

Prediction of the Water Level Fluctuation of Dongting Lake Based on BP Neural Network*

Yujie Yuan^{1,2}, Jie Liang^{1,2}, Lu Huang^{1,2}, Xun Yu^{1,2}, Yeru Peng^{1,2}, Guangming Zeng^{1,2}

¹College of Environmental Science and Engineering, Hunan University, Changsha

²Key Laboratory of Environmental Biology and Pollution Control, Ministry of Education, Hunan University, Changsha

Email: yuanyujiehn@163.com, zgming@hnu.edu.cn

Received: May 4th, 2012; revised: May 18th, 2012; accepted: May 28th, 2012

Abstract: It is of vital significance to study the water level fluctuation of Dongting Lake especially after the operation of the Three Gorges Reservoir (TGR), which may provide useful data and necessary information for the repairing works of the wetland. In this study, the historical time series of outflow discharge of the TGR and water level of Chenglingji were taken as training samples. Based on Levenberg-Marquardt (LM) algorithm, a BP neural network with four layers was established, which well-expressed the unknown but literally existed relationship between outflow discharge of the TGR and the water level of Chenglingji. Then it was applied to the water level prediction in October 2010 of Chenglingji. It is indicated that the trend of actual value and forecast value are in substantial agreement and the maximum and average errors are 3.89% and 0.91%, respectively. It is shown that BP neural network has fairly good simulation accuracy and can be satisfactorily utilized to predict the water level fluctuation of the Dongting Lake.

Keywords: Three Gorges Reservoir; Dongting Lake; Outflow Discharge; Water Level; BP Neural Network

基于 BP 神经网络的洞庭湖水位变化的预测*

袁玉洁^{1,2}, 梁婕^{1,2}, 黄璐^{1,2}, 余勋^{1,2}, 彭也茹^{1,2}, 曾光明^{1,2}

¹湖南大学环境科学与工程学院, 长沙

²湖南大学环境生物与控制教育部重点实验室, 长沙

Email: yuanyujiehn@163.com, zgming@hnu.edu.cn

收稿日期: 2012 年 5 月 4 日; 修回日期: 2012 年 5 月 18 日; 录用日期: 2012 年 5 月 28 日

摘要: 研究三峡水库运行后洞庭湖水位的变化情况, 对洞庭湖湿地修复具有重要意义。本文利用三峡出库流量和对应时间段的城陵矶水位数据作为训练样本, 基于 Levenberg-Marquardt 优化算法建立一个模拟精度较高的四层 BP 神经网络。并运用该网络对 2010 年 10 月份城陵矶水位进行了预测, 结果表明: 实测值的变化趋势与预测值的变化趋势基本一致, 最大误差为 3.89%, 平均误差为 0.91%, 所建立的四层 BP 神经网络的能有效地应用于洞庭湖水位的预测及变化趋势的预报系统中。

关键词: 三峡工程; 洞庭湖; 出库流量; 水位; BP 神经网络

1. 引言

*基金项目: 国务院三峡委员会项目(SX2010-026); 国家自然科学基金项目(51039001, 51009063); 水质改善项目(BYHGLC-2010-02), 湖南大学青年教师成长计划。

作者简介: 袁玉洁(1988-), 女, 硕士研究生, 主要从事洞庭湖湿地水环境和生态系统研究。

洞庭湖位于湖南省北部, 长江中游荆江河段南岸, 是长江中下游最大的调蓄湖泊, 我国的第二大淡水湖。北有松滋、太平、藕池三口分泄长江来水, 西、南面有湘、资、沅、澧四水入汇, 对长江中下游地区调蓄洪水、维持水沙平衡等具有重要作用^[1]。长江和湘、资、

沅、澧诸水系的水位随着每年降雨的多少而有规律性地升降, 形成了深水、浅水、洲滩、湖岸和丘陵等独特复杂的地理环境。广阔的湖面为鱼类以及湿地周边的动物提供了十分自由的生存空间; 周期性的洪水给洞庭湖区带来大量的泥沙和丰富的营养物质, 为动植物的生殖繁衍、觅食筑巢创造了十分优越的条件。由此可见, 洞庭湖在我国乃至世界具有举足轻重的地位。

