

文章编号:1671-8879(2011)06-0090-04

# 经营性高速公路停止收费后运营成本预测模型

章 权<sup>1,2</sup>, 周 伟<sup>1</sup>, 温惠英<sup>3</sup>, 林 珊<sup>3</sup>

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 广东省公路管理局, 广东 广州 510075; 3. 华南理工大学 土木与交通学院, 广东 广州 510640)

**摘 要:**针对单纯的神经网络会陷入局部最小点的缺点,以及单纯的 GA 方法不具备自适应学习能力,且在处理局部区域上存在一定问题的缺点,通过将遗传算法与神经网络相结合,提出了遗传算法优化神经网络权重的混合算法,并将此模型用于对经营性高速公路收费期满、停止收费后的运营成本进行预测。研究表明:相比单纯的 BP 算法,该算法能同时对解空间内的多个点进行遗传优选,避免陷入局部最小点,具有更快的收敛速度和更高的预测精度;该算法预测平均误差为 0.06%,比单纯的 BP 算法提高了 1.5%;利用该算法进行经营性高速公路停止收费后运营成本预测,可为高速公路运营管理者进行科学决策提供参考。

**关键词:**交通工程;高速公路;运营成本;遗传算法;神经网络;预测

中图分类号:U491

文献标志码:A

## Operation cost prediction model of expressway after canceling toll

ZHANG Quan<sup>1,2</sup>, ZHOU Wei<sup>1</sup>, WEN Hui-ying<sup>3</sup>, LIN Shan<sup>3</sup>

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Guangdong Province Administration of Highway, Guangzhou 510075, Guangdong, China; 3. School of Civil Engineering and Transportation, South China University of Technology, Guangzhou 510640, Guangdong, China)

**Abstract:** In order to avoid the shortcomings of simple neural network that will fall into local minimum point, through combing genetic algorithm with neural network, this paper proposed a hybrid algorithm which using genetic algorithm to optimize the weight of neural network, and used it to predict operating costs of expressway after canceling toll. The results show that the method can predict the operating costs better and also has higher prediction accuracy than simple BP neural network method, the average forecast error of the method is 0.06%, which is improved 1.5% than the simple BP method. This method can provide a certain reference for the expressway operating managers to make decision scientifically. 1 tab, 5 figs, 12 refs.

**Key words:** traffic engineering; expressway; operation cost; genetic algorithm; neural network; prediction

## 0 引 言

由于广东省经营性收费公路的收费年限及开始

收费时间不一样,导致其收回时间不一致。假设其中一条经营性高速公路收费期满,由政府交通行业主管部门收回后停止收费,或降低收费标准继续收

收稿日期:2011-05-20

基金项目:国家自然科学基金项目(50978106)

作者简介:章 权(1963-),男,安徽铜陵人,广东省公路管理局高级工程师,长安大学工学博士研究生,E-mail:jjchzhq@21cn.com。

费,可能会使周边原本的交通流量大幅转向高速公路,使得高速公路的车流量迅速增加,从而带来路产折旧、养护成本等增加;而过去因收费产生的费用则会不存在,经营性收费公路取消收费后,政府需要多少管养成本,才能维持高速公路的正常运营,是值得研究的新问题。有关经营性高速公路收费期满、停止收费后运营成本的预测问题,目前国内外的研究还比较少。文献[1]运用边际成本管理原理,建立高速公路交通流量、道路长度与养护成本之间的多元回归分析数学模型,提出高速公路养护作业成本的预测模型,以及成本管理的边际成本和弹性指数的概念,分析了与交通流量相关的高速公路养护费用经济指标;文献[2]利用管理学原理及成本管理、数据模型等相关工具,分析了影响高速公路养护成本的相关因素,归纳总结出成本控制模型;文献[3]结合所在高速公路营运公司的实际情况,分析如何有效地运用零基预算方法对企业进行成本控制;文献[4]从高速公路运营者的成本管理模式出发,运用现代成本管理理论与方法,提出高速公路运营成本控制的新途径。从目前的研究情况来看,这些研究均未考虑经营性高速公路停止收费后对于运营成本的影响,主要是针对成本控制提出了对策,并没有对总的运营成本进行预测。为此,本文针对经营性高速公路收费期满、停止收费的情况,考虑交通流量、GDP、CPI 等因素的影响,运用遗传算法优化神经网络的算法,对高速公路运营成本进行了预测,可为高速公路收费期满后的运营决策提供参考。

