

模糊神经网络在自来水浊度检测中的应用

Application of Fuzzy Neural Network in the Turbidity Detection for Tap Water

向守兵¹ 罗光伟¹ 朱智²

(四川工程职业技术学院¹,四川 德阳 618000; 德阳市自来水公司²,四川 德阳 618000)

摘要: 针对流动电流仪检测自来水浊度的精度受絮凝剂浓度、原水流量、供电电源波动和温度等干扰影响较大的问题,提出一种基于模糊神经网络融合技术的自来水浊度检测数据处理方法。该方法将模糊推理融入神经网络结构中,弥补了纯神经网络在处理模糊数据方面的不足以及纯模糊控制系统在学习方面的缺陷,实现了计算方法的优势互补。仿真结果表明,这种方法能够有效提高自来水浊度检测的精度,在自来水的生产应用中效果良好。

关键词: 模糊神经网络 电流仪 浊度检测 数据融合 干扰 精度

中图分类号: TU991.21

文献标志码: A

Abstract: By using streaming current meter, the turbidity detection for tap water is facing the problem of accuracy greatly influenced by the concentration of flocculent, flow rate of raw water, fluctuation of the power supply and temperature. Aiming at this problem, the turbidity detection and data processing method based on fuzzy neural network fusion technology is proposed. In this method, the fuzzy reasoning is integrated into the structure of neural network; this complements the demerit of pure neural network in processing fuzzy data, and the defect of pure fuzzy control system in learning, thus implements mutual complement of the superiorities of the calculation methods. The result of simulation indicates that this method effectively enhances the accuracy of turbidity detection and offers excellent effects in tap water production.

Keywords: Fuzzy neural network Current meter Turbidity detection Data fusion Interference Accuracy

0 引言

在城市供水生产中,自来水的浊度是一个非常关键的指标,建设部于2005年颁布的最新《城市供水水质标准》将浑浊度限值定为1 NTU^[1]。为达到该标准,在自来水生产过程中需要根据浊度自动控制絮凝剂的投放量,因此,浊度检测是自来水生产中最重要的一环。

流动电流仪SCM(streaming current meter)是目前应用最广泛的一种浊度检测仪器^[2-3],但在实际使用过程中,流动电流仪的灵敏度受絮凝剂浓度、原水流量、供电电源波动以及温度等干扰的影响较大,严重影响了浊度检测精度。针对这一问题,提出一种基于模糊神经网络的多传感器信息融合方法,融合反应沉淀池的原水浊度、原水流量、絮凝剂浓度、电压和温度等多个参数,得到精确的混凝值,进而优化絮凝剂投放过程的自动控制,最终达到稳定水质和降低药耗的目的。

1 自来水处理工艺

自来水处理工艺基本流程是原水首先通过水泵抽

入水厂,经投药站自动投加絮凝剂和前加氯后,进入反应池混凝形成矾花,然后流经沉淀池进行沉淀分离,再经过滤池过滤进入清水池加氯消毒,最后停留一定时间后经过泵房加压输送到城市供水管网^[4]。自来水处理工艺基本流程如图1所示。

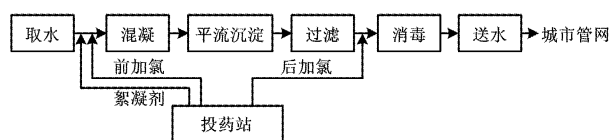


图1 自来水处理工艺流程

Fig. 1 Flowchart of tap water treatment process

混凝沉淀过程是自来水处理过程中最为重要的一个环节。在工艺条件一定时,絮凝剂的投加量直接影响到混凝沉淀的结果,并在制水成本中占相当大的比重。因此,如何决定当前最佳投药量成为混凝投药控制技术中的关键。

