

# 植物病虫害 BP 神经网络预测系统的研制与应用\*

胡小平, 梁承华, 杨之为, 李振岐

(西北农林科技大学 植保学院, 陕西 杨陵 712100)

[摘要] 以 Delphi 3.0 为开发工具, 建立了植物病虫害 BP 神经网络预测系统, 阐述了 BP 神经网络的基本原理和预测系统的制作过程, 并以陕西汉中地区小麦条锈病流行程度的预测为例说明了其应用。结果表明, 该系统的预测结果与实际发生程度高度吻合。

[关键词] BP 神经网络; 预测系统; 小麦条锈病

[中图分类号] S431.11; S435.12

[文献标识码] A [文章编号] 1000-2782(2001)02-073-04

植物病虫害预测是在认识其发生规律的基础上, 利用经验或系统模拟的方法估计一定时限之后病虫害在一定空间内的发生状况<sup>[1]</sup>。目前, 植物保护工作者通常采用统计模型法、类推法、专家评估法和系统模拟模型等方法进行植物病虫害预测预报<sup>[2]</sup>。近年来, 已有许多学者将人工神经网络(Artificial Neural Network, 简记为 ANN)成功地应用于植物病虫害的预测, 且取得了较好的预测效果<sup>[3~5]</sup>。BP 神经网络具有对非线性系统预测的重要特性, 这种方法具有跟踪性能好, 适用面广, 收敛速度快, 容错能力强等特点。本研究以 BP 神经网络理论为基础, 建立了植物病虫害 BP 神经网络预测系统, 并以陕西汉中地区 24 年(1974~1998 年)的病情和气象资料为依据, 进行小麦条锈病流行程度的预测, 以说明其应用。

## 1 理论基础

1974 年 Werbos 提出了一个监督训练多层神经网络算法, 这就是著名的反向传播学习算法(Back Propagation Algorithm), 简称 BP 网络或 BP 算法<sup>[6]</sup>。1986 年 Rumelhart<sup>[7]</sup>发展了反向传播网络学习算法, 实现了 Minsky 的多层网络设想。BP 网络的学习过程是一种误差修正型学习算法, 由正向传播和反向传播组成(图 1)。在正向传播过程中, 输入信号从输入层通过作用函数后, 逐层向隐含层、输出层传播, 每一层神经元状态只影响下一层神经元状