近年来, 由于全球气候变化和长江以及湘、资、沅、澧“四水”建坝的影响, 特别是三峡水库运行后枯水期和全年洞庭湖水位、地下水位均有降低趋势。有研究表明, 2003 年三峡水库蓄水运行以来洞庭湖水位持续偏低, 尤其是在 2006 年和 2009 年出现了历史罕见的秋旱, 并引发一系列的生态环境问题^[2]。洞庭湖连续 5 年保持低水位, 甚至达到 142 年以来的最低水位。长江荆江段水位下降 6 m, 洞庭湖各周边区域在枯水季节地下水平均下降 1.18 m, 达到提防警戒水位的年份仅 1 年。水位流量关系的研究受到大量学者的关注, 常见的方法有水力学法^[3]、最小二乘混沌算法^[4]、小波分析^[5]、蚁群算法^[6]等。基于误差反传算法的神经网络(BP 神经网络)具有高度复杂非线性函数的逼近能力和模式识别能力, 在环境科学中的应用越来越受到人们的重视^[7]。

本文基于大量的三峡出库流量和城陵矶水位的监测数据, 建立 BP 神经网络模型, 对三峡运行后出库流量和城陵矶水位关系进行拟合, 了解三峡出库流量对洞庭湖水位的影响, 预测水位变化趋势, 从而为洞庭湖湿地修复提供理论指导。

2. 资料与方法

2.1. 数据来源与处理

统计三峡工程运行后(2003 年 6 月~2010 年 12 月)的出库日均流量和洞庭湖唯一出口城陵矶日均水位数据。在本研究中, 数据样本随机分成训练样本、检验样本和测试样本, 以 2003 年 6 月、2006 年 9 月、2007 年 9 月、2008 年 9 月和 2009 年 9 月的三峡出库流量作为输入层, 对应时间段的城陵矶水位作为输出层, 训练样本共计 150 组, 以 2010 年 10 月的数据作为测试样本。为了保证神经网络对样本具有良好的拟合性, 流量和水位数据作为训练样本在研究中需进行归一化处理, 公式如下:

$$x = l_1 + (l_h - l_1) \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (1)$$

式中: x 为归一化后的数据, l_1 和 l_h 分别为归一化后的下限和上限, X_{\min} 和 X_{\max} 分别为输入输出数据的最小值和最大值。研究表明, 把样本规范化到[0,1]可以提高预测精度^[8], 因此在本研究中选取 $l_1 = 0.001$, $l_h = 1$ 。

2.2. 研究方法

BP 神经网络是基于误差反向传播算法的多层前向神经网络, 能够用于语言识别、函数逼近、自适应控制和信息处理等, 可实现输入和输出间的任意非线性映射, 通过应用误差反传原理不断调整网络权值使网络模型输出值与已知的训练样本输出值之间的误差平方和达到最小或小于某一期望值, 是目前应用最为广泛的神经网络^[9,10]。

采用 Levenberg-Marquardt(LM)优化算法构建一个四层 BP 神经网络, 即一个输入层, 两个隐含层和一个输出层。所建立的 BP 神经网络基本结构见图 1, 其中隐含层 1 和隐含层 2 的神经元个数分别设为 30 和 10 个, 且分别采用 tan-sigmoid 和 log-sigmoid 传递函数, 输出层神经元采用 purelin 型传递函数, 训练函数设为 trainlm。模拟精度常用均方误差(MSE)和相关系数(R)评价, 公式如下:

$$MSE = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon_i^2}{n}} \quad (2)$$

$$R = \frac{\sum (H - \bar{H})(\bar{H}_s - H_s)}{\sqrt{\sum (H - \bar{H})^2 \sum (H_s - \bar{H}_s)^2}} \quad (3)$$

