

文章编号 1004-924X(2010)01-0220-07

光电跟踪系统自抗扰伺服控制器的设计

邱晓波^{1,2}, 窦丽华¹, 单东升², 周伟科²

(1. 北京理工大学 信息科学技术学院, 北京 100081; 2. 装甲兵工程学院 控制工程系, 北京 100072)

摘要:考虑系统扰动对光电跟踪伺服系统精度的影响,提出了采用自抗扰的控制方案,并分析了实现自抗扰的工作原理。对某型光电跟踪系统进行了结构分析,将目标运动速度视为外部扰动,系统内部参数摄动视为内部扰动,采用扩张状态观测器从系统响应的输入、输出信号中估计出扰动,并进一步用跟踪微分器提取扰动的一阶导数来提高对扰动的估计精度,以最大程度地补偿扰动。实验结果表明,在载体扰动下,跟踪最大角速度为 40 mrad/s,最大角加速度为 8 mrad/s²,机动目标的误差 < 0.1 mrad,且响应速度快,超调 < 10%。该方案结构简单,控制鲁棒性强;无需额外的传感器对目标运动进行测量、滤波和预测,即可有效提高系统高精度捕获、跟踪快速机动目标的能力。

关键词:光电跟踪;伺服系统;自抗扰控制器

中图分类号:V556;TP273 **文献标识码:**A

Design of active disturbance rejection controller for electro-optical tracking servo system

QIU Xiao-bo^{1,2}, DOU Li-hua¹, SHAN Dong-sheng², ZHOU Wei-ke²

(1. School of Information Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;
2. Department of Control Engineering, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China)

Abstract: An active disturbance rejection controller for an electro-optical tracking servo system is presented to track maneuvering targets fast and accurately and then its work principle is investigated. Based on the structure analysis of a tracking system, the target velocity is taken as the exterior unknown disturbance and the system parameter change is used as the interior unknown disturbance. An extend state observer and a tracking differentiator are used to estimate the disturbance accurately from the input and output information of system response, then the controller can compensate the disturbance further. Experimental results indicate that the system can fast track maneuvering targets at a maximal angular velocity of 40 mrad/s and an maximal angular acceleration of 8 mrad/s² while the maximal tracking error and the maximal overshoot are less than 0.1 mrad and 10% respectively. These results show that the scheme has a good structure and robust performance, and can satisfy the system requirements without using the sensor to measure the target state.

Key words: electro-optical tracking; servo system; active disturbance rejection controller

收稿日期:2009-05-25;修订日期:2009-06-08.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 60175010);兵器科技预研项目(No. 1040102.5)

1 引言

光电跟踪系统是一个包括光电探测、信号处理、控制系统及精密机械等几部分组成的复杂设备,在航空、武器控制等各种军用和民用领域有着广泛的应用。在现代应用中,光电跟踪系统一般都安装在飞机、舰艇或车辆等动基座上,影响系统跟踪精度的扰动主要是目标的机动特性以及动基座运动产生的影响。因此,伺服控制器必须解决两个关键技术问题:一是减小动基座运动引起的瞄准线指向稳定误差,即稳像问题;二是减小由于目标机动引起的动态跟踪误差,在跟踪过程中,始终保持瞄准线对准目标。

随着目标机动性能的增强和现代技术的发展,对光电跟踪系统的要求越来越高,尤其要求其响应更快、稳定跟踪精度更高。目前较多的光电跟踪系统采用等效复合控制及其同轴跟踪技术,通过传感器测量数据进行滤波、预测,提供目标运动状态信息,将目标运动角速度等信息作为前馈控制信号进行速度滞后补偿或加速度滞后补偿,进一步修正动态滞后误差而提高控制精度^[1-3]。但是该方法在提高跟踪精度的同时,却恶化了系统的动态性能,对跟踪捕获极为不利。现代控制理论如最优控制理论、自适应控制理论等可以有效提高光电跟踪系统的性能,但是设计难度大,计算复杂,运算量往往较大,需要高性能微处理器支持,控制系统成本较高,不易在实际工程中得到推广和应用^[4-6]。

