

基于 BP 神经网络的 PID 在压延机 温度控制系统中的应用

李泉溪¹ 孙 朕^{2*} 程凌雪³

(河南理工大学计算机科学与技术学院¹, 电气工程与自动化学院², 焦作 454003; 风神轮胎股份有限公司³, 焦作 454003)

摘 要 针对风神轮胎股份有限公司压延机辊筒温度控制以及传统 PID 控制存在的设计复杂、控制精度较差和参数值实时更新复杂等问题, 对压延机辊筒温度提出了一种基于 BP 神经网络的 PID 控制方法, 并进行了计算机控制系统设计。对于午线轮胎生产中压延机辊筒的温控试验结果表明, 该 PID 控制系统逼近精度高、适应性好, 取得较满意的效果。

关键词 BP 神经网络 自适应 PID 控制 压延机 温度控制

中图法分类号 TP273.2; **文献标志码** A

在轮胎生产中, 压延成型是轮胎生产线一道非常关键的工序, 压延机辊筒温度和加热方法是保证轮胎产品生产质量的重要因素。

该公司压延机辊筒温度控制一直采用传统 PID 控制方法。传统 PID 算法存在它的局限性和缺点, 其算法只有在系统模型参数为非时变的情况下才能获得理想结果。但是压延机辊筒温度控制系统是一个含有许多不确定因素的非线性时变系统。当一个已经调整好的传统 PID 控制器应用到模型参数时变系统时, 其系统性能会降低。因此传统 PID 算法没有办法从根本上解决时变系统稳定精度和动态品质的矛盾^[1]。我们探索将 BP 神经网络技术应用于传统 PID 控制框架中。

1 BP 神经网络

BP 神经网络^[2]是一种根据误差逆传播算法训练的多层反馈网络的学习过程, 包含两个过程分别为信息的正向传播和误差的反向传播。来自外部的输入信息由输入层神经元接收, 与此同时传递给中间层神经元; 中间层主要负责信息变换, 属于内部信息处理层, 中间层以信息变化能力的需求为根据, 设计为多隐层或单隐层结构; 各神经元的信息由最后一个隐层传递到输出层, 再一次处理后, 于是完成了一次学习的正向传播过程, 信息处理结果由输出层对外界输出。当期望输出与实际输出不一致时, 便进入了误差的反向传播阶段。误差通过输出层, 使用最速下降法不断调整各层权值, 向隐层、输入层逐层反传。不断循环的信息正向传播和误差反向传播过程, 是神经网络学习训练的过程, 也是各层权值一直调整的过程, 此过程使网络的误差平方和最小。

正是由于 BP 神经网络所拥有的任意非线性表达能力, 可以通过对系统性能的学习来完成 PID 控制的最优组合^[3], 建立起参数比例系数(K_p)、积分系数(K_I)、微分系数(K_D)自学习的 PID 控制器。

2011年4月28日收到 河南省教育厅自然科学研究计划项目
(2008B510005)资助

第一作者简介: 李泉溪(1959—), 男, 河南武陟人, 河南理工大学教授, 硕士生导师, 研究方向: 嵌入式计算机应用与开发研究, E-mail: lqx427@163.com。

* 通信作者简介: 孙 朕(1986—), 男, 河南新乡人, 河南理工大学硕士研究生, 研究方向: 产品智能化和嵌入式计算机应用研究, E-mail: sunzhen19860526@163.com。

2 BP 神经网络温度控制系统

2.1 计算机温度控制系统

计算机控制系统工作原理是多段辊筒温度检测信号由计算机传感器采集,经自适应 PID 整定后控制输出,为了能满足温度控制所需要的变化量,电加热电路的功率给定值进行了自动调整。计算机控制系统见图 1。

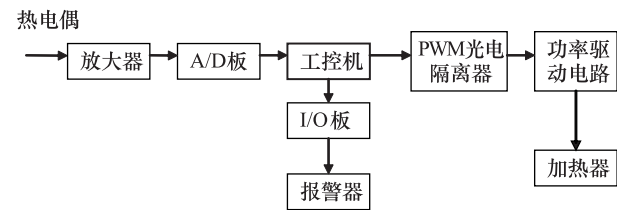


图 1 控制装置示意

2.2 基于 BP 网络的 PID 控制器

对象的模型知识对系统并没有影响,网络结构确定后,对于控制功能是否满足要求,其学习算法有着至关重要的作用。如图 2 所示为轮胎生产中压延机辊筒温控系统设计的神经网络自适应 PID 控制系统。其中 r_{in} 为设定温度值, y_{out} 为实际温度采样值 e, ε, u 为差值。

