油库的底部信息,实现SAR图像中圆形油库的准确检测,其特征不在于,包括以下步骤:

步骤一:去除SAR图像中的斑点噪声并保持图像中油库目标的边缘锐度,即引入均值滤波器对整幅SAR图像进行具有边缘保持特性的低通滤波,在去除SAR图像斑点噪声的同时保持SAR图像中油库目标的边缘锐度;

步骤二:提取SAR图像的亮度特征、纹理特征和结构特征,联合SAR图像各像素的二维空间坐标,生成SAR图像的多维显著特征向量,即利用高斯差分滤波器获取SAR图像的亮度特征,利用局部二值算子检测SAR图像的纹理特征,通过张量投票模型获得SAR图像的结构特征,将这三种特征与SAR图像各像素的二维空间坐标联合,组成SAR图像的多维显著特征向量;

步骤三:计算SAR图像的显著图,即采用k-means聚类算法对步骤二所得到的SAR图像多维显著特征向量加以聚类,然后计算聚类结果中各簇的显著值,根据各簇的显著值生成SAR图像的显著图;

步骤四:获得油库顶部信息,即使用最大类间方差法对步骤三所获得的SAR图像显著图进行阈值分割,提取油库顶部的初始轮廓,然后通过主动轮廓模型进一步优化油库顶部的初始轮廓,从而得到油库顶部的精确轮廓,利用油库顶部的精确轮廓计算油库顶部中心位置与油库半径;

步骤五:获得油库底部信息,即将SAR图像中油库底部弧线上亮度值最大的像素与油库顶部中心连成一条直线,然后利用油库底部弧线上亮度值最大的像素和油库半径,在该直线上计算得到油库底部中心的准确位置,进而获得油库底部轮廓信息,最终实现SAR图像中圆形油库的准确检测。

2. 根据权利要求1所述的一种基于多维显著特征聚类的SAR图像圆形油库检测方法,其特征不在于,所述步骤三的具体过程为:

1) 使用k-means聚类算法对SAR图像中的多维显著特征向量进行聚类,得到k个簇,k表示聚类后SAR图像中所包含的簇的个数;

2) 在所得到的k个簇中,对于第i个簇内的像素,其中 $i=1,2,3,\dots,k$ ,将其亮度特征、纹理特征、结构特征分别进行独立的归一化操作,然后将归一化后的亮度特征、纹理特征、结构特征的数值之和作为像素的显著值;

3) 第i个簇的显著值由该簇内全部像素的显著值求和得到,其中 $i=1,2,3,\dots,k$ ,然后将所有k个簇的显著值归一化到0和255之间,最后将归一化后的显著值作为每个簇的灰度值,生成SAR图像的显著图。

## 一种基于多维显著特征聚类的SAR图像圆形油库检测方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于遥感图像处理及图像识别技术领域,具体涉及一种基于多维显著特征聚类的SAR图像圆形油库检测方法。

### 背景技术

[0002] 随着SAR (Synthetic Aperture Radar,合成孔径雷达) 成像技术的快速发展,SAR图像的分辨率越来越高。作为SAR图像自动识别的重要步骤,SAR图像目标检测目前在军事和民用领域已得到广泛应用。然而,由于SAR图像中存在大量背景杂波与斑点噪声,使得SAR图像目标检测仍存在诸多问题没有很好解决,从而导致SAR图像的利用率不高,远远跟不上遥感技术的快速发展,因此研究SAR图像中油库、舰船、车辆等目标的自动检测与识别技术在军事与民用方面都具有十分重要的实际意义。

[0003] 传统的SAR图像目标检测算法,如恒虚警率算法与双参数恒虚警率算法,广泛使用的双参数恒虚警率算法假定背景杂波服从高斯分布,该算法的性能在一些具有高信号与杂波比的简单场景中是很好的,例如,在单个目标位于均匀背景的情况下,但如果检测的是多目标或者背景复杂的一些城市地区,检测性能则会下降。传统算法只利用了像素的散射特征,很容易受斑点噪声的影响,难以为目标检测选择合适的杂波统计分布,从而导致较差的检测性能。

