



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103900565 B

(45)授权公告日 2016.11.23

(21)申请号 201410076441.X

(22)申请日 2014.03.04

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 103900565 A

(43)申请公布日 2014.07.02

(73)专利权人 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号哈尔滨工程大学科技处
知识产权办公室

(72)发明人 周广涛 郝勤顺 姜鑫 赵博

孙艳涛 梁宏 于春阳 夏秀玮

刘学敏 金诗宇

(51)Int.Cl.

G01C 21/16(2006.01)

审查员 沈新华

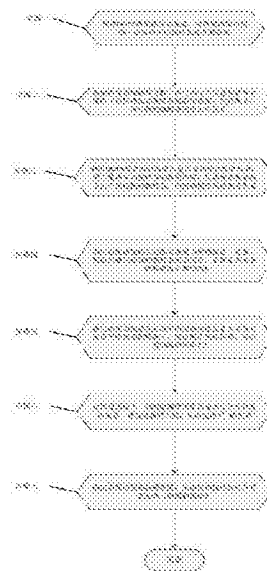
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种基于差分GPS的惯导系统姿态获取方法

(57)摘要

本发明提供的是一种基于差分GPS的惯导系统姿态获取方法。由DGPS测量载体加速度,经低通滤波得到加速度测量值;根据惯导系统解算方程,在已知比力信息和载体加速度的情况下,得到地理系表示的重力矢量利用DGPS提供的经纬度信息以及初始经度信息,确定地理系到惯性系的转换矩阵,将地理系表示的重力矢量转换到惯性系,得到惯性系重力矢量;利用惯性空间的重力矢量求解重力矢量漂移角度和纬度;经过两次坐标转换,得到转换矩阵 C_b^i ;在惯导系统中,利用陀螺仪采集角速率信号计算旋转矢量,更新四元数,通过四元数实现 C_b^i 的更新;根据 C_b^i 和 C_b^i ,确定系统的姿态转换矩阵,得到载体的航向和姿态角,从而确保姿态信息的精度满足舰船导航的需求。



1. 一种基于差分GPS的惯导系统姿态获取方法,其特征是:

步骤一:利用DGPS测量载体运动加速度,经过低通滤波器滤波后得到一定分辨率和精度的载体加速度测量值;

步骤二:由惯导系统解算方程,在已知比力信息和载体加速度的情况下,得到地理系表示的重力矢量 g^t ,所述载体加速度包括哥氏加速度和离心加速度;

步骤三:利用DGPS提供的经纬度信息即经度 λ 和纬度 φ 以及初始经纬度信息即初始经度 λ_0 和初始纬度 φ_0 ,确定地理系t到惯性系i的转换矩阵 C_t^i ,将地理系表示的重力矢量转换到惯性系,得到惯性系重力矢量 g^i ;

步骤四:利用由地球旋转引起的表观重力的慢漂现象,根据步骤三获取的惯性系重力矢量,求解重力矢量漂移角度 α 和纬度 φ ;

步骤五:在已知重力矢量在赤道平面漂移角度 α 以及重力矢量与赤道平面的夹角 β 的情况下,经过两次坐标转换,得到转换矩阵 C_t^n ;

步骤六:在惯导系统中,利用陀螺仪采集角速率信号计算旋转矢量,通过更新四元数Q,实现载体系到惯性系的转换矩阵 C_b^i 的更新;

步骤七:根据转换矩阵 C_t^n 和载体系到惯性系的转换矩阵 C_b^i ,确定系统的姿态转换矩阵 C_b^n ,从而得到载体的姿态角,所述载体的姿态包括航向、纵摇和横摇。

一种基于差分GPS的惯导系统姿态获取方法

技术领域

[0001] 本发明属于惯性导航系统和GPS的技术领域,涉及的是一种基于差分GPS(Differential GPS,DGPS)的惯导系统姿态解算方法。

背景技术

[0002] 惯性导航是利用惯性传感器、基准方向及最初位置来确定载体的姿态、位置和速度的自主式推算导航方法。它不受环境、载体机动和无线电干扰的影响,能连续提供全部导航参数,在短时间内具有较高的相对精度,是最主要的自主导航手段。在信息化条件下的未来战争中,导航设备作为一种重要的传感器,导航参数精度对于赢得未来战争起关键性制约作用。

