

文章编号 1004-924X(2012)04-0803-08

航空相机镜筒位置控制的扰动估计与补偿

黄 浦^{1,2*}, 修吉宏¹, 李 军^{1,2}, 陈 黎¹, 杨秀丽³

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 中国科学院航空光学成像与测量重点实验室, 吉林 长春 130033; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039; 3. 空军航空大学, 吉林 长春 130022)

摘要:在航空相机镜筒速度内环设计了自抗扰控制器,以减小镜筒内偏心凸轮机构的运动对镜筒的扰动。采用扩张状态观测器对扰动进行实时估计,并生成扰动补偿量抵消扰动的影响。首先,分析了凸轮机构的运动对镜筒扰动的特点。然后,建立了镜筒的数学模型,基于带宽的单参数化设计思想设计了扩张状态观测器及带扰动补偿的控制律,设计了镜筒位置控制器。最后,在镜筒上对控制器的抗扰动性能进行了验证,并与目前航空相机常用的一阶平方滞后超前校正法进行了比较。结果表明,采用自抗扰控制能将凸轮机构对镜筒的扰动偏差减小为传统方法的 50% 左右。在提高系统抗扰动性能的同时,控制器增益减小约 2 个数量级,大大降低了对控制器增益的要求,提高了系统的稳定性,对改善航空相机控制系统的抗扰动性能及降低控制器设计难度具有较高的实用价值。

关键词:航空相机; 镜筒; 自抗扰控制; 扰动估计; 扰动补偿; 扩张状态观测器

中图分类号: TP273; V447.3 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20122004.0803

Disturbance estimation and compensation of position control of lensbarrels in aerial cameras

HUANG Pu^{1,2*}, XIU Ji-hong¹, LI Jun^{1,2}, CHEN Li¹, YANG Xiu-li³

(1. *Key Laboratory of Airborne Optical Imaging and Measurement, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*
2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;*
3. *Aviation University of Air Force, Changchun 130022, China*)
* *Corresponding author, E-mail: hpu8@163.com*

Abstract: An active disturbance rejection controller was designed in the lensbarrel of an aerial camera to reduce the disturbance caused by an eccentric cam of the lensbarrel. An extended state observer was designed to estimate the disturbance and then to generate control signals to compensate the disturbance influence. First, the disturbance characteristic of the cam was analyzed. And then, a mathematic model of lensbarrel was established and simplified. Based on bandwidth parameterization, the extended state observer and the control law with disturbance compensation were designed and a position controller was finished. Finally, an experiment on the lensbarrel was performed to test the disturbance

收稿日期: 2011-04-11; 修订日期: 2011-05-18.

基金项目: 国家 863 高技术研究发展计划资助项目 (No. 2009AA7010102)

rejection performance of the controller. As compared with the traditional first order square lag-lead compensation method used in aerial cameras, experiment results show that the active disturbance rejection controller can reduce the disturbance error about 50% with a lower controller gain about percentile. In conclusion, the disturbance rejection performance of the system is improved and the demand for controller gain is lowered at the same time. It is feasible and practical.

Key words: aerial camera; lens barrel; active disturbance rejection control; disturbance estimation; disturbance compensation; Extended State Observer(ESO)

1 引言

对于全景式航空相机或一些具有区域扩大成像功能的相机,镜筒是最重要的部件之一。作为相机光学组件和其它机构的支撑,镜筒运动会带动整个光学组件及其它机构一起运动。镜筒处于定位状态时,内部的其它机构的运动也会对镜筒产生扰动,扰动引起的位置误差较大时会严重影响相机成像质量。因此,尽可能减小镜筒位置控制中的扰动偏差对提高相机整体性能具有重要意义。

