

文章编号: 1673 - 9469(2014) 04 - 0102 - 03

doi: 10. 3969/j. issn. 1673 - 9469. 2014. 04. 025

## 基于神经网络的公路工程造价预测模型

王飞<sup>1</sup>, 郑张丽<sup>1</sup>, 郭静静<sup>1</sup>, 尹建英<sup>2</sup>

(1. 河北工程大学 经济管理学院 河北 邯郸 056038; 2. 邯郸市城市建设投资公司 河北 邯郸 056002)

**摘要:** 文章对高速公路的工程特征进行全面的分析和筛选, 确定了7个对公路工程造影响较大的工程特征, 使其作为神经网络预测模型的输入向量, 随之构建了基于BP神经网络的高速公路工程造预测模型, 最后结合MATLAB神经网络工具箱对程序进行设计, 并选取已完工程为实例。通过对模型的训练、修正以及实例验证, 证明BP神经网络可以有效提高预测的精确度, 具有较强的实用价值。

**关键词:** 公路工程; BP神经网络; 造价预测

中图分类号: TU984. 2

文献标识码: A

### Based on the model of BP neural network to predict the project cost of highway

WANG Fei<sup>1</sup>, ZHENG Zhang - li<sup>1</sup>, GUO Jing - jing<sup>1</sup>, YIN Jian - ying<sup>2</sup>

(1. College of Economics and Management, Hebei University of Engineering Hebei Handan 056038, China;

2. Handan city construction investment company, Hebei Handan 056002, China)

**Abstract:** Based on the principle of BP neural network in and on the analysis of the characteristics of highway engineering, this paper identified seven engineering characteristics as the input vector of the neural network, build the highway engineering cost prediction model is based on BP neural network, combined with MATLAB neural network toolbox to design, and has the engineering as an example. By training, correction, and to verify the model, it is proven that BP neural network can effectively improve the accuracy of the prediction, has very good practical value.

**Key words:** highway engineering; BP neural network; cost prediction

高速公路工程造价预测的研究, 对工程建设项目成本的管理与控制具有极为重要的意义。BP神经网络具有很好的非线性映像功能, 而且它的自学习自适应能力以及信息处理能力也特别强, 在公路工程造预测实施过程中能动态、灵活地解决遇到的问题, 相对于传统的预测方法, 它更为科学、便捷和可靠。

### 1 BP神经网络简述

#### 1.1 BP神经网络原理

BP神经网络算法也可以叫作反向传播算法(简称BP算法), 具有良好的自学习和自组织能力, 由输入层、隐含层和输出层三类神经元层组成, 其中隐含层可以根据问题的繁复程度设成多

层<sup>[1]</sup>。BP神经网络是一种多层的前馈神经网络, 信号前向传播, 误差反向传播是该网络最主要的两个过程, 重复的运用这两个过程, 使均方误差不断减小, 从而使BP神经网络预测的输出结果不断向期望输出靠拢, 直到满足要求<sup>[2]</sup>。如图1所示。

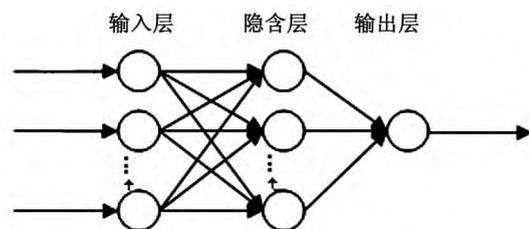


图1 三层BP神经网络结构图

Fig.1 The diagram of BP neural network with three layers

收稿日期: 2014 - 04 - 05

作者简介: 王飞 (1963 - ) 女, 辽宁省黑山市人, 教授, 从事建筑工程经济与施工项目管理。

## 1.2 BP 神经网络的训练步骤

1) 网络初始化。系统首先依据其本身的输入输出序列  $(X, Y)$  来确定神经网络各层各自的节点数, 然后进行连接权值的初始化。包括输入层、隐含层和输出层神经元间的连接权值  $W_{ij}$ 、 $W_{jk}$ , 以及隐含层阈值  $\theta_j$ , 输出层阈值  $\theta_k$ 。

2) 计算各层输出结果。

$$Y_j = f\left(\sum_{i=0}^{N-1} W_{ij} X_i - \theta_j\right), Z_k = f\left(\sum_{j=0}^{M-1} W_{jk} Y_j - \theta_k\right)$$