## 1 停止收费对高速公路运营成本的影响

高速公路运营成本包括:养护成本、监控成本、路政支出、路产折旧、管理费用、征收业务成本和财务费用等。其中,养护成本、路产折旧、征收业务成本和财务费用 4 项是构成高速公路运营成本的主要部分,应作为控制高速公路运营成本的重点<sup>[5]</sup>。

经营性高速公路取消收费后,会对其运营成本带来一定的影响,具体表现在以下几方面。

(1)路产折旧额增加。高速公路取消收费,必将使周边的交通流量大幅转向高速公路,导致部分高速公路入城段流量迅速饱和,而高速公路每年的路产折旧额主要取决于交通流量,交通流量的迅速增加将导致路产折旧额的大幅增加。

(2)养护成本增加。高速公路取消收费,必定会吸引周边大部分的交通流量,使得其交通流量大大增加,这必定会对路网造成巨大的交通压力;过大的

交通压力会使路面、路基等损耗加快,从而增加了材料费、机械费等养护成本。

(3)取消了征收业务成本。高速公路取消收费,就不需要收费人员收取通行费用,也就免去了在通行费收取过程中直接发生的支出,即取消了高速公路运营期间的征收业务成本。

针对以上影响,本文选取了高速公路的交通流量、广东省历年 GDP 和 CPI 值作为预测的输入指标,将运营成本作为输出指标。

## 2 运营成本预测模型

### 2.1 BP 神经网络原理

采用误差反向传播算法(BP:error back-propagation on algorithm)的多层前馈人工神经网络,被称为 BP 神经网络。BP 神经网络是多层前馈网络(FFN——forward feedback network)。根据万能逼近定理(universal approximation theory)可知:如果隐层节点可以根据需要自由设置,那么,用 3 层 S 状的输入输出特性的节点,可以以任意精度逼近任何具有有限间断点的函数;如果 BP 神经网络的各节点选用非线性转移函数,则对于任何问题,从理论上都可以用 3 层前馈网络来解决<sup>[6-7]</sup>。BP 神经网络结构如图 1 所示。

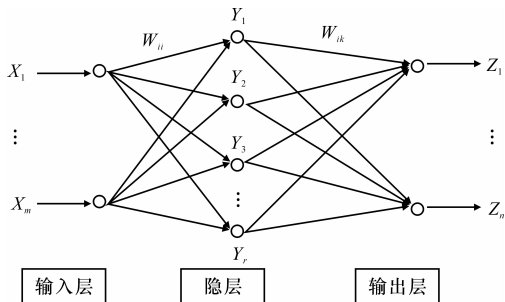


图 1 BP 神经网络结构

图 1 中: $X_i$  为输入层第  $i$  个神经元的输入信号( $i = 1, 2, \dots, m$ ); $W_{ij}$  为输入层与隐层的连接权重; $W_{jk}$  为隐层与输出层的连接权重; $Y_j$  为隐层神经元( $j = 1, 2, \dots, r$ ); $Z_k$  为输出层第  $k$  个神经元的输出信号( $k = 1, 2, \dots, n$ )。

BP 神经网络学习过程由信号正向传输与误差反向传输组成,其输入输出可以描述为

$$(1) \text{ 隐层神经元的输入 } n_j = \sum_{i=1}^m w_{ij} x_i - \theta_j \quad (1)$$

$$(2) \text{ 隐层神经元的输出 } y_j = f(n_j) \quad (2)$$

$$(3) \text{ 输出层神经元的输入 } n_k = \sum_{j=1}^r w_{jk} y_j - \theta_k \quad (3)$$

(4) 输出层神经元的输出  $Z_k = f(n_k)$  (4)