现代工业伺服系统中,负载一般采用直接驱动方式,负载上的扰动对系统的影响更为直接,因而对系统抗扰动性能要求也更高^[1]。传统控制方法一般采用提高控制器增益和引入积分环节来对扰动进行补偿。系统设计与调试过程中,在对系统性能无明显影响的前提下尽可能提高控制器增益,能够减小扰动产生的峰值误差;而增大积分增益,能够让系统更快地消除扰动的影响,达到无静差状态^[2]。但是,由于受到系统稳定性的限制,控制器增益的取值范围也受到限制;而采用积分来消除扰动一般适用于扰动不经常变化的场合,而且积分环节的引入会给系统带来响应变慢、稳定性降低、超调变大等不利影响^[3]。现代控制理论的发展产生了另一种改善扰动响应的方法,称为扰动解耦法,其思想是通过扰动进行测量或估计,然后在进入功率变换器之前根据测量或估计值进行等效补偿。这种方法的优点是当稳定性裕度不允许回路增益增大时能改善扰动响应,但缺点是对系统的指令响应没有改善,且在扰动不可测量时,观测器设计的有效性很大程度上依赖于模型的准确性,使扰动解耦方法的实际应用受到

限制。

自抗扰控制技术是一种新型控制技术,其核心是扩张状态观测器。这种观测器的突出特征是能把作用于被控对象的所有不确定因素,包括内扰和外扰,都归结为“未知扰动”来进行估计,从而可以通过估计值对扰动进行补偿^[4-6]。因而,这是一种特殊的扰动解耦方法,其特殊性和优势在于能同时改善指令响应和扰动响应。本文以某航空相机镜筒为研究对象,运用设计的扩张状态观测器(ESO)对系统扰动进行估计并根据估计值生成控制量,采用控制器的参数化设计方法设计单参数控制律,并对控制器的抗扰动性能进行了实验和分析。

2 凸轮机构扰动分析

相机工作过程中,镜筒处于位置稳定状态。镜筒内存在另一偏心凸轮运动机构,由于该机构离镜筒转轴较远,且运动平面平行于镜筒转轴,因而运动过程会对镜筒产生周期性的力矩扰动。镜筒与凸轮机构的位置关系示意图如图 1 所示。

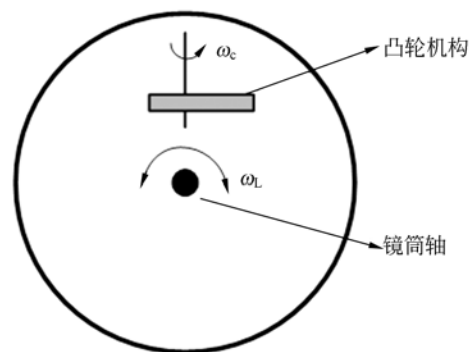


图 1 镜筒与凸轮机构示意图

Fig. 1 Diagram of lens barrel and cam

相机工作时,要求凸轮机构以 $\omega_c = 250(^{\circ})/s$ 匀速转动,但由于凸轮的运动特性,实际的凸轮转速曲线如图 2 所示。从转速曲线可以看出,凸轮每转动一周,会产生 2 次加速度突变,分别对应凸轮的 2 个加速度突变点。这种加速度的突变折合到镜筒轴上,相当于凸轮每转动一周都会对镜筒机构产生 2 次冲击性力矩扰动,对应的扰动频率约为 1.39 Hz。

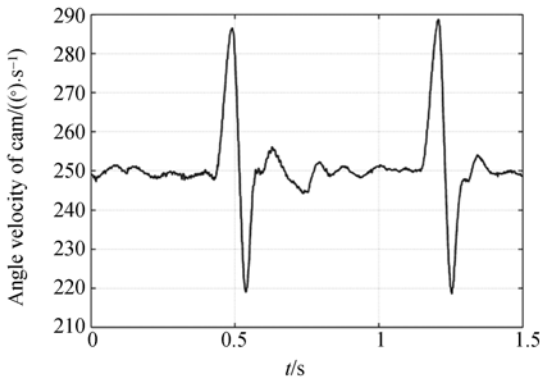


图 2 凸轮机构角速度
Fig. 2 Angle velocity of cam

对于镜筒而言,凸轮机构的扰动属于不可测量的外部未知扰动。传统控制方法依赖于尽可能高的控制器增益来减小扰动偏差,而由于控制器增益受稳定性裕度的限制,系统的抗扰动能力有限。本文提出采用 ESO 对扰动进行估计,根据估计值产生扰动补偿量,实现对扰动的抑制,从而摆脱传统控制方法对高增益的依赖性。

