

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2019.07.018

机载光电平台转动惯量耦合 自校正干扰抑制控制研究*

丛敬文^{1,2}, 田大鹏¹, 沈宏海¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院大学 大珩学院, 北京 100049)

摘要:针对机载光电平台两轴四框架结构框架间的耦合作用严重影响控制精度的问题,对各框架转轴转动惯量耦合关系进行了研究,对伺服系统控制器进行了改进设计。基于方向转移矩阵与框架间的耦合关系,建立了各框架转轴的转动惯量数学模型,并利用UG软件设计了机载光电平台框架间转动惯量耦合角度变化数据;同时,基于已建立的转动惯量数学模型,结合传统的干扰观测器,在速度控制环PI控制下实现了名义逆模型的实时校正,并设计了改进型干扰观测器。研究表明:所建立的转动惯量数学模型正确可靠;改进型干扰观测器能够更准确地估计出等效干扰,使控制回路能够更有效地进行控制。

关键词:机载光电平台;两轴四框架;转动惯量耦合;干扰观测器

中图分类号:TP271

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2019)07-0749-06

Rotational inertia coupling self-correcting interference suppression control of airborne photoelectric platform

CONG Jing-wen^{1,2}, TIAN Da-peng¹, SHEN Hong-hai¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China; 2. Daheng Institute, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Aiming at the problem that the coupling effect between two axes and four frames of airborne photoelectric platform seriously affects the control accuracy, the coupling relationship of rotational inertia of each frame was studied, and the servo system controller was designed. Based on the coupling relationship between the direction transfer matrix and the frame, the mathematical models of the rotational inertia of each frame axis was established, and the angular variation data of the rotational inertia coupling between the frames of the airborne photoelectric platform was designed by UG software. At the same time, based on the established mathematical model of rotational inertia combined with the traditional disturbance observer to realize the real-time correction of the nominal inverse model under the control of the speed control loop PI, an improved disturbance observer was designed. The results show that the mathematical model of rotational of inertia is correct, and the improved disturbance observer can estimate the equivalent disturbance more accurately, so that the control loop can be controlled more effectively.

Key words: airborne optoelectronic platform; two-axis four-frames; rotational inertia coupling; disturbance observer(DOB)

0 引 言

近年来,机载光电平台在军事和民用领域应用越来越广泛。光电平台工作环境较为恶劣,为保证较高的视轴稳定精度,对伺服系统动态性能要求较高^[1]。

机载光电平台普遍采用两框架稳定平台的跟踪角度范围是很有限的,并且跟踪精度随着俯仰角的增加会大幅度降低,甚至造成平台自锁导致无法实现对载机正下方及其附近目标的侦察或测量^[2]。为扩展跟踪范围,高精度光电稳定跟踪系统常采用两轴四框架结构

收稿日期:2018-01-10

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51705496,61673365)

作者简介:丛敬文(1994-),男,山东威海人,硕士研究生,主要从事机载光电平台两轴四框架结构控制方面的研究。E-mail:472651026@qq.com

形式.但这种结构的光电平台,内外框架间的机械连接使其耦合特性更加复杂^[3]。目前,两轴四框架机载光电平台的研究主要集中在框架间的运动耦合和转动惯量耦合导致的控制对象无法准确建模的问题上,针对这一问题,文献[4-5]研究了框架间存在的耦合作用,并总结出了隔离耦合的机理和规律;文献[6]基于框架间的坐标变换,结合转移矩阵推导出了各框架间的运动学耦合关系、动力学耦合关系,实现了两轴四框架的动力学建模,但其研究都基于外俯仰框架转角,运动范围在很小的角度内,各框架的转动惯量变化也很小,在控制系统设计中忽略了该扰动项。在光电平台伺服系统设计时,控制校正环节通常采用PID控制、超前滞后控制等经典控制律^[7-9],虽然这些控制律对扰动有一定的抑制作用,但由于没有对扰动进行估计和补偿,前向通道增益比较差,系统的抗扰能力均比较弱。为了提高系统的抗干扰能力,许多文献采用了干扰观测器^[10-12],然而干扰观测器需要通过获得被控对象的精确数学模型来设计,这在多数情况下难以实现。

