

应用遗传算法和 LM 优化的 BP 神经网络模型 预测机场道面使用性能

韦灼彬, 吴 森, 高 屹

(海军工程大学 天津校区, 天津 300450)

摘 要:分析了影响道面使用性能的各种参数,结合 BP 神经网络和遗传算法来预测机场道面使用性能。通过遗传算法全局寻优功能对神经网络的初始权值和阈值进行优化,然后采用 LM (Levenberg-Marquardt)优化算法对神经网络训练速度进行加速,并且使训练避免陷入局部极小点。通过历年数据对神经网络进行训练,用所得神经网络模型对机场道面使用性能进行预测。训练结果表明,该方法具有足够的精度,能够应用到工程实际中。

关键词:遗传算法; LM 优化算法; BP 神经网络; 机场道面; 预测

DOI:10.3969/j.issn.1009-3516.2009.04.003

中图分类号: V351.11; TU472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2009)04-0011-04

将遗传算法与神经网络相结合进行预测,就是基于遗传算法良好的全局搜索性能对网络初始权值进行优化,利用遗传算法可逼近最优解的特性,在可能的解空间中定位出一个较好的搜索空间,然后利用 LM 优化算法加速神经网络在该小空间的收敛,同时避免神经网络训练陷入局部最小。本文将遗传算法应用到机场道面使用性能的预测中,建立了基于遗传算法和 LM 优化的神经网络预测模型。

1 算法分析

1.1 BP 神经网络

在众多的 ANN 预测模型中,多层前向网络(Back-Propagation, BP)模型是目前应用最广泛的模型^[1]。其训练过程是信息的正向传递与根据误差的逆向修正权重的过程,所以又被称为“误差逆传播算法”^[2]。

BP 网络存在易陷入局部极小点、收敛速度慢、网络的隐层节点数难以确定和网络的记忆回想力差等缺陷。人们为改进 BP 网络的训练速度,采用二阶快速 BP 算法、动量因子法、作用函数调整法等^[3],但要避免训练陷入局部最小点,还需要其他优化算法。

1.2 遗传算法

遗传算法是对自然界中生物的遗传和进化机理进行模拟而得到的一种智能算法^[4-5]。它的基本思想是从一组随机产生的初始解开始搜索,通过个体的“适应值”来评价个体的好坏,被选择的下一代染色体经过交叉和变异等操作产生新的个体。经过上述的反复迭代运算,最终会收敛到最好的个体即问题的解。遗传算法的实现技术包含 3 个主要内容:个体的编(解)码方法设计、个体评价的适应度函数设计、种群遗传的遗传算子设计^[6]。

1.3 LM 算法

在利用遗传算法对神经网络权值和阈值优化后,进一步采用一种数值优化算法即 LM 优化算法^[7]对基

* 收稿日期:2009-01-15

作者简介:韦灼彬(1964-),男,湖北仙桃人,教授,博士生导师,主要从事结构健康监测研究。

E-mail:weizhuobin@eyou.com

本 BP 神经网络进行训练,加快训练速度。对于 3 层前馈层网络,假定 r 维向量 \mathbf{x} 是包含所有权值 w 和偏差 b 的列向量,即:

$$\mathbf{x} = [w_{11}^{(1)}, w_{12}^{(1)}, \dots, w_{H1}^{(1)}, b_1^{(1)}, b_2^{(1)}, \dots, b_H^{(1)}, w_{11}^{(2)}, w_{12}^{(2)}, \dots, w_{M1}^{(2)}, b_1^{(2)}, b_2^{(2)}, \dots, b_M^{(2)}]^T \quad (1)$$

式中: N 、 H 、 M 分别为网络输入层、中间层和输出层的神经元数。若 \mathbf{J} 为误差对权值微分的 Jacobin 矩阵,则网络对权值的修正率满足下式:

$$\Delta \mathbf{x} = -[\mathbf{J}^T(\mathbf{x})\mathbf{J}(\mathbf{x}) + \mu I]^{-1} \mathbf{J}^T(\mathbf{x})\mathbf{e}(\mathbf{x}) \quad (2)$$

式中 μ 为自适应调整参数,其它参数意义参见文献[7]。

2 机场道面使用性能预测实例

2.1 样本数据的采集

参照相关标准^[8]分别选用破损指数 L 、高程均方差 S 、摩擦系数 f 及道面承载强度 PCN 表征道面的使用性能。表 1、表 2 为某机场道面使用性能指标的实测值,以及荷载和自然环境状况的统计值^[9]。

表 1 机场道面实测数据

Tab.1 Measured data of airport pavement

年度	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
PCN	30.0	29.6	29.4	29.3	29.2	29.2	29.1	29.1	29.0	29.0
L	0	0.01	0.011	0.012	0.013	0.014	0.015	0.017	0.019	0.021
S	2.6	2.67	2.71	2.73	2.74	2.75	2.76	2.77	2.78	2.80
f	70	69	67	64	63	62	61	60	59	58

