

基于 MATLAB 的 BP 预测模型在 地震前兆预测中的应用研究

王 凤¹, 黄力宇², 张宇翔¹

(1. 陕西省地震局, 陕西 西安 710068; 2. 西安电子科技大学, 陕西 西安 710068)

摘要: 依据神经网络理论, 基于 MATLAB 的神经网络工具箱建立了一个 BP 神经网络预测模型, 并通过对陕西省地震前兆数据的预测分析来检验模型的效果, 实验结果证明该模型用于地震预测的可行性, 操作简单灵活, 直接面向用户, 具有很好的应用价值。

关键词: MATLAB; BP 神经网络; 地震预测

中图分类号: P315.69 文献标识码: A

0 引言

地震与其他自然灾害的区别不仅在于破坏力的猛烈, 而且在于破坏力的集中。因此如果能够准确的预测出将要发生的地震灾害, 提前上报给有关部门, 及早做好准备工作, 就可以大大减少伤亡人数, 同时也可以最大限度地减少经济损失。但是由于引发地震的相关性因素很多, 其产生机理的复杂性、孕育过程的非线性和认识问题的局限性使得人们很难建立较完善的地震预测物理模型。

人工神经网络是一种模拟人类脑神经系统的网络结构, 它能从已知的数据中自动地归纳规则, 获得这些数据的内在规律及样本中蕴含的非线性关系, 具有良好的自适应性、自组织及很强的学习、联想、容错和抗干扰能力^[1]。此外, 它还具有高度灵活性与高速运算能力, 可灵活方便的对各种成因的复杂未知系数进行建模, 因而可用于一系列预测与控制问题中。

该文简要介绍了 BP 网络的算法原理, 基于 MATLAB 的神经网络工具箱建立地震发生级数预测的 BP 网络预测系统, 确定地震的发生与自然因素之间的联系, 并通过对陕西省前兆地震数据的分析预测来检验模型的效果。

1 BP 网络算法原理

人工神经网络(Artificial Neural Network, 简称

ANN)是一个由大量简单的处理单元广泛连接组成的人工网络, 它是一种模拟人思维的方法, 是一个非线性动力学系统, 其特点在于信息的分布式存储和并行协同处理。

最常用的神经网络是 BP 网络(也叫多层前馈网络), 它采用误差反向传播算法(Error Back-Propagation), 其结构如图 1 所示。BP 网络除输入输出节点外, 还有若干层的隐含层节点, 同层节点中没有任何耦合。其节点单元特性(传递函数)通常为 Sigmoid 型, 但在输出层中, 节点的单元特性优势为线性。实践证明, 对于任意闭合区间连续函数都可以用含有一至两个隐含层的 BP 网络来逼近^[2]。

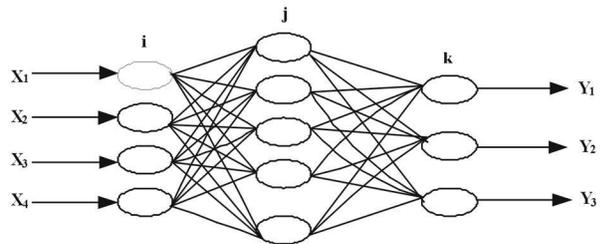


图 1 BP 网络结构图

BP 网络可看作是一个输入到输出的高度非线性映射, 即 $F: R^n \rightarrow R^m, f(X) = Y$

对于样本集合: 输入 $X_i (\in R^n)$ 和输出 $Y_i (\in R^m)$ 可认为存在某一映射 g

使: $g(x_i) = y_i; i = 1, 2, 3, \dots, n$

* 收稿日期: 2008-02-15

作者简介: 王凤(1976-), 女(汉族), 陕西户县人, 陕西省地震局工程师, 主要从事地震监测工作。E-mail: zhoulfeng1119@163.com

BP 算法属于 δ 算法, 是一种监督式的学习算法。适合于多层神经网络的学习, 它是建立在梯度下降算法的基础上的。

BP 算法是由两部分组成的: 信息的正向传递与误差的反向传播。在正向传播过程中, 输入信息从输入层经隐含层逐层计算传向输出层, 每一层神经元的状态只影响下一层神经元的状态。如果在输出层没有得到期望输出, 则计算输出层的误差变化值, 然后转回到反向传播, 通过网络将误差信号沿原来的连接通路反传回来修改各神经元的权值, 直至达到预期的目标^[3]。