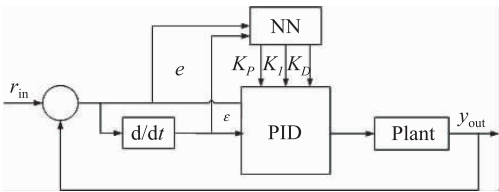


图 2 基于 BP 网络的 PID 控制结构

2.3 BP 神经网络学习算法

在其系统的运行状态基础之上,为了使某种性能指标达到最优化而通过神经网络使其 PID 的三个参数 K_p, K_i, K_d 进行了在线调整^[4]。

传统 PID 的控制计算式为:

$$u(k) = u(k-1) + K_p[e(k) - e(k-1)] + K_{Ic}(k) + K_D[e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]$$

(1)

式(1)中 K_p, K_i, K_d 为比例、积分和微分系数。
BP 网络如图 3 所示。

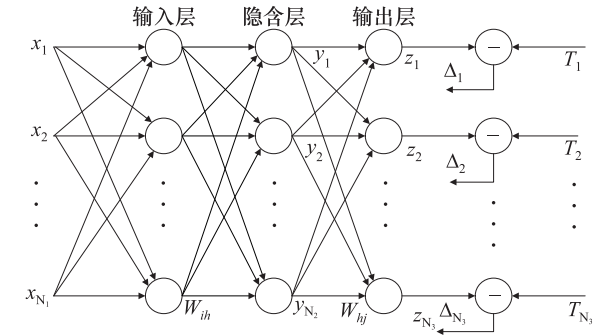


图 3 网络结构

设置误差函数 e , 给定最大学习次数 M 和计算精度值 ε ^[5], 给各连接权值分别赋了一个区间 $(-1, 1)$ 内的随机数。

随机选取了第 k 输入样本和对应期望输出:

$$x(k) = (x_1(k), x_2(k), \dots, x_n(k))$$

(2)

$$d_o(k) = (d_1(k), d_2(k), \dots, d_q(k))$$

(3)

计算隐含层神经元的输出和输入:

$$hi_h(k) = \sum_{i=1}^n w_{ih}x_i(k) - b_h, h = 1, 2, \dots, p$$

(4)

$$ho_h(k) = f(hi_h(k)), h = 1, 2, \dots, p$$

(5)

$$yi_o(k) = \sum_{h=1}^p w_{ho}ho_h(k) - b_o, o = 1, 2, \dots, q$$

(6)

$$yo_o(k) = f(yi_o(k)), o = 1, 2, \dots, q$$

(7)

利用网络实际输出和期望输出,计算误差函数对输出层神经元的偏导数:

$$\frac{\partial e}{\partial w_{ho}} = \frac{\partial e}{\partial yi_o} \frac{\partial yi_o}{\partial w_{ho}}$$

(8)

$$\frac{\partial yi_o(k)}{\partial w_{ho}} = \frac{\partial (\sum_h w_{ho}ho_h(k) - b_o)}{\partial w_{ho}} = ho_h(k)$$

(9)

利用隐含层到输出层的连接权值、输出层的 $\delta_o(k)$ 和隐含层的输出计算误差函数对隐含层神经元的偏导数 $\delta_h(k)$ 。

$$\frac{\partial e}{\partial w_{ho}} = \frac{\partial e}{\partial yi_o} \frac{\partial yi_o}{\partial w_{ho}} = -\delta_o(k)ho_h(k)$$

(10)

$$\frac{\partial e}{\partial w_{ih}} = \frac{\partial e}{\partial hi_h(k)} \frac{\partial hi_h(k)}{\partial w_{ih}} \tag{11}$$

$$\frac{\partial hi_h(k)}{\partial w_{ih}} = \frac{\partial (\sum_{i=1}^n w_{ih} x_i(k) - b_h)}{\partial w_{ih}} = x_i(k) \tag{12}$$

$$\frac{\partial e}{\partial hi_h(k)} = - (\sum_{o=1}^q \delta_o(k) w_{ho}) f'(hi_h(k)) - \delta_h(k) \tag{13}$$

利用隐含层神经元的输出和输出层各神经元的 $\delta_o(k)$ 来修正连接权值 $w_{ho}(k)$ 。

$$\Delta w_{ho}(k) = -\mu \frac{\partial e}{\partial w_{ho}} = \mu \delta_o(k) ho_h(k) \tag{14}$$

$$w_{ho}^{N+1} = w_{ho}^N + \eta \delta_o(k) ho_h(k) \tag{15}$$

利用输入层神经元的输入 $\delta_h(k)$ 和隐含层各神经元的 $\delta_h(k)$ 修正连接权。

$$\Delta w_{ih}(k) = -\mu \frac{\partial e}{\partial w_{ih}} = -\mu \frac{\partial e}{\partial hi_h(k)} \frac{\partial hi_h(k)}{\partial w_{ih}} = \delta_h(k) x_i(k) \tag{16}$$

$$w_{ih}^{N+1} = w_{ih}^N + \eta \delta_h(k) x_i(k) \tag{17}$$

计算全局误差：

$$E = \frac{1}{2m} \sum_{k=1}^m \sum_{o=1}^q (d_o(k) - y_o(k))^2 \tag{18}$$

2 实验结果与分析

根据上述提到的基于 BP 网络的 PID 控制器结构及其神经网络学习算法,子午线轮胎生产中在一台压延机进行温度控制试验。将温度设置为 150 ℃,并且每隔 200 ms 采样一次测量值,将 10 次采样数据的平均值作为一个测量值,实际温度输出值则采用 10 个测量值的平均值,其辊筒加热功率为 11 kW。

