



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101839719 A

(43) 申请公布日 2010. 09. 22

(21) 申请号 201010176997. 8

(22) 申请日 2010. 05. 16

(71) 申请人 中北大学

地址 030051 山西省太原市尖草坪区学院路
3号中北大学崔敏

(72) 发明人 崔敏 马铁华 曹咏弘 范锦彪

(74) 专利代理机构 太原同圆知识产权代理事务
所(特殊普通合伙) 14107

代理人 王金锁

(51) Int. Cl.

G01C 21/16(2006. 01)

G01C 21/18(2006. 01)

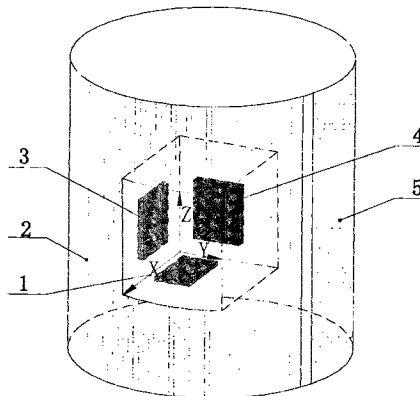
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 2 页

(54) 发明名称

一种基于陀螺、地磁传感器的惯性测量装置

(57) 摘要

本发明公开了一种基于陀螺、地磁传感器的惯性测量装置,该装置由一个三轴 MEMS 陀螺和两个薄膜式地磁传感器组成。利用薄膜式地磁传感器不随飞行时间而累积误差的特点,与惯性器件三轴 MEMS 陀螺进行组合设计,本发明采用状态估计法,姿态确定系统将精度较高的薄膜式地磁传感器作为姿态测量基准,对三轴 MEMS 陀螺漂移进行校正,并采用较精确的广义卡尔曼滤波算法提高姿态确定的精度。本发明同时具有体积小、重量轻、成本低的特点,可应用于高速旋转弹姿态测量领域。



1. 一种基于陀螺、地磁传感器的惯性测量装置,其特征在于:包括陀螺和地磁传感器,陀螺采用三轴 MEMS 陀螺,地磁传感器采用两个薄膜式地磁传感器。

2. 根据权利要求 1 所述的一种基于陀螺、地磁传感器的惯性测量装置,其特征在于:薄膜式地磁传感器采用薄膜线圈传感器,薄膜线圈传感器为一个 n 匝线圈的电磁感应薄膜式线圈。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的一种基于陀螺、地磁传感器的惯性测量装置,其特征在于:一个圆柱形非铁质性材料的金属筒内设有三轴 MEMS 陀螺,三轴 MEMS 陀螺由陀螺面 1、陀螺面 3 和陀螺面 4 组成,金属筒的外壁上设有薄膜式地磁传感器,薄膜式地磁传感器由薄膜线圈传感器 2 和薄膜线圈传感器 5 组成,薄膜线圈传感器 2 垂直于薄膜线圈传感器 5。

一种基于陀螺、地磁传感器的惯性测量装置

一、技术领域

[0001] 本发明属于高速旋转弹姿态测量领域,具体涉及一种基于陀螺、地磁传感器的惯性测量装置。

二、背景技术

[0002] 在现代战争中,精确打击是大势所趋,世界各国一方面努力发展新的制导弹药,一方面也在努力将大量的常规弹药改造成灵巧弹药,使其具有精确打击能力。高速旋转是常规弹药最常用的稳定方式之一,获得高速旋转弹丸的姿态信息是对其进行改造的必由之路。因此,设计适用于高速旋转、小体积的惯性测量系统就显得尤为重要,在传统惯性测量系统中,常利用线加速度计测量物体的加速度,利用陀螺测量物体的角速度。但由于传统的加速度计存在安装复杂、安装精度要求高、解算复杂等问题,这里舍弃了加速度计作为惯性器件,采用大量程 MEMS 陀螺。陀螺虽然能连续输出角速度信息,但存在漂移,长期应用会产生较大的偏差;而薄膜线圈传感器的短期精度不如惯性器件,但它具有不随飞行时间而累积误差,高精度、高响应度、微小体积等、可靠性高诸多优点,是其成为目前研究比较多的导航器件,与其它惯性器件组合能准确地确定飞行体的姿态角信息,可以提高系统的整体导航精度及导航性能。因此本发明采用状态估计法,姿态确定系统以薄膜线圈传感器的输出做为姿态基准,以薄膜线圈传感器的输出对陀螺漂移进行校正,并采用较精确的广义卡尔曼滤波算法提高姿态确定的精度,最后对其效果进行了仿真、分析。