3 镜筒数学模型分析与简化

镜筒为一大惯量、大时间常数的系统,镜筒轴由直流力矩电机直接驱动。考虑上文中的凸轮运动机构对镜筒产生的力矩扰动,通过对负载参数和电机参数进行分析和计算,被控对象的输出传递函数可以写为式(1)的形式,式中 $y(s)$ 、 $u(s)$ 、 $d(s)$ 分别为速度输出、镜筒控制器最终控制量、系统外部力矩扰动的拉氏变换。

$$y(s) = G_p(s)u(s) + G_{yd}(s)d(s) = \frac{0.465}{(12.61s+1)(0.006s+1)}u(s) + \frac{0.628}{12.61s+1}d(s) \quad (1)$$

将该式改写为微分方程的形式可表示为:

$$\ddot{y} = -166.66\dot{y} - 13.21y + 0.0502\dot{d} + 8.3d + 6.14u = -166.66\dot{y} - 13.21y + 0.0502\dot{d} + 8.3d + (6.14 - b_0)u + b_0u \quad (2)$$

令

$$f = -166.66\dot{y} - 13.21y + 0.0502\dot{d} + 8.3d + (6.14 - b_0)u, \quad (3)$$

则式(2)可以简化为:

$$\ddot{y} = f + b_0u \quad (4)$$

从 f 的表达式可以看出,它包含了系统所有的内部动态特性和外部扰动,因此可以称为系统的扰动总和。式(2)中的 b_0 称为扰动补偿因子,在观测器设计时作为可调参数。若能采用观测器得到 f 的估计值 \hat{f} ,采用控制律 $u = \frac{u_0 - \hat{f}}{b_0}$,则式(4)可写为 $\ddot{y} = (f - \hat{f}) + u_0$ 。若将 $(f - \hat{f})$ 看作系统扰动,假设观测器不存在观测误差,则系统被进一步简化为 $\ddot{y} = u_0$,对应的形式如图 3 所示。从图 3 可以看出,镜筒被简化为一个具有单位增益的双积分器串联型系统。

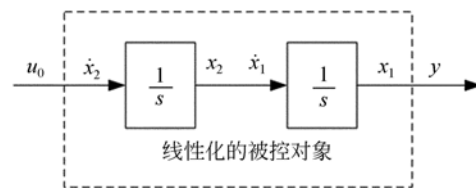


图 3 线性化的镜筒模型
Fig. 3 Linearized model of lensbarrel

这种把被控对象简化为线性积分器串联型系统的过程叫做动态补偿线性化。在线性系统理论中,这种线性化过程是通过矩阵变换得到的,而这种对扰动进行实时估计、对补偿方式进行动态补偿线性化的过程使控制设计大大简化^[7]。采用这种方式,可以将任意未知模型的被控对象进行线性化。

4 扰动补偿控制器设计

伺服控制领域对于直流电机驱动的伺服系统最有效的控制方案就是多环路控制。本文采用速度、位置双回路对镜筒进行控制,这种情况下,速度内环的控制性能尤其重要。镜筒控制器设计原

理如图 4 所示,其中速度内环采用 ESO 对系统扰动进行估计,并根据估计值生成扰动补偿量。

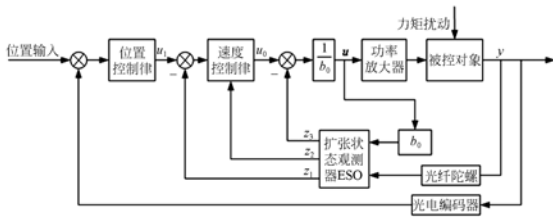


图 4 扰动补偿控制器

Fig. 4 Disturbance compensation controller

4.1 带宽参数化的 ESO 设计

由式(1)可知,镜筒系统为二阶被控对象,若将式(4)中的 f 作为一个新的被扩张的状态加入到系统中,即令 $x_3 = f$,则将简化的镜筒数学模型改写为状态空间形式:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = x_3 + b_0 u \\ \dot{x}_3 = \dot{f} \\ y = x_1 \end{cases} \quad (5)$$