在已有研究的基础上,本研究将对各框架转轴的转动惯量耦合关系进行研究,并对伺服系统控制器进行改进设计。

1 系统结构和工作原理

1.1 两轴四框架系统结构

两轴四框架平台由内框架和外框架两个系统组成。外框架由外俯仰框架和外方位框架组成,内框架由内俯仰和内方位框架组成。内俯仰框架安装于内方位框架之上,内方位框架安装于外俯仰框架之上,外俯仰框架安装于外方位框架之上,而外方位框架通过基座与载机相连。

两轴四框架结构如图 1 所示。

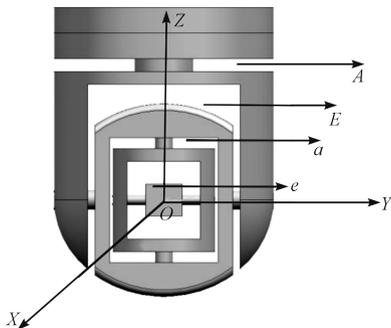


图 1 两轴四框架结构

X—横滚轴;Y—俯仰轴;Z—方位轴;e—内俯仰框架;a—内方位框架;E—外俯仰框架;A—外方位框架

外框架随动于内框架,通过外框架随动内框架可以保证内框架的方位和俯仰相处于互垂直状态,消除两框架的环架自锁盲区问题,实现了对载机正下方目标的跟踪,也使得平台可以全方位连续跟踪,跟踪范围将不再受视窗大小的限制。

1.2 DOB 基本原理

干扰观测器(DOB)目前已经成为运动控制领域最流行的鲁棒控制工具。其基本原理如图 2 所示。

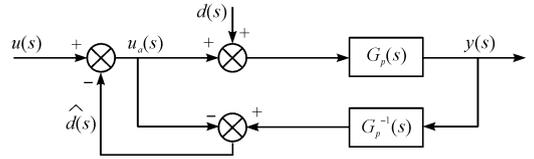


图 2 干扰观测器基本原理图

$u(s)$ —输入信号; $\hat{d}(s)$ —观测干扰; $Y(s)$ —输出信号;
 $u_a(s)$ —引入等效补偿后实际的控制输入量, $u_a(s) = u(s) - \hat{d}(s)$;
 $G_p(s)$ —实际模型; $G_p^{-1}(s)$ —名义逆模型

通过图 2 可求得:

$$\hat{d}_p(s) = G_p(s)G_p^{-1}(s)(u_a + d) - u_a = d \quad (1)$$

在理论上,图 2 的结构可以精确地估计出外界干扰,但在实际的控制系统中该方法仍存在问题。本研究以两轴四框架结构中的内方位框架为例,设计传统干扰观测器。

传统干扰观测器设计中,通常假定名义逆模型中的转动惯量是固定不变的,但实际中随着框架转角不断改变,转动惯量的值也产生变化,这将会导致干扰观测器的估计干扰值 $\hat{d}(s)$ 与实际干扰值 $d(s)$ 出现很大偏差,不能够准确地对扰动进行估计与补偿,降低了控制系统的控制效率。

2 转动惯量耦合分析及 DOB 改进设计

2.1 转动惯量方程推导

当惯性稳定平台的 4 个框架同时运动时,存在耦合效应,它们相对惯性坐标系的转动惯量是变化的。对于转动惯量矩阵有如下结论:如果两个原点重合的坐标系 $OX_1X_2X_3$ 和 $OY_1Y_2Y_3$,由 $OX_1X_2X_3$ 到 $OY_1Y_2Y_3$ 的映射矩阵为 Γ ,刚体 M 在 $OX_1X_2X_3$ 中的惯量张量矩阵为 J_1 ,刚体 M 在 $OY_1Y_2Y_3$ 中的惯量张量矩阵为 J_2 ,那么存在公式: $J_2 = \Gamma J_1 \Gamma^{-1}$ 。

以此公式为基础,推导两轴四框架平台各框架的惯量耦合关系,假设各框架坐标系即为自身的惯量主轴坐标系,实际状况下框架坐标系下的惯量张量矩阵中非对角线元素相对对角线元素是很小的,可以不考虑。

