



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114166215 B

(45) 授权公告日 2023. 08. 04

(21) 申请号 202111376411.7

G01C 25/00 (2006.01)

(22) 申请日 2021.11.19

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 107270938 A, 2017.10.20

申请公布号 CN 114166215 A

CN 111878064 A, 2020.11.03

(43) 申请公布日 2022.03.11

US 2009164067 A1, 2009.06.25

(73) 专利权人 西安航天精密机电研究所

US 2018231385 A1, 2018.08.16

地址 710100 陕西省西安市航天基地航天西路106号

WO 2021227012 A1, 2021.11.18

严恭敏; 秦永元. 激光捷联惯组的双轴位置转台标定仿真. 中国惯性技术学报. 2007, (第01期), 全文.

(72) 发明人 谢波 徐兵华 贺继超 江一夫

审查员 刘洋成

(74) 专利代理机构 西安智邦专利商标代理有限公司 61211

专利代理师 唐沛

(51) Int. Cl.

G01C 21/16 (2006.01)

G01C 21/20 (2006.01)

权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

一种旋转捷联惯组的转位机构和IMU同步标定及补偿方法

(57) 摘要

本发明公开了一种旋转捷联惯组的转位机构和IMU同步标定及补偿方法,该方法大大提升了惯组转动过程中载体姿态计算精度,该方法的主要实现步骤是:首先,利用双位置对准消除陀螺仪和加速度计零偏误差对对准结果的影响;其次,姿态跟踪模式可以避免速度误差和位置误差对姿态测量的影响;在驱动转位机构逆时针转动180°过程中利用姿态四元数误差模型对转轴偏角和不同步误差进行估计;将转位机构和IMU之间的误差标定出来之后,将该标定结果代入姿态转换公式,由IMU姿态信息转换为载体的姿态信息完成转位机构指定转轴的偏角,以及转位机构与IMU之间的时间不同步误差的补偿。



1. 一种旋转捷联惯组的转位机构和IMU同步标定及补偿方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1:将惯组静置于水平的台面上,接通电源,记录此时转位机构中各转轴电机位置均为 0° ;

步骤2:双位置对准

步骤2.1:第一位置对准;

控制转位机构指定转轴的电机逆时针转动到 180° 位置,待转位机构稳定后,开始对准,IMU在 180° 位置静止,持续时间为 t_1 ,记第一位置惯组对准姿态角为 ϕ_1 ;

步骤2.2:第二位置对准;

控制转位机构指定转轴的电机顺时针转动到 0° 位置,待转位机构稳定后,开始对准,IMU在 0° 位置静止,持续时间为 $t_2=t_1$,记第二位置惯组对准姿态角为 ϕ_2 ,在本次惯组转动过程及稳定过程中始终对第一位置惯组对准姿态角 ϕ_1 进行姿态跟踪,获得更新后的对准姿态角 ϕ_1' ;

步骤3:将对准姿态角 ϕ_1' 和 ϕ_2 分别转换为姿态矩阵 $C_{b_1}^n$ 和 $C_{b_2}^n$,将两个矩阵求均值得到最终姿态矩阵 C_b^n ,由该矩阵得到对应姿态角 ϕ 和姿态四元数 $q_{s_0}^n$;

步骤4:惯组进入姿态跟踪模式,获得转位机构的转轴偏角和转位机构与IMU存在的不同步误差;所述姿态跟踪模式即在捷联惯组导航递推过程中仅进行姿态更新,不进行速度和位置更新;

步骤4.1:控制转位机构指定转轴的电机逆时针转动到 180° 位置,记录转动过程中等角度间隔的N组数据,该N组数据为转位机构在每个角度时对应的姿态四元数 $q_{s_i}^n$, i 取值 $1, 2, 3, \dots, N$;

步骤4.2:将步骤4.1获得的N组数据 $q_{s_i}^n$,以及步骤3获得的姿态四元数 $q_{s_0}^n$ 代入姿态四元数误差模型方程,求解出转位机构指定转轴的电机的转轴偏角,以及转位机构与IMU之间的时间不同步误差,并作为标定结果;