自抗扰控制器(ADRC)是中科院韩京清研究员在继承经典PID不依赖于对象精确模型优点的基础上,设计出能动态估计模型内扰和外扰的非线性状态观测器,通过构造出非线性PID控制器,改进经典PID固有缺陷而形成的新型控制器^[7-8]。该控制器算法简单,参数适应性广,在控制对象参数发生变化或遇到不确定性扰动时都能得到很好的控制效果,具有较强的适应性、鲁棒性和可操作性。本文以某型光电跟踪系统为研究对象,给出其自抗扰控制方案。实验结果表明,该方案结构简单,无需额外的传感器对目标运动进行测量、滤波和预测,在提高跟踪精度的基础上,具

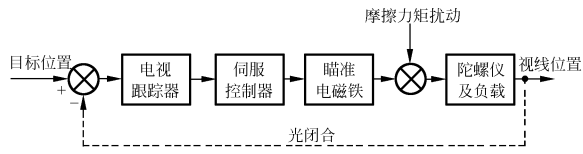
有优异的动态性能,大大提高了系统高精度捕获、跟踪快速机动目标的能力。

2 系统设计要求及模型分析

某型战车上的光电跟踪系统主要用于战车火控系统,引导火炮或导弹对数公里外的地面机动目标或低空武装直升机进行射击。由于战车通常行驶在非公路起伏路面上,这要求本光电跟踪系统对振幅小于 10° 、扰动频率 <1 Hz的载体运动扰动有良好的隔离能力。考虑到目标的机动性能,要求系统具备跟踪最大角速度 40 mrad/s和最大角加速度 8 mrad/s²目标的能力;并且系统在可视视场范围内,从一个目标切换到对另一个目标稳定跟踪的过渡时间 <2 s。为了保证火炮或导弹的命中精度,要求系统稳定跟踪误差 <0.1 mrad。

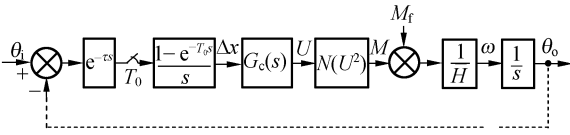
光电跟踪系统的模型结构因其所采用的稳像技术不同而存在较大的差异。目前应用的稳像技术可分为机械稳像、光学稳像和电子稳像。本光电跟踪系统使用光学稳像方案,其利用陀螺仪的定轴特性,直接驱动控制成像光路中反射棱镜的空间姿态,以得到稳定图像,并利用陀螺仪的进动特性,实现对目标的瞄准和跟踪^[9]。虽然采用光学稳像方案的系统价格昂贵,但是其结构简单、可靠性高、隔离载体扰动能力强、有较高的视线稳定精度。该系统的结构框图及对应的数学模型如图1(a)、(b)所示。

电视跟踪器在光电跟踪系统中起到观测目标跟踪脱靶量(及角度偏差)的作用,由于受到图像分辨率及处理算法的影响,电视跟踪器输出的脱靶量 Δx 将包含有 $1\sim 2$ pixel的观测噪声。同时由于受到电视信号制式及芯片处理能力的制约,电视跟踪器在结构上可视为一个延迟环节和零阶保持器相串联的形式。这些在一定程度上将影响系统的带宽。为了提高控制性能,要求电视跟踪器图像处理的延迟时间尽可能小,图像采集的分辨率尽可能高,必要时需进行一定的相位补偿。本系统的图像处理延迟时间 $\tau < 10$ ms,工作周期 T_0 为 40 ms,图像采集角分辨率为 0.05 mrad。



(a) 结构框图

(a) Block diagram



(b) 数学模型

(b) Mathematics model

图 1 某型光电跟踪系统结构框图

Fig. 1 Block diagram of a electro-optical tracking system

图中 θ_t 为目标位置, θ_o 为视线位置, ω 为陀螺仪进动角速度, M_f 为干扰力矩, M 为控制力矩, U 为控制电压, Δx 是目标脱靶量, T_0 为电视跟踪器工作周期, τ 为图像处理延迟时间, $G_c(s)$ 为伺服控制器传递函数, $N(U^2)$ 为瞄准电磁铁的非线性传递函数, H 为陀螺仪角动量。

