

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 97195905.6

[43]公开日 1999年8月18日

[11]公开号 CN 1226318A

[22]申请日 97.5.13 [21]申请号 97195905.6

[30]优先权

[32]96.6.27 [33]US[31]08/671,061

[86]国际申请 PCT/US97/08054 97.5.13

[87]国际公布 WO97/50007 英 97.12.31

[85]进入国家阶段日期 98.12.25

[71]申请人 I/O 探测产品(美国)公司

地址 美国得克萨斯

[72]发明人 瓦西里斯·尼古拉斯·吉卡斯

保罗·安东尼·克罗斯

阿夏玛·阿夸默

[74]专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所

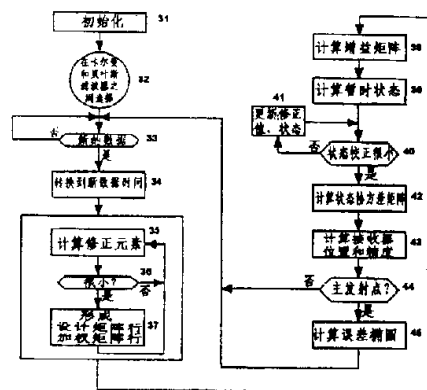
代理人 马浩

权利要求书 2 页 说明书 13 页 附图页数 6 页

[54]发明名称 定位水听器的方法

[57]摘要

一种在地震排列范围内利用带有多个测点的航测网络,计算气枪和水听器位置的方法。该网络提供多个航测观测值。多个观测值包括用来导出水听器位置的磁方位。该方法包括步骤:a)从网络得到一组观测值,每个观测值通过使用其原点系统独立于航测基准点运动的航测装置得到;及 b)形成一个设计矩阵,其中根据公共(I)模拟磁方位:



$$\alpha = [\tan^{-1}(\sum_{i=1}^n (k_i \mu^{k_i-1}) + \frac{\alpha}{2}) - magdecl - gridconv] = B + v_B \quad (1)$$

ISSN 1008-4274

权利要求书

1. 一种在地震排列范围内利用带有多个测点的航测网络，计算气枪和水听器位置的方法，该网络提供多个航测观测值，多个观测值包括用来导出水听器位置的磁方位，该方法包括步骤：

c. 从网络得到一组观测值，每个观测值通过使用其原点系统独立于航测基准点运动的航测装置得到；及

d. 形成其中根据如下公式模拟磁方位的设计矩阵：

$$\alpha = [\tan^{-1}(\sum_{k=2}^n [kc_k]^{k-1}) + \frac{\pi}{2}] - \text{magdecl} - \text{gridconv} = B + v_B$$

2. 根据权利要求1所述的方法，在形成设计矩阵的步骤之前，进一步包括把新数据转换到事件时间的步骤。

3. 根据权利要求2所述的方法，在转换步骤之后且在形成设计矩阵的步骤之前，进一步包括对于测量计算修正值和排除远离的观测值的步骤。

4. 根据权利要求3所述的方法，在形成设计矩阵的步骤之后，进一步包括求出状态向量以产生气枪和水听器的位置的步骤。

5. 根据权利要求4所述的方法，在求出状态向量的步骤之后，进一步包括计算可靠度和精度量的步骤。

6. 一种利用由航测网络得到的一组观测值，确定气枪和水听器在航测网络中的位置的方法，该方法包括步骤：

(a) 把新数据转换到事件时间；

(b) 计算对于测量的修正值和排除远离的观测值；

(c) 形成设计和随机模型；

(d) 求出状态向量；及

(e) 计算可靠度和精度量。

7. 一种处理来自运动航测网络的数据的方法，该运动航测网络带有一个源点、多个水听器点和多个测点，该方法包括：

(a) 从网络得到一组观测值，每个观测值通过使用其原点系统独立于



航测基准点运动的航测装置得到;

- (b) 把新数据转换到事件时间;
- (c) 计算对于测量的修正值和排除远离的观测值;
- (d) 形成设计和随机模型;
- (e) 求出状态向量以直接产生源和水听器位置; 及
- (f) 计算可靠度和精度量。

8. 一种在地震排列范围内利用带有多个测点的航测网络, 计算气枪和水听器位置的方法, 该网络提供多个航测观测值, 多个观测值包括用来导出水听器位置的磁方位, 该方法包括步骤:

(a) 从网络得到一组观测值, 每个观测值通过使用其原点系统独立于航测基准点运动的航测装置得到;

- (b) 把新数据转换到事件时间;
- (c) 计算对于测量的修正值和排除远离的观测值; 及

(d) 形成一个设计矩阵, 其中用于第 i 个观测的设计矩阵的元素由如下公式确定:

$$A_{i1} = \frac{\partial F_i(x)}{\partial \phi}, \quad A_{i2} = \frac{\partial F_i(x)}{\partial \lambda};$$
$$A_{i3} = \frac{\partial F_i(x)}{\partial \phi}$$

其中 $F_i(x)$ 是 i 测量的粗非线性观测公式, 而 x 是状态向量。

定位水听器的方法

本发明涉及海洋地震勘探，更具体地说，涉及一种在海洋地球物理勘探时计算声源和接收器在地震排列范围内的位置和特性测量的方法。

在海洋地震航测中，基本配置一般包含一个或多个以近似直线航行的、同时拖带多个由子阵列组成的拖缆和声源(也称为“气枪”)的船舶。每个拖缆的长度一般高达 6 公里长。拖缆带有多个声接收器(也称为“水听器”)，一般每公里 10 至 100 个。拖缆刚好被拖带在水面下。在地震勘探的过程中，船舶沿预定航线通过，故意选择方位和速度以覆盖设想的地质基层。在指定距离或时间间隔处，一般分别为 20 至 25 米和 8 至 10 秒，触发气枪，导致穿过水和透入地球地层的地震波。由地层反射和或折射的地震波的到达时间，通过位于拖缆上的水听器传感器测量。勘探问题是分别在发射和接收的的瞬时导出气枪和水听器的位置，以便在勘探区域内确定地下的地质特征。