式中  $X_i$  - 输入层第  $i$  个节点的输出值;  $Y_j$  - 中间层第  $j$  个节点的输出值;  $Z_k$  - 输出层中第  $k$  个节点的实际输出值。

3) 误差计算。假设输出节点  $j$  的实际输出是  $Y_j^k$ , 节点  $j$  的期望输出是  $R_j^k$ , 则我们定义系统的网络误差为  $E = \frac{1}{2} \sum_{k=j} (Y_j^k - R_j^k)^2$ 。

4) 权值调整。通过调节权值和阈值, 进而实现网络误差最小。

5) 误差判断。当误差  $E < \varepsilon$  则学习结束, 否则返回步骤 2 进入下一轮学习, 直至误差达到预设精度。

## 2 实证研究

### 2.1 工程特征的选取

参照文献 [3-6] 的研究并结合公路工程建设费用的特征, 我们只要知道了建筑安装工程费就可以根据费率计算出总造价, 但是公路工程建安工程费的构成因素较多, 经过分析, 每个工程特征对工程的造价的影响有大有小, 各不相同, 所以本文在对影响高速公路工程造价因素进行全面的分

析和筛选以后, 确定路基宽度  $X_1$ 、每公里土石方量  $X_2$ 、路面结构总厚度  $X_3$ 、路面面层厚度  $X_4$ 、桥隧比重  $X_5$ 、互通立交个数  $X_6$  以及地形  $X_7$  7 个主要因素作为工程特征, 即神经网络的输入向量。

### 2.2 工程特征数据处理

文章选取了某省的 12 组特征较为相似的已建高速公路工程为样本, 其中 1-11 组作为训练样本, 第 12 组作为测试样本。12 组已建公路工程的 7 个工程特征及预算资料见表 1。

表 1 中, 工程特征的两种地形分别是平原微丘区和山岭重丘区, 依照它们对高速公路工程造价的影响程度, 分别取值为 0.3 和 0.5<sup>[6]</sup>。

### 2.2 网络模型的建立和应用

BP 神经网络构建的输入和输出节点数以及隐含层的神经元个数是根据训练样本维数确定的, 由于输入数据为 7 维 (7 个特征因素), 输出数据为 1 维 (建筑安装工程费), 所以 BP 神经网络结构为 7-15-1, 即有 15 个隐含层的神经元个数。最终确定的 BP 神经网络结构图。

传统的 BP 神经网络算法需要使用大量的样本, 在修正权值的时候存在学习训练过程收敛较慢的不足, 容易导致局部值最小的情况, 并且还存在着网络推广力不好这样一个弱点, 所以在此篇文章中笔者利用 MATLAB 工具箱提供的 Levenberg-Marquardt 优化方法进行训练, 它可以根据网路训练误差的变化情况去自动调整训练参数, 以便能够随时采用合适的训练方法, 可以很好改善传统 BP 神经网络学习的缺陷<sup>[8]</sup>。

表 1 工程样本特征表

Tab. 1 Table of engineering sample characteristics

项目名称	路基宽度 /m	路基土石方量 $\times 10^4 / m^3 \cdot (km)^{-1}$	路面结构总厚度 /cm	路面面层厚度 /cm	桥隧比重 /%	每公里互通立交数量	地形	建安费 (万元/km)
1	24.5	13.37	72.5	18	32.47	0.04	0.5	3685.2
2	25.51	17.14	79	22	21.16	0.05	0.3	4507.9
3	24.5	20.44	68	18	31.84	0.1	0.5	5458.5
4	25.5	17.14	79	22	21.15	0.05	0.3	4507.85
5	24.51	13.36	72.48	18	32.5	0.04	0.5	3685.32
6	24.51	20.43	68.01	18	31.85	0.1	0.5	5458.4
7	26	11.22	71	15	7.5	0.02	0.3	2174.4
8	33.5	10.87	74	20	33.27	0.1	0.5	6195.1
9	28	9.51	85	22	3.05	0.11	0.3	3928.1
10	24.5	11.95	74	22	50.7	0.09	0.5	5288
11	24.5	18.05	73	18	26.04	0.06	0.5	4467.5
12	24.5	18	73.12	18	25.98	0.05	0.5	4400