流动电流技术在我国许多水厂获得了较普遍的应用,已被列入我国“城市供水行业2000年技术发展规划”,并成为水处理混凝控制的主导技术之一^[5]。

2 流动电流仪工作原理

美国 ChemTrac 公司开发的 SCC3500XRD 流动电

修改稿收到日期:2010-08-24。

第一作者向守兵,男,1973年生,2007年毕业于西南交通大学机械工程专业,获硕士学位,副教授;主要从事嵌入式系统、工业自动控制等方面的研究。

流仪是专门用来控制投加絮凝剂这一水处理工艺流程的浊度检测仪,其结构如图2所示。

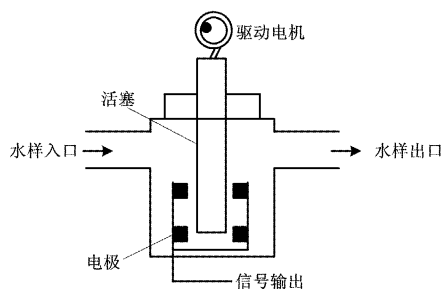


图2 流动电流仪结构图
Fig.2 Structure of SCM

流动电流仪的检测原理如下^[6]。水样以4~20 l/min的流速进入传感器检测室,活塞和检测室内壁之间的狭小缝隙构成环形毛细管空间。电动机驱动活塞在传感器缸体中做往复运动,保持水样连续流通;同时产生剪切作用,使围绕水中胶体颗粒的带电离子成为自由带电离子,这些带电离子的移动能够为缸体下方的电极充电,在电极之间产生交替流动的电流(即流动电流)。流动电流与水中带电状态成比例,带电状态依赖于混凝后水中多余的正负离子数,因此,流动电流与水中的悬浮固体含量成比例。来自传感器电极的流动电流信号,经后继信号处理电路处理后,最终转化为4~20 mA的电流信号输出。

3 模糊神经网络融合方法

3.1 模糊神经网络融合模型

信息融合作为多源信息综合处理的一项新技术,它能将来自某一目标的多源信息加以智能化合成,产生比单一信息源更精确、更完全的估计和判决。信息融合的算法很多,模糊集方法和神经网络方法是最常用的算法之一。神经网络方法具有大规模并行处理能力、自学能力和自适应能力,神经网络的仿生特性使之能更有效地利用系统本身的信息,并能映射任意函数关系,但缺点是知识表达比较困难,学习速度慢。而模糊集方法则采用简单的“如果...则...”规则,但自动生成和调整隶属度函数及模糊规则是个难题^[7-8]。两者相结合产生的模糊神经网络可以看作是一种不依赖于精确数学模型的函数估计器,它融合了神经网络与模糊论的优点,集学习、联想、识别、自适应及模糊信息处理于一体,在数据融合领域得到越来越广泛的应用^[9]。

模糊神经网络融合系统由传感器模块和模糊神经网络模块组成。流动电流值、原水流量、絮凝剂的浓度、电源电压和温度5个变量经传感器模块检测后送

给模糊神经网络模块进行数据融合,最后输出浊度值,以控制加药量。

模糊神经网络融合结构如图3所示。

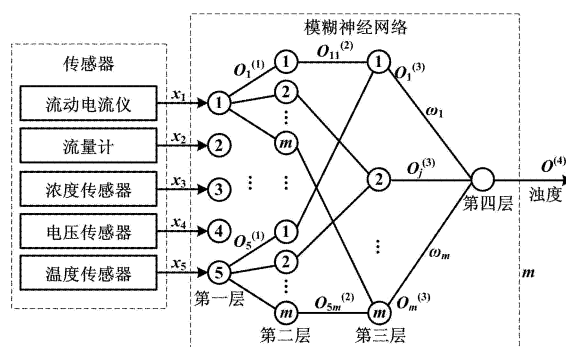


图3 模糊神经网络融合结构图

Fig.3 Fusion structure of fuzzy neural network

模糊神经网络由输入层、模糊化层、模糊推理层和输出层这四层构成^[10-12]。

第一层为输入层,输入层的作用是将 x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 这五个输入量(电流、流量、浓度、电压和温度)引入网络。输入层的各个节点直接与输出量的各个分量连接,将输入量传到第二层(即模糊化层),其输入输出关系为:

$$O_i^{(1)} = I_i^{(1)} \quad (1)$$

式中: i 为输入变量编号, $i=1, 2, \dots, 5$ 。

第二层为模糊化层,模糊化层的作用是对输入量进行模糊化,其隶属函数采用高斯函数。节点输出为:

$$\begin{cases} I_{ij}^{(2)} = (x_i - a_{ij})^2 / b_{ij}^2 \\ O_j^{(2)} = \exp[-I_{ij}^{(2)}] \end{cases} \quad (2)$$