二阶的被控对象被另加了一个扩张的状态,即系统扰动 f ,从而,可以通过对这个被扩张的对象设计三阶状态观测器即 ESO 来对 f 进行估计。

根据系统的状态空间形式(5),将系统的状态观测器设计为如下形式:

$$\dot{\hat{z}} = \mathbf{A}\hat{z} + \mathbf{B}u + \mathbf{L}(y - \hat{y}), \quad (6)$$

$$\text{其中 } \mathbf{A} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \mathbf{B} = \begin{pmatrix} 0 \\ b_0 \\ 0 \end{pmatrix}, \mathbf{C} = (1 \ 0 \ 0),$$

$$\mathbf{L} \text{ 为观测器增益向量, } \mathbf{L} = \begin{pmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \end{pmatrix}, \hat{y} = \mathbf{C}\hat{z}.$$

式(6)可以进一步改写为:

$$\dot{\hat{z}} = (\mathbf{A} - \mathbf{L}\mathbf{C})\hat{z} + \mathbf{B}u + \mathbf{L}y. \quad (7)$$

根据基于带宽的 ESO 设计方法,其设计思想是,通过合理设计观测器带宽 ω_b ,进而将观测器设计为具有重极点 ω_b 的形式^[8]。对于形如式(5)的系统设计的全维状态观测器,需要将观测器的三重极点配置在 $-\omega_b$ 。通过对观测器进行极点配置,可求得观测器增益向量的参数为:

$$\beta_1 = 3\omega_b, \beta_2 = 3\omega_b^2, \beta_3 = \omega_b^3$$

因此,根据式(7),系统的 ESO 的具体形式可以写为:

$$\dot{\hat{z}} = (\mathbf{A} - \mathbf{L}\mathbf{C})\hat{z} + \mathbf{B}u + \mathbf{L}y =$$

$$\begin{pmatrix} -3\omega_b & 1 & 0 \\ -3\omega_b^2 & 0 & 1 \\ -\omega_b^3 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{bmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ b_0 \\ 0 \end{pmatrix} u + \begin{pmatrix} 3\omega_b \\ 3\omega_b^2 \\ \omega_b^3 \end{pmatrix} y, \quad (8)$$

其中, z_1 是对速度输出 y 的估计, z_2 是对加速度 \dot{y} 的估计; z_3 是对系统扰动总和 f 的估计。观测器带宽 ω_b 、扰动补偿因子 b_0 是需要调试的 ESO 参数。 b_0 是对实际系统特性的反映,其值并不需要特别准确,实际调试时只需要对其进行适当估计即可。

4.2 带宽参数化的速度控制律设计

控制器设计的难度很大程度上在于需要整定的参数太多。控制器参数化的设计思想是用一个比常规方法更少的参数集来描述控制器,使控制器参数更少,参数整定更加简单^[9-11]。

根据前文分析,镜筒速度回路模型被简化为二阶单位增益积分器串联型系统,即 $\frac{y(s)}{u_0(s)} = \frac{1}{s^2}$, 设速度回路的理想闭环传递函数为:

$$G_{cl}'(s) = \frac{\omega_c^2}{(s + \omega_c)^2} = \frac{\omega_c^2}{s^2 + 2\omega_c s + \omega_c^2}, \quad (9)$$

