

改进型Elman网络在水厂智能投药控制系统中的应用

漆为民, 杨晓林

(江汉大学 物理与信息工程学院, 武汉 430056)

摘要: 水厂投药系统由于存在非线性、大滞后、多输入因子等特点, 多年来难以实现自动控制. 在充分分析自来水厂现有的大量有效历史数据和丰富实践经验的基础上, 建立了基于Elman动态神经网络的智能混凝投药控制方式, 并对系统的实现作了较为详细的说明. 实践证明, 该系统具有自学习和自适应的能力, 控制精度高, 克服了传统人工操作的失误隐患, 并取得了较好的经济效益.

关键词: 投药系统; 水厂; 智能控制; Elman动态神经网络

中图分类号: TP183; TD991.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-0143(2009)01-0066-04

0 引言

自来水混凝投药工艺是自来水制水工艺的关键及核心工艺之一, 该工艺的作用是将进水通过与矾的混凝反应, 经过沉淀使滤前水的浊度降低到一个可控的范围, 滤前水再经过滤池过滤使出厂水达到国家标准要求的浊度. 因此该生产工艺的控制效果关系城市的供水安全. 而自来水投药又是一个复杂的工业生产过程, 江河水浊度一年内变化巨大, 絮凝剂反应时间随温度而变化, 使得整个系统具有非线性、大滞后、多输入因子(进水流量、进水浊度和温度、pH值、矾浓度等)、不确定性、时变性等特点, 难以实现投药控制系统自动化^[1]. 目前大部分水厂仍采用人工控制投药量, 具有不稳定性 and 随意性, 存在饮水安全隐患.

实现混凝投药的自动控制可以稳定出厂水水质, 降低制水成本, 减轻工人劳动强度. 目前采用的混凝投药技术虽然能部分解决投药问题, 但都存在一定的缺陷, 且适应性差. 研究和开发出一种性能优良、适应性好的混凝投药控制技术, 具有重要的理论和实际意义. 基于Elman动态神经网络的水厂智能投药控制系统经过1年多的研制, 以PAC为底层平台, 动态神经网络算法为核心^[2], 在某水厂经过一年试运行, 取得了良好效

果, 实现了神经网络算法在实际工程中的应用. 因此, 解决自来水投药系统的自动控制, 具有重大的经济效益和安全效益.

1 水处理流程

自来水厂常规处理工艺流程见图1. 源水通过取水泵房, 加入混凝剂后进入反应池, 在反应池中混凝剂与水中的悬浮颗粒进行化学反应, 形成具有良好沉淀性能的絮凝体, 在沉淀池充分沉淀后得到较洁净的水进入滤池过滤, 滤后水经杀菌消毒后通过送水泵房送水出厂. 从混凝剂投加到沉淀池出水浊度发生变化需要较长的时间, 混凝剂的投加量除取决于源水流量和浊度外, 还受水温、pH值、水中杂质的成分、性质等因素的影响. 同时还要在满足出厂水浊度要求的前提下尽量减少混凝剂的投加量, 以降低生产成本.

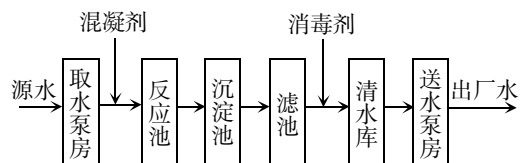


图1 自来水生产的工艺流程

2 系统硬件框架

系统硬件包含了以PAC (programmable auto-

收稿日期: 2008-11-07

基金项目: 武汉市科技计划项目 (200751699478-03)

作者简介: 漆为民 (1975-), 男, 湖北武汉人, 讲师, 博士生, 主要从事智能控制算法研究.

mation controller) 为底层核心组成的面向对象的控制系统,并以PC机为核心组成上层计算机管理和人机界面系统.两级计算机控制系统由以太网通信连接,具有可靠性高、I/O口扩展灵活的特征.其组成系统框图见图2.

