

模糊逻辑控制器的模糊神经网络实现

赵保军 孙圣和

(哈尔滨工业大学自动化测试与控制系·哈尔滨, 150001)

摘要: 模糊逻辑是人脑思维活动的基本方式^[1,2], 而神经网络则是模仿人脑神经系统功能而设计的一类巨型非线性网络^[3]. 所以将模糊逻辑与神经网络相结合具有很大的前途. 本文利用模糊神经元突破了没有计算机就不能实现模糊控制的传统观点, 给出了一种不用计算机就能实现的模糊神经网络控制器(FNNC), 对模糊控制的硬件实现起到积极的作用.

关键词: 模糊逻辑控制; 神经网络; 模糊神经元; 推理; 实现

1 引言

1965 年美国控制论专家 L. A. Zadeh 创立了模糊集合论^[4], 近三十年来, 模糊集合已被用于很多领域. 一般所指的模糊逻辑控制器(FLC)是指以误差和误差变化量为输入的二维 FLC. 一维 FLC 又称一步模糊逻辑控制器, 而三维 FLC 是指在二维 FLC 的基础上引入误差变化量的变化率.

常规 FLC 是指根据专家总结出的经验对被控对象实施有效控制的机构. 其主要缺点有: 1) 模糊规则易受人的主观性影响; 2) 稳态精度差; 3) 对大滞后对象效果不好; 4) 系统设计无统一规范的方法; 5) 依靠计算机实现.

为了解决这些问题, FLC 沿五个方向发展: 第一是向模糊自组织控制器(FSOC)发展, 这种方法将 FLC 与自校正控制结合起来, 使规则实现自调整, 克服人的主观性影响; 第二个发展方向是 Fuzzy-PID 复合控制器, 以解决 FLC 的第二个缺点; 第三个方向是 Smith-Fuzzy 控制器, 以解决工业控制中的大滞后难题; 第四个方向是模糊模型参考自适应控制器, 其目的与 FSOC 一致; 最后一个方向就是模糊逻辑与人工神经网络相结合的模糊神经网络控制器(FNNC). 这种控制器已受到人们的重视, 出现了几种不同的形式如逻辑神经网络^[4]、模糊 CMAC 神经网络^[5]等, 它们发挥了模糊逻辑和人工神经网络的优点. 本文利用模糊神经元^[6]直接实现 FLC, 突破了没有计算机就不能实现 FLC 的传统观点^[2], 对上述第五个问题的解决有一定的意义.

2 FLC 的模糊神经网络(FNN)硬件实现

2.1 基本概念

典型神经元的输入 x 与输出 y 之间的关系称为神经元的激励特性如图 1 所示:

若用神经元表示误差的一个模糊子集如“负中”(E_3), 并定义它的核为

$$\ker(E_3) = 5. \quad (1)$$

输入 x 对 E_3 的隶属度为

$$\mu = \exp[-(x + 5)^2]. \quad (2)$$

则关于“负中”的概念就定义在以 -5 为核的高斯分布上, 如图 2 所示. 利用(2)式选取不同的

核就可以将误差论域中 $E_i (i=2, 3, \dots, m-1)$ 的隶属度加以定义. 然而, 关于“负中”这个概念无法用图 1 描述的普通神经元特性来表示, 为此给出如下定义.

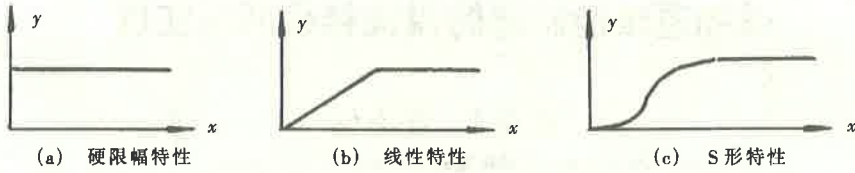


图 1 典型神经元特性

定义 模糊神经元是具有隶属度特性且模糊子集的截集等于常规神经元阈值 $@$ 的神经元.

仍以上面所举的“负中”为例, 根据定义有

$$\mu_{@} = 1(\mu - @) = 1\{\exp[-(x+5)^2] - @\}. \quad (3)$$

为了便于比较, 把(3)式所定义的“负中”的属性画在图 2(b)上, 这样就把“负中”定义在以 -5 为中心, 1 为半径的范围内.

