

# 基于神经网络补偿的变结构控制

杨 勇

(长沙理工大学 汽车与机械工程学院, 湖南 长沙 410076)

**摘要:** 提出一种基于神经网络补偿的变结构控制策略, 应用于一液压伺服系统的控制, 结果表明, 所提出的控制策略可以改善液压伺服系统的自适应鲁棒性, 系统的动静态性能良好, 具有应用参考价值。

**关键词:** 变结构控制; 神经网络; 补偿机构; 液压伺服系统

中图分类号: TP273

文献标识码: A

文章编号: 1673-9833(2007)04-0041-03

## Variable Structure Control Based on Neuron Networks Compensation

Yang Yong

(College of Automotive & Mechanical Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410076, China)

**Abstract:** A variable structure control based on neuron networks compensation has been developed. The control results applied to a hydraulic servo system showed that the proposed control can improve its adaptation and robustness. Good dynamical and static state performances can be obtained as well. It has valuable reference in practical engineering applications.

**Key words:** variable structure control; neuron networks; compensation mechanism; hydraulic servo system

## 0 引言

液压伺服系统<sup>[1]</sup>被广泛地应用于有色金属加工、航空航天、电力工程、海洋开发、车辆工程等领域, 它由许多非线性环节(如非线性伺服阀, 具有摩擦和滞后特性的液压缸、液压泵、蓄能器, 各种限幅、液压管线以及辅助元件等)组成, 而且整个系统较易受已知或未知的外部干扰的影响, 同时系统中各环节之间也存在相互影响, 造成在研究和分析此系统时无法获得精确的数学模型。

变结构控制<sup>[2]</sup>的一个突出特点是它对外界摄动和系统内部参数变化具有完全不变性, 它在系统自动调节、运动控制、模型跟踪、以及不确定性系统控制等方面有许多应用。变结构控制的工作原理是通过改变系统状态空间中切换面两边的结构, 设计一定的规则, 保证系统状态沿着滑模平面运动。滑动模态的运动品质由切换函数、极点配置或二次型指标最优来保

证。然而, 受时间和空间滞后的限制, 实际中较难出现理想变结构控制系统, 而代之的是准变结构控制系统, 它本质上为不连续开关特性控制。由于变结构控制作用在滑模面上频繁切换, 出现高频抖振, 易激发系统中未建模因素, 引起系统控制抖动, 且控制品质与切换面和控制参数的选择有关。

神经网络<sup>[3]</sup>具有较好的自学习、自适应能力, 原因是其具有本质的非线性和并行处理机构, 从理论上讲, 神经网络可以逼近任意连续和非连续函数。因此, 神经网络在诸如系统控制、决策优化、模式识别、信号处理等领域有许多理论和应用研究成果, 而且融合神经网络与其它经典或现代控制技术于一体的智能复合控制技术已引起了控制界的广泛关注<sup>[4-7]</sup>。

本文针对一计算机控制液压伺服系统, 提出一种基于神经网络补偿的变结构控制方法, 仿真实验

收稿日期: 2007-06-06

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目(04JJ6033), 湖南省教育厅基金资助项目(03C066)

作者简介: 杨 勇(1968-), 男, 湖南石门人, 长沙理工大学教授, 博士, 主要研究方向为工业过程控制, 智能控制等。

研究表明, 所提出的控制方法可以改善液压伺服系统的自适应鲁棒性, 系统的动、静态综合性能也令人满意。

### 1 基于神经网络补偿的变结构控制器设计

基于神经网络补偿的变结构控制系统如图 1 示。

#### 1.1 变结构控制器的设计

考虑如下线性系统

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu, \\ y = Cx. \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $x=[x_1, x_2, x_3]^T \in R^n$  为系统误差状态变量及其各阶导数, 且定义系统参考输入为  $y_r$ , 则系统跟踪误差为  $x_1=e=y-y_r$ ,  $u \in R^m$  为系统控制输入;