式(1)~式(4)中: $\theta_j$ 为隐层第 $j$ 个神经元的阈值; $\theta_k$ 为输出层第 $k$ 个神经元的阈值; $f(\cdot)$ 为激活函数。

## 2.2 遗传算法优化神经网络

遗传算法和神经网络都是通过模拟生物处理过程来解决复杂问题的,但是它们仍有各自的一些缺陷。BP神经网络只考虑了局部区域,缺乏全局性,易陷入局部最优值;而遗传算法虽然对于优化问题有较好的全局搜索能力,但它不具备自适应学习能力,在处理局部区域上存在一定的问题。把遗传算法与神经网络结合起来,利用遗传算法的全局搜索能力来确定神经网络的初始权值,可以扩大神经网络搜索空间,使神经网络具有快速全局寻优的能力和较强的学习能力,最后可获得较为满意的解<sup>[8-10]</sup>。遗传算法优化神经网络的步骤如下。

(1) 根据所处理问题的规模,建立神经网络。

(2) 染色体编码,生成初始种群。本文选取浮点数编码方式将神经网络输入层和隐层、隐层和输出层之间的权值和阈值编成染色体: $W = \{w_1, w_2, b_1, b_2\}$ ;初始种群的规模设为100。 $w_1$ 、 $w_2$ 分别为输入层到隐层、隐层到输出层的权值; $b_1$ 、 $b_2$ 分别为隐层和输出层的阈值。

(3) 适应度函数的确定。神经网络的性能函数是网络输出 $T'$ 与期望输出 $T$ 的误差平方和,函数值越小越好;而遗传算法的适应度函数则认为适应度大的个体是优良个体。因此,取性能函数的倒数作为适应度函数

$$f = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (T'_i - T_i)^2} \quad (5)$$

式中: $f$ 为遗传算法的适应度函数; $T'$ 为网络的实际输出; $T$ 为网络的期望输出。

(4) 选择。本文使用基于标准几何分布的排序进行选择,选择概率为0.09。

(5) 交叉。新个体主要是通过交叉来产生的,但是随机选择个体交叉可能导致有效基因缺失,从而延长搜索最优解的时间<sup>[11]</sup>。一般来说,交换概率为0.6~0.9,本文取交换概率为0.9。

(6) 变异。变异算子可以产生初始种群原本没有的基因,也可找回选择过程中丢失的基因,从而为种群提供新的内容<sup>[12]</sup>。变异概率的取值通常较小,一般为0.001~0.1,本文取变异概率为0.001。

