

基于遗传算法的模糊神经网络控制技术研究

曹 晖¹, 何 波¹, 刘慧明¹, 陈金亮²

(1 西安建筑科技大学 信息与控制工程学院, 陕西 西安 710055;

2 西北工业大学 现代设计与集成制造技术教育部重点实验室, 陕西 西安 710072)

摘 要: 提出了一种基于去模糊优化的模糊神经网络控制器及模糊神经网络的遗传学习算法. 利用遗传算法优化包含控制器性能的指标来离线寻找最优的模糊神经网络控制器结构和参数, 经过遗传算法训练的模糊神经网络控制器被接入模糊神经网络智能控制系统中. 仿真结果表明, 利用此方法实现的控制, 系统的控制精度高, 超调量小, 鲁棒性能很强, 获得了良好的控制效果.

关键词: 模糊神经网络; 遗传算法; 模糊神经网络控制器; 最优控制

中图分类号: TP273.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)10-0149-03

Research of Fuzzy Neural Network Control Based on Genetic Algorithm

CAO Hui¹, HE Bo¹, LIU Hui-ming¹, CHEN Jin-liang²

(1 Information and Control Engineering School, Xi'an University of Architecture & Technology Xi'an 710055, China;

2 The Key Laboratory of Contemporary Design and Integrated Manufacturing Technology,
Ministry of Education, Northwest Polytechnic University, Xi'an 710072, China)

Abstract: A fuzzy neural network controller based on the optimization of defuzzification is presented. A fuzzy neural network optimal control by genetic algorithm is put forward based on the ideal of optimal control. Through simulating the process of the control system, the structure and the parameters of the fuzzy neural network are optimized off-line using GAs by optimizing an index of the controller performance. The trained fuzzy neural network is then introduced into the fuzzy neural network intelligent control system. The computer simulation results demonstrate that the system has high control precise and small overshoot, possesses strong robustness and results show good control performance.

Key words: fuzzy neural network; genetic algorithm; fuzzy neural network controller; optimal control

1 引言

将模糊技术^[1-7]、神经网络和遗传算法协调地使用于一个系统中, 与纯粹的遗传算法相比, 学习性能更好, 学习时间更短, 同时克服了神经网络学习过程容易陷入局部最优的缺点, 并使模糊规则的自动获取和隶属函数的学习成为可能. 文中将研究基于三者结合的系统——基于遗传算法的模糊神经网络系统的学习算法以及基于最优控制思想的模糊神经网络控制器的设计方法.

2 模糊神经网络控制器

模糊神经网络控制器是用神经网络构成的模糊控制器, 模糊神经网络控制器是模糊神经控制的核心. 模糊神经网络控制器的结构是一种这样的拓扑结构, 它可以处理模糊信息, 并能完成模糊推理.

逻辑神经元是模糊神经元的一种类型, 用逻辑神经元可以构成执行 Mamdani 推理的模糊控制器. 在这种模糊控制器中, 每条控制规则可以用一个模糊神经网络实现. 考虑一个模糊控制的过程, 并且具

有如下约定的参数,如图 1 所示.

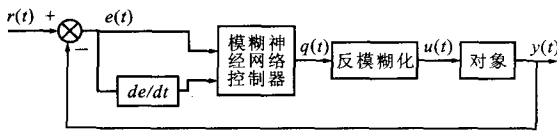


图 1 模糊神经控制系统框图

在时间 t 时,系统输入为 $r(t)$,输出为 $y(t)$,设采样周期为 T ,并在离散时间 $t = T, 2T, \dots$ 对输出进行检测,则偏差及偏差变化率如下

$$e(t) = r(t) - y(t)$$

$$\Delta e(t) = [e(t) - e(t - T)]/T$$

对于模糊神经网络控制器,其输入为 $e(t)$ 、 $\Delta e(t)$,模糊输出为 $q(t)$,反模糊化后的输出为 $u(t)$,模糊控制器的控制规则集为

$$R_r: \text{If } e = A_i \text{ and } \Delta e = B_j \text{ Then } Q = C_p$$

$$1 \leq r \leq g$$

在模糊神经网络控制器中,关键的是如何根据输入 e 、 Δe 而得到 Q ,也即是实现模糊控制规则。

设 $A_i \in [a_1, b_1]$, $B_j \in [a_2, b_2]$, $C_p \in [a_3, b_3]$,则在 e 、 Δe 和 o 的论域中,选择如下离散值