2 BP 网络在地震预测中的应用

2.1 BP 网络结构的设计

地震的孕育、发生是一个十分复杂的物理化学过程, 人们至今仍无法用精确的数学模型来描述这一过程^[4]。利用 BP 网络来对地震进行预测主要是通过创建一个 BP 神经网络模型并对其进行训练, 找出隐含在参数与前兆异常之间的非线性映射关系。建立 BP 网络的环节包括: 确定网络层数和各层的神经元数, 设立激活函数、初始值、学习方法以及学习速率等。

BP 网络输入、输出层的神经元数目完全可以根据需要求解的问题和数据所表示的方式来确定。总之问题确定后, 输入与输出层的神经元数就随之确定了。

该文以 1998 年至 2004 年陕西临潼台地下流体、乾陵台地形变、宝鸡台地形变、乾陵台地磁的观测数据作为研究对象, 将这些测项的共十四个观测量作为 BP 网络的输入单元, 把是否发生地震和发生地震的震级作为输出单元, 设计出用以预测地震的 BP 网络。

因为所有收集的数据往往不是在同一个数量级, 不利于神经网络的训练及输出的准确性, 所以我们将所收集到的数据映射到 $(-1, 1)$ 之间, 进行归一化处理, 这样就有利于提高神经网络的训练速度。具体算法是:

$$P_n = 2 * (P - \min P) / (\max P - \min P) - 1$$

式中, P 是所收集的一组数据, $\min P$, $\max P$ 分别是这组数据中的最小值和最大值, P_n 是映射后的数据。

应用上述算法将选取的临潼台地下流体、宝鸡台地形变、乾陵台地形变和地磁的十四项观测数据进行处理, 使本来不在同一数量级的训练数据全部

映射到 $[-1, 1]$ 之间。经过上述的归一化处理后, 从中选取 62 组数据作为训练样本, 再从这 62 组数据中选 10 组作为测试样本, 以测试网络是否达到要求, 最后另选 3 到 4 组数据作为预测样本, 以检验网络是否具有一定的推广能力。

由于有十四项观测指标, 那么输入层应有十四个神经元。输出总共分为三个档, 期望输出分别为 $(1\ 0\ 0)$ 、 $(0\ 1\ 0)$ 、 $(0\ 0\ 1)$, 分别代表了不会发生地震、会发生 1 至 3 级地震、会发生 3 至 6 级地震, 所以输出层神经元数为三个。

输入和输出单元确定后需要进一步确定隐含层数和隐节点数。目前, 确定最佳隐节点数的一个常用方法是试凑法。可先设置较少的隐节点训练网络, 然后逐渐增加隐节点数, 用同一样本集进行训练, 从中确定网络误差最小时对应的隐节点数。

经过试凑法最终确定出本方案的最佳层数为四层, 第一层输入单元节点数为 14, 第四层输出单元节点数为 3, 中间两个隐含层节点数分别为 16、14。

激活函数在隐含层上均采用 $\log\text{sig}$ 型激活函数, 输出层也采用 $\log\text{sig}$ 激活函数, 这样可以保证输出值在 $(-1, 1)$ 之间, 满足网络输出的要求。

2.2 BP 网络程序设计的 MATLAB 实现

可以看到, 利用 BP 网络解决问题和程序设计时常涉及大量的数值计算, 既包括一般的矩阵运算问题, 也包括许多模式的正交化、最小二乘法处理和极大极小匹配等求解过程等等。尽管现代数值计算理论已经发展得很完善, 多数计算问题都有高效的标准解法, 但是利用计算机对神经网络模型进行仿真和辅助设计, 仍然是件很麻烦的事情, 人们往往被繁琐的编程所累。MATLAB 的出现使人们从繁琐的程序代码中解放出来, 它丰富的函数使开发者无需重复编程, 只要简单地调用和使用即可。

MATLAB 是 MathWorks 公司于 1982 年推出的一套高性能的数值计算可视化软件^[5], 它集数值分析、矩阵运算、信号处理和图形显示于一体, 构成了一个方便的、界面友好的用户环境。在学术界和工业界都得到了广泛的应用。

MATLAB 具有程序可读性强、程序简单等特点, 还具有功能强大的工具箱, 不同工具箱中的专业函数相对独立。MATLAB 的神经网络工具箱是以神经网络理论为基础, 用 MATLAB 语言构造出典型神经网络的激活函数, 使设计者对所选定网络输出的计算, 变成对激活函数的调用。