(7) 算法终止条件的确定。常用的终止条件有最大遗传代数和适应度连续几代没有改进而终止的

2种情形。本文选择最大遗传代数作为算法的终止条件,设置最大遗传代数为200代。

基于遗传算法的神经网络运营成本预测,其基本流程如图2( $g_{en}$ 为进化代数; $G_{en}$ 为设定的进化代数)所示。

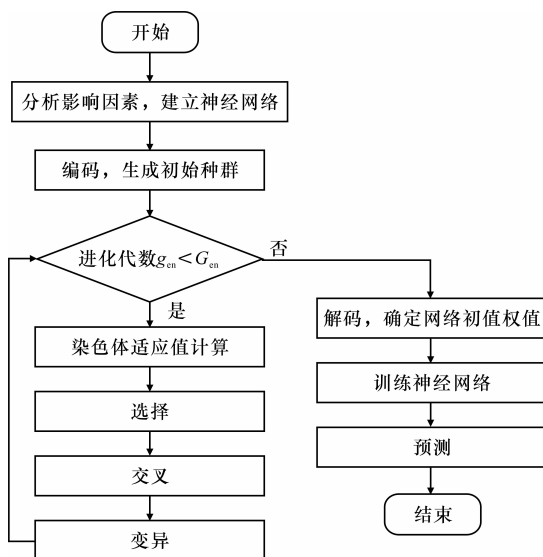


图2 遗传算法优化神经网络流程

## 3 实例分析

根据对广东省某高速公路有限公司的调研和对广东省统计年鉴的查询,得到2004~2010年的相关数据见下页表1。

依据前面分析,可确定神经网络输入层神经元个数为3个;输出层神经元为1个,即为高速公路运营成本的值;经过多次试算,确定隐层神经元为25个,由此建立了一个 $3 \times 25 \times 1$ 结构的神经网络。利用BP算法和GA-BP算法分别对前6个样本的输入输出进行学习和训练,并用2009年和2010年个体样本进行检测,拟合数据和误差见表1。通过对比,说明GA-BP算法在收敛精度上优于BP算法。通过GA-BP算法得到误差平方和的进化过程和遗传进化过程中的适应度,如下页图3、图4所示。

由图3、图4可知,大约经过了160代的搜索后,GA-BP算法的误差达到最小,染色体的平均适应度趋于稳定。

下页图5为GA-BP算法的训练目标曲线,设定目标值为0.001,学习速率为1。

由图5可知,GA-BP算法在第3步已收敛到目标值0.001,运行时间为6.13 s;而传统的BP算法则需要10.23 s,说明了GA-BP算法的收敛速度更快。同时,GA-BP算法不仅体现出了全局收敛的优

表 1 广东省某高速公路调研数据及相关预测值

原始数据					BP 预测		GA-BP 预测	
年份	车流量/ 10 <sup>4</sup> veh	广东省 GDP 值/亿元	广东省 CPI 值	运营成本/ 万元	运营成本/ 万元	误差/%	运营成本/ 万元	误差/%
2004	781.127 8	16 039.46	102.4	53 453.30	52 900	−0.98	53 567.70	−0.31
2005	876.567 1	21 701.28	102.3	58 939.70	57 600	−2.25	58 977.66	−0.12
2006	932.865 9	25 968.55	101.8	89 562.35	85 200	−4.91	89 584.92	−2.82
2007	1 005.245 1	30 673.71	103.7	105 882.20	103 300	−2.40	105 907.10	0.16
2008	1 050.080 8	35 696.46	105.6	115 340.00	114 300	−0.94	115 339.40	0.004 0
2009	1 082.033 1	39 081.59	97.7	117 677.38	112 000	−4.83	117 808.20	0.48
2010	1 304.625 2	45 472.83	103.1	127 259.08	126 700	−0.47	127 259.10	0.000 99
2020	1 900.000 0	56 000.00	107.0		138 320		193 507.10	

