

基于小波神经网络的某边坡预测研究

黄永红¹, 徐勇²

(1. 重庆市勘测院, 重庆 江北 400020; 2. 重庆市合川区规划局, 重庆 合川 401520)

摘要:边坡的地表位移监测是滑坡安全监控中的重要内容,对监测资料进行及时、合理和有效的分析,获取滑坡变形规律和安全状况是滑坡监测的重要工作之一。文章将基于 BP 算法的小波神经网络预测模型引入变形监测预报中,对工程实例进行了预测。结果表明小波神经网络预测可以取得良好的效果,且自适应预测能力较强。

关键词:边坡; 监测; 小波神经网络; 预测

中图分类号: TU433

文献标识码: A

1 工程概况

中石油渝中区销售分公司渝中加油站位于菜袁路渝中花园旁,是菜袁路上最繁忙的加油站。该加油站东西宽约 50 m,南北宽约 60 m,整个加油站建于一个回填体之上,其中南面和东面为高约 10 m 的挡土墙,由于前一段时间雨水较多,该加油站东面,南面出现了严重的变形。主要现象为:地表多处裂缝,裂缝最宽处约 20 cm,裂缝最长处约 20 m;多处房屋拉裂;挡土墙多处出现断裂等。

2 地表位移监测

地表位移监测^[1]最常用的方法是对与边坡有关的宏观地质裂隙、塌陷和相对错动等的观察及测量。较系统、准确的方法是在坡面上设置长期、固定的观测点,利用红外测距仪和水准仪或全站仪测量各点的水平和垂直位移量,并计算合成位移矢量的大小和方向。该方法适用于大范围监测,可用来确定变形范围,提供各观测点长期的、连续观测资料。

当地表位移监测网建立完毕,对于每个监测点和系列监测断面,利用全站仪分别对各个测点进行定期量测。监测布置如图 1 所示。



图 1 渝中花园站监测点布置示意图

3 小波神经网络^[2-6]

3.1 小波神经网络的原理

小波神经网络是基于小波变换而构成的神经网络模型,即用非线性小波基取代通常的神经元非线性激励函数,把小波变换与神经网络有机地结合起来,充分继承了两者的优点。单隐含层小波网络结构图如图 2 所示。

设 x_k 为输入层的第 k 个输入样本, y_i 为输出层的第 i 个输出值, w_{ij} 为连接输出层结点 i 和隐含层结点 j 的权

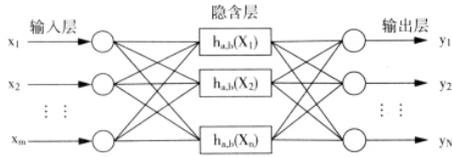


图 2 单隐含层小波网络结构

重 w_{jk} 为连接隐含层结点 j 和输入层结点 k 的权重 a_j 和 b_j 分别为第 j 个隐含层结点的伸缩因子和平移因子 P ($P = 1, 2, \dots, P$) 为输入样本的模式个数 m ($k = 1, 2, \dots, m$) 为输入层结点个数 n ($j = 1, 2, \dots, n$) 为隐含层结点个数 N ($i = 1, 2, \dots, N$) 为输出层结点个数 η 为学习率 $h_{a,b}(\cdot)$ 为小波函数, 则小波网络模型可表示为:

$$\Xi \Lambda \Phi \Xi \Lambda \Phi y_i(t) = \sigma \left[\sum_{j=0}^n w_{ij} h_{a,b} \left(\sum_{k=0}^m w_{jk} x_k(t) \right) \right] \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (1)$$

若设 x_p^k 为第 P 个输入模式, y_i^p 为第 P 个模式的第 i 个实际网络输出, d_i^p 为第 P 个模式的第 i 个期望输出, 定义误差函数为:

$$E = - \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^N [d_i^p \ln y_i^p + (1 - d_i^p) \ln(1 - y_i^p)] \quad (2)$$

若设 $X_j = \sum_{k=0}^m w_{jk} x_k$ 那么

$$h_{a,b}(X_j) = h \left(\frac{X_j - b_j}{a_j} \right) \quad (3)$$

$$y_i(t) = \sigma \left[\sum_{j=0}^n w_{ij} h_{a,b}(X_j) \right] \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (4)$$

参考常规的 BP 算法引入动量系数 μ , 网络各参数为:

$$w_{jk}(t+1) = w_{jk}(t) - \eta \frac{\partial E}{\partial w_{jk}} + \mu \Delta w_{jk}(t) \quad (5)$$

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) - \eta \frac{\partial E}{\partial w_{ij}} + \mu \Delta w_{ij}(t) \quad (6)$$

$$a_j(t+1) = a_j(t) - \eta \frac{\partial E}{\partial a_j} + \mu \Delta a_j(t) \quad (7)$$

$$b_j(t+1) = b_j(t) - \eta \frac{\partial E}{\partial b_j} + \mu \Delta b_j(t) \quad (8)$$

3.2 算法描述

(1) 初始化网络参数: 取平移因子 a_j 、伸缩因子 b_j 、权重 w_{ij} 和 w_{jk} 为随机初始值, 设置网络的学习率 η 、允许误差 ε 、隐含层神经元个数和最大训练次数。

