

模糊变结构控制器的设计与仿真

李定华, 贾君瑞

(南通航运职业技术学院 机电系, 江苏 南通 226010)

摘 要:为解决变结构控制中的抖振问题,将模糊控制引入变结构控制,运用 MATLAB 软件进行仿真。仿真结果验证了该控制器抗扰动能力强,能够有效减小控制系统的抖动,提高控制系统的稳定性,改善控制系统的动态性,从而减弱变结构系统存在的抖振问题。

关键词:模糊控制;模糊滑模控制;变结构控制;MATLAB

中图分类号:TP273

文献标识码:A

文章编号:1671-9891(2018)03-0044-04

0 引言

智能控制主要包括模糊控制、神经网络、专家系统三大支柱,而传统控制理论中的 PID 控制、最优控制、鲁棒控制、解耦控制等研究已经比较充分,针对非线性、时变、不确定性等复杂对象的研究目前还不够完善。因此,将传统控制理论和智能控制有效结合起来,对于拓宽智能控制技术研究领域,设计出应用更广泛、控制效果更优越的复合控制器的应用前景十分广阔。由于变结构控制简单和可靠性高,因此被广泛应用于运动控制中,尤其被应用于可建立精确数学模型的确定性控制系统中,其常用于导航控制过程。但是变结构控制系统采用控制量的高频抖振使得系统对参数变化和外部干扰具有不变性,为解决变结构控制中的抖振问题本文提出了一种新的模糊变结构控制方法。

1 变结构控制概述

变结构控制实际上是一种非线性控制系统,其系统结构是不固定的,可以根据系统的实际状态有目的地动态变化系统结构,使控制系统在预设的“滑动模态”轨迹下运动,所以又把这种控制方法称为滑动模态控制,即滑模变结构控制。^[1]系统的状态轨迹到达滑模面之后,并不是严格地沿着滑面在平衡点附近滑动,而是来回穿越滑模面不停地颤动,形成了抖振。^[2]变结构控制系统抖振的存在极大地阻碍了变结构控制的实际应用,变结构控制发生抖振的根本原因是由于切换动作造成控制的不连续性。因此,对一个实际的变结构系统,抖振是不可避免的。^[3]

产生抖振的原因主要有以下几点:

(1)惯性引起滞后产生抖振。变结构系统中的执行机构产生一定的力(力矩)使得被控对象运动。由于任何物理现实系统的控制力不能无限大,这就使得系统的加速度产生需要一个过程,从而引起惯性滞后。^[4]

(2)离散系统中采样引起抖振。在控制系统中,由于系统具有的离散性,其运动的切换面时间一般不可能正好是一个采样周期的开始,切换动作不可能正好发生在切换面上,而是在一个锥形体表面上来回颤动,从而形成了抖振。

(3)未建模动力学产生抖振。在对系统建模过程中,为了快速建立起系统模型,往往忽略其中某些部分(如放大器、传感器、执行器等)的动力学特性,而用线性关系表示。这部分未建模的动力学特性有可能在系统运动时被激发,造成严重的抖振。^[5]

收稿日期:2018-05-30

基金项目:江苏省高校自然科学研究面上项目(17KJD413001)

作者简介:李定华(1962—),男,江苏南通人,南通航运职业技术学院机电系实验师。

2 模糊变结构控制器设计

本文设计了一种模糊变结构控制器,采用自适应原理与模糊控制相结合取代常规变结构控制中的切换控制项,具有常规变结构控制的鲁棒性好等优点。具体设计方法如下:

设采样时间为 T 则:

$$e(k) = r(k) - y(k), de(k) = \frac{e(k) - e(k-1)}{T}。$$

切换函数为:

$$s(k) = ce(k) + de(k) = CX(k) \quad (1)$$

$$ds(k) = s(k) - s(k-1) \quad (2)$$

其中 $C = [c, 1]$ 。采用二维模糊控制器,通过模糊控制规律直接设计滑模控制量 u 。设模糊控制器的输入是和,分别是 $s(k)$ 和 $ds(k)$ 的模糊变化量,模糊控制器的输出 ΔU 是控制的变化量 Δu 的模糊化变量。

模糊变结构控制器设计步骤如下:

(1)定义模糊集,则:

PB = 正大, PM = 正中, PS = 正小, NS = 负小, NM = 负中, NB = 负大。

(2)模糊控制器的输入定义为 s 和 \dot{s} , 输出为 ΔU 则:

$$s = \{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$$

$$\dot{s} = \{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$$

$$\Delta U = \{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$$

上述模糊化变量均选择正态分布隶属函数。

(3)确定模糊滑模控制器的模糊控制规则。在满足不等式 $s\dot{s} < 0$ 的条件下设计 u , 所获得的控制规则如表 1 所示。使用的模糊规则是 If s is A and \dot{s} is B then ΔU is C 。

