

基于模糊神经混合系统的自适应控制方法及其应用

谢凌峰,张根宝

(陕西科技大学 电气与信息工程学院,陕西 西安 710021)

摘要: 研究一类基于模糊神经混合系统的自适应控制方法,利用模糊推理机产生的分目标学习误差代替反馈控制器的输出信号训练神经网络,避免了控制器的输出产生振荡或进入饱和状态,使得学习过程快速稳定并将该方法用于非线性系统和火电厂汽包水位的控制系统中,仿真结果表明其有效性。

关键词: 模糊神经混合系统;自适应控制;汽包水位

中图分类号: TP13

文献标识码: A

Hybrid system based on fuzzy neural adaptive control method and its application

XIE Ling Feng, ZHANG Gen Bao

(College of Electrical and Information Engineering, Shanxi Scientific and Technical University, Xi'an 710021, China)

Abstract: In this paper, a class of hybrid systems based on fuzzy neural adaptive control method, the use of fuzzy inference engine sub-goal generated by studying the error feedback controller in place of the output signal of training neural networks, the controller output to avoid oscillation or have access to saturation, making the learning process and the express method for the stability of nonlinear systems and thermal power plants of the drum water level control system. Simulation results show its effectiveness.

Key words: fuzzy-neural hybrid system; adaptive control; drum water level

模糊逻辑系统与神经网络的结合形式随着研究角度和应用领域不同而有所不同,在这类系统中,系统本质上还是模糊逻辑系统结构,但是可以把模糊逻辑系统看作具有网络化的结构,直接利用神经网络的学习能力与映射能力来获得模糊逻辑系统的参数或具体结构,从而使模糊逻辑系统具有自学习和自适应能力,该过程并不改变模糊系统所具有的模糊化、解模糊化和模糊推理的功能,而是利用神经网络实现隶属函数、模糊规则的数字化处理,实现“模糊化-模糊推理-解模糊化”整个过程的“网络化”,也可以用神经网络学习或聚类的方法从输入输出数据中获取规则,然后在性能指标指导下,对规则进行调整,从而使模糊系统具有规则的自组织能力^[1]。

在另外一个范畴内,可以将模糊逻辑系统与神经网络根据不同的功能、用途集成在一个系统里,模糊逻辑系统与神经网络技术在这类系统中各自发挥自己的功能,利用各自的优势为实现共同的目标而实现功能结合与互补,这类模糊逻辑系统与神经网络结合的方

法称之为模糊神经混合系统 FNHS (Fuzzy-Neural Hybrid System)^[2]。

1 基于模糊神经混合系统的自适应控制结构

从控制角度而言,神经网络自适应控制包括直接自适应控制和间接自适应控制。间接自适应控制通常由控制器和模型两部分组成。在线辨识模型,并通过模型在线调整神经网络控制器间接自适应控制,具有良好的适应性^[3]。但是,在线辨识被控对象的模型存在运算量大、控制精度低等问题,对不可重复过程与时变动力学系统训练困难,在实际工程控制中实用性不大。直接自适应控制是根据过程的输出信息来控制优化参数,不需要预先知道系统动力学特征或在线辨识的模型,这也正是传统的自适应控制所不能解决的问题。这种控制器是直接根据控制精度设计,不需要经过事先训练,也不依赖于对象的辨识模型,具有良好的动态响应性能和稳态精度,网络权值的调整是随时间关系的自适应收敛过程,常用的基于神经网络的自适应控制方式为直接逆控制、

技术与方法 Technique and Method

模型网络参考控制。但是,这2种控制方式都存在着较大的计算量和辨识的问题,而且对于直接逆控制,如果系统的逆不存在了,该方法就会失效。

基于模糊神经混合系统的自适应控制(FANNC)结合了神经网络直接自适应控制的特点,结构如图1所示。由1个反馈控制器(FC)、1个神经网络控制器(NNC)和模糊推理机(FIE)组成^[4]。