[0004] 基于人眼视觉注意机制的显著性分析方法可以对图像中感兴趣区域进行快速提取和定位,为SAR图像的场景分析提供了新的思路。基于SAR图像的特点,已有学者提出了SAR图像的显著性检测方法。这些方法可以分为数据驱动方法和任务驱动方法。数据驱动的方法主要考虑目标的强度信息,例如,模式重现使用了片段级而不是像素级的强度对比,突出目标的同时克服斑点噪声。任务驱动的方法不仅考虑强度信息,还考虑待检测目标的一些先验知识,例如,船舶目标通常在水域而不是陆地。一般来说,由于利用了待检测目标的先验信息,任务驱动方法比异构背景下的数据驱动方法有更好的性能。但是,针对不同检测目标,如油库,船舶及道路等,需要根据其不同特征引入不同先验信息。

[0005] 油库在军事和民用方面都发挥着重要作用,它具有与背景不同的几何形状特征,研究人员根据油库的特征提出了一些油库检测方法。Zhang等人在文章‘A Hierarchical Oil Depot Detector in High-Resolution Images with False Detection Control’中提出了以分层方式检测油箱的方法。首先,使用椭圆和线段检测器以及方向梯度直方图来检测油箱候选者。然后使用AdaBoost分类器和深度优先搜索来确定最终的油库。Li等人在文章‘Oilcan Recognition Method Based on Improved Hough Transform’中引入梯度模糊Hough变换来检测油箱,从而降低计算复杂度并避免假扩散峰,采用后期流程来消除误报。然而,这些方法主要是为光学遥感图像设计的,针对SAR图像的油库检测方法研究还很少。这主要是因为SAR图像中油库目标缺乏颜色信息,油库边缘不连续,油库周围有背景杂波和大量的斑点噪声等干扰,导致SAR图像的油库检测识别率不高,精确度较低,虚警率较大等问题。

[0006] 综上所述,本发明提出一种基于多维显著特征聚类的SAR图像圆形油库检测方法。首先,去除SAR图像中的斑点噪声;其次,提取SAR图像中的亮度特征、纹理特征与结构特征,并将这些特征与SAR图像中各像素的二维空间坐标联合,组成多维显著特征向量;再次,采用k-means聚类算法对上述多维显著特征向量进行聚类,计算SAR图像的显著图;然后,使用最大类间方差法分割SAR图像显著图,得到油库顶部的初始轮廓,同时使用主动轮廓模型优化油库顶部初始轮廓,得到油库顶部的精确轮廓并利用该轮廓计算油库顶部中心位置与油库半径;最后,结合油库直径信息,精确获得油库的底部信息,实现SAR图像中圆形油库的准确检测。

## 发明内容

[0007] 本发明的目的在于提供了一种基于多维显著特征聚类的SAR图像圆形油库检测方法,该方法用于对SAR图像的圆形油库进行精确检测。现有的油库检测方法大多数依靠Hough变换,对于一些边缘较不连续的油库,识别率和精确率都比较低,虚警率比较高。所以本发明方法主要关注两个方面:

[0008] 1) 提升SAR图像圆形油库检测精度,获得更为准确的油库信息;

[0009] 2) 降低SAR图像圆形油库检测的虚警率。

[0010] 本发明所使用的技术方案包括多维显著特征提取,SAR图像显著图生成,以及油库顶部底部精确定位三个主要过程。

[0011] 在该方法中,首先去除SAR图像中的斑点噪声,其次提取SAR图像中的亮度特征、纹理特征、结构特征及像素的二维空间坐标,将这些特征组成多维显著特征向量,再次采用k-means聚类算法对上述多维显著特征向量进行聚类,计算SAR图像的显著图,然后使用主动轮廓模型获得油库顶部信息,并计算油库半径,最后结合油库半径信息,精确获得油库的底部信息,其特征不在于,具体包括以下步骤:

[0012] 步骤一:去除SAR图像中的斑点噪声并保持图像中油库目标的边缘锐度,即引入均值滤波器对整幅SAR图像进行具有边缘保持特性的低通滤波,在去除SAR图像斑点噪声的同时保持SAR图像中油库目标的边缘锐度;

