

人工神经网络在水质规划和管理中的应用

郭劲松, 王海霞, 龙腾锐

(重庆大学B区 城市建设与环境工程学院, 重庆 400045)

摘要: 对人工神经网络在水质规划与评价、给水处理与污水处理等几方面的应用研究现状、发展趋势进行了综述, 并通过一些实例分析得出: 人工神经网络用于水质规划和管理不但可行, 而且适应性强, 结果客观、合理, 具有深入开发的研究价值和良好的应用前景。

关键词: 人工神经网络; 水质规划和管理

中图分类号: X321

文献标识码: A

文章编号: 1001- 2141(2002)04- 0069- 04

Application of Artificial Neural Network on Water Quality Planning and Management

Guo Jinsong, Wang Haixia, Long Tengrui

(Faculty of Environment Science and Engineering, Chongqing University B, Chongqing 400045)

Abstract: The current application, researching and developing trend of artificial neural network on water quality planning and evaluation, water and wastewater treatment were reviewed. Through analyzing examples, the result proved: the application of artificial neural network on water quality planning and management is reasonable and objective. Neural network is well worth studying and will have a good prospect.

Key words: Artificial neural network, Water quality planning and management

由于工业与城市的高度发展, 大量废弃物排入江河、湖、海, 给人类赖以生存的水体环境造成了触目惊心的污染。为了消除水体污染, 制定出技术上和经济上均合理、可行的水质规划和管理措施才是主要策略。但由于影响河流水质的因素较多, 且各因素对水质的影响及对人体和生物的危害并非完全结构化, 因而决定了水质规划和管理模型的复杂性和求解的困难。值得欣慰的是, 近年来, 人工神经网络理论的迅速发展和成熟为水质规划和管理提供了一种新的有效方法。

1 人工神经网络简介

人工神经网络(Artificial Neural Network, 简称ANN)是由大量神经元通过极其丰富和完善的联接而构成的自适应非线性动态系统, 是目前国际上非常活跃的前沿研究领域之一^[1]。它使用大量简单的相连的人工神经元来模仿生物神经网络的能力。它从外界环境或其它神经元获得资讯, 同时加以简单的运算, 将结

果输出到外界或其它人工神经元。神经网络在输入资讯的影响下进入一定状态, 由于神经元之间相互联系以及神经元本身的动力学特性, 这种外界刺激的兴奋模式会自动地迅速演变成新的平衡状态。这样, 具有特定结构的神经网络就可定义出一类模式变换, 即实现一种映射关系^[2-3]。由于人工神经元在网络中的联接方式的不同, 则形成不同的人工神经网络模式。误差反向传播网络(Back-Propagation Network, 简称BP)是目前人工神经网络模式中最具代表性, 应用得最广泛的一种模型。它由1个输入层, 1个输出层和1个或多个隐含层组成, 各层次的神经元之间单向全互连接。利用最陡坡降法的概念, 将输出出现的误差逐层向输入层逆向传播并“分摊”给各层神经元, 以调整各神经元间相应的连接权值, 使网络误差达到最小化是BP网络的关键^[2]。

2 ANN在水质规划与水质评价中的应用

水质规划是环境工程与系统工程相结合的产物, 它的核心是水质数学模型。确定允许排放量水质规划常用的水质模型是氧平衡类模型。流域的水质规划是区域范围的水资源管理, 是个动态过程, 一般将水质数学模型与最优化模型相结合, 形成水质管理模型。

收稿日期: 2002- 01- 29

作者简介: 郭劲松(1964-), 男, 四川射洪县人, 教授, 主要从事水污染控制规划理论与技术研究。

国家自然科学基金项目(59778021)和国家自然科学基金重点项目(59838300)

重庆毕威环保工程设备有限公司因业务需要诚聘办公室主任1名, 营销、技术人员若干名。要求大专以上学历, 年龄22~28岁。联系电话: 68883168, 65111211, 13808353168