为了确定气枪和水听器的位置，地球物理工业已经使用了大量航测装置的网络，航测装置置于地震排列范围内的已知位置处。这导致具有几百个观测点的复杂网络。在先有技术中已经使用了各种技术，如最小平方估计和扩展顺序卡尔曼滤波器，以实时处理观测。

一种解决位置问题的方法是，或多或少独立地处理每个时间历元和测量系统。例如，使用激光和声学测量来把船舶的位置传送到浮体，而前端声学使浮体与气枪和拖缆的前端有关。罗盘然后确定拖缆的形状。后端声学和尾浮标定位用来提供拖缆定向和伸展的一些控制。一般地，该过程包含罗盘的一些种类的曲线拟合运算和几种独立的最小平方网络调节，经各种数据类型迭代几次，以便在某些一般意义上最好地拟合所有的观测值。这种方法有几个缺点。第一个缺点是这种方法是高度“配置依赖的”。网络配置或测量的较小变化可能引起处理软件的巨大变化。第二个缺点是这种方法缺少分析和量化整个过程中误差传播的能力。几乎不可能描述最终



导出的位置的精度和可靠度。第三个缺点是这种方法独立地处理每个时间历元，抛弃了系统运动的先前知识。这导致导出坐标的较不准确解。

第二种解决位置问题的方法是“顺序扩展卡尔曼滤波器”技术。这种方法允许按接收的顺序混合来自各装置的不同观测，并且在航测系统内提供气枪和水听器位置的最好估计。因为它能确定和利用系统的运动，所以卡尔曼滤波能够利用不完全定义网络系统的观测。这种方法有几个缺点。第一，在卡尔曼滤波器中不能顺序处理相关的观测，如磁罗盘方位。第二，卡尔曼滤波器的效率与在每个新时间历元处添加的观测数量有很大关系。第三，大多数使用卡尔曼技术的先有方法没有直接求出气枪和水听器位置。而是，计算诸如声学节点之类装置的、索缆罗盘的、和诸如浮标之类表面基准的位置。这些位置然后与来自滤波器的校正观测一起使用，以通过内插导出地震排列范围内的感兴趣位置。

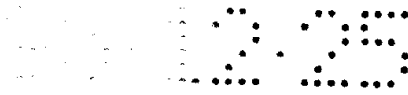
这些技术由于其效率与在每个新时间历元处添加的测量数量有关，所以计算效率不高。而且，先有技术的一些技术进行诸如磁方位之类的不相关观测，然后把观测值用于求解。然后把不相关的观测值用来得到地震排列范围内的测点坐标的最好估计。然后把最好估计用来确定气枪和水听器的位置。

因为罗盘和其他测量装置没有与水听器一起共同定位，所以在任何方法中都必须有描述拖缆形状的数学模型。况且，因为在水下环境中有多多个水动力作用在索缆上，所以索缆形状可能显著偏离名义直线。为了估计这种扭曲的形状，先有技术已经使用了几种不同的方法。

一种这样的先有技术的方法是使用作用在索缆上的水动力的物理模型。已知由船舶拖拉造成的张力、和由穿过水的索缆的阻力造成的拉力确定索缆的三维形状。船舶速度的任何变化、和海浪的任何波动、或由船舶、风力载荷或水流产生的波动，都分别意味着拖拉张力和拉力的变化。

这样一种模型仅能当作用在索缆上的外部力以适当准确度已知时采用。即使外部力的量是已知的，几个拖缆的系统也导致数学模型太复杂，并且不能灵活地建立和实现用来确定气枪和水听器位置的有用算法。

另一种估计由船拖拉时的拖缆索缆的扭曲形状的方法是，使用三次样条数学函数。三次样条给出连续的和连续可微分的曲线。尽管三次样条能



够逼近数据，但它有一个严重缺点，其系数随索缆的长度而变，并因此不能用单个方程表示。况且，三次样条对罗盘误差非常敏感，导致有完全不实际曲线的可能性。

最后，另外一种可选择的方法是使用去相关技术，由此把磁罗盘分解成切向弦方位角和距离，并且在并入网络解法之前，估计其适当的误差传播。尽管就导出有关的误差传播参数而论该方法证明更是实际，但使用磁罗盘测量值的导数去取代实际测量的罗盘观测值。

对得到气枪和水听器的最好估计坐标的改进方法的需要是存在的。

一种在地震排列范围内计算气枪和水听器位置的方法利用带有多个测点的航测网络。该网络提供多个航行观测值。多个观测包括用来导出水听器位置的磁方位。该方法包括步骤：

a. 从网络得到一组观测值，每个观测值通过使用其原点系统独立于航测基准点运动的航测装置得到；及

b. 形成一个其中根据如下公式模拟磁方位的设计矩阵：

$$\alpha - [\tan^{-1}(\sum_{k=2}^n [kc_k l^{k-1}] + \frac{\pi}{2}) - \text{magdecl} - \text{gridconv} = B + v_B .$$

在本发明的一个另外的实施例中，用加权虚观测值步骤代替忽略步骤。

在本发明的另一个特征中，一种改进的数学解法处理在一个统一系统中的不同类型观测，包括诸如磁罗盘之类的相关观测。

在本发明的另一个特征中，提供了一种不需要大矩阵求逆的高效计算方法。

在本发明的另一个特征中，直接计算在地震排列范围内的任何感兴趣点，包括气枪和水听器位置，而不使用在初始计算后的任何内插方案。

在本发明的另一个特征中，一个贝叶斯滤波器处理步骤增大本发明的计算效率，并且不依赖于无关的观测。

图 1 描绘用于所用拖缆模拟的第一参考系。

图 2 描绘来自各种多项式拖缆模型的试验结果。

图 3 描绘一个局部地形坐标系。

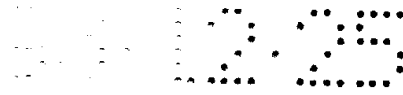


图 4 示意描绘贝叶斯滤波器算法的状态向量。

图 5 是流程图，表示本发明的方法步骤。

图 6 描述用于 i 观测的设计矩阵。

图 1 描述所用拖缆罗盘模拟的参考系。本发明使用一个产生一条曲线的“ n 阶”多项式，该曲线描述完整的拖缆形状，该多项式仅使用一组系数，并且进一步形成在索缆的每个点处连续可微分的连续曲线。多项式观测公式按如下给出：