式中: H 为实测值, H_s 为模拟值, ε_i 为实测值与模拟值的差, n 为数据样本数。

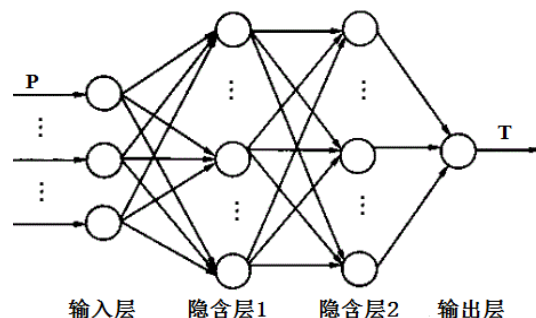


Figure 1. Structure of BP neural network with four layers
图 1. 四层 BP 神经网络结构

3. 结果与讨论

3.1. 三峡运行后出库流量, 城陵矶水位的变化

三峡工程运行以来(截至2010年底)一共经历了六次蓄水, 分别是2003年6月、2006年9月、2007年9月、2008年9月、2009年9月和2010年9月。为了分析三峡运行后出库流量对洞庭湖出口城陵矶水位的影响, 连续统计2003年6月~2010年12月三峡日均出库量和城陵矶日均水位。图2绘出出库量和水位年变化过程, 两者波动趋势的相似。

3.2. 神经网络的模拟

以2003年6月、2006年9月、2007年9月、2008年9月和2009年9月的出库流量作为输出层, 对应时

间段的城陵矶水位作为输出层。BP网络在进行应用于预测研究之前需要一个网络学习过程, 根据学习样本训练后可确定各神经元的连接权W和阈值, 网络即具备了预测的能力。通过1114步训练, 最终得到MSE为0.000997, R为0.99317, 达到了所设的目标误差0.001(图3, 4)。因此, 构建的神经网络模拟精度较好。

3.3. 预测结果

在确定网络的基础上, 选用2010年10月份的31组数据作预测对比。由表1可看出城陵矶水位的实测值、预测值和预测误差, 其中相对误差绝对值小于4%。由图5所示, 实测值的变化趋势与预测值的基本一致, 最大误差为3.89%, 平均误差为0.91%, 说明所建的四层BP神经网络具有很好的预测效果。

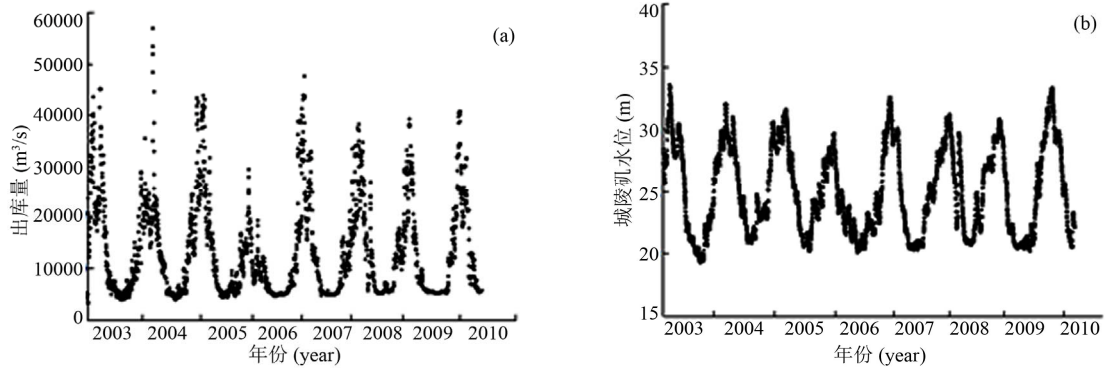


Figure 2. Annual change of outflow discharge of the TGR (a) and water-level at Chenglingji (b)
图2. 三峡出库量(a)和城陵矶水位(b)年变化

