

BP 神经网络的地面雷达全寿命周期费用估算

张 伟, 花兴来

(空军雷达学院, 湖北 武汉 430019)

摘 要:为了对地面雷达装备全寿命周期费用做出合理、准确、有效的估算,必须选取合适的估算方法对其进行费用分析。针对一般常用的地面雷达装备全寿命费用估算方法存在费用估算工作量大、预测精度带有很强的主观性和随机不确定性、建模与仿真过程存在很大局限性等问题,从 BP 神经网络原理出发,提出一种基于 BP 神经网络的全寿命费用估算方法。该方法充分利用计算机软件资源,建立起地面雷达全寿命周期费用估算的神经网络模型,并结合实例估算。采用 Matlab 软件语言构造出典型网络的工具函数,根据类似地面雷达装备以往的费用数据作为样本,对费用数据进行训练,调整权值,最后根据估算好的相应数据估算实际费用。通过与传统全寿命周期费用估算方法相比较,证实该模型能够应用于新型地面雷达装备全寿命周期费用估算,减小运算工作量,提高估算精度。

关键词:神经网络;雷达装备;全寿命周期费用

中图分类号: TN95 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2009)01-0052-04

地面雷达装备全寿命周期内各个阶段有不同的费用估算方法,在对其进行费用分析时,要因地制宜,选择各个阶段最适用的估算方法,这样所得出的估算结果才更准确。为了对地面雷达装备全寿命周期费用做出合理、准确、有效的估算,必须选取合适的估算方法对其进行费用分析。一般常用的地面雷达装备全寿命费用估算的方法有工程估算法、参数估算法、类比估算法和专家估算法。其中,工程估算法需要很详细地估算出影响寿命周期费用的各种费用的估计值,所以需要大量的时间进行大量的数据收集,并且数据的估算要一步一步来详细计算,工作量也大。专家判断估算法一般适用于具有较高技术创新的项目,在没有充足的历史数据或参考数据时,可以采用该方法,但该方法也存在明显的不足,如预测精度带有很强的主观性和随机不确定性等等。参数估算法所建立的模型的合理程度,主要取决于费用分析人员对地面雷达装备的了解和建模的技巧与经验。类比估算法不适用于技术上变化较大,差距较大的装备,因而在地面雷达装备的费用估算中存在很大局限性,不应作为费用估算主方法。除了这些常用的传统的全寿命周期费用估算方法外,本文从 BP 神经网络原理出发,提出一种对全寿命费用进行 BP 神经网络估算模型的设计,该方法能够充分利用计算机软件资源,减小运算工作量,提高估算精度。

1 基本原理

BP 神经网络^[1]由于其良好的非线性能力而成为一种应用广泛的神经网络模型。它在分类、预测、故障诊断和参数检测中具有广泛的应用。BP 神经网络的预测功能是通过误差的反向传播学习算法来实现的,其主要思想^[2]是:对于 q 个学习样本: p_1, p_2, \dots, p_q , 与其对应的输出样本为: T_1, T_2, \dots, T_q 。学习的目的是用网络的实际输出 A_1, A_2, \dots, A_q 与输出样本 T_1, T_2, \dots, T_q 之间的误差来修改其权值,使 A_1, A_2, \dots, A_q 与期望的 $T_1,$

* 收稿日期:2007-11-28

基金项目:国防预研基金资助项目(60601016)

作者简介:张 伟(1981-)男,甘肃陇西人,博士生,主要从事装备管理研究;

E-mail: zhangwei815021@mail.tom.com

花兴来(1962-)男,江苏海安人,教授,博士生导师,主要从事装备管理研究。

T_2, \dots, T_q 尽可能的接近,即使网络输出层的误差平方和最小。它通过连续不断地在相对于误差函数斜率下降方向上计算网络权值和偏差的变化从而逼近目标。每一次权值和偏差的变化都与网络误差成正比,并以反向传播的方式传输到每一层。设输入为 p , 输入神经元有 r 个, 隐含层内有 s_1 个神经元, 激活函数为 f_1 ; 输出层内有 s_2 个神经元, 对应的激活函数为 f_2 , 输出为 A , 输出样本为 T 。其步骤^[3]如下:

1) 隐含层中第 i 个神经元的输出:

$$a_{1i} = f_1 \left(\sum_{j=1}^r w_{1ij} p_j + b_{1i} \right), \quad i = 1, 2, \dots, s_1 \quad (1)$$

2) 输出层第 k 个神经元的输出为:

$$a_{2k} = f_2 \left(\sum_{i=1}^{s_1} w_{2ki} a_{1i} + b_{2k} \right), \quad k = 1, 2, \dots, s_2 \quad (2)$$

3) 定义误差函数为:

$$E(w, B) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{s_2} (t_k - a_{2k})^2 \quad (3)$$

4) 用梯度法求输出层的值变化:

对从第 i 个输入到第 k 个输出的权值变化为:

$$\Delta w_{2ki} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{2ki}} = -\eta \frac{\partial E}{\partial a_{2k}} \frac{\partial a_{2k}}{\partial w_{2ki}} = \eta (t_k - a_{2k}) f_2 a_{1i} = \eta \delta_{ki} a_{1i} \quad (4)$$

$$\delta_{ki} = (t_k - a_{2k}) f_2' \quad (5)$$

同理可得:

$$\Delta b_{2ki} = -\eta \frac{\partial E}{\partial b_{2ki}} = -\eta \frac{\partial E}{\partial a_{2k}} \frac{\partial a_{2k}}{\partial b_{2ki}} \quad (6)$$

5) 隐含层权值的变化

对从第 j 个输入到第 i 个输出的权值为:

$$\Delta w_{1ij} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{1ij}} = -\eta \frac{\partial E}{\partial a_{2k}} \frac{\partial a_{2k}}{\partial a_{1i}} \frac{\partial a_{1i}}{\partial w_{1ij}} = \eta \sum_{k=1}^{s_2} (t_k - a_{2k}) f_2 w_{2ki} f_1 p_j \quad (7)$$

令

$$\delta_{ij} = \sum_{k=1}^{s_2} \delta_{ki} w_{2ki} f_1 \quad (8)$$

同理可得:

$$\Delta b_{1i} = \eta \delta_{ij} \quad (9)$$

BP 神经网络算法具体流程见文献[2-4]。

2 新型地面雷达全寿命周期费用估算的神经网络设计

1) 选取全寿命周期费用分解结构的构成因素。根据新型地面雷达装备全寿命周期费用分解结构^[5-6]及影响费用的主要程度,可以划分为论证费、研制费、型号管理费、购置费、使用费、维修费、退役处理费等。在实际应用中,费用结构的划分还可以根据需要来确定。

2) 输入输出层的设计。依据 BP 神经网络的设计特性,不考虑各因素之间的相互影响关系,即各层次内的神经元之间没有连接,在新型地面雷达全寿命周期费用估算中可选取费用构成因素作为输入层^[7]。本文选取论证费、研制费、型号管理费、购置费、使用费、维修费、退役处理费作为输入层,输入节点数为 7。输出层为其全寿命周期费用,输出层的节点为 1。

对于隐含层节点的选取,应遵循节点数尽量小,否则会使训练时间过长,误差可能达不到预期的要求。所以隐含层节点数要根据经验来选取,其计算式为:

$$n_1 = \sqrt{n + m} + a \quad (10)$$

式中: n_1 为隐含层节点的数目; n 为输入层节点数; m 为输出层节点数; a 为选取 1-10 之间的常数。

根据式(10)权衡最优可以确定隐含层的节点数。

由于地面雷达装备的全寿命费用神经网络模型设计中,费用是非线性变化的。因而,初始权值^[8]的选取对于是否能达到所预测的全寿命周期费用、是否能够收敛以及训练时间的长短等有很大关系。所以对于地面雷达装备的全寿命周期费用估算的 2 层网络,为防止出现局部最小值,不收敛或训练时间过长等情况,