$$B_i = a_0 + a_1 l_i + a_2 l_i^2 + \dots + a_n l_i^n \quad (1)$$

其中 B_i 是第 i 个罗盘观测； l_i 是第 i 个罗盘与其基准点的偏移； a_0, a_1, \dots, a_n 是多项式系数； n 是多项式的阶数。使用最小平方法求解这个方程系给出多项式系数的值。参照图 1，我们有

$$\theta_{(rad)} = \text{atan}(dv/du) \approx \text{atan}(dv/dl) \quad (2)$$

该公式对于 $(-1^0, 1^0)$ 中的任何 θ 成为

$$\theta_{(rad)} \approx \tan \theta = dv/du \approx dv/dl \quad (3)$$

而且对于

$$\begin{aligned} B_i > B: B_i &= B + \theta = B + (dv/dl) \\ B_i < B: B_i &= B - \theta = B + (-dv/dl) \end{aligned} \quad (4)$$

其中 θ 表示平均方位的偏差；下标 rad 表示测量单位； dv 和 dl 分别表示在 u 和 v 轴的增量罗盘偏移。

替代、积分、和重新布置以上数学公式导致：

$$v = c_0 l + c_1 l^2 + \dots + c_n l^{(n+1)} \quad (5)$$

其中：

$$c_k = a_k / (k+1), \text{ 对于 } k=0 \text{ 至 } n$$

索缆任何感兴趣点的的最终 X, Y 位置坐标用下式估计：



$$X = \cos(\alpha)l + \sin(\alpha)v \quad (6a)$$

$$Y = \sin(\alpha)l - \cos(\alpha)v \quad (6b)$$

在参照图 1、图 2、和以上方程及曲线图时，熟悉本专业的技术人员将理解，使用多项式近似是一种解决拖缆形状问题的实际方法。阶数为四或更小的多项式不能准确描述观测。在这种情况下，实际罗盘读数与由多项式预测的读数之间的差在少数情况下能超过半度。在实际中可能重要的是，索缆罗盘分辨率，而不是其准确度，能高达 0.1 度。而且，阶数大于六的多项式有时产生其特征在于斜率急剧变化的曲线，这可能显著影响最终坐标的保真度。这种现象对于靠近尾浮标的罗盘特别引人注目。

本发明使用两个数学模型，包括一个使状态向量参数与观测值相关的测量或初级模型、和一个使在历元 t_{i-1} 处的参数与在后一个历元 t_i 处的参数相关的动态或二级模型。非线性测量系统的线性形式由下式给出：

$$A_i X_i = b_i + v_i \quad (7)$$

其中 A_i 是设计矩阵， X_i 是对滤波后的状态向量的初步值的校正， b_i 是由 $L_i - F_i(X_i(+))$ 给出的观测负计算向量， v_i 表示状态向量残数，及 L 表示观测值。动态模型表示当系统随时间变化时的状态。离散的线性化形式由下式给出：

$$X_i = M_{i-1} X_{i-1} + y_{i-1} \quad (8)$$

其中 M_{i-1} 是从时间 t_{i-1} 到时间 t_i 的过渡矩阵， y_{i-1} 是从时间 t_{i-1} 到时间 t_i 的动态模型噪声。

本发明组合几个能够彼此独立和独立于船舶运动的子系统。这些子系统包括每个拖缆、枪阵、或任何辅助基准测点。每个子系统然后由一个数学模型相连，以定义完整的网络配置。

现在参照图 1，坐标系在船舶航测基准点处具有其原点， X 轴对准东方，并且由点 1 和 3 定义，而 Y 轴对准北面，由点 1 和 2 定义。这个坐标系随船舶的位置变化相对于测地地球坐标系运动。而且，在网络范围内给



出涉及的较短距离，在处理 XY 平面内的计算距离和方位时将有极小的误差。在拖缆排列的区域范围内事实上认为地球是平的。相对于固定在船舶上的装置进行一些可用的观测。为此原因，定义另一种附加于船舶的坐标系。该坐标系的原点与航测基准点重合。其 y 轴与船舶的首尾方向对准，并且由点 1 和 5 定义。其 x 轴处在水平面内，垂直于 y 轴，并且由点 1 和 4 定义。把 z 轴定义为向上垂直于 xy 平面。

最后，为了估计在每个拖缆上任何点的位置，考虑到其离开拖缆基准点的距离，引入用于排列范围内的每个拖缆的局部参考系(u,v,z)。每个拖缆的原点都在拖缆第一活动截面的头部、或已知偏移的任何其他点处。其 u 轴与索缆的主航线对准，并且其 v 轴垂直于 u 轴，并且指向右舷侧(面向前方的船的右手侧)。z 轴如此定义，从而生成的坐标系是右手坐标系。u 轴由点 6 至 14 定义，而 v 轴由点 6 至 8 定义。

现在参照图 3，点 14 至 15、和点 14 至 16 定义用于本发明方法的整个坐标网系。点 14 至 18、和点 14 至 17 定义局部船舶坐标系。点 19 至 21 和点 19 至 20 定义气枪坐标系。点 23 至 25 和点 23 至 27 定义拖缆坐标系。点 28 至 30 和点 28 至 29 定义船装激光坐标系。本发明的方法能容纳多个船舶、多个拖缆、和多个气枪。

现在参照图 4，为了实现贝叶斯滤波器，本发明的方法定义构成描述完整系统必需的最小数量的各可确定参数的状态向量。在典型航测网络的情况下，未知数包括在排列范围内的船舶位置、其运动、和每个子系统的运动。在下面，未知参数按其子系统分类。

