

龙门起重机的模糊滑模定位与防摆控制

陈志梅 孟文俊

太原科技大学,太原,030024

摘要:提出了一种龙门起重机模糊滑模定位与防摆控制方案。考虑吊绳绳长的变化,把龙门起重机系统简化为三个多输入子系统,定义了四个滑模面,设计了模糊滑模控制器,使得起重机小车能快速精确到达期望位置,在负载快速提升和下降过程中抑制重物的摆动,并能准确跟踪吊绳绳长的变化,实现控制目标,提高生产效率,同时系统能快速到达滑平面,改善控制系统的性能。仿真结果证明了该控制方案的正确性和有效性。

关键词:龙门起重机;模糊控制;滑模控制;多输入系统

中图分类号:TH215;TP273

DOI:10.3969/j.issn.1004-132X.2012.03.013

Fuzzy Sliding Mode Positioning and Anti-swing Control for Gantry Crane

Chen Zhimei Meng Wenjun

Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan,030024

Abstract: A new positioning and an anti-swing control scheme with fuzzy sliding mode were proposed herein. The gantry crane was simplified into three multi-input subsystems, four sliding mode surfaces were defined and a fuzzy sliding controller was designed. The crane trolley can be quickly and accurately reached to the anticipated position, and the swing of heavy body was restrained during the process of high-speed load hoisting and dropping, and then the varying length of lifting rope can be traced exactly, as thus the control objective was realized and the operating efficiency was improved. Meanwhile, the inherent chattering phenomena of sliding mode control can be eliminated and the performances of control system can be ameliorated. The simulation results show the correctness and validity of this method.

Key words: gantry crane; fuzzy control; sliding mode control; multi-input system

0 引言

起重机广泛应用于车间、港口码头、电站、仓库、海上钻井平台、高层建筑等工业场所,在起重机的运输过程中,由于受到外界阻力(如风力、摩擦等)和起重机操作员熟练程度的影响,会出现小车定位不精确和负载摆动幅度大等问题。如果小车定位不精确,负载来回摆动,轻则延长起重机的运行时间,降低产品的质量和生产效率,造成经济损失,重则引发安全事故,造成人员伤亡。因此,国内外许多学者对此进行了大量的研究^[1-12]。输入整形也叫时滞滤波,董明晓等^[2]设计了鲁棒时滞滤波器,Khalid等^[3]、Singhose^[4]在建立起重机数学模型的基础上,结合输入整形和反馈控制等方法,大大减小了起重机的负载摆动,减轻了操作者的负担。

由于滑模控制设计方法简单,控制算法容易实现,并且在控制输入作用下系统状态一旦进入

滑动模态,则对外部扰动和参数的变化具有完全的鲁棒性。国内外学者针对不同的系统、不同的控制要求对滑模控制方法展开了较多的研究。在文献^[10]中把起重机看作欠驱动系统,提出了一种基于滑模的消摆控制方法;Liu等^[11]设计了一种自适应滑模防摆定位控制器,利用模糊控制来调节两个子系统在控制中的作用。上述方法虽然在一定程度上实现了小车的定位与防摆,但这些控制方法均把起重机系统简化成线性系统或单输入系统,没有考虑吊绳绳长的变化对系统的影响,这与实际情况存在差别,势必影响系统的控制性能。

本文提出了一种新的模糊滑模定位与防摆控制方案,考虑吊绳绳长的变化,把起重机系统简化为三个多输入子系统,设计了模糊滑模控制器,跟踪吊绳绳长的变化,在负载的快速提升和下降过程中实现小车的精确定位与防摆。

1 系统描述

图 1 所示为龙门起重机的简化模型,绳索的弹性、质量、重物摆动的阻尼系数忽略不计,负载

收稿日期:2011-01-27

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51075289);山西省自然科学基金资助项目(2008011027-3);山西省研究生优秀创新项目(20093099);太原市大学生创新创业专题项目(100115155)

和抓斗视为质点。 M 为小车的质量, m 为负载及抓斗的质量和, l 为绳长, θ 为摆角, g 为重力加速度, f_x 和 f_l 分别是作用在 X 方向和绳长方向上的外力, D_x 和 D_l 分别是沿 X 方向和绳长方向的摩擦阻尼系数, 其他外力忽略不计。