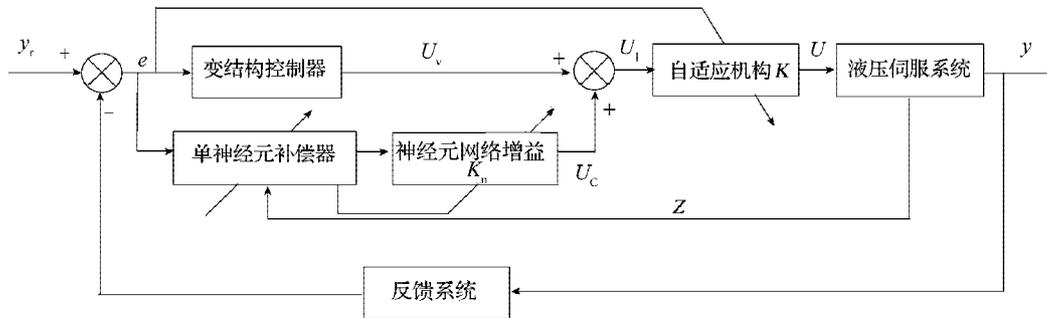


图 1 基于神经网络补偿的变结构控制系统

Figure 1 Variable structure control system based on neuron networks compensation

此时可以保证系统状态运动在有限时间  $t \geq t_i$  到达滑模面且滑模运动存在。

#### 1.2 神经网络补偿机构设计

以上变结构控制是建立在系统模型线性化基础之上的。由于实际系统的真实模型很难准确定义, 因此, 可以考虑构造一过程动态补偿机构来弥补这一问题。神经网络具有良好的自学习, 自适应能力。这里选取一神经网络补偿机构, 其输入为系统误差及其变化量, 即

$$\begin{cases} r_1(t) = e(t) = y_r(t) - y(t), \\ r_2(t) = \Delta e(t) = e(t) - e(t-1), \\ r_3 = e(t) - 2e(t-1) + e(t-2), \end{cases} \quad (4)$$

其输出为控制补偿量, 即

$$u_c = K_n f \left( \sum_{i=1}^3 \omega_i r_i + \theta_i \right). \quad (5)$$

式中:  $f(\cdot)$  为线性节点函数;  $\omega_i$  为神经网络权值;  $\theta_i$  为神经元阈值;  $K_n$  为神经网络输出增益。

为改善液压伺服系统的初始响应特性, 对神经网络补偿器的初始参数进行离线训练。离线训练的样本取自系统输入输出信号, 对样本进行规一化处理, 得到教师信号为  $z(k)=e(k)$ , 神经网络权值  $\omega_i$  采用在

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -a_3 & -a_2 & -a_1 \end{bmatrix}; B = [0 \ 0 \ b_1]^T; C = [1 \ 0 \ 0].$$

则滑模面为  $s=Ex$ 。 (2)

式中  $E=[e_1 \ e_2 \ 1]$  为滑模面矩阵, 采用极点配置法确定式 (2) 中的滑模面矩阵。

滑模控制的目的就是要使系统误差状态在有限时间内到达滑模面, 而且始终保持在滑模面内使之渐进趋向原点。在滑模面  $s=0$  的邻域内, 滑模控制取为

$$u_v = \sum K_i x_i \rho \quad (3)$$

$$\text{式中 } K_i = \begin{cases} \alpha, & x_i s \geq 0, \\ -\alpha, & x_i s < 0. \end{cases}$$

线自适应学习修正。

设性能指标函数为

$$J = \frac{1}{2} [y_r(t) - y(t+1)]^2 = \frac{1}{2} [z(t+1)]^2, \quad (6)$$

此时,  $J$  对  $\omega_i$  的梯度为

$$\frac{\partial J}{\partial \omega_i(t)} = -z(t+1) \frac{\partial y(t+1)}{\partial u(t)} \frac{\partial u(t)}{\partial \omega_i(t)}, \quad (7)$$

于是可得

$$\begin{cases} \omega_i(t+1) = \omega_i(t) + \Delta \omega_i(t), \\ \Delta \omega_i(t) = \eta_i z(t+1) r_i(t) \left[ \frac{\partial y(t+1)}{\partial u(t)} \right], \end{cases} \quad i=1,2,3. \quad (8)$$

式中:  $\eta_i$  为学习速率;

$$\frac{\partial y(t+1)}{\partial u(t)} \text{ 可近似用符号函数 } \text{sgn} \frac{\partial y(t+1)}{\partial u(t)} \text{ 来代替。}$$

对式 (8) 进行规范化整理, 得

$$\begin{cases} \omega_i(t+1) = \omega_i(t) + \Delta \omega_i(t), \\ \Delta \omega_i(t) = \eta_i z(t+1) r_i(t) \text{sgn} \left[ \frac{\partial y(t+1)}{\partial u(t)} \right], \end{cases} \quad i=1,2,3. \quad (9)$$

$$\text{式中 } \text{sgn}[x] = \begin{cases} +1, & x \geq 0; \\ -1, & x < 0. \end{cases}$$

