

文章编号:1001-2486(2011)01-0044-03

遥控武器站的自抗扰控制*

张伟,陈宇中,胡永明

(国防科技大学 光电科学与工程学院,湖南 长沙 410073)

摘要:遥控武器站系统是一个具有强后坐力、变摩擦力和变转动惯量的非线性系统,采用自抗扰控制技术对该系统进行稳定控制。系统利用自抗扰控制器的扩张状态观测器,对系统未建模特性和不确定性外扰进行动态估计和反馈补偿,提高了系统的抗干扰能力。实物系统稳定控制实验结果表明,所设计的自抗扰控制器具有良好的动态品质和较强的抗干扰性能,系统实现 180°回转仅需 2.62s,且转动过程中无振荡和无超调。

关键词:遥控武器站;自抗扰控制;扩张状态观测器;光纤陀螺

中图分类号:TP273 **文献标识码:**A

Active Disturbance Rejection Control of Remotely Operated Weapon Station

ZHANG Wei, CHEN Yu-zhong, HU Yong-ming

(College of Opto-electronic Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: The remotely-operated weapon station (ROWS) is a non-linear system with strong backlash, time-varying friction and time-varying moment of inertia. The active disturbance rejection controller (ADRC) was designed to improve the system's performance. Based on ADRC extended state observer to estimate the model uncertainty and external interference of the system, the system's ability of disturbance rejection was greatly improved. Experiment result shows that the system used ADRC technique has good dynamic performance. It takes only 2.62s for a 180° maneuver with no overshoot and no chattering.

Key words: remotely-operated weapon station; active disturbance rejection controller; extended state observer; fiber optic gyro

随着对城市巷战模式的关注和不断增长的减少人员伤亡的需求,世界各国都大力发展自己的遥控武器站。遥控武器站是一种可以安装在多种运载工具上的相对独立的模块化、通用化武器系统,操作者在安全区域内通过视频图像和电驱动控制实现对武器系统的遥控操作,从而大大提高射手的战场生存能力。另外,由于遥控武器站配备的高精度昼夜观瞄器材和双向稳定控制系统,这不仅使其具有夜间和恶劣气象条件下作战的能力,还能提高传统武器系统的作战距离和射击精度。

遥控武器站在武器系统发射时会受到很强的后座力冲击,另外,当武器处于不同射角时,平台转动机构的转动惯量也各不相同,这是一个很典型的非线性时变系统,应用传统的线性 PID 控制算法对其进行稳定控制很难满足系统的要求^[1]。本文采用自抗扰非线性控制技术对其进行稳定控制。

1 遥控武器站稳定控制系统工作原理

为适应装甲车辆中普遍采用的车载 26V 直流电源,本遥控武器站平台采用 H 桥式电路驱动永磁直流力矩电机的直接驱动方式^[2],通过控制桥式电路输入端 PWM 信号的占空比来调节力矩电机的转速与转向。稳定控制系统的原理框图如图 1 所示,系统采用全数字开环光纤陀螺作为角速率传感器,用以实时检测平台的转动速率,通过积分和滤波后,可消除陀螺的零位漂移并获得回路的反馈量即平台的实际转动角度位置,目标角度位置与实际角度位置经过自抗扰控制算法后形成控制量输出,控制量调节 PWM 信号的占空比大小,从而改变控制电机两端的电压以调节电机的转速和转向,PWM 输出经过功率放大后加载至力矩电机,力矩电机驱动武器系统转向目标角度位置。图中虚线框图部分所包含的自抗扰控制算法(ADRC)实现、PWM 波形产生以及陀螺位置信号处理都由 TMS320F2812 芯片完成。

* 收稿日期:2010-07-30

作者简介:张伟(1983—),男,博士生。

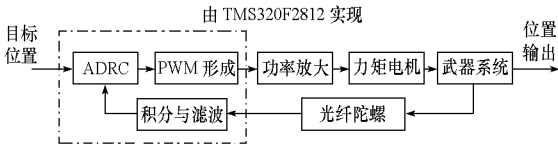


图 1 系统原理框图
Fig.1 System scheme

2 遥控武器站自抗扰控制方案

自抗扰控制器 (ADRC) 是中科院系统科学研究所韩京清研究员发明的一种不依赖于系统模型的新型非线性控制器, 具有超调小, 收敛速度快, 精度高, 抗干扰能力强等特点, 已经在炉温控制、异步电机调速系统控制、高速车床等不同对象的实际控制系统中得到应用^[3-5]。