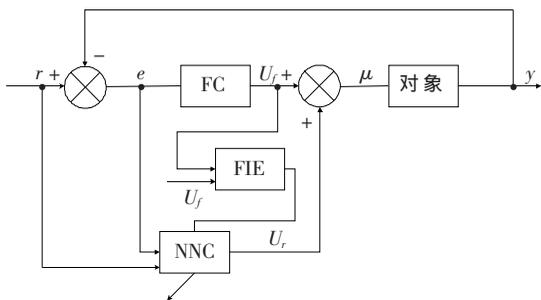


图1 神经网络在线学习模糊自适应结构

2 基于模糊神经混合系统的自适应控制器的设计

分目标学习误差由模糊推理机的一组模糊规则给出,如表1所示。表中符号PB、PM、PS、0、NS、NM、NB分别表示正大、正中、正小、零、负小、负中、负大等概念^[5]。表中模糊关系不再是传统意义上的模糊控制策略,而是每一控制周期中用于NNC训练的分目标学习误差。NNC在学习过程中,逐步跟踪系统的逆动力学,并产生一个自适应控制信号,使系统输出跟踪给定的参考信号消除的不再单纯是系统的输出误差,而是误差和误差变化的综合影响,从而避免了反馈误差学习法可能造成的NNC的输出产生振荡或进入饱和状态等问题。

表1 模糊推理规则

$\delta \backslash \mu_f$	NB	NM	NS	0	PS	PM	PB
$\mu_f \backslash \delta$	NB	PB	PB	PM	PM	PS	0
	NM	PB	PB	PM	PS	0	NS
	NS	PB	PM	PM	PS	0	NS
	0	PM	PM	PS	0	NS	NM
	PS	PM	PS	0	NS	NM	NB
	PM	PS	0	NS	NM	NB	NB
	PB	0	NS	NM	NB	NB	NB

为实现上述模糊推理规则,必须对模糊推理机FIE的输入变量进行模糊化处理,即将输入变量从基本论域转化到相应的模糊论域。为此,引入反馈控制器FC输出变量 μ_f 及其变化变量 $\dot{\mu}_f$ 的量化因子 $K_{\mu_f}, K_{\dot{\mu}_f}$ 。假定变量 μ_f 的基本论域为 $(-n_{f_m}, n_{f_m})$,模糊论域分别为 $(-n_{f_f}, -n_{f_f}+1, \dots, 0, \dots, n_{f_f}-1, n_{f_f})$,变量 n_f 的基本论域为 $(-n_{f_m}, n_{f_m})$,模糊论域分别为 $(-n_{f_f}, -n_{f_f}+1, \dots, 0, \dots, n_{f_f}-1, n_{f_f})$,则量化因子 $K_{\mu_f}, K_{\dot{\mu}_f}$ 可由下式确定:

$$K_{\mu_f} = \frac{n_{f_f}}{\mu_{f_m}} \quad K_{\dot{\mu}_f} = \frac{n_{f_f}}{\dot{\mu}_{f_m}}$$

则FC的实时输出信号 μ_f 及其变化 $\dot{\mu}_f$ 经量化后的模糊变量 $U_f(k)$ 和 $\dot{U}_f(k)$ 分别为:

$$U_f(k) = K_{\mu_f} \mu_f(k) \quad \dot{U}_f(k) = K_{\dot{\mu}_f} \dot{\mu}_f(k)$$

模糊变量 $U_f(k), \dot{U}_f(k)$ 的论域、模糊子集及其隶属函数的定义如图2所示。为改善模糊推理机的输出特性,FIE输出变量 δ 论域、模糊子集及其隶属函数的定义如图3所示^[6]。当系统偏差较大时,模糊集隶属函数分辨率较低,FIE输出变化比较缓慢可以保证NNC的学习比较平稳。

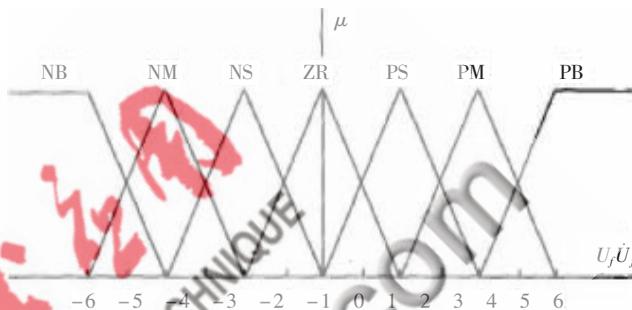


图2 FIE输入变量的隶属函数

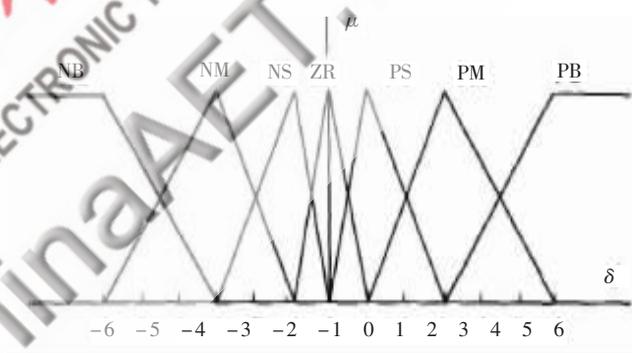


图3 FIE输出变量的隶属函数

在控制过程中,系统根据每一采样时刻FC的输出信号及其变化,由图2确定各模糊集的隶属度,然后利用模糊推理规则如表1所示,图3确定输出变量所有可能的模糊截集。并以重心法模糊判决,得到分目标学习

