

· 新技术应用 ·

基于神经元动态补偿的神经网络 自适应控制及应用

Neural Network Adaptive Control Based on Neuron's
Dynamical Compensation and It's Application

长沙电力学院 (长沙 410077) 杨 勇

摘 要: 结合传统 PD 控制和人工神经网络技术的特点, 提出一种基于神经元动态补偿的神经网络自适应控制策略, 并把它用于一计算机控制电液伺服系统的位置控制。实验结果表明, 所提出的神经网络自适应控制策略可行, 对改善伺服控制系统的鲁棒性和动、静态特性以及电厂汽轮机功频电液调节系统特性具有积极意义。

关键词: 神经元; 人工神经网络; PD 控制; 动态补偿; 电液伺服系统

中图分类号: TK 323

文献标识码: A

文章编号: 1003-9171(2000)02-0030-03

传统 PD 控制策略对于处理单变量常系数线性系统和较简单的非线性系统的控制问题比较有效。但它的控制性能依赖于被控系统的数学模型的精确性和 PD 控制器的三个调节参数的恰当配合, 且其控制参数往往对系统参数的变化比较敏感, 尤其是对非线性系统, 传统 PD 控制的自适应鲁棒性等特性不够好。

人工神经网络具有本质上的非线性和并行结构。因此, 人工神经网络引起了控制界人士广泛的关注^[1]。神经网络理论表明, 多层神经网络可以逼近任意连续和非连续函数, 这为现代非线性系统智能控制提供了一个新的有力工具。融合神经网络、模糊技术和传统成熟控制技术等于一体的智能综合控制技术^{[2], [3], [4]}渐渐兴起, 反映了智能综合控制在非线性系统控制中的重要性和作用。

汽轮机调节^[5]对保障电力系统安全经济运行具有重要意义。电厂汽轮机调节技术有不同的形式, 有机械式的、半液压式的、全液压式的和电液式的调节系统。电液伺服系统综合了现代电子技术和液压传动技术两方面的特点, 在电力系统汽

轮机功频电液调节系统中有着重要作用。功频电液调节系统是当今应用较为广泛的一种新型调节系统, 特别适用于大功率中间再热机组, 这类机组要求其调节系统具有抗干扰能力强、响应快速、控制精度高等特性, 因此, 作为调节气门开度的执行系统, 电液伺服系统的动、静态综合性能的好坏对改善汽轮机调节特性具有重要意义。本文结合传统 PD 控制和神经网络技术的特点, 提出一种基于神经元动态补偿的神经网络自适应控制方法, 应用于一计算机控制电液伺服系统的位置控制结果表明, 这种神经网络自适应控制能有效改善电液伺服系统的自适应鲁棒性, 且系统响应动、静态性能优于传统 PD 控制。

1 基于神经元动态补偿的神经网络自适应控制器的设计

1.1 系统 PD 控制

PD 控制是一种简单的控制方法, 其传递函数为

$$G_{PD}(S) = K_p + K_i/S + K_d S \quad (1)$$

或 $G_{PD}(S) = K_p [1 + 1/(T_i S) + T_d S] \quad (2)$

为了获得较好的控制性能, PD 控制参数需要整定。用来整定 PD 控制器参数的方法多种多样, 其中常见的一种是 Ziegler—Nichols 方法。即

$$K_p = 0.6 K_u, T_i = 0.5 T_u, T_d = 0.25 T_i \quad (3)$$

其中, K_u, T_u 分别为比例控制下闭环系统在临界状态时的比例增益和振荡周期。

由该 PD 控制可以获得下面神经网络控制器的训练样本。

1.2 神经网络自适应控制器的设计

本文选用三层前馈 BP 神经网络, 其基本结构为: 输入层、隐含层和输出层。样本输入量为系统误差 $e(t) = R - y(t)$, [其中, R 为参考输入, $y(t)$ 为

系统输出], 样本输出量为控制信号 u_{nc} 。输入层含有一个节点, 隐含层选为三个正切函数节点, 输出层选为一个线性函数节点, 从而构成一个 1—3—1 BP 网络。将上述 PD 系统控制的输入/输出样本作为教师信号, 离线训练该 BP 神经网络。训练中可以采用增加动量系数和对样本数据进行前置和后置处理, 以及进行批处理的办法, 来加快网络训练速度。图 1 所示为带有前、后置处理的 1—3—1 BP 网络。

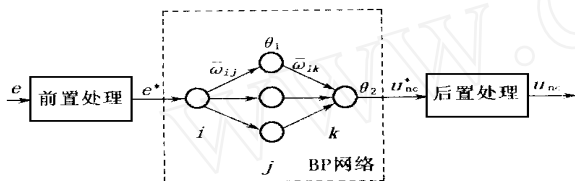


图1 带有前、后置处理的 1—3—1 BP 网络

通过离线训练决定控制器神经网络的初始参数。经过训练后, 三层 BP 网络的初始参数为 $\bar{\omega}_0$, θ_0 , $\bar{\omega}_{k0}$, θ_{k0} 。网络训练容许存在一定的训练误差, 这种误差虽然不是很小, 但由于神经网络具有容错特性, 这种网络也同样可以解决一些问题, 同时这也缩短了网络训练时间。