步骤5:根据步骤4.2的标定结果,利用姿态转换公式将IMU的姿态四元数转换为惯组姿态四元数,从而完成转位机构指定转轴的偏角和转位机构与IMU之间的时间不同步误差的补偿。

2. 根据权利要求1所述的旋转捷联惯组的转位机构和IMU同步标定及补偿方法,其特征在于:步骤4.2中,所述姿态四元数误差模型方程的具体计算公式为:

$$q_{s_0}^n = q_{s_i}^n \circ \left[\cos \left(\frac{\theta_{i1} + \frac{\alpha}{\tau} (\theta_{i2} - \theta_{i1})}{2} \right) + \mathbf{u} \sin \left(\frac{\theta_{i1} + \frac{\alpha}{\tau} (\theta_{i2} - \theta_{i1})}{2} \right) \right], \quad i = 0, 1, 2, \dots, N$$

其中, \mathbf{u} 为转位机构指定转轴的转轴偏角; α 为转位机构与IMU之间的时间不同步误差; θ_1 和 θ_2 为IMU采样时刻前后相邻的两次转位机构角度采样值, τ 为采样间隔。

一种旋转捷联惯组的转位机构和IMU同步标定及补偿方法

技术领域

[0001] 本发明属于捷联惯导技术领域,尤其涉及一种旋转捷联惯组的转位机构和IMU同步标定及补偿方法。

背景技术

[0002] 某型号捷联惯组(以下简称惯组)由双轴速率转位机构+IMU构成,其具体结构包括:三块120型光纤陀螺仪、三块石英挠性加速度计、双轴速率转位机构、电子线路及软件等组成。

[0003] 该惯组可用于为定位定向系统实时提供载车的姿态信息、速度信息和位置信息,具有惯性测量、自对准、自标定、自检测、旋转调制、航向角隔离等功能。惯组自对准采用双位置对准技术,在对准后进入航向角隔离的旋转调制导航模式,要求光纤惯组能够为载车提供高精度姿态信息、速度信息和位置信息。

[0004] 在调制导航过程中,由于转位机构带动IMU(惯性测量单元)循环翻转,考虑到转位机构在加工和安装时与IMU坐标系相应轴不完全平行,存在转轴偏角,同时转位机构与IMU存在时间不同步误差,从而大大影响了惯组转动过程中载体姿态计算的精度。

发明内容

[0005] 针对旋转捷联惯组中转位机构带动IMU循环翻转时存在转轴偏角,以及转位机构与IMU存在时间不同步误差,导致惯组转动过程中载体姿态计算精度差的问题,本发明提供了一种旋转捷联惯组的转位机构和IMU同步标定及补偿方法。

[0006] 本发明的基本实现原理是:

[0007] 采用双位置对准和姿态跟踪模式的姿态测量方法:

[0008] 首先,利用双位置对准消除陀螺仪和加速度计零偏误差对对准结果的影响;

[0009] 其次,姿态跟踪模式可以避免速度误差和位置误差对姿态测量的影响;

[0010] 在驱动转位机构逆时针转动 180° 过程中利用姿态四元数误差模型对转轴偏角和不同步误差进行估计;将转位机构和IMU之间的误差标定出来之后,将该标定结果代入姿态转换公式,由IMU姿态信息转换为载体的姿态信息完成转位机构指定转轴的偏角,以及转位机构与IMU之间的时间不同步误差的补偿。

[0011] 本发明的具体技术方案如下:

[0012] 一种旋转捷联惯组的转位机构和IMU同步标定及补偿方法,包括以下步骤:

[0013] 步骤1:将惯组静置于水平的台面上,接通电源,记录此时转位机构中各转轴电机位置均为 0° ;

[0014] 步骤2:双位置对准

[0015] 步骤2.1:第一位置对准;

