



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103712625 A

(43) 申请公布日 2014. 04. 09

(21) 申请号 201310713137. 7

(22) 申请日 2013. 12. 23

(71) 申请人 哈尔滨工程大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区南通大街 145 号

(72) 发明人 徐博 金辰 刘杨 单为 邱立民 董海波 白金磊 陶冠时 易楚伟

(51) Int. Cl.

G01C 21/20(2006. 01)

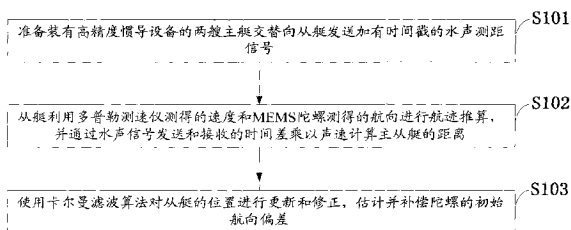
权利要求书2页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

一种估计初始航向偏差滤波的方法

(57) 摘要

本发明公开了一种估计初始航向偏差滤波的方法,该估计初始航向偏差滤波的方法包括以下步骤:准备装有高精度惯导设备的两艘主艇交替向从艇发送加有时间戳的水声测距信号;从艇利用多普勒测速仪测得的速度和 MEMS 陀螺测得的航向进行航迹推算,并通过水声信号发送和接收的时间差乘以声速计算主从艇的距离;使用卡尔曼滤波算法对从艇的位置进行更新和修正,估计并补偿陀螺的初始航向偏差。本发明通过主艇无线电广播位置信息,从艇被动接受主艇发射的无线电信号,提高了扩展性,用两主艇和一从艇可以模拟多从艇的情形;从艇安装低精度惯导设备进行推位,并通过测量和主艇的距离利用主艇的高精度惯导设备,提高了定位精度,大大降低了设备的成本。



1. 一种估计初始航向偏差滤波的方法,其特征在于,该估计初始航向偏差滤波的方法包括以下步骤:

步骤一、将所有相关设备安装在从艇上,读取 MEMS 陀螺输出航向作为静态数据并保存,一小时后,主艇设备安装完毕,三艇在水面上行驶时保持三角队形,两主艇将水声通信信号和发送时间戳交替发送给从艇,间隔 10 秒,从艇上的水声通信模块接收主艇发来的测距信息,通过水声信号发送和接收的时间差乘以声速计算主从艇的距离,利用测量的速度和航向进行航迹推算,并利用主从艇的距离作为观测量修正位置信息并估计初始航向偏差;

步骤二、建立系统方程:

$$\begin{cases} x_{k+1} = x_k + t \cdot v_k \cdot \sin(\tilde{\varphi}_k - \Delta\varphi) \\ y_{k+1} = y_k + t \cdot v_k \cdot \cos(\tilde{\varphi}_k - \Delta\varphi) \\ \Delta\varphi = \Delta\varphi \end{cases}$$

式中, x_k 、 y_k 表示从艇在 k 时刻的位置, v_k 为从艇速度, t 表示推位时间间隔, $\tilde{\varphi}_k$ 表示 MEMS 陀螺测得的航向, $\Delta\varphi$ 表示初始航向偏差,在方程中估计值修正了航向测量值 $\tilde{\varphi}_k$ 的偏差,表示成:

$$X_{k+1} = f(X_k, u_k, t) + w_k$$

线性化后得,

$$X_{k+1} = F_k X_k + B_k u_k + w_k$$

$$\text{式中, } X_k = [x_k \quad y_k \quad \Delta\varphi]^T, \quad F_k = \frac{\partial f}{\partial X} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -t * v_k \cos(\tilde{\varphi}_k - \Delta\varphi) \\ 0 & 1 & t * v_k \sin(\tilde{\varphi}_k - \Delta\varphi) \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \text{系统噪声 } w_k \sim$$

$$N(0, Q_k), B_k = \frac{\partial f}{\partial u} = \begin{bmatrix} t * \sin(\tilde{\varphi}_k - \Delta\varphi) & t * v_k \cos(\tilde{\varphi}_k - \Delta\varphi) \\ t * \cos(\tilde{\varphi}_k - \Delta\varphi) & -t * v_k * \sin(\tilde{\varphi}_k - \Delta\varphi) \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad u_k = [v_k \quad \varphi_k]^T,$$

步骤三、建立量测方程:

$$Z_k = r = h(X_k) = \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2} + V_k = HX + V_k$$