[0013] 步骤二:提取SAR图像的亮度特征、纹理特征和结构特征,联合SAR图像各像素的二维空间坐标,生成SAR图像的多维显著特征向量,即利用高斯差分滤波器获取SAR图像的亮度特征,利用局部二值算子检测SAR图像的纹理特征,通过张量投票模型获得SAR图像的结构特征,将这三种特征与SAR图像各像素的二维空间坐标联合,组成SAR图像的多维显著特征向量;

[0014] 步骤三:计算SAR图像的显著图,即采用k-means聚类算法对步骤二所得到的SAR图像多维显著特征向量加以聚类,然后计算聚类结果中各簇的显著值,根据各簇的显著值生成SAR图像的显著图,具体过程包括:

[0015] 1) 使用k-means聚类算法对SAR图像中的多维显著特征向量进行聚类,得到k个簇,k表示聚类后SAR图像中所包含的簇的个数;

[0016] 2) 在所得到的k个簇中,对于第i个簇内的像素,其中 $i=1,2,3,\dots,k$ ,将其亮度特征、纹理特征、结构特征分别进行独立的归一化操作,然后将归一化后的亮度特征、纹理特征、结构特征的数值之和作为像素的显著值;

[0017] 3) 第*i*个簇的显著值由该簇内全部像素的显著值求和得到,其中*i*=1,2,3,...,k,然后将所有k个簇的显著值归一化到0和255之间,最后将归一化后的显著值作为每个簇的灰度值,生成SAR图像的显著图。

[0018] 步骤四:获得油库顶部信息,即使用最大类间方差法对步骤三所获得的SAR图像显著图进行阈值分割,提取油库顶部的初始轮廓,然后通过主动轮廓模型进一步优化油库顶部的初始轮廓,从而得到油库顶部的精确轮廓,利用油库顶部的精确轮廓计算油库顶部中心位置与油库半径;

[0019] 步骤五:获得油库底部信息,即将SAR图像中油库底部弧线上亮度值最大的像素与油库顶部中心连成一条直线,然后利用油库底部弧线上亮度值最大的像素和油库半径,在该直线上计算得到油库底部中心的准确位置,进而获得油库底部轮廓信息,最终实现SAR图像中圆形油库的准确检测。

[0020] 本发明提出的方法具有如下的优点:

[0021] (1) 本发明将显著性分析应用到SAR图像油库检测中,通过提取亮度特征、纹理特征、结构特征和二维空间坐标,组成多维显著特征向量,然后利用k-means聚类算法对多维显著特征向量进行聚类,获取SAR图像显著图。

[0022] (2) 本发明采用主动轮廓模型提取油库的顶部轮廓,算油库顶部中心位置与油库半径。

[0023] (3) 本发明将SAR图像中油库底部弧线上亮度值最大的像素与油库顶部中心连成一条直线,从而算出油库底部中心的准确位置,进而得到油库底部轮廓信息。

## 附图说明

[0024] 图1为本发明的流程图;

[0025] 图2为本发明所使用的SAR图像示例图片;

[0026] 图3为本发明所使用示例图片的亮度特征图、纹理特征图和结构特征图。(a)为示例图片的亮度特征图,(b)为示例图片的纹理特征图,(c)为示例图片的结构特征图;

[0027] 图4为利用本发明得到的SAR图像显著图和油库检测结果图。(a)为示例图片的显著图,(b)为示例图片的油库顶部检测结果图;(c)为示例图片的油库底部检测结果图;

[0028] 图5为示例图片采用本发明方法和其他方法检测油库的比较。(a)为利用有序统计恒虚警率(Ordered Statistic Constant False Alarm Rate,OS-CFAR)方法检测出的油库,(b)为全局恒虚警率(Global Constant False Alarm Rate,Global-CFAR)方法检测出的油库,(c)为本发明方法检测出的油库;

[0029] 图6为使用OS-CFAR方法、Global-CFAR方法和本发明方法对示例图片进行检测的结果量化对比图。

## 具体实施方式

[0030] 下面结合附图对本发明做进一步详细说明。本发明的总体框架如图1所示,现介绍每一步实现细节。

[0031] 步骤一:去除SAR图像中的斑点噪声。SAR图像受到相干斑噪声的影响,这种噪声通常被建模为一个具有指数分布的纯乘性噪声,公式如下:

[0032]  $I(t) = R(t)u(t)$

[0033] 其中  $t = (x, y)$  表示图像的空间坐标,  $I(t)$  是在  $t = (x, y)$  处观察到的图像亮度,  $R(t)$  表示对应地点的地形反射率,  $u(t)$  是在统计上独立于  $R(t)$  的乘性相干斑噪声, 单位均值为  $\bar{u}$ , 单位方差为  $\sigma_u^2$ 。

[0034] 为了在平滑滤波时不模糊油库的边缘, 可以使用均值滤波器。空间平均值  $\hat{u}(x, y; \Theta)$  在几个方向上计算如下:

$$[0035] \quad \hat{u}(x, y; \Theta) = \frac{1}{N_{\Theta}} \sum_{k \in W_{\Theta}} \sum_{l \in W_{\Theta}} I(x-k, y-l)$$

$$[0036] \quad \hat{u}(x, y) = \hat{u}(x, y; \Theta^*)$$

[0037]  $\Theta$  表示方向,  $\Theta^*$  是使得  $\left| I(x, y) - \hat{u}(x, y; \Theta^*) \right|$  取得最小值时所对应的方向,  $W$  是给出的窗口,  $N_{\Theta}$  表示方向的总数目, 其中  $k$  和  $l$  取决于这些窗口内核的大小。

[0038] 均值滤波器根据滤波器窗口中给定的局部统计数据执行滤波, 以确定滤波器窗口内的噪声方差, 或者使用 SAR 图像的有效等效视数估算局部噪声方差, 然后估计的噪声方差用于确定每个散斑图像所需的平滑量。如果区域的强度恒定或平坦, 则更适合用 SAR 图像的有效等效视数估算局部噪声方差, 如果难以确定图像的区域是否平坦, 则更适宜使用局部滤波器窗口所确定的噪声方差。

[0039] 步骤二: 提取 SAR 图像的亮度特征、纹理特征和结构特征, 联合 SAR 图像各像素的二维空间坐标, 生成 SAR 图像的多维显著特征向量。

[0040] 1) 使用高斯差分滤波器 (Difference of Gaussian, DoG 模板) 来提取像素的亮度特征。DoG 模板如下生成:

$$[0041] \quad DoG(x, y) = \frac{c_1^2}{2\pi\sigma_1^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma_1^2}} - \frac{c_2^2}{2\pi\sigma_2^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma_2^2}}$$

[0042] 其中  $\sigma_1$  和  $\sigma_2$  是高斯的标准偏差。DoG 滤波器是一个简单的带通滤波器, 其通带宽度由比率  $\sigma_1:\sigma_2$  控制。  $c_1$  和  $c_2$  是常数, 本发明中取值为 0.5。在实现中, 实际提取了多尺度的亮度特征, 定义为  $I(\phi)$ ,  $\phi = 1, 2, \dots, n$ 。  $n$  表示的是不同尺度的数目。亮度特征  $I$  的计算如下式:

$$[0043] \quad I = \bigoplus_{\phi=1}^n I(\phi) * DoG$$

[0044] 2) 使用局部二值算子 (Local Binary Pattern, LBP) 算子来提取图像的纹理特征。对于图像中的每个像素点  $i$ , 计算它的 LBP 值作为其纹理特征  $T_i$ :

$$[0045] \quad T(i) = \sum_{p=0}^7 \text{sgn}(|i, j_p| - \lambda)$$

$$[0046] \quad \text{sgn}(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

[0047] 其中  $j_p$  是  $i$  的邻域。在本章中,选择  $i$  的8-邻域来计算  $T_i$ 。 $|i, j_p|$  代表  $i$  和  $j_p$  之间亮度差值的绝对值。 $\lambda$  是区分复杂纹理区域和非复杂纹理区域的阈值。 $T_i$  的数值越大,表示区域的纹理越复杂。

[0048] 3) 结构特征提取。由于SAR图像中的油库一般呈圆形,具有明显的几何形状特征。张量投票算法是用于推断图像显著结构的计算机视觉算法,它广泛应用于图像去噪,轮廓提取,图像序列分析等领域,即使图像中含有噪声,也可以从中提取目标区域的显著特征,并且具有需要较少参数,计算快速等优点。