于是设内俯仰框架、内方位框架、外俯仰框架和外方位框架自身的惯量阵分别为:

$$\bar{\mathbf{J}}_e = \text{diag}[\mathbf{J}_{ex} \quad \mathbf{J}_{ey} \quad \mathbf{J}_{ez}] \quad (2)$$

$$\bar{\mathbf{J}}_a = \text{diag}[\mathbf{J}_{ax} \quad \mathbf{J}_{ay} \quad \mathbf{J}_{az}] \quad (3)$$

$$\bar{\mathbf{J}}_E = \text{diag}[\mathbf{J}_{Ex} \quad \mathbf{J}_{Ey} \quad \mathbf{J}_{Ez}] \quad (4)$$

$$\bar{\mathbf{J}}_A = \text{diag}[\mathbf{J}_{Ax} \quad \mathbf{J}_{Ay} \quad \mathbf{J}_{Az}] \quad (5)$$

为行文方便,将 \sin 简写为 s , \cos 简写为 c 。

根据刚体动力学基础中卡尔丹角的定义,可知各框架转动对应的方向转移矩阵为:

$$\mathbf{A}_e = \begin{bmatrix} c\theta_e & 0 & s\theta_e \\ 0 & 1 & 0 \\ -s\theta_e & 0 & c\theta_e \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$$\mathbf{A}_a = \begin{bmatrix} c\theta_a & -s\theta_a & 0 \\ s\theta_a & c\theta_a & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

$$\mathbf{A}_E = \begin{bmatrix} c\theta_e & 0 & s\theta_e \\ 0 & 1 & 0 \\ -s\theta_e & 0 & c\theta_e \end{bmatrix} \quad (8)$$

2.1.1 内方位框架 a 上的耦合转动惯量

内俯仰 e 对内方位 a 的耦合惯量 $\bar{\mathbf{J}}_e^a$ 为:

$$\bar{\mathbf{J}}_e^a = \mathbf{A}_e \bar{\mathbf{J}}_e \mathbf{A}_e^{-1} = \begin{bmatrix} c^2\theta_e \mathbf{J}_{ex} + s^2\theta_e \mathbf{J}_{ez} & 0 & -s\theta_e c\theta_e \mathbf{J}_{ex} + s\theta_e c\theta_e \mathbf{J}_{ez} \\ 0 & \mathbf{J}_{ey} & 0 \\ -s\theta_e c\theta_e \mathbf{J}_{ex} + s\theta_e c\theta_e \mathbf{J}_{ez} & 0 & s^2\theta_e \mathbf{J}_{ex} + c^2\theta_e \mathbf{J}_{ez} \end{bmatrix} \quad (9)$$

内方位框架 a 的总惯量 $\bar{\mathbf{J}}_{ac}$ 为:

$$\bar{\mathbf{J}}_{ac} = \bar{\mathbf{J}}_a + \bar{\mathbf{J}}_e^a = \begin{bmatrix} c^2\theta_e \mathbf{J}_{ex} + s^2\theta_e \mathbf{J}_{ez} + \mathbf{J}_{ax} & 0 & -s\theta_e c\theta_e \mathbf{J}_{ex} + s\theta_e c\theta_e \mathbf{J}_{ez} \\ 0 & \mathbf{J}_{ey} + \mathbf{J}_{ay} & 0 \\ -s\theta_e c\theta_e \mathbf{J}_{ex} + s\theta_e c\theta_e \mathbf{J}_{ez} & 0 & s^2\theta_e \mathbf{J}_{ex} + c^2\theta_e \mathbf{J}_{ez} + \mathbf{J}_{az} \end{bmatrix} \quad (10)$$

由此可得内方位框架(包含内俯仰框架)对其转

$$\bar{\mathbf{J}}_E^a = \mathbf{A}_e \bar{\mathbf{J}}_{EC} \mathbf{A}_e^{-1} = \begin{bmatrix} c^2\theta_e b_{11} + c\theta_e s\theta_e b_{31} + c\theta_e s\theta_e b_{13} + s^2\theta_e b_{33} & & \\ & c\theta_e b_{21} + s\theta_e b_{23} & \\ -c\theta_e s\theta_e b_{11} - s^2\theta_e b_{13} + c^2\theta_e b_{31} + c\theta_e s\theta_e b_{33} & & \end{bmatrix}$$

$$\bar{\mathbf{J}}_{AC} = \bar{\mathbf{J}}_A + \bar{\mathbf{J}}_E^a = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{bmatrix}$$