(2) 输入训练样本对: 输入样本和目标样本的训练, 计算出输出样本。

(3) 计算网络的输出误差。

(4) 当输出误差小于允许误差 ε 或者达到最大训练次数时, 训练结束; 否则 转入下一步。

(5) 网络参数修正: 运用式 (5) - 式 (8) 进行网络系数修正, 然后转入步骤 (2) 重新进行网络训练。

4 算例分析

4.1 训练样本的选取及参数设定

分别选取位于某一地表的两个位移监测点 1 和 2 的 24 期监测数据, 利用前 14 期的观测数据作为训练样本, 通过训练后的 BP 小波神经网络对后 10 期观测的变形量进行预测(表 1)。

表 1 地表位移监测点的实测变形量和 WNN 预测值(单位: mm)

观测期数	监测点 1 实测值	预测值	监测点 2 实测值	预测值
1	4.50	4.81	0.70	0.65
2	5.60	5.73	1.10	1.12
3	7.30	7.42	2.30	2.31
4	6.30	6.37	3.90	3.98
5	1.70	1.74	2.58	2.47
6	4.70	4.78	3.61	3.36
7	6.10	6.27	3.62	3.65
8	4.20	4.13	4.60	4.59
9	3.71	3.70	3.53	3.59
10	4.67	4.71	3.69	3.70

本文所用的神经网络是基于 BP 算法的小波神经网络, 其所选用的小波函数是 Morlet 小波函数, 即 $h_{a,b}(x) = \cos(1.75x) e^{-0.5x^2}$ 。小波神经网络为单输入单输出单隐含层三层网络, 其输入样本为监测点的时间序列(每 15 天采集一次变形量数据), 目标样本为监测点的变形量。此小波神经网络的学习率 $\eta = 0.7$ 、允许误差 $\varepsilon = 0.001$, 隐含层神经元个数根据多次训练比较选为 8, 训练次数为 60。

4.2 小波神经网络的预测结果分析

从图 3、图 4 可以看出 BP 小波神经网络的预测值非常接近边坡变形量的实测值。同样, 从表 1 可以看出用 BP 小波神经网络可以很好的预测边坡变形量, 其均方差分别为 0.103 7 和 0.097 3。通过该分析说明用 BP 小波神经网络来预测边坡变形量是实际可行的, 并能达到很高的精准度。这为边坡安全稳定的预报提供了一个必要的依据。

5 结束语

通过对安全监测数据实验结果进行对比分析, 可以得出: 小波神经网络预测能够提高模型稳定性和可靠性; 小波神经网络对边坡安全监测数据进行预测, 精度

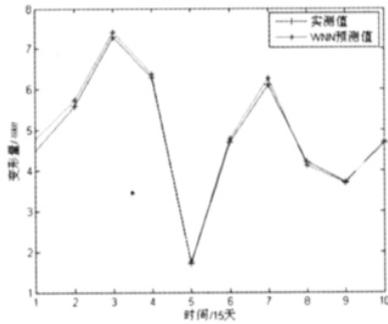


图3 BP小波神经网络预测(监测点1)

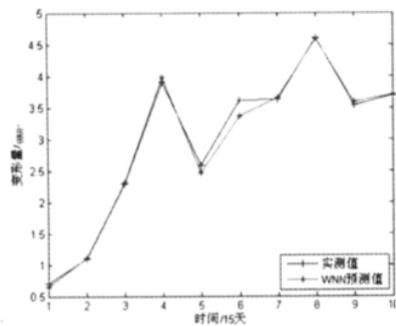


图4 BP小波神经网络预测(监测点2)

能够满足安全监测要求,可以应用在边坡安全监测方面。

参考文献:

- [1] 陈国周,张建勋,贾金青.高速公路边坡支护的安全监测[J].四川理工学院学报:自然科学版,2010,23(1):7-9.
- [2] 李元松,李新平,代翼飞,等.小波神经网络在高陡边坡位移预测中的应用[J].武汉工程大学学报,2010,32(9):38-42.
- [3] 张勤,蒋廷臣,王秀萍.小波变换在变形监测中的应用研究[J].测绘工程,2005,14(1):8-10.
- [4] 潘平.基于小波神经网络理论的边坡位移预测[J].成都理工大学学报:自然科学版,2006,33(2):176-180.
- [5] 李长洪,范丽萍,郭俊温.小波神经网络在露天矿边坡变形预测中的应用[J].中国矿业,2010,19(7):77-79.
- [6] 张金华,胡伍生.基于小波变换的周跳探测与修复[J].测绘工程,2009,18(4):24-27.

Study on Slope Deformation Forecast Based On Wavelet Analysis

HUANG Yong-hong, XU Yong

(1. Chongqing Survey Institute, Chongqing 400020, China;

2. Chongqing Hechuan District Planning Board, Chongqing 401520, China)

Abstract: The surface deformation monitoring of slope is an important content of the safety monitoring of slope, it is one of the important tasks to make timely, reasonable and effective analysis for slope observation data for getting the surface deformation regularities and the safety states of slope. The wavelet network is used in setting up the deformation forecasting model. The results show that the wavelet neural network can get better results, and it has better adaptive predictive ability.

Key words: slope; monitor; wavelet neural network; forecast