式中,观测量 Z_k 表示主从艇的距离 r , x_a 、 y_a 表示主艇的位置, x_b 、 y_b 表示从艇位置,

$$H = \frac{\partial h}{\partial X} = [(x_b - x_a)/r \quad (y_b - y_a)/r \quad 0], \quad V_k \sim N(0, R_k) \text{ 为测量噪声};$$

步骤四、用扩展卡尔曼滤波修正从艇推位误差;

(1) 时间更新:

$$\hat{X}_{k/k-1} = F_k \hat{X}_{k-1}$$

$$P_{k/k-1} = F_k P_{k-1} F_k^T + B_{k-1} Q_{k-1} B_{k-1}^T$$

(2) 量测更新:

$$K_k = P_{k/k-1} H_k^T (H_k P_{k/k-1} H_k^T + R_k)^{-1}$$

$$\hat{X}_k = \hat{X}_{k/k-1} + K_k (Z_k - H_k \hat{X}_{k/k-1})$$

$$P_k = (I - K_k H_k) P_{k/k-1}$$

式中, $P_k = E[(X_k - \hat{X}_k)(X_k - \hat{X}_k)^T]$, \hat{X}_k 为滤波输出的状态估计, $\hat{X}_{k/k-1}$ 、 $P_{k/k-1}$ 为状态和及方差一步预测, K_k 为滤波增益。

2. 如权利要求 1 所述的估计初始航向偏差滤波的方法, 其特征在于, 在步骤四中, 由于 GPS 容易受到干扰, 当收不到 GPS 信号或 GPS 信号出现错误时, 只计算时间更新部分, 即航迹推算, 不计算量测更新部分, 当收到正确的 GPS 信号后, 再进行时间更新和量测更新, 用主从艇的距离对从艇的位置进行更新修正。

一种估计初始航向偏差滤波的方法

技术领域

[0001] 本发明属于多无人艇协同导航定位技术领域,尤其涉及一种估计初始航向偏差滤波的方法。

背景技术

[0002] 多无人艇的协同导航是利用系统中其他艇的高精度导航信息,通过一定的信息交换,实现艇间导航资源的共享,装备低精度导航设备的艇可以提高自身的导航精度。当某些艇由于传感器或环境因素丧失独立导航能力时,协同导航可以在一定程度上恢复这些平台的导航能力。因此研究无人水面艇的协同导航具有重要的理论价值和实际意义。水声通信可以实现对各跟随艇的定位和编队航行部署,其依赖性小。水声测距方法测量范围能够达到 2km ~ 6km,且测距精度在 1m 以内。对于载体的运动状态以及时统精度方面均没有苛刻的要求。因此,水声装置广播方式进行通信,采用水声设备辅以无线电时统的方法进行测距。

[0003] 从艇的惯导设备精度较低,通过测量和装备有高精度惯导设备的主艇的距离,采用扩展卡尔曼滤波方法对自身的航迹推位进行修正,估计并补偿初始航向偏差,提高定位精度。由于 MEMS 陀螺无法进行初始对准,初始航向偏差是随机的。为了提高可观测性,考虑两艘主艇交替向从艇发送测距信息。

[0004] 到目前为止,还没有将航向偏差作为状态并将主从艇距离作为观测量进行卡尔曼滤波的先例。

发明内容

[0005] 本发明实施例的目的在于提供一种估计初始航向偏差滤波的方法,旨在解决目前还没有将航向偏差作为状态并将主从艇距离作为观测量进行卡尔曼滤波的问题。

[0006] 本发明实施例是这样实现的,一种估计初始航向偏差滤波的方法,该估计初始航向偏差滤波的方法包括以下步骤:

[0007] 步骤一、将所有相关设备安装在从艇上,读取 MEMS 陀螺输出航向作为静态数据并保存,一小时后,主艇设备安装完毕,开始实验,三艇在水面上行驶时保持三角队形,两主艇将水声通信信号和发送时间戳交替发送给从艇,间隔 10 秒,从艇上的水声通信模块接收主艇发来的测距信息,通过水声信号发送和接收的时间差乘以声速计算主从艇的距离,利用测量的速度和航向进行航迹推算,并利用主从艇的距离作为观测量修正位置信息并估计初始航向偏差;

[0008] 步骤二、建立系统方程

[0009]

$$\begin{cases} x_{k+1} = x_k + t \cdot v_k \cdot \sin(\tilde{\varphi}_k - \Delta\varphi) \\ y_{k+1} = y_k + t \cdot v_k \cdot \cos(\tilde{\varphi}_k - \Delta\varphi) \\ \Delta\varphi = \Delta\varphi \end{cases}$$