式中: a_{ij} 为高斯隶属函数的中心参数; b_{ij} 为高斯隶属函数的宽度参数; $i=1, 2, \dots, 5; j=1, 2, 3, \dots, m$ 。

第三层为模糊推理层,模糊推理层通过与模糊化层的连接来完成模糊规则的匹配,各个节点之间实现模糊运算。每个节点 j 输出为该节点所有输入信号的乘积,即:

$$O_j^{(3)} = \prod_{i=1}^5 O_{ij}^{(2)} \quad (3)$$

式中: $j=1, 2, 3, \dots, m$ 。

第四层为输出层,也叫去模糊层,网络中采用权值平均判决法,最后融合输出为:

$$O^{(4)} = \frac{\sum_{j=1}^m O_j^{(3)} \omega_j}{\sum_{j=1}^m O_j^{(3)}} \quad (4)$$

式中: ω_j 为网络的权值; m 为隶属函数的数量,也代表系统总的规则数。

3.2 学习算法

系统采用误差反向传播(BP)学习算法来学习内

部表达,即各节点间连线的权值及中间层节点和输出节点的阈值,其实质是通过样本集的前向学习来获得输出节点的期望值与输出值的误差,并以此为依据,从输出层开始,逆推至输入层,逐步修整神经网络的内部表达,具体算法如下^[13]。

① 定义误差函数:

$$E_n = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [O_{di}^{(4)} - O_i^{(4)}]^2 \quad (5)$$

式中: n 为学习样本; $O_{di}^{(4)}$ 为期望输出,即教师信号; $O_i^{(4)}$ 为网络实际输出。

② 初始化模糊神经网络的权值 ω_j ($0 < \omega_j < 1$, 且互不相等) 以及高斯隶属函数参数 a_{ij} 和 b_{ij} 。

③ 给定训练样本集,确定期望输出信号。

④ 由式(3)和式(4)逐层计算输出值 $O_j^{(3)}$ 和 $O^{(4)}$ 。

⑤ 调整权值,按误差反向传播方向,从输出节点开始返回到中间层,并按下式调整权值:

$$\omega_j(n+1) = \omega_j(n) - \eta \frac{\partial E_n}{\partial \omega_j(n)} \quad (6)$$

式中: η 为大于零的增益,也称步长,表示学习效率的常数。

⑥ 计算误差,并返回步骤②重复计算,直至满足要求为止。

4 仿真实验与应用

对美国 ChemTrac 公司开发的 SCC3500XRD 流动电流仪进行实验,获取的部分样本数据如表 1 所示。

表 1 部分样本数据

Tab.1 Partial sample data

序号	输入量					标定电流/mA
	电流/mA	流量/ $(\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	浓度/%	电压波动/%	温度/ $^{\circ}\text{C}$	
1	25.1	0.1	10	-3	5	25
2	29.5	0.3	10	-3	10	30
3	36.1	0.5	20	-3	15	35
4	41.6	0.7	20	-3	20	40
5	46.9	0.9	25	+3	25	45
6	50.8	1.1	25	+3	30	50
7	55.6	1.3	30	+3	35	55
8	60.4	1.5	30	+3	40	60

选择 200 组典型实验数据,通过 Matlab 进行模糊神经网络训练,训练误差指标为 0,而经过 200 步训练后得到误差为 1.24675×10^{-7} 。