[0003] 目前,提高惯性器件精度和完善导航算法是改进导航系统导航性能的主要途径:对于提高惯性器件精度而言,不仅器件本身上升空间较小,而且为提高精度付出的代价与改进效果相比,其性价比较低,所以从硬件的角度来提高系统导航性能就显得优势较小;设法完善导航解算方法以提高导航精度是近几年来惯导领域研究的热点,但只依靠惯导系统依然无法回避导航误差随时间积累这一缺点,很难达到长航时的应用需求。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种方法简单,适用范围广,精度高的基于差分GPS的惯导系统姿态获取方法。

[0005] 本发明的目的是这样实现的:

[0006] 步骤一:利用DGPS测量载体运动加速度,经过低通滤波器滤波后得到一定分辨率和精度的载体加速度测量值;

[0007] 步骤二:由惯导系统解算方程,在已知比力信息和载体加速度的情况下,得到地理系表示的重力矢量 g^t ,所述载体加速度包括哥氏加速度和离心加速度;

[0008] 步骤三:利用DGPS提供的经纬度信息即经度 λ 和纬度 φ 以及初始经纬度信息即初始经度 λ_0 和初始纬度 φ_0 ,确定地理系t到惯性系i的转换矩阵 C_t^i ,将地理系表示的重力矢量转换到惯性系,得到惯性系重力矢量 g^i ;

[0009] 步骤四:利用由地球旋转引起的表观重力的慢漂现象,根据步骤三获取的惯性系重力矢量,求解重力矢量漂移角度 α 和纬度 φ ;

[0010] 步骤五:在已知重力矢量在赤道平面漂移角度 α 以及重力矢量与赤道平面的夹角 β 的情况下,经过两次坐标转换,得到转换矩阵 C_i^n ;

[0011] 步骤六:在惯导系统中,利用陀螺仪采集角速率信号计算旋转矢量,通过更新四元数Q,实现载体系到惯性系的转换矩阵 C_b^i 的更新;

[0012] 步骤七:根据转换矩阵 C_t^i 和载体系到惯性系的转换矩阵 C_b^i ,确定系统的姿态转

换矩阵 C_b^n ，从而得到载体的姿态角，所述载体的姿态包括航向、纵摇和横摇。

[0013] 本发明提供了一种基于DGPS的惯导系统姿态解算方法，旨在解决传统的姿态解算方法会引入速度、位置信息，且存在舒勒周期和傅科周期，随时间积累会引入较大误差这一问题。

[0014] 本发明利用加速度计和DGPS分别测量比力信息和载体加速度，由导航解算方程得到重力矢量 g^t ，根据GPS提供位置信息计算 C_i^n ，将重力矢量转换到惯性系，利用惯性空间的重力矢量求解重力矢量漂移角度和纬度得到转换矩阵 C_i^n ，再由陀螺仪采集角速率信号计算旋转矢量更新四元数 Q ，完成 C_b^n 的更新，从而确定系统的姿态转换矩阵 C_b^n ，即获取载体的姿态信息。

[0015] 本发明的优点在于：

[0016] 1、本发明提供的姿态解算方法不局限于特定的导航系统，无论是平台式惯导系统还是捷联式惯导系统，例如，本地水平指北平台式系统、捷联式系统、空间稳定平台式系统等。本发明方法简单，适用范围广，提供了一种高精度姿态解算方法。