瞄准电磁铁是产生电磁力的装置,用于向陀螺仪施加进动控制力矩,从而改变陀螺仪转子轴在惯性空间的位置。一般情况下,瞄准电磁铁采用串激工作方式,因此其产生的力矩 M 是输入电压 U 的二次函数,即

$$M = K_m \cdot U^2, \quad (1)$$

式中 K_m 是瞄准电磁铁的放大系数,其与定子、转子的阻抗值及电磁系数相关。实际应用中可视为一常数。

由陀螺仪特性可知,陀螺转子轴的进动角速度:

$$\omega = \frac{M + M_f}{H}. \quad (2)$$

由(1)、(2)可得陀螺仪运动方程:

$$\dot{\theta}_o = \frac{d\theta_o}{dt} = \omega = \frac{1}{H} \cdot (K_m \cdot U^2 + M_f). \quad (3)$$

设计伺服控制器的目的就是尽快消除光电跟踪器对运动目标的跟踪偏差,即脱靶量 $\Delta x = 0$ 。

3 自抗扰控制器设计

由图 1 可知,对于光电跟踪系统,能够直接

利用的控制信息是电视跟踪器输出的有一定时间滞后的脱靶量,而目标运动的速度、加速度信息是未知的。为了实现较好的控制效果,常见的方案是在系统输出端增加编码器传感器,将其输出进行滤波处理后,获得目标运动的等效速度、加速度等信息,经过控制补偿,达到等效于复合控制的性能。在本文提出的自抗扰控制方案中,不采用传感器,只使用脱靶量信息。其基本控制结构如图 2 所示,虚框部分为自抗扰控制器。为了便于分析自抗扰控制的机理,图中忽略了电视跟踪器环节的影响。

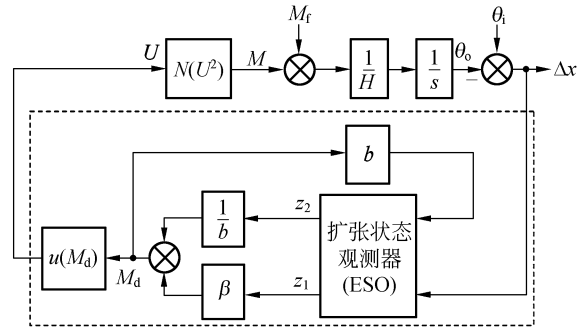


图 2 某型光电跟踪系统自抗扰控制器结构框图

Fig. 2 Block diagram of active disturbance rejection controller for a electro-optical tracking system

图中 b 和 β 为自抗扰控制器参数, z_1 和 z_2 为扩张状态观测器的输出, M_d 为虚拟控制量, $u(M_d)$ 为控制电压计算函数。

目标的运动方程为:

$$\dot{\theta}_t = \omega_t(t), \quad (4)$$

结合(1)、(3)式可得,脱靶量 Δx 的运动方程为:

$$\Delta \dot{x} = \dot{\theta}_t - \dot{\theta}_o = \omega_t(t) - \frac{1}{H} \cdot (M + M_f), \quad (5)$$

令自抗扰控制器的参数 $b = \frac{1}{H}$, 则可得对脱靶量 Δx 进行自抗扰控制的基本对象模型:

$$\Delta \dot{x} = \dot{\theta}_t - \dot{\theta}_o = \left(\omega_t(t) - \frac{M_f}{H} \right) - bM. \quad (6)$$

这样,就把未知的目标运动速度 $\omega_t(t)$ 和干扰力矩 M_f 分别视为被控对象的外部 and 内部扰动。由于控制力矩 M 是控制器作用于瞄准电磁铁而产生的,在设计自抗扰控制器时无需直接测量 M ,只要引入一个虚拟控制量 M_d 参与计算,并令 $M_d = M$ 即可。

因为脱靶量 Δx 的运动方程(6)为一阶不确定系统,所以需构建二阶以上的扩张状态观测器。以线性二阶扩张状态观测器为例:

$$\begin{cases} e = z_1 - \Delta x \\ \dot{z}_1 = z_2 - \beta_{01}e - bM_d \\ \dot{z}_2 = -\beta_{02}e \end{cases}, \quad (7)$$