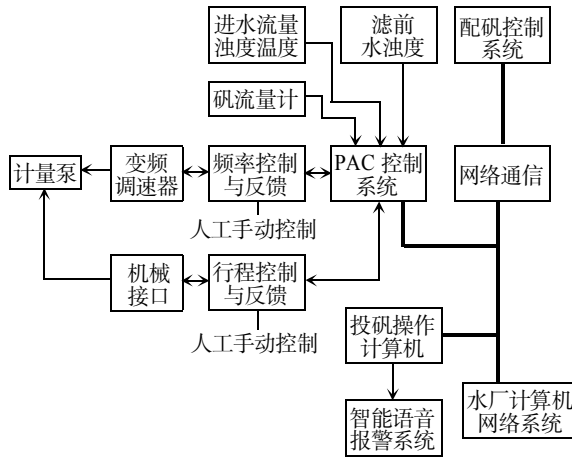


图2 自来水投药自动控制系统框图

从图2可以看出,涉及底层的检测和控制,都由PAC来完成;系统的显示、人机对话操作、算法软件及数据库等则由上位计算机完成.

3 动态回归神经网络

考虑到投药系统是非线性、大滞后的动态系统,若采用传统的静态前向网络(如BP网络)对动态系统进行辨识,必然会出现许多问题.本控制系统经多次实验,采取了一种改进的Elman动态网络^[3],较好地提高了逼近能力,加快了收敛速度.

Elman神经网络是一种典型的动态神经网络,自身含有动态环节,无需使用较多的系统状态作为输入,从而减少了输入层单元数.对未知模型阶次的动态系统辨识,Elman网络不会出现网络结构膨胀问题.但基本Elman网络只对一阶系统能有效辨识,而水厂投矾系统是非线性高阶系统,为此我们采用改进的Elman网络来实现对模型的控制及预测^[4].

图3为改进型Elman的网络结构图^[5].改进的Elman网络在结构单元中,有一个固定增益的自反馈连接.因此,结构单元在 k 时刻的输出,将等于隐层在 $k-1$ 时刻的输出加上结构单元在上一时刻输出值的 α 倍.当相同的固定增益 α 为零时,修改的网络就退化为基本的Elman网络.

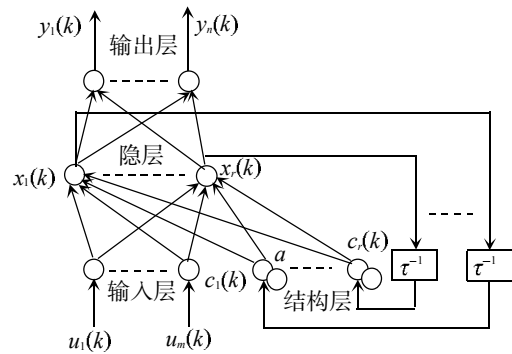


图3 一种改进的Elman网络结构

改进型Elman网络的输入层、隐含层和输出层的连接类似于前馈网络,输入层的单元仅起信号传输作用,输出层单元起线性加权作用.隐层单元的传递函数可采用线性或非线性函数,结构层用来保存隐层单元前一时刻的输出值并返回给隐层和输出层,可以认为是1个一步延时算子.

设网络的输入层、输出层、隐层的个数分别为 m 、 n 、 r , w_1 、 w_2 、 w_3 分别为结构单元到隐层、输入层到隐层,以及隐层到输出层的连接权矩阵, $f(\cdot)$ 和 $g(\cdot)$ 分别为输出单元和隐层单元之激发函数所组成的非线性向量函数.其非线性状态空间表达式为

$$x_j(k) = f\left(\sum_{i=1}^m w_{2i,j} u_i(k) + \sum_{i=1}^r w_{1i,j} c_i(k)\right), \quad (1)$$

$$c_i(k) = x_i(k-1) + \alpha \times c_i(k-1), \quad (2)$$

$$y_j(k) = g\left(\sum_{i=1}^r w_{3i,j} x_i(k)\right). \quad (3)$$

4 改进型Elman神经网络的学习算法

针对水厂投药系统的动态性,采用在线训练神经网络权值并实时修正.每次采样后得到的数据加入数据库,用来训练神经网络;进入网络训练的数据样本均先进行了一定处理,将一些干扰数据去除.同时每隔5min就进行一次神经网络训练,以便实时与水厂实际动态系统匹配.为了提高在线训练的实时性,以系统性能指标 J 为训练目标函数,并以网络输出误差最小来调节权值 w_1 、 w_2 、 w_3 ^[6].输出误差定义为

$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^T \sum_{i=1}^N (Y_i^{(k)} - y_i^{(k)})^2. \quad (4)$$

网络权值修正表达式为

$$w^{(k+1)}(L) = w^{(k)}(L) + \lambda \Delta w^{(k)}(L), \quad L=1,2,3. \quad (5)$$

这里 ω 是权值向量,采用最小二乘法训练神

神经网络有一个初值问题,初始权值和阈值通常都是选的随机数,再通过在线训练使之逐步稳定.但这样训练初期效果难以保证,为此先采集少量样本数据离线训练神经网络,从而预置神经网络的初始权值和阈值.