文献^[4]提出用基于水质管理的多目标最优化的神经网络来控制水污染和进行河流流域规划。为克服决策者的嗜好,应用一种神经网络算法构成了河流流域水质管理的多目标问题的求解模型,采用的BP网络模型是能模拟决策者因嗜好所得决策的多目标规划模型。作为水资源的1个子系统,水质管理是1个包含水系统、经济系统和政治系统的大规模的体系。在多目标规划问题中,目标值与它们各自的权重之间有高度的非线性关系,基于BP模型的多目标最优化方法同时关注环境质量、污水处理费用和河流的自净容量,以便为河流流域的水质管理问题提供好的解决办法。BP训练算法从随机选择一套权重值开始,在训练输出值和期望输出值之间的误差基础上对权重值进行修改。将BP网络得到的决策者的偏爱作为目标函数的权重值,利用多目标规划过程中的权重可找到多目标最优问题的最佳解答。

水质评价是水质规划管理的基本程序。它以定量特征值方式直观地表示水环境质量的总体状况或某种特殊指标对水质状况的特别影响,是进行水环境容量计算和实施水污染控制的重要基础。国内外用于水质评价的方法很多,如单指数法、模糊综合评判法、模糊聚类分析、灰色关联度法等^[5]。但这些方法都要事先假定评价模式或主观规定一些参数,评价结果具有很强的主观性,因而适用性受到限制。而BP网络通过对有代表意义的范例的学习、训练,掌握事物的本质特征,故很适合于解决模式识别和分类问题,这为BP网络应用于水质评价问题提供了理论依据。

文献^[6]提出了水质评价及预测的神经网络实现方法。采用5层BP网络,将水质分级别地定性描述,如严重污染、中等污染、尚清洁等进行数值量化,用0或1分别表示不属于或属于该种污染级别。输出层节点数因水质级别而取3,输入层的7个节点表示水质影响因素(硝酸银、亚硝酸根、硫酸根、氯根、耗氧量、总硬度和总矿化度),经多次实验比较,隐含层取3层,各层节点数依次为14、10、7,形成了7—14—10—7—3的BP网络结构。采用从福建龙岩盆地26个采样点采集到的岩溶水的水质数据,用20组作为学习样本,6组作为检验样本。结果表明,推断误差相当微小,能正确评价水质情况。

文献^[7]研究了湖泊水质富营养化评价的模糊神经网络方法。选用5个湖泊(杭州西湖、武汉东湖、青海湖、巢湖、滇池)的实测数据。将总磷、耗氧量、透明度、总氮作为输入层的4个节点,将湖泊水质富营养化程度的5大类(极贫营养化、贫营养化、中营养化、富营养

化、极富营养化)作为输出层的节点数。区别于一般采用误差平方和准则的BP网络的是,该网络采用了模糊熵准则。训练好的网络经实例检验证明,它比单准则学习的BP网络收敛更快、更稳定,适用范围更宽。

上述文献提供的神经网络水质评价方法的不足在于,定义评价标准体系采用的是1种描述,如严重污染、极贫营养化等。这种描述不能排除定义评价标准体系的主观性。为了克服这一不足,有研究者充分利用神经网络具有学习和记忆能力的优势,提出了新的神经网络水质评价方法。

文献^[8]报导了水质综合评价的BP网络模型。因水质评价标准分I、II、III级,故输出层节点数取3,输入层选用7个评价指标(DO、化学耗氧量、挥发酚、氰化物、汞、砷和六价铬)作为该层节点数,隐含层节点数取7。将水质评价中的评价标准作为样本输入,评价级别作为网络输出对BP网络进行学习训练,再用山西汾河水质监测资料作为系统输入,用已掌握知识信息的BP网络评价它们,按输出值与期望值的接近程度去判定其归属哪一级。得出的结论是合理的。

