

清江隔河岩库区滑坡预测的神经网络方法

⑨
38-40

胡铁松 蔡德所 何薪基

(武汉水利电力大学 武汉 430072)

P642.22
TP18

摘要 提出了滑坡预测的人工神经网络方法,并将该方法应用于清江隔河岩库区两个主要滑坡的预测,预测结果表明了该方法的有效性以及在滑坡预测中的良好应用前景。同时该方法是一种“面向数据”的预测方法,适合不同地区滑坡的建模和预测,它既能进行滑坡时间预测,又能进行滑坡位移的预测。

关键词 滑坡预测 神经网络 学习算法 廖飞

滑坡的孕育和发生过程是一个复杂的物理过程,受多方面因素影响。内在因素主要有岩石介质的各向异性、岩体结构的高度非均匀性、地形地貌以及地应力的复杂性;外在因素主要有地下水、降雨、温度变化以及人类活动的影响等。这些内在、外在因素相互耦合且相互竞争,导致滑坡位移随时间变化表现出很强的非线性特征,使滑坡的预测成为一个复杂的研究课题。

目前,对于滑坡预测大体有四类模型:机理模型^[1]、统计模型^[2]、信息模型^[3]和灰色模型^[4]。如果能建立滑坡时空变化与内、外在因素之间复杂关系的非线性动力学模型,滑坡的预测也就不困难了,但目前这是相当困难的。为此,文献[1]提出了用观测资料反演非线性动力学模型的方法。以时间序列分析为代表的统计模型,如 AR, ARMA 和 ARIMA 模型等对于线性、平稳的滑坡时间序列或一些简单可转化为平稳、线性的滑坡时间序列较为有效,但从理论上讲,滑坡这一复杂非线性系统用这些模型进行预测尚有不足之处,且统计模型同信息模型和灰色模型一样均不

长于分析滑坡系统内在本质的规律。因此,仍有必要深入研究滑坡的孕育和发生规律,探讨滑坡预测的新理论、新方法。

人工神经网络是由大量人工神经元构成的大规模非线性动力学系统,它具有大规模并行处理、分布式存贮、自组织、自适应和自学习等功能,已成功地应用于预测、模式识别、优化计算等领域,是目前国际上研究的前沿领域之一,近年来开始应用于岩土工程中。有鉴于此,本文采用人工神经网络理论与方法,对清江隔河岩库区主要滑坡进行了预测,建立了滑坡预测的网络模型,开发了相应的预测软件,预测结果表明了该方法的可行性和有效性。

1 滑坡预测的前馈网络模型与学习算法

1.1 多层前馈网络模型

本文在研究中采用三层前馈网络进行预测,下面对其模型简介如下。设输入层、隐含层和输出层的节点数分别为 N_1, N_2, N_3 , 隐含层的节点作用函数取为 Sigmoid 函数,输出层节点作用函数为恒同函数,设有 p 个训练样本,定义前馈网络的能量函数为

第一作者简介:胡铁松,男,博士,教授,从事系统工程、人工神经网络、水文学及水资源研究,曾发表《神经网络预测与优化》等论著。

$$E = \sum_p \sum_k \frac{1}{2} (T_{pk} - O_{pk})^2 \quad (1)$$

式中 T_{pk} , O_{pk} 分别表示训练样本为 p 时的期望输出与网络的实际计算输出。对于前馈网络有

$$O_{pk} = \sum_{j=1}^{N_2} W_{jk} O_{pj} - \theta_k \quad (2)$$

$$O_{pj} = f(\sum_{i=1}^{N_1} W_{ij} O_{pi} - \theta_j) \quad (3)$$

$$O_{pi} = I_{pi} \quad (4)$$

$$f(x) = [1 + \exp(-x)]^{-1} \quad (5)$$

($i = 1, 2, \dots, N_1; j = 1, 2, \dots, N_2; k = 1, 2, \dots, N_3$)

式中 O_{pk} , O_{pj} , O_{pi} 分别为训练样本为 p 时网络中输出层节点 k 、隐含层节点 j 和输入层节点 i 的计算输出, 其中输入层的计算输出与其输入 I_{pi} 相等; W_{ij} , W_{jk} 分别表示输入层节点 i 与隐含层节点 j 、隐含层节点 j 与输出层节点 k 之间的连接权; θ_j , θ_k 分别表示隐含层节点 j 和输出层节点 k 的阈值。

