



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104657736 B

(45)授权公告日 2017. 10. 27

(21)申请号 201310587459.1

CN 102496155 A, 2012.06.13,

(22)申请日 2013.11.19

Vese L A 等. A Multiphase Level Set Framework for Image Segmentation Using the Mumford and Shah Model. 《International Journal of Computer Vision》. 2002, 第50卷(第3期), 第271-293页.

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104657736 A

(43)申请公布日 2015.05.27

(73)专利权人 中国科学院沈阳自动化研究所

地址 110016 辽宁省沈阳市南塔街114号

高山 等. 声呐图像水雷目标自动识别. 《水雷战与舰船防护》. 2006, (第1期), 第42-45页.

(72)发明人 朱枫 郝颖明 李娟娟 吴清潇

高雷

Tang Yandong 等. Automatic

Segmentation of the Papilla in a Fundus Image Based on the C-V Model and a Shape Restraint. 《Proc of the 18th International Conference on Pattern Recognition》. 2006, (第1期), 第183-186页.

(74)专利代理机构 沈阳科苑专利商标代理有限公司

21002

代理人 许宗富 周秀梅

审查员 游小容

(51)Int. Cl.

G06K 9/62(2006.01)

(56)对比文件

CN 102289812 A, 2011.12.21,

权利要求书3页 说明书9页 附图2页

(54)发明名称

一种基于主动轮廓的声呐图像水雷目标识别方法

(57)摘要

本发明涉及图像的自动目标识别领域, 尤其涉及声呐图像的水雷目标识别方法。本发明包括提出超椭圆约束的主动轮廓模型、多相水平集的形状约束主动轮廓模型、基于主动轮廓模型的声呐图像水雷目标识别方法。本发明较一般目标识别方法的优点是: 在噪声大的声呐图像中仍能满足识别水雷目标的要求, 在水雷目标成像模糊的情况下仍能够得到水雷目标准确的轮廓。

1. 一种基于主动轮廓的声呐图像水雷目标识别方法,其特征在于,包括以下步骤:

根据水雷目标的形状特征,在主动轮廓模型中引入超椭圆形状约束的水平集函数;

根据声呐图像中目标声影区的特征,在主动轮廓模型中引入多相水平集函数,从而将声呐图像分为三个区域:背景区、目标区、声影区;

以目标区和声影区的灰度均值之差最小作为演化目标,即水雷目标声影区的能量函数最小;

对多相水平集的超椭圆约束的主动轮廓模型使用梯度下降法求解,得到主动轮廓模型的参数演化方程;

所述超椭圆形状约束的水平集函数为:

$$\varphi = 1 - \left[\frac{((x-x_0)\cos\theta + (y-y_0)\sin\theta)^4}{a^4} + \frac{(-(x-x_0)\sin\theta + (y-y_0)\cos\theta)^4}{b^4} \right] \quad (3)$$

其中, (x_0, y_0) 为超椭圆中心的坐标, a, b 分别为超椭圆的长轴和短轴, θ 为超椭圆的旋转角度;

所述多相水平集函数引入的另一个水平集函数为:

$$\varphi_1 = \begin{cases} (x-x_0)\cos\theta + (y-y_0)\sin\theta, a < b \\ -(x-x_0)\sin\theta + (y-y_0)\cos\theta, a > b \end{cases} \quad (4)$$

其中, (x_0, y_0) 为超椭圆中心的坐标, a, b 分别为超椭圆的长轴和短轴, θ 为超椭圆的旋转角度。

2. 根据权利要求1所述的一种基于主动轮廓的声呐图像水雷目标识别方法,其特征在于,所述三个区域的划分具体为:当 $\varphi < 0$ 时表示声呐图像的背景区,当 $\varphi > 0$ 且 $\varphi_1 > 0$ 时表示声呐图像的目标区,当 $\varphi > 0$ 且 $\varphi_1 < 0$ 时表示声呐图像的声影区。

3. 根据权利要求1所述的一种基于主动轮廓的声呐图像水雷目标识别方法,其特征在于,所述水雷目标声影区的能量函数为:

$$F(\varphi, \varphi_1, c_{11}, c_{12}, c_2) = \iint_{\Omega} (u_0 - c_{11})^2 H(\varphi) H(\varphi_1) dx dy + \iint_{\Omega} (u_0 - c_{12})^2 H(\varphi) (1 - H(\varphi_1)) dx dy \\ + \iint_{\Omega} (u_0 - c_2)^2 (1 - H(\varphi)) dx dy + \iint_{\Omega} \frac{1}{1 + (c_{11} - c_{12})^2} H(\varphi) dx dy \quad (5)$$

其中, c_{11} 为目标区的灰度均值, c_{12} 为声影区的灰度均值, c_2 为背景区的灰度均值, $H(\varphi)H(\varphi_1)$ 表达了目标区域, $H(\varphi)(1-H(\varphi_1))$ 表达了声影区域, $(1-H(\varphi))$ 表达了背景区域, $H(\varphi)$ 表达了整个超椭圆的内部区域。

4. 根据权利要求3所述的一种基于主动轮廓的声呐图像水雷目标识别方法,其特征在于,所述对多相水平集的超椭圆约束的主动轮廓模型使用梯度下降法求解,得到主动轮廓模型的参数演化方程,包括以下步骤:

第一步:把 φ 和 φ_1 当作常量,方程(5)两边分别对 c_{11} 、 c_{12} 和 c_2 进行求导,第四项当作常数

项不予考虑,并令 $\frac{\partial F}{\partial c_{11}} = 0$, $\frac{\partial F}{\partial c_{12}} = 0$, $\frac{\partial F}{\partial c_2} = 0$, 得:

$$c_{11}(\varphi, \varphi_1) = \frac{\iint_{\Omega} u_0 H(\varphi) H(\varphi_1) dx dy}{\iint_{\Omega} H(\varphi) H(\varphi_1) dx dy} \quad (6)$$

$$c_{12}(\varphi, \varphi_1) = \frac{\iint_{\Omega} u_0 H(\varphi)(1-H(\varphi_1)) dx dy}{\iint_{\Omega} H(\varphi)(1-H(\varphi_1)) dx dy} \quad (7)$$

$$c_2(\varphi) = \frac{\iint_{\Omega} u_0(1-H(\varphi)) dx dy}{\iint_{\Omega} (1-H(\varphi)) dx dy} \quad (8)$$

第二步：把 c_{11} 、 c_{12} 和 c_2 当作常量，方程 (5) 两边分别对 φ 和 φ_1 进行求导，并令 $\frac{\partial F}{\partial \varphi} = 0$ ， $\frac{\partial F}{\partial \varphi_1} = 0$ ，得：

$$\begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial \varphi} = & \iint_{\Omega} (u_0 - c_{11})^2 \delta(\varphi) H(\varphi_1) dx dy + \iint_{\Omega} (u_0 - c_{12})^2 \delta(\varphi)(1-H(\varphi_1)) dx dy \\ & - \iint_{\Omega} (u_0 - c_2)^2 \delta(\varphi) dx dy + \iint_{\Omega} \frac{1}{1+(c_{11}-c_{12})^2} \delta(\varphi) dx dy = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

$$\frac{\partial F}{\partial \varphi_1} = \iint_{\Omega} (u_0 - c_{11})^2 H(\varphi) \delta(\varphi_1) dx dy - \iint_{\Omega} (u_0 - c_{12})^2 H(\varphi) \delta(\varphi_1) dx dy = 0 \quad (10)$$

其中， φ 和 φ_1 都是变量 x_0, y_0, a, b, θ 这五个参数的函数；

第三步：将 (5) 式对 x_0, y_0, a, b, θ 五个参数求偏微分，然后引入时间 t ，利用梯度下降法，得到参数演化方程：

当 $a < b$ 时，

$$\begin{cases} \frac{\partial a}{\partial t} = M \cdot \delta(\varphi) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial a} \\ \frac{\partial b}{\partial t} = M \cdot \delta(\varphi) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial b} \\ \frac{\partial x_0}{\partial t} = M \cdot \delta(\varphi) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial x_0} + W \cdot \delta(\varphi_1) \cdot (-\cos \theta) \\ \frac{\partial y_0}{\partial t} = M \cdot \delta(\varphi) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial y_0} + W \cdot \delta(\varphi_1) \cdot (-\sin \theta) \\ \frac{\partial \theta}{\partial t} = M \cdot \delta(\varphi) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} + W \cdot \delta(\varphi_1) \cdot B \end{cases} \quad (14)$$

当 $a > b$ 时，

$$\begin{cases} \frac{\partial a}{\partial t} = M \cdot \delta(\varphi) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial a} \\ \frac{\partial b}{\partial t} = M \cdot \delta(\varphi) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial b} \\ \frac{\partial x_0}{\partial t} = M \cdot \delta(\varphi) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial x_0} + W \cdot \delta(\varphi_1) \cdot \sin \theta \\ \frac{\partial y_0}{\partial t} = M \cdot \delta(\varphi) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial y_0} + W \cdot \delta(\varphi_1) \cdot (-\cos \theta) \\ \frac{\partial \theta}{\partial t} = M \cdot \delta(\varphi) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} + W \cdot \delta(\varphi_1) \cdot (-A) \end{cases} \quad (15)$$

在式(14)、(15)中,

$$M = -\iint_{\Omega} (u_0 - c_{11})^2 H(\varphi_1) dx dy - \iint_{\Omega} (u_0 - c_{12})^2 (1 - H(\varphi_1)) dx dy \\ + \iint_{\Omega} (u_0 - c_2)^2 dx dy - \iint_{\Omega} \frac{1}{1 + (c_{11} - c_{12})^2} dx dy \quad (16)$$

$$W = -\iint_{\Omega} (u_0 - c_{11})^2 H(\varphi) dx dy + \iint_{\Omega} (u_0 - c_{12})^2 H(\varphi) dx dy \quad (17)$$

其中,

$$\begin{cases} \frac{\partial \varphi}{\partial a} = 4 \frac{A^4}{a^5} \\ \frac{\partial \varphi}{\partial b} = 4 \frac{B^4}{b^5} \\ \frac{\partial \varphi}{\partial x_0} = 4 \left(\frac{A^3}{a^4} \cos \theta - \frac{B^3}{b^4} \sin \theta \right) \\ \frac{\partial \varphi}{\partial y_0} = 4 \left(\frac{A^3}{a^4} \sin \theta + \frac{B^3}{b^4} \cos \theta \right) \\ \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} = 4 \left(-\frac{A^3 B}{a^4} + \frac{B^3 A}{b^4} \right) \end{cases} \quad (11)$$

