

# 降水量的 BP 人工神经网络预测模型及其应用\*

牛文全<sup>1</sup>, 李 靖<sup>2</sup>

(1 西北农林科技大学 中国科学院水利部水土保持研究所; 2 水利与建筑工程学院, 陕西 杨陵 712100)

[摘 要] 由于影响因素的复杂性, 预测降水量具有相当的难度。在假设区域长时间内降水量和蒸发量保持平衡的基础上, 用 BP 人工神经网络建立了陕西省汉中的降水量预测模型, 根据前 3 个月降水量和蒸发量对降水量资料进行了模拟预测, 结果认为其准确率为 84%, 合格率为 100%。

[关键词] 降水量; BP 人工神经网络; 预测模型

[中图分类号] S165+. 25

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-2782(2001)04-103-04

降水量是影响干旱最主要的因素, 它决定着干旱的发生发展, 在干旱预报中准确预报降水量是非常关键的。影响降水量的因素很多, 且影响程度和方式很难确定。前人曾运用时间序列法<sup>[1]</sup>、灰色理论<sup>[2]</sup>等对降水量进行了预测研究, 但由于时间序列是线性模型, 灰色理论还不太成熟, 以致上述预测方法不能取得较为满意的结果。非线性、具反馈能力模型在水文、泥沙等许多方面得到了广泛的应用<sup>[3-5]</sup>, 并取得了比较理想的结果, 因此, 作者采用人工神经网络方法, 建立了月降水量的 BP 预报模型。

## 1 BP 网络模型

### 1.1 原理介绍

人工神经网络是一门新兴交叉学科, 也是一门国际上研究异常活跃的领域之一。神经网络模型有 Kohonen 模型、BP 模型、Hopfield 模型、Hamming 模型等, 都是基于连接学说构造的智能仿生模型, 它是由大量神经元组成的非线性动力系统, 是算法和构造的结合, 具有非线性、非区域性、非定长性和非凸性等特点。其中 BP 模型是应用较广的一种人工神经网络, 具自学习反馈能力<sup>[5]</sup>, 由具有多个节点的输入层、隐层和多个或 1 个输出的输出层组成, 每个节点为 1 个单独的神经元。相邻两层间单向连接。

节点之间的传递函数为 S 型函数, 即

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (1)$$

各层节点的输出按下式计算

$$y = f \left[ \sum_{i=0}^n \omega_i x_i - \theta \right] \quad (2)$$

各个节点输入是由输入信息的权重  $\omega$  和阈值  $\theta$  连接的。式中,  $y$  是节点输出,  $x_i$  是节点接受的信息,  $\omega_j$  是相关连接权重,  $\theta$  为阈值,  $n$  是节点数。

### 1.2 网络自学习算法

网络的学习过程(图 1)具体如下。

- 1) 给网络赋一组随机初始权值, 一般  $0 < \omega_j < 1$ , 并使其不相等。
- 2) 将输入数据标准化, 生成输入信号  $(x_0, x_1, \dots, x_{n-1})$ , 确定期望输出信号  $(d_0, d_1, \dots, d_{k-1})$ , 使  $d_k$  在 -1 和 1 之间且互不相等。
- 3) 逐层计算神经网络的实际输出值,

$$y_i = f \left[ \sum_{i=0}^{n-1} \omega_i x_i - \theta \right],$$

$$z_k = f \left[ \sum_{j=0}^{n-1} \omega_k x_j - \theta \right].$$

$$(j = 0, 1, \dots, m - 1; k = 0, 1, \dots, l - 1) \quad (3)$$

- 4) 从输出层开始反向调整权重, 调整公式为

$$\omega_k + \eta \delta_k y_i - \omega_k, (j = 0, 1, \dots, m - 1; k = 0, 1, \dots, l - 1) \quad (4)$$

$$\omega_j + \eta \delta_j x_i - \omega_j, (j = 0, 1, \dots, m - 1; i = 0, 1, \dots, n - 1) \quad (5)$$