常用的二阶自抗扰控制器的结构如图 2 所示, 主要包括跟踪微分器 (TD)、扩张状态观测器 (ESO) 和非线性组合反馈 (NSEF) 等功能模块。

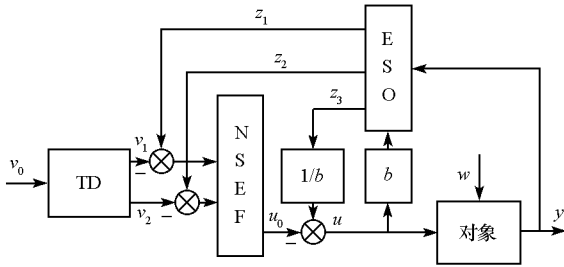


图 2 二阶自抗扰控制器结构框图
Fig.2 Structure of the second order ADRC

2.1 控制对象

系统采用力矩电机直接驱动负载的控制方式, 在机械设计时保证了系统的谐振频率足够高, 电机与负载之间可近似为纯刚性连接, 因此, 电机电枢控制电压 U_a 与负载平台转速 V 之间的传递函数可简化为:

$$P(s) = \frac{C_m}{J_\Sigma L_a s^2 + J_\Sigma R_a s + C_m C_e} \quad (1)$$

该电机与负载模型是一个典型的二阶系统, 其中, J_Σ 为系统总的转动惯量, L_a 为电机电枢回路电感, R_a 为电机电枢回路电阻, C_m 为电机电力矩系统, C_e 为电机反电动势比例系数。

2.2 跟踪微分器 (TD)

跟踪微分器用以对不光滑的输入信号 V_0 进行预处理, 通过“安排”过渡过程 V_1 , 能快速无超调地跟踪输入信号 V_0 并能很好地给出其微分信号 V_2 , 本系统中 V_0 即为目标角度位置。二阶跟踪微分器的结构形式为:

$$\begin{cases} d = rh_0; d_0 = dh_0 \\ y = x_1 + h_0 x_2; a_0 = (d^2 + 8r|y|)^{\frac{1}{2}} \\ a = \begin{cases} x_2 + (a_0 - d)/2, & |y| > d_0 \\ x_2 + y/h_0, & |y| \leq d_0 \end{cases} \\ fhan(x_1, x_2, r, h_0) = - \begin{cases} ra/d, & |a| \leq d \\ r \operatorname{sgn}(a), & |a| > d \end{cases} \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} v_1(k+1) = v_1(k) + hv_2(k) \\ v_2(k+1) = v_2(k) + hfhan(v_1(k) - v_0(k), v_2(k), r, h_0) \end{cases} \quad (3)$$

其中 $fhan(\cdot)$ 为系统的最速控制综合函数, h 为自抗扰控制器积分步长, h_0 为跟踪微分器滤波因子, r 为跟踪微分器快慢因子。

2.3 扩张状态观测器 (ESO)

扩张状态观测器的作用是利用尽可能少的信息, 估计出受系统未建模特性以及未知外扰作用的非线性不确定对象的扩张状态, 以实现反馈控制及扰动补偿。二阶扩张观测器的结构形式为:

$$\begin{cases} e(k) = z_1(k) - y(k) \\ z_1(k+1) = z_1(k) + h \cdot (z_2(k) - \beta_{01} \cdot e(k)) \\ z_2(k+1) = z_2(k) + h \cdot (z_3(k) - \beta_{02} \cdot fal(e(k), 0.5, \delta) + b_0 u) \\ z_3(k+1) = z_3(k) - h \cdot \beta_{03} \cdot fal(e(k), 0.25, \delta) \end{cases} \quad (4)$$

式中 y 为被控对象的输出, 即转台实际角度位置, 它是通过对光纤陀螺的角速度进行积分而得到的。扩张状态观测器中的 z_1 、 z_2 能有效跟踪所观测的状态变量 y 及其微分信号 y' , 同时将系统建模、未建模部分及各种扰动作用扩张成新的状态变量 z_3 , 然后对其进行前馈补偿, 以消除其对系统的影响。 β_{01} 、 β_{02} 、 β_{03} 为扩张状态观测器的三个可调参数, 其取值大小由系统所用的采样步长决定。函数 $fal(\epsilon, a, \delta)$ 具有如下结构形式:

$$fal(\epsilon, a, \delta) = \begin{cases} |\epsilon|^a \operatorname{sgn}(\epsilon), & |\epsilon| > d_0 \\ \epsilon/\delta^{1-a}, & |\epsilon| \leq d_0 \end{cases} \quad (5)$$

2.4 非线性误差反馈控制律 (NSEF)

非线性误差反馈控制律是为了改进线性 PID 的控制品质, 通过由非线性跟踪微分器和扩张状态观测器获得所需的误差及其变化信息后, 采用非线性组合实现反馈控制功能。二阶非线性误差反馈控制律的结构形式为:

$$\begin{cases} e_1 = v_1(k) - z_1(k) \\ e_2 = v_1(k) - z_2(k) \\ u_1(k) = -fhan(e_1, ce_2, r, h_1) \\ u(k) = u_1(k) - \frac{z_3(k)}{b_0} \end{cases} \quad (6)$$