可以采用威得罗选定初始权值策略:选择权值的量级为 $r\sqrt{s_1}$, 其中 s_1 为第一层神经元的数目。

3) 目标值的选取。在新型地面雷达装备的设计开始,就应对其全寿命周期费用进行论证。根据支付费用情况,采用多元回归法、参数费用法、类比法等方法来估算目标雷达装备的预期费用,作为输出的目标值。

4) 模型的建立。在对此 BP 神经网络进行训练的过程中,先要取一定数量的样本^[9],选定其初始权值进行学习,然后其输出层的结果即为全寿命周期费用。根据以上分析,基于 BP 神经网络的新型地面雷达全寿命费用估算模型见图 1。

5) 模型的计算。模型计算采用 Matlab 软件,计算过程首先根据类似地面雷达装备以往的费用数据作为样本,对费用数据进行训练,调整权值,最后根据估算好的相应数据估算实际费用。

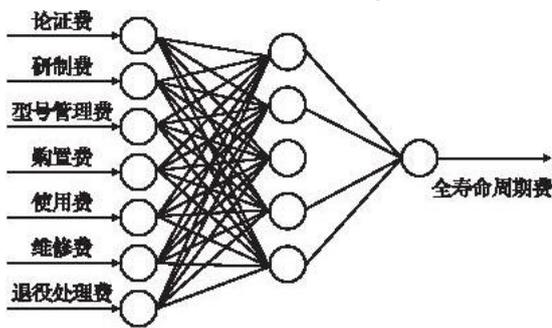


图 1 基于 BP 神经网络的新型地面雷达全寿命费用估算模型

Fig. 1 The model based on the BP Nerving Network to estimate the LCC of ground radar equipment

3 仿真对比

在对上述模型验证过程中,由于常规地面雷达费用结构中没有涉及到型号管理费这一项,所以进行模型估算的输入层为论证费、研制费、购置费、使用费、维修费、退役处理费,输入节点数为 6。估算费用基准年为 2003 年,现贴率 $i = 10\%$,费用数按训练样本各费用单元的数据见表 1。

表 1 地面雷达各单元费用

型号	论证费	研制费	购置费	使用费	维修费	退役处理费	全寿命周期费
A 型	3.04	57.72	639.12	453.42	1 360.26	0	2 513.56
B 型	6.5	123.5	1 700	454.2	1 362.3	0	3 653
C 型	19.8	178.2	1 981	253.6	754	19.80	3 207.54

其中,A 型地面雷达为某型常规地面雷达;B 型为某新型全固态、全相参、脉冲压缩雷达;C 型为某新型无源时差定位地面雷达。选取前两个样本进行训练,最大误差设为 1%,用训练好的样本对 C 型新型无源地面雷达进行目标估算,并与回归法估算的结果比较,结果见表 2,收敛精度^[10]见图 2。

表 2 BP 神经网络法与回归法精度比较

Tab. 2 The precision of comparison BP Nerving Network method with the Regression method 万元

型号	原值	回归法		BP 神经网络法	
		预测值	相对误差	预测值	相对误差
C 型无源雷达	3 207.54	2 709.81	15.52	2 875.96	10.34

从估算结果可以看出,BP 神经网络法对新型地面雷达装备全寿命周期费用估算的精度要比回归法更高。

4 结束语

通过实例仿真验证,可以看出本文所提应用 BP 神经网络算法来估算新型地面雷达装备的全寿命周期费用是切实可行的。但是由于地面雷达费用数据收集费用数据有限,造成选取训练样本太少,导致了网络预报误差过大,达到训练误差范围所需训练步数(周期)过长。如果想获得更好的估算结果,采用更大容量的训练样本就会减小相对误差,提高精度。