其输出 z_1 是脱靶量 Δx 的估计值,而 z_2 是对系统扰动 $\omega_1(t) - \frac{M_f}{H}$ 的估计输出。

虚拟控制量 M_d 由下式确定:

$$M_d = \beta z_1 + \frac{1}{b} z_2. \quad (8)$$

由瞄准电磁铁特性(1)及虚拟控制量(8)可得,自抗扰控制器的实际控制量输出的函数为:

$$U = u(M_d) = \text{sign}(M_d) \cdot \sqrt{\frac{|M_d|}{K_m}}, \quad (9)$$

由以上可得:

$$\Delta \dot{x} = \left(\omega_1(t) - \frac{M_f}{H} \right) - b\beta z_1 - z_2 \approx -b\beta \Delta x. \quad (10)$$

这样,自抗扰控制器通过扩张状态观测器的作用,可实时抵消系统中的扰动,控制系统被转化成一个积分串联型的结构。只要跟踪误差 Δx 存在, $\Delta \dot{x}$ 总是与 Δx 反向,使得 $\Delta x \rightarrow 0$ 的过程持续进行,直到脱靶量 $\Delta x = 0$ 。

当扰动为常值扰动时,即目标作匀速运动或陀螺存在单一方向漂移等情况,扩张状态观测器的输出 z_2 能够将其完全补偿,取得相对于等效速度前馈的控制效果。但是,当扰动为一时变函数形式时,比如目标作机动性很强的变加速运动等, z_2 的估计将存在动态滞后误差,对扰动只能部分补偿,最终将产生较大的跟踪误差。为了提高自抗扰控制器对强机动目标的跟踪精度,需要估计出扰动的加速度等信息,对 z_2 的估计滞后进行补偿,从而最大程度地消除扰动的影响。这里采用自抗扰技术中的跟踪微分器来提取 z_2 的一阶导数。

离散化后的跟踪微分器为:

$$\begin{cases} x_1(k) = x_1(k-1) + T \cdot x_2(k-1) \\ x_2(k) = x_2(k-1) + T \cdot \text{fhan}[x_1(k-1), \\ x_2(k-1), u(k), r, h] \end{cases}, \quad (11)$$

式中, T 为采样周期, $u(k)$ 为输入量, $x_1(k)$ 为 $u(k)$ 的跟踪信号, $x_2(k)$ 为 $u(k)$ 的一阶导数。其中 $\text{fhan}[x_1(k-1), x_2(k-1), u(k), r, h] = -r \cdot \text{sat}(g(k), \delta)$,

式中:

$$\text{sat}(g(k), \delta) = \begin{cases} \text{sign}(g(k)), |g(k)| \geq \delta \\ g(k)/\delta, |g(k)| < \delta \end{cases},$$

$$g(k) = \begin{cases} x_2(k-1) + \text{sign}(y(k)) \times \\ \frac{\sqrt{8r|y(k)| + \delta^2} - \delta}{2}, |y(k)| \geq \delta \\ x_2(k-1) + y(k)/h, |y(k)| < \delta \end{cases},$$

$$\delta = hr,$$

$$\delta_1 = h\delta,$$

$$y(k) = x_1(k-1) - u(k) + h \cdot x_2(k-1).$$

为获得较好的滤波效果,通常选择较大的参数 h 和 r ,这样会带来一定的相位损失。因此,在噪声信号较大时,需加入一定步数 r_2 的预报补偿,作为输入信号的逼近。

综合以上,离散状态下的自抗扰控制算法为:

$$e(k) = z_1(k-1) - \Delta x(k), \quad (12)$$

$$z_1(k) = z_1(k-1) + T_0[z_2(k-1) - \beta_{01} \cdot e(k) - b \cdot M_d(k-1)], \quad (13)$$

$$z_2(k) = z_2(k-1) + T_0[-\beta_{02} \cdot e(k)] + r_2 \cdot T_0 \cdot z_4(k-1), \quad (14)$$

$$z_3(k) = z_3(k-1) + T_0 \cdot z_4(k-1), \quad (15)$$

$$z_4(k) = z_4(k-1) + T_0 \cdot \text{fhan}[z_3(k-1), z_4(k-1), z_2(k), r, h], \quad (16)$$

$$M_d(k) = \beta \cdot \text{fal}[z_1(k), 0.5, \delta] + \frac{z_2(k)}{b}, \quad (17)$$

$$U = \text{fal}[M_d, 0.5, 0] \cdot \sqrt{\frac{1}{K_m}}. \quad (18)$$

为了提高误差反馈抑制扰动的能力,引入了非光滑反馈函数

$$\text{fal}(e, \alpha, \delta) = \begin{cases} |e|^\alpha \text{sign}(e), |e| > \delta \\ e \cdot \delta^{\alpha-1}, |e| \leq \delta \end{cases}.$$