为(3)式的水平集函数对上述五个参数求偏微分得到的偏微分方程,其中,

$$A = (x - x_0) \cos \theta + (y - y_0) \sin \theta$$

$$B = -(x - x_0) \sin \theta + (y - y_0) \cos \theta$$

当 $a < b$ 时,

$$\begin{cases} \frac{\partial \varphi_1}{\partial x_0} = -\cos \theta \\ \frac{\partial \varphi_1}{\partial y_0} = -\sin \theta \\ \frac{\partial \varphi_1}{\partial \theta} = -(x - x_0) \sin \theta + (y - y_0) \cos \theta \end{cases} \quad (12)$$

当 $a > b$ 时,

$$\begin{cases} \frac{\partial \varphi_1}{\partial x_0} = \sin \theta \\ \frac{\partial \varphi_1}{\partial y_0} = -\cos \theta \\ \frac{\partial \varphi_1}{\partial \theta} = -(x - x_0) \cos \theta - (y - y_0) \sin \theta \end{cases} \quad (13)$$

为(4)式的水平集函数对上述五个参数求偏微分得到的偏微分方程。

一种基于主动轮廓的声呐图像水雷目标识别方法

技术领域

[0001] 本发明涉及图像的自动目标识别领域,尤其涉及声呐图像的水雷目标识别方法。

背景技术

[0002] 声呐是测绘海底地貌的水下遥感设备,是海底测绘的有力工具。它的工作原理为:声脉冲从换能器发出,以球面波向远处传播,海底产生的反向散射波陆续传回换能器,通过图示设备显示回波信号,构成一幅反映海底地质特性的图像。

[0003] 如图1所示,声呐图像按灰度分布分为3个区域:回波区(目标区)、声影区和背景区。回波区的回波较强,是图像中较亮的区域,背景区回波弱,在图像中较暗,无回波区形成声影区,是图像中最暗的部分。声呐图像有以下特点:1、回波强度与结构受到诸多因素的影响而呈现强烈的变化。2、声呐图像一般噪声大,边缘差,形状畸变比较严重,图像强度不均匀。3、一般情况下,声影区的特征比较稳定。

[0004] 声呐图像的目标自动识别技术将数字图像处理与模式识别技术应用于水声领域,该研究领域在近几年才得到重视和发展。由于水下成像环境的复杂性,而且不同成像声呐系统在分辨率等参数上存在差异,目标所成的像受到目标本身的特性影响较大。所以水声图像的自动目标识别还集中在理论研究上,离实际应用尚有一定的距离。综合国内外的相关文献,目前应用于声呐图像的识别算法主要有:匹配滤波算法、摩尔邻域跟踪算法、基于分形的方法、水平集分割算法、马尔可夫随机场模型和基于谱聚类的声呐图像分割算法。其中针对声呐图像水雷目标识别的研究公开发表的较少,至今还没有一种识别算法能够很好地识别水雷。

[0005] 由于声呐图像具有噪声污染严重、强度不均匀、目标边界模糊的特点,如果采用一般的方法很难达到较好的提取效果。主动轮廓法是一种基于全局的算法,受噪声的影响较小,因此本文研究基于主动轮廓模型的方法来识别目标。主动轮廓模型主要分为两类:基于边缘的和基于区域的。由于声呐图像中目标的边缘比较模糊,如果采用基于边缘的轮廓演化模型,在演化过程中很可能发生边缘泄露现象。因此采用基于区域的轮廓演化模型:Chan-Vese模型,简称C-V模型。在C-V模型的基础上,加入水雷目标的形状特征和声呐图像的灰度特征,得到一种基于多相水平集的形状保持主动轮廓模型的识别方法。

发明内容

[0006] 为解决声呐图像噪声大、目标边缘模糊等特点对水雷识别的影响,本发明根据水雷目标在声呐图像中的形状特征和灰度特征,采用Chan-Vese模型的演化思想,提出了一种基于超椭圆形状约束的多相水平集主动轮廓模型。

[0007] 本发明为实现上述目的所采用的技术方案是:一种基于主动轮廓的声呐图像水雷目标识别方法,包括以下步骤:

[0008] 根据水雷目标的形状特征,在主动轮廓模型中引入超椭圆形状约束的水平集函数;

[0009] 根据声呐图像中目标声影区的特征,在主动轮廓模型中引入多相水平集函数,从而将声呐图像分为三个区域:背景区、目标区、声影区;

[0010] 以目标区和声影区的灰度均值之差最小作为演化目标,即水雷目标声影区的能量函数最小;

[0011] 对多相水平集的超椭圆约束的主动轮廓模型使用梯度下降法求解,得到主动轮廓模型的参数演化方程。

[0012] 所述超椭圆形状约束的水平集函数为:

[0013]

$$\varphi = 1 - \left[\frac{((x-x_0)\cos\theta + (y-y_0)\sin\theta)^4}{a^4} + \frac{(-(x-x_0)\sin\theta + (y-y_0)\cos\theta)^4}{b^4} \right] \quad (3)$$