误差 $\Delta E = \frac{\sum_{\delta=-6}^6 \delta \mu(\delta)}{\sum_{\delta=-6}^6 \mu(\delta)}$, 式中离散计算步长的取值大小可能

影响模糊判决的精度。

3 仿真实验

电站锅炉汽包水位间接的反应了锅炉负荷与给水平衡的关系,是锅炉运行的主要指标之一。水位过高,会破坏汽、水分离装置的正常工作,严重时会导致蒸汽带水增多,从而增加过热器管壁上和汽轮机叶上的结垢;水位过低时,则会破坏水循环,引起水冷壁的破坏。近年来锅炉参数的提高和容量的扩大,对给水系统提出了更高的要求。因此,迫切需要一种鲁棒性很好,算法相对简

技术与方法 Technique and Method

单的快捷控制方案。

一般电站锅炉汽包水位控制系统如图 4 所示。图中, H 代表汽包水位; H_0 代表汽包水位给定信号; D 和 W 分别为蒸汽流量和给水流量; $G_D(s)$ 和 $G_W(s)$ 分别为给水流量和蒸汽流量对汽包水位的传递函数 $G_D(s) = \frac{\varepsilon}{s(sT_1+1)}$; $G_W(s) = \frac{K_d}{sT_2+1} - \frac{\varepsilon}{s}$ 。其中, γ_D, γ_W 和 γ_H 分别为蒸汽流量 D 、给水流量 W 和汽包水位 H 测量变送器的传递函数; α_D 和 α_W 分别为蒸汽流量和给水流量的分压系数; K_Z 和 K_P 分别为实行机构和阀门的特征系数。

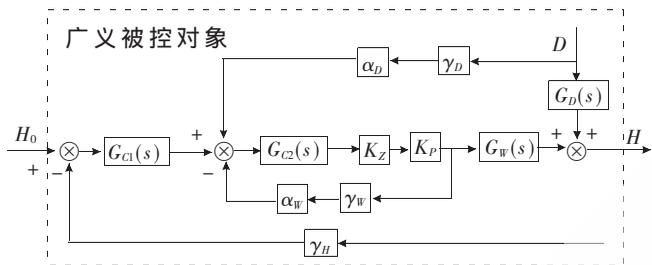


图 4 锅炉汽包水位控制系统

将图 4 框内的一个广义对象当一个整体去考虑, 可以消除水流量和蒸汽对汽包水位的传递函数不稳定环节, 克服自平衡特性。神经网络具有充分逼近任意复杂系统的能力, 同时还能学习和适应不确定性的动态响应。为检验所提出的控制策略的有效性, 对图 4 中的被控对象进行动态仿真研究: 取 $\varepsilon=0.037$; $K_d=3.6$; $T_1=30$; $T_2=15$; $\gamma_D, \gamma_W=0.083$; $\gamma_H=0.033$; $\alpha_D, \alpha_W=0.21$; $K_Z=10$, $K_P=2$ 。在控制器 $G_e(s)$ 取比例作用 $K_e=0.45$ 的情况下得到近似的传递函数为 $G_D(s) = \frac{30.303}{80s+1}e^{-25s}$, $G_W(s) = \frac{-3.25}{60s+1}e^{-100s}$ 。

采用本文提出的基于模糊神经混合系统的自适应控制方法, 其对比试验采用 PID 串联控制系统, PID 调节器参数是在折中考虑系统的跟踪性、抗外扰能力和抗内扰能力的基础上, 经过整定得到的, 其外回路 $K_P=1.5$, $K_I=0.005$, 内回路 $K_P=0.95$ ^[7]。

图 5 所示为对象模型匹配情况下的输出响应图。图 6 为给水量信号 $H=0$ mm 时, 在起始时刻加入蒸汽流量 30% 外扰时输出响应曲线。

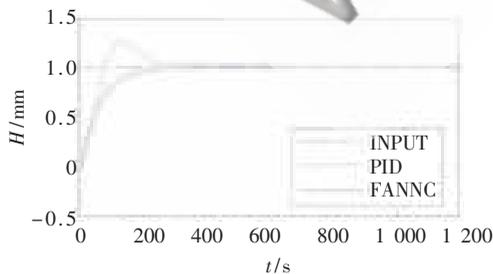


图 5 模型匹配时输出响应曲线

图 7 所示为对象时间为常数, 增益常数和延迟时间均增大 20% 的输出响应曲线。图 8 在模型失配情况下, 在给水量信号 $H=0$ mm 时, 加入蒸汽流量的 30% 外扰