[0010] 式中, x_k 、 y_k 表示从艇在 k 时刻的位置, v_k 为从艇速度, t 表示推位时间间隔, $\tilde{\varphi}_k$ 表示 MEMS 陀螺测得的航向, $\Delta\varphi$ 表示初始航向偏差, 在方程中估计值修正了航向测量值. $\tilde{\varphi}_k$ 的偏差, 表示成:

$$[0011] \quad X_{k+1} = f(X_k, u_k, t) + w_k$$

[0012] 线性化后得,

$$[0013] \quad X_{k+1} = F_k X_k + B_k u_k + w_k$$

$$[0014] \quad \text{式中, } X_k = [x_k \quad y_k \quad \Delta\varphi]^T, \quad F_k = \frac{\partial f}{\partial X} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -t * v_k \cos(\tilde{\varphi}_k - \Delta\varphi) \\ 0 & 1 & t * v_k \sin(\tilde{\varphi}_k - \Delta\varphi) \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \text{ 系统噪声}$$

$$w_k \sim N(0, Q_k), \quad B_k = \frac{\partial f}{\partial u} = \begin{bmatrix} t * \sin(\tilde{\varphi}_k - \Delta\varphi) & t * v_k \cos(\tilde{\varphi}_k - \Delta\varphi) \\ t * \cos(\tilde{\varphi}_k - \Delta\varphi) & -t * v_k * \sin(\tilde{\varphi}_k - \Delta\varphi) \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad u_k = [v_k \quad \varphi_k]^T,$$

[0015] 步骤三、建立量测方程:

$$[0016] \quad Z_k = r = h(X_k) = \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2} + V_k = HX + V_k$$

[0017] 式中, 观测量 Z_k 表示主从艇的距离 r , x_a 、 y_a 表示主艇的位置, x_b 、 y_b 表示从艇位置,

$$H = \frac{\partial h}{\partial X} = [(x_b - x_a)/r \quad (y_b - y_a)/r \quad 0], \quad V_k \sim N(0, R_k) \text{ 为测量噪声};$$

[0018] 步骤四、用扩展卡尔曼滤波修正从艇推位误差;

[0019] (1) 时间更新

$$[0020] \quad \hat{X}_{k/k-1} = F_k \hat{X}_{k-1}$$

$$P_{k/k-1} = F_k P_{k-1} F_k^T + B_{k-1} Q_{k-1} B_{k-1}^T$$

[0021] (2) 量测更新

$$K_k = P_{k/k-1} H_k^T (H_k P_{k/k-1} H_k^T + R_k)^{-1}$$

$$[0022] \quad \hat{X}_k = \hat{X}_{k/k-1} + K_k (Z_k - H_k \hat{X}_{k/k-1})$$

$$P_k = (I - K_k H_k) P_{k/k-1}$$

[0023] 式中, $P_k = E[(X_k - \hat{X}_k)(X_k - \hat{X}_k)^T]$, \hat{X}_k 为滤波输出的状态估计, $\hat{X}_{k/k-1}$ 、 $P_{k/k-1}$ 为状态和及方差一步预测, K_k 为滤波增益。

[0024] 进一步, 在步骤四中, 由于 GPS 容易受到干扰, 当收不到 GPS 信号或 GPS 信号出现错误时, 只计算时间更新部分, 即航迹推算, 不计算量测更新部分, 当收到正确的 GPS 信号后, 再进行时间更新和量测更新, 用主从艇的距离对从艇的位置进行更新修正。

[0025] 本发明提供的估计初始航向偏差滤波的方法, 通过装有高精度惯导设备的两艘主艇交替向从艇发送加有时间戳的水声测距信号, 从艇利用多普勒测速仪测得的速度和 MEMS 陀螺测得的航向进行航迹推算, 并通过水声信号发送和接收的时间差乘以声速计算主从艇的距离, 使用 EKF 算法对从艇的位置进行更新和修正, 估计并补偿陀螺的初始航向偏差;

[0026] 本发明具有以下优点:

[0027] 1、由于主艇无线电广播位置信息, 从艇被动接受主艇发射的无线电信号, 所以从艇的数量可以任意增加, 不会影响实验步骤的设计, 所以本发明的扩展性很好, 用两主艇和