把船舶未知数定义为对于元素的瞬时值，其中 ϕ 、 λ 表示船基准点的测地椭球坐标； $\dot{\phi}$ 、 $\dot{\lambda}$ 表示这点的瞬时速度，而 c 表示漂流角。

对于连接到船舶上的任何拖拉点的未知参数包括在状态向量中。把拖拉点位置定义为以 X、Y 坐标及其相对于其局部地形坐标系的速度分量 X、Y 表示的位置向量。通过对观测进行几何校正考虑 Z 分量。

就其参考系而论对于拖缆上任何点的拖缆未知参数由下式给出：

$$u = l \tag{9a}$$

$$v = c_2 l^2 + c_3 l^3 + \dots + c_n l^n \tag{9b}$$



把系数 c_0 设置为零，因为 v 在索缆头部处为零，其中 l 等于零。而且，与拖缆的整个取向相关的系数 c_1 是状态向量中的余数，因为认为图 3 中 u 、 v 坐标系的取向，即方向角，是坐标系中的未知数。拖缆参数因此包括多项式系数 c_i 、 v 轴的方向角 α 、和拖缆坐标参考系原点 X 、 Y 及其速度分量 X 、 Y 。

要对于每个射点估计的状态数量取决于在整个排列范围使用的浮体和拖缆的数量，以及取决于拖缆模型的多项式阶数。因而，对于包括 m_1 个浮体、 m_2 个拖缆的配置，及对于 n 阶多项式，状态向量维数将是 $5+4(m_1+m_2)+nm_2$ ，这对于两个气枪和三个拖缆的典型排列变成四十个元素。尾浮标不形成状态向量的部分，因为它们处理为拖缆的简单延伸，并且它们用来对于索缆提供整个取向和比例控制。

一旦已经辨别了不同的观测类型且清晰地定义了状态向量参数，就以观测公式的形式建立测量函数模型。观测公式是测量量与未知参数之间的基本物理和几何关系的数学表示。

作为未知参数的船舶测地位置由下式给出：

$$\phi_v = \phi + v_\phi \quad (10a)$$

$$\lambda_v = \lambda + v_\lambda \quad (10b)$$

其中 ϕ_v 、 λ_v 是未知椭球坐标， ϕ 、 λ 是船舶的观测椭球坐标，及 v_ϕ 、 v_λ 是测量残数。如果提供船舶位置的传感器定位得离航测基准点足够远，则对这点的观测由式 16、17、和 19 中给出的公式校正。

船舶的陀螺通过漂流角而与船舶的速度有关，如下所示：

$$\tan^{-1}[\dot{E}/\dot{N}] + c = H + v_H \quad (11)$$

$$\tan^{-1}[v \cos(\phi) \lambda / \rho \phi_v] + c = H + v_H \quad (12)$$

其中 H 是观测的陀螺测量值， E 是船舶瞬时向东的速度， N 是船舶瞬时向北的速度， c 是船舶的漂流角，及 v_H 是陀螺的测量残数并且：

$$v = \frac{a}{[1 - e^2 \sin^2(\varphi)]^{1/2}} \quad (13a)$$

$$\rho = \frac{a(1 - e^2)}{[1 - e^2 \sin^2(\varphi)]^{3/2}} \quad (13b)$$

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad (13c)$$

其中 a 作为基准椭球的半长轴，而 b 作为基准椭球的半短轴。

给出用于测量距离和方位角的观测公式为：

$$\sqrt{(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2 + (Z_j - Z_i)^2} = D_{ij} + v_{Dij} \quad (14)$$

$$\tan^{-1}[(X_j - X_i)/(Y_j - Y_i)] = A_{ij} + v_{ij} \quad (15)$$

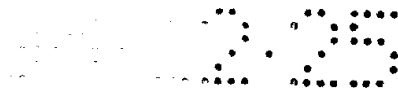
其中 X_i 、 X_j 是测点 i 和 j 的向东分量； Y_i 、 Y_j 是测点 i 和 j 的向北分量； Z_i 、 Z_j 是测点 i 和 j 的高度分量； D_{ij} 是测点 i 与 j 之间的测量距离； A_{ij} 是测点 i 与 j 之间的测量或折合方位角； v_{Dij} 和 v_{Aij} 分别是距离和方位角的测量残数的残数。测点 i 和 j 的笛卡儿坐标根据其基准子系统以不同形式表示。考虑三种情况。如果测点 i 是在船舶上的点，那么：

$$\begin{aligned} X_i &= x \cos(H) + y \sin(H) \\ Y_i &= -x \sin(H) + y \cos(H) \end{aligned} \quad (16)$$

其中 x 、 y 是装置固定在船舶上的坐标； H 是船舶的航向。假定认为船舶航向 H 不是系统中的未知数，则把它代入公式(16)中为：

$$H = \tan^{-1}[v \cos(\phi_v) \dot{\lambda} / \rho \phi_v] + c \quad (17)$$

从而观测值仅与未知参数有关。类似地，如果测点 i 是浮体阵列上的装置，



则用公式 16 和 17 首先把观测值校正到阵列的中心。在这种情况下，假定装置的取向与船舶陀螺的取向重合，并且公式 16 中的 xy 坐标也用测得的装置离开其中心的名义偏移表示。如果测点是拖缆的任何点，则为了把 X_i 、 Y_i 坐标表示为只有一个未知数的函数，其公式由下式给出：

$$\begin{aligned} X_i &= X_s + l \cos(\alpha) + \sum_{k=2}^n [c_k l^k] \sin(\alpha) \\ Y_i &= Y_s - l \sin(\alpha) + \sum_{k=2}^n [c_k l^k] \cos(\alpha) \end{aligned} \quad (18)$$

其中 X_s 、 Y_s 是拖缆基准点在 XY 坐标系中的笛卡儿坐标； α 是拖缆坐标系 (u, v) 的瞬时取向； c_k 是多项式系数； n 是多项式阶数；及 l 是测点 i 与拖缆基准点的偏移。