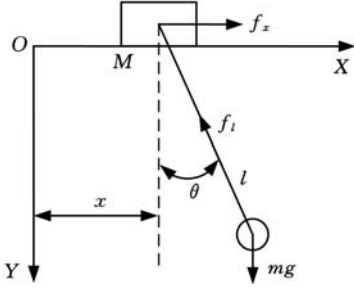


图 1 龙门起重机简化模型

如图 1 所示, 小车坐标为

$$\left. \begin{aligned} x_M &= x \\ y_M &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

负载坐标为

$$\left. \begin{aligned} x_m &= x + l \sin \theta \\ y_m &= l \cos \theta \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

小车和负载沿 X 方向和 Y 方向的速度分量分别为

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_M &= \dot{x} \\ \dot{y}_M &= 0 \\ \dot{x}_m &= \dot{x} + \dot{l} \sin \theta + l \dot{\theta} \cos \theta \\ \dot{y}_m &= \dot{l} \cos \theta - l \dot{\theta} \sin \theta \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

起重机系统的动能为

$$\begin{aligned} E_k &= \frac{1}{2} M v_M^2 + \frac{1}{2} m v_m^2 = \\ &= \frac{1}{2} M (\dot{x}_M^2 + \dot{y}_M^2) + \frac{1}{2} m (\dot{x}_m^2 + \dot{y}_m^2) \end{aligned} \quad (4)$$

选择小车位置为零势能参考点, 则起重机系统的势能为

$$E_p = -mgl \cos \theta \quad (5)$$

起重机系统的能量函数即拉格朗日函数为

$$\begin{aligned} E &= E_k - E_p = \frac{1}{2} (M+m) \dot{x}^2 + \frac{1}{2} m (\dot{l}^2 + l^2 \dot{\theta}^2 + \\ &+ 2 \dot{x} \dot{l} \cos \theta + 2 \dot{x} l \sin \theta) + mgl \cos \theta \end{aligned} \quad (6)$$

设起重机的广义坐标变量 $\mathbf{q} = (x, l, \theta)$, 根据拉格朗日方程:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{x}} \right) - \frac{\partial L}{\partial x} &= f_x - D_x \dot{x} \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{l}} \right) - \frac{\partial L}{\partial l} &= f_l - D_l \dot{l} \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

可得起重机数学模型:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x} &= (f_x - D_x \dot{x} - f_l \sin \theta + D_l \dot{l} \sin \theta) / M \\ \ddot{l} &= g \cos \theta + \dot{l}^2 + (D_x \dot{x} - f_x + \sin \theta f_l - \\ &\quad \sin \theta D_l \dot{l}) (\sin \theta / M) + (f_l - D_l \dot{l}) / m \\ \ddot{\theta} &= -(g \sin \theta + 2 \dot{l} \dot{\theta}) / l + \cos \theta (f_l \sin \theta + \\ &\quad D_x \dot{x} - D_l \dot{l} \sin \theta - f_x) / (lM) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

设 $x_1 = x, x_2 = \dot{x}, x_3 = l, x_4 = \dot{l}, x_5 = \theta, x_6 = \dot{\theta}$, 得到系统的状态方程为

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= \frac{D_l}{M} x_4 \sin x_5 - \frac{D_x}{M} x_2 + \frac{1}{M} f_x - \frac{\sin x_5}{M} f_l \\ \dot{x}_3 &= x_4 \\ \dot{x}_4 &= g \cos x_5 + x_3 x_6^2 + \frac{x_2 D_x \sin x_5}{M} - \\ &\quad \left(\frac{\sin^2 x_5}{M} + \frac{1}{m} \right) D_l x_4 - \frac{\sin x_5}{M} f_x + \left(\frac{\sin^2 x_5}{M} + \frac{1}{m} \right) f_l \\ \dot{x}_5 &= x_6 \\ \dot{x}_6 &= -\frac{g \sin x_5 + 2 x_4 x_6}{x_3} + \frac{\cos x_5}{M x_3} D_x x_2 - \\ &\quad \frac{\sin x_5 \cos x_5}{M x_3} D_l x_4 - \frac{\cos x_5}{M x_3} f_x + \frac{\sin x_5 \cos x_5}{M x_3} f_l \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

