



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113963171 A

(43) 申请公布日 2022. 01. 21

(21) 申请号 202111058860.7

G06V 10/762 (2022.01)

(22) 申请日 2021.09.09

G06K 9/00 (2022.01)

G06K 9/62 (2022.01)

(71) 申请人 武汉长江航道救助打捞局

G01S 15/89 (2006.01)

地址 430000 湖北省武汉市江岸区洞庭街  
50-2号

G01S 7/539 (2006.01)

申请人 长江武汉航道工程局 武汉大学

(72) 发明人 查文富 王爱学 万一峰 邹礼荣

吴昊 毕文焕 吴振磊 黄晶晶

车远超 王彬 黄淼 康路遥

张莹 张亮 罗荣

(74) 专利代理机构 武汉知产时代知识产权代理  
有限公司 42238

代理人 魏波

(51) Int. Cl.

G06V 10/44 (2022.01)

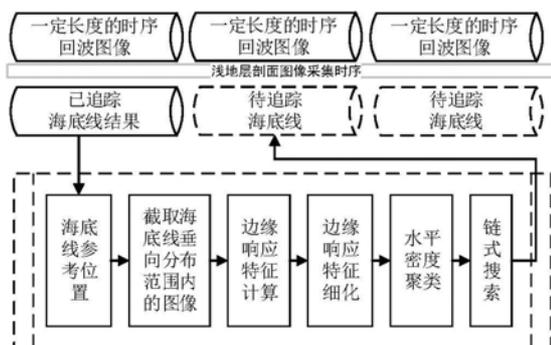
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

一种浅地层剖面声呐图像海底线自动识别的方法和系统

(57) 摘要

本发明提供了一种浅地层剖面声呐图像海底线自动识别的方法和系统,方法综合考虑了浅地层剖面声呐图像上的海底线的边缘特征属性和空间分布属性,利用特定的边缘特征提取算子凸显浅地层剖面图像上的边缘特征,采用带有水平方向倾向的极大值抑制方法细化边缘特征,并基于密度聚类算法和特定的搜索策略,实现了浅地层剖面图像海底线的自动准确识别与跟踪。克服了传统阈值法和时序滤波算法抗噪性低、难以处理持续性水体干扰问题,可在航、高效、高可靠自动识别和跟踪浅地层剖面图像的海底线特征。



1. 一种浅地层剖面声呐图像海底线自动识别的方法,其特征在于,所述方法包括:  
采集浅地层剖面的声呐图像;  
将所述浅地层剖面的声呐图像表示为图像函数:

$$I(x, y)$$

其中, $x$ 为水平方向, $y$ 为垂直方向, $I$ 表示图像函数;

根据所述图像函数获取所述声呐图像的边缘响应特征;

对所述边缘响应特征降噪,获得降噪边缘响应特征;

根据所述降噪边缘响应特征确定边缘响应特征函数,所述边缘响应特征函数为:

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

其中, $R_x$ 为 $x$ 方向的梯度, $R_y$ 为 $y$ 方向的梯度, $R$ 为边缘响应特征;

基于卷积函数交换律转化所述边缘响应特征函数,构建所述声呐图像的边缘响应特征卷积模板;

利用所述边缘响应特征卷积模板对所述边缘响应特征进行非极大值抑制,得到所述边缘响应特征的二值图;

采用水平密度聚类算法聚类所述二值图,得到边缘特征链集合;

在同一时序段内,从所述特征链集合中重复筛选最长链,并去除与选择的所述最长链有时序重叠的短链;

根据趋势原则修复所述最长链之间的缺省部分,得到完整海底线。

2. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,所述根据趋势原则修复最长链之间的缺省部分还包括:

当聚类后的长链发生断开时,根据相邻链之间的末端趋势进行短时海底线缺失修复。

3. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,根据所述降噪边缘响应值确定边缘响应特征函数步骤之前还包括:

通过高斯函数对所述声呐图像降噪。

4. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,所述利用所述边缘响应特征卷积模板对所述边缘响应特征进行非极大值抑制还包括:

根据所述梯度 $R_x$ 和 $R_y$ 计算所述边缘响应特征的梯度方向角度;

对所述声呐图像的每个像素中心的邻域按预设角度均分为预设数量的方向区域;

将所述像素中心的边缘响应值,与所述梯度方向角度对应的所述方向区域内的边缘响应值进行比较,确定像素位置是否为极大值。

5. 如权利要求4所述的方法,其特征在于,所述确定像素位置是否为极大值还包括:

若所述像素中心的边缘响应值不小于所述方向邻域内的最大边缘响应值,则所述像素中心的非极大抑制结果为1。

6. 如权利要求4所述的方法,其特征在于,所述确定像素位置是否为极大值还包括:

若所述像素中心的边缘响应值小于所述方向邻域内的最大边缘响应值,则所述像素中心的非极大抑制结果为0。

7. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,所述边缘响应值为所述图像函数在海底线处沿梯度方向的一阶导数极大值。

8. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,所述根据所述图像函数,获取所述边缘响应值还包括:

通过第一表达式:

$$(\partial I(x,y)/\partial x, \partial I(x,y)/\partial y)$$

其中, $\partial$ 表示图像函数 $I(x,y)$ 分别在 $x,y$ 方向的求偏导操作;

构建所述图像函数在 $x$ 和 $y$ 方向的一阶偏导数向量,所述一阶偏导数向量的模为边缘响应值。

9. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,采用水平密度聚类算法聚类所述二值图,得到边缘特征链集合还包括:

设置长轴沿水平方向分布且纵轴沿垂向分布的长条状搜索邻域;

设置所述长条状搜索邻域的邻域参数,对所述细化响应边缘特征进行水平密度聚类,得到所述边缘特征链集合。

10. 一种浅地层剖面声呐图像海底线自动识别的系统,其特征在于,所述系统包括存储模块和执行模块,所述存储模块用于存储如权利要求1-8任一所述的一种浅地层剖面声呐图像海底线自动识别的方法,所述执行模块用于调取所述存储模块中的方法并执行所述方法的具体步骤。

## 一种浅地层剖面声呐图像海底线自动识别的方法和系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及水下声呐测图方法和数据自动化处理技术领域,具体涉及一种浅地层剖面声呐图像海底线自动识别的方法和系统。

### 背景技术

[0002] 浅地层剖面声呐竖直向下发射窄开角声脉冲,声波经水体扩展至床表以下几米至几十米的浅地层,并在传播介质阻抗发生明显改变的地方产生较强的反射回波,进而被换能器接收。单次声波发生和接收,形成一道沿垂向分布的回波序列信号,浅地层剖面声呐在走航过程中不断发射声波和接收回波,进而形成一幅沿航行轨迹方向上的浅地层剖面回波图像。声波在水体和床表的界面处发生明显的强反射,在浅地层剖面图像上表现为水体弱回波区域与床表强回波区域的分界线,称为海底线。定位海底线在浅地层剖面图像上的位置,是进行浅地层剖面图像垂向几何改正和强度增益的基础。

[0003] 目前,浅地层剖面图像海底线提取主要基于阈值法,在每道垂向回波序列中,由上及下逐回波遍历,寻找第一个大于设定阈值强度的回波点,并将该回波所对应的时序位置标定为水体与海底的分界位置,将各道回波序列中确定的上述位置在水平方向上依次连接即为浅剖声呐图像的海底线。

[0004] 受复杂海洋环境、水体悬浮物等因素影响,在水体与床表界面回波返回之前,水体中也存在大量的噪声或干扰强回波,极易被阈值法判断为水体与床表的分界点,引起海底点识别错误、海底线断裂和跟踪失败,进而造成后续垂直距离改正和强度增益存在局部错误。对阈值法提取的海底线进行中值、趋势等滤波处理,一定程度上可提高海底线提取质量,但也仅限于消除零散的噪声干扰,对于持续性的作业环境干扰、多次反射等,其鲁棒性和普适性依然较差。

