

文章编号 1004-924X(2013)09-2287-07

车载动平台位置干扰的传递解算

刘廷霞*, 王伟国, 陈长青

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要:在研究平台稳定原理的基础上,结合工程结构配置特点,提出了平台稳定位置干扰值的传递解算算法。该算法首先在稳定平台上安装一个中间惯导,然后建立中间惯导与稳定平台的一致性关系;接着根据实测数据建立车载惯导和中间惯导的关系转换矩阵,通过转换矩阵和车载惯导即可求出中间惯导的值。最后由此构建一个“虚拟惯导”代替中间惯导,该“虚拟惯导”的值就是稳定平台的位置干扰值。实验结果表明:该算法具有较高的解算精度,误差最大值为 0.0561° 。该算法在不调整车载惯导状态的基础上,利用现成的车载惯导实现了平台的稳定性,既提高了工作效率,又提高了性价比。目前,该算法已成功应用于车载动平台的稳定中。

关键词:车载动平台;惯性平台;坐标转换;位置干扰;自稳定;惯性制导

中图分类号:V448 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20132109.2287

Transferrable arithmetics of position-disturbing value for vehicular dynamic platform

LIU Ting-xia*, WANG Wei-guo, CHEN Chang-qing

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

* Corresponding author, E-mail: liutingxia2001@sohu.com

Abstract: A transferrable arithmetic of the position-disturbing value for a stable platform was proposed on the basis of the detailed study of the stable principle of the dynamic platform and its configuration characteristics. The principle of the transferrable arithmetic is as follows: the coherence is built between the middle inertia and the platform firstly, and then the relation conversion matrix is established between the vehicular inertia and the middle inertia. The value of the middle inertia is deduced by the conversion matrix and vehicular inertia. By above, the middle inertia can be replaced with a “fictitious inertia” constructed by the relation conversion matrix and the vehicular inertia. This “fictitious inertia” value is the position-disturbing value of the dynamic platform. Experimental results show that this transferrable arithmetic has high precision, and its max error is 0.0561° . The dynamic platform stabilization is realized by this arithmetic with the ready inertia on the basis of the unadjusted vehicular inertia. It has advantages not only the work efficiency but also the performance-price ratio. The method has been already successfully used in several vehicular dynamic platforms.

Key words: vehicular dynamic platform; inertial platform; coordinate conversion; position disturbing; self-stabilization; inertial guiding

收稿日期:2013-04-03;修订日期:2013-05-15.

基金项目:中国科学院三期创新工程资助项目(No. 061X20C060)

1 引言

稳定平台能建立稳定的工作基准面,与载体的角运动干扰相隔离,在惯性空间内保持水平姿态稳定,使安装在稳定平台上的光电设备能正常使用^[1]。

在车载机动式激光武器系统工程中,稳定平台装载在装甲车的上舱板上,在装甲车的下舱板上安装了车载惯导,实时测量装甲车的姿态变化。由于车载惯导与稳定平台安装位置不确定,当载车机动作战时,载车姿态变化引起稳定平台偏离水平面的位置扰动值不能由车载惯导的姿态角直接获取。本文在研究分析了车载惯导与稳定平台安装关系的基础上,提出了稳定平台位置干扰值的传递解算算法:借助一个中间惯导,将其安装在稳定平台上,并使中间惯导轴与稳定平台轴一致,即中间惯导姿态变化量代表稳定平台偏离水平面的值。在此基础上,通过高精度水平仪标定稳定平台的零位,即稳定平台保持水平时的编码器值,同时记下中间惯导和车载惯导的姿态值。根据实测数据求出车载惯导和中间惯导的关系转换矩阵,通过关系转换矩阵 Φ 和车载惯导即可求出中间惯导的姿态值。通过关系转换矩阵 Φ 和车载惯导构建一个“虚拟惯导”,该“虚拟惯导”的值就是中间惯导的姿态值。用构建的“虚拟惯导”代替中间惯导,即利用实时测得的车惯导姿态值,通过关系转换矩阵就可以求出“虚拟惯导”(中间惯导)的值从而实现位置干扰值的传递解算。