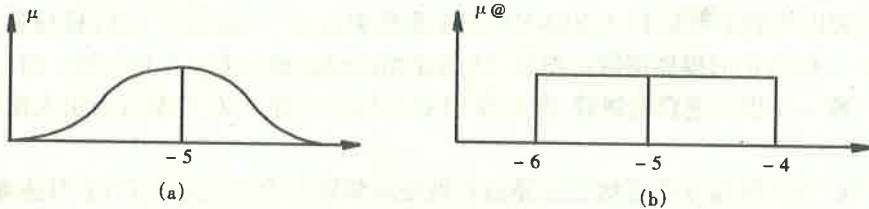


图 2 负中的语义示意

2.2 FLC 的模糊神经网络(FNN)硬件实现

图 3 为 FLC 的 FNN 实现原理图. 设其输入变量个数为 p , 第一层进行模糊分类, 第二层实现模糊推理, 第三层实现规则加权与求和.

图 4 给出二维 FLC 的 FNNC 硬件实现电路. 输入为误差 E 和误差的变化量 C . 若 C 小于 V_1 则 $X_1, X_2, \dots, X_6$ 均为 1, 通过与门, 非门和异或门后, C_1 为 1, $C_2, C_3, \dots, C_7$ 等均为 0, 这与输入为负大是一致的. 同理, 当输入在 V_1 和 V_2 之间

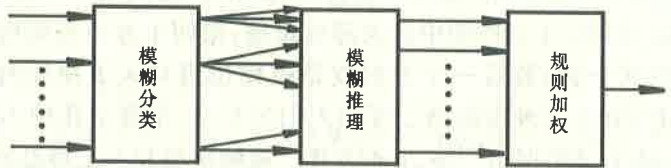


图 3 p 维 FNNC 示意图

时, X_1 为 0, $X_2, X_3, \dots, X_6$ 等均为 1, 再通过逻辑门后, C_2 为 1, $C_1, C_3, C_4, \dots, C_7$ 等均为 0, 这与输入负中也是一致的. 以此类推, 当输入大于 V_6 时, 通过比较判断和逻辑门处理, C_7 为 1, $C_1, C_2, \dots, C_6$ 等为 0, 由此即可实现分类功能. 对于误差量 E 的处理方法与此类似. 它们构成图 4 中的第一层, 即模糊分类层.

用与门实现 $E_i (i=1, 2, \dots, 7)$ 和 $C_j (j=1, 2, \dots, 7)$ 之间的推理运算, 每个与门构成一个推理神经元, 其输出用 $h_{ij} (i=1, 2, \dots, 7, j=1, 2, \dots, 7)$ 来表示.

最后一层神经元的输出用 d 来表示, 其输入为 $h_{ij} (i=1, 2, \dots, 7, j=1, 2, \dots, 7)$, 由 h_{ij} 到 d 的权值用 W_{ij} 来表示, 可用运算放大器来实现. 最后的运算放大器用以实现求和.

