

文章编号 :1671-7848(2006)03-0250-03

## 自适应神经 PID 在挤塑机温控系统中的应用

谭梅, 李晓秀, 吕聪

(湖南工程学院 电气系, 湖南 湘潭 411101)



**摘要:** 针对塑料挤出机的多段料筒温度控制, 以及常规 PID 控制在非线性的、时变系统中控制效果的局限性, 提出了一种基于 BP 神经网络整定的 PID 控制方法。给出了计算机控制系统设计及系统软件开发。由于神经网络具有强大的非线性映射能力, 自学习、自适应等优势, 通过对系统性能的学习来实现具有最佳组合的 PID 控制, 建立比例、积分和微分三种参数自学习的 PID 控制器。对锥形双螺杆塑料挤出机的温度控制实验结果表明, 用该方法整定的 PID 控制系统, 逼近精度高、鲁棒性好。

**关键词:** 塑料挤出机; 温度控制; BP 神经网络; 自适应 PID 控制

中图分类号: TP 183

文献标识码: A

## Self-adaptive Neural PID and Its Application to Temperature Control System of Plastic Machine

TAN Mei, LI Xiao-xiu, LÜ Cong

(Department of Electric and Information Engineering, Hunan Institute of Engineering, Xiangtan 411101, China)

**Abstract:** A PID control method based on BP neural network is put forward, concerning the temperature control of multi-layered containers in plastic machine and the limitations of the conventional PID control which resulted from the control of the nonlinear and time-varying system. The system design and software development are also presented. Possessing such merits as the ability of nonlinear mapping, self-learning, self-adaptation and etc, this neural network can help to realize the PID control with the best combinations by means of the understanding of the system performance. The network has high precision and good robustness. The experiment results show that the method is feasible and effective.

**Key words:** plastic machine; temperature control; BP neural network; self-adaptive PID control

### 1 引言

目前,数字 PID 控制在生产过程中是普遍采用的控制方法,在冶金、机电、化工等行业中获得了广泛应用。塑料挤出机采用多段料筒加热方法,其料筒与模具的温度是确保塑料制品生产质量的关键因素,但塑料挤出机多段料筒加热系统是一个非线性的,含有多种不确定因素的时变系统,对其进行描述的数学模型的结构或参数都不是非常准确的(时变的)。常规的 PID 控制能对那些被控对象的数学模型已知且不变的系统取得良好的控制效果。PID 控制要取得良好的控制效果,必须调整好比例、积分和微分三种控制作用。BP 神经网络所具有的任意非线性表达能力,通过对系统性能的学习来实现具有最佳组合的 PID 控制,建立参数  $K_p, K_i, K_d$  自学习的 PID 控制器。

### 2 PID 神经网络温度控制系统

1) 计算机控制系统框图 如图 1 所示。

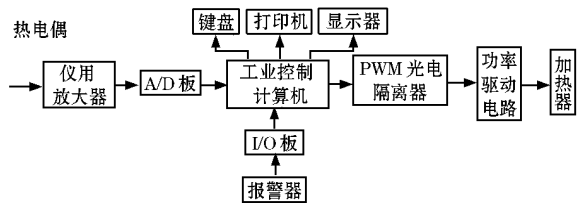


图 1 控制装置框图

根据塑料挤出机的工艺特点和要求,采用工业级微机系统。工作原理是计算机采集多段料筒温度测量信号,经自适应 PID 整定后控制输出,自动调节电加热电路的功率给定值,满足温度控制所需要的变化量。

2) 基于 BP 网络的 PID 控制器结构 塑料挤出

收稿日期: 2005-09-21; 收修定稿日期: 2005-11-28

作者简介: 谭梅(1965-),女,湖南湘潭人,讲师,研究生,主要研究方向为智能控制技术及其应用等。

机温度控制系统设计的神经网络自适应 PID 控制系统如图 2 所示。

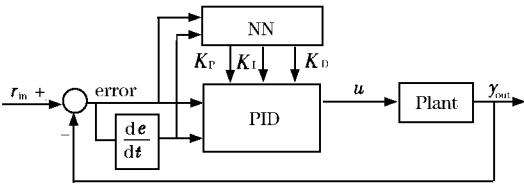


图 2 基于 BP 网络的 PID 控制结构

图中,  $r_{in}$  为设定温度值,  $y_{out}$  为实际温度测量值  $\theta$ 。系统不依赖于对象的模型知识, 网络结构确定后, 控制功能是否达到要求完全取决于学习算法。

3) 神经网络学习算法 BP 网络如图 3 所示。

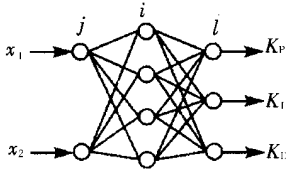


图 3 BP 网络结构

图中  $x_1, x_2$  为温度设定值与实际测量值的误差  $e$  及其变化率  $de/dt$ 。根据系统的运行状态, 通过神经网络在线调整 PID 的三个参数  $K_p, K_i, K_d$  达到某种性能指标的最优化。

经典增量式数字 PID 的控制算法为

$$u(k) = u(k-1) + K_p [e(k) - e(k-1)] + K_i e(k) + K_d [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \quad (1)$$