[0049] 由于张量投票算法中具有映射连续性、表示唯一性,因此输入数据以二阶对称正定张量的形式表示。在  $R^2$  上定义的二阶对称正定张量对应于一个  $2 \times 2$  实矩阵  $(a_{ij})_{2 \times 2}$ 。为了标记简单,用矩阵表示张量,即  $P = (a_{ij})_{2 \times 2}$ 。张量可以分解为:

$$[0050] \quad P = \lambda_1 \vec{e}_1 \vec{e}_1^T + \lambda_2 \vec{e}_2 \vec{e}_2^T = (\lambda_1 - \lambda_2) \vec{e}_1 \vec{e}_1^T + \lambda_2 (\vec{e}_1 \vec{e}_1^T + \vec{e}_2 \vec{e}_2^T)$$

[0051] 其中  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$  是非负特征值;  $\vec{e}_1$  和  $\vec{e}_2$  是相应的特征向量;  $\vec{e}_1 \vec{e}_1^T$  是棒张量,  $\vec{e}_1 \vec{e}_1^T + \vec{e}_2 \vec{e}_2^T$  是球张量。棒张量的系数表示该点是曲线元素的概率,球张量的系数表示该点是点元素的概率。即  $\lambda_1 - \lambda_2$  代表线条特征的显著性,  $\lambda_2$  表示点特征的显著性。因为油库的边缘呈圆形,具有显著的线性特征,因此使用线显著性,即  $\lambda_1 - \lambda_2$  作为图像的结构特征  $S$ 。

[0052] 4) 对于输入图像中的每个像素,通过步骤二都能得到由亮度特征、纹理特征、结构特征和二维空间坐标组成的多维显著特征向量  $F_i = [I_i, T_i, S_i, x_i, y_i]^T$ , 其中  $(x_i, y_i)$  代表其空间坐标;

[0053] 步骤三:计算SAR图像的显著图,即采用k-means聚类算法对步骤二所得到的SAR图像多维显著特征向量加以聚类,然后计算聚类结果中各簇的显著值,根据各簇的显著值生成SAR图像的显著图。具体可分为以下几步:

[0054] 1) 给定聚类数目  $k$  和图像中的像素数目  $N$  后,将  $k$  个初始聚类中心排列在规则网格

上,每两个中心之间的距离大约为  $d = \sqrt{\frac{N}{k}}$ 。距离度量计算如下:

$$[0055] \quad D = \sqrt{\left(\frac{d_1}{f}\right)^2 + \left(\frac{d_2}{d}\right)^2}$$

$$[0056] \quad d_1 = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

$$[0057] \quad d_2 = \sqrt{(I_i - I_j)^2 + (T_i - T_j)^2 + (S_i - S_j)^2}$$

[0058] 其中  $f$  是一个常数。搜索区域的是围绕中心的大小为  $2d \times 2d$  的矩形。

[0059] 然后,利用k均值算法来更新聚类中心并分配像素。经过约10次迭代后,可以得到

聚类结果,即k个簇。

[0060] 2) 对于第*i*个簇内的像素,其中*i*=1,2,3,...,k,将其亮度特征、纹理特征、结构特征分别进行独立的归一化操作,然后将归一化后的亮度特征、纹理特征、结构特征的数值之和作为像素的显著值;

[0061] 3) 第*i*个簇的显著值由该簇内全部像素的显著值求和得到,其中*i*=1,2,3,...,k,然后将所有k个簇的显著值归一化到0和255之间,最后将归一化后的显著值作为每个簇的灰度值,生成SAR图像的显著图。

[0062] 步骤四:获得油库顶部信息,尽管缺乏颜色信息,但油库边缘的反射使其轮廓足够明显,可以使用主动轮廓模型进行提取。主动轮廓模型的主要原理是构造能量函数。在最小化能量函数的驱动下,轮廓曲线逐渐靠近待检测物体的边缘,最后对目标进行分割公式构造如下:

$$E(I_m, C) = \mu \cdot l(C) + \eta_1 \cdot f_{shape} + \eta_2 \cdot \int_{in(C)} |I_m(x, y) - \chi_1|^2 dx dy + \eta_3 \cdot \int_{out(C)} |I_m(x, y) - \chi_2|^2 dx dy$$

$$f_{shape} = \kappa - \frac{1}{l(C)}$$

[0065] 其中 $I_m$ 是二维SAR图像, $C$ 是可变曲线。 $l(C)$ 表示 $C$ 的长度, $\chi_1$ 和 $\chi_2$ 分别是 $C$ 内部和外部的亮度平均值。 $\mu, \eta_1, \eta_2, \eta_3$ 代表公式中不同项的权重。 $\kappa$ 表示曲率。 $f_{shape}$ 表示曲线和正常圆形之间的差异。它用于限制迭代方向并驱动曲线附着于油库顶部。在迭代结束时,顶部轮廓被提取出来,然后可以计算出油库顶部的中心和油库的半径。

