

基于 BP 神经网络的汽包建模及其控制器设计

彭奎, 廖碧莲, 宋绍剑

(广西大学 电气工程学院, 广西南宁 530004)

摘要:针对锅炉汽包系统的强耦合性和非线性及传统的 PID 控制方法存在控制精度低、调节时间长等问题,提出了利用基于数据的建模方法,对汽包系统进行误差反向传播(BP)神经网络建模,并对神经网络模型进行泛化能力测试,然后利用基于 BP 神经网络的 PID 控制方法设计汽包液位优化控制器。实验仿真结果表明,基于 BP 神经网络建立的汽包模型具有较好的泛化能力,神经网络 PID 优化控制器在控制精度高、收敛速度快和鲁棒性强等方面都优于传统 PID 控制器。

关键词:汽包液位;BP 神经网络;神经 PID

中图分类号:TP342

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)06-0122-03

Modeling and Controller Designing of Drum Based on BP Neural Network

PENG Kui, LIAO Bi-lian, SONG Shao-jian

(School of Electrical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: Boiler drum system is a nonlinear and strong coupling system. The traditional PID control method has these problems such as low precision control, long regulation time. A model of boiler drum system based on back propagation (BP) neural network is built, and the generalization ability of neural network model is tested. Then the optimal controller of the drum system is designed by the neural network PID based on BP neural network. Simulation results show that the BP neural network model has a better generalization ability, neural PID controller has high control precision, fast convergence and robustness advantages than traditional PID controller.

Key words: drum level; BP neural network; neural PID

0 引言

锅炉汽包系统是一个强耦合和非线性系统,汽包水位不仅与汽包的进水量有关还与汽包的蒸汽流量有关。保持汽包内的正常液位是保证锅炉和机组安全运行的最重要的条件之一。液位过低就可能破坏部分水冷壁的水循环,引起水冷壁的局部过热而造成汽包被烧坏的危险;如果液位过高,会导致蒸汽带水进入过热器并在过热管内结垢,产生的蒸汽的质量就会受到一定的影响,严重的还会引起过热器爆管,所以汽包液位的优化控制非常重要^[1,2]。

针对汽包系统的复杂机理,很难找到精确的汽包数学模型。因此,文中提出基于 BP 神经网络的建模方法,并采用神经 PID 优化控制方法设计汽包液位控制器。

收稿日期:2010-12-22;修回日期:2011-03-25

基金项目:国家自然科学基金(60964002);广西自然科学基金(0991057)

作者简介:彭奎(1984-),男,安徽淮南人,硕士研究生,研究方向为智能控制、智能优化控制等;廖碧莲,讲师,硕士,研究方向为过程控制、电力系统继电保护。

1 汽包系统的优化模型

1.1 汽包液位控制系统分析

汽包液位控制系统实质上是维持锅炉进出水量平衡的系统。它是以液位作为进水平衡与否的重要指标,通过调整进水量,保持汽包水位维持在稳定状态^[3]。

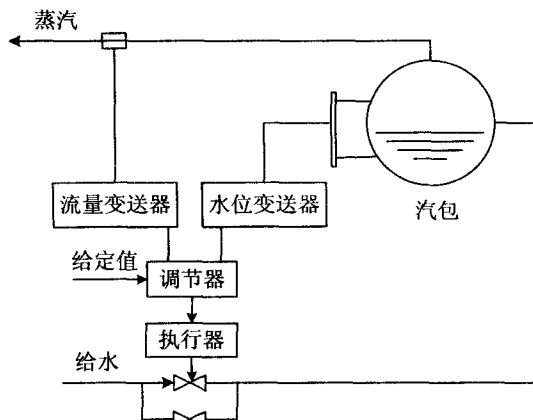


图1 汽包系统液位自动调节系统

锅炉汽包液位自动调节系统是由蒸汽流量和给水量两个冲量去改变液位的高低。如图1所示,当负荷

变化时,首先是蒸汽流量的变化,在引起水位大幅波动之前,通过调节蒸汽流量和给水量,从而减少水位的波动,改善了液位的调节^[4,5]。

1.2 基于BP网络的汽包优化模型

用机理方法对汽包液位进行系统建模时,需要对输入-输出之间的非线性函数进行线性化处理,并且很难找到合适的汽包液位数学表达式。因此,采用基于历史数据的BP神经网络对汽包系统进行动态建模^[6]。