其中 e_1 、 e_2 分别是安排过渡过程 v_1 与系统输出估计 z_1 之间的误差和该误差的微分, $1/h_1$ 为比例因子, c 为阻尼因子, b_0 为补偿因子。式中 u 为被控对象的输入, 该值作为 PWM 信号占空比值的比例系数, 通过调节 u 值大小来调节电机转速与转向。

3 系统稳定控制实验

为验证自抗扰控制方法的有效性, 本文利用自抗扰控制算法对遥控武器站进行了稳定控制实验。图 3 为遥控武器站系统输入目标位置 180° 时系统的阶跃输出响应曲线, 图 4 为对应的自抗扰控制器输出值 u 的变化曲线。由图 3 可以看出, 系统完成 180° 旋转仅仅需要 2.62s, 响应时间较快, 且无振荡和超调。图 5 为系统在稳定控制过程中受到外界冲击扰动时系统的输出响应曲线, 从图中可以看出, 当受到外界冲击干扰时, 系统能快速回到初始位置, 抗干扰能力较强。

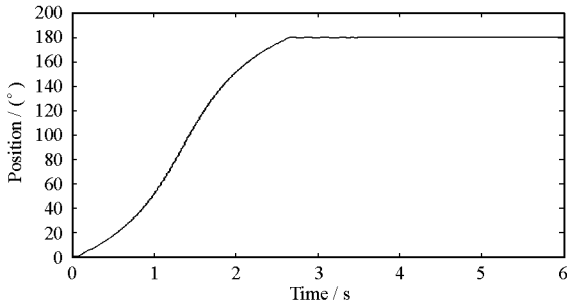


图 3 目标位置 180° 时系统阶跃响应曲线
Fig.3 System response for a 180° maneuver

4 结论

自抗扰控制器可以用于解决不确定性对象的控制问题, 它通过状态观测器对系统未建模特性和内外扰动等非线性因素进行估计, 然后实现反馈控制及扰动补偿, 因此可以不依赖于被控对象

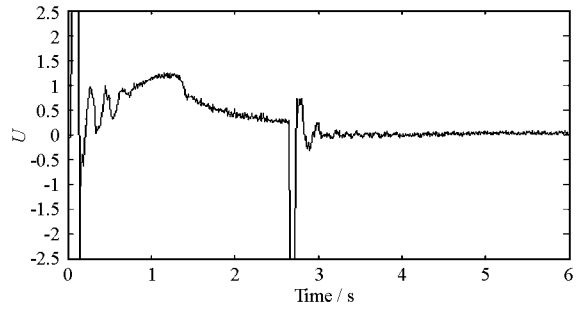


图 4 目标位置 180° 时自抗扰控制器 u 值变化曲线
Fig.4 Output of ADRC for a 180° maneuver

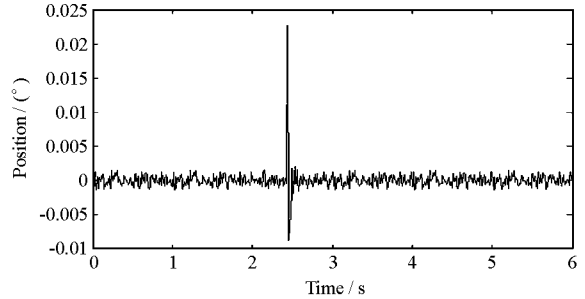


图 5 冲击扰动时系统响应曲线
Fig.5 System response with pulse disturbance

的具体数学模型, 具有很强的适应性和抗干扰能力。针对遥控武器站系统存在的强后坐力、变摩擦力、变转动惯量等非线性因素, 采用自抗扰控制方法对其进行稳定控制。实验结果表明, 采用自抗扰控制方法的遥控武器站系统具有很强的抗干扰能力, 系统能在 2.62s 内无振荡、无超调地实现 180° 回转。

参考文献:

- [1] Arambel P O, Mehra R K, et al. New Generation High Speed Turret and Pseudo Bang-Bang Controller [J]. Proceedings of the American Control Conference, 2001, 2561 - 2566.
- [2] Quinn J P. Dual Elevation Weapon Station and Method of Use [P]. United States Patent, 2009.
- [3] 韩京清. 从 PID 技术到“自抗扰控制”技术[J]. 控制工程, 2002, 9(3): 13 - 18.
- [4] 焦连伟, 陈寿孙, 王晓峰. 电力系统自抗扰控制器[J]. 清华大学学报, 1999, 39(3): 27 - 29.
- [5] 冯光, 黄立培, 朱东起. 采用自抗扰控制器的高性能异步电机调速系统[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(10): 55 - 59.