算法中 $T_0, \beta_{01}, \beta_{02}, b, \beta, r_2, r, h, \delta$ 和 K_m 为待整定控制参数,其中控制周期 $T_0 = 0.04$ s,参数 b 和 K_m 由陀螺仪及瞄准电磁铁的特性决定。

经过对实际系统的测算,参数 b 值约为 0.25 $(\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s})^{-1}$, K_m 约为 7.26 N·m/A。根据自抗扰理论^[10],在实际系统应用中选取如下一组控制参数: $\beta_{01} = 25, \beta_{02} = 125, \beta = 4, r_2 = 1, r = 100, h = 0.4, \delta = 0.1$ 。

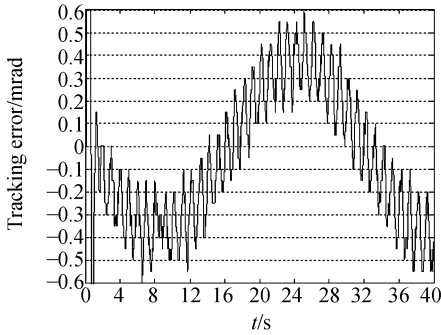
4 实验结果

为了验证自抗扰控制器的性能,将安装有该

光电跟踪系统的炮塔置于三自由度液压测试平台上,并通过计算机投影设备仿真目标的运动规律。在液压测试平台作正弦运动($A=10^\circ, f=1\text{ Hz}$)情况下,分别进行了跟踪机动目标、阶跃响应实验和控制鲁棒性性能测试。作为对比,同时给出了原系统所采用的 PID 控制器的实验结果。

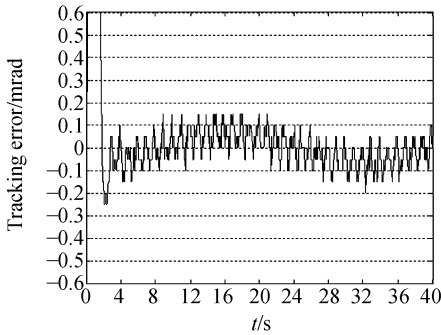
4.1 跟踪机动目标实验

计算可得符合最大角速度 40 mrad/s 和最大角加速度 8 mrad/s^2 的等效正弦运动目标为 $\theta_i(t) = 200 \sin(0.2t)$ 。图 3(a)和(b)分别为 PID 控制器和自抗扰控制器对等效正弦运动目标跟踪的误差曲线。显然,自抗扰控制器达到了性能指标要求,而 PID 控制器存在较大的稳态误差,不具备对高机动性目标跟踪的能力。



(a) PID 控制误差

(a) Tracking error of PID controller



(b) 自抗扰控制误差

(b) Tracking error of ADRC controller

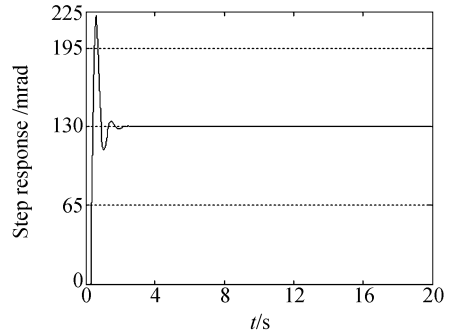
图 3 载体扰动下系统的跟踪误差

Fig. 3 Tracking errors of system with disturbance

4.2 阶跃响应实验

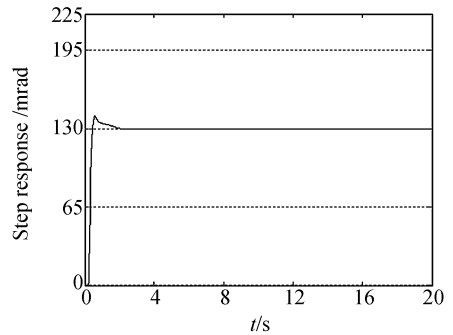
图 4 为电视跟踪器从一个静止目标切换到对视场内另一个静止目标稳定跟踪的过渡过程曲