[0016] 控制转位机构指定转轴的电机逆时针转动到 180° 位置,待转位机构稳定后,开始对准,IMU在 180° 位置静止,持续时间为 t_1 ,记第一位置惯组对准姿态角为 ϕ_1 ;

[0017] 步骤2.2:第二位置对准;

[0018] 控制转位机构指定转轴的电机顺时针转动到 0° 位置,待转位机构稳定后,开始对准,IMU在 0° 位置静止,持续时间为 $t_2=t_1$,记第二位置惯组对准姿态角为 ϕ_2 ,在本次惯组转动过程及稳定过程中始终对第一位置惯组对准姿态角 ϕ_1 进行姿态跟踪,获得更新后的对准姿态角 ϕ_1' ;

[0019] 步骤3:将对准姿态角 ϕ_1' 和 ϕ_2 分别转换为姿态矩阵 $C_{b_1}^n$ 和 $C_{b_2}^n$,将两个矩阵求均值得到最终姿态矩阵 C_b^n ,由该矩阵得到对应姿态角 ϕ 和姿态四元数 $q_{s_0}^n$;

[0020] 步骤4:惯组进入姿态跟踪模式,获得转位机构的转轴偏角和转位机构与IMU存在的不同步误差;所述姿态跟踪模式即在捷联惯组导航递推过程中仅进行姿态更新,不进行速度和位置更新;

[0021] 步骤4.1:控制转位机构指定转轴的电机逆时针转动到 180° 位置,记录转动过程中等角度间隔的N组数据,该N组数据为转位机构在每个角度时对应的姿态四元数 $q_{s_i}^n$, i 取值 $1,2,3,\dots,N$;

[0022] 步骤4.2:将步骤4.1获得的N组数据 $q_{s_i}^n$,以及步骤3获得的姿态四元数 $q_{s_0}^n$ 代入姿态四元数误差模型方程,求解出转位机构指定转轴的电机的转轴偏角,以及转位机构与IMU之间的时间不同步误差,并作为标定结果;

[0023] 步骤5:根据步骤4.2的标定结果,利用姿态转换公式将IMU的姿态四元数转换为惯组的姿态四元数,从而完成转位机构指定转轴的偏角和转位机构与IMU之间的时间不同步误差的补偿。

[0024] 进一步地,步骤4.2中,所述姿态四元数误差模型方程的具体计算公式为:

$$[0025] \quad q_{s_0}^n = q_{s_i}^n \circ \left[\cos \left(\frac{\theta_{i1} + \frac{\alpha}{\tau} (\theta_{i2} - \theta_{i1})}{2} \right) + u \sin \left(\frac{\theta_{i1} + \frac{\alpha}{\tau} (\theta_{i2} - \theta_{i1})}{2} \right) \right], (i = 0, 1, 2, \dots, N)$$

[0026] 其中, u 为转位机构指定转轴的转轴偏角; α 为转位机构与IMU之间的时间不同步误差; θ_1 和 θ_2 为IMU采样时刻前后相邻的两次转位机构角度采样值, τ 为采样间隔。

[0027] 本发明的有益效果是:

[0028] 通过指定的流程和算法对转位机构指定轴的偏角和转位机构与IMU之间的时间不同步误差进行标定和补偿,能够提高在转位机构转动时惯组姿态信息的计算精度,且在导航递推过程中不进行速度更新和位置更新,避免加速度计误差对标定结果产生影响。

附图说明

[0029] 图1是相关坐标系示意图;

[0030] 图2是标定工作流程图。

具体实施方式

[0031] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图对本发明公开的实施方式作进一步详细描述。

[0032] 在实际过程中,双轴转位机构中具有内轴和外轴,三轴转位机构中具有内轴、中轴以及外轴,通过调整惯组状态将转位机构指定转轴近似指向天向,就可以通过本发明的方法可以获取转位机构中任意指定转轴的转动偏角,以及转位机构与IMU存在的时间不同步误差。