对于由船舶拖拉的任何浮体，除尾浮标外，观测公式如下：

$$\phi_v + \frac{Y_f}{\rho} = \lambda_f + v_{\phi_f} \quad (19a)$$

$$\lambda_v + \frac{X_f}{v \cos(\phi_v)} = \lambda_f + v_{\lambda_f} \quad (19b)$$

其中 X_f 、 Y_f 是浮体的未知笛卡儿坐标； ϕ_v 、 λ_v 是船舶的未知椭球坐标， ϕ_f 、 λ_f 是浮体的观测测地坐标；及 v_{ϕ_f} 、 v_{λ_f} 是测量残数。这些公式基于这样的假设，子午线平面内的曲率半径 ρ 、和整个排列中的最初纵向 v 都等于对于基准航测点的那些。

对于尾浮标位置，经拖缆参数导出观测公式为：

$$\phi_v + \frac{Y_s - l \sin(\alpha) + \sum_{k=2}^n [c_k l^k] \cos(\alpha)}{\rho} = \phi_{tb} + v_{\phi_{tb}} \quad (20a)$$

$$\lambda_v + \frac{X_s + l \cos(\alpha) + \sum_{k=2}^n [c_k l^k] \sin(\alpha)}{v \cos(\phi_v)} = \lambda_{tb} + v_{\lambda_{tb}} \quad (20b)$$

其中 ϕ_{tb} 、 λ_{tb} 是尾浮标测量测地坐标，及 $v_{\phi_{tb}}$ 、 $v_{\lambda_{tb}}$ 是测量残数。



对于从拖缆基准点测得的偏移 l 的罗盘观测公式，按如下给出：

$$\alpha - [\tan^{-1}(dv/du) + \pi/2] = B_{comp} + v_{comp} \quad (21)$$

其中 α 是拖缆坐标系 (u,v) 的瞬时取向； B_{comp} 是观测的罗盘方位； v_{comp} 是测量残数，并且

$$\frac{dv}{du} = \frac{d(\sum_{k=2}^n c_k l^k)}{dl} = \sum_{k=2}^n [k c_k l^{k-1}] \quad (22)$$

在把其并入滤波过程之前，对于坐标网折合罗盘观测。根据如下公式通过对它们进行磁偏角和坐标网会聚方面的校正做到这点：

$$B_{comp} = B + mag_decl + grid_conv \quad (23)$$

因此，结合公式(21)、(22)、和(23)，完整的形式是：

$$\alpha - [\tan^{-1}(\sum_{k=2}^n [k c_k l^{k-1}] + \frac{\pi}{2}) - magdecl - gridconv] = B + v_B \quad (24)$$

本发明的一个优点在于磁偏角能置于状态向量中，并且能与所有其他参数一道从测量恢复。

现在参照表示本发明方法的图 5，步骤 31 是初始化。在步骤 32，向用户提供在处理数据时使用的滤波器类型的选择。在步骤 33，把从各航测装置获得的数据记录到计算机系统中。在步骤 34，把新的航测数据的状态向量和其协方差矩阵转换到下一个时间事件，这完全根据动态模型。转换公式按如下给出：

$$\begin{aligned} x_i(-) &= M_{i-1} x_{i-1}(+) \\ C_{xi}(-) &= M_{i-1} C_{xi-1}(+) M_{i-1}^T + \\ & T_{i-1} C_{gi-1} T_{i-1}^T \end{aligned} \quad (25)$$



其中 i 指示当前时间事件, x 表示状态向量, C_x 是状态向量的协方差矩阵, M 是过渡矩阵; C_g 是用于表示动态模型的强制函数 g 的驱动噪声的协方差矩阵, g 是使动态模型不正确的向量量, 及 T 是系数矩阵、被选择成使 T_g 表示 g 对状态向量的影响。

在步骤 35, 对于测量观测值的预测残数或修正值、和其有关的协方差矩阵按如下计算:

$$\begin{aligned} v_i(-) &= b_i - A_i x_i(-) \\ C_{v_i}(-) &= C_{li} + A_i C_{xi}(-) A_i^T \end{aligned} \quad (26)$$

其中 C_l 是测量观测值的协方差矩阵, A 是表示测量量与未知量之间测地和物理关系的设计矩阵。

由在特定时间的测量值与由系统预测状态计算的测量量之差, 计算预测残数。在步骤 36, 统计和重复检查修正值, 以便排除远离的观测值。跟随向量或矩阵的符号(-)和(+)分别指示在测量更新之前或之后的时间内的场合处该向量或矩阵的值。

在步骤 37, 计算设计矩阵和加权矩阵。由于大多数观测公式的复杂性, 故从来不以分析方式导出设计矩阵。用数值方法计算矩阵的元素。

参照图 6, 给出对于一个浮体和一个拖缆的配置、及 m 个观测公式, 用于 i 观测的设计矩阵。用于 i 观测的设计矩阵的元素如下:

$$\begin{aligned} A_{i1} &= \frac{\partial F_i(x)}{\partial \phi}, & A_{i2} &= \frac{\partial F_i(x)}{\partial \lambda}; \\ A_{i3} &= \frac{\partial F_i(x)}{\partial \phi} \end{aligned} \quad (27)$$

其中 $F_i(x)$ 是 i 测量的原始非线性观测公式, 而 x 是状态向量。一旦观测 i 是可用的, 就把来自以上公式的状态向量解用来计算在时间 j 观测的数据值, 由 $F_i(x)_{ij}$ 指示。因而, 为了用数值方法计算设计矩阵的元素, 对于状态向量的每单个元素递归地计算量 $F_i(x+\delta x)_{ij}$ 。 δx 指示系统状态的微小变化。



最后, 给出相对于 i 观测的、用于状态向量的 k 元素的设计矩阵的元素 A_{ik} :

$$A_{ik} = \frac{F_i(x_k + \delta x_k)_{ij} - F_i(x_k)_{ij}}{\delta x_k} \quad (28)$$