则在 $k+1$ 时刻的输出也可用 k 时刻误差补偿

$$y(k+1) = \hat{y}(k+1) + e(k). \quad (6)$$

算法具体实施步骤为:

- ① 初始化模型和神经网络. 离线初步训练神经网络, 预置神经网络初始权值和阈值;
- ② 检测实际输出 $y(k)$, 前向计算网络输出 $\hat{y}(k)$ 并计算预测误差 $e(k)$;
- ③ 计算补偿输入分量 Δu_c 和控制增量 Δu ;
- ④ 计算 $u_c(k+1)$ 和 $u(k+1)$;
- ⑤ 用递推最小二乘法学习网络权值及阈值一次;
- ⑥ 令 $k=k+1$, 转入 ②.

为比较改进的 Elman 网络相对于传统 BP 网络在动态系统仿真方面的优点, 设动态系统模型为

$$y(k+1) = 0.8y(k) + \frac{1}{y(k)+1} - 0.5u(k) * u(k). \quad (7)$$

输入信号 $u(k)$ 为两个正弦信号的叠加

$$u(k) = 0.4 \sin\left(\frac{5\pi k}{14}\right) + 0.6 \sin\left(\frac{3\pi k}{11}\right), \quad (8)$$

其中 $k=1, 2, \dots, 120$, 得到 120 组训练数据, 分别采用改进的 Elman 网络和 BP 网络进行学习. 设定改进的 Elman 网络隐层和记忆层单元均为 12, 传递函数为 tansig 函数, 训练函数采用 Matlab 7.0 中提供的自适应梯度递减训练函数 (traingdx). 经过 300 次训练, 得到两种网络的误差变化曲线如图 4.

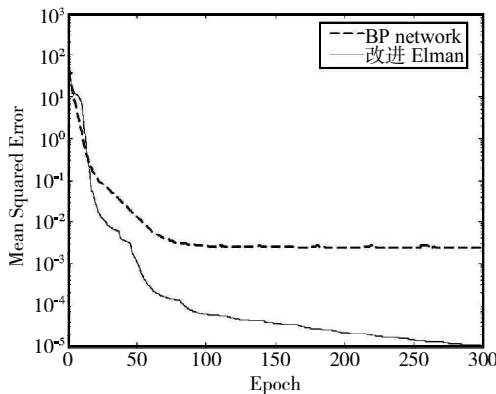


图 4 两种网络训练误差对比

图 4 中实线为改进 Elman 网络训练的误差曲线, 可以看出经过 300 次训练, 改进 Elman 网络的输出误差已经达到了 10^{-5} , 比 BP 网络

的精确度要高很多.

5 运行结果

将出水浊度设定为 4.5NTU, 采样 1200 组数据, 经过 1000 次学习, 改进 Elman 网络的预测值和实际控制值之间的误差小于 0.01 (见图 5). 图 5 中虚线即为改进 Elman 网络的控制预测值, 实线为工人实际控制值 (代表投矾量), 两者大部分情况吻合, 同时虚线比实线减少了很多突变值, 表明神经网络自动去除了实际生产中的工人误操作信号. 经分析, 虚线达到了更高的控制精度. 经现场长期运行证明其能满足生产实际的要求.