### 发明内容

[0005] 本发明解决的一个主要问题是传统阈值法和时序滤波算法抗噪性低、难以处理持续性水体干扰问题。

[0006] 根据本发明的一个方面,本发明提供一种浅地层剖面声呐图像海底线自动识别的方法,所述方法包括:

[0007] 采集浅地层剖面的声呐图像;

[0008] 将所述浅地层剖面的声呐图像表示为图像函数:

[0009]  $I(x, y)$

[0010] 其中, $x$ 为水平方向, $y$ 为垂直方向, $I$ 表示图像函数;

[0011] 根据所述图像函数获取所述声呐图像的边缘响应特征;

[0012] 对所述边缘响应特征降噪,获得降噪边缘响应特征;

[0013] 根据所述降噪边缘响应特征确定边缘响应特征函数,所述边缘响应特征函数为:

[0014]  $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$

- [0015] 其中,  $R_x$  为x方向的梯度,  $R_y$  为y方向的梯度,  $R$  为边缘响应特征;
- [0016] 基于卷积函数交换律转化所述边缘响应特征函数, 构建所述声呐图像的边缘响应特征卷积模板;
- [0017] 利用所述边缘响应特征卷积模板对所述边缘响应特征进行非极大值抑制, 得到所述边缘响应特征的二值图;
- [0018] 采用水平密度聚类算法聚类所述二值图, 得到边缘特征链集合;
- [0019] 在同一时段内, 从所述特征链集合中重复筛选最长链, 并去除与选择的所述最长链有时序重叠的短链;
- [0020] 根据趋势原则修复所述最长链之间的缺省部分, 得到完整海底线。
- [0021] 进一步地, 所述根据趋势原则修复最长链之间的缺省部分还包括:
- [0022] 当聚类后的长链发生断开时, 根据相邻链之间的末端趋势进行短时海底线缺失修复。
- [0023] 进一步地, 根据所述降噪边缘响应值确定边缘响应特征函数步骤之前还包括:
- [0024] 通过高斯函数对所述声呐图像降噪。
- [0025] 进一步地, 所述利用所述边缘响应特征卷积模板对所述边缘响应特征进行非极大值抑制还包括:
- [0026] 根据所述梯度  $R_x$  和  $R_y$  计算所述边缘响应特征的梯度方向角度;
- [0027] 对所述声呐图像的每个像素中心的邻域按预设角度均分为预设数量的方向区域;
- [0028] 将所述像素中心的边缘响应值, 与所述梯度方向角度对应的所述方向区域内的边缘响应值进行比较, 确定像素位置是否为极大值。
- [0029] 进一步地, 所述确定像素位置是否为极大值还包括:
- [0030] 若所述像素中心的边缘响应值不小于所述方向邻域内的最大边缘响应值, 则所述像素中心的非极大抑制结果为1。
- [0031] 进一步地, 所述确定像素位置是否为极大值还包括:
- [0032] 若所述像素中心的边缘响应值小于所述方向邻域内的最大边缘响应值, 则所述像素中心的非极大抑制结果为0。
- [0033] 进一步地, 所述边缘响应值为所述图像函数在海底线处沿梯度方向的一阶导数极大值。
- [0034] 进一步地, 所述根据所述图像函数, 获取所述边缘响应值还包括:
- [0035] 通过第一表达式:
- [0036]  $(\partial I(x,y)/\partial x, \partial I(x,y)/\partial y)$
- [0037] 其中,  $\partial$  表示图像函数  $I(x,y)$  分别在  $x, y$  方向的求偏导操作;
- [0038] 构建所述图像函数在  $x$  和  $y$  方向的一阶偏导数向量, 所述一阶偏导数向量的模为边缘响应值。
- [0039] 进一步地, 采用水平密度聚类算法聚类所述二值图, 得到边缘特征链集合还包括:
- [0040] 设置长轴沿水平方向分布且纵轴沿垂向分布的长条状搜索邻域;
- [0041] 设置所述长条状搜索邻域的邻域参数, 对所述细化响应边缘特征进行水平密度聚类, 得到所述边缘特征链集合。
- [0042] 根据本发明的另一个方面, 还公开一种浅地层剖面声呐图像海底线自动识别的系