2 稳定平台工作原理

图 1 为稳定平台、车载惯导及中间惯导在装甲车上的位置关系示意图。装甲车的下舱板上安装一个车载惯导,用来测量装甲车的姿态变化。安装时使车载惯导的航向轴 Z_c 与车体垂直、横摇轴 Y_c 与车体艏艉方向基本一致,纵摇轴 X_c 垂直艏艉方向向右。车载惯导的姿态值随车体姿态的变化而变化。稳定平台安装在装甲车的上舱板上,虽然稳定平台与车载惯导安装在同一刚体上,但是由于两者的安装无法保证两者轴的一致,必然存在固定的误差,因此稳定平台不能直接利用车载惯导的姿态值作为位置干扰值。但是车载惯

导与稳定平台轴之间的固定角度差可通过实测数据求出关系转换矩阵,通过关系转换矩阵即可通过车载惯导姿态值求出稳定平台的位置干扰值。作为传递标定的中间惯导安装在稳定平台内框架的轴头上。

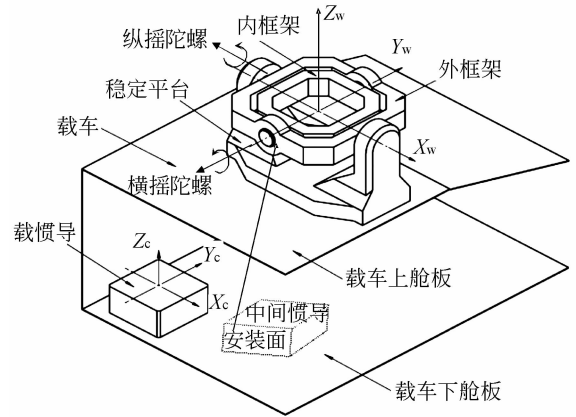


图 1 车载稳定平台位置关系示意图

Fig. 1 Sketch map of position relation for vehicular dynamic platform

图 2 所示为稳定平台的稳定伺服控制系统的原理图。稳定原理^[2-5]:采用位置和速度双闭环控制。速度扰动的隔离,采用速率陀螺敏感载体对稳台的速度干扰值,敏感纵摇方向的陀螺安装在稳台的内左立柱内,敏感轴与纵摇轴平行;敏感横滚方向的陀螺安装在外框架上,敏感轴随外框架动且垂直纵摇轴、平行横滚轴。根据稳定原理,这样安装的陀螺直接敏感载体对平台的速度干扰值,与稳定速度回路速度反馈值大小相等、方向相反;对于位置扰动值的隔离,扰动量的解算是本论文的创新点。

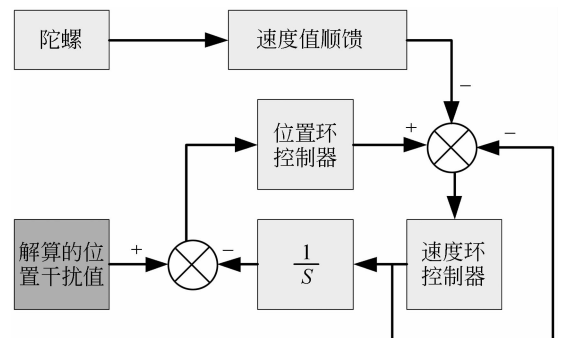


图 2 平台稳定原理系统框图

Fig. 2 System frame of stabilization principle for vehicular platform

3 位置干扰值传递解算算法原理

为了利用现有的车载惯导稳定平台,必须建立车载惯导与稳定平台轴的关系。首先建立稳定平台轴与中间惯导轴的关系;其次建立中间惯导与车载惯导的关系,即求出中间惯导与车载惯导的关系转换矩阵,即合理地建立坐标系、确定坐标系之间的变换矩阵的过程^[6-10]。