其中 ω_c 可以近似看作系统带宽,也叫做控制器带宽。

若采用如下的 PD 控制律对系统进行控制:

$$u_0 = K_p(u_1 - y) - K_d \dot{y}$$

对该式进行拉氏变换可得:

$$u_0(s) = K_p u_1(s) - (K_p + K_d s) y(s), \quad (10)$$

再根据 $\frac{y(s)}{u_0(s)} = \frac{1}{s^2}$, 可联立求解得:

$$G_{cl}(s) = \frac{y(s)}{u_1(s)} = \frac{K_p}{s^2 + K_d s + K_p} = G_{cl}'(s). \quad (11)$$

对式(9)和式(11)比较系数可知:

$$K_p = \omega_c^2, K_d = 2\omega_c$$

结合所设计的观测器对输出的估计,可将速度控制律改写为:

$$u_0 = \omega_c^2(u_1 - z_1) - 2\omega_c z_2, \quad (12)$$

考虑对扰动的补偿,在已设计的三阶线性扩张状态观测器的基础上,最终的控制量可取为:

$$u = \frac{u_0 - z_3}{b_0}. \quad (13)$$

综合误差反馈控制量和扰动补偿控制量 2 项,速度控制律如下:

$$u = \frac{\omega_e^2 (u_1 - z_1) - 2\omega_e z_2 - z_3}{b_0} \quad (14)$$

结合 ESO 的设计结果可知,速度内环的自抗扰控制器(ADRC)需整定的关键参数仅有 3 个:ESO 带宽 ω_e ,控制器带宽 ω_c ,扰动补偿因子 b_0 。从式(14)可以看出,速度内回路的控制律参数仅有 1 个,控制器参数的减少大大降低了系统的设计难度。

4.3 位置控制律设计

对于速度/位置双回路控制而言,一般认为速度稳定回路对系统性能起决定性的作用,位置回路的控制律一般较为简单。对于镜筒位置控制,在位置外环采用非线性比例控制律:

$$u_1 = K_{p1} \times fal(e, \alpha, \delta),$$

其中, $fal(e, \alpha, \delta) = \begin{cases} e \cdot \delta^{\alpha-1}, & |e| \leq \delta \\ |e|^\alpha \text{sign}(e), & |e| > \delta \end{cases}$, e 为位置误差。取 $K_{p1}=2, \alpha=0.6, \delta=0.2$ 时,位置控制律曲线如图 5 所示。

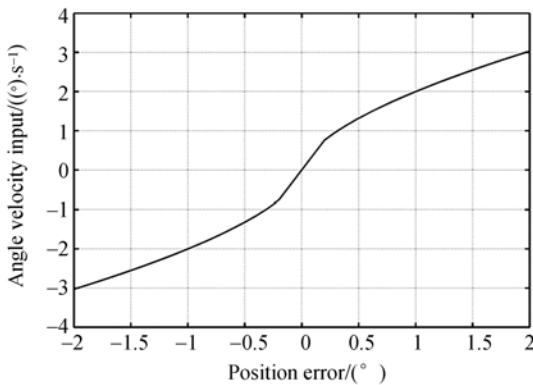


图 5 位置非线性比例控制律

Fig. 4 Nonlinear proportional control law of position

图 5 显示了外环的位置误差与内环的速度输入之间的关系。从曲线可以看出,这种非线性比例控制具有“大误差,小增益;小误差,大增益”的特性,从而有利于改善系统的动态性能。此外,相比线性的控制律而言,这种非线性控制律在提高精度和改善系统抗扰动能力方面都有明显优势。

5 实验结果及分析

以某航空相机镜筒机构作为研究对象,采用 TMS320F2812 作为处理器,选用光纤速率陀螺作为测速元件,光电编码器作为位置反馈元件,对 ADRC 的抗扰动能力进行了验证。选取的速度