[0066] 步骤五:获得油库底部信息。油库的底部是圆形,其半径和油库顶部半径相同。在SAR图像中,根据双反射理论,即油库底部弧线上亮度值最大的点、油库顶部的中心和油库底部的中心在同一条线上,通过步骤四,可以获得油库顶部的中心,而油库底部弧线上亮度值最大的点可以通过搜索得到,于是,确定了一条直线,底部的中心就可以通过在该直线上利用油库半径信息的计算得到。

[0067] 本发明的效果可通过以下实验结果与分析进一步说明:

[0068] 1. 实验数据

[0069] 本发明从TerraSAR-X卫星源图中选取了一幅荷兰鹿特丹港的SAR图像,并从中截取了大小为256×256的图像作为实验数据,如图2所示。

[0070] 2. 对比实验及实验评价指标

[0071] 本发明方法对比了利用有序统计恒虚警率(Ordered Statistic Constant False Alarm Rate, OS-CFAR)的油库检测方法和全局恒虚警率(Global Constant False Alarm Rate, Global-CFAR)的油库检测方法。从主观和客观上分别对比了不同方法的油库检测结果,如图5所示。图5中,(a)为OS-CFAR方法的检测结果,(b)为Global-CFAR方法的检测结果,(c)为本发明方法检测的结果。

[0072] 本发明的评价指标采用了检测率PD和虚警率PF两项。计算公式如下:



$$[0073] \quad PD = \frac{n_{dt}}{n_t}$$

$$[0074] \quad PF = \frac{n_{dc}}{(M \times N - n_t)}$$

[0075] 其中 $n_{dt}$ 是正确检测到的目标像素的数量, $n_t$ 是目标像素的总数。 $n_{dc}$ 是不正确地检测为目标的杂波像素的数量。 $M,N$ 分别表示图像的长度和宽度。