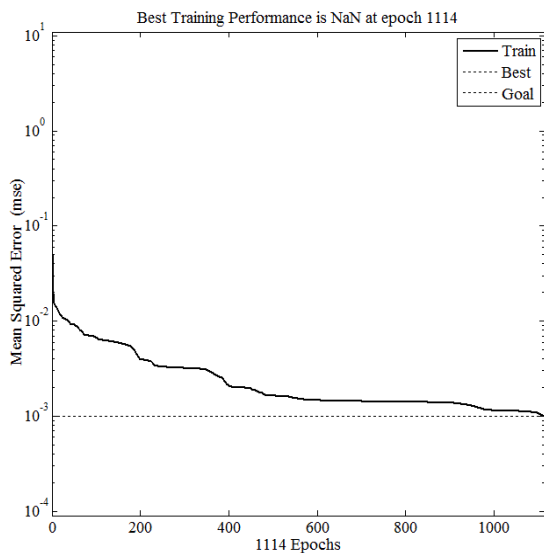


Figure 3. Training error of BP neural network
图3. BP神经网络误差训练情况

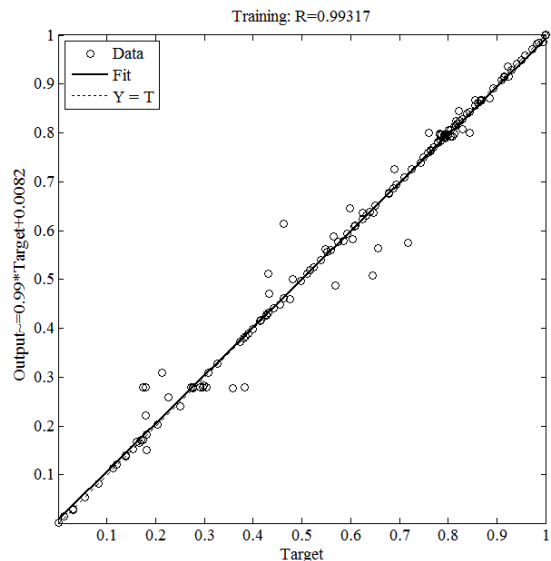


Figure 4. Regression coefficient of BP neural network
图4. BP神经网络训练拟合回归系数

Table 1. Comparison between predicted and observed values of daily water level at Chenglingji
表 1. 城陵矶日均水位的网络预测值与实测值得比较

日期	实测值(m)	预测值(m)	误差(%)	日期	实测值(m)	预测值(m)	误差(%)
10-1	27.88	27.33	-1.97	10-17	25.45	25.31	-0.56
10-2	27.63	27.09	-1.95	10-18	25.53	25.99	1.79
10-3	27.36	27.88	1.90	10-19	25.50	25.55	0.18
10-4	27.08	26.61	-1.72	10-20	25.45	25.86	1.63
10-5	26.81	26.86	0.20	10-21	25.48	26.19	2.78
10-6	26.51	26.92	1.55	10-22	25.56	26.22	2.57
10-7	26.21	26.43	0.86	10-23	25.64	26.13	1.92
10-8	25.89	26.13	0.91	10-24	25.65	25.79	0.54
10-9	25.58	15.88	1.19	10-25	25.55	25.89	1.34
10-10	25.28	24.81	-1.87	10-26	25.50	24.55	0.18
10-11	25.03	25.34	1.22	10-27	25.48	25.86	1.50
10-12	24.77	24.82	0.22	10-28	25.46	25.54	0.31
10-13	24.61	24.68	0.28	10-29	25.39	26.01	2.43
10-14	24.69	24.61	-0.32	10-30	25.23	25.86	2.44
10-15	24.95	25.38	1.74	10-31	25.04	25.36	1.29
10-16	25.24	26.22	3.89				

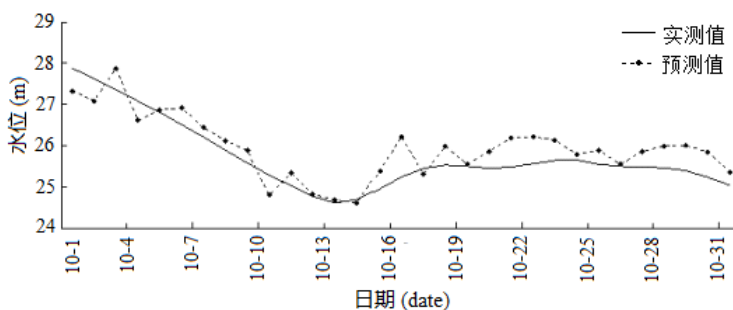


Figure 5. Comparison between predicted and observed values of daily water level at Chenglingji in October 2010
图 5. 2010 年 10 月城陵矶日均水位预测值和实测值的比较

