

文章编号 :1007 - 649X(2000)01 - 0075 - 03

# 神经网络在城市用水量预测中的应用研究

赵 瑞<sup>1</sup>, 申金山<sup>1</sup>, 郭院成<sup>1</sup>, 关 柯<sup>2</sup>

(1. 郑州工业大学土木建筑工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 哈尔滨建筑大学建设经济研究所, 黑龙江 哈尔滨 150006)

摘 要: 考虑城市用水量受众多因素影响, 具有系统稳定性和非线性特点, 探讨了基于神经网络的城市用水量预测的非线性时间序列递推预测方法, 并利用该方法对郑州市城市用水量进行了时间序列模拟, 实例证明了该方法的正确性和科学性. 将神经网络的 BP 算法应用于城市用水量系统的建模和预测, 并给出了较为详细的计算结果, 具有一定的理论价值.

关键词: 神经网络; BP 算法; 用水量; 非线性预测

中图分类号: TP 183 文献标识码: A

## 0 引言

水是经济的命脉, 是城市生存和发展的首要条件. 我国现有 300 多个城市缺水, 严重制约了城市经济的发展和人民生活水平的提高. 因此, 必须编制城市供水的总体规划和工程规划, 指导城市供水设施的建设, 使水的供应与需求相适应, 保证城市社会、经济的持续发展.

城市供水总体规划和工程规划的基础是用水量的预测, 其预测方法有数理统计法(包括时序法、回归分析法、灰色预测法)和用水量定额法. 本文考虑到城市用水量受城市人口、规模、经济发展水平、产业结构与技术进步、管理水平等众多因素影响, 具有非线性的特征, 故提出了基于 BP 神经网络的非线性时间序列递推预测方法, 并用于郑州市的用水量预测.

## 1 BP 神经网络的基本原理与学习算法

BP 神经网络是模拟人的神经系统结构, 由许多并行的神经元组成的具有学习能力、记忆能力、计算能力和智能处理能力的非线性自适应的动态系统. 它一般由一个输入层、多个隐层和一个输出层构成, 每层具有多个神经元, 相邻两层节点之间单方向相互连接. 本文选择常用的 3 层 BP 神经网络, 即一个输入层、一个隐层、一个输出层, 其基本

结构如图 1 所示<sup>[1]</sup>.

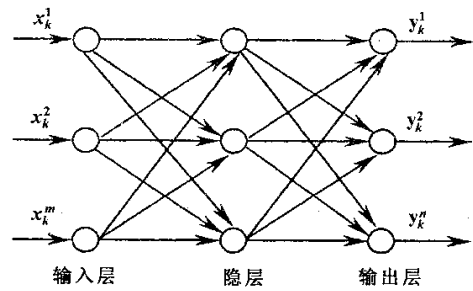


图 1 BP 神经网络的基本结构

图 1 所示的人工神经网络中, 先把输入信息传播到隐节点, 经激活函数后, 再把隐节点的信息传播到输出节点, 最后经激活函数作用后, 给出输出结果. 在隐节点和输出节点处, 取 S 型激活函数

$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$ . 如果输出结果不是期望的输出, 则转入反向传播, 把误差信息沿原来的连通路返回, 通过修正各层神经元的权值, 使误差最小. 现有  $N$  个样本  $(X_k, Y_k)$  ( $k = 1, 2, \dots, N$ ), 对某一输入  $X_k$ , 神经网络的输出为  $Y_k$ , 隐层节点  $i$  的输出为  $O_j$ , 则 BP 人工神经网络的学习过程为:

(1) 赋予 BP 网络相邻各层节点之间的连接权值  $W_{ji}$ ,  $W'_{kj}$  及隐层、输出层节点的阈值  $\theta_j$ ,  $\theta'_k$ ; 输入  $X_k$  并向前传播, 在隐节点和输出节点的输出结果分别为:

收稿日期: 1999 - 10 - 15; 修订日期: 1999 - 11 - 20

基金项目: 河南省自然科学基金资助项目(9640430000)

作者简介: 赵 瑞 (1974 - ), 男, 河南省周口市人, 郑州工业大学硕士研究生.

$$O_j = f\left(\sum_{i=1}^M W_{ji}X_i + \theta_j\right) \quad ; \quad (1)$$

$$\hat{Y}_k = f\left(\sum_{j=1}^H W_{kj}O_j + \theta_j\right) \quad . \quad (2)$$