态。如果在输出层得不到期望输出, 则转入反向传播, 将误差信号沿原来的连接通路返回, 通过修改各层神经元的连接权值, 使得输出误差信号最小。

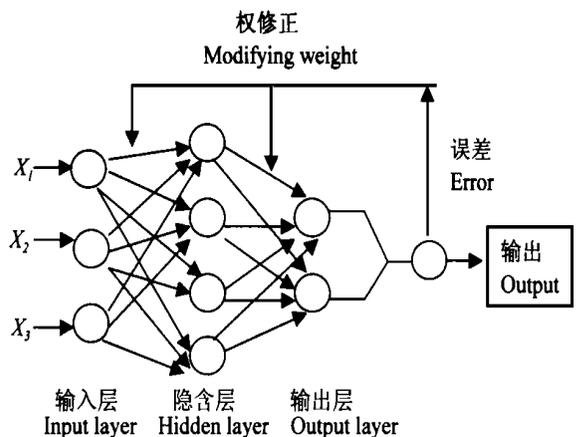


图 1 反向传播学习过程原理图

Fig 1 The principle diagram of back propagation algorithm

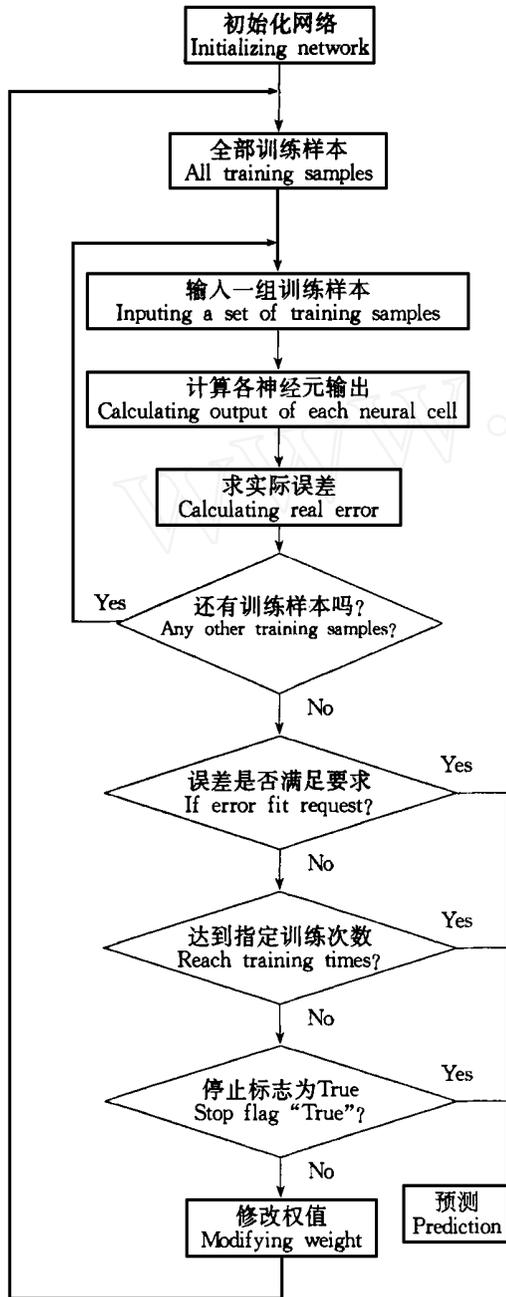
## 2 基于 BP 神经网络的植物病虫害预测系统

以 Delphi 3.0 为开发工具<sup>[8]</sup>, 制作了 BP 神经网络预测系统, 系统流程见图 2。该系统的反向传播采用张乃尧等的算法<sup>[9]</sup>, 权值调节采用附加动量法<sup>[10]</sup>, 学习速率采用自适应学习速率法<sup>[10]</sup>。主要数据包括各层神经元个数、神经元的一组权值、神经元的输出值、反向计算时的局部梯度、网络层数、学习步长、指定训练次数和目标误差等。

\* [收稿日期] 2000-05-22

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(39770486)

[作者简介] 胡小平(1971-), 男, 宁夏固原人, 讲师, 在读博士, 主要从事生态病理及病害流行病学研究。



设输入层单元数为  $L$ , 隐层单元数为  $M$ , 输出层单元数为  $N$ , 则各层神经元的输出满足公式(1)和(2):

$$Y_k = \sum_{j=1}^N W_{jk} \cdot H_j + Q_k \quad K = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

$$H_j = f \left( \sum_{i=1}^L W_{ij} \cdot X_i + Q_j \right) \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

$$f(s) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (3)$$

式中,  $Y_k$  为神经网络的输出;  $H_j$  为隐层的输出;  $X_i$  为神经网络的输入;  $W_{jk}$  为隐层到输出层的连接权;  $Q_k$  为输出单元的阈值;  $W_{ij}$  为输入层到隐层的连接权;  $Q_j$  为隐层单元的阈值;  $f(s)$  为隐层单元的输出函数, 取为 Sigmoid 函数, 满足(3)式。

学习算法采用梯度下降法, 极小化能量函数为:

$$E(t) = \sum_{k=1}^N (d_k(t) - y_k(t))^2$$

其中,  $d_k$  为输出层第  $k$  个单元的期望输出。设  $p$  为步长, 可得

$$\Delta W_{ij} = p \cdot \sum_{k=1}^N (d_k - y_k) \cdot W_{jk} \cdot H_j \cdot (1 - H_j) \cdot X_j$$

$$\Delta Q_{ij} = p \cdot \sum_{k=1}^N (d_k - y_k) \cdot W_{jk} \cdot H_j \cdot (1 - H_j) \cdot X_j$$

$$\Delta W_{jk} = p \cdot (d_k - y_k) \cdot H_j$$

$$\Delta Q_{jk} = p \cdot (d_k - y_k)$$

### 3 应用

以影响陕西汉中地区小麦条锈病流行程度的因子<sup>[11]</sup>, 秋苗病叶数 ( $x_1$ )、返青拔节期病叶数 ( $x_2$ )、4 月份平均温度 ( $x_6$ )、4 月份降雨量 ( $x_{12}$ ) 和感病品种比例 ( $x_{15}$ ) 作为神经网络的输入, 24 年 (1974~1997) 的数据, 作为该神经网络的训练和测试样本, 其中前 20 个样本作为训练样本, 后 4 个样本作为测试样本, 选取的动量率为 0.075, 学习速率为 0.15, 误差为 0.026, 输入层中的节点数为 5 (5 个预测因子), 输出层中的节点数为 5 (病害流行程度分为 5 个级别), 选隐层中的节点数为 8 (隐层中的节点数目应略大于输入层)。所以, 用于汉中地区小麦条锈病流行程度预测的神经网络结构为 (5, 8, 5)。原始数据按(4)式进行归一化处理, 结果见表 1。把小麦条锈病按其流行程度分为 1、2、3、4、5 级, 分别对应轻发生、中偏轻发生、中度发生、中偏重发生、大发生。其中期望输出模式分别为 (1 0 0 0) 代表 1 级, (0 1 0 0) 代表 2 级, (0 0 1 0) 代表 3 级, (0 0 0 1) 代表 4 级, (0 0 0 0 1) 代表 5 级。表 1 还给出了 20 个期望输出模式及训练后输出结果。从表 1 可以看出, 回测准确率为 100%。