3.1 稳定平台与中间惯导的关系建立

标定稳定平台与中间惯导的关系建立具体过程如下:

(1)在稳定平台内框架轴头上安装一个中间惯导,安装时,保证中间惯导的纵摇轴和横滚轴分别与稳定平台的外框架轴和内框架轴平行。

(2)利用稳定平台两轴的编码器标定两者的一致性。编码器分辨力为 $0.18''$ 。外框架每个 5° 定点,内框架闭环等速转动,同时记下内框架编码器的变化量和中间惯导的姿态变化量,根据内框架编码器值变化量与中间惯导横滚值的变化量关系,调整中间惯导使以上两者的变化量一致,即内框架轴与中间惯导的横滚轴一致。同理,标定出外框架轴与中间惯导纵摇轴的关系,外框架轴与中间惯导纵摇轴的平行度为 $0.5'$,内框架轴与横滚轴的平行度为 $0.6'$;

(3)采用高精度 $2''$ 水平仪把稳定平台标成水平,读取中间惯导和车载惯导的姿态值及稳定平台轴的编码器值。中间惯导和车载惯导的姿态值作为求出两者关系转换矩阵的实测数据,而稳定平台的编码器值为平台水平时的零位值。

3.2 坐标系的建立

(1)大地坐标系(X_g, Y_g, Z_g)

大地坐标系 $O-X_gY_gZ_g$:用来表示载体行进中所在位置的东向、北向和垂线方向的坐标系。一般原点 O 是载体重心在地球表面上的投影, X_g 、 Y_g 轴位于当地水平面内, X_g 轴指向东, Y_g 轴指向北, Z_g 轴沿当地地理垂线向上。

(2)载体坐标系(X_c, Y_c, Z_c)

载体坐标系 $O-X_cY_cZ_c$:是固连在载体上的坐标系。坐标原点 O 位于载体的重心处, X_c 轴沿载体横轴指向右, Y_c 轴沿载体纵轴指向载体前端, Z_c 轴垂直于 X_c 、 Y_c 轴,构成右手坐标系。载体相对

于大地坐标系的转角就是载体的姿态角,即航向值 H 、纵摇值 P 、横滚值 R ,两者的关系如图3所示,在3个方向姿态角都为0时, g 系与 c 系重合;当惯导具有偏航角 H 、俯仰角 P 和横滚角 R 时,将 g 系依次绕 $O-Z_g$ 轴旋转 H 角、绕 $O-X_g$ 轴旋转 P 角、绕 $O-Y_g$ 轴旋转 R 角,即得 c 系。

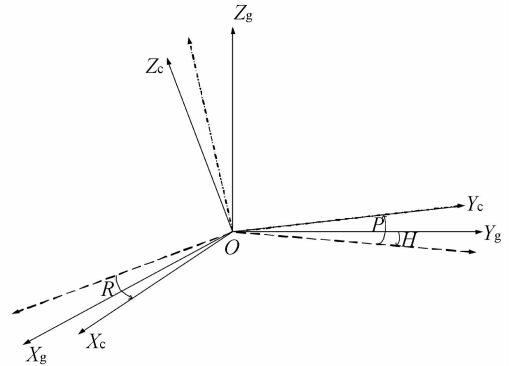


图3 大地坐标与载体坐标系的关系

Fig. 3 Relation between earth and carrier coordinate

(3)稳台坐标系(X_w, Y_w, Z_w)

稳台坐标系 $O-X_wY_wZ_w$:是固连在稳定平台上的坐标系。坐标原点在稳定平台纵轴和横轴的交点处, X_w 轴沿稳定平台外框架轴向右并与外框架轴重合, Y_w 轴沿稳定平台内框架轴向前并与内框架轴重合, Z_w 轴垂直于 X_w 、 Y_w 轴,构成右手坐标系。稳台坐标系随稳定平台转动,当稳定平台锁定在水平零位时,稳台坐标系轴与车载惯导轴的夹角是固定的,即通过标定的实测数据可测得两坐标系的关系转换矩阵。