1.2 学习算法^[5]

对于上述前馈网络, 有下述 BP 算法:

$$\Delta W_{xy}(n+1) = \eta \delta_y O_{px} + \alpha \Delta W_{xy}(n) \quad (6)$$

$$\Delta \theta_y(n+1) = -\eta \delta_y + \alpha \Delta \theta_y(n) \quad (7)$$

$$\Delta W_{xy}(n) = W_{xy}(n+1) - W_{xy}(n) \quad (8)$$

$$\Delta \theta_y(n) = \theta_y(n+1) - \theta_y(n) \quad (9)$$

式中 $W_{xy}(n)$ 表示前馈网络相邻两层两节点 x 与 y 之间的连接权在第 n 次迭代中的取值; $\theta_y(n)$ 表示网络隐含层或输出层中节点 y 的阈值在第 n 次迭代中的取值; η, α 为参数; O_{px} 意义同前, 表示 O_{pk} , O_{pj} 或 O_{pi} ; δ_y 为

$$\delta_y = \begin{cases} T_{py} - O_{py} & y \text{ 为输出层某节点时} \\ O_{py}(1 - O_{py}) \sum \delta_{y'} W_{y'y'} & y \text{ 为隐含层某节点时} \end{cases} \quad (10)$$

式中 y' 为比节点 y 高一层的某节点。

上述 BP 算法存在收敛速度慢、训练时间长的缺点, 即在接近全局或局部极小点时, 梯度接近于零, 每次迭代网络的权向量或阈值向量修正极小, 共轭梯度算法在目标函数二次性

较强的区域中具有较好的收敛性, 误差函数在极小点附近的性态又恰好近似于二次函数。有鉴于此, 本文采用梯度法和共轭梯度法相结合的联合梯度算法作为前馈网络的学习算法, 有关该算法的详细介绍可见文献[6]。

2 清江隔河岩库区重点滑坡预测

应用上述前馈网络模型和算法, 对清江隔河岩库区重点滑坡中的两个滑坡(基平滑坡和茅坪滑坡)的部分监测点空间位移进行了建模和预测, 原始训练资料摘自“清江隔河岩库区主要滑坡体 1992~1994 年变形监测成果表”, 网络输入层和输出层节点取为 1, 取参数 $\eta_0 = \alpha_0 = 0.5$, $d_1 = 0.998$, $d_2 = 0.001$, 所得模拟和预测的主要结果见表 1~3。

表 1 茅坪滑坡 EJ8~EJ11 测点计算结果

测点号	时 间	实测空间 位移/mm	计算位移 /mm	相对误差 (%)
EJ8	1993-06	13.14	20.1889	53.6446
	1993-07	27.24	25.1695	7.6010
	1993-08	32.79	31.9946	2.4257
	1993-12	62.12	61.2678	1.3719
	1994-04	76.64	77.7760	1.4823
	1994-06	89.13	92.0992	3.3313
	1994-08	110.42	106.6034	3.4564
	1994-10	115.29	113.3987	1.6405
EJ9	1993-06	6.40	9.7900	53.0938
	1993-07	19.62	15.5474	20.7574
	1993-08	22.25	24.6338	10.7137
	1993-12	45.00	43.4692	3.4018
	1994-04	53.33	55.2363	3.5745
	1994-06	65.93	65.6384	0.4423
	1994-08	74.91	74.9821	0.0962
	1994-10	82.62	80.0221	3.1444
EJ10	1993-06	8.33	9.0000	8.0420
	1993-07	14.80	14.4658	2.2581
	1993-08	17.59	17.8004	1.1961
	1993-12	34.37	34.0784	0.8484
	1994-04	40.62	41.9692	3.3215
	1994-06	48.28	46.4422	3.8065
	1994-08	52.10	53.9997	3.6463
	1994-10	61.16	59.0356	3.4735
EJ11	1993-06	6.11	7.7093	26.1751
	1993-07	12.47	10.8138	13.2815
	1993-08	15.63	16.5138	5.6545
	1993-12	35.23	33.7784	4.1203
	1994-04	40.36	41.8438	3.6764
	1994-06	48.17	47.6676	1.0430
	1994-08	52.28	53.7639	2.8384
	1994-10	61.43	58.0006	5.5728