表 2 机场的荷载和自然状况统计数据

Tab.2 Statistic data of airport load and nature status

年度	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
ACN	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
N_e	78 000	50 000	55 000	51 000	65 000	55 000	67 000	68 000	61 000	63 000
T	205	210	209	204	199	197	211	212	207	205
W	268	254	312	296	271	310	251	267	313	274

表 2 中,气温和降水情况用气温指数 T 和年降雨量 W 表示, T 用一年内每月的平均气温的绝对值之和表示;ACN 为设计飞机等级号, N_e 为各种飞机换算后的设计飞机当量运行次数。采用累计生成法进行处理得到神经网络的训练样本集如表 3,这里取前 8 组数据作为训练样本,后 2 组数据用作检验。

表 3 样本集合

Tab.3 Samples sets

年份	输入变量			输出变量			
	N_e	T	W	PCN	L	S	f
1985	2 106 000	205	268	30.0	0	2.6	70
1986	3 456 000	415	522	29.6	0.01	2.67	69
1987	4 941 000	624	834	29.4	0.011	2.71	67
1988	6 318 000	828	1130	29.3	0.012	2.73	64
1989	8 073 000	1027	1401	29.2	0.013	2.74	63
1990	9 558 000	1224	1711	29.2	0.014	2.75	62
1991	11 367 000	1 435	1 962	29.1	0.015	2.76	61
1992	13 203 000	1 647	2 229	29.1	0.017	2.77	60
1993	14 850 000	1 854	2 542	29.0	0.019	2.78	59
1994	16 551 000	2 059	2 816	29.0	0.021	2.80	58

2.2 BP 神经网络结构的确定

通过对机场道面使用性能指标及影响因素的分析,参照实测资料,选取 N_c 、 T 和 W 3 个指标作为网络的输入,由于各年的飞机等级号 ACN 均相同,故不作为影响因素输入。将 PCN、 L 、 S 和 f 分别作为网络预测的输出,建立 4 个 3-7-1 型神经网络预测模型。

Hecht-Nielsen 证明:仅有 1 个隐层的神经元多层神经网络能以任意精度逼近任意连续函数^[10];隐含层取 S 型正切激活函数,输出层取 S 型对数激活函数。对于隐含层神经元的确定,本文采用经验公式 $k = \sqrt{s+m} + a$,在一定范围内选择。式中: k 为输出神经元数; s 为输入单元数; a 为 $[1, 10]$ 之间的常数。经试算,隐含层神经元数取为 7 时逼近效果最佳。训练之前需将数据处理在 $[0, 1]$ 之间,可按式对样本进行归一化处理:

$$x' = (x - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) \quad (3)$$

2.3 遗传算法优化初始权值和阈值

在 Matlab 环境下,运用遗传算法工具箱和 Matlab 编程语言进行编程。本文采用实数编码对原始权值和阈值进行编码,形成初始种群;用训练样本对种群中的每个个体进行训练,计算每个个体的学习误差,从而确定适应度值。学习误差为:

$$E = \frac{1}{2} \sum \sum (y_i - t_i)^2 \quad (4)$$

式中: y_i 为输出层节点输出; t_i 为网络的期望输出。

适应度函数为:

$$\text{Fitn } v = 2 - P_m + 2(P_m - 1) \frac{x_i - 1}{N - 1} \quad (5)$$

式中: P_m 为偏移决定参数,介于 $[1, 1, 2, 0]$; x_i 为个体 i 在有序种群中的位置; N 为种群大小。

选择方法采用随机遍历抽样法,交叉运算选用均匀交叉算子,变异运算选用多点非均匀变异算子。

2.4 BP 网络的训练及结果检验

将遗传算法优化得到的网络权值和阈值设为 BP 神经网络初始权值和阈值,训练过程采用 LM 优化算法。应用 Matlab 编程计算得到预测结果见表 4,其中 M 表示实测值, F 表示预测值, E 表示误差。经检验,测试样本的平均误差满足工程精度要求,可用于机场道面使用性能的预测。

表 4 遗传算法与 LM 优化的神经网络预测值及相对误差

Tab.4 Forecasted value and its relative error of GA-LM ANN

年度	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	
PCN	M	30.0	29.6	29.4	29.3	29.2	29.2	29.1	29.1	29.0	29.0
	F	30.00	29.60	29.36	29.30	29.20	29.20	29.15	29.09	29.01	29.00
	E	0	0	0.14	0	0	0	0.15	0.02	0.04	0
L	M	0	0.01	0.011	0.012	0.013	0.014	0.015	0.017	0.019	0.021
	F	0.000	0.010	0.011	0.012	0.013	0.014	0.016	0.017	0.019	0.021
	E	0	0	3.63	0	0	0	4	0	0	0
S	M	2.6	2.67	2.71	2.73	2.74	2.75	2.76	2.77	2.78	2.80
	F	2.600	2.670	2.692	2.731	2.739	2.749	2.761	2.770	2.781	2.799
	E	0	0	0.66	0.04	0.04	0.04	0.04	0	0.04	0.04
f	M	70	69	67	64	63	62	61	60	59	58
	F	69.99	68.99	67.38	64.03	62.99	61.97	60.89	60.04	58.97	58.00
	E	0.02	0.02	0.57	0.04	0.02	0.05	0.17	0.07	0.05	0