将 b 代入公式,并展开可得 c_{33} ,由此可得外方位框架(包含外俯仰内方位内俯仰框架)对其转轴的转动

轴的转动惯量为:

$$\mathbf{J}_{\text{同方位}} = s^2\theta_e \mathbf{J}_{ex} + c^2\theta_e \mathbf{J}_{ez} + \mathbf{J}_{az} \quad (11)$$

2.1.2 外俯仰框架 E 上的耦合转动惯量

内方位框架 a 对外俯仰 E 的耦合惯量 $\bar{\mathbf{J}}_a^E$ 为:

$$\bar{\mathbf{J}}_a^E = \mathbf{A}_a \bar{\mathbf{J}}_{ac} \mathbf{A}_a^{-1} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$a_{11} = c^2\theta_a c^2\theta_e \mathbf{J}_{ex} + c^2\theta_a s^2\theta_e \mathbf{J}_{ez} + c^2\theta_a \mathbf{J}_{ax} + s^2\theta_a \mathbf{J}_{ey} +$$

$$s^2\theta_a \mathbf{J}_{ay} a_{12} = c\theta_a s\theta_a c^2\theta_e \mathbf{J}_{ex} + c\theta_a s\theta_a s^2\theta_e \mathbf{J}_{ez} +$$

$$c\theta_a s\theta_a \mathbf{J}_{ax} - c\theta_a s\theta_a \mathbf{J}_{ey} - c\theta_a s\theta_a \mathbf{J}_{ay}$$

$$a_{13} = -c\theta_e s\theta_e c\theta_a \mathbf{J}_{ex} + c\theta_e s\theta_e c\theta_a \mathbf{J}_{ez}$$

$$a_{21} = c\theta_a s\theta_a c^2\theta_e \mathbf{J}_{ex} + c\theta_a s\theta_a s^2\theta_e \mathbf{J}_{ez} +$$

$$c\theta_a s\theta_a \mathbf{J}_{ax} - c\theta_a s\theta_a \mathbf{J}_{ey} - c\theta_a s\theta_a \mathbf{J}_{ay}$$

$$a_{22} = s^2\theta_a c^2\theta_e \mathbf{J}_{ex} + s^2\theta_a s^2\theta_e \mathbf{J}_{ez} + s^2\theta_a \mathbf{J}_{ax} +$$

$$c^2\theta_a \mathbf{J}_{ey} + c^2\theta_a \mathbf{J}_{ay}$$

$$a_{23} = -c\theta_e s\theta_e s\theta_a \mathbf{J}_{ex} + c\theta_e s\theta_e s\theta_a \mathbf{J}_{ez}$$

$$a_{31} = -c\theta_e s\theta_e c\theta_a \mathbf{J}_{ex} + c\theta_e s\theta_e c\theta_a \mathbf{J}_{ez}$$

$$a_{32} = -c\theta_e s\theta_e s\theta_a \mathbf{J}_{ex} + c\theta_e s\theta_e s\theta_a \mathbf{J}_{ez}$$

$$a_{33} = s^2\theta_e \mathbf{J}_{ex} + c^2\theta_e \mathbf{J}_{ez} + \mathbf{J}_{az}$$

$$\bar{\mathbf{J}}_{Ec} = \bar{\mathbf{J}}_E + \bar{\mathbf{J}}_a^E = \begin{bmatrix} a_{11} + \mathbf{J}_{Ex} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} + \mathbf{J}_{Ey} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} + \mathbf{J}_{Ez} \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$\text{令 } \bar{\mathbf{J}}_{Ec} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{bmatrix}$$

由此可得外俯仰框架(包含内方位内俯仰框架)对其转轴的转动惯量为:

$$\mathbf{J}_{\text{外俯仰}} = s^2\theta_a c^2\theta_e \mathbf{J}_{ex} + s^2\theta_a s^2\theta_e \mathbf{J}_{ez} + s^2\theta_a \mathbf{J}_{ax} + c^2\theta_a \mathbf{J}_{ey} + c^2\theta_a \mathbf{J}_{ay} + \mathbf{J}_{Ey} \quad (14)$$

