

基于PIDNN的污水处理系统参数辨识研究

丁晓贵, 刘桂江

(安庆师范学院 计算机与信息学院, 安徽 安庆 246003)

摘 要:对污水处理系统进行参数辨识, 获取合理的模型, 这是污水处理系统分析、预测和控制器设计的关键。为此, 文中构建了污水处理系统的神经网络模型, 赋予了神经元相应的比例、积分和微分功能。并在介绍PIDNN特征及算法的基础上, 提出了一种基于PIDNN的参数辨识方法。最后对污水处理系统进行了仿真, 仿真结果能够拟合污水处理系统各项指标, 证明了该方法切实可行。

关键词:污水处理系统; PIDNN; BP算法; 仿真

中图分类号: TP399

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2008)05-0200-03

Study on Identification Parameters of Wastewater Treatment System Based on PIDNN

DING Xiao-gui, LIU Gui-jiang

(School of Computer and Information, Anqing Normal College, Anqing 246003, China)

Abstract: In the wastewater treatment system, identify the parameters, obtain the reasonable model, which is the key of the analyzing, forecasting and designing the controller. So, makes up the neural network model, puts the neural cell the proportional-integral-derivative function. After introducing the characteristics and algorithm of the PIDNN, a method of building the model of the wastewater treatment system was introduced. At last, the way of simulation experimentation is given, the result could imitate the actual system, which indicates that the method is feasible and effective.

Key words: wastewater treatment system; PIDNN; BP algorithm; simulation

0 引言

污水处理系统是一个典型的MIMO系统,因为它具有大滞后、非线性、随机性和不确定性等特征^[1],尚不能用机理分析和数学推导的方法来获得精确的数学模型,传统的活性污泥法是基于“稳定状态”的假设,对于实际的动态污水处理系统,并不能表现出恰当的模拟和预测能力。

污水处理流程一般包括预处理、好氧生化处理单元、沉淀单元等。目前,国内外普遍采用的是A/O处理工艺^[2],它是一种最为经济的生物脱氮方法,其优点是可以减少外加碳源,降低耗氧量和剩余污泥的产生。

PIDNN^[3](Proportional-Integral-Derivative Neural Network, PIDNN)是一个多层前向神经网络,内部包含动态处理单元,具有良好的动态特性,因此可以直接用于动态系统的辨识。

1 基于PIDNN污水处理系统参数辨识

PIDNN用作系统辨识时,与其它类型神经网络一样,是通过学习系统的输入和输出数据来调整PIDNN的权值,使所要求的误差函数达到最小,从而归纳出隐含在系统输入输出中的关系。

1.1 污水处理系统参数辨识的PIDNN模型

PIDNN网络分为三层,它们是输入层、隐含层和输出层。输入层神经元记为 $1, 2, \dots, s, \dots, S$,代表污水输入变量。隐含层每三个神经元分为一组,三个神经元分别是比例元、积分元和微分元^[3],和输入层对应,共 S 组。输出层把隐含层综合起来,记为 $1, 2, \dots, h, \dots, H$,共 H 个输出,代表出水指标。即:PIDNN模型^[4]结构为 $S \times 3S \times H$ 。

1.2 算法

(1)前向计算。

PIDNN的前向计算是根据网络的输入值,按网络当前权值、各层状态信号和输出函数共同形成输出,这就是输入信号的正向传播。

①输入层。

收稿日期:2007-08-26

基金项目:安徽省自然科学基金资助项目(2006KJ155C)

作者简介:丁晓贵(1971-),男,安徽安庆人,副教授,硕士,研究方向为神经网络与智能控制。

污水处理系统的水质指标^[4]很多。常见的有COD、BOD、SS、NH₃-N、温度、pH等6项。为此,输入层采用6个神经元,记为1,2,⋯,s,⋯,6,k为采样时刻。且有:

$$x_s(k) = \text{net}_s(k) \quad (1)$$

② 隐含层。

隐含层分为6组,每组三个神经元,它们是比例元、积分元和微分元,和输入层对应。输入层和隐含层之间的权值记为 w_{sj} , $j=1,2,3$ 。下面分别讨论神经元输入信号,状态信号和输出信号。记为: $\text{net}_{sj}(k)$, $u_{sj}(k)$ 和 $x_{sj}(k)$,污水处理系统PIDNN模型参见图1。