文献^[9]提出将BP网络应用于水质评价,并在网络中引入隶属度的概念。采用3层BP网络,选择了8个实测的水质参数(DO、BOD₅、COD_{Mn}、非离子氨、大肠菌群、挥发酚、氰化物和六价铬)作为输入层神经元数,而隐含层单元数用公式:隐含层单元数= (输入层单元数 × 输出层单元数)^{1/2},确定为3。文中设定网络输出层只用1个神经元,网络输出结果再进行隶属度计算。因此,该神经元就被直接定义为评价水体的水质类别。将《GB 3838—88》水质标准作为训练BP网络的范例,使其完全掌握水质类别的特征,能完全正确地识别样本。再用重庆南川凤嘴江的水质资料作为测试BP网络的范例。隶属度BP网络对水质类别所做出的评价结果更具体和准确。

目前神经网络水质评价方法仍在不断地改进中,其目标主要是克服数据非确定性的影响以使该方法更简单、规范与实用。

3 ANN在给水水质管理方面的应用

随着ANN理论的提出和日趋完善以及计算机技术的进一步发展,许多科技工作者对ANN在给水处理过程中的实时控制和水质参数预测方面作了较为深入的研究,并得出很多合理而可靠的结论。

文献^[10]提出用ANN过程控制系统去控制给水处理中的凝结、絮凝、沉淀过程。采用的前馈式神经网络控制体系是程序设备控制器的主要部分,并连贯地

预测不同控制条件下的明矾和活性碳最适度的投加量。程序设备控制器采用了描述原水水质的多个输入,并计算出控制行为所必需的化学药品剂量。当水质在处理过程中的正常停留时间内稳定时,来自工厂真实完成情况的反馈也可被包含到模型中,构成 1 个闭环(closed-loop)控制。该控制器可结合激励器独立地完成在线(on-line)运转,或被操作者用于离线(off-line)地预测最适度的化学剂量,以此作为实际化学剂量的一个参照。

文献[11]报导了用 ANN 模拟技术来建立预测河流中原水色度的模型。原水色度对给水处理厂的凝结过程有显著影响,而操作者也主要用以前的原水色度值来控制明矾的剂量。ANN 模型简单地学习样本资料,并产生一个黑匣子关系。用 ANN 模型预测出今天的原水色度与明天的原水色度的区别,再将预测出的区别增加到今天的原水色度上,以此得到明天原水色度的总的预测值。在实例中,色度的时间序列变化的比率被选作输入参数,收集了超过 5 年的日测量值,建立了 4 种候选模型来预测原水色度并作了比较。通过对详细的测试值进行比较,选出最合理的 ANN 预测模型。该文研究的结果将为建立实时运转的模型提供坚实的基础,如计算凝结剂量的控制。

文献[12]将 ANN 作为一种行之有效的工具来提前 14d 预测水质参数中的碱度。传统的方法是用自回归滑动平均值(ARMA)模型模拟水资源的时间序列,但它需要静态的资料。在实例中,当采用 ANN 模型提前预测碱度并相应地改变给水政策时,供给阿德莱德(A delaide)这个城市的水的平均碱度可减少约 10%。选择最短期限—14d 作为一个预测周期,取用流量和几个测试点的水位纪录,并选取造成高碱度的原因作为模型输入。在该实例研究中,连同敏感度分析使模型输入从 141 减少到 51,将总的训练时间从 135min 减少到 30min,并使得平均 4 年中的 14d 碱度预测周期的误差均方根(root-mean-square error)和完全平均误差(average absolute error)分别从 53.3 个 EC 单元减少到 46.1 个 EC 单元以及从 7.5% 减少到 6.4%。本文还提出通过使用实际资料训练神经网络来模拟实时预测的状况。