统,其特征在于,所述系统包括存储模块和执行模块,所述存储模块用于存储如前任一所述的一种浅地层剖面声呐图像海底线自动识别的方法,所述执行模块用于调取所述存储模块中的方法并执行所述方法的具体步骤。

[0043] 本发明综合考虑了浅地层剖面声呐图像上的海底线的边缘特征属性和空间分布属性,利用特定的边缘特征提取算子凸显浅地层剖面图像上的边缘特征,采用带有水平方向倾向的极大值抑制方法细化边缘特征,并基于密度聚类算法和特定的搜索策略,实现了浅地层剖面图像海底线的准确、自动识别与跟踪。克服了传统阈值法和时序滤波算法抗噪性低、难以处理持续性水体干扰问题,可在航、高效、高可靠自动识别和跟踪浅地层剖面图像的海底线特征。

### 附图说明

[0044] 本发明构成说明书的一部分附图描述了本发明的实施例,并且连同说明书一起用于解释本发明的原理。

[0045] 图1为本发明实施例中边缘响应特征卷积模板示意图。

[0046] 图2为本发明实施例中边缘响应特征的非极大值抑制步骤示意图。

[0047] 图3为本发明实施例中海底线边缘特征的似水平密度聚类示意图。

[0048] 图4为本发明实施例中浅地层剖面图像海底线自动识别追踪流程图。

[0049] 图5为本发明实施例中浅地层剖面图像海底线自动识别追踪示例图。

### 具体实施方式

[0050] 下面将结合附图来详细描述本发明的各种示例性实施例。应注意到:除非另外具体说明,否则在这些实施例中阐述的部件和步骤的相对布置、数字表达式和数值不限制本发明的范围。

[0051] 同时,应当明白,为了便于描述,附图中所示出的各个部分的尺寸并不是按照实际的比例关系绘制的。

[0052] 以下对至少一个示例性实施例的描述实际上仅仅是说明性的,决不作为对本发明及其应用或使用的任何限制。

[0053] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白,以下结合具体实施例,并参照附图,对本发明进一步详细说明。

[0054] 对于相关领域普通技术人员已知的技术、方法和设备可能不作详细讨论,但在适当情况下,所述技术、方法和设备应当被视为授权说明书的一部分。

[0055] 在这里示出和讨论的所有示例中,任何具体值应被解释为仅仅是示例性的,而不是作为限制。因此,示例性实施例的其它示例可以具有不同的值。

[0056] 应注意到:相似的标号和字母在下面的附图中表示类似项,因此,一旦某一项在一个附图中被定义,则在随后的附图中不需要对其进行进一步讨论。

[0057] 结合图4给出的应用于浅地层剖面图像海底线自动识别追踪的流程示意图,下面详细阐述其中一个实施例的实现过程。

[0058] 步骤一,海底线参考范围的确定:

[0059] 由于浅地层剖面图像的采集是一个走航测量过程,其图像一般按从左至右形式逐

渐形成的时序图像,因此海底线的追踪也应当是一个时序追踪的过程。考虑到浅地层剖面图像垂向范围较大,可根据已追踪的海底线位置,初步确定接下来一定时序内海底线的大致范围,进而可确定海底线追踪的目标图像,如图5a。

[0060] 步骤二,边缘响应特征计算:

[0061] 根据经验海底线位置,在垂向范围内截取预追踪海底线时序内的目标图像,选择高斯函数模糊尺度值3或5,即 $\sigma=3$ 或 $\sigma=5$ 个像素,按边缘响应特征函数所给出的边缘梯度方向卷积模板,分别求目标图像各处的梯度 $R_x$ 、 $R_y$ 以及响应特征 $R$ ,如图5b。