(2) 进入反向传播 ,若第  $r$  个学习样本的期望输出为  $Y_{k(r)}$  ,定义输出节点的输出误差为

$$D_{k(r)} = (\hat{Y}_{k(r)} - Y_{k(r)}) \cdot \hat{Y}_{k(r)}(1 - \hat{Y}_{k(r)}) \quad . \quad (3)$$

(3) 将  $D_{k(r)}$  反向传播 ,用  $D_{(k)}$  计算输出节点调整后的  $\theta'_k$  和  $W'_{kj}$

$$\theta'_k = \theta'_k + \alpha \cdot D_{(k)} \quad ; \quad (4)$$

$$W'_{kj} = W'_{kj} + \beta \cdot D_{(k)}O_j \quad . \quad (5)$$

(4) 用  $\delta_j = \sum D_{(k)}W'_{kj}O_j(1 - O_j)$  计算隐节点调整后的  $\theta_j$  和  $W_{ji}$

$$\theta_j = \theta_j + \alpha \cdot \delta_j \quad ; \quad (6)$$

$$W_{ji} = W_{ji} + \beta \cdot \delta_j x_i \quad . \quad (7)$$

式中 : $\alpha, \beta$  为学习参数 ,取值范围为 0.1~0.5.

按式 (1)~(6) 依次将  $N$  个样本学习完一遍 ,计算其均方误差

$$E = \frac{1}{N} \sum_{r=1}^N (\hat{Y}_{k(r)} - Y_{k(r)})^2 \quad .$$

取其一定精度  $\epsilon$  ,若  $E < \epsilon$  ,停止学习 ;否则 ,更新学习次数 ,返回式 (2) ,直到  $E < \epsilon$  .

2 预测城市用水量的神经网络方法

2.1 数值处理与训练样本生成<sup>[2,3]</sup>

对于城市用水量时间序列  $Q = (Q_1, Q_2, \dots, Q_T)$  ,

令  $q_i = Q_i / Q_1$  ,

得到  $q = (q_1, q_2, \dots, q_t)$  .

令  $x_i = \frac{1}{1 + \exp(-q_i)}$  ,

得到  $X = (x_1, x_2, \dots, x_t)$  ,之后按以下方法生成输入样本  $X_k$  和输出样本  $Y_k$  :用  $X = (x_1, x_2, \dots, x_t)$

的前  $t - 1$  个数据依次生成  $X_k = (x_k, x_{k+1}, \dots, x_{k+m-1})$  ( $k = 1, 2, \dots, t - m$ ) ;用  $X = (x_1, x_2, \dots, x_t)$  的后  $(t + n - (m + 1))$  个数据依次生成  $Y_k = (y_k, y_{k+1}, \dots, y_{k+n-1}) = (x_{k+m-n+1}, x_{k+m-n+2}, \dots, x_{k+m})$  ( $k = 1, 2, \dots, t - m$ ) .

2.2 预测城市用水量的神经网络方法

从预测城市用水量的角度出发 ,首先确定神经网络的基本结构为 :输入测层节点数为  $m$  ,输出层节点数为  $n$  ,隐层节点数取为  $l = \frac{3}{2} \sqrt{mn}$  .

然后用生成的输入样本  $x_k$  和输出样本  $Y_k$  对神经网络进行训练 ,直达到达到一定的误差要求 ,即得到可预测城市用水量的神经网络模型

在预测城市用水量时 ,用  $X_{t-m+1} = (x_{t-m+1}, x_{t-m+2}, \dots, x_t)$  输入训练好的神经网络 ,输出为  $Y_{t-m+1} = (y_{t-m+1}, y_{t-m+2}, \dots, y_{t+n-m}) = (x_{t-m+2}, x_{t-m+3}, \dots, x_{t+1})$  . 则第  $t + 1$  年城市用水量的预测值为  $Q_{t+1} = Q_1 \times \ln\left(\frac{x_{t+1}}{1 - x_{t+1}}\right)$  ,递推可预测出  $t + 1$  年之后各年数值 .

3 应用实例

郑州市 1987~1996 年历年用水量见表 1<sup>[4]</sup> ,用 1996 年数据对模型进行校验 .