式中,  $\eta$  为学习因子,  $\delta$  为误差修正量。为了使  $\eta$  取值足够, 又不致产生振荡,  $\eta$  通常用调整公式

$$\omega_j(t+1) = \omega_j(t) + \eta \delta_j + \alpha(\omega_j(t) - \omega_j(t-1)), \quad (6)$$

式中,  $\alpha$  为势态因子。为了保证学习过程的收敛, 作者通过反复试验, 本文的预测模型中  $\alpha$  为 0.95,  $\eta$  为 1.05。

- 5) 计算期望值和计算值之间的误差, 若达到要求, 计算结束, 否则, 转到第 3 步继续计算, 直至达到要求。

\* [收稿日期] 2000-09-04

[作者简介] 牛文全(1972-), 男, 甘肃甘谷人, 讲师, 主要从事地表径流调控和高效利用以及环境保护等方面的教学和研究。

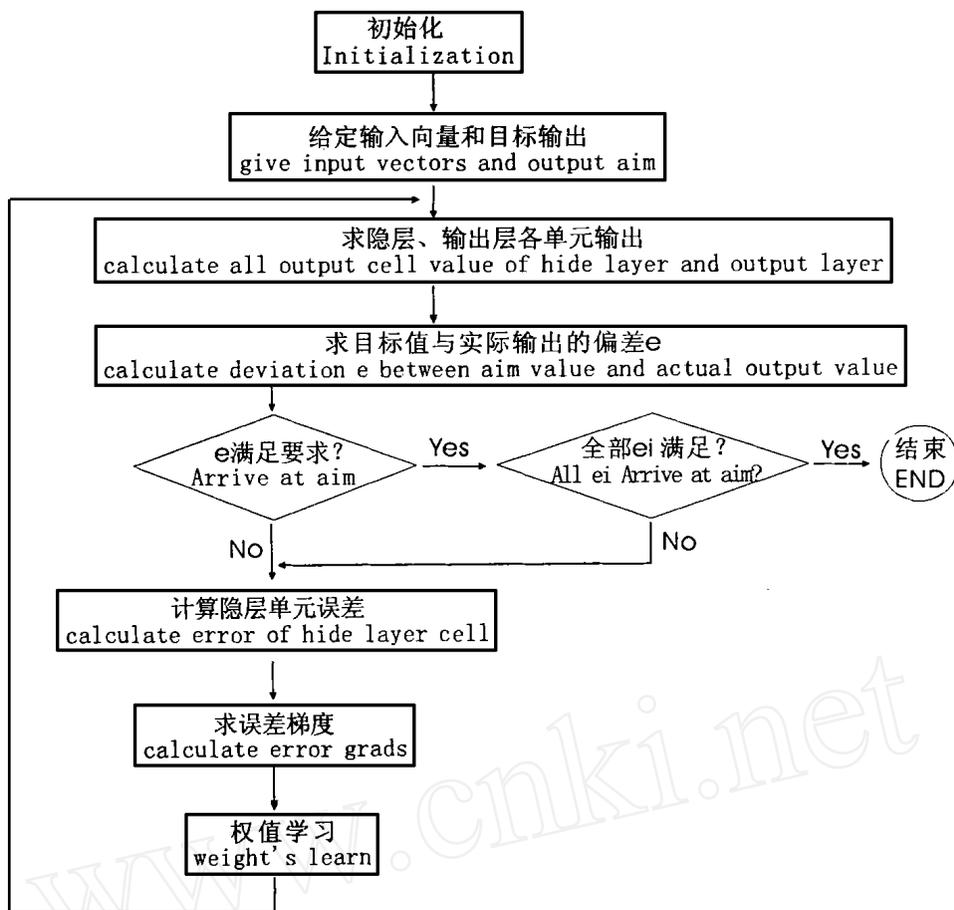


图 1 BP 算法框图

Fig 1 The frame map of BP arithmetic

## 2 降水量的预测模型

笔者认为,影响降水量的偶然因素很多,但以大气水量平衡方程推理,大气降水量和地面、海面蒸发量在长时间上是保持一定的动态平衡的。因此,若假设在一个区域内的很长时间内降水量和蒸发量保持平衡,则可以用历史的蒸发量和降水量作为影响因素来预测降水量<sup>[5]</sup>。