BP神经网络是一种前馈型神经网络,能够实现复杂非线性系统的映射^[7]。针对汽包系统的特性,神经网络模型如图2所示。

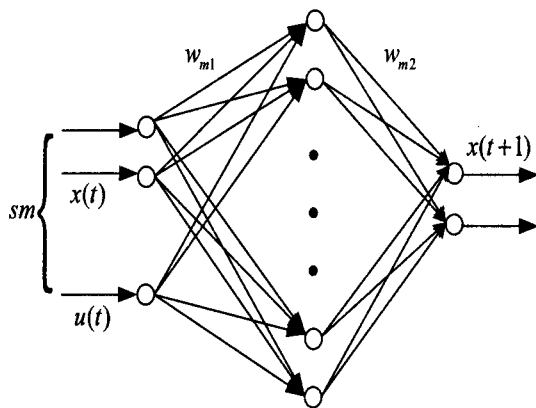


图2 汽包系统神经网络结构

模型网络的结构是:3-10-2,如图3所示,sm表示模型网络的输入, $sm = [x(t) \ u(t)]$, $x(t)$ 是采集的历史数据库中t时刻的状态量(汽包液位和蒸汽流量), $u(t)$ 是历史数据库中t时刻的控制量(汽包给水量), $x(t+1)$ 是模型网络的实际输出值(即为预测下一个时间的状态值)。

前向计算模型网络,其中tansig函数为双极性转移函数:

输入层到隐层:

$$mh1 = w_{m1}^T sm \quad (1)$$

隐层的输出值:

$$mh2 = \text{tansig}(mh1) \quad (2)$$

隐层到输出层:

$$v = w_{m2}^T mh2 \quad (3)$$

通过非线性转移后,模型网络的输出为:

$$x(t+1) = \text{tansig}(v) \quad (4)$$

定义模型网络误差:

$$e_m = d(t+1) - x(t+1);$$

$$E = \frac{1}{2} e_m^2; \quad (5)$$

其中, $d(t+1)$ 是t+1时刻的期望输出值。采用梯度下降法调整网络权值,模型网络的隐层到输出层的权值调整:

$$\Delta w_{m2} = -l_m \frac{\partial E}{\partial w_{m2}} = -l_m \frac{\partial E}{\partial e_m} \frac{\partial e_m}{\partial w_{m2}} = -l_m e_m mh2 \quad (6)$$

$$w_{m2} = w_{m2} + \Delta w_{m2} \quad (7)$$

模型网络的输入层到隐层的权值调整:

$$\Delta w_{m1} = -l_m e_m \frac{\partial e_m}{\partial x(t+1)} \frac{\partial x(t+1)}{\partial v} \frac{\partial v}{\partial mh2} \frac{\partial mh2}{\partial mh1}$$

$$\frac{\partial mh1}{\partial w_{m1}}$$

$$w_{m1} = w_{m1} + \Delta w_{m1} \quad (8)$$

其中 $l_m = 0.05$ 是模型网络的学习率。

BP神经网络的模型的训练是基于大量离线的历史数据,根据广西某锅炉DCS采集的700组数据,经过数据的预处理,选用其中的300组数据作为训练样本,另外300组数据作为模型的泛化能力测试。