表 1 模糊滑模控制规则

$s \backslash \dot{s}$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
PB	ZO	PS	PM	PB	PB	PB	PB
PM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB	PB
PS	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB
ZO	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NS	NB	NB	NM	NS	ZO	PS	PM
NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZO	PS
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZO

(4)反模糊化。采用重心法精确计算模糊输出,如式(3)所示:

$$uf(k) = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \mu(i)}{\sum_{i=1}^n \mu(i)} \quad (3)$$

3 模糊变结构控制仿真与分析

通过 MATLAB 软件对二阶系统的控制仿真分析模糊变结构的性能,假设一个二阶系统的传递函数为:

$$G_1(k) = \frac{1.8}{(118s + 1)(32s + 1)} \quad (4)$$

系统通过 MATLAB 进行仿真,初始时刻的输入和输出空间选取为 $[-100, 100]$,滑模面系数取 0.6,固定步长为 0.01 s。由于控制对象是过程装置,期望轨迹 y_d 多为定值,这里给出的是阶跃响应的 m 函数。仿真结果表明,控制系统的阶跃响应曲线符合预期设定,稳态误差较小,如图 1 所示。模糊变结构控制器的输出稳定,没有出现抖振现象,如图 2 所示。本文所设计的模糊控制器能够动态变化输入、输出,从而使得系统快速、准

确地跟踪期望轨迹。

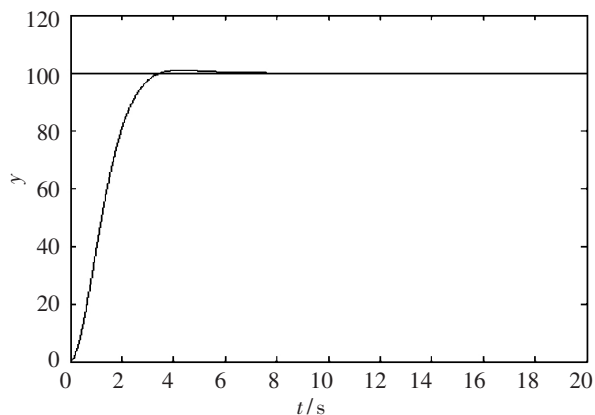


图1 阶跃响应

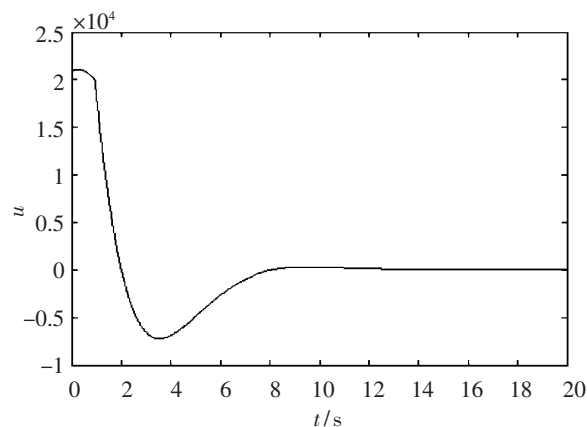


图2 控制输出

3.1 滑模面系数 c 对控制效果的影响

通过前面地分析可以知道 $S = \dot{e} + ce$ 这里 c 确定了切换面的斜率,也就是赋予 \dot{e} 和 e 的变化率不同的权重。通过仿真可以发现,系数 c 可以调整系统超调和响应时间之间的关系。期望的 c 值是权衡这两个因素的结果。在前面的仿真文件中 $c = 0.6$,图3和图4分别为 $c = 0.4$ 和 $c = 0.8$ 的输出响应。