2 模糊滑模控制器设计

定义

$$\mathbf{e} = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \\ e_5 \\ e_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_d - x \\ l_d - l \\ \theta_d - \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_d - x \\ l_d - l \\ \theta_d - \theta \end{bmatrix}$$

其中, x_d, l_d, θ_d 分别是小车位置、绳长和负载摆角的期望值, 一般地, $\theta_d = 0$ 。则系统误差模型为

$$\left. \begin{aligned} \dot{e}_1 &= e_2 \\ \dot{e}_2 &= \ddot{x}_d - (f_1 + g_1 u_1 + h_1 u_2) \\ \dot{e}_3 &= e_4 \\ \dot{e}_4 &= \ddot{l}_d - (f_2 + g_2 u_1 + h_2 u_2) \\ \dot{e}_5 &= e_6 \\ \dot{e}_6 &= f_3 + g_3 u_1 + h_3 u_2 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} u_1 &= f_x & u_2 &= f_l \\ f_1 &= \frac{D_l}{M} x_4 \sin x_5 - \frac{D_x}{M} x_2 \\ g_1 &= \frac{1}{M} & h_1 &= -\frac{\sin x_5}{M} \\ f_2 &= g \cos x_5 + x_3 x_6^2 + \frac{D_x}{M} x_2 \sin x_5 - \\ &\quad \left(\frac{\sin^2 x_5}{M} + \frac{1}{m} \right) D_l x_4 \\ g_2 &= -\frac{1}{M} \sin x_5 & h_2 &= \frac{\sin^2 x_5}{M} + \frac{1}{m} \\ f_3 &= -\frac{g \sin x_5 + 2 x_4 x_6}{x_3} + \frac{D_x \cos x_5}{x_3 M} x_2 - \\ &\quad \frac{\sin x_5 \cos x_5}{x_3 M} D_l x_4 \\ g_3 &= -\frac{\cos x_5}{M x_3} & h_3 &= \frac{\cos x_5 \sin x_5}{M x_3} \end{aligned}$$

将起重机系统简化为三个多输入子系统,系统的控制目标是起重机小车能快速准确地到达期望位置,且在负载快速提升和下降过程中抑制重物的摆动。本文设计模糊滑模控制器,跟踪吊绳绳长的变化,对小车的位置和负载的摆动进行控制。定义以下四个滑模面

$$s_x = c_x e_1 + e_2 \quad (11)$$

$$s_\theta = c_\theta e_3 + e_6 \quad (12)$$

$$s_l = c_l e_3 + e_4 \quad (13)$$

$$s = \alpha s_x + s_\theta \quad (14)$$

取趋近律:

$$\dot{s} = -\varepsilon_1 \operatorname{sgn}(s) - k_1 s \quad (15)$$

$$\dot{s}_l = -k_2 \operatorname{sgn}(s_l) \quad (16)$$

其中, $c_x, c_l, c_\theta, \alpha, \varepsilon_1, k_1, k_2$ 是正常数,根据式(10)~式(16)可推出:

$$u_1 = [-ah_2 f_1 + (ah_1 - h_3) f_2 + h_2 f_3 + ah_2 c_x e_2 + (h_3 - ah_1)(c_l e_4 + \ddot{l}_d + k_2 \operatorname{sgn}(s_l)) + \alpha h_2 \ddot{x}_d + c_\theta e_6 h_2 + \varepsilon_1 h_2 \operatorname{sgn}(s) + k_1 h_2 s] / (g_2 h_3 + \alpha g_1 h_2 - g_3 h_2 - \alpha g_2 h_1) \quad (17)$$

$$u_2 = \frac{c_l e_4 - f_2 + \ddot{l}_d + k_2 \operatorname{sgn}(s_l) - g_2 u_1}{h_2} \quad (18)$$

为了解决滑模控制的抖振问题,利用双曲正切函数 $q(s) = \frac{1 - e^{-\lambda s}}{1 + e^{-\lambda s}}$ (λ 为大于 1 的常数) 代替 $\operatorname{sgn}(s)$,模糊控制 Δu 代替 $\operatorname{sgn}(s_l)$ 。 s_l 和 \dot{s}_l 是模糊控制器的输入, Δu 为模糊控制器的输出。它们的隶属函数分别如图 2、图 3 所示。