[0033] 如图1所示,将IMU坐标系记为载体坐标系s(载体坐标系s中三个坐标轴分别记为 (X_s, Y_s, Z_s)),取转位机构在 0° 位置时的IMU坐标系作为载体坐标系 s_0 (载体坐标系 s_0 中三个坐标轴分别记为 $(X_{s_0}, Y_{s_0}, Z_{s_0})$),在本实施例中,该惯组需要标定得到转位机构中指定转轴(与 Z_{s_0} 轴近似重合)的转动偏角,以及转位机构与IMU之间的时间不同步误差,已知IMU采样滞后时间在 $0\sim 10\text{ms}$ 之间,采样间隔为 $\tau = 10\text{ms}$,在标定过程中,除待标定转轴外,其余转轴均处于 0° 位置。具体的标定补偿方法如图2所示:

[0034] S1:将惯组静置在台面上,将转位机构指定转轴朝上,接通电源,此时转位机构中各转轴的电机位均在 0° 位置;

[0035] S2:控制转位机构指定转轴的电机逆时针转动到 180° 位置,待转位机构稳定后,开始对准流程,IMU在 180° 位置静止时间为 $t_1 = 140\text{s}$,记第一位置惯组对准姿态角为 ϕ_1 ;

[0036] S3:控制转位机构指定转轴的电机顺时针转动到 0° 位置,待转位机构稳定后,开始对准,IMU在 0° 位置静止,持续时间为 $t_2 = t_1$,记第二位置惯组对准姿态角为 ϕ_2 ,在本次惯组转动过程及稳定过程中始终对第一位置惯组对准姿态角 ϕ_1 进行姿态跟踪,获得更新后的对准姿态角 ϕ_1' ;

[0037] S4:将惯组的对准姿态角 ϕ_1' 和 ϕ_2 分别转换为惯组的姿态矩阵 $C_{s_{01}}^n$ 和 $C_{s_{02}}^n$,将两个姿态矩阵求均值得到最终惯组的姿态矩阵 $C_{s_0}^n$,由该姿态矩阵 $C_{s_0}^n$ 得到对应的姿态角 ϕ 和姿态四元数 $q_{s_0}^n$,随后惯组进入姿态跟踪模式,姿态跟踪模式仅进行姿态更新,不进行速度和位置更新;

[0038] S5:驱动转位机构指定转轴的电机逆时针转动到 180° 位置,记录转动过程中等角度间隔的10组数据,该10组数据为转位机构指定转轴的电机在每个角度时对应的姿态四元数 $q_{s_i}^n$, i 取值 $1, 2, 3, \dots, 10$;

[0039] S6:将步骤S5获得的10组数据 $q_{s_i}^n$,以及步骤S4获得的姿态四元数 $q_{s_0}^n$ 代入姿态四元数误差模型方程,求解出转位机构指定转轴的电机的转轴偏角 u ,以及转位机构与IMU之间的时间不同步误差 α ,并作为标定结果,方程具体形式为:

$$[0040] \quad q_{s_0}^n = q_{s_i}^n \circ \left[\cos \left(\frac{\theta_{i1} + \frac{\alpha}{\tau} (\theta_{i2} - \theta_{i1})}{2} \right) + u \sin \left(\frac{\theta_{i1} + \frac{\alpha}{\tau} (\theta_{i2} - \theta_{i1})}{2} \right) \right], (i = 0, 1, 2, \dots, N)$$

[0041] 其中, θ_{i1} 和 θ_{i2} 为IMU采样时刻前后相邻两次转位机构的角速度,本例中已知IMU信息相对转位机构滞后时间为 $0\sim 10\text{ms}$,则 θ_{i1} 为上一次采样转位机构角速度, θ_{i2} 为本次采样转位机构角速度; τ 为采样间隔,已知为 0.01s 。

[0042] S7:根据标定结果,此后在导航时利用姿态转换公式将IMU的姿态四元数转换为惯组的姿态四元数,从而完成转位机构天向轴的偏角和转位机构与IMU之间的时间不同步误差的补偿。