$$x_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max}} \quad (4)$$

式中,  $x_{\max}$  为  $x_{ij}$  中的最大值,  $x_{\min}$  为  $x_{ij}$  中的最小值。

表 1 植物病虫害BP 神经网络预测系统训练结果

Table 1 Training result of plant diseases and pests BP neural network prediction system

年份 Year	$x_1$	$x_2$	$x_6$	$x_{12}$	$x_{15}$	期望输出 Expected output	神经网络训练结果 Training result of the BP neural network					
1974	0.04152	0.02500	0.29586	0.00000	0.45000	1.00000	0.951730	0.065117	0.000006	0.000007	0.000004	
1975	0.16607	0.25972	0.13687	0.55094	0.45000	0.00100	0.000195	0.043034	0.000237	0.927593	0.000047	
1976	0.00297	0.01111	0.11299	0.55878	0.57500	1.00000	0.915319	0.061814	0.000002	0.060945	0.000000	
1977	0.11210	0.21528	0.22365	0.65752	0.82500	0.00100	0.059120	0.000044	0.000013	0.984533	0.000199	
1978	0.00059	0.03472	0.22947	0.01019	0.82500	1.00000	0.943716	0.046597	0.000001	0.000201	0.000058	
1979	0.36595	0.49306	0.13454	0.24138	0.95000	0.00100	0.000203	0.000012	0.000268	0.973881	0.071118	
1980	0.11269	0.94444	0.20035	0.21787	0.95000	0.00001	0.000023	0.000025	0.045244	0.045465	0.935136	
1981	1.00000	0.21250	0.16540	0.11285	0.32500	0.00001	0.000009	0.000224	0.030174	0.014510	0.943663	
1982	0.00000	0.03014	0.11299	0.54310	0.20000	0.10000	0.115984	0.924048	0.000043	0.001041	0.000000	
1983	0.43891	0.05833	0.11124	0.37774	0.03750	0.10000	0.000045	0.982991	0.001351	0.024701	0.000005	
1984	0.05279	0.02528	0.15783	0.15047	0.01250	1.00000	0.984191	0.013021	0.000048	0.000003	0.000000	
1985	0.05516	0.00583	0.18870	0.36520	0.01250	1.00000	0.985155	0.012054	0.000027	0.000006	0.000000	
1986	0.00593	0.00694	0.21025	0.28292	0.01250	1.00000	0.996165	0.005905	0.000020	0.000002	0.000000	
1987	0.00356	0.03667	0.11532	0.52296	0.00000	1.00000	0.936003	0.050790	0.000034	0.000024	0.000000	
1988	0.00000	0.02222	0.16191	0.13558	0.00000	1.00000	0.994200	0.008304	0.000036	0.000001	0.000000	
1989	0.00119	0.03056	0.15201	0.90439	0.00000	1.00000	0.933948	0.039507	0.000019	0.004137	0.000000	
1990	0.00119	0.00417	0.12464	0.50392	0.00000	1.00000	0.982133	0.022476	0.000024	0.000011	0.000000	
1991	0.12633	0.39167	0.12755	0.19436	0.13750	0.10000	0.000009	0.966469	0.043093	0.003055	0.000071	
1992	0.00000	0.00000	0.28829	0.11364	0.01250	1.00000	0.998661	0.002984	0.000021	0.000000	0.000000	
1993	0.00000	0.00000	0.23995	0.04232	0.01250	1.00000	0.998109	0.003937	0.000032	0.000000	0.000000	

表 2 是将测试样本数据加载到经训练, 并已达到稳定的植物病虫害BP 神经网络预测系统中, 所给出的小麦条锈病流行程度神经网络识别结果。从表 2 可以看出, 针对 4 个测试样本, 预测得到的小麦

条锈病流行程度分别为 1 级、1 级、3 级和 2 级, 这与汉中地区 1994, 1995, 1996, 1997 年实际的流行程度完全吻合, 预测准确率为 100%。

表 2 植物病虫害BP 神经网络预测系统预测结果

Table 2 Prediction results of plant diseases and pests BP neural network prediction system