再参照图 5, 在步骤 38 由下式计算增益矩阵:

$$C_{xi}(+) = [(C_{xi}(-))^{-1} + A_i^T C_{ii}^{-1} A_i]^{-1} \quad (29)$$

其中 K_i 是控制预测状态量和在由测量影响时的其有关协方差矩阵的增益矩阵。熟悉本专业的技术人员会理解, 与标准卡尔曼增益矩阵运算相比, 以上方法在求解增益矩阵时比较简单, 由此按如下计算它:

$$K_i = C_{x_{i-1}}(-) A_i^T [A_i C_{x_{i-1}}(-) A_i^T + W_i^{-1}]^{-1} \quad (30)$$

重要的是要认识到, 对于滤波器的任何一个循环, 在增益矩阵的计算中仅出现一次转换, 必要时转换:

$$A_i C_{x_{i-1}}(-) A_i^T + W_i^{-1}$$

该矩阵将具有等于新测量模型中观测数量的大小。

在步骤 39, 在增益矩阵的计算之后, 按如下计算暂时状态向量校正:

$$\hat{x}_i^k = \hat{x}_i(-) + G_i^{k-1} [l_i - \text{comp}(\hat{x}_i^{k-1}(+)) - \partial_x A_i^{k-1}(\hat{x}_i(-) - \hat{x}_i^{k-1}(+))] \quad (31)$$

其中 $\delta x A_i^{k-1}$ 是对于 $k-1$ 次迭代计算的设计矩阵 A_i^{k-1} 的雅可比矩阵; $l_i - \text{comp}(\hat{x}_i^{k-1}(+))$ 是 ‘观测-计算’ 向量 b_i^{k-1} 。在步骤 40、41、和 42, 迭代计算增益矩阵, 同时按如下更新修正值和其协方差矩阵:

$$\begin{aligned} v_i(-) &= b_i - A_i x_i(-) \\ C_{v_i}(-) &= C_{li} + A_i C_{x_i}(-) A_i^T \end{aligned} \quad (32)$$



在步骤 43 用公式 18 计算水听器组的坐标，而浮体中心的坐标是系统中的状态(不要求进一步计算)。在步骤 44，计算机完成发射气枪、收集数据、和计算气枪和水听器位置的循环。在步骤 45，确定计算定位的质量。

以上描述旨在说明和解释一个本发明的具体实施例。然而，熟悉本专业的技术人员，显而易见，对于所描述实施例的修改和变更是可能的，而不脱离本发明的范围和精神。打算把如下的权利要求书理解为包含所有这样的修改和变更。