[0062] 具体地,海底线标定了水体与床表的界限,海底线以上为水体中的弱回波,海底线以下为床表的强回波,在浅地层剖面图像上,上述特征表现为边缘特征。为了凸显上述边缘特征,因此设计专用的边缘响应特征算子。

[0063] 首先将浅地层剖面图像记作 $I(x, y)$ , $x$ 、 $y$ 分别为水平和垂直方向,海底线对应的边缘特征表现为近似平行 $x$ 方向分布的阶跃信号,此时,图像函数 $I$ 在海底线处沿梯度方向具有一阶导数极大值,该极大值即为预寻找的边缘响应值。

[0064] 具体地,可通过求偏导公式 $(\partial I(x, y)/\partial x, \partial I(x, y)/\partial y)$ 构建图像函数在 $x$ 和 $y$ 方向的一阶偏导数向量 $(R_x, R_y)$ ,其模即为边缘响应值。另外考虑图像噪声特性,可通过高斯函数削弱噪声影响,进而可确定边缘响应特征函数 $R$ :

$$[0065] \quad R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad (1)$$

[0066] 其中, $R_x$ 为 $x$ 方向的梯度, $R_y$ 为 $y$ 方向的梯度, $R$ 为边缘响应特征;

$$[0067] \quad R_x = G(x, y, \sigma) * \frac{\partial I(x, y)}{\partial x} = \frac{\partial G(x, y, \sigma)}{\partial x} * I(x, y) \quad (2)$$

$$R_y = G(x, y, \sigma) * \frac{\partial I(x, y)}{\partial y} = \frac{\partial G(x, y, \sigma)}{\partial y} * I(x, y)$$

[0068] 其中 $\sigma$ 为高斯函数的模糊尺度,

[0069] 再根据卷积函数的交换律,式(1)中边缘响应特征函数转化为高斯函数 $G(x, y, \sigma)$ 在 $Y$ 方向的偏导数与原图像的卷积,尺度参数 $\sigma$ 可根据成图分辨率需要调整,参考范围为3~7。由此构建出浅地层剖面图像的边缘响应特征卷积模板,如图1所示,其中边缘响应特征卷积模板中灰色网格中每个网格代表一个回波采样或像素。

[0070] 步骤三,边缘响应特征细化:

[0071] 根据上步计算的 $R_x$ 、 $R_y$ 分别计算目标图像各处的边缘梯度方向,对目标图像各处的边缘响应特征 $R$ 进行非极大值抑制,细化形成边缘特征的二值图像,如图5c。

[0072] 具体地,通过式(1)构建的卷积模板处理,可获得浅地层剖面图像各处的沿 $x$ 和 $y$ 方向的梯度 $R_x$ 、 $R_y$ 以及响应特征 $R$ ,由于卷积核的边缘模糊性,上述梯度响应沿垂直海底线方向上呈现高斯分布,为了快速细化海底线特征,对边缘响应特征进行非极大值抑制,实现边缘响应特征的细化。根据式(1)中各处的沿 $x$ 和 $y$ 方向的梯度 $R_x$ 和 $R_y$ 求回波的梯度方向角度 $\theta$ 为:

$$[0073] \quad \theta = \arctan(R_y/R_x) \quad (3)$$

[0074] 以每个像素为中心,根据其邻域按 $45^\circ$ 均分为8个方向,并根据式(3)所求的梯度方向角度,进而与对应邻域的梯度进行比较,以确定各像素位置是否为极大值。如图2所示,图中C像素的梯度方向 $\theta=65^\circ$ ,其梯度方向分布在 $22.5^\circ \sim 67.5^\circ$ 和 $202.5^\circ \sim 247.5^\circ$ 之间,极大

值抑制处理时,需将C处边缘响应值与其②和⑥号邻域内的边缘响应值进行比较:

[0075] 若C处的边缘响应 $R \geq \max(R_{②}, R_{⑥})$ ,记 $TC=1$ ;