3 仿 真

利用 FNNC 对倒立摆系统和一阶大惯性大滞后系统的控制已经取得良好效果. 本文主要

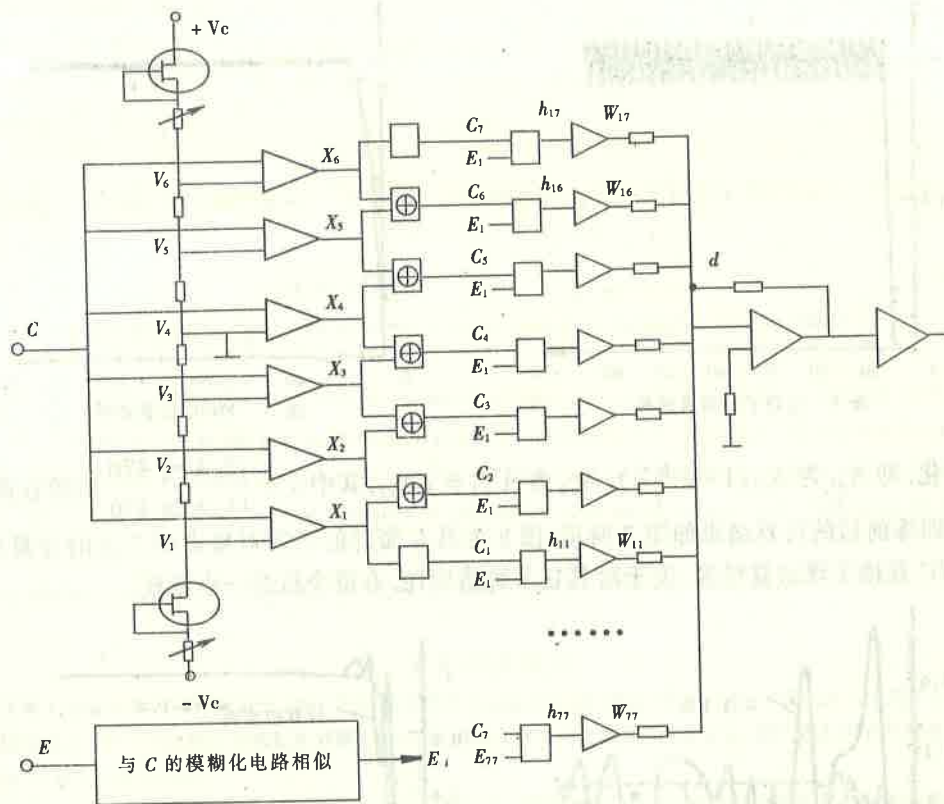


图 4 FNNC 电路原理图

讨论其对二阶和三阶系统的自适应能力. 对于二阶系统 ($\frac{\alpha}{s(s+\alpha)}$), 在相同 FLC 参数 (并未进行最优化) 下, 用计算机实现 FLC 时, 通过采样周期寻优^[7], 当采样周期取 0.2~0.5 秒、 α 取 0.8~20 时, 系统输出基本稳定, 其中比较典型的仿真结果如图 5 所示. 用 FNNC 实现 FLC 时, 系统对控制量的响应由两部分组成: 一部分为零状态响应 [$y_m(t)$] 即对当前控制量的响应, 另一部分为零输入响应 [$y_{m-1}(t)$] 即上一控制量对当前状态的影响. 即:

$$y_m(t) = u_m(t - 1/\alpha + e^{-\alpha t}) + \dot{y}_{m-1}(1 - e^{-\alpha t})/\alpha + y_{m-1}, \quad (4)$$

$$\dot{y}_m(t) = u_m(1 - e^{-\alpha t}) + \dot{y}_{m-1}e^{-\alpha t}. \quad (5)$$

式中 u_m 表示第 m 次控制量, y_{m-1} 为 m 次系统响应的初始条件即上一状态对当前状态的影响, y_m 为系统对 u_m 的响应, 每次时间 t 由零开始, 随着 t 的增加, 判断 e 和 c 是否超出其所在的量化区间, 若超出其所在区间, 则确定 $m+1$ 次 (下一状态) 的输入 u_{m+1} . 此时不存在采样周期选取问题, 参数 α 取 0.01~100 时控制效果均令人满意, 较典型的控制效果如图 6 所示.

对于比较典型的、具有滞后的、文献[8]中采用的三阶系统 ($G(s) = e^{-T_d}K_p/(1+T_1s)(1+T_2s)(1+T_3s)$), FNNC also 具有很好的自适能力, 此时对象的离散方程为

$$y(k) = A_{u0}u(k - T_d/T_s) + \sum_{i=1}^3 [A_{yi}y(k-i) + A_{ui}u(k-i - T_d/T_s)]. \quad (6)$$

参数选择与文献[8]中相同, 即采样周期 T_s , 滞后时间 T_d 和 T_1, T_2, T_3 分别为 1, 10 和 3, 6, 9 秒, $K_p = 1$. 取学习率 $\eta = 0.1$. 除文献[8]讨论的线性范围外, 本文探讨了当参数为时变和非

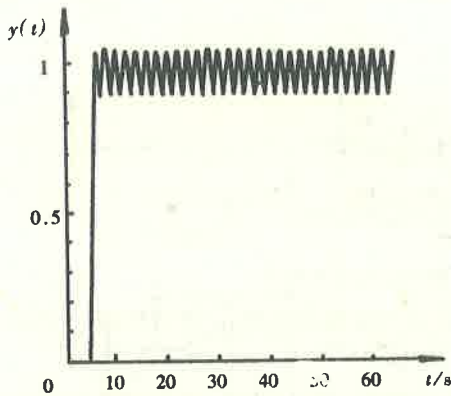


图 5 常规 FLC 仿真结果

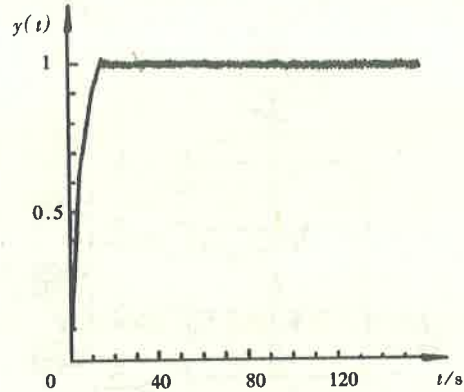


图 6 FNNC 仿真结果

线性变化, 即 A_{y1} 为 $A_{y1}(1 + e^{-0.5t})$, A_{u3} 为 $A'_{u3} = \alpha A_{u3}$, 其中 $\alpha = \begin{cases} 2, & k < 470 \\ 1, & k \geq 470 \end{cases}$ 时的自适应性,

FNNC 训练前后的仿真结果如图 7 所示. 图 8 为具有滞后的三阶对象训练之后的计算机实现与 FNNC 直接实现仿真结果. 关于对其它系统适应性, 有待今后进一步考核.