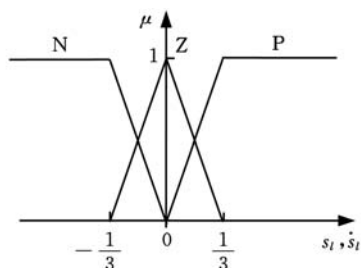


图 2 输入 s_l, \dot{s}_l 的隶属函数

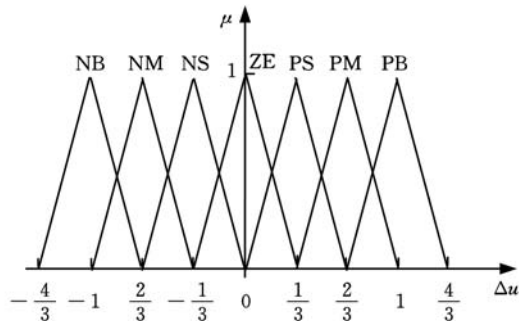


图 3 输出 Δu 的隶属函数

根据输入输出模糊子集的划分和起重机操作人员的经验总结出的模糊规则表如表 1 所示。

表 1 模糊控制规则表

	N	Z	P
N	NB	NM	NS
Z	NS	ZE	PS
P	PS	PM	PB

采用 $\min - \max -$ 重心法将模糊输出化为精确量^[13]:

$$\Delta u = \left\{ \begin{array}{l} -1 \quad s_l \leq -\frac{1}{3}, \dot{s}_l \leq -\frac{1}{3} \\ (\frac{5}{2}s_l^2 + \frac{7}{6}\dot{s}_l - \frac{2}{9}) / (-3s_l^2 - \dot{s}_l + \frac{1}{3}) \quad s_l \leq -\frac{1}{3}, -\frac{1}{3} < \dot{s}_l \leq 0 \\ (\frac{3}{2}s_l^2 - \frac{1}{6}\dot{s}_l - \frac{2}{9}) / (-3s_l^2 + \dot{s}_l + \frac{1}{3}) \quad s_l \leq -\frac{1}{3}, 0 < \dot{s}_l \leq \frac{1}{3} \\ -\frac{1}{3} \quad s_l \leq -\frac{1}{3}, \dot{s}_l > \frac{1}{3} \\ (4s_l^2 + 2s_l - \frac{1}{9}) / (-6s_l^2 - 2s_l + \frac{1}{3}) \quad -\frac{1}{3} < s_l \leq 0, \dot{s}_l \leq -\frac{1}{3} \\ (3s_l^2 + 2s_l + \frac{1}{2}\dot{s}_l^2 + \frac{1}{2}\dot{s}_l) / (-3s_l^2 - 2s_l - 3\dot{s}_l^2 - \dot{s}_l + \frac{1}{3}) \quad -\frac{1}{3} < s_l \leq 0, -\frac{1}{3} < \dot{s}_l \leq 0 \\ (2s_l^2 + \frac{4}{3}s_l - \frac{1}{2}\dot{s}_l^2 + \frac{1}{2}\dot{s}_l) / (-3s_l^2 - 2s_l - 3\dot{s}_l^2 + \dot{s}_l + \frac{1}{3}) \quad -\frac{1}{3} < s_l \leq 0, 0 < \dot{s}_l \leq \frac{1}{3} \\ (\frac{2}{3}s_l + \frac{1}{9}) / (-6s_l^2 - 2s_l + \frac{1}{3}) \quad -\frac{1}{3} < s_l \leq 0, \dot{s}_l > \frac{1}{3} \\ (\frac{2}{3}s_l - \frac{1}{9}) / (-6s_l^2 + 2s_l + \frac{1}{3}) \quad 0 < s_l \leq \frac{1}{3}, \dot{s}_l \leq -\frac{1}{3} \\ (s_l^2 - \frac{3}{2}\dot{s}_l^2 - \frac{1}{6}\dot{s}_l + \frac{1}{9}) / (-3s_l^2 - 3\dot{s}_l^2 - \dot{s}_l + \frac{2}{3}) \quad 0 < s_l \leq \frac{1}{3}, -\frac{1}{3} < \dot{s}_l \leq 0 \\ (-\frac{5}{2}\dot{s}_l^2 + \frac{7}{6}\dot{s}_l + \frac{2}{9}) / (-3s_l^2 - 3\dot{s}_l^2 + \dot{s}_l + \frac{2}{3}) \quad 0 < s_l \leq \frac{1}{3}, 0 < \dot{s}_l \leq \frac{1}{3} \\ (-4s_l^2 + 2s_l + \frac{1}{9}) / (-6s_l^2 + 2s_l + \frac{1}{3}) \quad 0 < s_l \leq \frac{1}{3}, \dot{s}_l > \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} \quad s_l > \frac{1}{3}, \dot{s}_l \leq -\frac{1}{3} \\ (-\frac{3}{2}\dot{s}_l^2 - \frac{1}{6}\dot{s}_l + \frac{2}{9}) / (-3s_l^2 - \dot{s}_l + \frac{1}{3}) \quad s_l > \frac{1}{3}, -\frac{1}{3} < \dot{s}_l \leq 0 \\ (-\frac{5}{2}\dot{s}_l^2 + \frac{7}{6}\dot{s}_l - \frac{2}{9}) / (-3s_l^2 + \dot{s}_l + \frac{1}{3}) \quad s_l > \frac{1}{3}, 0 < \dot{s}_l \leq \frac{1}{3} \\ 1 \quad s_l > \frac{1}{3}, \dot{s}_l > \frac{1}{3} \end{array} \right. \quad (19)$$