[0014] 其中, (x_0, y_0) 为超椭圆中心的坐标, a, b 分别为超椭圆的长轴和短轴, θ 为超椭圆的旋转角度。

[0015] 所述多相水平集函数引入的另一个水平集函数为:

$$\varphi_1 = \begin{cases} (x-x_0)\cos\theta + (y-y_0)\sin\theta, a < b \\ -(x-x_0)\sin\theta + (y-y_0)\cos\theta, a > b \end{cases} \quad (4)$$

[0017] 其中, (x_0, y_0) 为超椭圆中心的坐标, a, b 分别为超椭圆的长轴和短轴, θ 为超椭圆的旋转角度。

[0018] 所述三个区域的划分具体为:当 $\varphi < \theta$ 时表示声呐图像的背景区,当 $\varphi > \theta$ 且 $\varphi_1 > \theta$ 时表示声呐图像的目标区,当 $\varphi > \theta$ 且 $\varphi_1 < \theta$ 时表示声呐图像的声影区。

[0019] 所述水雷目标声影区的能量函数为:

[0020]

$$F(\varphi, \varphi_1, c_{11}, c_{12}, c_2) = \iint_{\Omega} (u_0 - c_{11})^2 H(\varphi) H(\varphi_1) dx dy + \iint_{\Omega} (u_0 - c_{12})^2 H(\varphi) (1 - H(\varphi_1)) dx dy + \iint_{\Omega} (u_0 - c_2)^2 (1 - H(\varphi)) dx dy + \iint_{\Omega} \frac{1}{1 + (c_{11} - c_{12})^2} H(\varphi) dx dy \quad (5)$$

[0021] 其中, c_{11} 为目标区的灰度均值, c_{12} 为声影区的灰度均值, c_2 为背景区的灰度均值, $H(\varphi)H(\varphi_1)$ 表达了目标区域, $H(\varphi)(1-H(\varphi_1))$ 表达了声影区域, $(1-H(\varphi))$ 表达了背景区域, $H(\varphi)$ 表达了整个超椭圆的内部区域。

[0022] 所述对多相水平集的超椭圆约束的主动轮廓模型使用梯度下降法求解,得到主动轮廓模型的参数演化方程,包括以下步骤:

[0023] 第一步:把 φ 和 φ_1 当作常量,方程(5)两边分别对 c_{11} 、 c_{12} 和 c_2 进行求导,第四项当作常数项不予考虑,并令 $\frac{\partial F}{\partial c_{11}} = 0$, $\frac{\partial F}{\partial c_{12}} = 0$, $\frac{\partial F}{\partial c_2} = 0$, 得:

$$c_{11}(\varphi, \varphi_1) = \frac{\iint_{\Omega} u_0 H(\varphi) H(\varphi_1) dx dy}{\iint_{\Omega} H(\varphi) H(\varphi_1) dx dy} \quad (6)$$

$$[0025] \quad c_{12}(\varphi, \varphi_1) = \frac{\iint_{\Omega} u_0 H(\varphi)(1-H(\varphi_1))dxdy}{\iint_{\Omega} H(\varphi)(1-H(\varphi_1))dxdy} \quad (7)$$

$$[0026] \quad c_2(\varphi) = \frac{\iint_{\Omega} u_0(1-H(\varphi))dxdy}{\iint_{\Omega} (1-H(\varphi))dxdy} \quad (8)$$

[0027] 第二步:把 c_{11} 、 c_{12} 和 c_2 当作常量,方程(5)两边分别对 φ 和 φ_1 进行求导,并令

$$\frac{\partial F}{\partial \varphi} = 0, \quad \frac{\partial F}{\partial \varphi_1} = 0, \quad \text{得:}$$

[0028]

$$\begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial \varphi} &= \iint_{\Omega} (u_0 - c_{11})^2 \delta(\varphi) H(\varphi_1) dxdy + \iint_{\Omega} (u_0 - c_{12})^2 \delta(\varphi) (1-H(\varphi_1)) dxdy \\ &\quad - \iint_{\Omega} (u_0 - c_2)^2 \delta(\varphi) dxdy + \iint_{\Omega} \frac{1}{1+(c_{11}-c_{12})^2} \delta(\varphi) dxdy = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

[0029]

$$\frac{\partial F}{\partial \varphi_1} = \iint_{\Omega} (u_0 - c_{11})^2 H(\varphi) \delta(\varphi_1) dxdy - \iint_{\Omega} (u_0 - c_{12})^2 H(\varphi) \delta(\varphi_1) dxdy = 0 \quad (10)$$

[0030] 其中, φ 和 φ_1 都是变量 x_0 、 y_0 、 a 、 b 、 θ 这五个参数的函数;

[0031] 第三步:将(5)式对 x_0 、 y_0 、 a 、 b 、 θ 五个参数求偏微分,然后引入时间 t ,利用梯度下降法,得到参数演化方程:

[0032] 当 $a < b$ 时,

$$[0033] \quad \begin{cases} \frac{\partial a}{\partial t} = M \cdot \delta(\varphi) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial a} \\ \frac{\partial b}{\partial t} = M \cdot \delta(\varphi) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial b} \\ \frac{\partial x_0}{\partial t} = M \cdot \delta(\varphi) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial x_0} + W \cdot \delta(\varphi_1) \cdot (-\cos \theta) \\ \frac{\partial y_0}{\partial t} = M \cdot \delta(\varphi) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial y_0} + W \cdot \delta(\varphi_1) \cdot (-\sin \theta) \\ \frac{\partial \theta}{\partial t} = M \cdot \delta(\varphi) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} + W \cdot \delta(\varphi_1) \cdot B \end{cases} \quad (14)$$

[0034] 当 $a > b$ 时,

$$\begin{cases}
 \frac{\partial a}{\partial t} = M \cdot \delta(\varphi) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial a} \\
 \frac{\partial b}{\partial t} = M \cdot \delta(\varphi) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial b} \\
 \frac{\partial x_0}{\partial t} = M \cdot \delta(\varphi) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial x_0} + W \cdot \delta(\varphi_1) \cdot \sin \theta \\
 \frac{\partial y_0}{\partial t} = M \cdot \delta(\varphi) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial y_0} + W \cdot \delta(\varphi_1) \cdot (-\cos \theta) \\
 \frac{\partial \theta}{\partial t} = M \cdot \delta(\varphi) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} + W \cdot \delta(\varphi_1) \cdot (-A)
 \end{cases} \quad (15)$$

[0036] 在式(14)、(15)中,

$$\begin{aligned}
 M = & -\iint_{\Omega} (u_0 - c_{11})^2 H(\varphi_1) dx dy - \iint_{\Omega} (u_0 - c_{12})^2 (1 - H(\varphi_1)) dx dy \\
 & + \iint_{\Omega} (u_0 - c_2)^2 dx dy - \iint_{\Omega} \frac{1}{1 + (c_{11} - c_{12})^2} dx dy
 \end{aligned} \quad (16)$$

$$W = -\iint_{\Omega} (u_0 - c_{11})^2 H(\varphi) dx dy + \iint_{\Omega} (u_0 - c_{12})^2 H(\varphi) dx dy \quad (17)$$

[0039] 其中,

$$\begin{cases}
 \frac{\partial \varphi}{\partial a} = 4 \frac{A^4}{a^5} \\
 \frac{\partial \varphi}{\partial b} = 4 \frac{B^4}{b^5} \\
 \frac{\partial \varphi}{\partial x_0} = 4 \left(\frac{A^3}{a^4} \cos \theta - \frac{B^3}{b^4} \sin \theta \right) \\
 \frac{\partial \varphi}{\partial y_0} = 4 \left(\frac{A^3}{a^4} \sin \theta + \frac{B^3}{b^4} \cos \theta \right) \\
 \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} = 4 \left(-\frac{A^3 B}{a^4} + \frac{B^3 A}{b^4} \right)
 \end{cases} \quad (11)$$

[0041] 为(3)式的水平集函数对上述五个参数求偏微分得到的偏微分方程,其中,

$$[0042] \quad A = (x - x_0) \cos \theta + (y - y_0) \sin \theta$$

$$[0043] \quad B = -(x - x_0) \sin \theta + (y - y_0) \cos \theta$$

[0044] 当 $a < b$ 时,

$$\begin{cases}
 \frac{\partial \varphi_1}{\partial x_0} = -\cos \theta \\
 \frac{\partial \varphi_1}{\partial y_0} = -\sin \theta \\
 \frac{\partial \varphi_1}{\partial \theta} = -(x - x_0) \sin \theta + (y - y_0) \cos \theta
 \end{cases} \quad (12)$$

[0046] 当 $a > b$ 时,

$$[0047] \quad \begin{cases} \frac{\partial \varphi_1}{\partial x_0} = \sin \theta \\ \frac{\partial \varphi_1}{\partial y_0} = -\cos \theta \\ \frac{\partial \varphi_1}{\partial \theta} = -(x-x_0)\cos\theta - (y-y_0)\sin\theta \end{cases} \quad (13)$$

[0048] 为(4)式的水平集函数对上述五个参数求偏微分得到的偏微分方程。

[0049] 本发明具有以下优点及有益效果：

[0050] 1.在声呐图像存在大量海底噪声的情况下，能够准确地找到待识别的水雷目标，具有较好的抗噪性能。

[0051] 2.由于把目标的阴影也作为目标的一部分进行识别，因此得到的轮廓曲线包含了水雷目标及其声影区。

[0052] 3.由于对水平集函数加入了形状约束，因此得到的轮廓是光滑的超椭圆，具有抗变形性能。

附图说明

[0053] 图1为一幅含有水雷的声呐图像示意图；

[0054] 图2为 $s=2$ 的超椭圆曲线示意图；

[0055] 图3为原始C-V模型的演化结果示意图；

[0056] 图4为加椭圆约束的C-V模型演化结果示意图；

[0057] 图5为本文方法演化结果示意图。

具体实施方式

[0058] 下面结合附图及实施例对本发明做进一步的详细说明。

[0059] 1.超椭圆约束主动轮廓模型的水平集函数

[0060] 传统的水平集函数定义为一个符号距离函数，这种水平集的零水平集表示的轮廓曲线随着演化过程会变成任意的形状。在目标边界出现较大畸变时，该方法的目标轮廓曲线在演化过程中会出现很大的变形，最终得到的轮廓曲线不规则、不理想。为了解决这一问题，提出了一种引入椭圆形状约束的水平集函数，得到了理想的目标轮廓。由于水雷目标形状比较规则，因此采用形状保持主动轮廓模型，对水平集函数加入水雷目标的形状约束。本文研究的水雷接近矩形，但是矩形在演化过程中具有不稳定性，因此采用超椭圆曲线来逼近矩形。

