

中央空调冷冻水系统的神经 PID 控制

岳巨忠

(青岛理工大学 自动化学院, 山东 青岛 266520)

摘要: 在对神经网络 PID 控制器的设计中, 利用神经网络对 PID 控制器参数 k_p, k_i, k_d 的在线整定与调整, 实现对中央空调冷冻水变流量的控制, 使系统具有良好的稳态性能与控制精度。

关键词: 神经网络; PID 控制器; 中央空调; 变流量

中图分类号: TP183

文献标识码: B

文章编号: 1674-7720(2012)03-0071-02

The nervous PID control of central air-conditioning chilled water system

Yue Juzhong

(College of Automation, Qingdao Technological University, Qingdao 266520, China)

Abstract: This article achieves the central air-conditioning chilled water variable flow control by designing the neural network PID controller. Using neural network to adjust PID controller parameters k_p, k_i, k_d , and the system has good steady state performance and control accuracy.

Key words: neural network; PID controller; central air conditioning; variable flow

中央空调在整个智能楼宇建筑系统中的能耗比例较大, 约占整个建筑能耗的 50%, 中央空调整能措施的研究是我国现阶段空调研究的主要方向。中央空调变水量系统是当实际负荷的改变时, 通过变频器实现水泵转速的改变, 从而改变系统冷冻水的流量, 实现空调的节能目标。

由于中央空调是一个非线性、大滞后、时变的系统, 要想通过 PID 达到一个良好的控制效果, 必须对 PID 的 3 个参数合理选取。在以往的 PID 控制变频调节中, PID 参数的整定需在现场调试的过程中不断地加以调整才能实现良好的控制, 在应用上普通的 PID 调节很难实现系统的稳定运行, 而且对工况及环境变化的适应能力差。而神经网络 PID 控制的中央空调水系统通过不断的调整权值参数可对 PID 参数 k_p, k_i, k_d 进行在线式调整, 可以随环境的变化实现对参数的调整, 对数学模型要求也不是很高, 在稳定性和适应能力方面具有良好的性能^[1]。

1 中央空调冷冻水二次泵控制方案

本文应用压差控制来实现中央空调水系统中水泵的变频。压差控制采用冷冻水环路中离泵最远的空调用户端(最不利支路)的压差与压差设定值比较的偏差, 作

为控制器的输入改变变频器的值, 控制水泵电机转速改变流量, 使检测处的压差跟随设定值, 满足系统负荷需要^[1]。当房间的负荷降低时, 造成最不利支路上冷冻水电动阀门开度减小, 冷冻水的流量减小, 压差增大。通过与设定压差比较, 改变二次水泵的转速, 降低其流速, 使最不利支路上的压差减小。

2 冷冻水变流量控制器的设计

2.1 神经 PID 控制原理

利用 BP 神经网络具有逼近任意非线性函数的能力、自学习的能力及非线性映射能力。将其运用到 PID 控制调节中, 并根据系统的运行状态, 通过不断调整权值、不断调节 PID 控制器的 3 个参数, 以期达到某种控制规律下性能指标的最优化。

BP 神经网络结构由输入层、隐含层、输出层 3 层网络组成, 如图 1 所示。通过隐含层和输出层活化函数的计算, 使输出层的神经元状态对应 PID 控制器的 3 个可调参数 k_p, k_i, k_d , 来实现系统的在线整定^[2]。

经典增量式控制算法:

$$u(k) = u(k-1) + k_p(e(k) - e(k-1)) + k_{ie}(k) + k_d(e(k) - 2e(k-1) + e(k-2))$$

其中 k_p, k_i, k_d 分别为比例、积分、微分系数。

技术与方法 Technique and Method

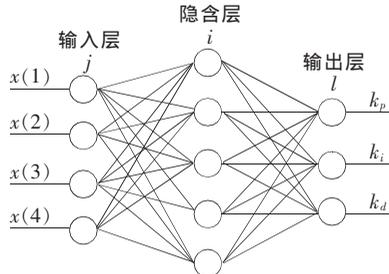


图1 BP神经网络结构图

网络输入层的输入：

$$O_j^{(1)}(k) = x(j) = e(k-j), j=1, 2, \dots, M-1$$

$$O_M^{(1)}(k) = 1$$

式中输入变量的个数取决于被控系统的复杂程度。

网络隐含层的输入输出为：

$$net_i^{(2)}(k) = \sum_{j=0}^M w_{ij}^{(2)}(k) O_j^{(1)}(k)$$

$$O_i^{(2)}(k) = f(net_i^{(2)}(k)) (i=1, 2, \dots, Q)$$

式中 $w_{ij}^{(2)}(k)$ 代表隐含层的权系数，上角标(1)、(2)、(3)分别代表输入层、隐含层和输出层。隐含层取正负对称的 sigmoid 活化函数。