注:运营成本是除去员工工资等费用后的成本。

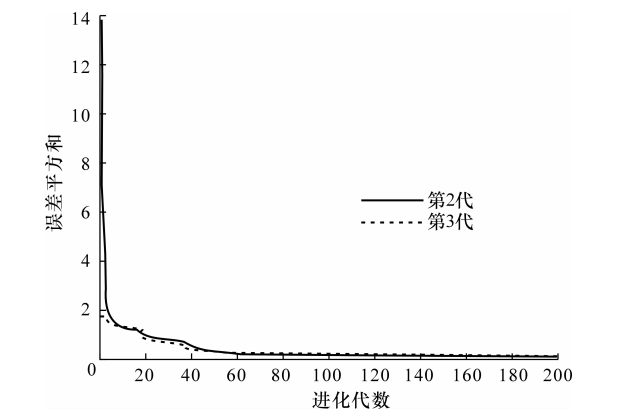


图 3 误差平方和的进化过程

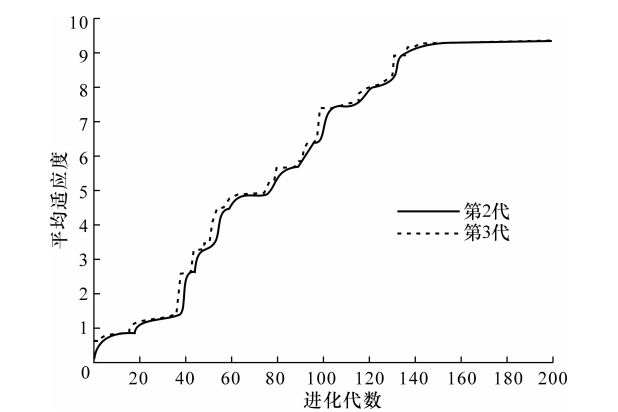


图 4 遗传进化的适应度

越性,而且表现出了 BP 算法的局部搜索能力,其收敛性远超过传统的 BP 算法。

假定某高速公路将于 2020 年收回并取消收费,通过运用时间序列方法对车流量的预测,以及相关专家对广东省 2020 年的 GDP 和 CPI 值的预测,将预测值分别代入 GA-BP 模型,经过 MATLAB 运算,预测出该高速公路 2020 年的运营成本为 184718.1 万元。该预测结果可为高速公路经营者进行科学决策提供可靠的参考依据。

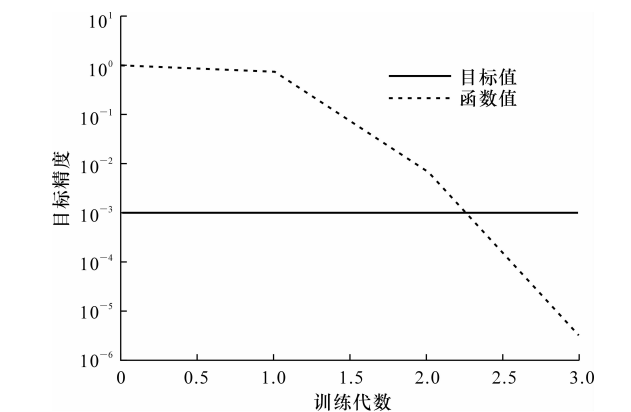


图 5 GA-BP 网络训练

4 结 语

(1)相比单纯的 BP 算法,GA-BP 算法能同时对解空间内的多个点进行遗传优选,避免陷入局部最小点,且提高了收敛速度;相比单纯的 GA 算法,GA-BP 算法避免了类似穷举的形式寻找最优解而导致搜索时间长、速度慢的缺点,是一种快速、可靠的方法。

(2)基于遗传算法优化的神经网络模型,能够较好地应用于高速公路运营成本的预测,同时也为高速公路经营者进行相关决策提供一定的参考。

参考文献:

References:

[1] 于 英,王麒麟,田晋跃.高速公路养护成本预测模型[J].交通运输工程学报,2007,7(3):76-79,85.  
YU Ying, WANG Qi-lin, TIAN Jin-yue. Forecast model of expressway maintenance cost[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7(3): 76-79,85.

动频率条件下,随着振幅的增大,混凝土含气量基本上呈下降趋势,但当振动频率超过一定程度(此处为 $246.3\text{ s}^{-1}$ )时,随着振幅的增大,混凝土含气量变化不大。

(2)在振动作用下,当搅拌速度较低时,含气量值较高,随着搅拌线速度的增大,含气量逐渐降低;当线速度超过 $1.6\text{ m/s}$ 时,含气量又有所增加。

(3)当选用小振幅、中频而且搅拌速度低于 $1.2\text{ m/s}$ 时,新拌混凝土的含气量普遍达到 $3.5\%$ 左右,且强度也普遍高于普通搅拌,说明振动搅拌不仅能够改善混凝土含气量及其分布状况,而且能提高混凝土强度,这为提高混凝土耐久性提供了一种新的途径。

参考文献:

References:

[ 1 ] 冯忠绪. 混凝土搅拌理论及设备[M]. 北京:人民交通出版社,2001.

[ 2 ] 王修田,钱春香,游有鲲,等. 含气量对混凝土抗冻性能与抗渗性能的影响[J]. 混凝土与水泥制品,2004(6):16-18.