1.3 模型网络的泛化能力测试

图3为训练好的汽包神经网络模型泛化能力测试曲线。由测试曲线可知,采用基于数据的BP神经网络建立的汽包模型具有较好的泛化能力。

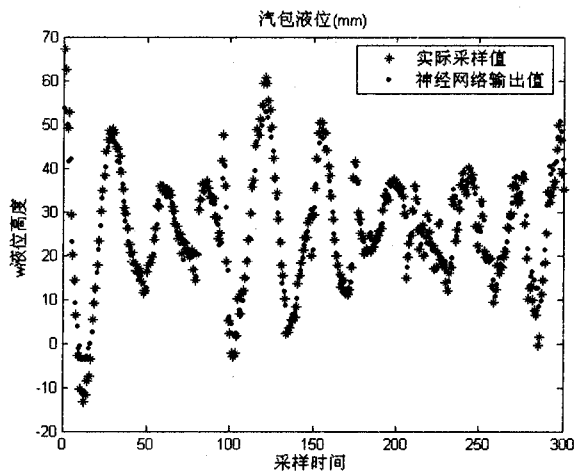


图3 神经网络模型的泛化能力

2 汽包液位优化控制器的设计

对于不确定和未知对象,为了达到有效的控制目标,需要对被控对象进行神经网络PID控制器的设计。基于BP神经网络的PID控制器是利用BP神经网络所具有的任意非线性的映射能力,可以通过系统学习来实现最佳的PID控制,从而使PID控制器的三个参数调整到最佳状态^[8,9]。

文中根据汽包系统的输入和输出特性,利用基于BP神经网络的PID控制方法设计汽包液位控制器,系统结构如图4所示。神经PID控制器由传统的PID控制和BP神经网络两个部分组成,通过在线调节神经PID控制器的三个参数 k_p , k_i , k_d ,达到汽包液位的PID控制器参数的最优^[10]。

采用三层BP神经网络,控制系统的结构如图5所

示,采用梯度下降法调整 BP 神经网络 PID 控制器的主要步骤是^[11]:

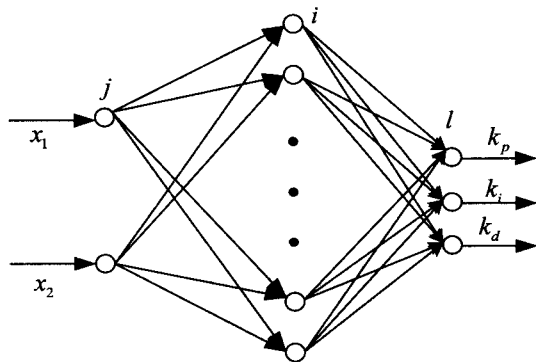


图4 BP神经网络的PID结构图

1) 确定 BP 神经网络输入层节点数 j , 隐含层节点数 i , 并初始化各层权值, 选定学习率^[12]。

2) 根据 DCS 采集的数据得到 $rink(k)$ 和 $yout(k)$, 计算 k 时刻的误差 $e(k) = rink(k) - yout(k)$ 。

3) 前向计算 BP 神经网络, 神经网络的输出为 PID 控制器的三个参数 k_p, k_i, k_d 。

4) 计算神经网络 PID 控制器的输出 $u(k)$:

$$\begin{cases} u(k) = u(k-1) + \Delta u(k) \\ \Delta u(k) = k_p(e(k) - e(k-1)) + k_i(e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)) \end{cases}$$