3.3 位置干扰值的传递解算

为了保持稳定平台相对大地水平面的水平,需要得出大地坐标系 $O-X_gY_gZ_g$ 与稳定平台坐标系 $O-X_wY_wZ_w$ 之间的变化关系,即车体姿态变化引起的稳定平台相对大地水平面的偏移量(稳定平台在横滚方向和纵摇方向姿态变化量)。

设空间某一目标在大地坐标系下的坐标值为 (X_{g0}, X_{g0}, Z_{g0}) ,在载体坐标系下的坐标值为 (X_{c0}, Y_{c0}, Z_{c0}) ,在稳定平台坐标系下的坐标值为 (X_{w0}, Y_{w0}, Z_{w0}) ,设大地坐标系 $O-X_gY_gZ_g$ 到载体坐标系 $O-X_cY_cZ_c$ 的转换矩阵为 T_g 大地坐标系 $O-X_gY_gZ_g$ 到稳台坐标系 $O-X_wY_wZ_w$ 的转换矩阵为 T_g^w ,则有:

$$\begin{bmatrix} X_{c0} \\ X_{c0} \\ Z_{c0} \end{bmatrix} = \mathbf{T}_g^c \begin{bmatrix} X_{g0} \\ Y_{g0} \\ Z_{g0} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} X_{w0} \\ Y_{w0} \\ Z_{w0} \end{bmatrix} = \mathbf{T}_g^w \begin{bmatrix} X_{g0} \\ Y_{g0} \\ Z_{g0} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$O-X_c Y_c Z_c$ 到 $O-X_w Y_w Z_w$ 的变换取决于两个坐标系之间的相对位置,由前述坐标系的定义可知, $O-X_c Y_c Z_c$ 和 $O-X_w Y_w Z_w$ 的相对位置在系统装配完成后是固定的,因此,两者之间必存在一个转换矩阵 \mathbf{T}_c^w 使公式(3)成立:

$$\begin{bmatrix} X_{w0} \\ Y_{w0} \\ Z_{w0} \end{bmatrix} = \mathbf{T}_g^w \begin{bmatrix} X_{c0} \\ Y_{c0} \\ Z_{c0} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

把式(1)、(2)代入式(3)得:

$$\mathbf{T}_g^w = \mathbf{T}_c^w \mathbf{T}_g^c, \quad (4)$$

将式(4)两边右乘 \mathbf{T}_g^c 的逆矩阵 \mathbf{T}_g^{c-1} , 得 \mathbf{T}_c^w 的表达

$$\mathbf{T}_c^w = \mathbf{T}_2^3 \mathbf{T}_1^2 \mathbf{T}_0^1 = \begin{bmatrix} \cos \alpha \cos \gamma - \sin \alpha \sin \beta \sin \gamma & \cos \gamma \sin \alpha + \cos \alpha \sin \beta \sin \gamma - \cos \beta \sin \gamma & -\cos \beta \sin \gamma \\ -\cos \beta \sin \alpha & \cos \alpha \cos \beta & \sin \beta \\ \cos \alpha \sin \gamma + \cos \gamma \sin \alpha \sin \beta & \sin \alpha \sin \gamma - \cos \alpha \cos \gamma \sin \beta & \cos \beta \cos \gamma \end{bmatrix}, \quad (9)$$

相应地,若变换矩阵 \mathbf{T}_0^3 已知,即:

$$\mathbf{T}_0^3 = \begin{bmatrix} \mathbf{T}_0^3[1,1] & \mathbf{T}_0^3[1,2] & \mathbf{T}_0^3[1,3] \\ \mathbf{T}_0^3[2,1] & \mathbf{T}_0^3[2,2] & \mathbf{T}_0^3[2,3] \\ \mathbf{T}_0^3[3,1] & \mathbf{T}_0^3[3,2] & \mathbf{T}_0^3[3,3] \end{bmatrix}, \quad (10)$$

