

高精度全姿态惯性平台的自标定

王俊山 张金生 夏朝辉 王仕成

(第二炮兵工程学院, 西安 710025)

摘要 传统的惯性平台的标定方法存在很大的局限性。根据高精度惯性仪表的特性,对传统的误差模型适当地进行了简化,建立了供自标定使用的陀螺仪、加速度计误差模型;针对三框架四轴全姿态惯性平台,提出了一种七位置自标定方案;给出了公式解算方法及数据测试方法,占用时间约40 min,共分离出包括两个水平地速分量在内的20项误差系数。通过自标定时间、精度分析,表明该自标定方案有助于缩短平台的测试时间,提高武器系统的使用精度。

关键词 惯性平台 误差模型 自标定

中图法分类号 V554.3 TP202.2; **文献标志码** A

惯性平台的标定是误差补偿技术的关键,标定精度直接影响补偿的效果^[1]。通常的标定方法要将惯导系统从载体上拆下,在实验室借助高精度三轴精密转台才能完成,不仅试验设备昂贵、方法复杂、准备时间过长、占用人员过多,而且这种标定始终处于一种理想状态,其环境与武器系统实际状态相差甚远,同时存在时间差异^[2]。因此,利用该方法进行系统的误差补偿会存在较大误差。为此,针对完成了装弹状态的惯导系统,利用惯性平台自身具有的条件和特性,结合平台稳定回路,完成误差系数分离所需的转位,然后采集平台加速度计和三个框架角传感器输出,如此即可在一次通电情况下完成平台的自标定,这将具有重要的实际意义^[3]。本文研究三框架四轴全姿态惯性平台。为了实现自标定的快速性,本文研究的自标定不包括惯性仪表的安装误差,另外,假设载体水平放置,惯性系统提前启动并调整到初始标定位置。

1 误差模型

所研究的高精度全姿态惯性平台上有三个单

自由度积分陀螺仪与三个石英加速度表,各仪表定向如图1所示。

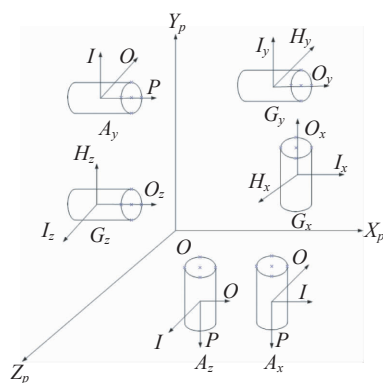


图1 平台组成及仪表定向示意图

在1g重力场条件下,在短时间内不可能精确标定与加速度二次方有关的漂移系数。而且在分离误差系数时,试验设计比较复杂。因此需要忽略一些次要的微小误差,以简化误差模型。

陀螺仪简化的误差模型为^[4]:

$$\begin{cases} \omega_{dx} = D_{0x} + D_{11x}g_x + D_{12x}g_y + D_{13x}g_z \\ \omega_{dy} = D_{0y} + D_{11y}g_x + D_{12y}g_y + D_{13y}g_z \\ \omega_{dz} = D_{0z} + D_{11z}g_x + D_{12z}g_y + D_{13z}g_z \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中, ω_{dx} 、 ω_{dy} 、 ω_{dz} 为平台台体绕平台惯性坐标系三个方向的漂移角速率; D_{0x} 、 D_{0y} 、 D_{0z} 为X、Y、Z陀螺与加速度无关的漂移系数(零次项系数); D_{11x} 、

D_{11y} 、 D_{11z} 为 X 、 Y 、 Z 陀螺浮子沿敏感轴向偏心所产生的漂移系数; D_{12x} 、 D_{12y} 、 D_{12z} 为 X 、 Y 、 Z 陀螺浮子沿输出轴向偏心所产生的漂移系数; D_{13x} 、 D_{13y} 、 D_{13z} 为 X 、 Y 、 Z 陀螺浮子沿转子轴向偏心所产生的漂移系数。

加速度计的主要误差因素为标度因数和零偏。误差模型可表示为:

$$\begin{cases} N_{ax} = k_{1x}(k_{0x} + a_x) \\ N_{ay} = k_{1y}(k_{0y} + a_y) \\ N_{az} = k_{1z}(k_{0z} + a_z) \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中: N_{ax} 、 N_{ay} 、 N_{az} 为加速度计的脉冲输出; k_{1x} 、 k_{1y} 、 k_{1z} 为加速度计当量; k_{0x} 、 k_{0y} 、 k_{0z} 为加速度计零偏; a_x 、 a_y 、 a_z 为轴向视加速度。