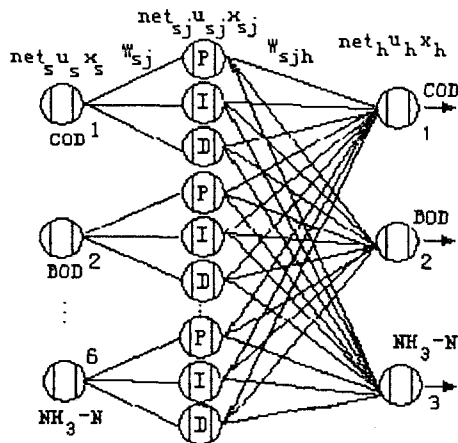


图1 污水处理系统PIDNN模型

隐含层输入信号为前级输出乘以相应的权值。对于任意采样时刻 k 时的前向计算公式为:

$$\text{net}_{sj}(k) = w_{sj}x_s(k) \quad (2)$$

比例元,蕴含着系统潜在的线性部分^[3]。比例元状态为:

$$u_{s1}(k) = \text{net}_{s1}(k) \quad (3)$$

积分元,与 k 个附加时延的神经元的作用是等价的,正是由于积分环节的作用,它实现了动态系统的辨识功能。积分元状态为:

$$u_{s2}(k) = u_{s2}(k-1) + \text{net}_{s2}(k) \quad (4)$$

微分元,既考虑了系统的连续性因素,又抑制了系统的突发性因素。微分元状态为:

$$u_{s3}(k) = \text{net}_{s3}(k) - \text{net}_{s3}(k-1) \quad (5)$$

隐含层各神经元输出记为:

$$x_{sj}(k) = f(u_{sj}(k)) \quad (6)$$

③ 输出层。

污水处理系统是一个MIMO系统,输入输出变量并不相等。文中主要考虑COD、BOD、NH₃-N三个指标,故输出层采用3个神经元,用 h ($h=1,2,3$)表示。各个神经元的输入为隐含层全部神经元的输出值的加权总和。这种模型充分考虑了各种参数之间的关联性。

$$\text{net}_h(k) = \sum_{s=1}^6 \sum_{j=1}^3 w_{sjh}x_{sj}(k) \quad (7)$$

输出层神经元的状态:

$$u_h(k) = \text{net}_h(k) \quad (8)$$

隐含层和输出层的激励 $f(\cdot)$ 均采用分段线性函数。

(2) 误差信号反向传播。

PIDNN的输出与实际系统输出之间差值即为误差信号。误差信号由输出端开始逐层向前传播。在误差的反向传播的过程中,网络的权值由误差反馈进行调节。权值调整可以每步进行,也可以成批进行,文中采用批处理的方式,批次记为 n 。通过对权值的不断修正,使网络的实际输出更接近期望输出^[5]。完成PIDNN学习和记忆的功能。

系统实际输出记为: $v_h(k)$,PIDNN输出记为: $v_h(k)$,系统实际输出和模型输出对应的时间序列的均方根误差, l 为每批采样点数,记为:

$$J = \sum_{h=1}^3 E_h = \frac{1}{l} \sum_{h=1}^3 \sum_{k=1}^l [v_h'(k) - v_h(k)]^2 \quad (9)$$

① 隐含层至输出层权值。

用梯度下降算法,隐含层至输出层权值 w_{sjh} 按下式调整^[6]:

$$w_{sjh}(n+1) = w_{sjh}(n) - \eta \frac{\partial J}{\partial w_{sjh}} \quad (10)$$

$$\text{其中: } \frac{\partial J}{\partial w_{sjh}} = -\frac{1}{l} \sum_{k=1}^l \delta_h(k) x_{sj}(k) \quad (11)$$

$$\delta_h(k) = 2[v_h'(k) - v_h(k)] \quad (12)$$

② 输入层至隐含层权值。

输入层至隐含层权值 w_{sj} 按下式调整:

$$w_{sj}(n+1) = w_{sj}(n) - \eta \frac{\partial J}{\partial w_{sj}} \quad (13)$$

$$\text{其中: } \frac{\partial J}{\partial w_{sj}} = -\frac{1}{l} \sum_{h=1}^3 \sum_{k=1}^l \delta_h(k) w_{sjh} \cdot \gamma(k) \quad (14)$$

$$\gamma(k) = \text{sgn} \frac{u_{sj}(k) - u_{sj}(k-1)}{\text{net}_{sj}(k) - \text{net}_{sj}(k-1)} x_s(k) \quad (15)$$

其中, η 为学习步长。

2 仿真结果及其分析

从安庆市污水处理厂采集两个月的数据为样本,其中一个月数据作为训练样本,另一个月数据作为测试样本,进行离线辨识。由于污水各项指标数值差别很大,如COD这项指标平均在450左右,而BOD只有0.8左右,因此,文中先对这些数据进行归一化处理。