一从艇可以模拟多从艇的情形；

[0028] 2、从艇安装低精度惯导设备（如 MEMS）进行推位，并通过测量和主艇的距离利用主艇的高精度惯导设备提高定位精度，大大降低了设备的成本。

附图说明

[0029] 图 1 是本发明实施例提供的估计初始航向偏差滤波的方法流程图。

具体实施方式

[0030] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

[0031] 下面结合附图及具体实施例对本发明的应用原理作进一步描述。

[0032] 如图 1 所示，本发明实施例的估计初始航向偏差滤波的方法包括以下步骤：

[0033] S101：准备装有高精度惯导设备的两艘主艇交替向从艇发送加有时间戳的水声测距信号；

[0034] S102：从艇利用多普勒测速仪测得的速度和 MEMS 陀螺测得的航向进行航迹推算，并通过水声信号发送和接收的时间差乘以声速计算主从艇的距离；

[0035] S103：使用卡尔曼滤波算法对从艇的位置进行更新和修正，估计并补偿陀螺的初始航向偏差。

[0036] 本发明的具体步骤为：

[0037] 方案为：两条主艇广播无线电信号

[0038] 步骤一、系统安装与配置

[0039] 两辆主艇上分别装有高精度惯导设备和水声通信模块，两主艇将水声通信信号和发送时间戳交替发送给从艇，间隔 10 秒，从艇上的多普勒测速仪给出速度大小，MEMS 陀螺给出航向，从艇上的水声通信模块接收主艇发来的测距信息，利用艇上自带的电脑进行航迹推算和滤波，计算所在经纬度位置并估计初始航向偏差；

[0040] 步骤二、具体实施方法

[0041] 将所有相关设备安装在从艇上，读取 MEMS 陀螺输出航向作为静态数据并保存，一小时后，主艇设备安装完毕，开始实验，三艇在水面上行驶时保持三角队形，提高从艇测距时的可观测性，两主艇将水声通信信号和发送时间戳交替发送给从艇，间隔 10 秒，从艇上的水声通信模块接收主艇发来的测距信息，通过水声信号发送和接收的时间差乘以声速计算主从艇的距离，利用测量的速度和航向进行航迹推算，并利用主从艇的距离作为观测量修正位置信息并估计初始航向偏差；

[0042] 步骤三、建立系统方程

[0043]

$$\begin{cases} x_{k+1} = x_k + t \cdot v_k \cdot \sin(\tilde{\varphi}_k - \Delta\varphi) \\ y_{k+1} = y_k + t \cdot v_k \cdot \cos(\tilde{\varphi}_k - \Delta\varphi) \\ \Delta\varphi = \Delta\varphi \end{cases} \quad (1)$$

[0044] 式中， x_k 、 y_k 表示从艇在 k 时刻的位置， v_k 为从艇速度，t 表示推位时间间隔， $\tilde{\varphi}_k$ 表

示MEMS陀螺测得的航向, $\Delta\varphi$ 表示初始航向偏差, 在方程中用其估计值修正了航向测量值 $\tilde{\varphi}_k$ 的偏差, 表示成一般形式得:

$$[0045] \quad X_{k+1} = f(X_k, u_k, t) + w_k \quad (2)$$

[0046] 线性化后得,

$$[0047] \quad X_{k+1} = F_k X_k + B_k u_k + w_k \quad (3)$$

$$[0048] \quad \text{式中, } X_k = [x_k \quad y_k \quad \Delta\varphi]^T, \quad F_k = \frac{\partial f}{\partial X} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -t^* v_k \cos(\tilde{\varphi}_k - \Delta\varphi) \\ 0 & 1 & t^* v_k \sin(\tilde{\varphi}_k - \Delta\varphi) \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \text{ 系统噪声}$$

$$w_k \sim N(0, Q_k), \quad B_k = \frac{\partial f}{\partial u} = \begin{bmatrix} t^* \sin(\tilde{\varphi}_k - \Delta\varphi) & t^* v_k \cos(\tilde{\varphi}_k - \Delta\varphi) \\ t^* \cos(\tilde{\varphi}_k - \Delta\varphi) & -t^* v_k \sin(\tilde{\varphi}_k - \Delta\varphi) \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad u_k = [v_k \quad \varphi_k]^T,$$

[0049] 步骤四、建立量测方程,

$$[0050] \quad Z_k = r = h(X_k) = \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2} + V_k = HX + V_k \quad (4)$$