[0017] 2、本发明避免了传统的姿态解算方法会引入速度、位置信息，且存在舒勒周期和傅科周期，随时间积累会引入较大误差的问题。

附图说明

[0018] 图1是本发明的方法流程图；

[0019] 图2是本发明提供的重力矢量相对惯性空间慢漂示意图；

[0020] 图3是本发明提供的基于DGPS的惯导系统姿态解算方法流程图。

具体实施方式

[0021] 下面将结合附图和实施例对本发明作进一步的详细说明。

[0022] 本发明的一种基于DGPS的惯导系统姿态解算方法，包括以下几个步骤：

[0023] 步骤一：利用DGPS测量载体加速度，经过低通滤波可得到一定分辨率的载体加速度测量值。

[0024] 具体为，载体运动加速度的计算通常采用位置微分法，即对GPS载波相位双差动态定位结果进行连续两次数字差分而得到载体加速度。由于GPS载波相位观测量受接收机噪声、多路径效应、对流层和平流层的大气层延迟、星历误差等因素的影响，而数字差分将放大高频噪声，因此需要利用低通滤波器滤除高频噪声以得到一定分辨率的高精度载体运动加速度。

[0025] 步骤二：根据惯导系统解算方程，在已知比力信息和载体加速度（包括哥氏加速度和离心加速度）的情况下，可以得到地理系表示的重力矢量 g^t 。

[0026] 具体为，设惯导系统的解算坐标系为 a ，测量参考坐标系为 m ，存在通用的惯导系统解算方程，即

$$[0027] \quad \begin{cases} \dot{r}^a = v^a - [\rho^a]r^a \\ \dot{v}^a = C_m^a f^m - [2\omega_{ie}^a + \rho^a]v^a + g^a \\ \dot{C}_m^a = -[\omega_{ia}^a]C_m^a + C_m^a[\omega_{im}^m] \end{cases}$$

[0028] 式中,

[0029] r^a —导航解算坐标系中表示的位置矢量;

[0030] v^a —导航解算坐标系中表示的速度矢量;

[0031] f^m —测量参考坐标系中表示的加速度计比力矢量;

[0032] $[\rho^a]$ —载体位移角速度矢量 ρ^a 的反对称矩阵;

[0033] $[\omega_{ia}^a]$ —导航解算坐标系相对惯性坐标系的旋转角速度矢量 ω_{ia}^a 的反对称矩阵;

[0034] $[\omega_{im}^m]$ —测量参考坐标系相对惯性坐标系的旋转角速度矢量 ω_{im}^m 的反对称矩阵;

[0035] $[2\omega_{ie}^a + \rho^a]v^a$ —地球自转和载体运动所引起的哥氏加速度和离心加速度之和。

[0036] 无论是对于平台式还是捷联式惯导系统,解算坐标系均为地理坐标系,即a系与t系重合。利用步骤一中DGPS测得的载体速度信息 v^a 计算比力方程中的哥氏加速度和离心加速度项,利用DGPS测得的载体速度信息 \dot{v}^a ,惯导系统中加速度计输出测量参考坐标系表示的比例信息 f^m ,从而得到地理系表示的重力矢量 g^t 。

[0037] 步骤三:利用DGPS提供的经纬度信息(λ 和 φ)以及初始经纬度信息(λ_0 和 φ_0),确定地理系(t)到惯性系(i)的转换矩阵 C_t^i ,将地理系表示的重力矢量转换到惯性系,即得到惯性系重力矢量 g^i 。

[0038] 具体为,转换矩阵的计算需要用到经度和纬度信息,如果利用惯导系统提供的位置信息,

[0039] 则会引入随时间发散的误差,于是借助DGPS实时提供位置信息,在一定程度上保证计算精度。利用DGPS提供的经纬度信息(λ 和 φ)以及初始经纬度信息(λ_0 和 φ_0),确定地理坐标系(t)到惯性坐标系(i)的转换矩阵 C_t^i ,即

$$[0040] \quad C_t^i = \begin{bmatrix} -\sin \gamma & -\sin \varphi \cos \gamma & \cos \varphi \cos \gamma \\ \cos \gamma & -\sin \varphi \sin \gamma & \cos \varphi \sin \gamma \\ 0 & \cos \varphi & \sin \varphi \end{bmatrix}$$

[0041] 其中,

$$[0042] \quad \gamma = \lambda + \omega_{ie} t - \lambda_0$$

[0043] 式中, λ_0 表示载体的初始地理经度, ω_{ie} 表示地球相对惯性空间自转角速度, φ 为地理纬度,t表示导航时间, λ 表示地理经度, γ 表示在t时间内经度方向转过的角度。