3 结束语

本文针对传统 BP 神经网络存在收敛速度慢、易陷入局部最小点的不足,提出了一种基于遗传算法和 LM 优化算法的 BP 神经网络模型,并用此模型对机场道面使用性能进行预测。实验结果表明,这种神经网络模型的预测普遍接近实测值,具有很好的精度,而且随着学习样本的不断补充,网络的预测精度和泛化能

力将进一步提高,从而能够更准确地预测出道面性能指标随时间衰变的规律。

参考文献:

- [1] 沈清,胡德文,时春.神经网络应用技术[M].长沙:国防科技大学出版社,1993.
SHEN Qing, HU Dewen, SHI Chun. Applied Technology of Neural Network[M]. Changsha: University of National Defense Technology Press, 1993. (in Chinese)
- [2] Zhao Xiangyang, Lai Kangsheng, Dai Dongming. An Improved BP Algorithm and Its Application in Classification of Surface Defects of Steel Plate[J]. Journal of Iron and Research, 2007, 14(2): 52—55.
- [3] 吴方良,石仲堃,杨向晖,等.基于L—M贝叶斯正则化方法的BP神经网络在潜艇声纳部位自噪声预报中的应用[J].船舶力学,2007,11(1):137—142.
WU Fangliang, SHI Zhongkun, YANG Xianghui, et al. Submarine Sonar Self—noise Forecast Base on BP Neural Network and L—M Bayesian Regularization Algorithm[J]. Journal of Ship Mechanics, 2007, 11(1): 137—142. (in Chinese)
- [4] Cunha J, Cogan S, Berthod C. Application of Genetic Algorithms for The Identification of Elastic Constant of Composite Materials from Dynamic Tests[J]. International Journal of Numerical Method in Engineering, 1999, 45(7): 891—900.
- [5] Chou J H, Ghaboussi J. Genetic Algorithm in Structural Damage Detection[J]. Computers and Structures, 2001, 79(14): 1335—1353.
- [6] 田继东,尹成,徐峰. GA—ANN综合优化地震属性的应用研究[J].西南石油学院学报,2006,28(4):1—4.
TIAN Jidong, YIN Cheng, XU Feng. Research on the Application of the Seismic Attributes Optimizing Based on the Genetic Algorithms and Neural Network Methods[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2006, 28(4): 1—4. (in Chinese)
- [7] Chu C, Widjaja D. Neural Network System for Forecasting Method Selecting[J]. Decision System, 1994, (12): 13—14.
- [8] GJB2264—1995. 军用机场水泥混凝土道面使用质量评定标准[S].
GJB2264—1995. Evaluating Standard of Maintenance Management for Cement Concrete Pavement of Military Airfield [S].
- [9] 寇雅楠,翁兴中.用神经网络理论预测机场水泥混凝土道面的使用寿命[J].中国公路学报,1997,10(1):16—20.
KOU Yanan, WENG Xingzhong. Prediction of Airport Cement Concrete Pavement Service Life by Using Neural Network Theory[J]. China Journal of Highway and Transport, 1997, 10(1): 16—20. (in Chinese)
- [10] Hecht—Nielsen R. Kolmogorov's mapping neural network existence theorem[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks. New York: IEEE, 1987, 3: 11—13.

(编辑:姚树峰,徐敏)

Forecasting the Service Performance of Airport Pavement by LM—BP Neural Network Model Optimized by Genetic Algorithms

WEI Zhuo—bin, WU Sen, GAO Yi

(Tianjin School District, Naval University of Engineering, Tianjin 300450, China)

Abstract: The problem of forecasting the service performance of airport pavement is studied. Various parameters influencing the service performance of airport pavement are analyzed, the genetic algorithm and BP neural network are combined to forecast the service performance of airport pavement. The genetic algorithm overall optimization is used to optimize the weight and threshold of neural network, then, LM optimization algorithm is used to increase the training speed and make the training avoid getting into local minimum. The neural network is trained with the data of the past years, and the model of neural network is used to forecast the service performance of airport pavement. The result shows that this method is precise enough to be applied to the engineering practice.

Key words: genetic algorithm; LM optimization algorithm; BP neural network; airport pavement; forecast

ting