内环 ADRC 参数为 $\omega_c=700, \omega_e=400, b_0=10$ 。

同时,位置回路控制律及参数不变,速度回路采用传统的控制方法,对传统控制器的抗扰动性能进行了实验。基于传统控制思想,采用一阶平方滞后超前校正(简称平方校正),经过调试,选取校正传递函数为

$$G_c(s) = \frac{5\,000\,000(0.2s+1)^2}{(1.5s+1)^2}$$

实验中,期望镜筒位置保持在 246° 。针对凸轮机构在工作转速下对镜筒的力矩扰动,ADRC 和一阶平方校正的扰动响应曲线如图 6 所示。

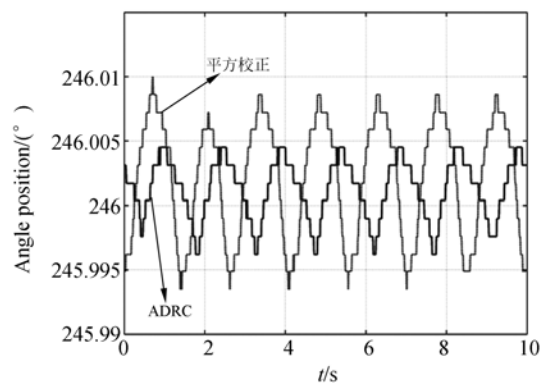


图 6 扰动响应曲线

Fig. 6 Controller response to disturbance

从扰动响应曲线可以看出,ADRC 的扰动响应偏差明显小于传统的控制方法。ADRC 与平方校正的抗扰动性能比较结果如表 1 所示。从表中可以看出,对于凸轮机构的扰动,与传统控制方法相比,ADRC 将扰动最大误差从 $0.016\,5^\circ$ 减小为 $0.008\,3^\circ$,减小了约 50%,镜筒在位置保持状态下的抗扰动能力明显增强。

表 1 平方校正与 ADRC 抗扰性能比较

Tab. 1 Control performance comparison of Lag-Lead and ADRC

控制器	扰动	扰动	峰谷
	峰值/(°)	谷值/(°)	差值/(°)
平方校正	246.010 0	245.993 5	0.016 5
ADRC	246.004 5	245.996 2	0.008 3

此外,从控制器增益的角度看,采用 ADRC 进行控制时,根据式(14),速度内环的等效控制器增益仅为 $K_c = \frac{\omega_c^2}{b_0} = \frac{(700)^2}{10} = 49\,000$,而传统一阶平方滞后超前校正时的控制器增益 $K_c =$

5 000 000, 控制器增益相差约 100 倍。这一结果表明, ADRC 能在更低的控制器增益条件下, 获得与传统控制方法相比更强的抗扰动性能, 而对控制器增益要求的降低更有利于系统的稳定。

ESO 对镜筒速度、加速度和系统扰动的估计值曲线分别如图 7、图 8 和图 9 所示。从图 9 可以看出, 扰动估计值变化范围约为 20 000 ~ 180 000, 由于扰动补偿量取为 $-\frac{z_3}{b_0}$, 等效的数字控制变化量为 2 000 ~ 18 000。即对于 ADRC 而言, 有一部分控制量由扰动补偿量产生, 这就是 ADRC 能以更低的控制器增益实现更优秀抗扰性能的原因。

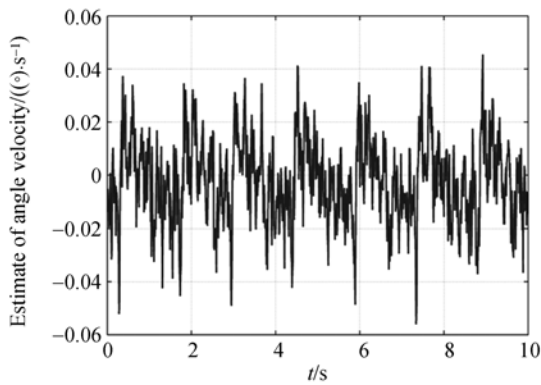


图 7 ESO 角速度估计值

Fig. 7 Angular velocity estimate of ESO

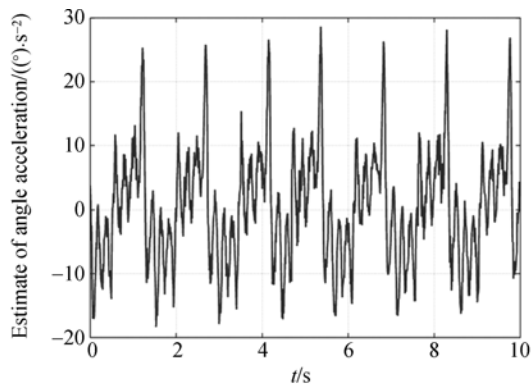


图 8 ESO 加速度估计值

Fig. 8 Angular acceleration estimate of ESO

参考文献:

[1] 王广雄, 何朕. 控制系统设计[M]. 北京: 清华大学出

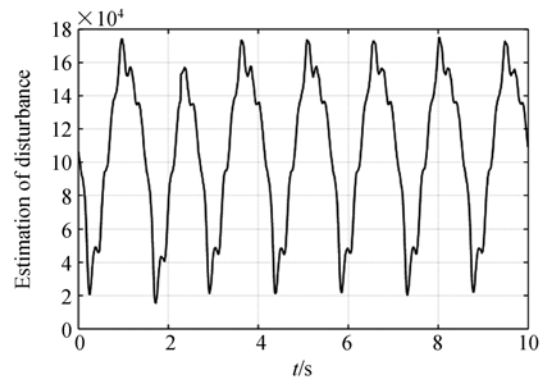


图 9 ESO 扰动估计值

Fig. 9 Disturbance estimation of ESO

以上实验结果及分析表明, 采用对扰动进行估计和补偿的方法, 比传统控制中仅依赖于控制器增益和积分环节来减小扰动更加有效。由于 ESO 估计的是系统的扰动总和, 因而这种设计思想也可以用于减小系统中其他扰动的影响。此外, 由于进行控制器设计时, 速度内环采用了线性 ESO 和运算简单的线性控制律, 仅位置外环采用了简单的非线性函数, 使算法大大简化, 运算量较小。实验监测表明, 采用 TMS320F2812 作为处理器, 整套控制算法执行时间在 200 μs 以内, 完全能够满足系统设计的要求。

6 结 论

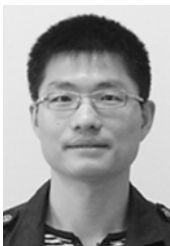
针对某航空相机镜筒中偏心凸轮机构对镜筒的位置扰动, 在镜筒速度内回路设计自抗扰控制器, 位置外回路采用非线性比例控制律。实验结果表明, 相比传统控制方法, 采用 ADRC 能将扰动偏差减小约 50%。在提高系统抗扰动性能的同时, 控制器增益减小了约 2 个数量级, 极大地降低了对控制器高增益的要求。此外, 基于带宽的单参数化扩张状态观测器与控制律的设计方法降低了控制器设计的复杂性和参数整定难度。本文设计的控制器及设计思想对于提高航空相机控制系统的抗扰动性能具有较高的参考价值 and 实用价值。

版社, 2008.

WANG G X, HE ZH. *Control System Design*[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2008. (in Chi-