[0044] 传统的姿态矩阵求解会引入加速度积分带来的积累误差。针对这一问题,把姿态矩阵的求解放在了惯性坐标系中,其核心就是计算惯性系的重力矢量,将步骤二中地理坐标系表示的重力矢量 g^t ,经转换矩阵 C_t^i ,得到惯性系重力矢量 g^i ,即

$$[0045] \quad \mathbf{g}^i = \begin{bmatrix} g_x^i \\ g_x^i \\ g_x^i \end{bmatrix} = C_t^i \mathbf{g}^t$$

[0046] 式中, g_x^i 、 g_y^i 和 g_z^i 分别表示惯性坐标系中三个正交轴下的重力分量。

[0047] 步骤四:利用由地球旋转引起的表观重力的慢漂这一现象,根据步骤三获取的惯性系重力矢量,求解重力矢量漂移角度 α 和纬度 φ 。

[0048] 具体为,通过惯性系的重力矢量可“观察”到由地球旋转引起的表观重力的慢漂,很容易看出惯性空间中表示的表观重力确定了一个主轴与地球旋转轴一致的锥体(如图2)。因此,对g运动的研究可以得到地理北向,而不需要外部参考。

[0049] 重力矢量 g^i 在赤道平面漂移角度可以通过 g_x^i 、 g_y^i 确定,用 α 表示该角度,则可以通过下式确定角度值:

$$[0050] \quad \alpha = \tan^{-1} \left(\frac{g_x^i}{g_y^i} \right)$$

[0051] 在初始对准刚一结束的时候,惯性坐标系就已经确定下来,再也不发生变化。我们以惯性坐标系的原点0为基准,把赤道平面分为四个象限,我们发现重力在赤道平面两个水平坐标轴上的投影的大小和方向也在发生相应的变化。所以,在求解 α 、 φ (α 表示重力矢量漂移角度、 φ 表示纬度)的时候也要考虑相应的变化。

[0052] 在子午圈的变化也可以确定,用角度 β 来表示,该值与纬度值 φ 相近,但是它的精度较低,误差有可能在 1° 左右,主要是它通过重力矢量直接确定,毕竟重力矢量的测量存在误差。重力矢量与赤道平面的夹角为:

$$[0053] \quad \beta = \tan^{-1} \left(\frac{g_z^i}{\sqrt{(g_x^i)^2 + (g_y^i)^2}} \right)$$

[0054] 步骤五:在已知重力矢量在赤道平面漂移角度 α 以及重力矢量与赤道平面的夹角 β 的情况下,经过两次坐标转换,就可以得到转换矩阵 C_t^n 。

[0055] 具体为,由重力矢量在赤道平面漂移角度 α 确定的旋转矩阵为:

$$[0056] \quad C_1 = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0057] 由重力矢量与赤道平面的夹角 β 形成的旋转矩阵为:

$$[0058] \quad C_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \sin \beta & \cos \beta \\ 0 & -\cos \beta & \sin \beta \end{bmatrix}$$

[0059] 由重力矢量在赤道平面漂移角度 α 以及重力矢量与赤道平面的夹角 β ,可以确定惯

性坐标系到地理坐标系的旋转关系。即

$$[0060] \quad C_i^n = C_1 \cdot C_2$$

[0061] 步骤六：在惯导系统中，利用陀螺仪采集角速率信号计算旋转矢量，通过更新四元数 Q ，从而可实现 C_b^i （载体系到惯性系的转换矩阵）的更新。

[0062] 具体为，利用惯导系统中陀螺仪采集角速度信号计算旋转矢量，进而更新四元数 Q 。从而完成 C_b^i 的更新：

$$[0063] \quad C_b^i = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix}$$

$$[0064] \quad = \begin{bmatrix} q_0^2 + q_1^2 - q_2^2 - q_3^2 & 2(q_1q_2 - q_0q_3) & 2(q_1q_3 + q_0q_2) \\ 2(q_1q_2 + q_0q_3) & q_0^2 - q_1^2 + q_2^2 - q_3^2 & 2(q_2q_3 - q_0q_1) \\ 2(q_1q_3 - q_0q_2) & 2(q_2q_3 + q_0q_1) & q_0^2 - q_1^2 - q_2^2 + q_3^2 \end{bmatrix}$$