[0043] 本发明虽然已以较佳实施例公开如上,但其并不是用来限定本发明,任何本领域技术人员在不脱离本发明的精神和范围内,都可以利用上述揭示的方法和技术内容对本发明技术方案做出可能的变动和修改,因此,凡是未脱离本发明技术方案的内容,依据本发明的技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、等同变化及修饰,均属于本发明技术方案的保护范围。

[0044] 本发明说明书中未作详细描述的内容属于本领域专业技术人员的公知技术。

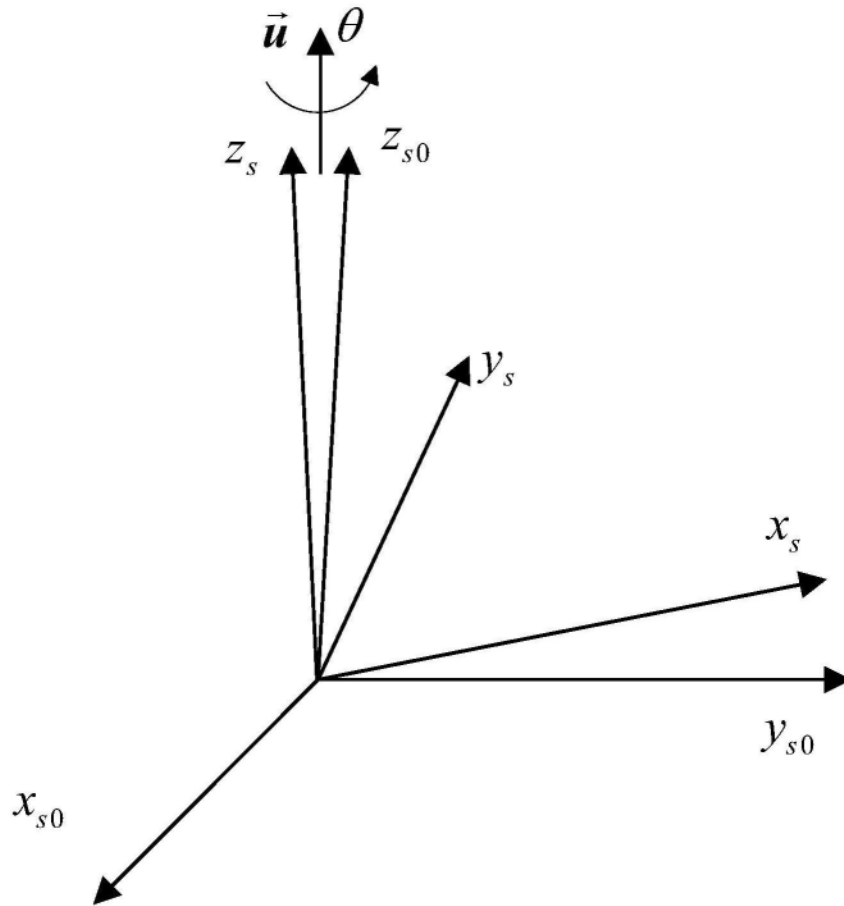


图1

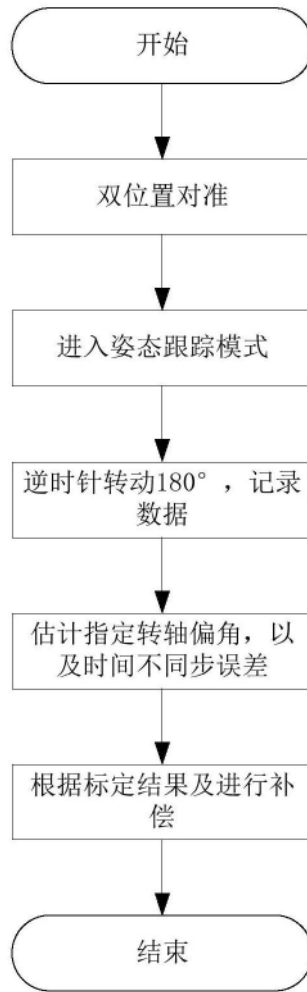


图2