采用前 3 个时段(月、年)内的蒸发量和降水量来预测下一时段的降水量,以月降水量的预测为例,经过多次反复试验,认为模型由 6 个输入的输入层,5 个对数 S 型神经元的隐层和一个线性神经元的输出层组成 3 层 BP 神经网络。

由于降水量受偶然因素的影响大、多,资料序列是不稳定的,数据变化较大,若采用降水量实测资料直接作为目标值进行预测,误差非常大,因此本文将降水量用式(7)标准化,消除了数据之间的差异后,作为目标值进行预测,达到了较高的预测精度。用预

测结果通过式(6)反算出月降水量。

$$x_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}, \quad (7)$$

式中,  $x_i$  为原始数据,  $x_i$  为标准化后的数值,  $\bar{x}$  为平均值,  $\sigma$  为标准方差。

## 3 预测实例

以陕西省汉中市 1961~1980 年(缺 1972 年)降水量资料为例,用 1961~1977 年的资料作为训练网络的基本资料,1978~1980 年的资料作为网络检验的数据。预测结果见表 1 和表 2。从表 2 可以看出, BP 网络模型的模拟预测值能够反映降水量的实际情况,其统计参数与实测资料的统计参数非常接近,仅偏态系数差距稍大些,在模拟值中,只有 1961, 1970, 1976 年的值与实测值有一定的差距,其他几乎完全相同,准确率达 84%。因此,可以认为用人工神经网络 BP 模型预测降水量是可行的,假设区域长期降水量和蒸发量保持平衡是合理的。表 3 列出

了汉中市 1961~ 1980 年月降水量预测的 BP 神经网络模型权重和阈值, 并运用式(1)和式(2)来预测未来年份的月降水量资料。

表 1 汉中市 6~ 9 月份历史蒸发量、降水量资料

Table 1 Historical data of evaporation and precipitation from June to Sept in Hanzhong mm

年份 Year	6月Jun		7月July		8月August		9月September		
	降水量 Precipitation	蒸发量 Evaporation	降水量 Precipitation	蒸发量 Evaporation	降水量 Precipitation	蒸发量 Evaporation	实测值 Survey value	标准化值 Standard value	预测值 Forecast value
1961	371.6	23.7	170.6	26.2	77.5	25.9	59.0	-0.92	
1962	74.6	24.7	292.7	26.0	237.9	24.0	60.6	-0.91	
1963	88.4	23.9	101.2	24.8	141.0	25.1	360.0	1.81	
1964	66.7	23.1	136.1	25.4	123.5	25.1	272.6	1.02	
1965	75.1	23.6	226.6	25.5	153.4	23.5	102.5	-0.53	
1966	14.0	25.1	188.6	26.4	71.8	25.0	109.7	-0.46	
1967	121.9	23.3	167.8	25.5	37.0	27.2	118.1	-0.39	
1968	31.9	24.1	113.5	26.4	18.1	25.9	344.8	1.67	
1969	130.9	22.1	104.9	26.4	59.3	26.2	175.5	0.13	
1970	172.8	22.5	136.6	25.8	62.9	25.1	75.5	-0.77	
1971	57.4	24.8	291.8	24.3	43.1	26.1	51.3	-0.99	
1973	78.1	23.7	205.1	25.1	71.4	25.8	302.9	1.29	
1974	70.6	23.2	49.8	25.7	170.2	24.2	254.4	0.85	
1975	53.6	22.6	192.8	25.1	56.1	26.4	305.7	1.32	
1976	64.8	22.6	33.5	25.2	198.1	23.9	84.8	-0.69	
1977	52.4	23.6	160.7	25.6	53.6	25.3	27.6	-1.21	
1978	100.9	23.4	219.8	25.3	27.0	25.8	59.0	-0.92	59.0
1979	79.5	24.4	247.2	24.9	84.3	24.9	130.4	-0.27	130.4
1980	194.0	22.6	158.3	24.6	206.5	23.9	158.1	-0.02	158.1