[0076] 图6是三种检测结果的量化对比。由图6可以看出,在检测率和虚警率方面,本发明方法要明显好于其它2种方法。

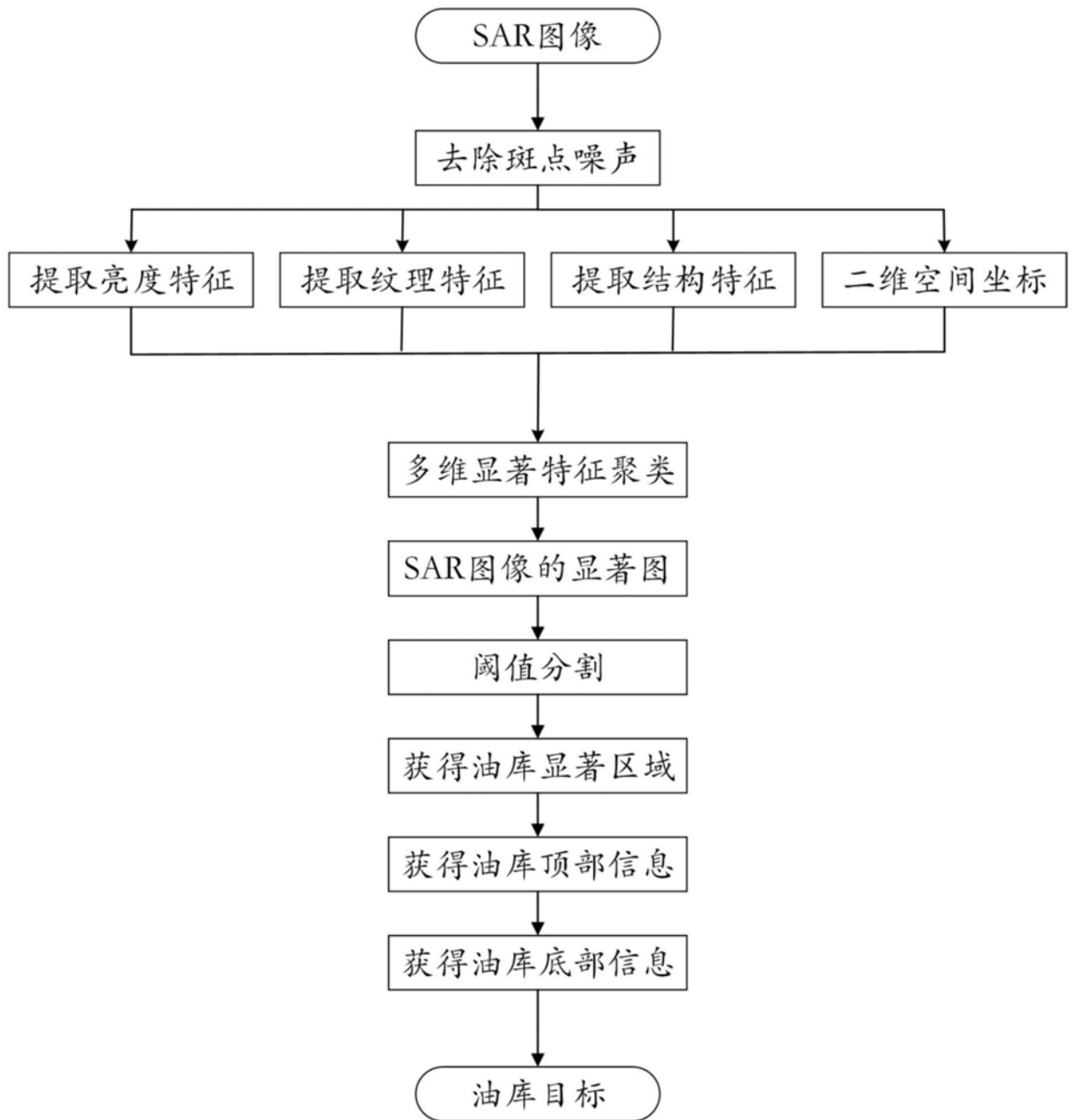


图1

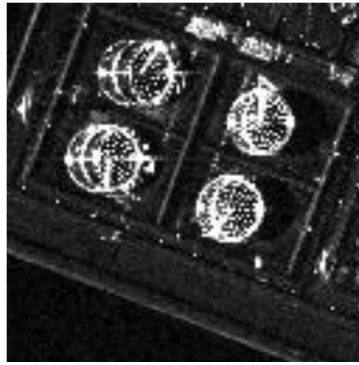
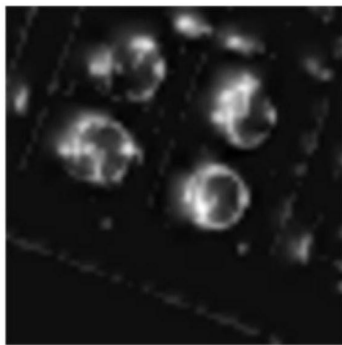
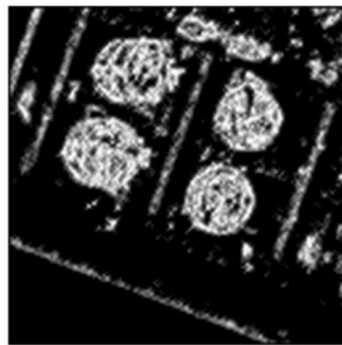


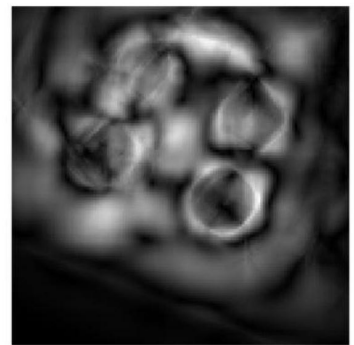
图2



(a)

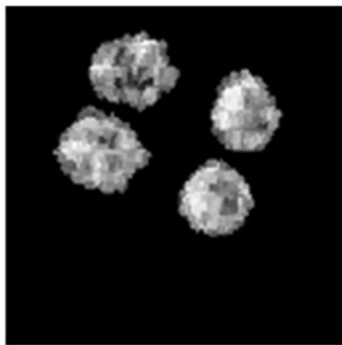


(b)