[0065] 其中， $Q = q_0 + q_1\vec{i} + q_2\vec{j} + q_3\vec{k} = q_0 + \vec{q}$ ，为载体坐标系到惯性坐标系的转动四元数。

[0066] 步骤七：根据 C_i^n 和 C_b^i ，可以确定系统的姿态转换矩阵，即 C_b^n ，从而得到载体的姿态角（航向、纵摇和横摇）。

[0067] 具体为，姿态转换矩阵 C_b^n 按下式得到

$$[0068] \quad C_b^n = C_i^n C_b^i$$

[0069] 姿态角 ϕ 、 θ 和 ψ 可按下式计算：

$$[0070] \quad \begin{cases} \phi = \arctan 2(c_{32}, c_{33}) \\ \theta = \arctan 2(-c_{31}, \sqrt{c_{32}^2 + c_{33}^2}) \\ \psi = \arctan 2(c_{21}, c_{11}) \end{cases}$$

[0071] 式中， c_{ij} 为矩阵 C_b^n 中第 i 行第 j 列元素。

[0072] 针对传统的姿态解算方法会引入速度、位置信息，且存在舒勒周期和傅科周期，随时间积累会引入较大误差的问题，本发明利用加速度计和DGPS分别测量比力信息和载体加速度，由导航解算方程得到重力矢量 g^t ，根据GPS提供位置信息计算 C_i^t ，将重力矢量转换到惯性系，利用惯性空间的重力矢量求解重力矢量漂移角度和纬度得到转换矩阵 C_i^n ，再由陀螺仪通过更新四元数 Q ，完成 C_b^i 的更新，从而确定系统的姿态转换矩阵 C_b^n ，即获取载体的姿态信息。