[0003] 本发明提出了一种适用于高速旋转、小体积的惯性导航系统的姿态测量,其目的在于充分利用薄膜线圈、陀螺传感器的优点,克服单一方法算法解算姿态角所存在的不足之处,提出了一种全新的三维姿态测量方法,并采用较精确的广义卡尔曼滤波算法提高姿态确定的精度,本发明满足小尺寸姿态测量的需要,又该方法设计出的三维姿态测量系统具有可靠性高、成本低、操作方便等特点。

三、发明内容

[0004] 本发明提供了一种基于陀螺、地磁传感器的惯性测量装置,解决了传统惯性测量利用加速度计存在的安装复杂、安装精度要求高、解算复杂和单独利用陀螺仪测量存在精度受陀螺角速率漂移的影响以及单独利用薄膜式地磁传感器不能连续三轴定姿的问题,并在此基础上结合了广义卡尔曼滤波估计算法,对于研究惯性组合导航系统,提高高速旋转弹的姿态信息具有重要意义和实际应用价值。

[0005] 本发明可通过以下技术方案实现:一种基于陀螺、地磁传感器的惯性测量装置,包括陀螺和地磁传感器,陀螺采用三轴 MEMS 陀螺,地磁传感器采用两个薄膜式地磁传感器。薄膜式地磁传感器采用薄膜线圈传感器,薄膜线圈传感器为一个 n 匝线圈的电磁感应薄膜式线圈。

[0006] 一种基于陀螺、地磁传感器的惯性测量装置设在圆柱形非铁质性材料的金属筒内,金属筒内设有三轴 MEMS 陀螺,三轴 MEMS 陀螺由陀螺面 1、陀螺面 3 和陀螺面 4 组成,金

属筒的外壁上设有薄膜式地磁传感器,薄膜式地磁传感器由薄膜线圈传感器 2 和薄膜线圈传感器 5 组成,薄膜线圈传感器 2 垂直于薄膜线圈传感器 5。

[0007] 一种基于陀螺、地磁传感器的惯性测量装置测量的姿态参数解算方法采用广义卡尔曼滤波姿态估计算法,将精度较高的薄膜式地磁传感器的输出作为姿态测量基准,用来修正三轴 MEMS 陀螺的误差,利用三轴 MEMS 陀螺弥补薄膜式地磁传感器定姿存在实时性差的缺点,同时为了避免由非线性和小角度引起的计算误差,采用四元数法代替通常的欧拉角法进行计算,经分析得到该系统状态模型和观测模型。

[0008] 本发明与现有技术相比具有以下有益效果:

[0009] 1、本发明舍弃了传统的惯性导航系统采用加速度计作为惯性器件的作法,而是采用了三轴 MEMS 陀螺进行角速度测量,三轴 MEMS 陀螺可以连续输出角速度信号,它具有:动态范围高、可靠性高、启动时间短、低成本等优点。

[0010] 2、本发明首先将薄膜式地磁传感器引入姿态测量,作为辅助手段,将精度较高的薄膜式地磁传感器的输出作为姿态测量基准,用来修正三轴 MEMS 陀螺的误差,同时利用三轴 MEMS 陀螺弥补薄膜式地磁传感器定姿存在实时性差的缺点。薄膜式地磁传感器结构简单、尺寸小、能抗高过载和冲击,信号检测电路灵敏度高,工作稳定、可靠、性能价格比高。

[0011] 3、本发明结合了广义卡尔曼滤波姿态估计算法,在不增加硬件成本的情况下,提高系统精度和可靠性。

[0012] 4、本发明提出的这种适用于高速旋转、小体积的惯性测量装置,具有可靠性高、成本低、操作方便的特点。

四、附图说明

[0013] 图 1 为本发明的结构示意图,

[0014] 图 2 是高速旋转弹姿态确定系统工作图,

[0015] 图 3 是姿态解算框图。

五、具体实施方式

[0016] 下面结合附图通过实施例进一步详述。

[0017] 一种基于陀螺、地磁传感器的惯性测量装置设在圆柱形铝性材料的金属筒内,金属筒内设有三轴 MEMS 陀螺,三轴 MEMS 陀螺由陀螺面 1、陀螺面 3 和陀螺面 4 组成,金属筒的外壁上设有薄膜式地磁传感器,薄膜式地磁传感器由薄膜线圈传感器 2 和薄膜线圈传感器 5 组成,薄膜线圈传感器 2 垂直于薄膜线圈传感器 5。