线,两目标间相距 130 mrad 。在同样 2 s 的过渡时间内,PID 控制器的控制超调量达到 70.8% ,而自抗扰控制器的控制超调量为 7.7% 。PID 控制器过大的超调量使得电视跟踪器在快速转移过程中极易丢失目标。相比之下,自抗扰控制器要平稳得多。



(a)PID 控制阶跃响应

(a) Step response of PID controller



(b) 自抗扰控制阶跃响应

(b) Step response of ADRC controller

图 4 载体扰动下系统的阶跃响应

Fig. 4 Step responses of system with disturbance

4.3 控制鲁棒性实验

在自抗扰控制器参数不变的情况下,人为改变陀螺仪及瞄准电磁铁的参数,重新进行 4.1 中的实验。图 5 为降低陀螺电机工作电压,使陀螺仪角动量降低约 30% 后,得到的控制效果。图 6 为在瞄准电磁铁线圈回路中串联电阻,使瞄准电磁铁的放大系数 K_m 减小约 30% 后,得到的控制效果。参数改变前后,系统稳定跟踪后的误差分析见表 1。结果表明,当系统参数发生变化时,自抗扰控制器依然保持良好的跟踪精度和动态性能,具有较强的鲁棒性。

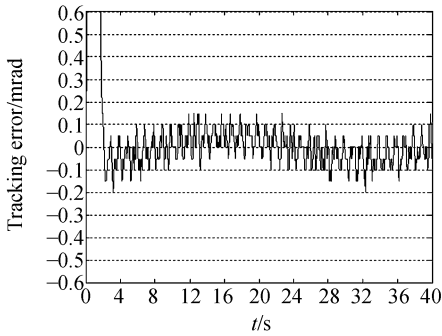


图 5 陀螺参数变化后系统的跟踪误差

Fig. 5 Tracking error of system when gyroscope parameter is changed

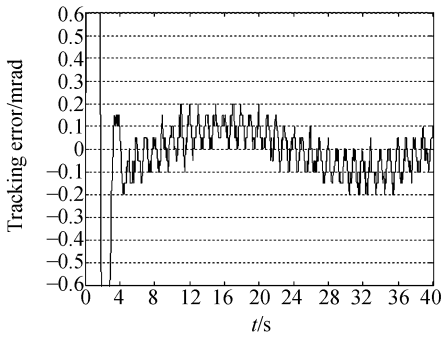


图 6 瞄准电磁铁参数变化后系统的跟踪误差

Fig. 6 Tracking error of system when aim electromagnet parameter is changed

表 1 自抗扰控制器跟踪误差分析

Tab. 1 Analysis of tracking error with ADRC mrad

实验条件	最大跟踪误差
系统参数未变化	0.137
陀螺参数变化	0.145
瞄准电磁铁参数变化	0.197

5 结 论

根据现代作战条件对某型战车光电跟踪系统精度高、适应目标机动能力强的要求,提出了自抗扰控制方案,并分析了自抗扰的工作机理。给出了基于扩张状态观测器和跟踪微分器的自抗扰控制算法。该方案无需使用传感器,直接采用扩张状态观测器从系统响应的输入输出信号中估计出目标的运动速度及系统内部参数扰动,并进一步用跟踪微分器提取扰动的一阶导数来提高对扰动的估计精度,以最大程度地补偿扰动。理论和实验结果表明:相比传统的 PID 控制及等效复合控制方案,该控制方案结构简单,在载体扰动下,跟踪最大角速度为 40 mrad/s 和最大角加速度 8 mrad/s²,机动目标的误差基本 < 0.1 mrad,阶跃响应快速、超调 < 10%,并具有较强的控制鲁棒性,满足了性能指标要求,为高精度光电跟踪伺服控制系统的设计提供了新方法。