说明书附图

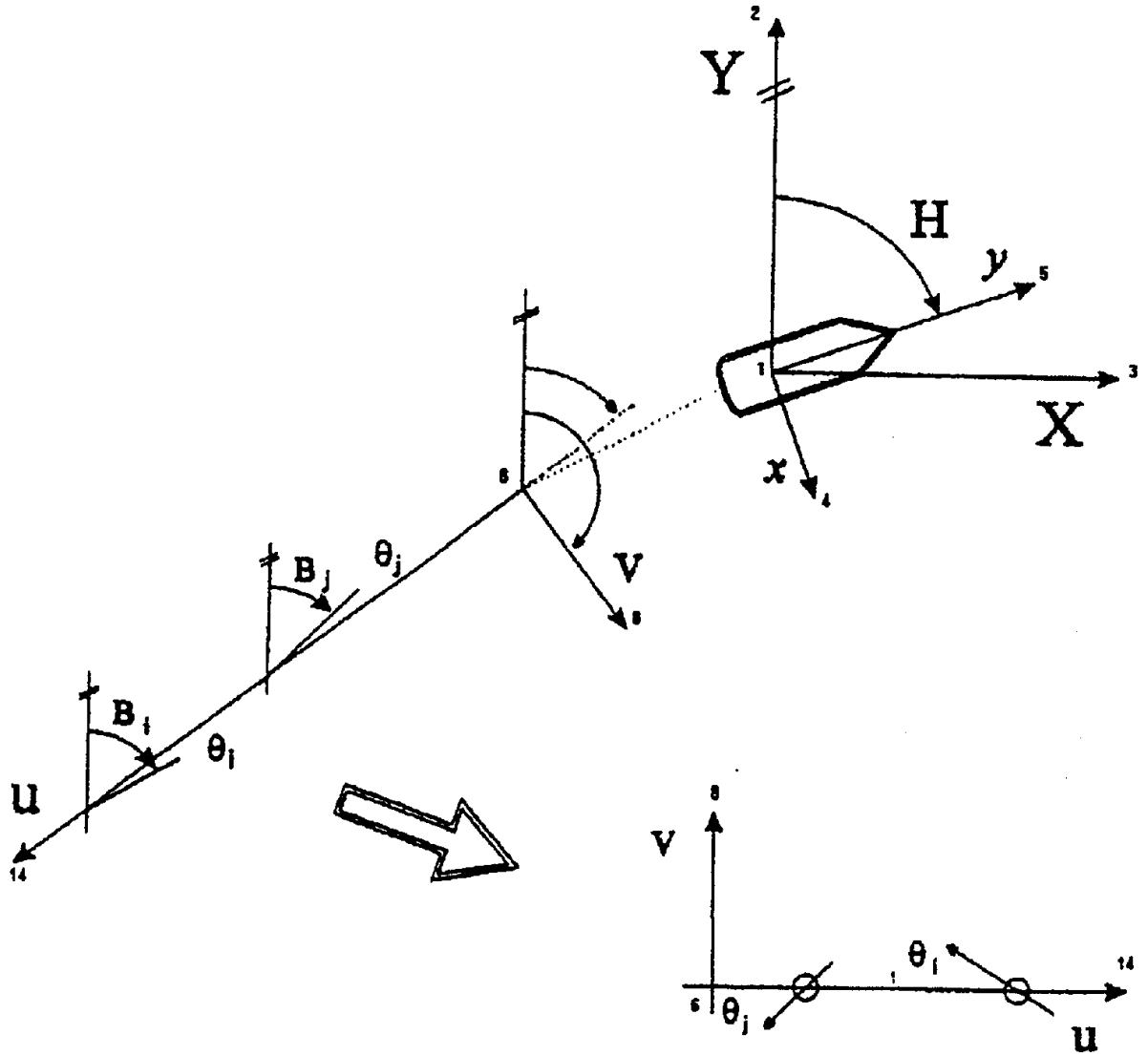
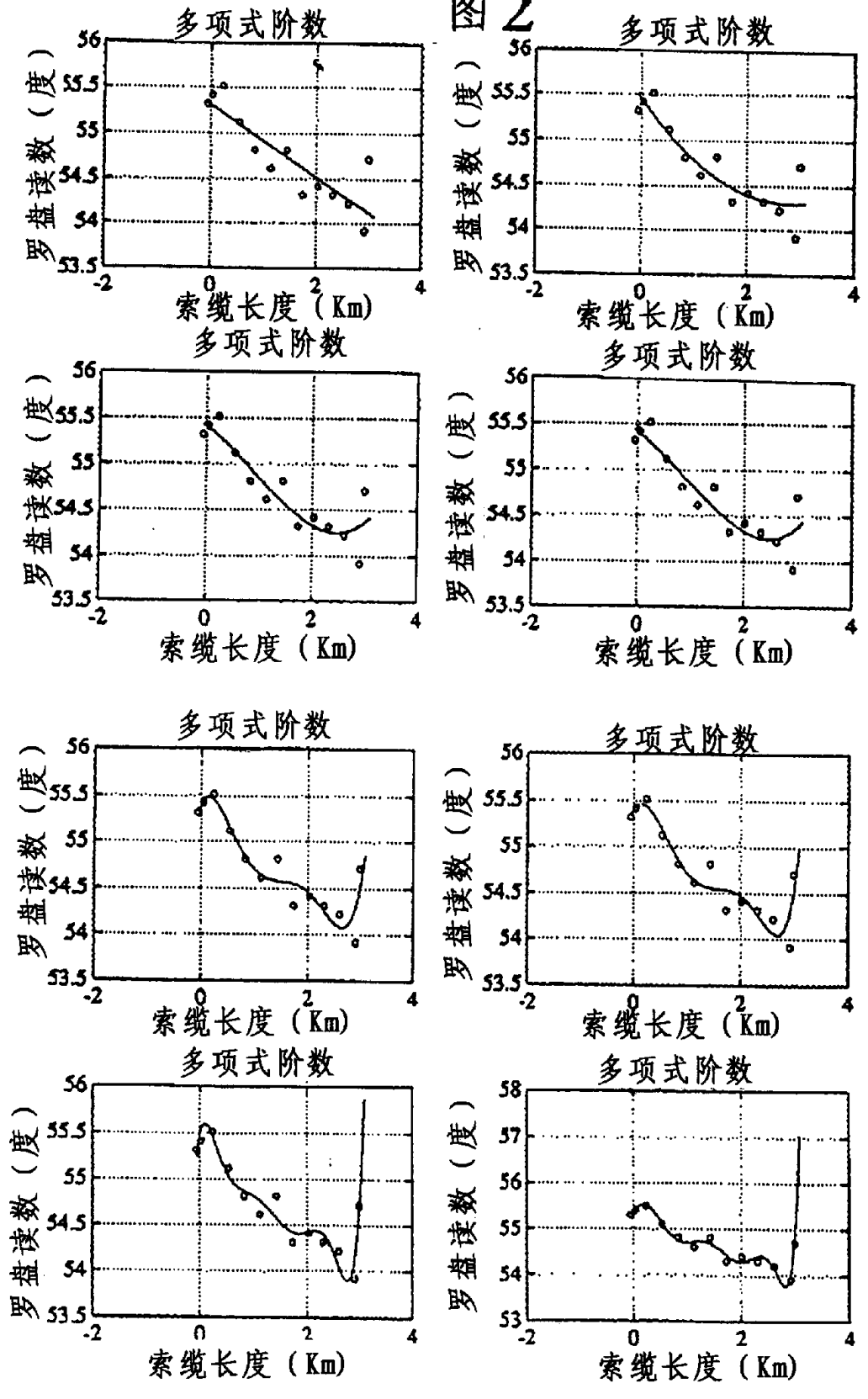


图1



图 2



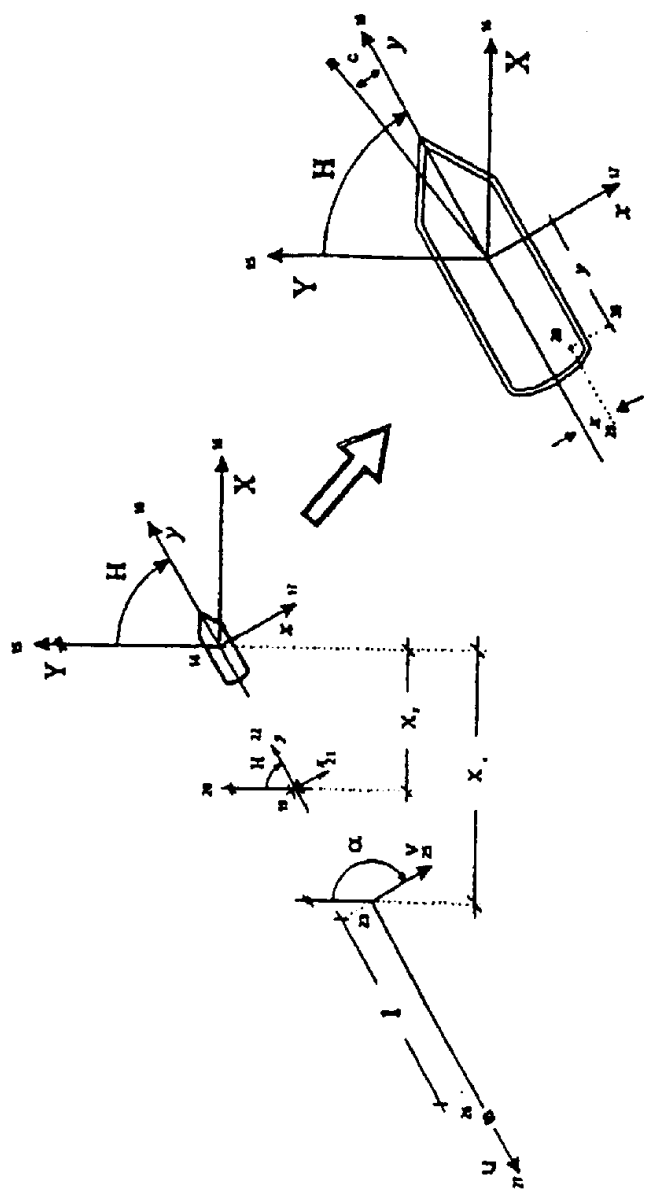
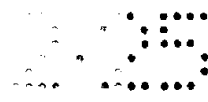