[0018] 三轴 MEMS 陀螺安装在姿态测试系统的正交平面上,它们的敏感轴互相垂直,组成测量体的三维坐标系,如图 1 所示,GX、GY、GZ 分别是 MEMS 陀螺仪 G1 的三个敏感轴,坐标原点 0 位于高速旋转弹的几何中心,GX、GY、GZ 三轴的方向与高速旋转弹的弹体坐标系保持一致,而两片薄膜线圈传感器垂直贴在金属筒的两个面上。测量弹体的速度在 10r/s 以上,利用该系统可以精确地测量高速旋转弹在各个时刻的三维姿态信息。

[0019] 首先采样三轴 MEMS 陀螺输出的角速度信号,根据实际情况建立角速度数学模型,利用四元数法解算出一组四元数值;然后采样薄膜线圈传感器输出的转速信号并将其转换成角速度信号,将薄膜线圈传感器的输出作为姿态测量基准,用来修正三轴 MEMS 陀螺的误

差,同时利用三轴 MEMS 陀螺弥补薄膜线圈传感器定姿实时性差的缺点,最后采用广义卡尔曼姿态估计算法对两组四元数值进行融合融合,得到一组更为精确的四元数值。本发明在不增加硬件成本的情况下,提高系统精度和可靠性,并且还能提供统计的姿态确定最优解,估计出参考矢量和观测矢量中的一些不确定因素。

[0020] 然后通过计算机处理传感器的输出信号和运算出测量结果,并对测试系统进行仿真、分析,最后得到所需要的姿态角。

[0021] 1、陀螺测量方程

[0022] 陀螺仪又称角速度计可以用来检测旋转的角速度和角度。利用陀螺仪测量载体旋转的角速度,是根据牛顿惯性定律的原理进行测量的。陀螺三个轴输出随弹体各轴向角速率变化而变化的电压信号,得到一组弹体的角速度信息。陀螺测量模型是姿态确定算法建模中的一个重要问题,在定姿滤波设计中,通常采用的陀螺测量模型如下:

$$[0023] \quad \omega_i = \omega + d + b + \eta_i \quad (1)$$

[0024] ω_i 为陀螺的测量输出, $\omega_i \in R_{3 \times 1}$; ω 为高速旋转弹相对惯性空间在本体系上的坐标, $\omega \in R_{3 \times 1}$, d 为陀螺漂移中的指数相关部分, $d \in R_{3 \times 1}$; b 为陀螺常值漂移部分, $b \in R_{3 \times 1}$; η_i 为陀螺的测量噪声, $\eta_i \in R_{3 \times 1}$, 通常假定 η_i 为白噪声。

[0025] 2、薄膜线圈传感器测量方程

[0026] 薄膜线圈传感器测姿是通过安装两个平面夹角为 θ 的线圈(线圈平面沿飞行体纵轴)随高速旋转弹旋转时,线圈切割地磁场磁力线,磁通量发生变化而产生感应电动势。根据线圈初始相位,当飞行体偏离基准线时,感应电动势的大小和方向发生周期性变化,测量电路记录下每一瞬时的感应电动势值,通过解算得到飞行体的空间姿态角。根据法拉第电磁感应定律,线圈中产生的感应电动势:

[0027]

$$E = N \frac{d\phi}{dt} = N \frac{d}{dt}[B \cdot s] = N \frac{d}{dt}[B \sin \gamma \cos(\omega t - \varphi)]$$

[0028] 由上式可知,由薄膜线圈传感器测得的电压信息可以得到高速旋转弹的转速和角速度信息。 $\omega = [\omega_x, \omega_y, \omega_z]^T$ 是薄膜线圈传感器相对惯性坐标系的转动角速度。单独利用薄膜线圈传感器不能连续三轴定姿,但可以利用轨道运动断续获取三轴姿态,但是单独利用薄膜线圈传感器定姿应用上有一定的局限性,通常将薄膜线圈传感器与陀螺组合进行定姿。将较高精度的薄膜线圈传感器的输出作为姿态测量基准,用来修正陀螺的误差。

[0029] 3、四元数微分方程求解。将步骤 1、2 的结果代入四元数微分方程:

[0030] 在用姿态矩阵表示高速旋转弹姿态时,欧拉角表示法是经典的姿态描述法,但在求解方向余弦时要引入六个约束方程,计算量较大,而且欧拉角式需要多次三角运算,并伴有奇点问题。因此本发明采用四元数法代替欧拉角法。四元数法中的欧拉参数与方向余弦阵相比,仅含四个变量和一个约束方程;与欧拉轴/角参数式相比,姿态矩阵的元素不含三角函数,可以求得实现姿态向期望姿态机动的姿态机动参数,从而得出欧拉轴的方向和转角,能更简便地得出将初始状态趋于期望姿态所需的姿态机动四元数,并避免了欧拉角法引起的大角度奇异问题。四元数微分方程如下所示:

$$[0031] \quad \dot{q} = \frac{1}{2} q \omega \text{ 或 } \dot{q} = \Omega_b q$$

[0032] (2)

$$[0033] \quad \begin{bmatrix} \dot{q}_0 \\ \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{-\omega_x}{2} & \frac{-\omega_y}{2} & \frac{-\omega_z}{2} \\ \frac{\omega_x}{2} & 0 & \frac{\omega_z}{2} & \frac{-\omega_y}{2} \\ \frac{\omega_y}{2} & \frac{-\omega_z}{2} & 0 & \frac{\omega_x}{2} \\ \frac{\omega_z}{2} & \frac{\omega_y}{2} & \frac{-\omega_x}{2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_0 \\ q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{bmatrix}$$

[0034] (3)

[0035] q_0, q_1, q_2, q_3 为四个实数, 利用毕卡逼近法求解 (3) 式可得到转动四元数 q , 将步骤 1、2 解算到得两组角速度代入公式 (3) 中便可以求得的两组四元数的值。

[0036] 4、广义卡尔曼滤波进行信息融合

[0037] 卡尔曼滤波器提供了一种高效可靠计算的方法来估计过程的状态, 并使估计均方误差最小。它可以估计信号的过去和当前状态, 甚至能估计将来的状态, 即使并不知道模型的确切性质。在高速旋转弹姿态确定中, 由于系统方程是非线性的, 状态估计的非线性滤波具有重要的地位, 大部分姿态确定算法, 都是基于状态估计的非线性滤波思想。广义卡尔曼滤波 (EKF) 是应用最广泛的非线性估计方法, 通过对非线性状态方程和测量方程的线性化处理, 然后按照线性化方程滤波的思想进行滤波。

[0038] 这里将姿态四元数 $x = (q_0, q_1, q_2, q_3)$ 作为状态变量, 将由陀螺仪的输出角速度数据解算到得四元数作为状态方程, 薄膜线圈传感器的输出角速度数据解算到得四元数作为观测方程。然后将这组数据利用广义卡尔曼滤波方程进行信息融合, 解算得到一组更为准确的四元数值。在卡尔曼滤波实验中, 由于输出数据很大程度受噪声的影响, 使数据的测量精度变低, 为了有效的利用卡尔曼滤波器, 使其能达到预期的效果, 往往需要对状态变量做一些事先和事后的处理, 以便于更好地利用 MATLAB 卡尔曼滤波器。在本研究中, 采用的是利用实验, 测量出一组较为精确的噪声方程, 将其加载状态方程中, 这样会使测量数据的精度提高。

[0039] 5、姿态角求解

[0040] 利用步骤 4 所求得的四元数值可以得到姿态矩阵 T , 将姿态矩阵中的对应元素代入公式 (4) 便可以求得姿态角, 公式 (4) 中的 T_{32}, T_{31}, T_{21} 和 T_{11} 代表的是姿态矩阵 T 中的对应元素值。

$$[0041] \quad \begin{cases} \alpha = \text{tg}^{-1}\left(\frac{-T_{32}}{T_{33}}\right) \\ \beta = \text{sin}^{-1}(T_{31}) \\ \gamma = \text{tg}^{-1}\left(\frac{-T_{21}}{T_{11}}\right) \end{cases}$$