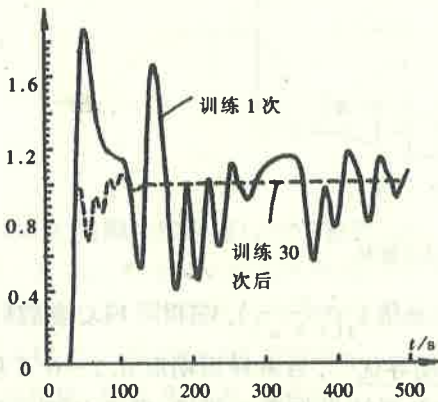


图 7 具有滞后和时变非线性参数的三阶系统阶跃响应训练结果

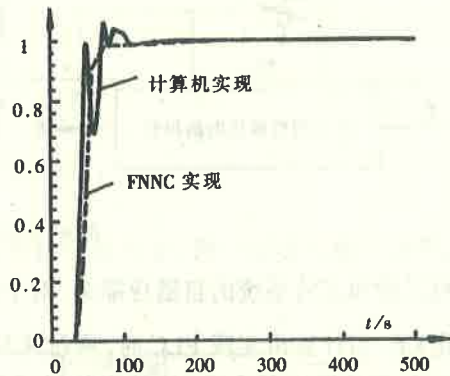


图 8 具有滞后的三阶系统阶跃响应的两种实现

4 结 论

本文以二维 FLC 为对象, 分析了常规人工神经元的不足, 提出了模糊分类神经元的概念. 以此为基础, 给出二维 FNNC 的硬件实现电路, 通过仿真验证了可行性, 其控制效果优于常规 FLC 的控制效果. 本文的工作突破了没有计算机就没有模糊控制的传统观点, 对模糊控制的实际应用有很大的价值.

参 考 文 献

- 1 焦李成. 神经网络的应用与实现. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1993
- 2 李士勇. 模糊控制和智能控制理论与应用. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1990
- 3 郑君里, 杨行峻. 人工神经网络. 北京: 高等教育出版社, 1992
- 4 Mamdani, E. H.. Twenty years of fuzzy control: experiences gained and lessons learnt. IEEE Fuzzy Logic Technology and Applications, 1994, 19 - 24
- 5 邓志东, 孙增圻等. 一种模糊 CMAC 神经网络. 自动化学报, 1995, 21(3): 288 - 293
- 6 Tzefestas, S. G. & Venetsanopoulos, A. N.. Fuzzy reasoning in information, decision and control systems. Netherlands, Kluwer

Academic Publishers, 1994, 99 - 119

- 7 徐征明, 赵保军. 采样周期可变的模糊自组织寻优控制器研究. 第二届全国冶金自动化年会, 马鞍山, 1989
- 8 Schiffmann, W. H. & Geffers, H. W. . Adaptive control of dynamic systems by back propagation networks. Neural Networks, 1993, 6(3): 517 - 524

Fuzzy Logic Controller's Implementing by Fuzzy Neural Network

ZHAO Baojun and SUN shenghe

(Department of Automatic Test and Control, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150001, PRC)

Abstract: Fuzzy logic is the basic mode of human thinking, whereas neural network is designed as one of large non-linear networks by emulating human brain neural system's function. It is of prospect to combine both of them. With the fuzzy-neuron, we broke through the limitation-without computer, without fuzzy logic control. A fuzzy logic controller is implemented without using computer in this paper, it is useful to hardware implement of fuzzy logic control;.

Key words: fuzzy logic control; neural network; fuzzy-neuron; inference; implement

本文作者简介

赵保军 1960年生, 讲师. 分别于1984年和1989年在东北重型机械学院和燕山大学自动化系获学士和硕士学位. 1997年在哈尔滨工业大学自动化测试与控制系获博士学位. 目前在北京理工大学做博士后研究. 感兴趣的研究领域有神经网络, 模糊控制, 计算机测量与控制.

孙圣和 1937年生, 教授, 博士导师. 1961年毕业于哈尔滨工业大学. 任中国计算机自动测量与控制学会理事, 中国电子学会(电子学报)编委等职. 主要研究方向为自动化测试与控制, 信号处理及系统辨识.