4. 结论

本文基于 BP 神经网络 Levenberg-Marquardt 优化算法建立了水位流量关系预测模型。经过实际预测结果表明, 该网络具有预测精度高, 速度快等特点, 能够有效应用地应用于洞庭湖水位的预测及变化趋势的预报系统中。

参考文献 (References)

[1] 袁正科. 洞庭湖湿地资源与环境[M]. 长沙: 湖南师范大学出版社, 2008.
 YUAN Zhengke. Resources and environment of Dongting Lake wetland. Changsha: Hunan Normal University Press, 2008. (in Chinese)

[2] 黄群, 孙占东, 姜加虎. 三峡水库运行对洞庭湖水位影响分析[J]. 湖泊科学, 2011, 23(3): 424-428.
 HUANG Qun, SUN Zhandong and JIANG Jiahu. Impacts of the operation of the Three Gorges Reservoir on the lake water level

of Lake Dongting. Journal of Lake Sciences, 2011, 23(3): 424-428. (in Chinese)

[3] 闵要武, 段唯鑫, 陈力. 三峡水库调洪运用对寸滩站水位流量关系影响[J]. 人民长江, 2011, 42(3): 17-19.
 MIN Yaowu, DUAN Weixin and CHEN Li. Influence of flood regulation of TGP on water level-flow relation in Cuitan Station. Yangtze River, 2011, 42(3): 17-19. (in Chinese)

[4] 李梅, 张洪波, 黄强, 等. 最小二乘混沌算法在水位流量关系拟合中的应用[J]. 西安理工大学学报, 2006, 22(3): 283-285.
 LI Mei, ZHANG Hongbo, HUANG Qiang, et al. The application of least squares chaos algorithm for stage-discharge relation curve fitting. Journal of Xi'an University of Technology, 2006, 22(3): 283-285. (in Chinese)

[5] 康玲, 万藏, 姜铁兵. 基于小波分析的水位流量曲线求解方法[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2003, 31(10): 30-31.
 KANG Ling, WAN Wei and JIANG Tiebing. A wavelet-based method for rating level-discharge curve. Journal of Huazhong University of Science & Technology (Nature Science Edition), 2003, 31(10): 30-31. (in Chinese)

[6] 詹士昌, 徐婕. 蚁群算法在水位流量关系拟合中的应用[J]. 杭州师范学院学报(自然科学版), 2005, 4(2): 109-113.
 ZHAN Shichang, XU Jie. The application of ant colony algorithm for stage-discharge curve calibration. Journal of Hangzhou Teachers College (Natural Science Edition), 2005, 4(2): 109-113. (in Chinese)

- [7] 刘政, 邹长武, 赵吉武, 等. BP 神经网络模型拟合受回水影响的水位流量关系研究[J]. 水文, 2008, 28(6): 28-29.
LIU Zheng, ZOU Changwu, ZHAO Jiwu, et al. A new method to simulate stage-discharge relation affected backwater. *Journal of China Hydrology*, 2008, 28(6): 28-29. (in Chinese)
- [8] 王晓萍, 孙继洋, 金鑫. 基于 BP 神经网络的钱塘江水质指标的预测[J]. 浙江大学学报(工学版), 2007, 41(2): 361-364.
WANG Xiaoping, SUN Jiyang and JIN Xin. Prediction of water quality index in Qiantang River based on BP neural network model. *Journal of Zhejiang University (Engineering Science)*, 2007, 41(2): 361-364. (in Chinese)
- [9] XU, M., ZENG, G. M., XU, X. Y., et al. Application of Bayesian regularized BP neural network model for analysis of aquatic ecological data—A case study of chlorophyll—A prediction in Nanzui water area of Dongting Lake. *Journal of Environmental Sciences*, 2005, 17(6): 946-952.
- [10] 朱星明, 卢长娜, 王如云, 等. 基于人工神经网络的洪水水位预报模型[J]. 水利学报, 2005, 36(7): 806-811.
ZHU Xingming, LU Changna, WANG Ruyun, et al. Artificial neural network model for flood water level forecasting. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2005, 36(7): 806-811. (in Chinese)