(c)

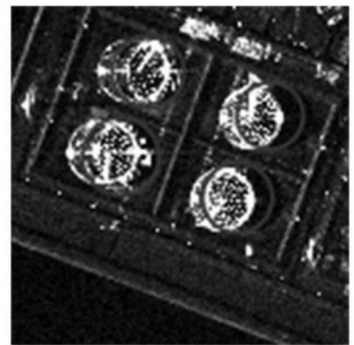
图3



(a)



(b)



(c)

图4

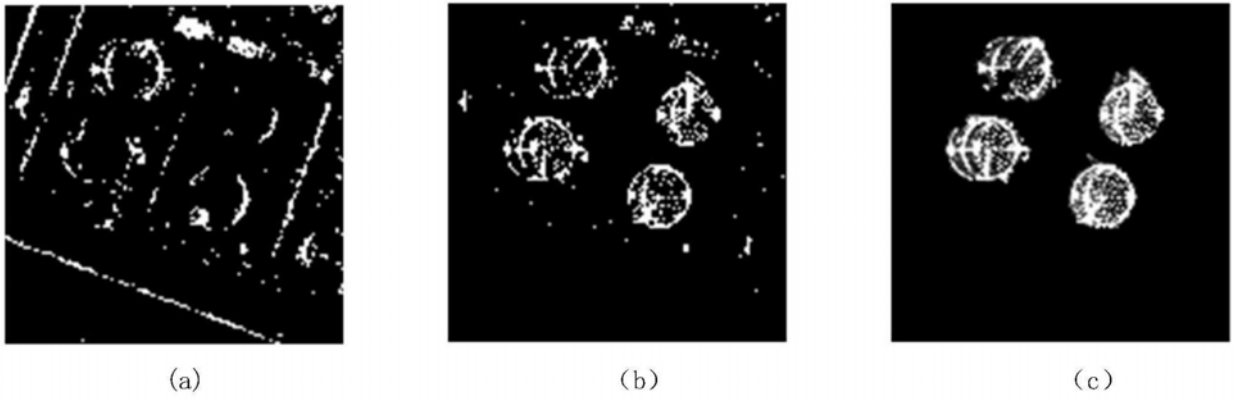


图5

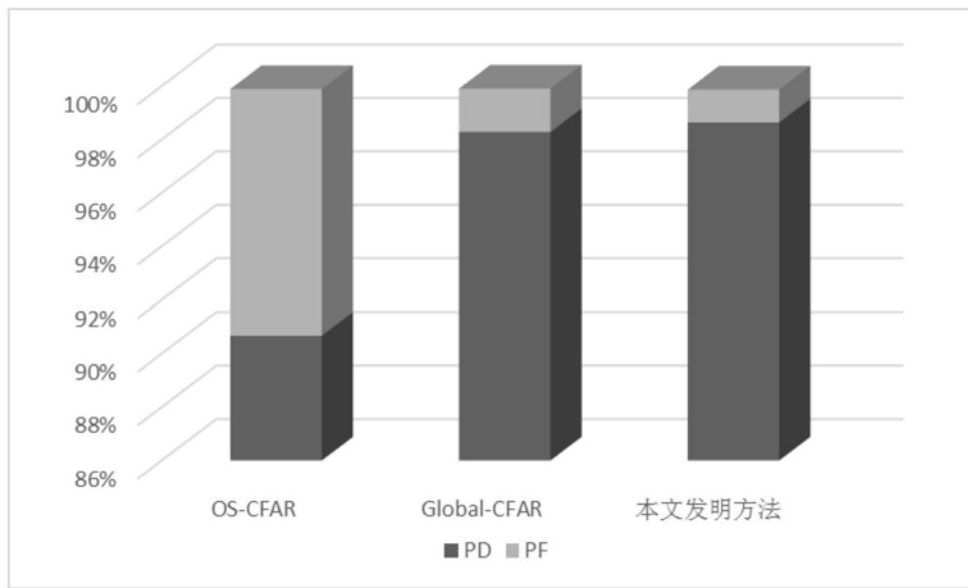


图6