因此,系统控制力为

$$u_1 = [-ah_2 f_1 + (ah_1 - h_3) f_2 + h_2 f_3 + ah_2 c_x e_2 +$$

$$(h_3 - ah_1)(c_1 e_4 + \ddot{l}_d + k_2 \Delta u) + ah_2 \ddot{x}_d + c_\theta e_6 h_2 + \epsilon_1 h_2 q(s) + k_1 h_2 s] / (g_2 h_3 + \alpha g_1 h_2 - g_3 h_2 - \alpha g_2 h_1) \quad (20)$$

$$u_2 = \frac{c_1 e_4 - f_2 + \ddot{l}_d + k_2 \Delta u - g_2 u_1}{h_2} \quad (21)$$

3 稳定性证明

构造 Lyapunov 函数:

$$V = \frac{1}{2} s^2 + \frac{1}{2} s_l^2 \quad (22)$$

对 V 求导,得

$$\dot{V} = s\dot{s} + s_l \dot{s}_l \quad (23)$$

从式(15)、式(16)以及式(20)、式(21)可以推出:

$$\begin{aligned} \dot{V} = & s(-\epsilon_1 q(s) - k_1 s) + s_l(-k_2 \Delta u) = \\ & -\epsilon_1 s q(s) - k_1 s^2 - k_2 s_l \Delta u \end{aligned} \quad (24)$$

从式(19)可知, s_l 和 Δu 同号, 则 $\dot{V} < 0$, 因此系统的滑动模态存在且可达, 系统稳定。

4 仿真研究

为了验证本文方法的有效性, 进行了仿真研究, 系统参数 $M = 1200\text{kg}$, $m = 5000\text{kg}$, $D_x = 250\text{kg/s}$, $D_l = 20\text{kg/s}$, $g = 9.8\text{m/s}^2$, $x_d = 10\text{m}$, l_d 为 π 形函数(图 6 虚线), 吊绳绳长从 10m 变化到 5m 再变化到 10m, 取 $c_x = 3$, $c_l = 10$, $c_\theta = 10$, $\alpha = 3.5$, $\epsilon_1 = 1.2$, $\lambda = 2$, $k_1 = 14$, $k_2 = 1.6$ 。仿真结果如图 4~图 10 所示。文献[10]方法的仿真结果如图 11~图 13 所示。