2.1.3 外方位框架 A 上的耦合转动惯量

外俯仰框架 E 对外方位 A 的耦合惯量 $\bar{\mathbf{J}}_E^A$ 为:

$$\begin{bmatrix} c\theta_e b_{12} s\theta_e b_{32} & -c\theta_e s\theta_e b_{11} - s^2\theta_e b_{31} + c^2\theta_e b_{13} + c\theta_e s\theta_e b_{33} \\ b_{22} & -s\theta_e b_{21} + c\theta_e b_{23} \\ -s\theta_e b_{12} + c\theta_e b_{32} & s^2\theta_e b_{11} - c\theta_e s\theta_e b_{31} - c\theta_e s\theta_e b_{13} + c^2\theta_e b_{33} \end{bmatrix}$$

惯量为:

$$\mathbf{J}_{\text{外方位}} = s^2\theta_E c^2\theta_a c^2\theta_e \mathbf{J}_{ex} + s^2\theta_E c^2\theta_a s^2\theta_e \mathbf{J}_{ez} + s^2\theta_E c^2\theta_a \mathbf{J}_{ax} + s^2\theta_E s^2\theta_a \mathbf{J}_{ey} + s^2\theta_E s^2\theta_a \mathbf{J}_{ay} + s^2\theta_E \mathbf{J}_{Ex} + 2c\theta_E s\theta_E c\theta_e s\theta_e c\theta_a \mathbf{J}_{ex} + c^2\theta_E s^2\theta_e \mathbf{J}_{ex} + c^2\theta_E c^2\theta_e \mathbf{J}_{ez} + c^2\theta_E \mathbf{J}_{az} + c^2\theta_E \mathbf{J}_{Ez} + \mathbf{J}_{Az} \quad (16)$$

由上述分析可以看出:当4个框架同时运动时,除内俯仰框架绕其自转轴的转动惯量为常量外,其他3个框架绕其自转轴的转动惯量不是常量,转动惯量随着各框架角度的变化产生变化,即框架之间转动惯量存在耦合。

2.2 新型干扰观测器设计

本研究将已经建立好的转动惯量 J 公式分别代入到各框架的控制回路中。本文以内方位框架的控制回路为例,将公式(11)代入到干扰观测器的名义逆模型的 J_n 中,实现 J_n 跟随框架转角 θ 的变化实时改变。

设计控制回路如图 3 所示。

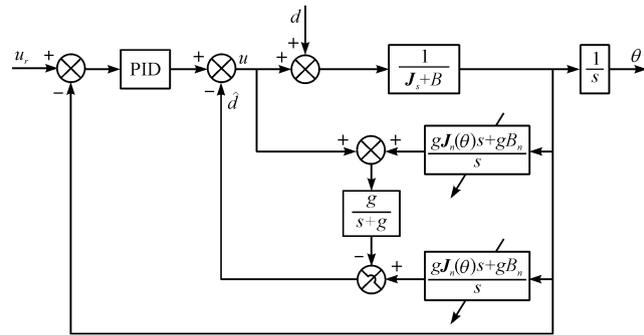


图 3 新型干扰观测器控制框图

3 仿真验证及结果分析

3.1 转动惯量验证

3.1.1 验证方法与仿真设置

(1) 验证方法

本研究利用将 UG 软件仿真数据与 Matlab 相比较的验证方法,对建立的转动惯量数学模型进行验证。

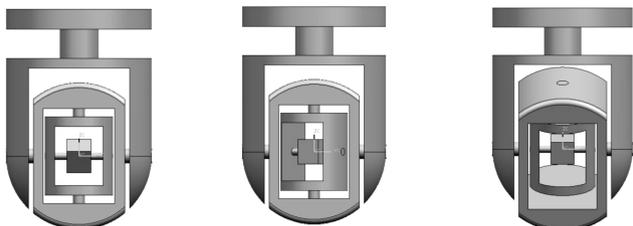
(2) 仿真参数设置

各框架初始仿真参数于表 1 所示。

表 1 UG 仿真各框架初始参数

参数	$J_x / (\text{kg} \cdot \text{mm}^2)$	$J_y / (\text{kg} \cdot \text{mm}^2)$	$J_z / (\text{kg} \cdot \text{mm}^2)$
e 环	253.94	147.08	253.94
a 环	17 341.68	14 779.15	7 705.14
E 环	210 616.21	206 911.38	114 708.56
A 环	1 095 005.64	78 450.65	294 579.59