[0051] 式中, 观测量 Z_k 表示主从艇的距离 r , x_a, y_a 表示主艇的位置, x_b, y_b 表示从艇位置,

$$H = \frac{\partial h}{\partial X} = [(x_b - x_a)/r \quad (y_b - y_a)/r \quad 0], \quad V_k \sim N(0, R_k) \text{ 为测量噪声};$$

[0052] 步骤五、用扩展卡尔曼滤波修正从艇推位误差;

[0053] (1) 时间更新

$$[0054] \quad \hat{X}_{k/k-1} = F_k \hat{X}_{k-1} \quad (5)$$

$$P_{k/k-1} = F_k P_{k-1} F_k^T + B_{k-1} Q_{k-1} B_{k-1}^T$$

[0055] (2) 量测更新

$$K_k = P_{k/k-1} H_k^T (H_k P_{k/k-1} H_k^T + R_k)^{-1}$$

$$[0056] \quad \hat{X}_k = \hat{X}_{k/k-1} + K_k (Z_k - H_k \hat{X}_{k/k-1}) \quad (6)$$

$$P_k = (I - K_k H_k) P_{k/k-1}$$

[0057] 式中, $P_k = E[(X_k - \hat{X}_k)(X_k - \hat{X}_k)^T]$, \hat{X}_k 为滤波输出的状态估计, $\hat{X}_{k/k-1}$ 、 $P_{k/k-1}$ 为状态和及其方差一步预测, K_k 为滤波增益, 由于GPS容易受到干扰, 当收不到GPS信号或GPS信号出现错误时, 只计算时间更新部分(即航迹推算), 不计算量测更新部分, 当收到正确的GPS信号后, 再进行时间更新和量测更新, 用主从艇的距离对从艇的位置进行更新修正。

[0058] 为了进一步说明本发明的有效性, 在市区内进行了三艇实验, 采用两主艇和一从艇通信的方法, MEMS航向偏差为10度, 采集数据并绘制轨迹如下:

[0059] 通过实际实验分析比较: 采用估计初始航向偏差的EKF算法比单纯推位的定位精度高得多, 滤波得到的从艇轨迹与真实轨迹几乎完全吻合, 而推位得到的轨迹和真实轨迹有偏差; 采用EKF估计MEMS的初始航向偏差的效果很好, 达到了正确修正航向偏差的目的, 从而验证了本算法提高定位精度的有效性。

[0060] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已, 并不用以限制本发明, 凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等, 均应包含在本发明的保护范围之内。

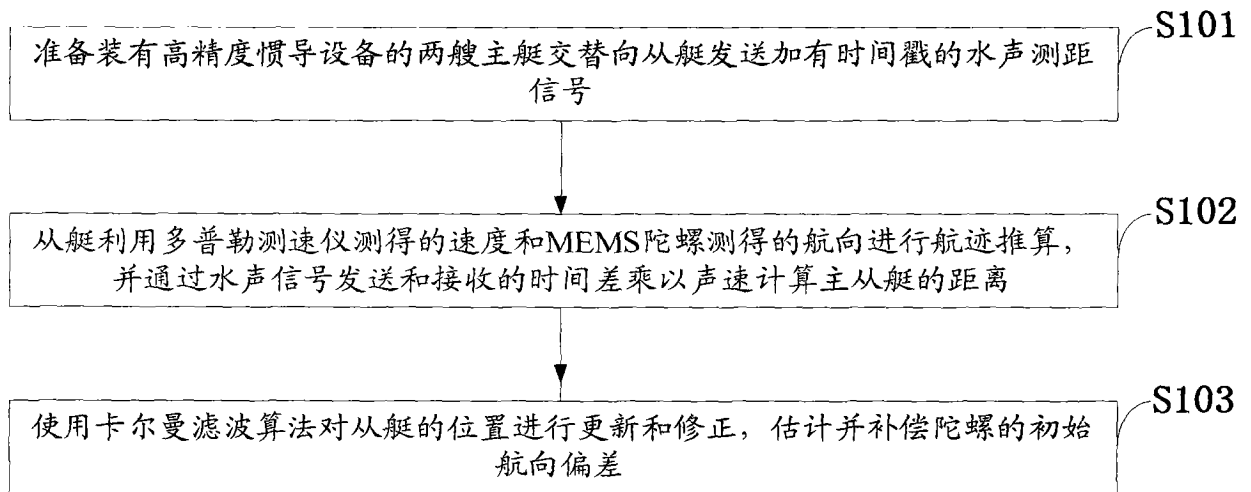


图 1