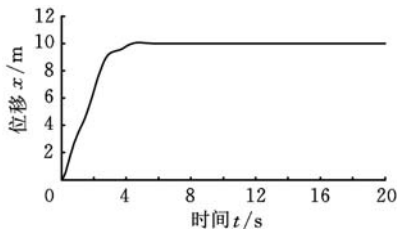


图 4 小车位移曲线

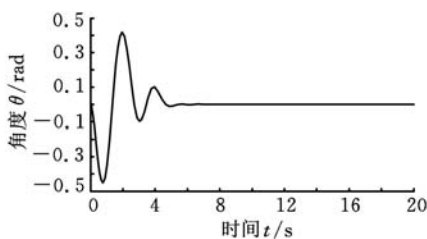


图 5 负载摆角曲线

从图 4 和图 11、图 5 和图 12、图 7 和图 13 对比可知, 本文方法控制性能优于文献[10]方法的控制性能。采用本文方法得到的负载摆角最大为 0.41rad, 文献[10]方法得到的负载摆角最大为 0.56rad; 采用本文方法小车在 6s 到达期望位置, 摆角衰减为零, 而采用文献[10]的方法在 35s 左右系统才能稳定。从仿真结果也可以看出, 系统

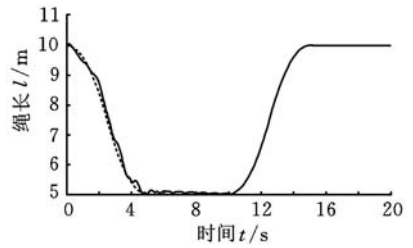


图 6 绳长变化曲线

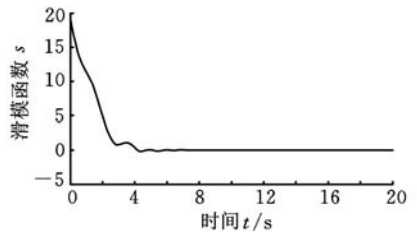


图 7 滑模函数 s

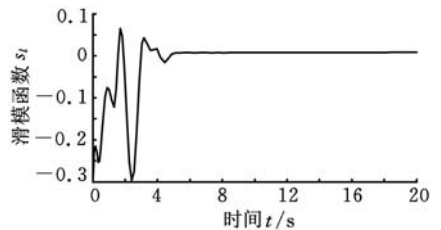


图 8 滑模函数 s_l

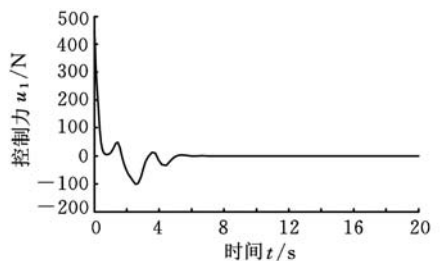


图 9 控制力 u_1

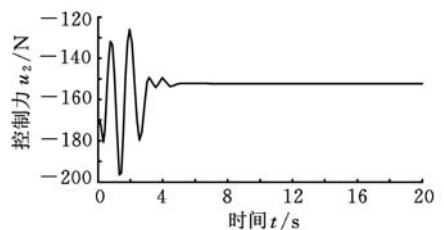


图 10 控制力 u_2

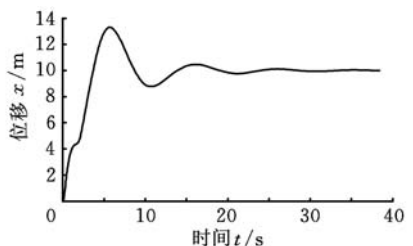
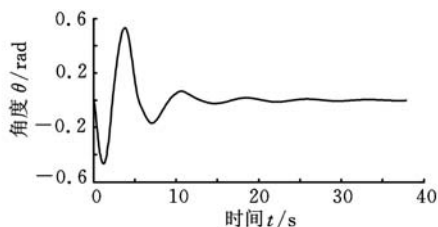
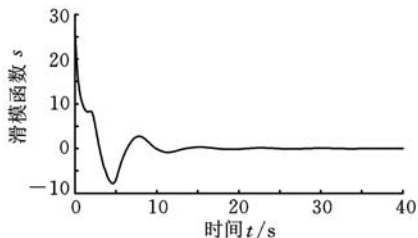


图 11 小车位移^[10]