[0076] 若C处的边缘响应 $R < \max(R_{②}, R_{⑥})$ ,记 $TC=0$ ;

[0077] 上述操作中, $R_{②}$ 和 $R_{⑥}$ 分别为②和⑥号邻域的边缘响应值,TC为C处的非极大值抑制结果。对每个像素位置进行上述操作,最终可形成细化的、二值化的边缘响应特征图像T。

[0078] 步骤四,边缘特征水平密度聚类:

[0079] 采用密度聚类方法实现海底线的初步筛选,合理设置邻域长轴 $\varepsilon_h$ 、邻域纵轴 $\varepsilon_v$ 、海底特征个数阈值TN等搜索邻域参数,对细化的边缘特征二值图像进行水平密度聚类,形成一系列边缘特征链集合,如图5d。

[0080] 具体地,经过前述步骤的处理,将凸显浅地层剖面图像上的各种边缘信息,但并不是所有的边缘信息均为海底线对应的边缘。考虑到海底线特征沿横向呈近似水平分布,即海底线沿水平方向上密集分布,因此,可采用密度聚类方法实现海底线的初步筛选。

[0081] 为了凸显水平方向海底线特征,设置长条状搜索邻域实现密度聚类,邻域形状如图3所示,邻域长轴 $\varepsilon_h$ 沿水平方向分布, $\varepsilon_v$ 沿垂向分布,每次邻域搜索时,当邻域内搜索的海底特征个数大于阈值TN时,邻域内搜索到的所有特征点聚为一类,由于邻域间的重叠性,相邻邻域内的同一线状特征点合并为一类,依此可实现将离散特征的聚类成链效果。

[0082] 上述聚类过程,涉及的各项参数应满足: $\varepsilon_v$ 参考值为1~5个像素;且 $\varepsilon_h > \varepsilon_v$ , $\arctan(\varepsilon_v/\varepsilon_h)$ 为聚类过程对海底线垂向变化的容许程度;TN取值范围为 $\varepsilon_h$ 的0.5~0.8倍。

[0083] 步骤五,链搜索形成海底线追踪结果:

[0084] 基于长链原则,从边缘特征链集合中挑选出最长链,将其作为海底线的一部分;同时,从剩余的特征链集合中去除与当前挑选的长链有时序重叠的短链。依此重复上述挑选过程,直到所挑选的长链在时序上基本覆盖目标图像的宽度或边缘特征链集合为空。最后,根据趋势原则,修复已筛选的长链之间的缺省部分,进而形成最终的海底线结果,如图5e。

[0085] 在一些实施例中,由于作业工况和海底地形的复杂性,实际海底线特征并非均匀变化,海底线可能产生断裂、缺失情况,其它近似水平分布的边缘特征也可能被识别为海底线特征。为了从聚类形成的链状特征中选择最终的海底线,需要建立海底线搜索策略,综合考虑海底线的特点,具体给出如下两个链式搜索策略:

[0086] 长链原则:浅地层剖面作业时一般工况条件稳定,海底地形变化缓慢,海底线对应的边缘特征多平缓变化。因此,聚类成链时,海底线特征多为长链,同一时序段内,选择最长链作为海底线,与其具有时间重叠的短链均可排除,重复进行挑选步骤,直到得到满足条件的初步海底线。

[0087] 基于趋势原则,当长链之间发生断开时,可以根据相邻链之间末端趋势进行短时海底线缺失修复,从而获得最终想要的目标海底线。

[0088] 本发明顾及了海底线在水平方向上的聚类特性,充分考虑了海底线特征的空间分布趋势,克服了传统阈值法和时序滤波算法抗噪性低、难以处理持续性水体干扰问题,可在航、高效、高可靠自动识别和跟踪浅地层剖面图像的海底线特征。

[0089] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用于限制本发明,凡在本发明的精神和原则范围之内所作的任何修改、等同替换以及改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