5) 利用误差反向传播算法, 在线调整神经网络权值, 实现 PID 控制器参数的自适应调整。

6) 令 $k = k + 1$, 返回步骤 1)。

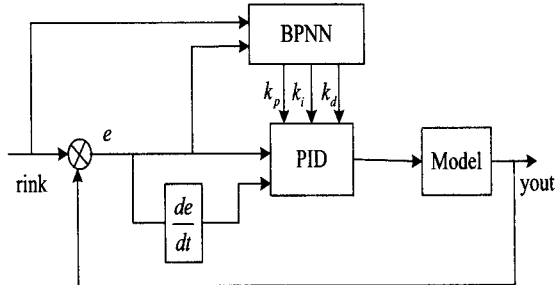


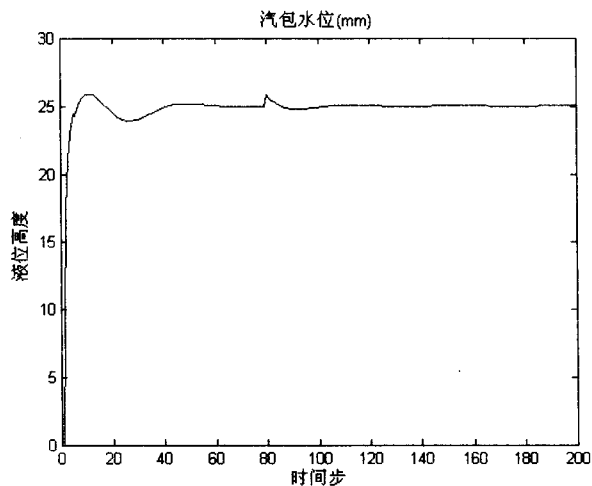
图5 基于BP神经网络PID控制系统

3 仿真与测试

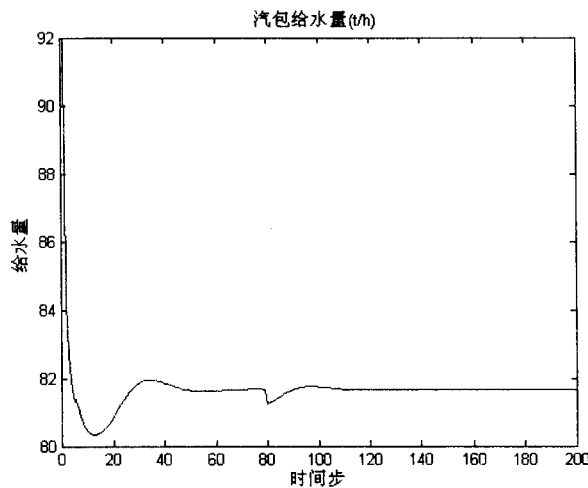
在 MATLAB 环境下编程实现基于 BP 神经网络的 PID 优化控制程序, 对汽包水位进行仿真优化控制。汽包的安全运行主要取决于汽包液位的稳定, 文中根据 75t/h 的锅炉汽包的要求选择控制目标是要使汽包液位维持在 25mm, 基于 BP 神经网络的 PID 控制结果如图 6 所示。

由仿真结果可以看出, 基于 BP 神经网络的 PID 控制器在经过 40 个时间步后就达到了稳定, 在第 80 个时间步的时候, 控制器受到外界的扰动, 神经 PID 控制器迅速做出调整, 经过 10 个时间步后达到稳定。神

经 PID 控制器并可以根据控制的实际需要选择合适的控制目标。



(a) 汽包液位



(b) 汽包给水量

图6 神经PID控制结果

4 结束语

文中针对汽包液位优化控制问题, 首先是对汽包系统进行分析, 然后利用基于数据的方法对汽包系统进行 BP 神经网络建模, 并验证基于数据的神经网络所建立的模型具有较强的泛化能力; 然后基于 BP 神经网络的 PID 设计优化控制器。

通过仿真验证, 采用基于 BP 神经网络的 PID 控制器具有鲁棒性强、控制精度高、收敛速度快等优点。可以满足工业生产中汽包安全性的要求, 实现了汽包系统的优化控制的目标。

参考文献:

- [1] 孙学信. 燃煤锅炉燃烧试验技术与方法[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.

符合条件的数据包,配置时要特别注意以免造成网络中断。

4)接口引用原则。

在应用 ACL 时,因为标准 ACL 只限于过滤源地址,若将 ACL 应用在源端口会阻止报文流向其他端口,所以应将其应用在靠近目的端口的位置;而扩展 ACL 根据其使用的目的和特点则应尽量放在过滤源的位置上。同时,对于一个协议,一个接口的一个方向上同一时间内只能设置一个 ACL。

5)应用有效原则。

ACL 在被应用到端口前对数据流不产生控制。因此在定义 ACL 后,必需将其应用到路由交换设备的某接口或某种协议上,并指明方向(接口方向以路由交换设备为参考点,进入路由交换设备为 IN 方向,出路由交换设备为 OUT 方向)。另外,在已有 ACL 末尾添加新的表项并不能改变其原有的功能,若要改变,必须重新创建一个 ACL 并应用于设备接口上才能生效。

6)注解语句原则。

正确管理和维护 ACL 比较困难,特别是大规模的网络,因此要将 ACL 的每一条规则作详细的注解,并对配置的 ACL 和每一条规则的改变做日志,以备日后追踪修改。