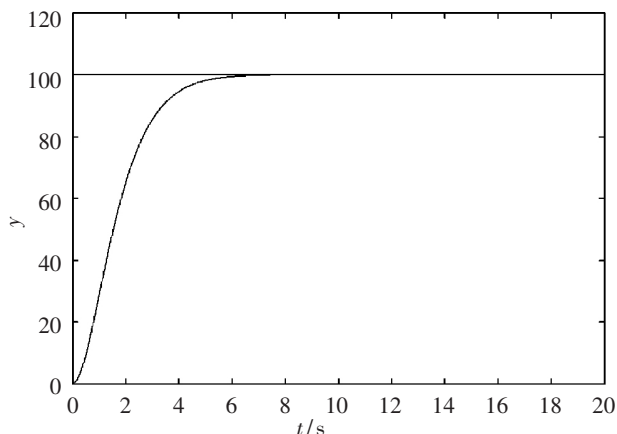


图3 $c=0.4$ 时的阶跃响应

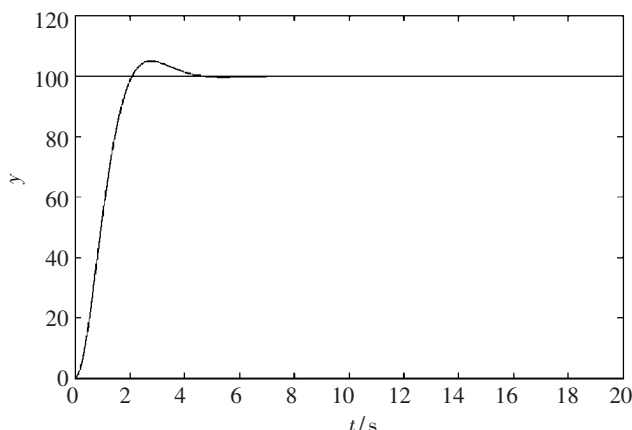


图4 $c=0.8$ 时的阶跃响应

3.2 模糊变结构控制器的抗干扰性

为检验系统抗干扰能力,本文的设计在仿真过程中5秒时加入一外部扰动。仿真结果表明,控制系统的运动轨迹在非常短的时间内重新与期望值重合,如图5所示。由图6控制器输出的变化可以看出,在 $t = 5$ 秒时加一干扰时,系统的控制量 u 也随之发生跳跃,以抵消干扰对系统稳定带来的影响。随之系统又趋近稳定状态。

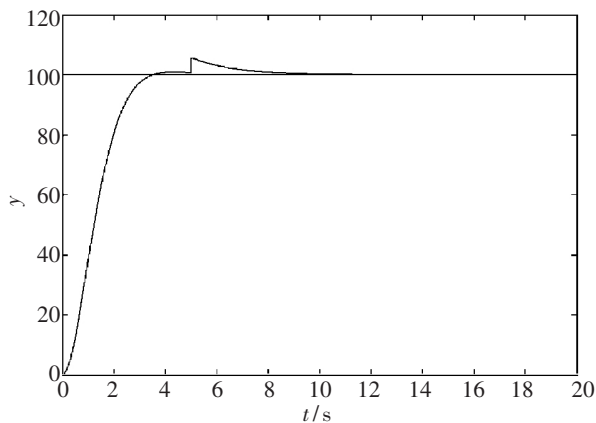


图5 系统受到干扰时的阶跃响应

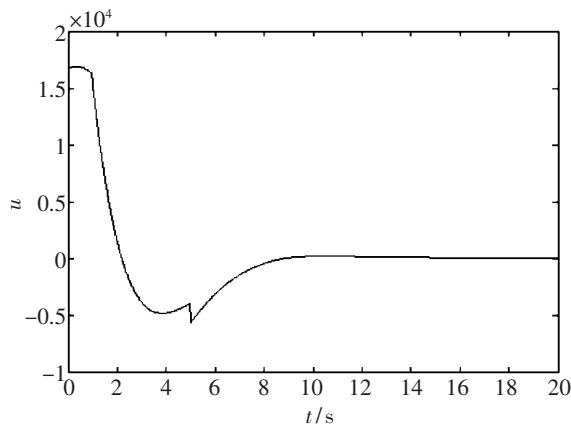


图6 系统受到干扰时的控制输出

4 结束语

上述系统的控制仿真表明,这种控制器比常规变结构控制有更好的跟踪性能,控制作用平稳,能以较小的控制作用快速地跟踪期望轨迹。这一点在常规变结构控制中是很难同时实现的,在常规变结构控制中如果要实现快速跟踪,控制变量必需取得很大,这样必然会产生很大的运动惯性,从而产生更大的抖振。这种控制器将模糊控制和传统的变结构控制相结合,从而使控制系统输出的轨迹能很好地到达设定值,稳态误差基本消除,输出稳定而且几乎没有抖振现象,系统能够快速、准确地跟踪期望轨迹,在一次设定控制参数的情况下,能对有参数扰动的控制对象实现较好的控制。

参考文献:

- [1]翟长连,吴智铭.一种离散时间系统的变结构控制方法[J].上海交通大学学报,2000,(5):184-191.
- [2]刘金铨.滑模变结构控制 MATLAB 仿真[M].北京:清华大学出版社,2005.
- [3]于双和,强文义.无抖振离散准滑模控制[J].控制与决策,2001,(3):380-382.
- [4]孙宜标,郭庆鼎,孙艳娜.基于模糊自学习的交流直线伺服系统滑模变结构控制[J].电工技术学报,2001,(1):52-56.
- [5]庄开宇,张克勤,苏宏业,等.高阶非线性系统的 Terminal 滑模控制[J].浙江大学学报,2002,(5):482-485.

(责任编辑 范可旭)

Design and Simulation of Fuzzy Variable Structure Controller

LI Ding-hua, JIA Jun-rui

(Dept. of Mechatronics, Nantong Vocational & Technical Shipping College, Nantong 226010, China)

Abstract: In order to solve the jittering problem in variable structure control, fuzzy control is introduced into variable structure control, and MATLAB software is applied for simulation. The simulation results verify that the controller has strong anti-disturbance capability, which can effectively reduce the jitter of the control system, enhance the stability of the control system, improve the dynamics of the control system, and thus weaken the jittering problem of the variable structure system.

Key words: fuzzy control; fuzzy sliding model control; variable structure control; MATLAB