4 ANN 在污水处理方面的应用

在将 ANN 理论引入到给水处理过程中的同时,ANN 的应用也已成为污水处理的一个研究方向。

文献[13]提出用人工神经网络(ANS)和随机模型来对污水处理过程中的活性污泥的膨胀状态进行分

析。将不同的模拟技术,即随机的自回归滑动平均值(ARMA)、自回归传递函数(ARTF)过程以及人工神经网络都应用于污水厂的污泥容积指数(SV I)资料中。研究资料包括 SV I、DO、丝状菌计量、污泥龄及其它相关参数的 14 个月的日测量值。ANS 的分析由一个时间序列输入系统来操作,其模型输入包括 BOD/N、N/P、混合液体的 DO、混合液体的温度及微生物的喂养比率(food-to-microorganisms ratio)的时间滞差值(time-lagged)。从 3 种预测模型在 20d 训练期中的完成情况可以看出,在随机模型中,ARTF 产生的剩余误差和(SSR)最小。针对输入参数的时间滞差输入系统反映了活性污泥媒介中的真实状况。为改善污水处理成效,可将 ANS 结合到自动或半自动控制系统中。

文献[14]提出用机理模型与 ANN 模型相结合的混合模型去准确模拟活性污泥过程中的 5 个重要变量(SS、VSS、COD_T、DO 和 NH₄)。先用单向倾斜法(Downhill Simplex Method)来优化机理模型中所采用的各种参数的值,以减小由 5 个变量的预测值和试验值之间的误差平方和所组成的目标函数。机理模型的预测准确性,尤其在预测 DO 方面,已有显著提高,但该优化程序不能成功改善对其余 4 个变量的预测。接着,将前馈式 ANN 模型用来预测机理模型的剩余误差,它是机理模型的变量的错误预测器。ANN 模型被发展来模拟活性污泥过程中 5 个变量的机理模型输出值和实验值间的预测误差,它的输入要用变量输入与输出间的交叉相关算法来选择。非连续的一些参数,可作为时间或其它变量(如流量和污泥层高度)。ANN 模型结合机理模型产生的混合模型,可较为准确地模拟活性污泥过程的动力学。简单的机理模型最初可用实验资料来校准,而 ANN 模型以考虑模拟误差来得到 1 种预测或过程控制的有用模型。

文献[15]建立了连续流间歇曝气系统的出水水质预测模型,在该论文报告的建模中,首次将开关变量与实数变量混合应用于输入层中,实现了开关变量与连续函数变量的混合建模。模型的预测精度比回归模型和机理模型的预测精度要高得多。文献[16]研究了污水处理厂入厂负荷的预测问题,将不确定性分析方法与 ANN 技术相结合,提出了考虑不确定因素的污水厂日进水量的预测模型,使污水厂进水负荷的预报预测更准确可靠。

将 ANN 应用于水处理方面的实例还有如文献[4]提到的:Krovvidy 和 Wee^[17]利用 Hopfield 网络去识别和优化污水处理过程;Boger 评论了^[18]人工智能

在给水和污水处理厂运行中的应用; Tyagi 和 Du 提出了^[19]用活性污泥处理中建立重金属的动力学模型的神经网络技术等等。

5 结束语

作为一门新兴的边缘学科,ANN 的先进性和优越性十分明显,具有广阔的发展前景。目前人工神经网络已进入相对平稳的发展时期,理论工作方面正处于攻坚阶段。在应用方面,正向着广度和深度方向发展,从而反过来在某些方面和某种程度上推动了理论和方法向前发展。从上述文献分析中可以看出,将ANN 理论与技术应用于水质规划与管理方面已做的工作还不算多,这些文献中采用的模型多为BP 模型,只是特征量的选取、网络构造方式以及算法上各有特色。神经网络良好的非线性映射逼近能力、泛化能力、使用的易实现性、自组织性、模糊性和自学习能力,无一不是它在水环境规划管理中发挥巨大作用的坚实基础。随着人工神经网络理论的发展,其在水质规划管理中的应用将日臻成熟和完善。因此,将更多的ANN 模式计算思想应用于水质规划和管理是我国未来水环境科研的1 个重要方向,很值得科技工作者们作深入开发研究。