1.3 神经元动态补偿调节机构

在建立起神经网络控制器基本结构之后, 还要考虑构造一过程动态补偿调节机构。神经元具有自学习、自适应能力, 本文选择构造一神经元动态补偿调节机构。

神经元动态补偿器采用单神经网络, 输入为系统误差 $x_1(k) = e(k) = R(k) - y(k)$ 和 $x_2(k) = e(k) - e(k-1)$ 以及 $x_3(k) = \Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$, 输出为控制补偿修正量 Δu_c , 即

$$\Delta u_c = K \cdot f(\bar{\omega}x_i + \theta) \quad (4)$$

式中, $f(\bar{\omega}x_i + \theta)$ 为线性节点函数, $\bar{\omega}$ 为权值, θ 为阈值, K 为神经网络增益。

神经网络权值 $\bar{\omega}$ 采用在线修正。设二次型性能指标函数为

$$J = -\frac{1}{2} [R(k+1) - y(k+1)]^2 \quad (5)$$

采用有监督的 Hebb 学习算法, 可得:

$$\begin{cases} \bar{\omega}(k+1) = \bar{\omega}(k) + \Delta\bar{\omega}(k) \\ \Delta\bar{\omega}(k) = \eta [R(k) - y(k)] x_i(k) [\hat{y}(k+1) - y(k)] / \partial u(k), i = 1, 2, 3 \end{cases} \quad (6)$$

式中, η 为学习速率, $R(k)$ 为期望输出, $y(k)$ 为实

际输出。

对式(6)进行规范整理, 得

$$\begin{cases} \bar{\omega}(k+1) = \bar{\omega}(k) + \Delta\bar{\omega}(k) \\ \Delta\bar{\omega}(k) = \eta [R(k) - y(k)] x_i(k) \operatorname{sgn}[\hat{y} - y(k)] / \partial u(k), i = 1, 2, 3 \end{cases} \quad (7)$$

$$\operatorname{sgn}[x] = \begin{cases} +1 & \text{当 } x \geq 0 \\ -1 & \text{当 } x < 0 \end{cases}$$

为改善伺服系统初始响应特性, 可以对动态补偿器神经网络的初始参数进行离线训练, 离线训练的样本为 $[x_1(k), x_2(k), x_3(k)] \sim \Delta u_d$ (可对样本数据规范化处理)。

同时选择 K_1 为一线性调节参数 (范围应适当), 对神经网络自适应控制器输出信号 u_c 进行调节。因此, 基于神经元动态补偿的神经网络自适应控制系统的构成如图 2 所示。

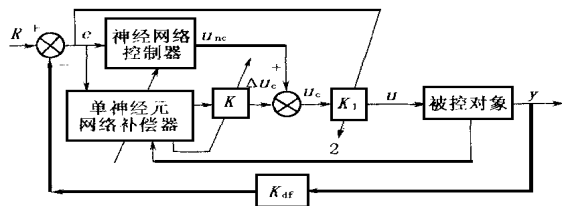


图2 基于神经元动态补偿的神经网络自适应控制系统图

2 实验装置及构成

如图 3 所示, 实验装置为一计算机控制电液伺服系统, 它主要由以下部分组成: $\pm 15 \text{ V}$ 伺服放大器; QDY10-125 电液伺服阀; 双杆活塞液压伺服缸; WYX-I 型位移信号源和 WYD-400 位移传感器; PS-2115 12 位程控多功能 AD/DA 板; CF910 FFT Analyzer 信号分析器; BM PC/XT486 等。

3 实验结果及讨论

对该计算机控制电液伺服系统进行位置控制, 实验结果如图 4 和图 5 所示。

图 4 为当系统负载质量 $m = 106.5 \text{ kg}$, 参考输入为 0.05 m 时的系统阶跃响应曲线。其中, 曲线 1 为纯 PD 控制结果, 曲线 2 为基于神经元动态补偿的神经网络自适应控制结果。由此图可以看出, 控制参数经过 Ziegler-Nichols 法整定后的纯 PD 控制响应有较明显的超调现象, 且响应调整时间较长; 而基于神经元动态补偿的神经网络自适应控制克服了以上方面的不足, 系统响应