输出层的输入输出为：

$$net_l^{(3)}(k) = \sum_{j=0}^M w_{lj}^{(3)}(k) O_j^{(2)}(k)$$

$$O_l^{(3)}(k) = g(net_l^{(3)}(k))$$

输出层输出节点分别对应可调参数 k_p, k_i, k_d 。由于 k_p, k_i, k_d 不能为负值，所以输出层神经元取非负的 sigmoid 活化函数。

按照梯度下降法修正网络的权系数，输出层的加权系数的学习算法为：

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

$$\delta_l^{(3)} = e(k) \operatorname{sgn}\left(\frac{\partial y(k)}{\partial u(k)}\right) - \frac{\partial u(k)}{\partial O_l^{(3)}(k)} g'(net_l^{(3)}(k))$$

式中 η 为学习效率， α 为惯性系数。

同理，隐含层的加权系数的学习算法为：

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

$$\delta_i^{(2)} = f'(net_i^{(2)}(k)) \sum_{l=1}^3 \delta_l^{(3)} w_{li}^{(3)}(k)$$

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

2.2 神经网络 PID 控制器结构

基于 BP 神经网络的 PID 控制器的系统结构如图 2 所示，其控制器是由常规的 PID 控制器和神经网络两部分组成。在控制器中，常规的 PID 控制器与被控对象形成闭环控制，通过不断采集被控对象输出，使被控对象的输出趋于稳定，并使系统的误差趋于零；神经网络根据系统误差值来作为它的输入，通过神经网络的自学习

能力和加权系数的不断调整，使输出层神经元的输出对应于控制器的可调参数 k_p, k_i, k_d ，来调整控制器的输出，使系统运行状态快速稳定。

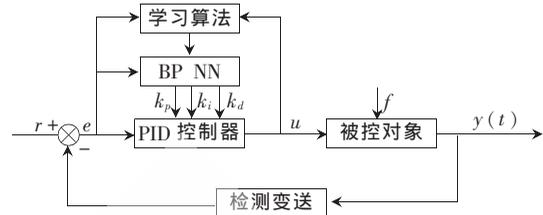


图2 神经网络PID控制器结构图

3 冷冻水神经网络PID控制仿真程序设计

本文利用系统辨识工具箱，采用最小二乘法辨识得出的中央空调冷冻水压差控制的数学模型^[3]，其被控对象的近似数学模型为：

$$G_c(s) = \frac{0.1084s + 0.2119}{s^2 + 1.8987s + 0.43444}$$

用基于 BP 神经网络的 PID 控制器对其进行控制，神经网络 NN 的结构为 $4 \times 5 \times 3$ 结构，且学习速率 $\eta = 0.00003$ 和惯性系数 $\alpha = 0.00003$ ，加权系数 w 初始值取 $[-0.5, 0.5]$ 上的随机数，输入参考信号 $r(k)$ 取幅值为 3 的阶跃信号^[4]。

4 运行结果及节能效益分析

其 Matlab 仿真结果如图 3、图 4 所示。

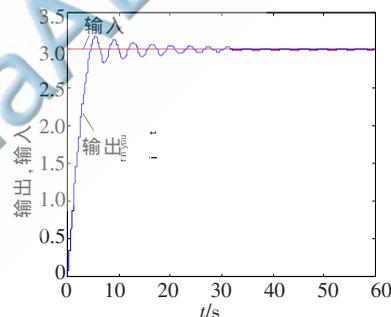


图3 输入输出曲线

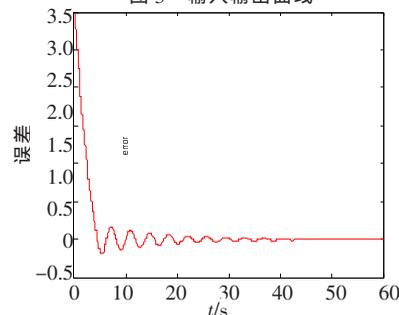


图4 误差曲线

通过对 Matlab 仿真曲线的研究，可以知道基于神经网络 PID 的中央空调水系统的控制具有良好的稳定性和跟随性，在 40 s 后系统基本上处于稳定运行状态，并且具有较好的快速性和适应能力，系统的控制特性和控制精度良好。

技术与方法 Technique and Method

本文利用 BP 神经网络具有自学习、自组织能力的特点,通过设计神经网络 PID 控制器来实现对中央空调冷冻水变流量的控制,实现了系统对 PID 参数的在线自整定和优化的能力,避免了依靠人工整定 PID 参数而导致系统出现大超调、不稳定等现象。同时该算法具有很强的适应能力,不需要被控对象的精确数学模型就能使系统具有良好的控制效果,运行方案是非常可行的。在实现中央空调水系统变流量压差控制运行的基础上及对于将来空调节能的发展具有广阔的前景。

参考文献

- [1] 李玉街,蔡小兵,郭林.中央空调系统模糊控制节能技术及应用[M].北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [2] 曾军,方厚辉.神经网络 PID 控制及其 Matlab 仿真[J].现代电子技术,2004.
- [3] 吴俊.中央空调水系统优化节能控制[D].西安:西安建筑科技大学,2008.
- [4] 庞中华,崔红.系统辨识与自适应控制 Matlab 仿真[M].北京:北京航空航天大学出版社,2009.

(收稿日期:2011-10-08)

作者简介:

岳巨忠,男,1985年生,硕士,主要研究方向:中央空调水系统的优化控制。