基于 BP 网络未整定的控制响应曲线和整定的 PID 响应曲线如图 4 所示。从图 4 中可以观察,在稳定误差方面,神经网络 PID 控制算法表现为零,有时为小范围内波动。神经网络 PID 控制算法有良好的动静态性能,未整定 PID 控制算法的响应速度慢于整定 PID 控制算法的响应速度。而且神经网络 PID 控制算法超调量是最好的,基本是小超调或无超调。

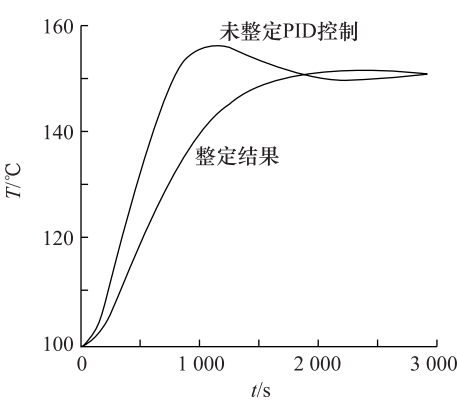


图 4 温控响应曲线

如果在功能函数中选择使用 S 型函数,会显著的增强神经网络的功能,而在功能函数中选择使用阶跃函数,则单层人工神经网络和多层人工神经网络的功能基本没有什么区别。外界和多层神经网络的输入输出的联系是非直接的。人工神经网络的神经元的单层感知器包括训练基本思想是一样的,唯一不同的是功能函数采用 S 形函数代替了阶跃函数。因为人工神经网络多层感知器的阈值函数发生了变化,而且附带了一个隐含层,因此应调整人工神经网络学习规则,使其能在更复杂的识别问题拥有更强的能力^[6]。

3 结语

本文设计的基于 BP 神经网络的 PID 温控系统实现了对风神轮胎压延机辊筒温度的智能控制。实际运行结果也证明了此系统的稳定较快、逼近精度高、适应性好,满足了压延轮胎制品在生产过程中对温度控制的要求,是一种稳定、实用而有效的控制方法。

参 考 文 献

1 姜长生,王从庆.智能控制与应用.北京:科学出版社,2007
2 史春朝,张国山.基于改进 BP 神经网络的 PID 控制方法研究.计算机仿真,2006;23(12):156—159
3 赵振宇.模糊理论和神经网络的基础与应用.北京:清华大学出版社,2004
4 阎树田,姜志科,牛万才,等.基于 BP 神经网络的模型参考自适

应 PID 控制器的研究. 现代制造工程, 2006;(9):112—114

6 张 越,张 炎,赵延军. 基于单片机和模糊控制的水温自动控

5 李士勇. 模糊控制、神经网络和智能控制论. 哈尔滨:哈尔滨工业

制系统仪表技术与传感器,2007;(4):71—72

大学出版社,2002

Temperature Control System of Calender Roller Based
on BP Neural Network PID

LI Quan-xi¹,SUN Zhen^{2*},CHENG Ling-xue³

(School of Computer Science & Technology¹, School of Electrical Engineering& Automation², Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, P. R. China;
Fengsheng Tire Limited Company³, Jiaozuo 454003, P. R. China)

[Abstract] A PID control method based on BP neural network was proposed, aiming at the temperature control of rollers for calender in Fengsheng Tire Limited Company and the limitations of the conventional PID control which resulted from complicated design, the poorer control accuracy and real-time update complicated parameter. The computer control system was also presented. The experiment results show that the method has the advantage of the high approach precision and self-adaptive, getting more satisfied results.

[Key words] BP neural network self-adaptive PID control calendar temperature control

(上接第 6090 页)

Research of Humanoid Robot Voluntary Movement
in 3D Computer Animation

QIAN Chi-bo,XUE Xiao-ming

(Changzhou College of Information Technology, Changzhou 213164,P. R. China)

[Abstract] It is urgent breakthrough technology for the development of computer image processing to research 3D humanoid robot voluntary movement in the complex environment due to the traditional way of dealing with time-consuming and too complex. In response to these problems, a motion planning system capable of generating both global and local motions for a humanoid robot in a layered or two and half dimensional environment are proposed, so that the humanoid robot in the rugged environment to achieve frontal and side walking, jogging and jumping procedural animation. The results show that the proposed method is simple and fast.

[Key words] global path planner local path planner 3D humanoid robot voluntary movement computer animation