[0061] 超椭圆是以椭圆为基础扩大指数取值范围而扩展成的一族曲线。标准超椭圆的表达式为：

$$[0062] \quad \left(\frac{x^2}{a^2}\right)^s + \left(\frac{y^2}{b^2}\right)^s = 1 \quad (1)$$

[0063] 式中， a 、 b 、 s 均为大于零的实数。从方程(7)可以看出，超椭圆是在相应的椭圆方程中，通过允许 x 和 y 项的指数 s 变化，而得到一系列的封闭曲线。

[0064] 当 $s \rightarrow \infty$ 时，超椭圆成为矩形，但从图2可以看出，当 $s=2$ 时，超椭圆已经基本接近矩

形,只是在转角处有轻微的曲线过渡,这并不影响对水雷目标的识别,因此可以用来作为水雷目标识别的形状约束条件。

[0065] 综合考虑声呐图像中水雷目标的具体形状和实现时算法的复杂程度,本文采用 $s=2$ 的超椭圆曲线,对(1)式加入平移、缩放和旋转参数,得到 $s=2$ 超椭圆的表达式:

$$[0066] \quad \frac{((x-x_0)\cos\theta+(y-y_0)\sin\theta)^4}{a^4} + \frac{(-(x-x_0)\sin\theta+(y-y_0)\cos\theta)^4}{b^4} = 1 \quad (2)$$

[0067] 式中, (x_0, y_0) 为超椭圆中心的坐标, a, b 分别为超椭圆的长轴和短轴, θ 为超椭圆的旋转角度。

[0068] 根据水平集函数的定义,得到超椭圆的水平集函数为:

[0069]

$$\varphi = 1 - \left[\frac{((x-x_0)\cos\theta+(y-y_0)\sin\theta)^4}{a^4} + \frac{(-(x-x_0)\sin\theta+(y-y_0)\cos\theta)^4}{b^4} \right] \quad (3)$$

[0070] 按照水平集函数的定义,单个的水平集函数只能把图像分为背景区域与一个同质目标区域。由声呐图像的灰度分布可知,声呐图像分为背景区、目标区和声影区,因此需要利用多相水平集,引入另一个水平集函数。假设目标区和声影区都在超椭圆的内部,并且以超椭圆的长轴为界,则只需将超椭圆的长轴作为另一个水平集函数的零水平集即可将目标区和声影区分开,因此得到另一个水平集函数的表达式:

$$[0071] \quad \varphi_1 = \begin{cases} (x-x_0)\cos\theta+(y-y_0)\sin\theta, a < b \\ -(x-x_0)\sin\theta+(y-y_0)\cos\theta, a > b \end{cases} \quad (4)$$

[0072] 引入 φ 和 φ_1 两个水平集函数后,将声呐图像分为三个区域。当 $\varphi < 0$ 时表示声呐图像的背景区,当 $\varphi > 0$ 且 $\varphi_1 > 0$ 时表示声呐图像的目标区,当 $\varphi > 0$ 且 $\varphi_1 < 0$ 时表示声呐图像的声影区。

[0073] 2超椭圆约束的多相水平集主动轮廓模型的能量函数

[0074] C-V模型的能量函数分为两项,分别表示了轮廓曲线内部和外部的灰度方差,演化的最终目标是使曲线内外的灰度方差同时达到最小。在C-V模型的基础上,根据声呐图像的灰度分布特点,对能量函数进行改进。

[0075] 在声呐图像中,目标区、声影区和背景区之间的灰度值有明显的差别,而各个区域内部的灰度值分布比较均匀,因此将三个区域的灰度方差同时达到最小作为能量函数的演化目标。在整幅图像中,目标区和声影区的亮暗对比度最大,因此加入两者的灰度均值之差最大作为演化目标。最后,得到能量函数的表达式:

[0076]

$$F(\varphi, \varphi_1, c_{11}, c_{12}, c_2) = \iint_{\Omega} (u_0 - c_{11})^2 H(\varphi) H(\varphi_1) dx dy + \iint_{\Omega} (u_0 - c_{12})^2 H(\varphi) (1 - H(\varphi_1)) dx dy \\ + \iint_{\Omega} (u_0 - c_2)^2 (1 - H(\varphi)) dx dy + \iint_{\Omega} \frac{1}{1 + (c_{11} - c_{12})^2} H(\varphi) dx dy \quad (5)$$

[0077] 其中, c_{11} 为目标区的灰度均值, c_{12} 为声影区的灰度均值, c_2 为背景区的灰度均值, $H(\varphi)H(\varphi_1)$ 表达了目标区域, $H(\varphi)(1-H(\varphi_1))$ 表达了声影区域, $(1-H(\varphi))$ 表达了背景区域, $H(\varphi)$ 表达了整个超椭圆的内部区域,包括目标区和声影区。

[0078] 3形状保持主动轮廓模型的求解

[0079] 下面分两步最小化(5)式:

[0080] 第一步:把 φ 和 φ_1 当作常量,方程(5)两边分别对 c_{11} 、 c_{12} 和 c_2 进行求导,第四项可以

当作常数项不予考虑,并令 $\frac{\partial F}{\partial c_{11}}=0$, $\frac{\partial F}{\partial c_{12}}=0$, $\frac{\partial F}{\partial c_2}=0$,得:

$$[0081] \quad c_{11}(\varphi, \varphi_1) = \frac{\iint_{\Omega} u_0 H(\varphi) H(\varphi_1) dx dy}{\iint_{\Omega} H(\varphi) H(\varphi_1) dx dy} \quad (6)$$

$$[0082] \quad c_{12}(\varphi, \varphi_1) = \frac{\iint_{\Omega} u_0 H(\varphi) (1-H(\varphi_1)) dx dy}{\iint_{\Omega} H(\varphi) (1-H(\varphi_1)) dx dy} \quad (7)$$

$$[0083] \quad c_2(\varphi) = \frac{\iint_{\Omega} u_0 (1-H(\varphi)) dx dy}{\iint_{\Omega} (1-H(\varphi)) dx dy} \quad (8)$$

[0084] 第二步:把 c_{11} 、 c_{12} 和 c_2 当作常量,方程(5)两边分别对 φ 和 φ_1 进行求导,并令

$\frac{\partial F}{\partial \varphi}=0$, $\frac{\partial F}{\partial \varphi_1}=0$,得:

[0085]

$$\begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial \varphi} = & \iint_{\Omega} (u_0 - c_{11})^2 \delta(\varphi) H(\varphi_1) dx dy + \iint_{\Omega} (u_0 - c_{12})^2 \delta(\varphi) (1-H(\varphi_1)) dx dy \\ & - \iint_{\Omega} (u_0 - c_2)^2 \delta(\varphi) dx dy + \iint_{\Omega} \frac{1}{1+(c_{11}-c_{12})^2} \delta(\varphi) dx dy = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

[0086]

$$\frac{\partial F}{\partial \varphi_1} = \iint_{\Omega} (u_0 - c_{11})^2 H(\varphi) \delta(\varphi_1) dx dy - \iint_{\Omega} (u_0 - c_{12})^2 H(\varphi) \delta(\varphi_1) dx dy = 0 \quad (10)$$

[0087] 由(3)式和(4)式可知, φ 和 φ_1 都是变量 x_0 、 y_0 、 a 、 b 、 θ 这五个参数的函数,因此可以将对水平集函数的演化转换为对这五个参数的变化。将(3)式的水平集函数对上述五个参数求偏微分得到偏微分方程:

$$[0088] \quad \begin{cases} \frac{\partial \varphi}{\partial a} = 4 \frac{A^4}{a^5} \\ \frac{\partial \varphi}{\partial b} = 4 \frac{B^4}{b^5} \\ \frac{\partial \varphi}{\partial x_0} = 4 \left(\frac{A^3}{a^4} \cos \theta - \frac{B^3}{b^4} \sin \theta \right) \\ \frac{\partial \varphi}{\partial y_0} = 4 \left(\frac{A^3}{a^4} \sin \theta + \frac{B^3}{b^4} \cos \theta \right) \\ \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} = 4 \left(-\frac{A^3 B}{a^4} + \frac{B^3 A}{b^4} \right) \end{cases} \quad (11)$$

[0089] 其中, $A=(x-x_0)\cos\theta+(y-y_0)\sin\theta$, $B=-(x-x_0)\sin\theta+(y-y_0)\cos\theta$ 。

[0090] 对(4)式求偏微分需要分两种情况:

[0091] 当 $a < b$ 时,

$$[0092] \begin{cases} \frac{\partial \varphi_1}{\partial x_0} = -\cos\theta \\ \frac{\partial \varphi_1}{\partial y_0} = -\sin\theta \\ \frac{\partial \varphi_1}{\partial \theta} = -(x-x_0)\sin\theta + (y-y_0)\cos\theta \end{cases} \quad (12)$$

[0093] 当 $a > b$ 时,

$$[0094] \begin{cases} \frac{\partial \varphi_1}{\partial x_0} = \sin\theta \\ \frac{\partial \varphi_1}{\partial y_0} = -\cos\theta \\ \frac{\partial \varphi_1}{\partial \theta} = -(x-x_0)\cos\theta - (y-y_0)\sin\theta \end{cases} \quad (13)$$

[0095] 将(5)式对 x_0, y_0, a, b, θ 五个参数求偏微分, 然后引入时间 t , 利用梯度下降法, 得到参数演化方程:

[0096] 当 $a < b$ 时,

$$[0097] \begin{cases} \frac{\partial a}{\partial t} = M \cdot \delta(\varphi) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial a} \\ \frac{\partial b}{\partial t} = M \cdot \delta(\varphi) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial b} \\ \frac{\partial x_0}{\partial t} = M \cdot \delta(\varphi) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial x_0} + W \cdot \delta(\varphi_1) \cdot (-\cos\theta) \\ \frac{\partial y_0}{\partial t} = M \cdot \delta(\varphi) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial y_0} + W \cdot \delta(\varphi_1) \cdot (-\sin\theta) \\ \frac{\partial \theta}{\partial t} = M \cdot \delta(\varphi) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} + W \cdot \delta(\varphi_1) \cdot B \end{cases} \quad (14)$$