仿真实验场景设置如图 4 所示。



(a) 内俯仰 e 转动 (b) 内方位 a 转动 (c) 外俯仰 E 转动

图 4 仿真实验场景设置

3.1.2 仿真验证结果

(1) 内方位框架 a 上的耦合转动惯量仿真

图 4(a)中,令内俯仰框架 e 转动,得到内方位框架 a(含 e)的转动惯量变化情况如表 2 所示。

表 2 UG 仿真 a 框架转动惯量变化

e 转动角度 / (°)	a 转动惯量	转动惯量	转动惯量	转动惯量
	$J_x / (\text{kg} \cdot \text{mm}^2)$	$J_y / (\text{kg} \cdot \text{mm}^2)$	$J_z / (\text{kg} \cdot \text{mm}^2)$	
0	17 595.62	14 926.23	7 853.26	
30	17 595.62	14 926.23	7 869.33	
60	17 595.61	14 926.23	7 933.27	
90	17 595.61	14 926.23	7 959.33	
120	17 595.62	14 926.23	7 935.87	
150	17 595.62	14 926.23	7 878.24	
180	17 595.61	14 926.23	7 853.24	

由上表可以看出:当内俯仰框架 e 转动时,内方位框架 a 的 J_x, J_y 两个轴向的转动惯量不发生变化, J_z 发生明显的变化。将表 1 初始各框架仿真参数代入式(11),可得到 a 框架的转动惯量。

利用 Matlab 曲线图与 UG 仿真所得数据点共同绘制对比图,如图 5 所示。

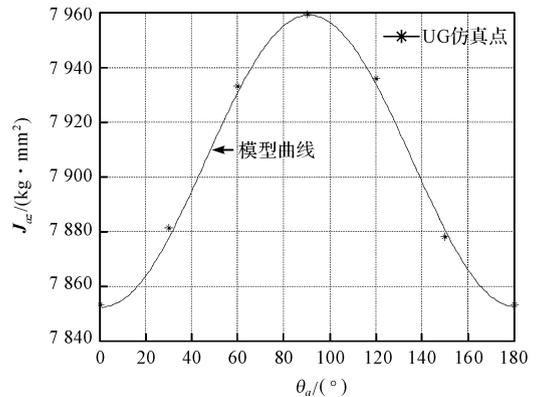


图 5 e 转动时模型曲线与仿真点对比图

从图 5 中可以看到:仿真数据表 2 中的 J_z 与模型曲线重合,验证了公式的正确性。

(2) 外俯仰框架 E 上的耦合转动惯量仿真

图 4 中令内方位框架 a 转动,可得外俯仰框架 E(含 e、a)的转动惯量变化情况,如表 3 所示。

表 3 UG 仿真 E 框架转动惯量变化

a 转动角度 / (°)	E 转动惯量	转动惯量	转动惯量	转动惯量
	$J_x / (\text{kg} \cdot \text{mm}^2)$	$J_y / (\text{kg} \cdot \text{mm}^2)$	$J_z / (\text{kg} \cdot \text{mm}^2)$	
0	228 211.83	221 837.61	122 667.63	
30	228 208.23	222 504.96	122 667.63	
60	228 201.04	223 839.65	122 667.64	
90	228 188.97	224 807.00	122 667.66	
120	228 203.89	223 820.46	122 667.65	
150	228 207.46	222 511.03	122 667.64	
180	228 209.91	221 831.99	122 667.63	

由表3可以看出:当 a 转动时,外俯仰框架 E 的 J_x, J_z 两个轴向的转动惯量基本不发生变化, J_y 发生明显的变化。

将表1初始各框架仿真参数代入式(14)可得 E 框架的转动惯量。

采用Matlab曲线图与UG仿真所得数据点,共同绘制对比图,如图6所示。

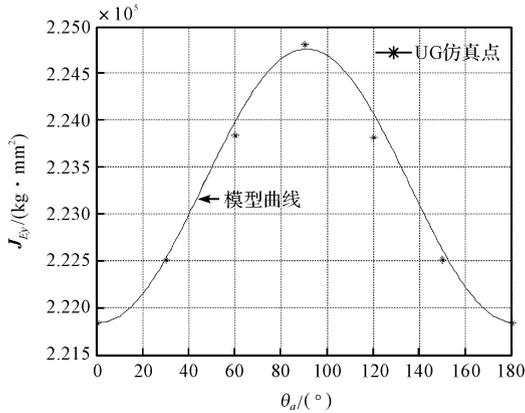


图6 a 转动时模型曲线与仿真点对比图

从图6可以看到:

仿真数据表3中的 J_y 各点与模型曲线的最大差距比例为 10^2 ,与实验数据 10^6 对比在允许的范围内,验证了公式的正确性。

(3)外方位框架A上的耦合转动惯量仿真

图4中令外俯仰框架 E 转动,得到外方位框架A(含 e, a, E)的转动惯量变化情况,如表4所示。

表4 UG仿真A框架转动惯量变化

E转动角度/(°)	A转动惯量		
	转动惯量 J_x (kg· mm ²)	转动惯量 J_y (kg· mm ²)	转动惯量 J_z (kg· mm ²)
0	1 323 217.47	1 200 288.26	417 247.23
30	1 323 101.53	1 200 288.26	443 633.26
60	1 322 300.87	1 200 288.25	496 405.35
90	1 321 590.36	1 200 288.25	522 991.42
120	1 322 890.86	1 200 288.25	493 989.75
150	1 323 178.33	1 200 288.26	443 819.77
180	1 323 298.04	1 200 288.26	417 413.56

由表4可以看出:

当外俯仰框架 E 转动时外方位框架A的 J_x, J_y 两个轴向的转动惯量基本不发生变化, J_z 发生明显的变化。

将表1初始各框架仿真参数代入式(16),可得到A框架的转动惯量。

将Matlab曲线图与UG仿真所得数据点共同绘制对比图,如图7所示。

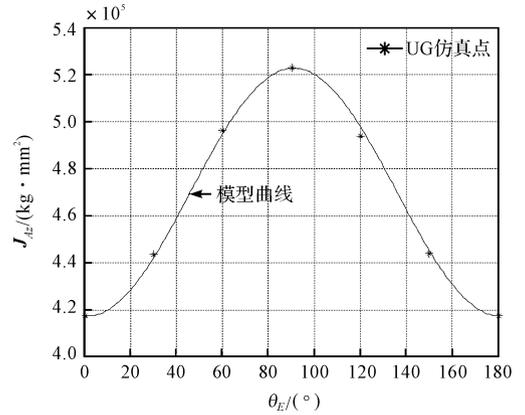


图7 E 转动时模型曲线与仿真点对比图

从图7中可以看到:

仿真数据表4中的 J_z 各点与模型曲线的最大差距比例为 10^2 ,与实验数据 10^6 对比在允许的范围内,验证了公式的正确性。

3.2 新型干扰观测器的仿真

3.2.1 参数设置

本研究以机载光电平台两轴四框架结构的内方位框架控制为例,验证提出的新型干扰观测器控制方法。系统模型参数设置为:

$$J_{\text{内方位}} = s^2 \theta_e J_{ex} + c^2 \theta_e J_{ez} + J_{az}, B = 0.002, g = 200, B_n = 0.002. \text{控制器参数设置如下: } K_p = 20, K_i = 6.$$