那么与之相应的旋转角可通过变换矩阵的元素得出:

$$\tan \alpha = -\frac{\mathbf{T}[1,2]}{\mathbf{T}[2,2]}, \quad (11)$$

$$\mathbf{T}_g^c = \begin{bmatrix} \cos H_c \cos R_c + \sin H_c \sin P_c \sin R_c & -\cos R_c \sin H_c + \cos H_c \sin P_c \sin R_c - \cos P_c \sin R_c & -\cos P_c \sin R_c \\ \cos P_c \sin H_c & \cos H_c \cos P_c & \sin P_c \\ \cos H_c \sin R_c - \cos R_c \sin H_c \sin P_c & -\sin H_c \sin R_c - \cos H_c \cos R_c \sin P_c & \cos P_c \cos R_c \end{bmatrix}. \quad (14)$$

根据中间惯导给出的姿态值(H_w, P_w, R_w),令式(9)中的 $\alpha = -H_w, \beta = P_w, \gamma = R_w$, 即得大地坐标

$$\mathbf{T}_g^w = \begin{bmatrix} \cos H_w \cos R_w + \sin H_w \sin P_w \sin R_w & -\cos R_w \sin H_w + \cos H_w \sin P_w \sin R_w & -\cos P_w \sin R_w \\ \cos P_w \sin H_w & \cos H_w \cos P_w & \sin P_w \\ \cos H_w \sin R_w - \cos R_w \sin H_w \sin P_w & -\sin H_w \sin R_w - \cos H_w \cos R_w \sin P_w & \cos P_w \cos R_w \end{bmatrix}. \quad (15)$$

式为:

$$\mathbf{T}_c^w = \mathbf{T}_g^w \mathbf{T}_g^{c-1}. \quad (5)$$

根据坐标变换理论^[11], 设坐标系 $O-X_0 Y_0 Z_0$ 绕 $O-Z_0$ 轴旋转 α 角后得到坐标系 $O-X_1 Y_1 Z_1$, $O-X_1 Y_1 Z_1$ 绕 $O-X_1$ 轴旋转 β 角后得到 $O-X_2 Y_2 Z_2$, $O-X_2 Y_2 Z_2$ 绕 $O-Y_2$ 轴旋转 γ 角后得到 $O-X_3 Y_3 Z_3$, 那么三次坐标变换的变换矩阵依次为:

$$\mathbf{T}_0^1 = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$$\mathbf{T}_1^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & \sin \beta \\ 0 & -\sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix}, \quad (7)$$

$$\mathbf{T}_2^3 = \begin{bmatrix} \cos \gamma & 0 & -\sin \gamma \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \gamma & 0 & \cos \gamma \end{bmatrix}. \quad (8)$$

从 $O-X_0 Y_0 Z_0$ 到 $O-X_3 Y_3 Z_3$ 的总的变换矩阵为:

$$\sin \beta = \mathbf{T}[2,3], \quad (12)$$

$$\tan \gamma = -\frac{\mathbf{T}[1,3]}{\mathbf{T}[3,3]}, \quad (13)$$

根据车载惯导给出的姿态值(H_c, P_c, R_c), 令式(9)中的 $\alpha = -H_c, \beta = P_c, \gamma = R_c$, 即得大地坐标系 $O-X_g Y_g Z_g$ 到载体坐标系 $O-X_c Y_c Z_c$ 的转换矩阵 \mathbf{T}_g^c 为:

根据载体任意姿态下分别记录下车载惯导的姿态值和稳定平台锁零时中间惯导的值,由式(5)、(14)和(15)即可求出转换矩阵 T_c^w ,由于载体坐标系和稳台锁零时稳台坐标系之间的关系固定不变,因此转换矩阵 T_c^w 也是固定不变的。由式(4)和式(11)、(12)、(13)可由车载惯导的姿态值求出中间惯导值 H_w 、 P_w 、 R_w ,即求出稳台坐标系相对大地坐标系的转角,即“虚拟惯导”值。由第2节中的稳定控制原理可知,只要纵摇方向和横滚方向相反转过 P_w 和 R_w 即可使稳定平台稳定。