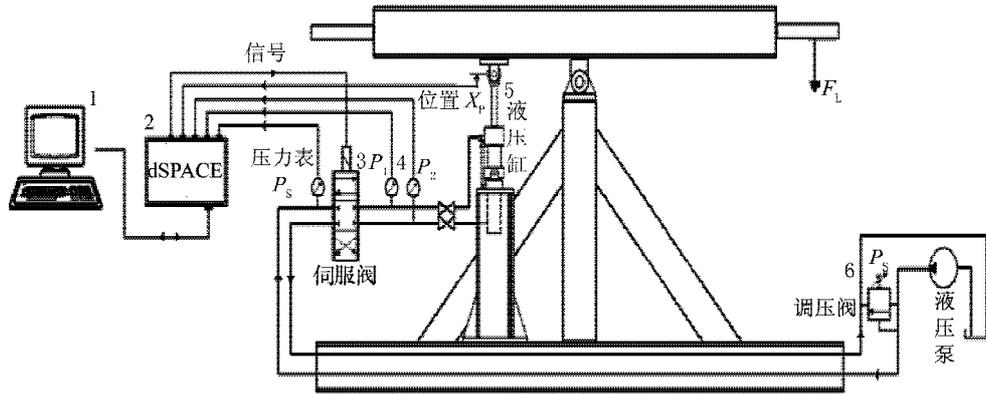
根据系统输出和参考输入的差值变化,选择一比例自适应调节机构 $K$ ,对控制器输出信号 $u_1$ 进行动态调节,以加快系统响应速度。

## 2 实验结果及讨论

为证实所提出控制方法的效果,对液压伺服系统进行控制仿真实验。液压伺服系统结构和组成如图2

所示。该系统由非线性伺服阀,具有摩擦和滞后特性的液压缸、液压泵、蓄能器,各种限幅、液压管线以及辅助元件等组成。

活塞腔室有效面积 $A_p$ 为 $0.766 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ ,活塞行程 $l$ 为 $0.2 \text{ m}$ ,伺服阀零位流量增益 $K_{qu}$ 为 $3.32 \times 10^{-12} \text{ m}^3/\text{sV}$ ,伺服阀流量压力流量增益 $K_{ce}$ 为 $6.0 \times 10^{-12} \text{ m}^5/\text{Ns}$ ,系统反馈增益 $K_f$ 为 $100 \text{ V/m}$ 。实验结果如图3、4所示。



1- 实验控制用计算机; 2-IQAN; 3- 电液伺服阀; 4- 压力信号; 5- 液压伺服缸; 6- 压力源

图2 液压伺服系统

Figure 2 Hydraulic servo system

当参考输入量分别为30mm,50mm,70mm,90mm,且系统负载质量 $m=106.5 \text{ kg}$ 时,纯变结构控制和所提出的基于神经网络补偿的变结构控制结果分别如图3、4所示。

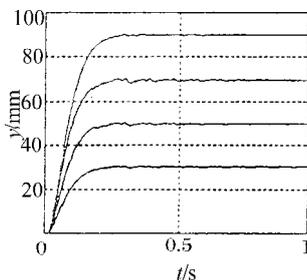


图3 阶跃响应曲线

Figure 3 Step response curves

比较图中结果可看出,纯变结构控制的响应速度快,控制精度高,但存在抖动现象,这表明纯变结构控制高频切换控制作用既有积极作用,也有不利影响,尤其可能激发系统中未建模因素,降低控制质量。而所提出的基于神经网络补偿的变结构控制具有一定的响应速度,控制精度较高,不存在抖动现象,系统动静态综合性能稳定,自适应鲁棒性好,这表明神经网络的自学习、自适应、信息综合和容错等特点在此得到了良好发挥。

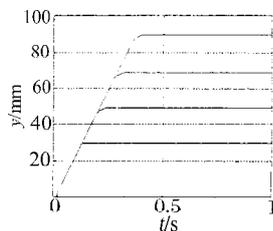


图4 阶跃响应曲线

Figure 4 Step response curves

## 3 结论

针对液压伺服系统,结合神经网络和变结构控

制的特点,提出一种基于神经网络补偿的变结构控制方法,仿真实验研究表明,所提出的复合控制方法能改善液压伺服系统的自适应鲁棒性和动静态综合性能,如能设计运算速度更快的神经网络,那么所提出的复合控制方法的实时控制能力将会得到提高,所提出的复合控制方法也将有一定的应用前景。

致谢:感谢长沙理工大学科研基金和湖南省铝加工工程技术研究中心的支持。

参考文献:

- [1] Merritt H E. Hydraulic control systems[M]. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1967.
- [2] 高为炳. 变结构控制理论及设计方法[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [3] 王永骥. 神经网络控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [4] 陈增强, 卢 钊, 袁著祉. 不确定性系统的神经网络变结构控制[J]. 南开大学学报: 自然科学版, 2001, 34(4): 48-52.
- [5] 张昌凡, 王耀南. 滑模变结构的智能控制及其应用[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(3): 27-29, 44.
- [6] 盛光忠, 郭贵莲, 崔志强. 直流伺服系统滑模变结构-神经网络控制的研究[J]. 三峡大学学报: 自然科学版, 2003, 25(6): 516-518.
- [7] 罗婷婷, 刘金琨. 基于滑模变结构控制的RBF神经网络[J]. 计算机仿真, 2004, 21(12): 58-61.