2 自标定方案设计

2.1 七位置方案设计

只标定陀螺仪和加速度计的零次项和一次项,则一方面要尽量避免不标定的高阶项对被标定参数的影响,同时要最大可能地激励被标定参数。另外,所研究的平台没有方位基准,因此标定时观测量中包括的水平地速分量必须靠标定分离出来。由于天向地速分量已知,因此,只需估计两个水平地速分量 $\omega_N \cos A$ 和 $\omega_N \sin A$,将水平分量地速当作两个量分离。

位置 0 与位置 1 绕天向轴旋转 180° ,可以最高精度地估计出水平地速分量。位置 1 至位置 6 的六个位置分别使台体的 X 、 Y 、 Z 轴分别向上、向下各一次,这种状态下能最大可能地激励一次项,而且一次项对应的观测矩阵列向量相互正交,因而具有最高的标定精度。为此设计了如图 2 所示的标定方案。设第一位置平台坐标系 X 轴相对北向夹角为 A ,偏东为正。

2.2 误差系数的分离

图 3 列出了位置 2 状态下各仪表的定向示意图。

根据此示意图,列出平台上各仪表的测量方程分别如式(3)。

$$\begin{cases} \omega_{dx2} = D_{0x} - D_{11x}g - \omega_A \\ \omega_{dy2} = D_{0y} - D_{11y}g + \omega_N \cos A \\ \omega_{dz2} = D_{0z} - D_{11z}g - \omega_N \sin A \end{cases} \quad (3)$$

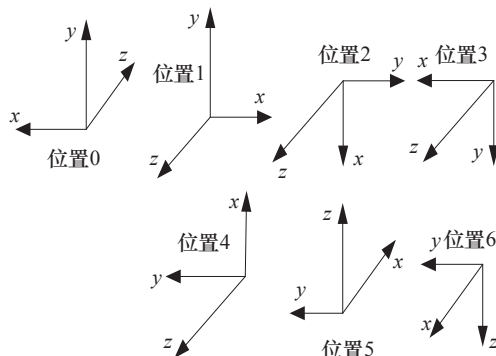


图2 标定方案设计示意图

式(3)中, ω_{dx2} 、 ω_{dy2} 、 ω_{dz2} 为位置 2 状态下各轴向综合角速率; D_{0x} 、 D_{0y} 、 D_{0z} 为零次项

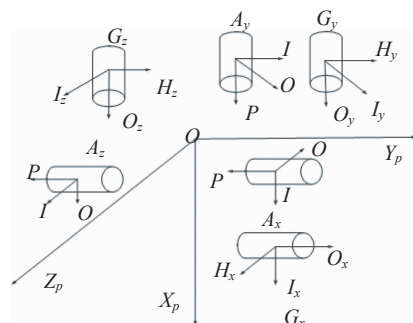


图3 位置2 仪表定向示意图

系数; D_{11x} 、 D_{11y} 、 D_{11z} 为敏感轴向系数; ω_A 为天向地速分量, ω_N 为北向地速分量,均为已知量; A 为平台初始方位角。

其他位置各仪表的测量方程可依照此位置方程写出。

其中,由位置 0、位置 1 可以估计出水平地速分量如式(4)。

$$\begin{cases} \omega_N \cos A = \frac{\omega_{dx1} - \omega_{dx0}}{2} \\ \omega_N \sin A = \frac{\omega_{dz0} - \omega_{dz1}}{2} \end{cases} \quad (4)$$

以 G_x 陀螺仪和 A_x 加速度计为例,可以得出平

台上 G_x 陀螺仪、 A_x 加速度计误差系数解算结果如式(5)、式(6)。

$$\begin{cases} \hat{D}_{0x} = \frac{\omega_{dx1} + \omega_{dx3}}{2} \\ \hat{D}_{11x} = \frac{\omega_{dx4} - \omega_{dx2}}{2} - \omega_A \\ \hat{D}_{12x} = \frac{\omega_{dx0} - \omega_{dx3}}{2} \\ \hat{D}_{13x} = \frac{\omega_{dx5} - \omega_{dx6} - \omega_{dz0} + \omega_{dz1}}{2} \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} k_{1x} = \frac{N_{ax4} - N_{ax2}}{2g} \\ k_{0x} = \frac{N_{ax2} + N_{ax4}}{2k_{1x}} \end{cases} \quad (6)$$

同样的方法可以解算出其他四个惯性仪表的误差系数。

3 测试方法

在确定标定方案后,如何通过测量和估计获得每个位置陀螺仪、加速度计的精确输出是确保标定精度的关键。

3.1 陀螺仪测试方法

平台系统中的陀螺仪漂移测量方法通常有开环测漂法和闭环测漂法。闭环测漂法又分为小回路闭环测漂法和大回路闭环测漂法。小回路闭环测漂法的标定环境与使用环境不一致,可能因环境不一致而带来误差,削弱了自标定对提高平台使用精度的作用,因此自标定测漂不选用该方法。