(1) 在 $[a_1, b_1]$ 中取的离散点为 x_i ,并且有

$$x_0 = a_1$$

$$x_i = a_1 + i(b_1 - a_1)/N_1$$

其中, $1 \leq i \leq N_1$, N_1 为正整数。

(2) 在 $[a_2, b_2]$ 中取的离散点为 y_j ,并且有

$$y_0 = a_2$$

$$y_j = a_2 + j(b_2 - a_2)/N_2$$

其中, $1 \leq j \leq N_2$, N_2 为正整数。

(3) 在 $[a_3, b_3] \in$ 中取的离散点为 z_i ,并且有

$$z_0 = a_3$$

$$z_i = a_3 + i(b_3 - a_3)/N_3$$

其中, $1 \leq i \leq N_3$, N_3 为正整数。

对于给出的模糊控制规则中的模糊量 A_i, B_j, C_p ,其隶属度表示成为

$$A_i(x_j), \quad 0 \leq j \leq N_1;$$

$$B_j(y_k), \quad 0 \leq k \leq N_2;$$

$$C_p(z_i), \quad 0 \leq i \leq N_3.$$

3 模糊神经网络的遗传学习算法

3.1 基本概念

假设所考虑的模糊量是实数模糊集.为了简单起见,这些实数模糊集表示为: $A, B, \dots, W, V$. 模糊量 A 在 x 处的隶属度表示为 $A(x)$.

模糊量 A 的 α 截集表示为

$$A[\alpha] = \{x \mid A(x) \geq \alpha\}, \quad 0 < \alpha \leq 1$$

下面给出三角模糊数的定义:

由 3 个数字 $a < b < c$ 所定义的 N 称为三角模糊数,参看图 2. 并且有如下性质:

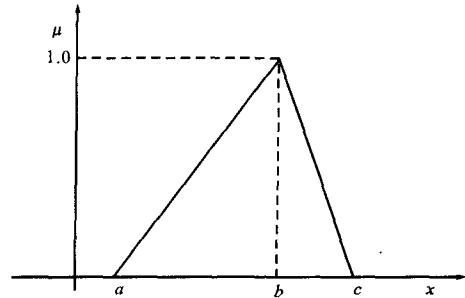


图 2 三角形模糊数

(1) 当 $x \leq a$ 或 $x \geq c$ 时, $N(x) = 0$, 当 $x = b$ 时, $N(x) = 1$.

(2) 在 $[a, b]$, 从 $(a, 0)$ 到 $(b, 1)$, $y = N(x)$ 是一条直线段, 在 $[b, c]$ 区间, 从 $(b, 1)$ 到 $(c, 0)$, $y = N(x)$ 是一条直线段。

3.2 模糊神经网络结构

模糊神经网络是三层前向网络,它的输入、权系数都是模糊数.模糊神经网络的结构如图 3 所示。

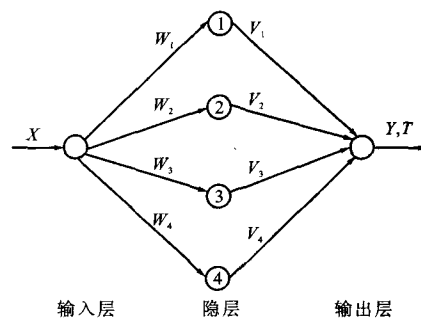


图 3 模糊神经网络

在图 3 中,输入 X , 权系数 W, V 是三角模糊数,输出 Y 和目标 T 可以是三角形模糊数.除了输入层之外,所有的神经元都有激发函数 $y = f(x)$, 并且 f 是连续从 R 到 $[-t, t]$ 的非单调减映射, t 是正整数, R 是实数域。

在隐层中,第 i 个神经元的输入为 I_i

$$I_i = X \cdot W_i, \quad 1 \leq i \leq 4$$

而第 i 个神经元的输出为 Z_i

$$Z_i = f(I_i), \quad 1 \leq i \leq 4$$

在输出层,输出神经元的输入为 I_0

$$I_0 = Z_1 \cdot V_1 + \dots + Z_4 \cdot V_4 = \sum_{i=1}^4 Z_i \cdot V_i$$

而在输出层产生的输出为 Y

$$Y = f(I_0)$$

为了对模糊神经网络进行学习,所用的训练数据为

$$(X_I, T_I), 1 \leq I \leq L$$

其中, T_I 是在 X_I 为输入时所需的输出. 学习中,实际输出为 $Y_I, 1 \leq I \leq L$.

图 3 中所示的模糊神经网络的学习问题就是在输入为 x_1 时,找寻最优的权系数 W_i, V_i 使实际输出 Y_I 逼近于 $T_I, 1 \leq I \leq L$.