WANG Xiu-tian, QIAN Chun-xiang, YOU You-kun, et al. The effect of air content in concrete to its frost resistance and the impermeability[J]. China Concrere and Cement Products,2004(6):16-18.

(上接第 93 页)

[ 2 ] 常志宏. 高速公路全运营周期养护成本控制研究[D]. 济南:山东大学,2008.

[ 3 ] 何仲文,黄少强. 零基预算管理方法在高速公路运营成本费用控制中的运用[J]. 公路,2004(8):324-327.

HE Zhong-wen, HUANG Shao-qiang. The use of zero-based budget management in the expressway operating cost control[J]. Highway,2004(8):324-327.

[ 4 ] 秘慧琴. 高速公路运营成本及控制[J]. 交通科技与经济,2008,49(5):125-126.

MI Hui-qin. Expressway operation cost and the control discussion[J]. Technology & Economy in Areas of Communications,2008,49(5):125-126.

[ 5 ] 姚 晔. 高速公路运营成本分析与控制[J]. 经济师,2010(8):240-241.

YAO Ye. Expressway operation cost and the control discussion[J]. China Economist,2010(8):240-241.

[ 6 ] 樊为民. 基于遗传算法的神经网络算法研究[J]. 太原师范学院学报:自然科学版,2004,3(4):14-17.

FAN Wei-min. The analysis of neural networks based on genetic algorithms[J]. Journal of Taiyuan Normal

[ 3 ] Portland C A. Control of air content in concrete[J]. Concrete Technology Today,1998,19(1):2-8.

[ 4 ] 吕丽华,柳俊哲,李玉顺. 试验条件对引气混凝土性能的影响研究[J]. 混凝土,2006(7):14-16.

LU Li-hua, LIU Jun-zhe, LI Yu-shun. Influence of experiment condition on air entrained concrete[J]. Concrete,2006(7):14-16.

[ 5 ] 赵利军,杜占领,冯忠绪. 新型振动搅拌装置的试验研究[J]. 中国公路学报,2005,18(2):120-122.

ZHAO Li-jun, DU Zhan-ling, FENG Zhong-xu. Experimental research on new vibratory mixer[J]. China Journal of Highway and Transport,2005,18(2):120-122.

[ 6 ] GB/T 9142—2000,混凝土搅拌机[S].

[ 7 ] 冯忠绪,江建卫,于丽娟. 振动搅拌理论及其装置的试验研究[J]. 中国公路学报,1999,12(3):122-126.

FENG Zhong-xu, JIANG Jian-wei, YU Li-juan. The experiment study of vibratory mixing theory and mixer[J]. China Journal of Highway and Transport,1999,12(3):122-126.

[ 8 ] 江建卫. 周期式振动搅拌机的试验研究[D]. 西安:长安大学,1998.

[ 9 ] 于丽娟. 连续式振动搅拌机的试验研究[D]. 西安:长安大学,1997.

[10] 杜占领. 双卧轴振动搅拌机的试验研究[D]. 西安:长安大学,2003.

University; Natural Science Edition, 2004, 3(4): 14-17.

[ 7 ] 杨 梅,卿晓霞,王 波. 基于改进遗传算法的神经网络优化方法[J]. 计算机仿真,2009,26(5):198-201.

YANG Mei, QING Xiao-xia, WANG Bo. Optimization of neural network based on improved genetic algorithm[J]. Computer Simulation,2009,26(5):198-201.

[ 8 ] 张栓柱. 武汉市汽车保有量预测研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2009.

[ 9 ] Wang C H, Liu H L, Lin C T. Dynamic optimal learning rates of a certain class of fuzzy neural networks and its applications with genetic algorithm[J]. IEEE Transaction on Systems:Men and Cybmetics,2001,31(3):467-475.

[10] 周利祥. 基于遗传算法的神经网络的研究与应用[D]. 汕头:汕头大学,2007.

[11] 魏海坤. 遗传算法原理及应用[M]. 北京:国防工业出版社,2005.

[12] 玄光男,程润伟. 遗传算法与工程优化[M]. 北京:清华大学出版社,2004.