3.2.2 干扰观测器仿真验证

(1) 传统干扰观测器

设置 $J_n = 0.007 878$ 为固定值,定义 $e = d - \hat{d}$,则 e 变化如图8所示。

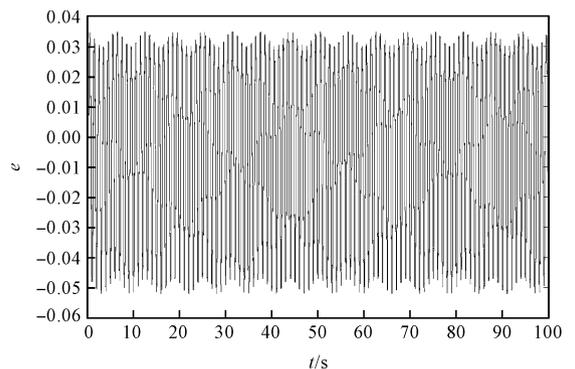


图8 传统干扰观测器仿真图

(2) 新型干扰观测器仿真

将公式代入到 J_n ,使 J_n 跟随转动角度不断改变,则新型干扰观测器仿真所得 e 变化如图9所示。

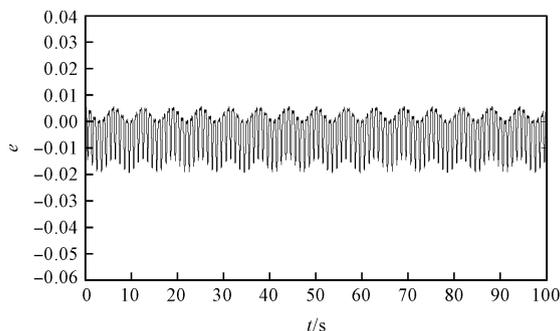


图9 新型干扰观测器仿真图

对比图(8,9)可得知:

传统干扰算法扰动估计偏差为 0.1, 新型干扰算法扰动估计偏差为 0.01, 新型算法估计准确性为传统算法的 10 倍。

新型算法估计出的干扰基本将外界的等效干扰完全估计出来,且该干扰值直接补偿到控制量里,基本不占用控制回路的控制电压,驱动器的电压基本完全用来给电机做控制使用。

4 结束语

针对两轴四框架结构的机载光电平台的特点,本研究对两轴四框架结构机载光电平台运动学及转动惯量耦合进行了研究;通过耦合分析,为转动惯量变化提供了简化的公式,并通过仿真验证了公式的正确性。

经典的比例-积分校正难以进一步提高航空光电平台惯性稳定性能。为了进一步提高系统的稳定性能和抗干扰能力,本研究基于转动惯量数学模型设计新型干扰观测器稳定控制算法,通过仿真验证了新型算法的有效性。

参考文献 (References) :

- [1] 纪明. 多环架光电稳定系统及分析[J]. 应用光学, 1994, 15(3): 60-64.
- [2] 郭富强. 四环平台系统运动分析及反自转控制的探讨[J]. 西北工业大学学报, 1989, 7(1): 67-77.
- [3] MASTEN M K. Inertially stabilized platforms for optical imaging systems: tracking dynamic targets with mobile sensors[J]. **IEEE Control Systems Magazine**, 2008, 28(1): 47-64.
- [4] 吕宏宇. 两轴四框架机载光电平台稳定原理分析[J]. 激光与红外, 2015, 45(2): 195-198.
- [5] 鲍文亮. 多框架光电平台动力学建模及耦合分析[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2009, 30(8): 893-897.
- [6] KENNEDY P J, KENNEDY R L. Direct versus indirect line of sight (LOS) stabilization[J]. **IEEE Transactions On Control Systems Technology**, 2003, 11(1): 3-15.
- [7] XIE D, YUAN J, YANG H. Stabilization of line-of-sight for airborne O-E tracking and imaging system[C]. Proceedings of SPIE, Orlando; SPIE, 1998.
- [8] OSBORNE J, HICK S G, FUENTE S R. Global analysis of the double-gimbal mechanism[J]. **IEEE Control Systems Magazine**, 2008, 28(4): 44-64.
- [9] 毕永利. 多框架光电平台控制系统研究[D]. 长春: 中国科学院长春光机所, 2003.
- [10] HILKERT J M. Inertially stabilized platform technology: concepts and principles[J]. **IEEE Control Systems Magazine**, 2008, 28(1): 26-46.
- [11] 刘小菲, 王素珍. 基于干扰观测器 PID 的水下绞车控制系统[J]. 机电工程, 2016, 33(5): 579-584.
- [12] 王福超, 田大鹏, 王昱棠. 基于简化干扰观测器的光电平台稳定与评估[J]. 国外电子测量技术, 2015(12): 13-17.

[编辑: 程浩]

本文引用格式:

丛敬文, 田大鹏, 沈宏海. 机载光电平台转动惯量耦合自校正干扰抑制控制研究[J]. 机电工程, 2019, 36(7): 749-754.

CONG Jing-wen, TIAN Da-peng, SHEN Hong-hai. Rotational inertia coupling self-correcting interference suppression control of airborne photoelectric platform [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2019, 36(7): 749-754.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>