3.3 模糊神经网络的遗传学习算法

遗传算法是一种直接随机搜索方法,它的主要步骤包括编码、选择、交叉、变异等. 在这里只对优化过程的目标函数及一些参数加以介绍.

(1) 模糊数. 对于图 3 所示的模糊神经网络,优化的目的是找寻最优的权系数 W_i, V_i

$$W_i = (W_{i1}/W_{i2}/W_{i3})$$

$$V_i = (V_{i1}/V_{i2}/V_{i3})$$

其中, $1 \leq I \leq L$

$$W_{i2} = (W_{i1} + W_{i3})/2$$

$$V_{i2} = (V_{i1} + V_{i3})/2$$

从上两式可知,只要知道 W_{i1}, W_{i3} 和 V_{i1}, V_{i3} , 就可以确定权系数 W_i 和 V_i . 因此,遗传算法只需对模糊权系数 W_i 和 V_i 的支持集进行追踪寻优即可. 因此,群体的个体编码表示为 P , 编码采用二进制数.

$$P = (W_{11}, W_{13}, \cdots, V_{41}, V_{43})$$

(2) 遗传算法的有关参数. 遗传算法的参数主要有 3 个,它们分别是群体数 S ,交叉 C ,变异率 M . 一般是按经验进行选取. 在这里,这些参数确定如下

$$S = 2000$$

$$C = 0.8$$

$$M = 0.0009$$

(3) 优化的目标函数. 设 Y_I 的 α 截集为 $Y_I(\alpha)$

$$Y_I[\alpha] = [y_{I1}(\alpha), y_{I2}(\alpha)]$$

设 T_I 的 α 截集为 $T_I(\alpha)$, 有

$$T_I[\alpha] = [t_{I1}(\alpha), t_{I2}(\alpha)]$$

$$\alpha \in \{0, 0.1, 0.2, \cdots, 0.9, 1.0\}$$

则定义

$$E_1 = \frac{1}{2} \sum_{\alpha} \sum_I (y_{I1}(\alpha) - t_{I1}(\alpha))^2 / L$$

$$E_2 = \frac{1}{2} \sum_{\alpha} \sum_I (y_{I2}(\alpha) - t_{I2}(\alpha))^2 / L$$

$$E = E_1 + E_2$$

遗传算法的目的就是寻找恰当的权系数 W_i, V_i 使 E 的值趋于 0.

(4) 模糊神经网络的激发函数. 图 3 所示的模糊神经网络中,隐层和输出层的激发函数 f 的意义如下

$$f(x) = \begin{cases} -\tau & x \leq -\tau \\ x & -\tau \leq x < \tau \\ \tau & x \geq \tau \end{cases}$$

其中, τ 是正整数,一般根据应用情况选择 τ 的值. 由于输出的目标模糊数 T 在 $[-1, 1]$ 区间之内,故在输出层中 τ 的值通常取 1. 在表 1 中,模糊数是三角或三角形模糊数,故用 $(a/b/c)$ 方式表示. 从表中看出,它们是对称三角模糊数.

表 1 模糊训练数据

编号	输入 X	输出 T
1	$(-1/-0.75/-0.5)$	$(1.5/1.75/2)$
2	$(-0.25/0/0.25)$	$(0.75/1/1.25)$
3	$(0.5/0.75/1)$	$(0/0.25/0.5)$

4 实验例证

被控对象为一热处理工艺过程的加热炉,加热设备为三相交流调压供电装置,输入控制信号电压为 $0 \sim 5V$,输出相电压 $0 \sim 220V$,温度调节范围: $100^{\circ}C \sim 500^{\circ}C$.

控制的目的是使得系统的实际输出能够跟踪期望输出,使跟踪误差尽量减小. 阶跃信号作为输入,遗传算法迭代次数 500 代,给定输入温度为 $400^{\circ}C$,得到模糊神经网络控制系统响应曲线的仿真图形,如图 4 所示. 可以看出,系统的响应曲线能在正常时间内达到稳定状态,说明该系统有良好的控制效果.