[0098] 当 $a > b$ 时,

$$[0099] \begin{cases} \frac{\partial a}{\partial t} = M \cdot \delta(\varphi) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial a} \\ \frac{\partial b}{\partial t} = M \cdot \delta(\varphi) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial b} \\ \frac{\partial x_0}{\partial t} = M \cdot \delta(\varphi) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial x_0} + W \cdot \delta(\varphi_1) \cdot \sin\theta \\ \frac{\partial y_0}{\partial t} = M \cdot \delta(\varphi) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial y_0} + W \cdot \delta(\varphi_1) \cdot (-\cos\theta) \\ \frac{\partial \theta}{\partial t} = M \cdot \delta(\varphi) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} + W \cdot \delta(\varphi_1) \cdot (-A) \end{cases} \quad (15)$$

[0100] 在式(14)、(15)中,

$$M = -\iint_{\Omega} (u_0 - c_{11})^2 H(\varphi_1) dx dy - \iint_{\Omega} (u_0 - c_{12})^2 (1 - H(\varphi_1)) dx dy$$

$$+ \iint_{\Omega} (u_0 - c_2)^2 dx dy - \iint_{\Omega} \frac{1}{1 + (c_{11} - c_{12})^2} dx dy \quad (16)$$

$$W = -\iint_{\Omega} (u_0 - c_{11})^2 H(\varphi) dx dy + \iint_{\Omega} (u_0 - c_{12})^2 H(\varphi) dx dy \quad (17)$$

[0103] 4实验结果

[0104] 利用matlab语言编程对本文的方法进行实验验证,为了对比,给出原始C-V模型的演化结果和加入椭圆约束的C-V模型试验结果。

[0105] 图3是用原始C-V模型对声呐图像进行迭代的结果。从结果可以看出,由于声呐图像受到比较严重的噪声影响,在图3中噪声比较大的地方也被识别为目标而被轮廓线包裹;由于目标受到噪声污染严重导致边缘受损,使包裹目标的轮廓线很不光滑。

[0106] 图4为利用基于椭圆形状约束的C-V模型演化的结果。该方法得到的水雷目标轮廓线比较光滑,在目标边缘受到污染时仍能够得到较好的实验结果。但是该方法的缺点是,在演化过程中会在真值附近出现震荡的现象。分析其原因是因为水雷目标是柱形的,而椭圆的两端比较尖锐,因此会出现真值不唯一的情况。该方法的另一个缺点是没有把水雷目标的声影区作为识别水雷的特征,得到的结果会出现误识的现象。

[0107] 图5为利用本文提出的基于形状保持主动轮廓模型的水雷目标识别方法迭代得到的结果。从结果可以看出,在声呐图像存在海底噪声的情况下,本文的方法能够准确的找到待识别的水雷目标,具有较好的抗噪性能。由于我们把目标的阴影也作为目标的一部分进行识别,因此得到的轮廓曲线包裹了水雷目标及其声影区。由于对水平集函数加入了形状约束,因此得到的轮廓是光滑的超椭圆,具有抗变形性能。

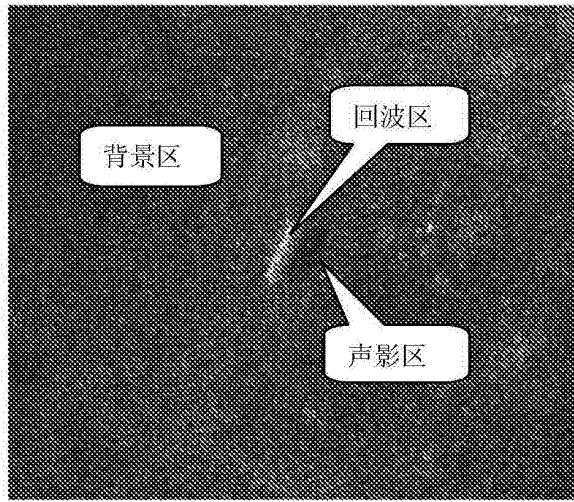


图1

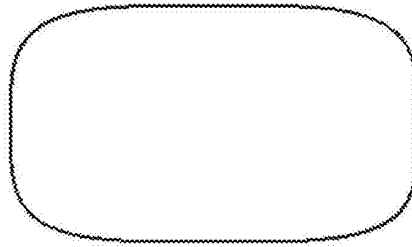


图2

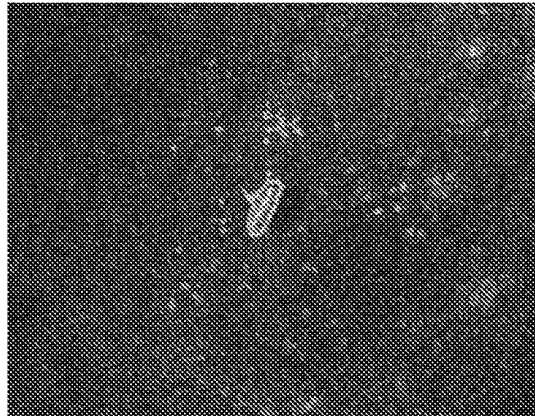


图3



图4



图5