开环测漂法和大回路闭环测漂法都有成功应用,在标定精度和标定时间上相当。由于开环测漂法只需要在开环状态下采集框架角和加速度表的输出,实现起来很容易。而大回路闭环测漂法需要锁定电路、调平回路配合工作,并需要将反馈电流 I/F 转换,实现难度要大一些。因此本方案采用开环测漂法测漂方案。

3.2 加速度计测试方法

加速度表输出通常为脉冲,单元测试时通常采用定数计时法和定时计数法。当精度要求非常高

时,量化误差造成的影响显著,必须要求测量时间较长才能达到精度要求。为了缩短测量时间,可以采用定周期采样,对采样数据序列用估计算法估计得到。这种方法可以有效减小量化误差的影响。

4 自标定测试结果及时间精度分析

在一次通电条件下,七位置陀螺仪自标定试验结果如表 1 所示。

表 1 自标定测试结果

D_0	D_{11}	D_{12}	D_{13}
0.354 104 1	0.815 697 9	-0.212 866 8	2.297 651

表 1 中, D_0 单位是 ($^{\circ}/h$), D_{11} 、 D_{12} 、 D_{13} 单位是 [$^{\circ}/h \cdot g$]。

从标定结果可以看出所分离的误差系数具有较高的标定精度。

七位置方案完成一次标定需要转位 6 次,共 720° 。位置 0 可以在标定准备时间内预先完成,不占标定时间。假设转位速度为 $5^{\circ}/s$,则转位时间为 154 s。设每个位置稳定时间为 1 min,则转位及稳定所需时间为 8 min 34 s。如果要求 40 min 内完成标定,则有 31 min 26 s 的时间用于位置测试。因此,对于七位置方案,每个位置可用的测量时间约 270 s。

当各位置测量精度相等且为 σ 时,有 14 个系数的标定精度为 $\sigma/\sqrt{2}$,4 个系数的标定精度为 σ 。

5 结论

研究了一种没有方位基准的高精度全姿态惯性平台的自标定。为减小计算误差,本方案首次提出将包含初始方位角信息的两个水平地速分量作为待分离变量,共分离出 20 项误差系数,占时约 40 min,较好地解决了精度与速度间的矛盾。

参 考 文 献

1 董燕琴,王玉森,安维廉,等.平台自标定数据有效性评估方法研究. 航天控制,2009;27(1):85—88

Research on the Evaluation Model of ECIS Performance under Electronic Commerce

SUN Lin-fang, GUO Wei

(College of Economic and Management, Jiangsu Paty technvcal Univevsiy, Zhenjiang 212003, P. R. China)

[Abstract] Under electronic commerce, the work of carrying out enterprise competitive intelligence is getting to be paid more attention. As an essential sector, competitive intelligence system plays an important part in competitive intelligence process, so the study of competitive intelligence system performance evaluation will prove of great importance. The index system of competitive intelligence performance evaluation is analysed as well as the influencing factors determining competitive intelligence performance, and then uses AHP method to fix on the weight of index system. And then applies fuzzy synthesis evaluation to work out the evaluation model of ECIS performance under electronic commerce. Finally with a certain electronic commerce company to practice of the evaluation model, the results are combined and analyzed.

[Key words] electronic commerce ECIS performance evaluation AHP fuzzy synthesis evaluation

(上接第 7091 页)

- 2 徐军辉,钱培贤,汪立新. 有限转动导航平台的自标定. 计算机测量与控制, 2003; 11(8): 615—617
- 3 肖正林,钱培贤,徐军辉. 三轴平台快速自标定与自对准方法探讨. 宇航学报, 2006; 27(2): 222—226
- 4 秦永元. 惯性导航. 北京: 科学出版社, 2006

Self-calibration for a High Precision All-attitude Inertial Platform

WANG Jun-shan, ZHANG Jin-sheng, XIA Chao-hui, WANG Shi-cheng

(The Second Artillery Engineering College, Xi'an 710025, P. R. China)

[Abstract] The traditional calibration method for inertial platform has much localization. According to the characteristic of high precision inertial instrument, the traditional error models is simplified and the ones for gyroscope and accelerometer in self-calibration is established. A scheme of 7-position self-calibration for 3-frame 4-axis all-attitude inertial platform is put forward. Some formulas and test methods are given. It will take about 40 minutes to calibrate 20 errors in all, including two acclinic earth self-rotation angle velocity. This method can give great help to the test and use of the platform by analysis of time and precision.

[Key words] inertial platform error model self-calibration