表2 嘉平滑坡 BJ1~BJ4 测点计算结果

测点号	时 间	实测水平 位移/mm	计算位移 /mm	相对误差 (%)
BJ1	1993-06	1.88	2.4369	29.6223
	1993-07	3.68	3.0088	16.0707
	1993-08	3.15	3.4397	9.1968
	1993-11	2.91	2.8045	3.6254
	1993-12	5.51	5.5375	0.4991
	1994-03	8.46	8.4527	0.0863
	1994-05	6.23	6.2782	0.7737
	1994-08	11.78	10.6645	9.4694
	1994-09	7.40	8.6340	16.6757
	1994-10	7.75	7.1091	8.2697
BJ2	1993-06	3.06	3.4634	13.1830
	1993-07	3.10	4.3051	38.8742
	1993-08	6.86	5.4878	20.0029
	1993-11	5.98	6.8576	14.6756
	1993-12	6.93	6.4230	7.3160
	1994-03	7.76	7.8144	0.7010
	1994-05	11.37	11.3419	0.2471
	1994-08	11.47	11.6221	1.3261
	1994-09	19.72	18.7173	5.0847
	1994-10	9.18	9.3060	1.3725
BJ3	1993-06	0.54	0.9845	82.3148
	1993-07	1.05	1.1289	7.5143
	1993-08	2.12	1.3126	38.0849
	1993-11	1.95	2.4670	26.5128
	1993-12	3.81	3.5633	6.4751
	1994-03	6.22	6.2289	0.1431
	1994-05	5.28	5.2652	0.2803
	1994-08	8.22	8.2158	0.0511
	1994-09	7.96	7.9512	0.1106
	1994-10	4.90	4.8937	0.1286
BJ4	1993-06	3.89	3.7998	2.3188
	1993-07	5.08	7.5772	49.1575
	1993-08	49.43	48.9511	0.9567
	1993-11	166.60	164.8589	1.0451
	1993-12	169.49	171.0987	0.9491
	1994-03	179.14	180.3315	0.4968
	1994-05	181.63	184.2799	1.4590
	1994-08	191.68	188.2099	1.8105
	1994-09	190.58	189.0509	0.8023
	1994-10	190.76	189.7048	0.5532

注:表1和表2中各测点最后1个时段计算位移为预测值,其余均为模拟值。

表3 嘉平和茅坪滑坡预测结果

测 点	隐含层节 点数目	迭代步数	相关系数	预测相对 误差(%)
RJ1	9	22679	0.9775	8.2687
BJ2	9	24381	0.9891	1.3725
BJ3	9	28435	0.9914	0.1286
BJ4	9	5814	0.9997	0.5532
EJ8	8	2038	0.9967	1.6405
EJ9	8	5941	0.9960	3.1444
EJ10	8	8807	0.9974	3.4735
EJ11	8	3410	0.9961	5.5728

3 结 论

通过模型分析和表1~3的计算结果,初步得到以下认识和结论。

a. 前馈网络预测方法是一种基于非线性系统的预测方法,具有很强的非线性映射能力,该方法是进行滑坡预测的一种有效、可行的方法。

b. 滑坡预测包括滑坡时间预测和滑坡位移预测,神经网络方法既可进行滑坡时间预测,又可进行滑坡位移预测。

c. 滑坡预测前馈网络方法既可进行定性预测,又可进行定量预报。可先识别出滑坡蠕变所处的阶段,然后在此基础上再进行定量预报。

d. 与信息模型、灰色模型相比,前馈神经网络模型便于描述滑坡位移与各影响因素之间的机理关系。

参考文献

- 1 秦四清,张倬元.滑坡灾害可预报时间尺度问题探讨.中国地质灾害与防治学报,1994,5(1):1~7
- 2 殷坤龙,晏同珍.滑坡预测及相关模型.岩石力学与工程学报,1996,15(2):1~9
- 3 夏元友,朱瑞庚,李新平.基于神经网络的岩质边坡稳定性评估系统研究.自然灾害学报,1996,5(1):98~104
- 4 秦四清,张倬元,王士天等.滑坡预报的突变理论及灰色突变理论预测方法.中国地质灾害与防治学报,1994,5(2):11~19
- 5 胡铁松,傅军,丁晶.非线性时间序列预测的前馈神经网络方法及应用.水力发电学报,1996,54(3):24~32
- 6 胡铁松.神经网络预测与优化.大连:大连海事大学出版社,1997

(收稿日期:1996-09-02 编辑:张志琴)