年份 Year	$x_1$	$x_2$	$x_6$	$x_{12}$	$x_{15}$	实测结果 Real results	神经网络识别结果 Recognition results of the BP neural network				
1994	0.00000	0.01361	0.17705	0.24373	0.01250	1.00000	0.994732	0.007866	0.000024	0.000002	0.000000
1995	0.00000	0.01944	0.14211	0.16771	0.07500	1.00000	0.989910	0.014896	0.000030	0.000002	0.000000
1996	0.13049	1.00000	0.00000	0.17868	0.32500	0.01000	0.000000	0.041196	0.935979	0.002049	0.051289
1997	0.05931	0.03750	0.17239	0.24451	0.45000	0.10000	0.077792	0.892837	0.000017	0.000022	0.000003

#### 4 结论与讨论

本研究用 Delphi 3.0 建立的植物病虫害BP 神经网络预测系统, 对汉中地区小麦条锈病的流行程度进行了预测, 结果表明, 该系统的回测和预测效果均较好且稳定。

BP 神经网络是模仿人脑工作的一种算法, 或者说是一种具有大量连接权的并行分布式处理器, 它具有通过学习获取知识并解决问题的能力, 且知识是分布储存在连接权(对应于生物神经元的突触)中。BP 神经网络具有跟踪性能好、适用面广、容错能力强等特点, 但其算法比较复杂。当然这种神经网络只是对人脑粗略而简单的模仿, 在功能和规模上与真正人脑神经网络相差较远, 但在应用上已迅速扩

展到许多重要领域。目前, 神经网络技术主要用于模式识别和图象处理, 如印刷体和手写体字符识别、语音识别、签字识别、指纹识别、人脸识别、癌细胞检测、心电图和脑电图分类、RNA 和 DNA 识别、图象压缩、图象复原等方面, 在预测与管理方面的应用也较为广泛, 如股票市场预测、有价证券管理、借贷风险分析、信用卡管理、机票管理等。在植物病虫害的预测方面也有一些报道<sup>[3-5]</sup>, 但尚未见到植物病虫害BP 神经网络预测计算机软件的研究。

作者建立的植物病虫害BP 神经网络预测系统, 权值调节采用附加动量法, 可使反向传播避免陷入局部极小值, 学习速率采用自适应学习速率法, 可保证训练的稳定性, 并达到合理的高速率, 大大减少训练时间。植物病虫害BP 神经网络预测系统是一

个新的植物病虫害预测软件,其预测效果的稳定性和准确性还需进一步验证和改进。

### [参考文献]

- [1] 许志刚主编 普通植物病理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997. 244
- [2] 肖悦岩, 季伯衡, 杨之为, 等. 植物病害流行与预测[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998. 80- 81.
- [3] 蔡煜东, 许伟杰. 自组织神经树在小麦赤霉病预测中的应用[J]. 农业系统科学与综合研究, 1995, 11(3): 170- 172
- [4] 向卫国, 何树林. 用神经网络法进行稻飞虱发生量及程度的预报[J]. 成都气象学院学报, 1995, 10(2): 144- 148
- [5] 何东进, 洪 伟, 吴承祯. 人工神经网络在毛竹枯梢病预测预报中的应用研究[J]. 植物病理学报, 1998, 28(4): 353- 357.
- [6] Werbos P. Beyond Regression: New Tools for Prediction and Analysis in the Behavioral Sciences [D]. Ph D Dissertation, Harvard University, 1974
- [7] Rumelhart D E, McClelland J. Parallel Distributed Processing[M]. Cambridge, MA: MIT Press, 1986
- [8] 徐新华. Delphi 3 编程指南[M]. 北京: 宇宙出版社, 1998
- [9] 张乃尧, 阎平凡. 神经网络与模糊控制[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998. 11- 18
- [10] 丛 爽. 面向MATLAB 工具箱的神经网络理论与应用[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1998. 64- 70
- [11] 胡小平. 汉中地区小麦条锈病预测技术研究[D]. 陕西杨陵: 西北农林科技大学, 1999.

## Development and application of the BP neural network prediction system on plant diseases and pests

HU Xiao-ping, LIANG Cheng-hua, YANG Zhi-wei, LI Zhen-qi

*(College of Plant Protection, Northwest Science and Technology University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)*

**Abstract:** A BP neural network prediction system concerning plant diseases and pests was developed on Delphi 3.0. The paper described the basic principle of BP neural network and the developing process of the prediction system. The prediction system was used to predict the severity of wheat stripe rust in Hanzhong, Shaanxi province. Results showed that the accurate ratio of prediction was satisfied.

**Key words:** BP neural network; prediction system; wheat stripe rust