图 3



船舶	l	Φ λ ϕ λ c	
浮体	1	原点	X_n Y_n X_n Y_n
	⋮		
	m1	原点	X_{m1} Y_{m1} X_{m1} Y_{m1}
拖缆	1	原点	X_{s1} Y_{s1} X_{s1} Y_{s1}
		取向	α
		原点	C_{s11} C_{s11} C_{s11}
	⋮		
	m2	原点	X_{sm2} Y_{sm2} X_{sm2} Y_{sm2}
		取向	α
		系数	C_{sm21} C_{sm2n}

图 4

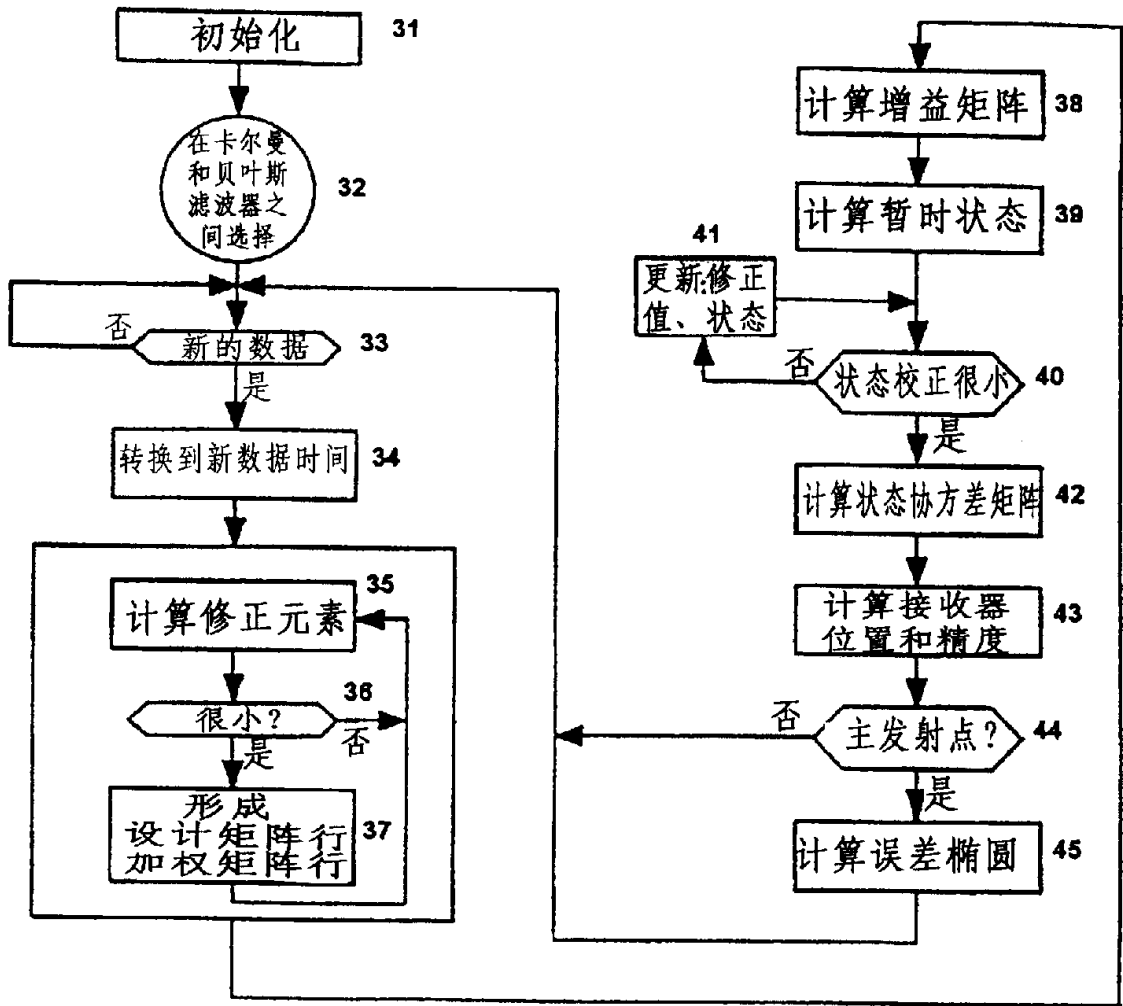


图 5

未知数

	船舶				浮体				拖缆							
	ϕ	λ	$\dot{\phi}$	$\dot{\lambda}$	X_f	Y_f	\dot{X}_f	\dot{Y}_f	X_s	Y_s	\dot{X}_s	\dot{Y}_s	α	c_2	...	c_n
^l O.	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
<i>Bi</i>	A_{11}	A_{12}	A_{13}	A_{14}	A_{15}	A_{16}	A_{17}	A_{18}	A_{19}	A_{110}	A_{111}	A_{112}	A_{113}	A_{114}	A_{115}	A_{116}
<i>S.</i> <i>m</i>	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

图6