能快速到达滑平面(6s), 准确跟踪吊绳绳长的变化, 在负载的快速提升和下降过程中实现了起重机的精确定位和负载的防摆。

图 12 负载摆角^[10]图 13 滑模函数 $s^{[10]}$

5 结语

本文针对龙门起重机系统的精确定位和防摆控制设计模糊滑模控制器,在吊绳绳长变化的情况下,起重机小车能够快速准确到达期望位置,在负载快速提升和下降过程中消除了重物的摆动,系统很快到达滑平面,而且消除了常规滑模控制固有的抖振现象,改善了控制系统的性能。

参考文献:

- [1] Lee H H. Modeling and Control of a Three-dimensional Overhead Crane[J]. Journal of Dynamic Systems Measurement and Control, 1998, 10: 471-476.
- [2] 董明晓,于复生,孙杰,等. 消除参数不确定柔性系统的残留振荡鲁棒控制[J]. 中国机械工程, 2006, 17(8): 771-773.
- [3] Khalid A, Sanghose W, Huey J, et al. Study of Operator Behavior, Learning, and Performance Using an Input-shaped Bridge Crane[C]//Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Control Applications. Taipei, 2004: 2-4.
- [4] Singhose W. Applications and Educational Uses of Crane Oscillation Control[J]. FME Transactions, 2006, 34: 175-183.
- [5] 梁春燕,谢剑英,魏震. 不确定柔性系统消除残留振荡的时滞滤波器设计[J]. 机械工程学报, 2000, 36(7): 23-26.
- [6] 王晓军. 一种新的正幅值带尾部信号的时滞滤波器设计[J]. 中国机械工程, 2010, 21(10): 1153-1156.
- [7] Chang Chengyuan. The Switching Algorithm for the Control of Overhead Crane[J]. Neural Comput. & Applic., 2006, 15: 350-358.
- [8] Cho S K, Lee H H. A Fuzzy-logic Antiswing Controller for Three-dimensional Overhead Cranes[J]. ISA Transactions, 2002, 41: 235-243.

- [9] Singhose W, Porter L, Kenison M, et al. Effects of Hoisting on the Input Shaping Control of Gantry Cranes[J]. Control Engineering Practice, 2000, 8: 1159-1165.
- [10] Fang Y, Dixon W E, Dawson D M, et al. Nonlinear Coupling Control Laws for an Underactuated Overhead Crane System[J]. IEEE/ASME Trans. Mechatronics, 2003, 3: 418-423.
- [11] Liu Diantong, Yi Jianqiang, Zhao Dongbin, et al. Adaptive Sliding Mode Fuzzy Control for a Two-dimensional Overhead Crane[J]. Mechatronics, 2005(15): 505-522.
- [12] 王帮峰,张瑞芳,张国忠. 回转起重机吊重摆振的动力学模型与控制[J]. 中国机械工程, 2001, 12(11): 1214-1217.
- [13] Chen Zhimei, Zhang Jinggang, Zhao Zhicheng, et al. A New Method of Fuzzy Time-varying Sliding Mode Control[C]//Proceedings of the First International Conference on Machine Learning and Cybernetics. Beijing, 2002: 1789-1792. (编辑 王艳丽)

作者简介: 陈志梅,女,1970年生。太原科技大学电子信息工程学院教授、博士。研究方向为机电一体化、鲁棒控制、智能控制等。发表论文 30 余篇。孟文俊,男,1963年生。太原科技大学机械工程学院教授、博士研究生导师。

第 20 届国际热处理及 表面工程联合会征文通知

大会将于 2012 年 10 月在中国北京召开。

热处理专题征文范围为:相变、组织、性能与表征;先进材料与构件的热处理;精密热处理;先进热处理装备及工艺过程控制;热处理节能、环保与可持续发展;虚拟热处理。表面工程专题征文范围为:表面与界面科学;热喷涂、电化学及微弧氧化;物理、化学沉积与薄膜;表面改性;防腐与防护;摩擦、磨损与润滑。

摘要截止日期:2012 年 5 月 31 日;全文截止日期:2012 年 8 月 31 日;优惠注册截止日期:2012 年 9 月 23 日。

论文投递专用信箱:20ifhtse@chts.org.cn。

论文具体要求可从网站 www.chts.org.cn 下载。

大会联系人:高直,吕东显,李爱国,邵周俊。

通讯地址:北京市海淀区学清路 18 号中国机械工程学会热处理分会(100083)

电话:010-82415073, 82415081, 62920613 (含传真) (工作总部)