式中,  $K_p, K_i, K_d$  分别为比例、积分、微分系数。

采用三层 BP 网络:

输入层 输出节点:  $O_j^{(1)} = x_j (j = 1, 2)$

隐含层 输入节点:  $I_i^{(2)}(k) = \sum_{j=1}^2 W_{ij}^{(2)} \cdot O_j^{(1)}$   
( $i = 1, 2, 3, 4$ )

输出节点:  $O_i^{(2)}(k) = f(I_i^{(2)}(k))$

隐层神经元的活化函数取正负对称的 Sigmoid 函数:

$$f(x) = \tanh(x) = \frac{\exp(x) - \exp(-x)}{\exp(x) + \exp(-x)}$$

输出层 输入节点:  $I_l^{(3)}(k) = \sum_{i=0}^3 W_{li}^{(2)} \cdot O_i^{(2)}(k)$   
( $l = 1, 2, 3$ )

输出节点:  $O_l^{(3)}(k) = g(I_l^{(3)}(k))$

$$O_1^{(3)}(k) = K_p, O_2^{(3)}(k) = K_i, O_3^{(3)}(k) = K_d \quad (2)$$

输出层神经元活化函数取非负 Sigmoid 函数:

$$g(x) = \frac{1}{2}(1 + \tanh(x)) = \frac{\exp(x)}{\exp(x) + \exp(-x)}$$

取性能指标函数为

$$E(k) = (r_{in}(k) - y_{out}(k))^2 / 2$$

按梯度下降法修正网络的权系数, 并附加一使搜索快速收敛全局极小的惯性项:

$$\Delta W_{li}^{(3)}(k) = -\eta \frac{\partial E(k)}{\partial W_{li}^{(3)}} + \alpha \Delta W_{li}^{(3)}(k-1)$$

式中,  $\eta$  为学习速率;  $\alpha$  为惯性系数。

$$\frac{\partial E(k)}{\partial W_{li}^{(3)}} = \frac{\partial E(k)}{\partial y(k)} \cdot \frac{\partial y(k)}{\partial u(k)} \cdot \frac{\partial u(k)}{\partial O_l^{(3)}(k)}$$

$$\frac{\partial O_l^{(3)}(k)}{\partial I_l^{(3)}(k)} \cdot \frac{\partial I_l^{(3)}(k)}{\partial W_{li}^{(3)}(k)}$$

式中,  $\partial I_l^{(3)}(k) / \partial W_{li}^{(3)}(k) = O_i^{(2)}(k)$

由于  $\partial y(k) / \partial u(k)$  未知, 故近似用符号函数  $\text{sgn}(\partial y(k) / \partial u(k))$  取代, 所带来计算不精确的影响可通过调整学习速率  $\eta$  来补偿, 由式 (1) 和式 (2) 可得:

$$\frac{\partial u(k)}{\partial O_1^{(3)}(k)} = e(k) - e(k-1)$$

$$\frac{\partial u(k)}{\partial O_2^{(3)}(k)} = e(k)$$

$$\frac{\partial u(k)}{\partial O_3^{(3)}(k)} = e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)$$

网络输出层权的学习算法为

$$\Delta W_{li}^{(3)}(k) = \alpha \Delta W_{li}^{(3)}(k-1) + \eta \delta_l^{(3)} O_i^{(2)}(k)$$

$$\delta_l^{(3)} = e(k) \text{sgn}\left(\frac{\partial y(k)}{\partial u(k)}\right) \cdot \frac{\partial u(k)}{\partial O_l^{(3)}(k)} \cdot g'(I_l^{(3)}(k))$$

( $l = 1, 2, 3$ )

同理, 可得隐含层加权系数的学习算法:

$$\Delta W_{ij}^{(2)}(k) = \alpha \Delta W_{ij}^{(2)}(k-1) + \eta \delta_i^{(2)} O_j^{(1)}(k)$$

$$\delta_i^{(2)} = f'(I_i^{(2)}(k)) \sum_{l=1}^3 \delta_l^{(3)} W_{li}^{(2)}(k) \quad (i = 1, 2, 3, 4)$$

式中,  $g'(\cdot) = g(x)(1 - g(x)), f'(\cdot) = (1 - f^2(x)) / 2$

4) 系统软件 软件系统采用可视化软件作为平台, 在 Windows 环境下开发完成。其结构原理如图 4 所示。

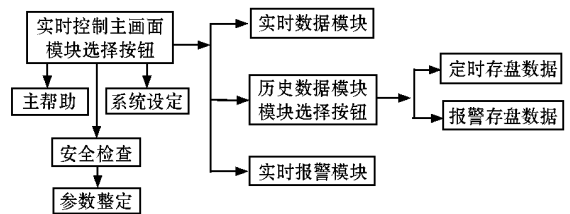


图 4 软件结构原理图

该软件系统设定合适的温度设定值, 并可动态修改各相关参数, 计算机的操作采用多级菜单操作, 汉字平台界面, 并提供十分方便的操作向导。它还具有温度越限报警功能及丰富的 CRT 显示画面, 可实时显示塑料挤出机料筒温度、输出控制量等。

(下转第 255 页)