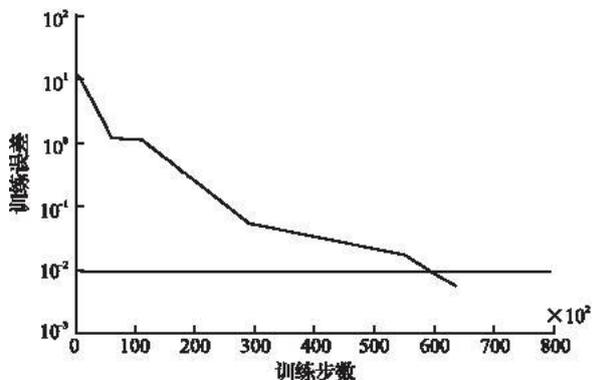


图 2 收敛精度分析

Fig. 2 The analysis of constrigent precision

参考文献:

- [1] 闻 新. MATLAB 神经网络应用设计[M]. 北京:科学出版社,2000.
WEN Xin. The Design to the Application of MATLAB Nerving Network[M]. Beijing: Science Press,2000. (in Chinese)
- [2] 袁曾任. 人工神经元网络及其应用[M]. 北京:清华大学出版社,1999.
YUAN Zengren. Manual Nerving Network Centre and Its Application[M]. Beijing: Tsinghua University Press,1999. (in Chinese)
- [3] 朱海燕. 基于动态 BP 神经网络的预测方法及其应用[J]. 计算机网络,2006,9(5):11-16.
ZHU Haiyan. The Estimated Method and Application Based on the Dynamic BP Nerving Network[J]. Computer Network, 2006,9(5):11-16. (in Chinese)
- [4] 郭万敏. BP 组合预测方法在维修保障费用预测中的应用[J]. 火力与指挥控制,2004,29(3):29-33.
GUO Wanmin. Application of BP Neural Network Combining Forecast to Maintenance and Support Expense[J]. Firepower and Command,2004,29(3):29-33. (in Chinese)
- [5] ZHU Jiayuan. Estimating Military Aircraft Cost Using Least Squares Support Vector Machines[J]. International Journal of Plant Engineering and Management,2004,6(2):24-27.
- [6] 罗 云. 设备寿命周期费用方法及其应用[M]. 北京:海洋出版社,1992.
LUO Yun. The Method and the Application of the Equipment LCC[M]. Beijing:Ocean Press,1992. (in Chinese)
- [7] ZHANG Xiao. The Optimum Replacement of Weapon[J]. Journal of Systems Science and Systems Engineering,2002,11(2):47-51.
- [8] Charlie Fu. IFC Implementation in Lifecycle Costing[J]. Journal of Harbin Institute of Technology,2004,11(4):437-441.
- [9] 吴 为. 雷达随机备件品种与数量的工程估算方法[J]. 雷达与对抗,1998,5(4):32-34
WU Wei. The Engineering Estimate Method of the Variety and Quantity of Radar Random Spare Part [J]. Radar & Ecm, 1998,5(4):32-34. (in Chinese)
- [10] Fabrechy W J,Blanhard B S. Life Cycle Cost and Economic Analysis[M]. New York:Prentice Hill,1991.

(编辑:田新华)

A Method of Estimating the LCC of Ground Radar Equipment Based on BP Nerving Network

ZHANG Wei, HUA Xing-lai

(Air Force Radar Academy Wuhan 430019, Hubei, China)

Abstract: In order to estimate the LCC of new pattern ground radar equipment more logically, exactly and effectively, a right method should be chosen in estimation. In allusion to that there are many difficulties in common methods of estimating the LCC of the ground radar equipment, such as the heavy estimation workload, the estimation precision with quite stronger subjectivity and uncertainty, and the existence of great limitations in the process of the model and emulation, and from BP nerving network, a method is proposed based on BP nerving network in estimating the LCC. By using this method, the full use of the computer software resources is done and a nerving network model of estimating the LCC of the ground radar equipment is set up. In this paper, the Matlab software is adopted to build up an implement function of typical network. Firstly, the author uses the expenditure data similar to the former one of the ground radar equipment as a sample. Then trains the data and modulates the coefficient. Finally, the author estimates the factual expenditure based on the corresponding data. With the estimating and analyzing example, and through comparing with the common estimation method, the result shows that the model can be applied to estimating the LCC of new pattern ground radar equipment and has a higher precision in estimation.

Keywords: nerving network; radar equipment; LCC