[0090] 还需要说明的是,术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含,从而使得包括一系列要素的过程、方法、商品或者设备不仅包括那些要素,而且还包括没有明确列出的其他要素,或者是还包括为这种过程、方法、商品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下,由语句“包括一个……”限定的要素,并不排除在包括要素的过程、方法、商品或者设备中还存在另外的相同要素。

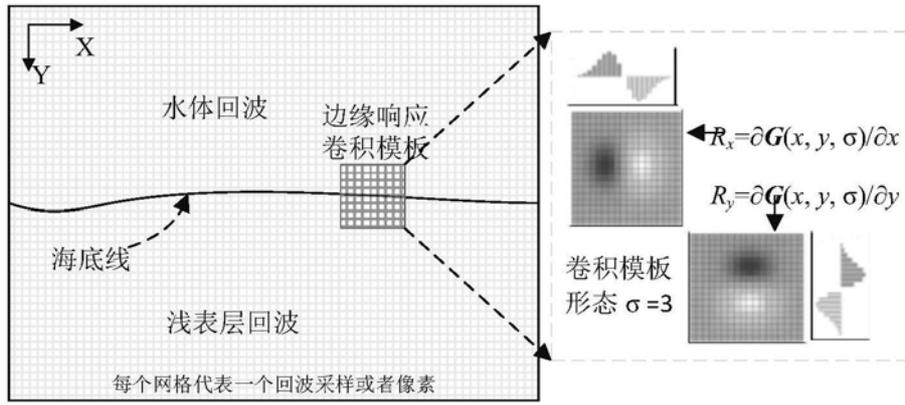


图1

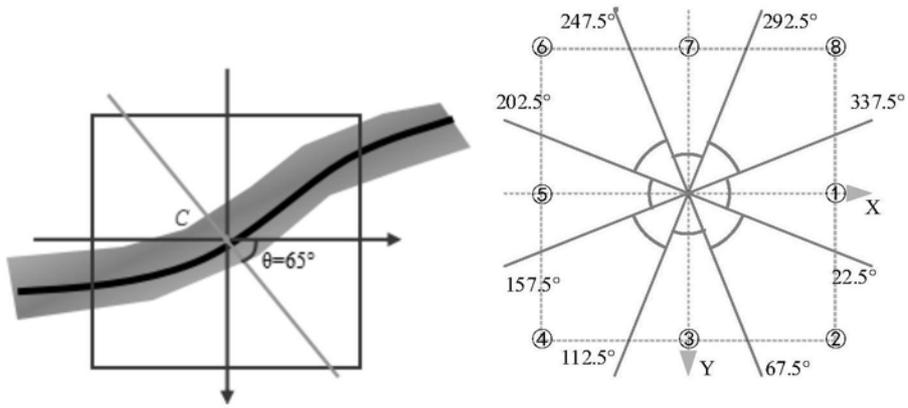