2.1 初始权重、步长和性能指标的选取

初始权值 w 取 $[-1,1]$ 之间的正态随机数。

学习步长 η 的选择比较重要。文中取 $\eta=0.1$ 。

偏差平方均值 $J=0.01$ 。

2.2 均方根误差与训练步数关系

PIDNN 网络在神经网络工具箱找不到现成的训练和测试方法,因此,只有在 Matlab 平台上编程,进行仿真。均方根误差与训练步数的关系曲线见图 2。

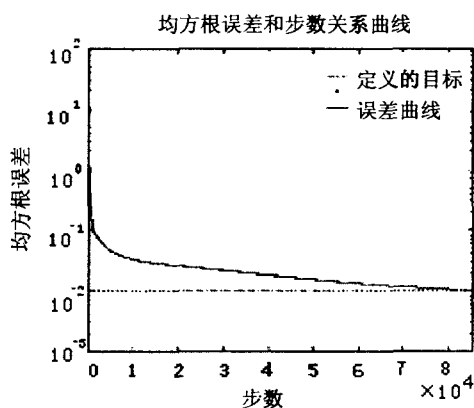


图 2 均方根误差和训练步数的关系曲线

2.3 网络验证

当训练到 85216 步时,达到预先设定的性能指标,为了说明网络能按一定的精度逼近污水处理系统。用另一个月的数据作为测试集进行测试,测试的结果是:PIDNN 网络输出和系统实际输出相差不大。图 3 是 PIDNN 网络输出和系统实际输出比较图。

3 结 语

从图 3 可见,污水处理系统输出和 PIDNN 输出的三项指标曲线都基本拟合。说明了该方法用于辨识污水处理系统参数是切实可行的。

由于 PIDNN 隐含层单元的特殊功能,在进行系统辨识时,其结构和神经元的个数选取比较规范。从而克服了传统的多层神经网络在结构和隐层神经元个数

选取时的困难。另外,PIDNN 积分元具有独特的定义,用它来逼近大时延的动态系统,具有特殊的作用。该方法还可以根据不同的污水系统参数,灵活设计输入输出神经元个数,辨识其它的污水处理系统。

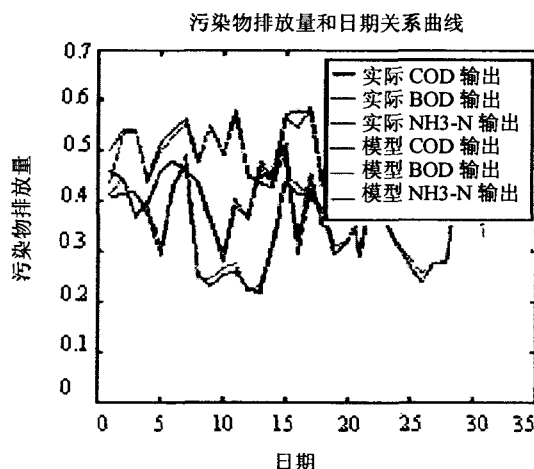


图 3 PIDNN 网络输出和系统实际输出

参考文献:

- [1] 伊学农. 基于改进 BP 网络与 MISO 模型的污水系统建模[J]. 水处理技术, 2005(10): 21-24.
- [2] 刘建勇. 智能控制在污水处理中的应用现状与展望[J]. 中国给水排水, 2002(11): 22-25.
- [3] 舒怀林. PID 神经网络及其控制系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005: 28-34.
- [4] Belanche L. Prediction of the bulking Phenomenon in wastewater treatment plants[J]. Artificial Intelligence in Engineering, 2000, 14: 307-317.
- [5] 田景文. 人工神经网络算法研究及其应用[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2006: 35-38.
- [6] 陆宁, 周伟. 基于 LabVIEW 的智能 PID 控制器的设计[J]. 微机发展, 2005, 15(4): 66-68.

(上接第 196 页)

功能强,界面美观,操作方便。另外,虚拟仪器的很多功能由软件来完成,使得功能维护和升级更加方便。

参考文献:

- [1] 杨乐平,李海涛,杨磊. LabVIEW 高级程序设计[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
- [2] 朱耀东,张焕春,经亚枝. 虚拟逻辑分析仪的设计与实现

[J]. 仪器仪表用户, 2002, 9(4): 20-22.

- [3] 许海清,田书林,戴志坚. 基于 USB 总线的逻辑分析仪设计[J]. 仪器仪表学报, 2005, 26(8): 310-312.
- [4] Future Technology Devices Intl Ltd. FT245BM Data Sheet [EB/OL]. 2002-08. www.ftdichip.com.
- [5] 张红兵,谢运祥. 利用 FT8U232AM 实现的 USB/RS232 转换器[J]. 国外电子元器件, 2002(5): 41-42.

(上接第 199 页)

参考文献:

- [1] Ali I, Al-Ahahir N, Hershey J E. Doppler characterization for LEO satellites[J]. IEEE transactions on communications, 1998, 46(3): 309-313.
- [2] 孙白波. 遥控,安全,监控[M]. 北京:宇航出版社,1995.
- [3] 任俊涛,邵定蓉,李署坚. 基于软技术的高动态扩频信号载波跟踪技术[J]. 北京航空航天大学学报, 2002(6): 64-67.
- [4] 王惠南. GPS 导航原理与应用[M]. 北京:科学出版社, 2003.
- [5] 夏宇闻. Verilog 数字系统设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2003.