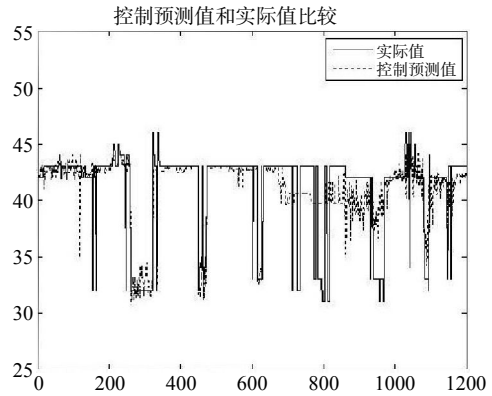


图 5 神经网络预测输出

若同时显示流量 (flux), 则可更明显看出 Elman 神经网络具有智能去除输入信号中的杂波, 自动求得最佳控制方案的特性. 图 6 为采样 10000 组数据, 经 2000 次学习后得到的系统输出. 从图中可看出, 虽然流量 (flux) 在某时刻突然增大, 但是神经网络的输出依然保持较稳定的状态. 由于投药反应时间具有滞后性, 反应池中浊度不会发生突变, 所以神经网络的控制输出值是正确的, 符合人工最佳操作方案, 证明其能用于工业

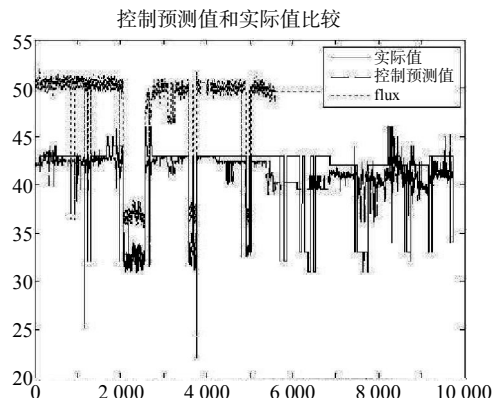


图 6 神经网络输出与输入量对比图

现场.

从系统的实际运行效果看,自动控制运行稳定,能够及时根据现场参数的变化调整加矾量,控制效果大大优于人工控制,既保证了生产的安全,又达到节能降耗的目的.

6 结语

自来水管的投药系统由于存在时变、大滞后、非线性等特点,一直难以实现自动控制.本系统采用PAC和工控机构建了两级计算机控制系统,利用改进型Elman神经网络对非线性系统的高精度逼近、容错性高、自学习能力强等特点,编制了智能投药控制算法,实现了投药系统的自动化控制.该系统在现场连续运行1年多的时间,运行平稳,出厂水质达到人工最佳控制水平,同时降低了投药量,带来了巨大的经济效益.

参考文献:

- [1] 江智军,何小斌,杨晓辉.自来水厂混凝投药控制系统的设计及应用[J].计算机测量与控制,2006,14(4):462-463.
- [2] 蔡利民,杨晓林.用人工神经网络设计和实现自来水投矾控制[J].江汉大学学报:自然科学版,2008,36(3):35-37.
- [3] CHENG Y C, QI W M, CAI W Y. Dynamic properties of Elman and modified Elman neural network[C]// Proc of the 1st Int Conf on Machine Learning and Cybernetics, Beijing, 2002, 637-640.
- [4] BOGER Z. Applications of neural networks to water and wastewater treatment plant operation[J]. ISA Transactions, 1992, 31(1): 25-31.
- [5] 漆为民,程远楚,姬巧玲,蔡维由. PID型Elman网络及在动态系统辨识中的应用研究[J].控制与决策,2005,20(10): 1197-1200.
- [6] GAO X Z, GAO X M, OCASKA S J. A modified Elman neural network model with application to dynamical systems identification[C]//IEEE Int Conf on Systems, Man, and Cybernetics, Beijing, 1996:1376-1381.

Application of Dynamic Neural Network in Intelligent Chemical Feeding Control System of Waterworks

QI Wei-min, YANG Xiao-lin

(School of Physics and Information Engineering, Jiangnan University, Wuhan 430056, China)

Abstract: Control system for chemical feeding in waterworks have the properties of nonlinear, large time-delay, multi-input factor. It is difficult to realize automatic control. Based on the large effective historical data and plentiful experience in waterworks, establishes intelligent coagulant chemical feeding method based on Elman dynamical neural network, then system realization is introduced in detail. The result of one year's application shows that the control system have the abilities of self-study and self-adaptive, high control precision. It also overcomes the mistakes of hidden danger of traditional control mode and good economic benefit has been obtained.

Key words: chemical feeding; waterworks; intelligent control; Elman dynamic neural network

(责任编辑:范建凤)