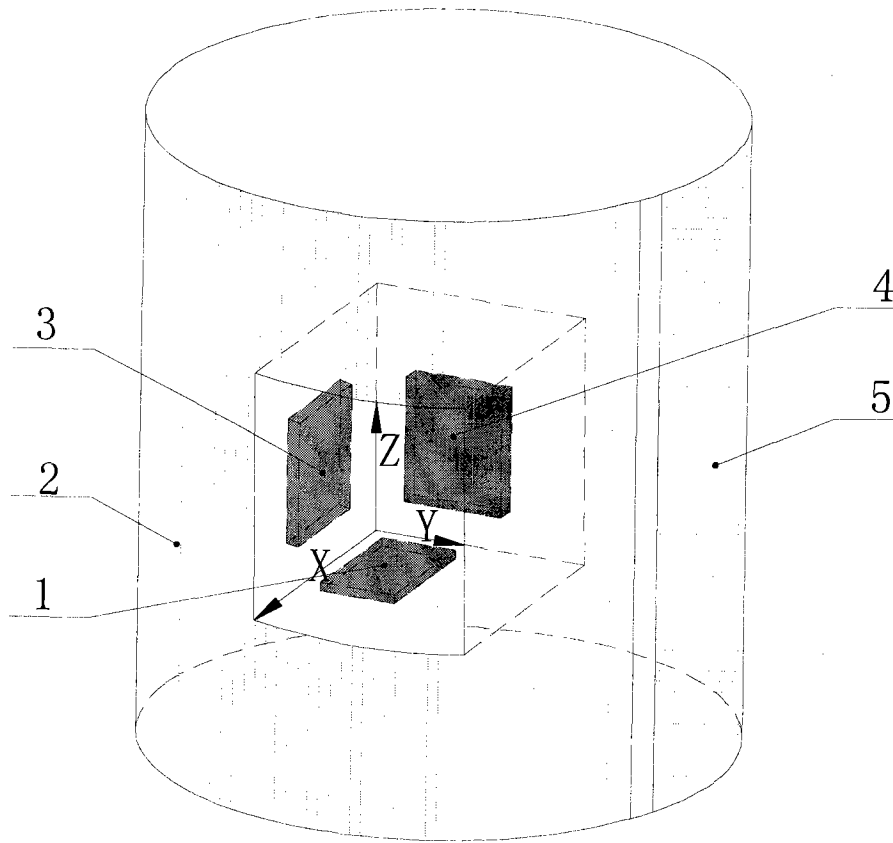


图 1

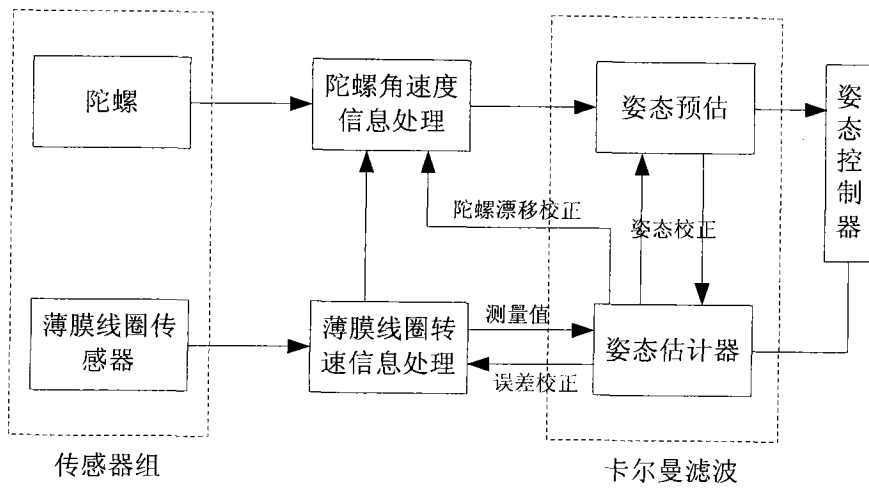


图 2

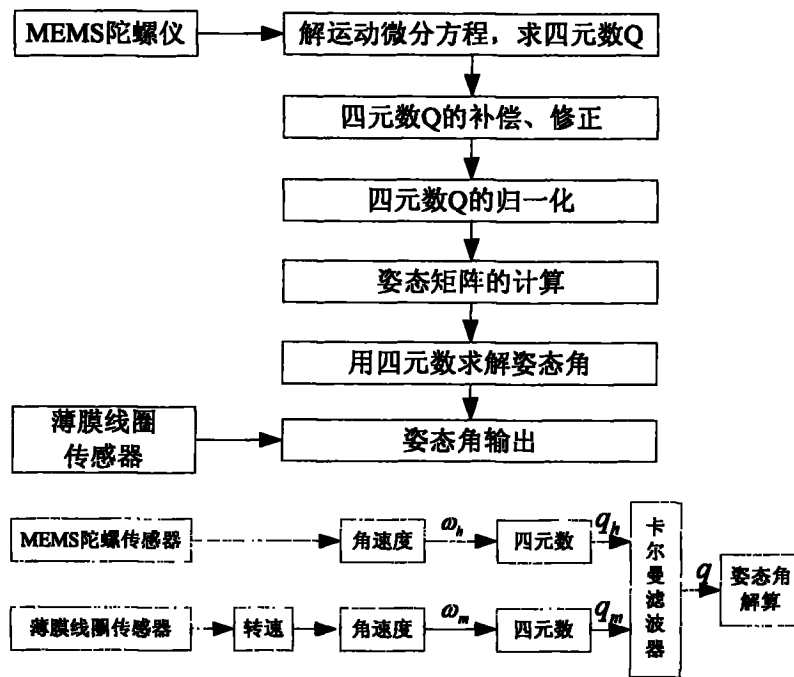


图 3