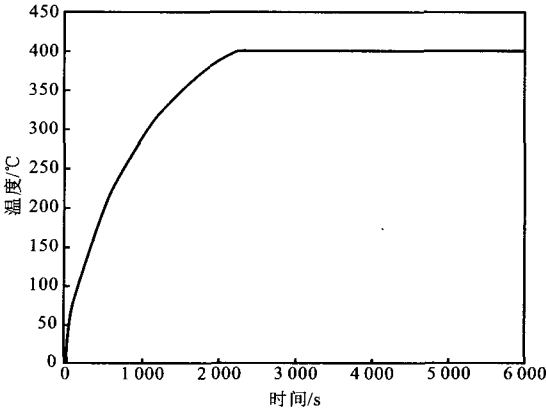


图 4 阶跃给定系统响应曲线

(下转第 155 页)

对噪声有很明显抑制作用,克服了传统方法中图像得到了增强但噪声也得到了扩大,或者噪声得到了抑制但细节信息损失太大的缺点;(2)图像信号估计不引入任何与噪声有关的结构;(3)反映原始信号的特征尖峰点得到很好的保留,可以使去噪图像成为原始图像的近似最优估计,且估计图像至少和原始图像同样光滑而不会产生振荡;(4)在一次细化的基础上去除图像上多余像素,从而在不改变图像主要特征的前提下,大大减少了图像的信息量;(5)两种算法的结合可以实现对不同尺度的图像信号进行非线性增强,对非高斯噪声也有很好的抑制效果,较好地保留了图像信号的边缘特征,增强了图像平均梯度,视觉效果清晰,重构信号的信噪比增益以及视觉效果都比传统的去噪方法有了明显的提高。

6 结束语

文中分析了待处理的 CT 图像信号特征,依据小波基的奇异性来判断信号是否有用.采用小波阈值萎缩和细化相结合方法,在改进经典小波阈值去噪方法的基础上,将关键参数取值与预估计联系起来,将阈值的选定与图像的局部特征结合起来.改善了 CT 扫描图像中的模糊现象,使小波系数的处理更精确,使图像边缘信息得到增强细化.实验结果表

明,改进后的小波算法比传统小波去噪方法效果更佳,重构信号的信噪比增益以及视觉效果都比传统去噪方法有了显著提高.

参考文献:

- [1] 周光湖.计算机断层摄影原理及应用(CT)[M].成都:成都电讯工程学院出版社,1986:331-335.
- [2] 赵瑞珍,宋国乡.一种基于小波变换的白噪声消噪方法的改进[J].西安:西安电子科技大学学报,2000,27(5):619-622.
- [3] Tien D Bui, Guangyi Chen. Translation-invariant de-noising using multi-wavelets[J]. IEEE Transactions On Signal Processing, 1998, 46(12): 3414-3420.
- [4] 涂丹,沈建军,沈振康.小波阈值技术在图像降噪中的应用研究[J].北京:国防科技大学学报,1999,21(2):42-45.
- [5] 章毓晋,彭天强,彭波.图像工程[M].北京:清华大学出版社,2002:126-30.

作者简介:

罗瑜女,(1984-),硕士研究生.研究方向为计算机图形图像处理.

于晓明女,(1965-),博士,研究生导师.研究方向为计算机图形图像处理及信号采集.

(上接第 151 页)

5 结束语

文中提出的模糊神经网络控制器基于模糊神经网络结构创建,其所有参数利用改进的遗传算法进行同步调节,实现了参数从初始随机状态的自适应寻优.进化过程中使用动态变化的交叉率和变异率、改进的适应度函数,改善遗传算法的收敛性能,具有较高的泛化能力.实验结果表明,该基于遗传算法调节的模糊神经网络控制方法具有较高的性能.

参考文献:

- [1] Buckley J J, Hayashi Y. Fuzzy neural networks: a survey [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1994, 66(1): 1-13.
- [2] 刘增良,刘有才.模糊逻辑与神经网络一理论与探索[M].北京:北京航空航天大学出版社,1996.
- [3] 赵仕俊,李逊,陈琳.一种面向非线性系统控制的自适应模糊小脑神经网络及研究[J].微电子学与计算机,

2008, 25(3): 61-63.

- [4] 程启明,王勇浩,陈刚.新型动态模糊神经控制器及其混合学习算法研究[J].上海电力学院学报,2005,24(4):310-315.
- [5] 周明,孙树栋.遗传算法原理及应用[M].北京:国防工业出版社,2000.
- [6] 梁艳,靳东明.一种用于 RBF 神经网络参数优化的亲属优先遗传算法[J].微电子学与计算机,2009,26(7):17-20.
- [7] 基于遗传算法的神经模糊技术应用研究[D].广州:华南理工大学,1999.

作者简介:

曹晖女,(1984-),硕士.研究方向为电力电子变频技术.

陈金亮男,(1981-),博士研究生.研究方向为航空宇航制造.