图2

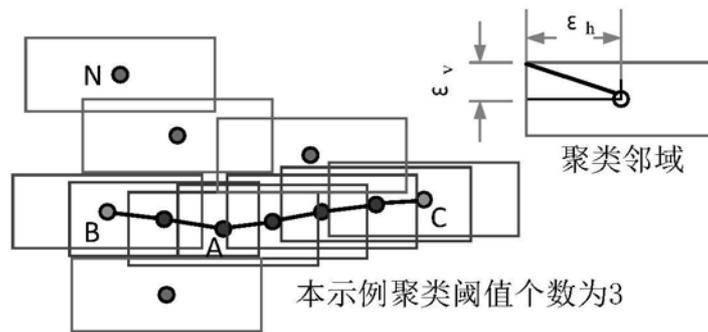


图3

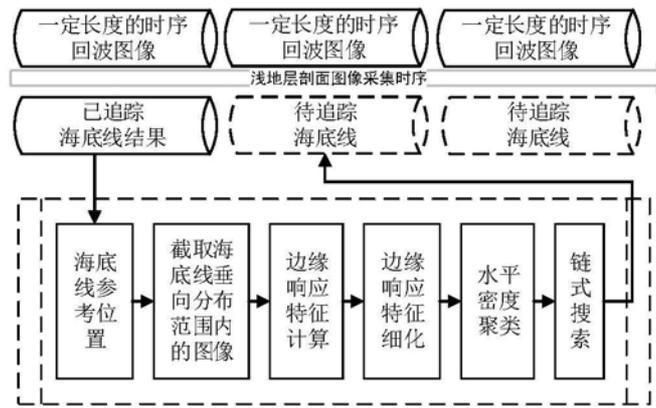
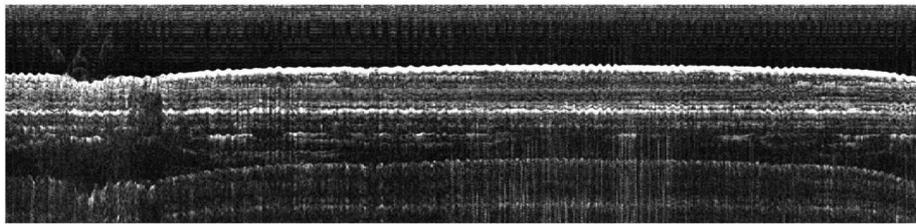
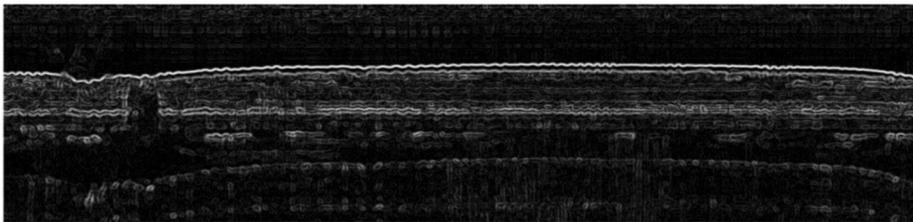


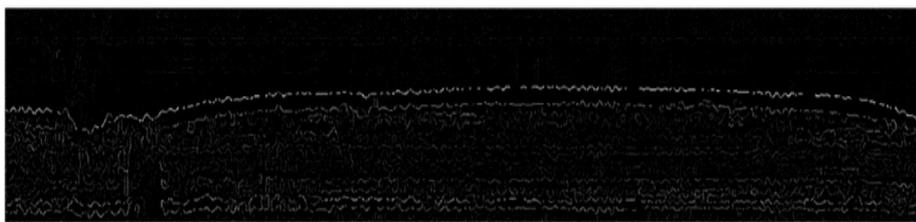
图4



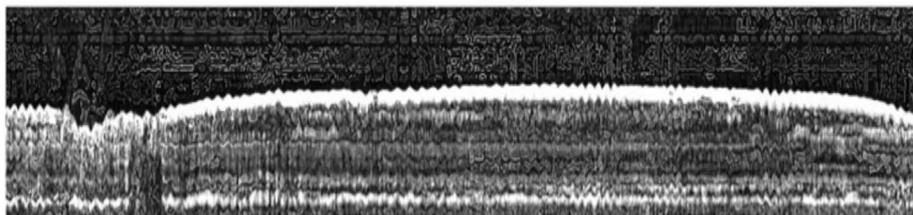
a



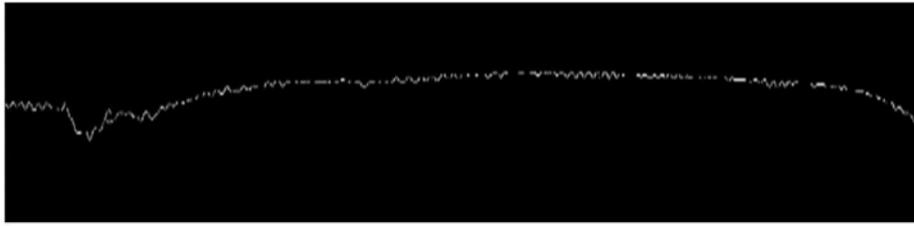
b



c



d



e

图5