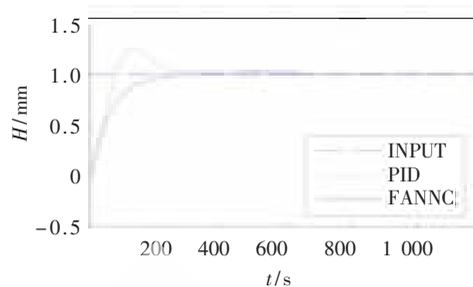


图 6 模型匹配时加入外扰的响应曲线

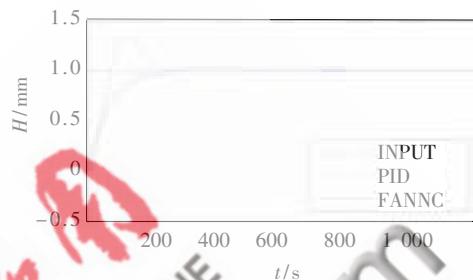


图 7 模型失配响应曲线

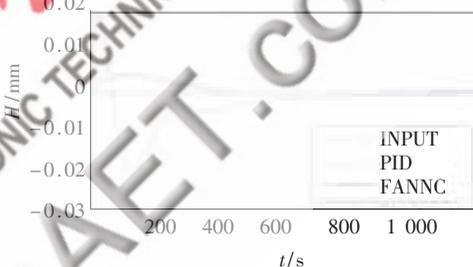


图 8 模型失配时加入外扰后响应曲线

时输出响应曲线。

从图中可以看出, 较之串级 PID 控制, FANNC 控制具有良好的动态调节品质和较强的鲁棒性, 实现了对系统的快速无超调控制。实验中将蒸汽流量扰动信号引入到神经网络中, 实现了对系统的前馈补偿, 以快速平稳消除蒸汽流量的扰动。鲁棒控制器 FC 的构造使系统具有良好的稳定性和鲁棒性, 与常规 PID 控制相比, 几乎没有超调量。即使在模型失配(参数增加或减少)的情况下仍然能取得满意的控制品质。仿真结果表明了该方案的有效性和优越性。

本文提出的这种基于模糊神经混合系统的自适应控制方法是针对工业系统中普遍存在的复杂非线性和时变不确定性特性提出的。该方法可以做到无须辨识被控对象的模型, 即可进行 NNC 的在线设计; 而且 NNC 的学习过程和系统的控制过程同时进行, 不需要特定的教师信号, 避免了离线训练通常存在的训练数据不足的问题。利用模糊推理机产生的分目标学习误差对神经网络进行训练, 避免了采用直接反馈误差进行训练可能造成的饱和和过调整问题, 并能有效抑制测量噪声的影响, 提高系统的控制品质。仿真实验证明, 该方法能有效处理工业系统中普遍存在的复杂非线性和时变不确定

技术与方法 Technique and Method

性等特性,为未知不确定非线性系统的智能控制提供了一条有效而可行的新途径。

参考文献

- [1] 蒋宗礼.神经网络导论[M].北京:高等教育出版社, 2001:221-236.
- [2] CAO W M. The application of direction basis function neural networks to the prediction of chaotic time series[J]. Chinese Journal of Electronics,2004,13(3):395-398.
- [3] YAO X, LIU Y. Fast Evolutionary programming in evolutionary programming[M]. Evolutionary Program, FOGEL L, ANGELINE P, BÄCK T, Eds. Cambridge, MA: MIT Press, 1996:451-460.
- [4] 孙街.复杂非线性系统的模糊控制及其优化的研究[D].西安,西安交通大学,2000.
- [5] 雷家胜,王建英,孙秩.参数自适应控制方法在刻绘中的应用[J].计算辅助工程,2008,17(3):58-60.
- [6] 鲍鸿,黄心汉,李锡雄.广义模糊推理与广义模糊 RBF 神经网络[J].控制与决策,2000,15(2):205-208.
- [7] 王振雷.模糊神经网络理论及其在复杂系统中的应用研究[D].沈阳:东北大学,2002.

(收稿日期:2009-04-14)