确定神经网络的结构参数为 : $m = 4, n = 3, L = \frac{3}{2} \sqrt{mn} \approx 5$  ,生成的输出样本见表 2 ,取精度  $\epsilon = 5 \times 10^{-4}$  ,用动量 - 自适应学习率调整算法对神经网络进行训练 ,迭代 5000 次完成训练 ,得到隐层和输出层权重见表 3 ,表 4 . 以  $Y_6 = (0.7635, 0.7911, 0.7922, 0.8014)$  为输入数据 ,得到  $x_{10}$  ,加之神经网络的拟合值  $x_3 \sim x_9$  ,反算得到 1989~1996 年用水量的拟合值(预测值)及相对误差见表 5 .

表 1 郑州市 1987~1995 年历年用水量 百万吨

年份	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
用水量	236.48	236.64	237.85	240.37	254.52	277.21	314.89	316.22	329.91	341.27

表 2 郑州市用水量预测神经网络的训练样本

序号	输入样本					输出样本	
1	0.7311	0.7312	0.7322	0.7343	0.7322	0.7343	0.7458
2	0.7312	0.7322	0.7343	0.7458	0.7343	0.7458	0.7635
3	0.7322	0.7343	0.7458	0.7635	0.7458	0.7635	0.7911
4	0.7343	0.7458	0.7635	0.7911	0.7635	0.7911	0.7922
5	0.7458	0.7635	0.7911	0.7922	0.7911	0.7922	0.8014

表 3 郑州市用水量预测神经网络的隐层权重  $\omega_{l_{ij}}$

隐层神经元	输入神经元			
	1	2	3	4
1	- 1. 1107	4. 5884	4. 5093	- 4. 8596
2	- 3. 1840	- 1. 1952	5. 4384	3. 9705
3	- 4. 8756	0. 9570	- 2. 9573	6. 2362
4	3. 9090	- 4. 4395	- 2. 6026	- 3. 9399
5	2. 8393	- 1. 2865	5. 8025	- 4. 8801

表 4 郑州市用水量预测神经网络的输出层权重  $\omega_{l_{jk}}$

输出 神经元	隐层神经元				
	1	2	3	4	5
1	- 3. 0018	- 0. 4275	- 1. 5937	- 3. 9034	- 4. 0689
2	- 3. 8521	- 1. 4639	- 2. 2716	- 4. 6946	1. 4123
3	5. 6663	- 1. 6881	3. 6171	- 2. 1716	- 1. 3870

表 5 郑州市用水量预测(拟合)结果

年份	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
原始值/百万吨	236. 48	236. 64	237. 85	240. 37	254. 52	277. 21	314. 89	316. 22	329. 91	341. 27
预测值/百万吨			237. 01	240. 64	255. 41	278. 98	312. 46	327. 09	331. 24	348. 00
相对误差/%			0. 35	0. 11	0. 35	0. 64	0. 77	3. 4	1. 34	1. 97

4 结束语

本文用 3 层 BP 网络实现了城市用水量的预测,从预测(拟合)结果与原始值对比看,具有较高的精度.用神经网络法进行非线性时间序列预测时,不需建立复杂的显式关系,非专业人员只需对获得的数据进行简单的处理,便可建立新的预测模型,方法简便、快捷、实用.

参考文献:

[1] 焦李成.神经网络系统理论[M].西安:西安电子科

技大学出版社,1990.

[2] 梁艳春.人工神经网络 BP 算法密集型数据的预处理[J].吉林大学学报(自然科学版),1995(3):19-22.  
[3] 刘应梅,杨宛辉,章建,等.基于人工神经网络的变电站故障诊断[J].郑州工业大学学报,1999,20(4):86-88.  
[4] 国家统计局城市社会经济调查总队.中国城市统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,1987-1995.

Application of Neural Network in the Forecasting of Urban Water Consumption

ZHAO Rui<sup>1</sup>, SHEN Jin-shan<sup>1</sup>, GUO Yuan-cheng<sup>1</sup>, GUAN Ke<sup>2</sup>

(1. College of Civil & Building Engineering ,Zhengzhou University of Technology ,Zhengzhou 450002 ,China ;2. Institute of Constructional Economy ,Harbin University of Civil Engineering & Architecture ,Harbin 150006 ,China )

**Abstract** :In view of urban water consumption 's being affected by many factors and its systemic stability and non-linear characteristic ,a non-linear time series forecasting method is studied in this paper based on neural network ,and it was used to predict the water consumption for Zhengzhou city to verify its accuracy and rationality .It is for the first time to apply the method of BP neutral network to modeling and predicting urban water consumption system .Also ,the detailed results of calculation are put forward .

**Key words** :neural network ;BP algorithm ;water consumption ;non-linear forecasting