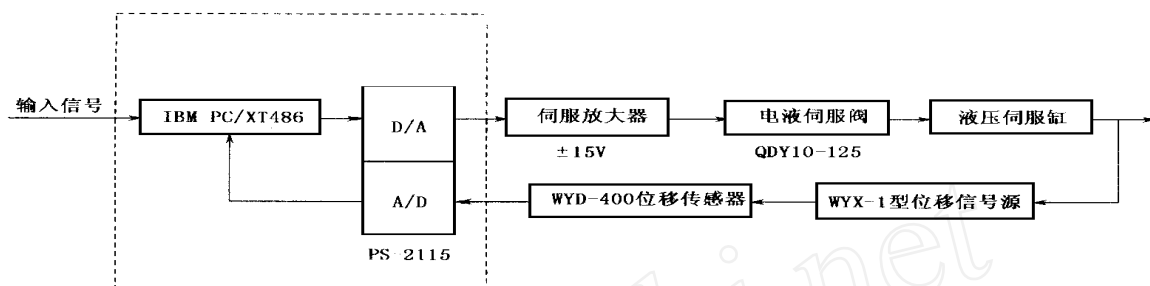
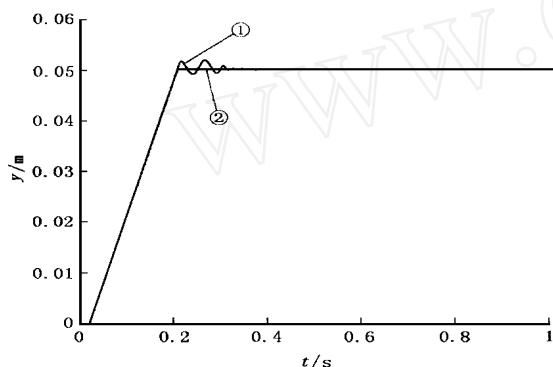
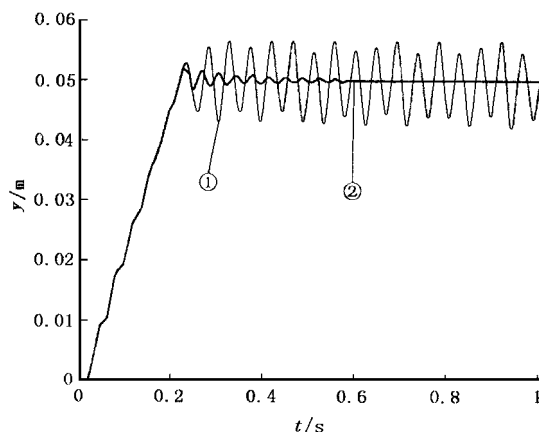


图3 计算机控制电液伺服系统

图4 阶跃响应曲线(系统负载质量 $m = 106.5 \text{ kg}$)图5 阶跃响应曲线(系统负载质量 $m = 495.5 \text{ kg}$)

速度快, 动、静态综合性能好, 这表明: 所提出的神经网络自适应控制能有效吸收传统控制方法和神经网络技术的优点, 能够满足电力系统功频电液调节系统的性能要求, 并且有可能产生新的智能控制技术。

图5为当系统负载质量 $m = 495.5 \text{ kg}$, 参考输入为 0.05 m 时的系统阶跃响应曲线。其中, 曲线①为上述纯PD控制结果, 曲线②为基于神经元动态补偿的神经网络自适应控制结果。由图5可知, 控制参数经过整定后的纯PD控制在系统

参数发生变化后, 系统响应不稳定, 有明显振荡现象; 而基于神经元动态补偿的神经网络自适应控制对系统参数变化不太敏感, 系统自适应鲁棒性好, 这说明神经网络的自学习、自适应和容错能力在此得到了有效利用, 这对改善电力系统功频电液调节系统运行质量具有积极作用。

4 结束语

本文提出一种神经网络与PD控制相结合、基于神经元动态补偿的神经网络自适应控制方法, 把它应用于一计算机控制电液伺服系统的位置控制实验结果表明, 这种神经网络自适应控制能有效改善非线性电液伺服控制系统的自适应性和鲁棒性, 系统响应速度快, 动、静态控制性能优于传统PD控制, 从而改善了电力系统功频电液调节系统的运行特性, 且易于实现, 是一种有效的控制方法。

参考文献

- [1] 胡守仁. 神经网络应用技术. 长沙: 国防科技大学出版社, 1995.
- [2] 费敏锐等. 智能控制方法的交叉综合及其应用. 控制理论及应用, 1996, 13(3): 273-279.
- [3] 王群等. 模拟电路实现的神经元PD自适应控制系统. 1999中国控制与决策学术年会论文集. 1999. 582-586.
- [4] 舒迪前等. 具有二次型性能指标的单神经元自适应PD控制器及其应用. 电气自动化, 1997, 19(1): 4-7.
- [5] 王加璇等. 电厂热力设备及其运行. 北京: 中国电力出版社, 1997.
- [6] 杨勇, 黄文梅. 一种新的电液伺服系统神经网络自适应控制. 湖南大学学报, 1998, 25(5): 55-59.

(收稿日期: 1999-10-19)

(改回日期: 1999-12-06)