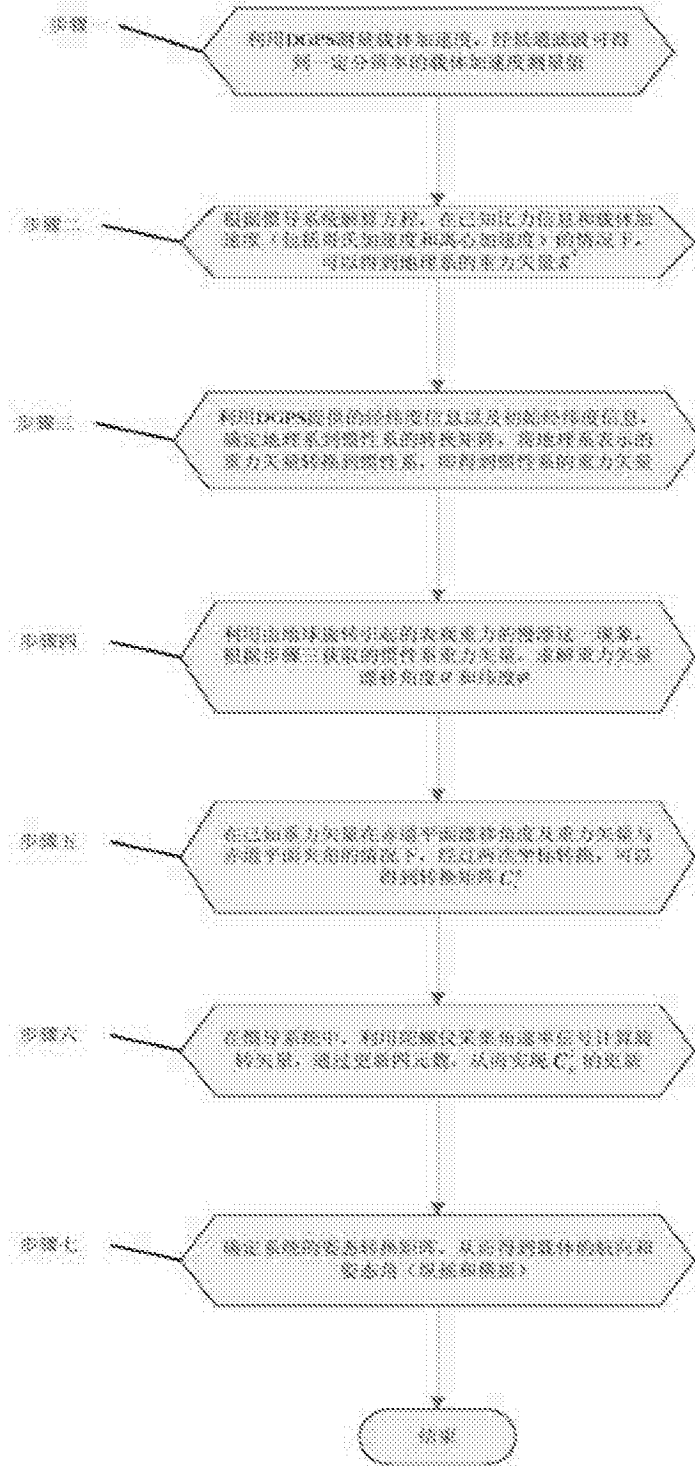


图1

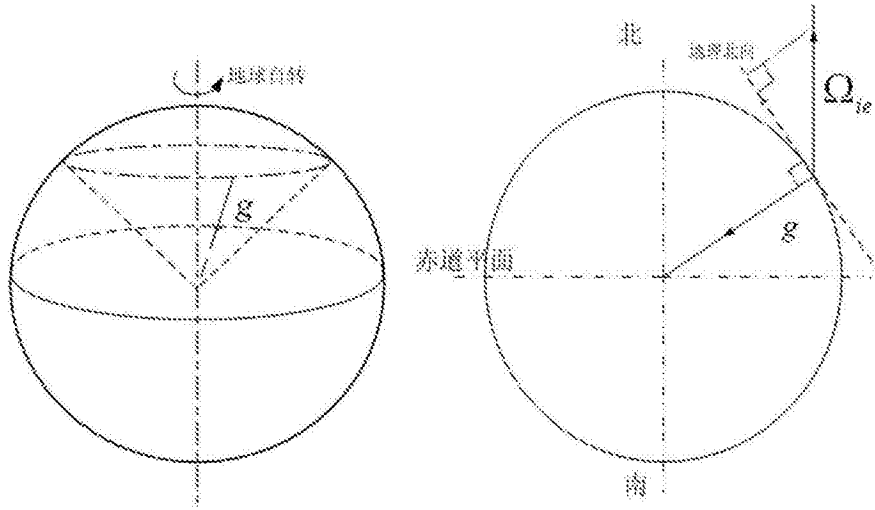


图2

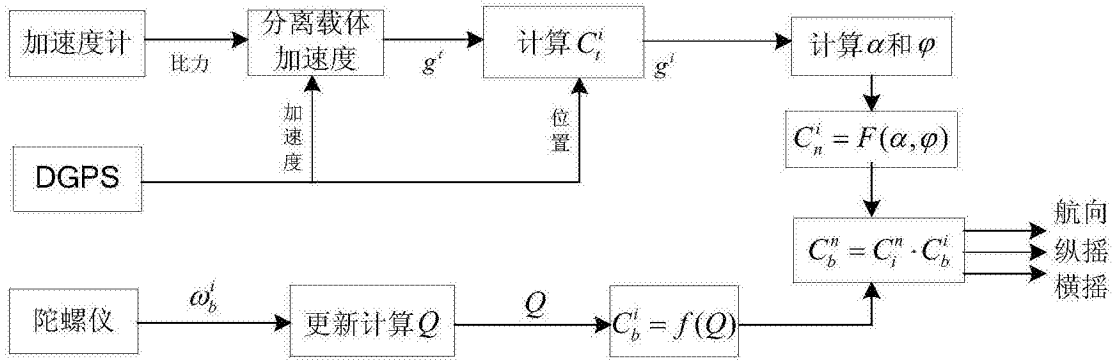


图3