在 MATLAB 环境下, BP 网络学习训练的程序

设计主要是调用一些相应的函数,其流程图如图 2 所示:

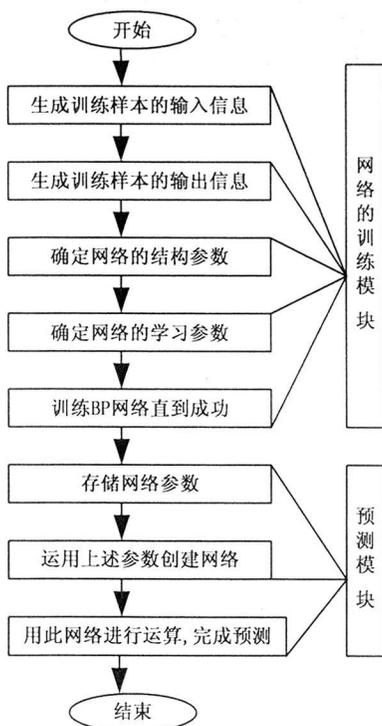


图 2 BP 网络预测模型的算法流程图

本文实验方案程序大体框架如下:

$P=[\dots]$ %输入训练样本矩阵;

$T=[\dots]$ %输入训练目标矩阵;

$[Pn,Ps]=\text{mapminmax}(P)$; %进行归一化处理;

$\text{net}=\text{newff}(\text{minmax}(Pn), [16, 14, 3], \{ ' \text{logsig}' , ' \text{logsig}' , ' \text{logsig}' \}, ' \text{traingdx}')$; %根据要求创建网络;

$\text{net.trainParam.show}=100$; %设置具体的网络参数;

$\text{net.trainParam.min_grad}=1e-100$;

```
net.trainParam.lr=0.05;
net.trainParam.mc=0.9;
net.trainParam.epochs=6000;
net.trainParam.goal=0.0001;
net=train(net,Pn,T); %对网络进行训练;
PI=[...] %输入测试样本矩阵;
TI=[...] %输入期望目标矩阵;
[PnI,PsI]=mapminmax(PI) %归一化;
A=sim(net,PnI) %对训练后的网络进行仿真;
E=TI-A %计算仿真误差;
MSE=mse(E) %计算输出矢量和目标矢量之间的均方误差;
```

实验的训练情况如图 3 所示。可以看到训练仅用了 520 次就达到了期望的平方误差和,训练速度很快。

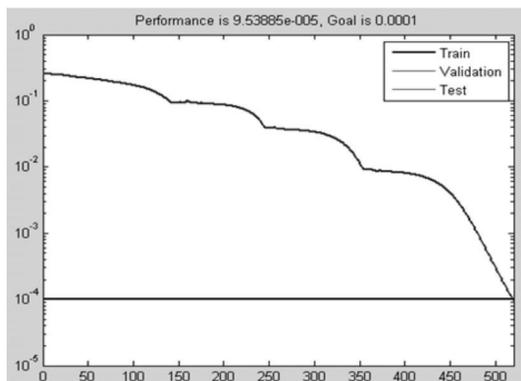


图 3 实验误差平方和随训练次数变化曲线图

该文选取 1998~2004 年的资料,地理位置在东经 $107.42^{\circ} \sim 108.23^{\circ}$ 、北纬 $34.32^{\circ} \sim 34.57^{\circ}$ 间的三个台的数据。使用神经网络对我省在 1998~2004 年是否发生地震进行学习和预测。