表 2 汉中市 9 月份降水量资料的统计参数

Table 2 Statistic parameter of September quantity of precipitation in Hanzhong

	平均值 Average value	标准方差 Standard covariance	变异系数 Variation coefficient	偏态系数 Deviation coefficient
实测值 Survey value	160.66	110.18	0.69	0.51
预测值 Forecast value	164.00	107.50	0.66	0.66

表 3 汉中市 9 月份预测模拟降水量资料 BP 网络模型的权重及阈值

Table 3 Threshold value and weight of BP network model in simulating the quantity of precipitation in Sept in Hanzhong

$\omega$				$\omega$	$\theta$	$\theta$		
-1.12	1.77	-3.37	-1.00	3.15	-0.55	-2.05	13.94	
2.07	-3.51	-5.67	0.45	-1.40	0.40	-8.79	22.82	
-0.45	-5.53	1.15	0.05	-1.04	0.21	-2.39	23.46	10.71
-39.6	18.72	32.08	-0.13	-0.33	0.17	8.70	-33.42	
6.22	-0.91	-2.27	-1.46	1.89	-0.09	-9.26	37.60	

### 4 结 论

1) 降水量的影响因素非常多, 本文假设区域在长时间内降水量和蒸发量保持平衡是合理的。

2) 用 BP 神经网络模型, 以前 3 个月的蒸发量和降水量作为 6 个输入, 将降水量用式(7)标准

化后作为输出目标值建立 3 层网络预测模型, 隐层为 5 个对数神经元, 输出层为 1 个线性神经元。模拟和预测结果是准确的, 可以达到预测要求, 因此, 用 BP 神经网络模型预测降水量是一种行之有效的方法。由于资料系列太短, 因此不能用更多的资料来检验模型。

## [参考文献]

- [1] 张书文, 李占甫. 时间序列分析在预测年降水量中的应用[J]. 水资源研究, 1996, 17(4): 7- 11.
- [2] 黄 英. 灰色理论在干旱研究中的应用[J]. 水资源研究, 1994, 15(4): 60- 63.
- [3] 李致家, 孔祥光. 河道洪水演算的神经网络模型[J]. 河海大学学报, 1997, 25(5): 7- 12.
- [4] 邓新民, 李祚泳. 流域年均含沙量的BP 网络预测模型及其效果检验[J]. 成都气象学院学报, 1997, 12(2): 119- 123.
- [5] 牛文全. 陕西省干旱规律及预测研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 1999.

## Application of BP artificial neural network model in forecast of quantity of precipitation

NIU Wen-quan<sup>1</sup>, LI Jing<sup>2</sup>

(1 Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Chinese Academy of Sciences, Ministry of Water Resource of China Institute of Soil and Water Conservation, Shaanxi, Yangling 712100, China; 2 College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Because of the complexity of influential factors, it is very difficult to forecast the quantity of precipitation. Based on the quantity balance of evaporation and precipitation in a long time in a area, BP artificial neural network model was applied to build forecast model of quantity of precipitation. It is based on former three months' quantity of precipitation and evaporation to simulate and forecast this month's quantity of precipitation. The result is analyzed and indicates that the ratio of nicety is 84% and the ratio of eligibility is 100%.

**Key words:** quantity of precipitation; BP artificial neural network; forecast model

## 《畜牧兽医学报》2002 年征订启事

《畜牧兽医学报》是中国畜牧兽医学会主办,《畜牧兽医学报》编委会、中国农业科学院畜牧研究所编辑出版的全国性的畜牧兽医学术刊物。创刊于 1956 年 7 月,读者对象为大、专院校的师生和各级畜牧兽医生产、科研工作者等。刊登较高水平的学术论文和专业研究报告以及对生产实践具指导性、启发性的文章。本刊为全国中文核心期刊、中国自然科学核心期刊,并被国内外重要引文数据库及文摘性期刊收录。

本学报为双月刊,大 16 开,104 页,每期定价 10.00 元。全国各地邮局均可订阅,邮发代号: 82-453;国内统一刊号: CN 11-1985/S; 国外代号: BM 446; 编辑部地址: 北京市海淀区圆明园西路 2 号中国农业科学院畜牧研究所; 邮政编码: 100094; 电话: (010) 62815987。