参考文献:

- [1] 马佳光. 复合控制及等效复合控制原理及应用[J]. 光电工程, 1988, 25(4): 1-16.
MA J G. Theory and application of compounding control and equivalent compounding control [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 1988, 25(4): 1-16. (in Chinese)
- [2] 王建立, 吉桐伯, 高昕, 等. 加速度滞后补偿提高光电跟踪系统跟踪精度的方法[J]. 光学精密工程, 2005, 13(6): 681-685.
WANG J L, JI T B, GAO X, et al.. Study of improving the optoelectronic system capability to track moving targets by using acceleration delay compensation [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2005, 13(6): 681-685. (in Chinese)
- [3] 孙丽娜, 宋悦铭, 戴明. 采用复合控制提高机载光电平台的数引跟踪精度[J]. 光学精密工程, 2008, 16(2): 265-269.

- SUN L N, SONG Y M, DAI M. Improving digital-leading tracking precision for photoelectric platform by complex control [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(2): 265-269. (in Chinese)
- [4] 张文博, 范大鹏, 朱华征. 基于采样控制理论的光电跟踪伺服系统内模控制[J]. 光学精密工程, 2008, 16(2): 221-228.
ZHANG W B, FAN D P, ZHU H ZH. Internal model control for electro-optical tracking servo system based on sampled-data control theory [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(2): 221-228. (in Chinese)
- [5] 杨秀华, 吉桐伯, 陈涛, 等. 预测滤波技术在电视跟踪系统的应用[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2003, 21(3): 247-250.
YANG X H, JI T B, CHEN T, et al.. Application of prediction filtering technique in TV tracking system [J]. *Journal of Jilin University (Information Science Edition)*, 2003, 21(3): 247-250. (in Chinese)

nese)

- [6] 刘兴法,马佳光. 用于三轴光电跟踪系统的神经网络误差修正法[J]. 光学精密工程,2007,15(9):1311-1317.
LIU X F, MA J G. Neural network error modification method for three-axis photoelectric tracking system[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(9):1311-1317. (in Chinese)
- [7] 韩京清. 一类不确定对象的扩张状态观测器[J]. 控制与决策,1995,10(1):85-88.
HAN J Q. The "Extended State Observer" of a class of uncertain systems[J]. *Control and Decision*, 1995,10(1):85-88. (in Chinese)
- [8] 韩京清,王伟. 非线性跟踪-微分器[J]. 系统科学与数学,1994,14(2):177-183.

HAN J Q, WANG W. Nonlinear tracking differentiator[J]. *J. Sys. Sci. & Math. Scis.*, 1994, 14(2):177-183. (in Chinese)

- [9] 周启煌,常天庆,邱晓波. 战车火控系统与指控系统[M]. 北京:国防工业出版社,2003.
ZHOU Q H, CHANG T Q, QIU X B. *Fire Control and Command Control System of Combat Vehicle*[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2003. (in Chinese)
- [10] 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 Defence Industry Press, 2008. (in Chinese)

作者简介:



邱晓波(1976—),男,湖北襄樊人,博士研究生,副教授,1996年、1999年于装甲兵工程学院分别获得学士、硕士学位,主要从事火控系统与指控系统、信息融合、目标识别的研究。E-mail: qiu-xiaobo007@sohu.com



单东升(1964—),男,河南信阳人,硕士生,副教授,1987年、1990年于装甲兵工程学院分别获得学士、硕士学位,主要从事火控系统与指控系统、嵌入式系统的研究。E-mail: aafe_tkfc@yahoo.com.cn



窦丽华(1961—),女,吉林四平人,硕士生,教授,博士生导师,现为北京理工大学信息科学技术学院自动控制系统实验室主任,模式识别与智能系统研究所所长,主要从事集群计算、图像处理和目标识别、传感器信息融合、机器人协调控制等方面的研究。E-mail: doulihua@bit.edu.cn



周伟科(1973—),男,陕西西安人,硕士生,高级讲师,1996年、2004年于装甲兵工程学院分别获得学士、硕士学位,主要从事火控系统与指控系统、控制理论的研究。E-mail: zweek@sohu.com