表2 数据归一化结果

Tab.2 Table of data normalized

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	期望输出
1	0.000	0.353	0.265	0.429	0.617	0.222	1.000	0.376
2	0.112	0.698	0.647	1.000	0.380	0.333	0.000	0.580
3	0.000	1.000	0.000	0.429	0.604	0.888	1.000	0.817
4	0.111	0.697	0.647	1.000	0.380	0.333	0.000	0.580
5	0.001	0.352	0.264	0.429	0.618	0.222	1.000	0.376
6	0.001	0.999	0.001	0.429	0.604	0.888	1.000	0.817
7	0.167	0.156	0.176	0.000	0.093	0.000	0.000	0.000
8	1.000	0.124	0.353	0.714	0.634	0.888	1.000	1.000
9	0.389	0.000	1.000	1.000	0.000	1.000	0.000	0.436
10	0.000	0.223	0.353	1.000	1.000	0.777	1.000	0.774
11	0.000	0.784	0.294	0.429	0.482	0.444	1.000	0.570
12	0.000	0.777	0.301	0.429	0.481	0.333	1.000	0.554

为了消除量纲对结果的影响,文章对数据进行归一化处理,在本文中,采用极差化处理方式,即  $x_i = (x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})$ ,把搜集的数据归一化到 [0, 1] 之间,简化后的数据如表 2 所示。

### 2.3 网络训练结果分析

通过不断的训练迭代,网络的性能尽管没能达到 0,但是输出的均方差已经相当小。训练性能曲线如图 2 所示,此图是用 MATLAB 进行运算的误差收敛情况,由图 2 可以看出,到第 11 步的时候网络停止运行,此时网络的均方误差  $MSE = 6.58044e-006$ ,满足目标误差精度  $1e-05$ ,而且此时的测试结果和期望输出最为接近。从中我们可以看出,经过多次波动以后误差呈现逐步降下的趋势,直至达到满足要求的误差精度,而此时各节点的权重也达到既定的要求。用收敛后的网络对样本 12 的数据进行检测,结果误差分析情况如表 3 所示。通过实际值和预测值之间的相对误差可知,预测出来的结果较为精确,而且是符合现实的,可以满足工程可行性研究的投资估算需要和初步设计的概算要求,同时也证明 BP 神经网络应用于高速公路工程造价预测的有效性和可行性。

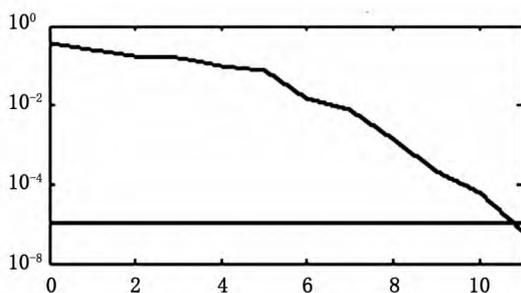


图2 训练性能曲线图

Fig.2 The diagram of training performance

表3 误差分析表

Tab.3 Table of error analysis

工程样本	实际值	预测值	相对误差/%
12	4 400	4 340	1.36

### 3 结束语

本模型与传统的预测方法相比,依据其本身所具有的自适应自学习能力的 BP 神经网络,更能适应工程造价的动态变化,使预测结果更为准确。此外,利用 MATLAB 工具箱中的神经网络进行运算,非常快捷简便。

#### 参考文献:

- [1]张金梅. 基于神经网络的高校教学质量评价体系的设计与实现[D]. 太原: 太原理工大学, 2005.
- [2]刘彩虹. BP神经网络学习算法的研究[D]. 重庆: 重庆师范大学, 2008.
- [3]何菲菲,王飞,李红. 建筑工程招投标模型研究及应用[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2013, 30(2): 103-105.
- [4]黄伟典. 建设工程计量与计价[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [5]谢颖,高犁难,石振武. 基于最小二乘支持向量机的公路工程造价预测模型[J]. 中外公路, 2007, 27(3): 242-245.
- [6]张道德. 公路工程造价指数分析与预测[J]. 公路, 2010, 2(2): 228.
- [7]李宇驰. 高速公路造价快速估算模型与方法的研究[D]. 四川: 西南交通大学, 2006.
- [8]董长虹. MATLAB神经网络与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.

(责任编辑 刘存英)