4 位置干扰值传递解算原理的验证

4.1 算法的静态验证

在室内装甲车静止时,首先标定中间惯导与稳

定平台轴的一致,然后用高精度水平仪标定稳台的水平位置,同时记下车载惯导和中间惯导的位置值,根据公式(14)、(15)、(5)可求出转换矩阵 T_c^w 。这时装甲车开到室外,改变载车的姿态,对比通过公式(4)得到的“虚拟惯导”的值和中间惯导的姿态值,验证传递解算原理是否正确,验证数据如表1所示。

由表2位置传递解算误差统计可知:航向解算误差最大值为 0.4834° 、纵摇解算误差最大值为 0.0376° 、横摇解算误差最大值为 0.0561° 。车载动平台稳定需要纵摇和横摇方向的位置干扰值,稳定精度要求 1δ 为 1 mrad ,即最大值要求为 0.17° ,以上解算精度可以满足平台闭环稳定控制精度的要求。动平台稳定跑车实验结果表明:位置干扰值传递解算算法完全满足系统性能指标的要求。

表1 实验数据

Tab.1 Experimental data

编号	车载惯导姿态值/(°)			“虚拟惯导”姿态值/(°)			中间惯导姿态值/(°)		
	H_c	P_c	R_c	H_d	P_d	R_d	H_a	P_a	R_a
第1组	313.18	1.03	-1.02	132.82	0.1	-0.05	132.82	0.1	-0.05
第2组	357.35	1.12	-0.93	176.9918	0.0106	-0.1405	177.08	0.0	-0.15
第3组	358.64	-3.15	-0.96	178.2802	4.28	-0.0838	178.72	4.3	-0.1
第4组	310.75	-1.48	2.3613	0.4569	2.6292	-3.4166	130.75	2.64	-3.44
第5组	179.56	5.28	-0.6435	9.2066	-4.1476	-0.4561	359.69	-4.11	-0.4
第6组	50.54	1.09	-0.8823	0.1828	0.0409	-0.1903	230.21	0.058	-0.2

表2 位置传递解算误差统计

Tab.1 Error statistic of position arithmetic

编号	航向误差	纵摇方向误差	横摇方向误差
	$\Delta H/(^\circ)$	$\Delta P/(^\circ)$	$\Delta R/(^\circ)$
第1组	0	0	0
第2组	-0.0882	0.0106	0.0095
第3组	-0.4398	-0.02	0.0162
第4组	-0.2931	-0.0108	0.0234
第5组	-0.4834	-0.0376	-0.0561
第6组	-0.0272	-0.0171	0.0097

4.2 算法的动态验证

解算算法采用高速数字处理器 TMS320F2812,最高处理速度为 150 MHz ,实际测得算法时间为 $215\ \mu\text{s}$,车载惯导通讯频率为 100 Hz ,完全满足工程的实时性要求。为了验证算法的动态实时性,装甲车在三级公路以 20 km/h 的速度运行,进行了动态跑车实验,实验显示外框架稳定精度为 $0.416017'$,内框架稳定精度为 $1.070977'$,远远满足了工程指标要求。

5 结论

本文提出的车载动平台位置干扰值的传递解算算法,通过在稳定平台上安装一个中间惯导出车

载惯导与稳定平台的关系转换矩阵,通过转换矩阵构造了一个“虚拟惯导”,通过“虚拟惯导”把车载惯导的姿态值传递到稳定平台,稳定平台利用“虚拟惯导”的值作为平台稳定闭环控制的位置给定,实现了

车载动平台的稳定。该算法简单可行,易于理解,提高了平台稳定的工作效率,而且解算精度高,最大值不超过 0.0561° ,完全满足系统的动平台的精度要求。

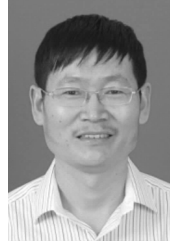
参考文献:

- [1] 李勇建. 惯性稳定平台的稳定条件与陀螺安装位置[J]. 压电与声光, 2011, 33(2): 203-206.
LI Y J. The stability condition and gyro installment position of the inertially stabilized platform [J]. *Piezoelectrics & Acoustooptics*, 2011, 33(2): 203-206. (in Chinese)
- [2] 姬伟. 陀螺稳定光电跟踪平台伺服控制系统研究[D]. 南京: 东南大学, 2006.
JI W. *Research on Servo Control System of Gyro Stabilized and Opto-electronic Tracking Platform* [D]. Nanjing: Southeast University, 2006. (in Chinese)
- [3] 杨蒲, 李奇. 三轴陀螺稳定平台控制系统设计与实现[J]. 中国惯性技术学报, 2007, 15(2): 171-176.
YANG P, LI Q. Design and realization of control system for three-axis gyro stabilized platform [J]. *Journal of Chinese Inertial Technology*, 2007, 15(2): 171-176. (in Chinese)
- [4] 王凤英, 张显库, 等. 光电跟踪器船摇自稳定建模及仿真[J]. 光电工程, 2005, 32(7): 11-14.
WANG F Y, ZHANG X K. Self-stabilization modeling and simulation on ship-sway of a photoelectric tracker [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2005, 32(7): 11-14. (in Chinese)
- [5] 王凤英. 船载电视跟踪仪自稳定问题研究[D]. 长春: 中科院长春光机所, 2004.
WANG F Y. *Study on the Self-stabilization Problem of the Shipborne TV Tracker* [D]. Chang-Chun: Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, 2004.
- [6] 薛向光, 高云国, 韩光宇, 等. 水平式经纬仪指向误差的统一补偿技术[J]. 光学精密工程, 2011, 7(7): 1524-1530.
XUE X Y, GAO Y G, HAN G Y, *et al.*. Total correction method of pointing error for level mounting theodolite [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 7(7): 1524-1530. (in Chinese)
- [7] 仇振安. 姿态稳定平台测控技术研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2006.
QIU ZH A. *A Study on the measurement and control technology of the attitude stabilization platform* [D]. Changsha: Graduate School of National University of Defense Technology, 2006. (in Chinese)
- [8] DAVID H. TITTERTON J L. *Strapdown Inertial Navigation Technology, 2nd edition* [M]. Beijing: national Defence industrial press, 2010.
- [9] 秦永元. 惯性导航[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
QIN Y Y. *Inertial navigation* [M]. Beijing: Science Press, 2006. (in Chinese)
- [10] 金光, 王家琪. 利用坐标变换推导经纬仪三轴误差[J]. 光学精密工程, 1999, 5(10): 89-94.
JIN G, WANG J Q. The three-error axis of theodolite with the utilization of the coordinate to the variation [J]. *Opt. Precision Eng.*, 1999, 5(10): 89-94. (in Chinese)
- [11] 戴自立. 现代舰载作战系统[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2002.
DAI Z L. *The Modern Shipborne Campaign System* [M]. Beijing: The publish of weapon Industry, 2002. (in Chinese)

作者简介:



刘廷霞(1973—)女,吉林抚松人,博士,副研究员,1998年、2002年于吉林工学院分别获得学士、硕士学位,2005年于中科院长春光学精密机械与物理研究所获得博士学位,主要从事光电经纬仪的精密控制及其算法方面的研究。E-mail:liutingxia2001@sohu.com



陈长青(1962—),男,吉林怀德人,研究员,1984年于吉林工学院获得学士学位,1989年于哈尔滨工业大学获得硕士学位,主要从事光电设备伺服控制与精密跟踪方面的研究。E-mail:CCQ8021@Sohu.com



王伟国(1970—),男,吉林通化人,博士,副研究员,2002年于吉林大学获得硕士学位,2006年于中科院长春光学精密机械与物理研究所获得博士学位,主要从事光电经纬仪的精密控制方面的研究。E-mail:wangwei5878@sina.com

(版权所有 未经许可 不得转载)