5 结束语

ACL 的主要作用是基于已经建立的标准允许或拒绝报文流,虽然它不能完全保证网络的安全,但由于 ACL 的配置简单易行且不用增加硬件设备,与防火墙配合使用不但提升网络的性能,而且还可减轻网络防火墙的负担。因此结合实际情况,在网络中合理适当

地使用 ACL 进行访问权限控制,网络性能将会得到很大提升。

参考文献:

- [1] 潘文婵,章 韵. 路由器访问控制列表在网络安全中的应用[J]. 计算机技术与发展,2010,20(8):160-62.
- [2] 李 新,孙忠涛. 高校校园网安全管理研究[J]. 中国现代教育装备,2010(9):27-29.
- [3] Aura G, Wongthavarawat K. Software Framework for QoS Support in Home Networks[J]. Computer Networks, 2003(5):7-22.
- [4] 兀 俊. ACL 访问控制列表在交易连接平台上的应用[D]. 上海:复旦大学,2008.
- [5] Held G, Hundley K. CISCO 访问表配制指南[M]. 前导工作室,译. 北京:机械工业出版社,2005.
- [6] Zeinalipour-Yazti D. Topologically Aware Overlay Networks Using Domain Names[J]. Computer Networks, 2006(16):3064-3082.
- [7] 李 强. 访问控制列表(ACL)在网络安全设计中的应用[J]. 计算机与网络,2004(7):60-61.
- [8] Tanenbaum A S. Computer Networks[M]. Beijing: Published by Tsinghua University, 2005.
- [9] Forouzan S R. TCP/IP 协议族[M]. 第3版. 谢希仁,译. 北京:电子工业出版社,2007.
- [10] 王 芳. 路由器访问控制列表及其应用技术研究[D]. 郑州:解放军信息工程大学,2007.
- [11] 石 光. 网络安全技术综述[J]. 长沙铁道学院学报(社会科学版),2007,8(3):180-181.
- [12] 周 星,汪国安,张 震. 网络层访问控制列表的应用[J]. 河南大学学报(自然科学版),2004(3):67-68.
- [13] 潘常春. 主机网络安全及其关键技术研究[J]. 广西教育学院学报,2005(4):63-67.

(上接第124页)

- [2] 黄付刚,李兰君. 基于模糊-PID 控制的锅炉汽包水位自适应研究[J]. 机电信息,2010(6):101-103.
- [3] 丁 虎. PID 参数整定新方法在锅炉蒸汽压力系统中的应用[J]. 哈尔滨工业大学学报,2010,42(1):163-168.
- [4] 卓旭升. 汽包锅炉的一种非线性串级控制设计[J]. 控制工程,2010,17(S0):22-24.
- [5] 辛广路. 锅炉运行与操作指南[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
- [6] 张小桃. 基于现场数据的汽包压力动态建模研究与仿真[J]. 动力工程,2004,24(3):370-374.
- [7] 秦富童,岳丽华. 应用 BP 神经网络的目标识别效果评估[J]. 计算机工程与应用,2010,46(5):148-150.
- [8] Chen Haorui. Analysis on the percolation from root zone of winter wheat: Combination of a numerical model and BP Artificial Neural Network[C]//2010 International Conference on Information and Emerging Technologies (ICIET). [s. l.]: [s. n.], 2010:213-217.
- [9] 朱喜娜,陆 达,范汉青. 基于 BP 算法 PID 控制器的研究[J]. 计算机技术与发展,2010,20(5):183-186.
- [10] Petrovl M. Fuzzy PID Control of Nonlinear Plants[C]//2002 First International IEEE Symposium "Intelligent Systems". [s. l.]: [s. n.], 2002:30-35.
- [11] 黄友锐,曲立国. PID 控制器参数整定与实现[M]. 北京:科学出版社,2010.
- [12] Jiang Guoyin. Research on Credit Rating Method Based on BP NN [C]//International Conference on Service System and Service Management. [s. l.]: [s. n.], 2007:1-4.