- nese)
- [2] George Ellis. 控制系统设计指南[M]. 第三版. 刘君华, 汤晓君 译. 北京: 电子工业出版社, 2006.
GEORGE E. *Control System Design Guide*[M]. 3rd Edition. LIU J H, TANG X J Translated. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2006. (in Chinese)
- [3] 刘胜, 彭侠夫, 叶瑰昀. 现代伺服系统设计[M]. 黑龙江: 哈尔滨工程大学出版社, 2001.
LIU SH, PENG X F, YE G Y. *Modern Servo System Design*[M]. Haerbin: Haerbin University of Engineering Press, 2001. (in Chinese)
- [4] 韩京清. 自抗扰控制技术-估计补偿不确定因素的控制技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
HAN J Q. *Active Disturbance Rejection Control Technique-the Technique for Estimating and Compensating the Uncertainties* [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2008. (in Chinese)
- [5] 邱晓波, 窦丽华, 单东升, 等. 光电跟踪系统自抗扰伺服控制器的设计[J]. 光学精密工程, 2010, 18(1): 220-226.
QIU X B, DOU L H, SHAN D SH, *et al.*. Design of active disturbance rejection controller for electro-optical tracking servo system [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(1): 220-226. (in Chinese)
- [6] 廉明, 韩振宇, 富宏亚. 自抗扰技术在卫星姿态模拟系统中的应用[J]. 光学精密工程, 2010, 18(3): 616-621.
LIAN M, HAN ZH Y, FU H Y. Application of active disturbance rejection control technique to satellite attitude simulation system [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(3): 616-621. (in Chinese)
- [7] 高志强. 控制工程的抗扰范式[C]. 第29届中国控制会议, 中国, 北京, 2010: 6071-6076.
GAO ZH Q. On disturbance rejection paradigm in control engineering [C]. *Proceedings of the 29th Chinese Control Conference. China: Beijing*, 2010: 6071-6076. (in Chinese)
- [8] GAO ZH Q. Scaling and bandwidth-parameterization based controller tuning [C]. *Proceedings of American Control Conference*, 2003, 4989-4996.
- [9] 高志强. 控制器、观测器及其应用: 中国, 200680043153. 8[P]. 2009.
GAO ZH Q. Controller, observer and their applications: China, 200680043153. 8[P]. 2009. (in Chinese)
- [10] TIAN G, GAO ZH Q. Benchmark tests of active disturbance rejection control on an industrial motion control platform [C]. *Proceedings of the 2009 American Control Conference, St. Louis, USA*, 2009: 5552-5557.
- [11] CSANK J, GAO ZH Q. Uncertainty reduction through active disturbance rejection [C]. *Proceeding of the 2008 American Control Conference*, 2008, 3689-3694.

作者简介:



黄浦(1981—),男,湖北仙桃人,博士研究生,2006年于北京航空航天大学获硕士学位,主要从事航空成像与测量技术及伺服控制技术的研究。E-mail: hpu8@163.com



修吉宏(1976—),女,吉林白山人,博士,副研究员,2005年于中科院长春光学精密机械与物理研究所获博士学位,主要从事航空成像与测量技术的研究。E-mail: xiujihong0809@yahoo.com.cn



李 军(1979—),男,辽宁葫芦岛人,博士研究生,2006 年于吉林大学获得硕士学位,主要从事航空成像与测量技术及数字控制技术的研究。E-mail:jun-ly8076@163.com



杨秀丽(1979—),女,吉林松原人,硕士,讲师,2008 年于中科院长春光学精密机械与物理研究所获得硕士学位,主要从事机械结构设计与有限元分析的研究。E-mail:yangxl0@163.com



陈 黎(1981—),女,吉林通化人,硕士,助理研究员,2007 年于中科院长春光学精密机械与物理研究所获得硕士学位,主要从事航空成像与测量技术的研究。E-mail:h-pu@163.com

● 下期预告

敏捷小卫星对地凝视姿态跟踪控制

陈雪芹,耿云海,王 峰,李冬柏

(哈尔滨工业大学 卫星技术研究所,黑龙江 哈尔滨 150080)

研究了基于双框架控制力矩陀螺(DGCMG)的敏捷小卫星对地凝视成像过程中的姿态跟踪控制。首先结合敏捷小卫星的特点并根据凝视成像任务需求设计执行机构配置方案。然后,根据轨道信息计算地面凝视目标的相对姿态和角速度,同时,考虑到避免 CMG 奇异性影响设计适当的控制律和操纵律。最后,通过在“试验三号卫星”卫星姿态轨道控制系统仿真平台上,增加凝视成像任务需求并调整执行机构配置,建立敏捷小卫星姿态控制系统,对文中设计的方案和控制方法进行数学仿真验证,仿真结果表明该算法简单有效,能够实现敏捷小卫星对地凝视姿态跟踪,同时给出 DGCMG 能够输出的最小框架角速率指标决定了姿态跟踪精度的结论。