6 参考文献

- 袁曾任 人工神经网络及其应用[M] 北京:清华大学出版社,1999
- 胡守仁,余少波 神经网络导论[M] 北京:国防科技大学出版社,1997
- 张继萍,吴硕贤 人工神经网络在道路交通噪声预测中的应用[J] 环境科学学报,1998,18(5)
- Ching-Gung Wean and Chih-Sheng Lee A Neural Network Approach to Multiobjective Optimization for Water Quality Management in a River Basin[J] Wat Res Res 1998,34(3)
- 郭劲松,王红,龙腾锐 水资源水质评价方法分析与进展[J] 重庆环境科学,1999,21(6)
- 王李管,贾明涛 水质评价及预测的神经网络方法[J] 环境工程,1998,16(2)
- 胡明星,郭达志 湖泊水质富营养化评价的模糊网络方法[J] 环境科学研究,1998,11(4)
- 薛建军,姚桂基 人工神经网络在水质评价中的应用[J] 水文,1997,(3)
- 郭劲松,王红,龙腾锐 水环境质量的隶属度BP 网络决策模型[J] 中国给水排水,2000,16(3)
- Qing Zhang and Stephen J. Stanley. Real-Time Water Treatment Process Control With Artificial Neural Networks[J] Journal of Environmental, 1999, 125(2)
- Qing Zhang and Stephen J. Stanley. Forecasting Raw Water Quality Parameters for The North Saskatchewan River by Neural Network Modeling[J] Wat Res 1997, 31(9)
- Holger R. Maier and Graeme C. Dandy. The use of artificial neural networks for the prediction of water quality parameters[J] Water Resources Research, 1996, 32(4)
- Andrea G Capodaglio, Harold V Jones, Vladimir Novotny and Xin Feng Sludge Bulking Analysis and Forecasting: Application of System Identification and Artificial Neural Computation Technologies [J] Wat Res 1991, 25(10)
- Martin Cote, Bernard P. A. Grandjean, Paul Lessard and Jules Thibault Dynamic Modelling of The Activated Sludge Process: Improving Prediction Using Neural Networks[J] Wat Res 1995, 29(4)
- 郭劲松,龙腾锐,高旭 间歇曝气活性污泥系统神经网络水质模型[J] 中国给水排水,2000,16(11)
- 龙腾锐,冯裕钊,郭劲松 考虑不确定因素的污水厂日进水量预测法[J] 中国给水排水,2001,17(5)
- Krovvidy, S., and W. G. Wee, A Knowledge-Based Neural Network Approach for Wastewater Treatment System, in IEEE NNS International Joint Conference on Neural Networks, Vol 1, pp. 327 ~ 332, Inst of Electr. and Electron. Eng., Piscataway, N. J., 1990
- Boger, Z., Application of Neural Network to Water and Wastewater Treatment Plant Operation, ISA Trans., 1992, 31, 25~ 33
- Tyagi, R. D., and Y. G. Du, Kinetic Model for the Effects of Heavy Metals on Activated Sludge Process Using Networks, Environ Technol., 1992, 13, 883~ 890

· 会议信息 ·

首届(中国)三峡库区污染防治与生态建设研讨会征文

会议主题:生态环境问题的现状及应对措施

会议内容:1. 三峡库区的城乡生态建设与可持续发展

2. 三废治理实用技术

3. 环境规划与管理

4. 清洁生产

5. 环境评价与监测

支持单位:中国环境科学学会

主办单位:重庆环境科学杂志社 重庆大学

会议日期和地点:2002年11月14-16日,重庆

论文集编辑出版:重庆环境科学杂志社出版发行(《重庆环境科学(2002

年增刊)》)

会议费用:论文版面费:200元/1500字;会议注册费:800元

首届(中国)三峡库区污染防治与生态建设研讨会组委会

联系人:范乔娟 黄太平

地址:400020 重庆市江北区建新北路130号六楼《重庆环境科学》

电话:(023)67634162,67634105,68692290

传真:(023)67634105,68692290

E-mail: a67634051@cta_cq.cn

日程安排:2002年9月论文稿截止(来稿请注明“征文”字样;2002年10月专家审稿;2002年11月论文集出版