选取已经训练的 10 组数据进行测试,结果如表 1 所示。

表 1 实验的测试结果表

时间	经度($^{\circ}$)	纬度($^{\circ}$)	地点	震级	测试结果	期望结果
1999-05-08	107.34	34.22	凤翔	1.5	0.0012, 0.9907, 0.0171	0, 1, 0
2001-09-16	108.07	33.33	宁陕	2.5	0.9888, 0.0059, 0.0060	1, 0, 0
1999-07-15	106.30	33.15	安康	2.2	0.0003, 0.9972, 0.0036	0, 1, 0
2002-02-06	107.38	34.24	岐山	1.9	0.0001, 0.9976, 0.0066	0, 1, 0
2002-03-03	108.23	34.57	乾陵	1.8	0.0019, 0.9926, 0.0019	0, 1, 0
2002-02-05	107.42	34.32	宝鸡	4.0	0.0002, 0.0088, 0.9843	0, 0, 1
2003-05-09	108.12	34.45	新绛	2.3	0.0083, 0.9893, 0.0033	0, 1, 0
2004-01-19	109.11	34.31	临潼	2.6	0.0005, 0.9926, 0.0174	0, 1, 0
2003-04-24	108.20	33.11	石泉	4.9	0.9978, 0.0057, 0.0005	1, 0, 0
2002-12-02	106.22	37.49	灵武	3.3	0.0003, 0.0000, 1.0000	0, 0, 1

选取 3 组数据进行预测试验, 结果如表 2 所示。

表 2 实验的预测结果表

预测结果	期望输出
0.0003, 0.9982 0.0039	0, 1, 0
0.0096, 0.0011, 0.9934	0, 0, 1
0.0015, 0.9909, 0.0009	0, 1, 0

可以看到, 输出矢量和目标矢量之间的均方误差 MSE 为 $2.6881e-005$ 。

3 结论

从上面的实验仿真结果分析中可以看出该实验方案的网络性能较好, 具有实际应用及推广价值。该模型的实际输出与期望输出误差很小, 预测结果与实际情况一致, 并且结论直观。说明基于 MATLAB 神经网络工具箱的 BP 网络对地震的前兆预测预报是可行的, 并且与地震发生的参数输入越多越密切, 网络性能越优, 因此在预测地震级数时最好选用综合多类参数的预报方法。

从该文可以看出, 基于 MATLAB 神经网络工

具箱的 BP 网络应用于地震预测预报的建模, 可以很好的刻画地震能否发生同水化类、地磁类、地形变类参数间的多输入多输出、复杂的非线性以及不确定性等特征。该文的研究仅仅是一个开始, 还有许多问题需要进一步研究。

(1)BP 网络的训练过程是从给定的样本数据中归纳出输入与输出之间的复杂规律, 为了能够更加准确的对地震的发生进行预测预报, 数据的收集工作应该尽可能的做到准确。

(2)提高网络预测能力的主要途径有:

1)尽可能增加样本的涵盖面^[6];

2)在输入中尽可能包括影响输出的主要参数;

3)确定适当的收敛误差大小;

4)对于常用的 BP 算法, 可考虑采用遗传算法、小波分析和径向基函数等作进一步的深入研究。

(3)网络结构的处理还有待完善, 隐含层节点数的选取至关重要, 亟待找到一些更准确的方法及理论来确定隐含层的层数及每层的节点数。

(4)预测参数的选择及处理上还有待完善, 应尽可能的排除一些干扰因素, 以使网络达到较高的预测准确率。

参考文献:

- [1] 李强, 徐戈, 杨彩霞. 神经网络在潜在地震危险区估计中的应用[J]. 华北地震科学, 2007, 25(2): 36-41.
- [2] 江丽, 甄少华. 基于 BP 神经网络的液压系统故障诊断专家系统[J]. 机床与液压, 2002, (4): 15-16.
- [3] 楼顺天, 施阳. 基于 MATLAB 的系统分析与设计—神经网络[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2000.
- [4] 国家地震局科技监测司. 综合预报分册[M]. 北京: 地震出版社, 1989.
- [5] 丛爽. 面向 MATLAB 工具箱的神经网络理论与应用[M]. 北京: 中国科学技术大学出版社, 1999.
- [6] 蔡航. 基于神经网络的医疗诊断专家系统[J]. 数理医药学, 2002, 15(4): 23-24.

BP Prediction Model Used in Earthquake Prediction Based on MATLAB

WANG Feng¹, HUANG Li-yu², ZHANG Yu-xiang¹

(1. Seismological Bureau of Shanxi Province, Xi'an 710068, China;

2. Xidian University, Xi'an 710068, China)

Abstract: According to neural network theoretic, a BP network prediction model is made based on the back propagation training functions in the MATLAB toolbox. Then the impression of the model is inspected by the analysis on the earthquake data of Shanxi. The study shows that, the BP prediction model can be used to forecasting earthquake, and its operation is easy. So BP network prediction model is an effective tool for the detection of earthquake, and it may have a wide application prospects.

Key words: MATLAB; BP neural network; earthquake prediction