在不同条件下的数据对模糊神经网络进行仿真,计算出的部分电流融合值如表 2 所示。

表 2 部分融合数据

Tab.2 Partial fusion data

序号	输入量				流动电流值/mA	
	流量/ $(\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	浓度/%	电压波动/%	温度/ $^{\circ}\text{C}$	标定值	融合值
1	0.1	10	-3	10		49.987
2	0.5	10	-3	20		50.023
3	0.9	20	+3	25	50	50.019
4	1.1	20	+3	35		49.974
5	1.5	25	+3	45		50.031

由表 1 和表 2 对比分析可知,融合前流动电流的最大波动达 19%,最小波动为 10%;而融合后最大波动仅为 3.1%。由此可见,采用模糊神经网络融合技术对数据进行处理后,流动电流能有效抵制原水流量、絮凝剂浓度、电压波动和温度等影响。

分别计算出数据融合前、后测量值与标定值之间的绝对误差,以横轴表示数据采样点、纵轴表示绝对误差大小绘制误差曲线,如图 4 所示,其中,虚线为融合前误差曲线,实线为融合后误差曲线。

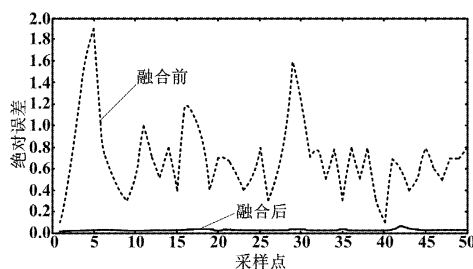


图 4 误差曲线图

Fig.4 Error curves

由图 4 可知,融合前误差波动较大,而融合后误差波动较小。经计算,融合前的平均绝对误差为 0.698,而融合后的平均绝对误差仅为 0.028。由此说明采用模糊神经网络融合技术后能有效提高自来水浊度检测的精度。

德阳市自来水公司下属某水厂采用该方法进行自来水生产,得到其某天的生产监控数据如图 5 所示。

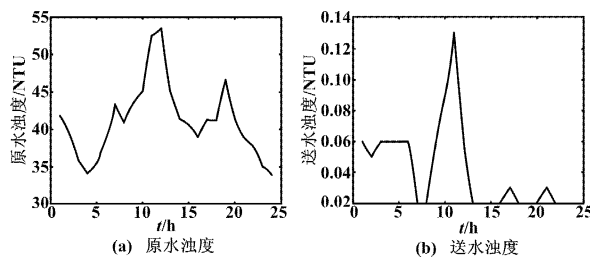


图 5 生产监控数据

Fig.5 Data of production monitoring

由图 5 可知,该厂出水浊度均低于 0.2 NTU,符合《城市供水水质标准》;投药量仅为 16.7 g/m³,运行效果良好。

5 结束语

本文通过对浊度检测误差的分析,融合神经网络与模糊论的优点,提出一种基于模糊神经网络融合技术的自来水浊度检测数据处理方法,并通过实验仿真验证了该方法的实用性和可靠性,为自来水厂优化浊度检测提供了一种新方法。该方法应用于德阳市自来水公司某水厂的投药检测中,取得了良好的效果。该水厂实际供水能力为 6 万 m³/d,根据标准要求,出厂浊度控制在 0.5 NTU 以下,应用新方法后碱式氯化铝千吨水的平均耗量为 17.1 kg/dam³,同比节约近 12% 的耗量,为企业产生了良好的经济效益和社会效益。另外,利用该方法进行数据处理时,如果遇到持续强降雨,特别是引发山洪而导致原水浊度陡增时,如何有效控制投药量是值得进一步研究的课题。

参考文献

[1] 中华人民共和国建设部. CJ/T 206 - 2005 城市供水水质标准[S]. 北京:中国标准出版社,2005.

[2] 陈研斌. SCM 加矾自动控制系统[J]. 工业仪表与自动化装置, 2000(6):33 - 34.
 [3] 林文鹏. 基于复合控制的水厂混凝剂投加系统[J]. 微机计算机信息, 2005,21(1):35 - 36.
 [4] 江圣辉. 中小型 PLC 在大型自来水厂的应用[J]. 自动化仪表, 2005,26(6):54 - 56.
 [5] 汪光熹. 城市供水行业 2000 年技术进步发展规划[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1993.
 [6] 张红忠. 流动电流仪控制絮凝剂自动投加技术的应用[J]. 城镇供水, 2006(2):27 - 29.
 [7] 郭惠勇. 多传感器信息融合技术的研究与进展[J]. 中国科学基金, 2005(1):17 - 21.
 [8] 赵蕊,贺建军. 多传感器信息融合技术[J]. 计算机测量与控制, 2007, 15(9):1124 - 1134.
 [9] 俞洪,俞金寿. 模糊神经网络的发展[J]. 世界仪表与自动化, 2002,6(2):49 - 53.
 [10] 毛六平,王耀南. 基于模糊高斯基函数神经网络的电子节气门控制的仿真研究[J]. 电气应用, 2006,25(11):40 - 41.
 [11] 姜培刚,涂苏龙,冯永慧. 基于模糊神经网络的智能炉温控制系统[J]. 自动化仪表, 2002,23(5):58 - 61.
 [12] 彭望成,熊芝耀,肖盛旺,等. 基于模糊神经网络的感应电动机转速估计方法[J]. 电气应用, 2005,24(9):26 - 27.
 [13] 樊四良,郭丙君. 通用模糊神经网络控制[J]. 自动化仪表, 2009,30(12):58 - 64.

(上接第 52 页)

表 1 优化前后的网络参数

Tab. 1 Network parameters pre-and-post-optimization

	$t_{\text{预定}}$	$t_{\text{非预定}}$	$t_{\text{维护}}$	NUT
优化前	99T	T	$t_{\text{维护}}$	$99T + T + t_{\text{维护}}$
优化后	4T	T	$t_{\text{维护}}$	$4T + T + t_{\text{维护}}$

从表 1 可以看出,每个 NUT 的预定时间段内,优化后比优化前节省了 95 个 T 的时间。因此,可根据表 1 计算得到的 NUT 来组态时间网络。

4 结束语

本文设计的 ControlNet 冗余网络控制系统,充分发挥了 ControlNet 网络高速、确定性等优点,能够与其需求相适应,并可以保证将来系统扩充所造成的影响最小;同时,为 ControlNet 网络控制系统的设计、优化提供了参考实例。目前系统已经应用到宁波大榭某

5 万 t 级液态化工码头中,经过几个月的应用表明,系统运行稳定,各项指标均满足控制要求,提高了码头作业的自动化程度以及码头与库区的工作效率,节约了人力等成本,最终得到了客户满意的评价。

参考文献

[1] 黄允凯,谈英姿. 深入浅出 NetLinx 网络架构[M]. 北京:机械工业出版社,2009:22 - 128.
 [2] 邓李. ControlLogix 系统实用手册[M]. 北京:机械工业出版社, 2008:242 - 505.
 [3] Rehg J A, Sartori G J. 可编程逻辑控制器[M]. 薛文轩,李磊,译. 北京:电子工业出版社,2008:499 - 501.
 [4] 方晓柯,王建辉,钱晓龙,等. ControlNet 现场总线 MAC 层控制方法分析[J]. 控制与决策, 2004,19(9):1054 - 1056.
 [5] 钱晓龙,袁伟,苑旭东. Control Logix 系统电力行业自动化应用培训教程[M]. 北京:机械工业出版社,2009:133 - 166.
 [6] 李秋明,杨琳娟,顾德英. 基于 ControlNet 网络的 CPU 冗余热备系统[J]. 仪器仪表学报, 2005,26(8):439 - 444.
 [7] 张双城. ControlNet 网络在电厂水处理系统中的应用[J]. 自动化仪表, 2005,26(12):53 - 54.

《自动化仪表》 邮发代号: 4-304, 2011 年定价: 12.00 元,全年价: 144.00 元; 国外代号: M 721
 欢迎赐稿, 欢迎订阅, 欢迎宝贵建议, 欢迎惠刊各类广告