

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.01.005

基于 RBF 神经网络的导弹备件需求量预测仿真

颜刚¹, 周文松², 王相飞¹, 高宏亮³

(1. 海军航空工程学院 研究生管理大队, 山东 烟台 264001;

2. 海军航空工程学院 训练部, 山东 烟台 264001; 3. 海军装备研究院 系统所, 北京 100073)

摘要: 针对导弹部署后期与备件有关的各项保障数据相对较多的情况, 提出采用径向基函数 (Radial Basis Function, RBF) 网络方法。以某型导弹的某备件为预测对象, 对导弹维修备件需求影响因素进行分析, 介绍 RBF 网络的结构、工作原理及预测步骤和流程图, 并进行仿真结果分析。分析结果表明, 该方法比普通前向网络训练省时, 能解决备件需求量的预测问题。

关键词: 导弹; 备件需求; 神经网络预测; RBF 网络

中图分类号: TP183; TP391.9 **文献标志码:** A

Simulation on Missile Spares Demands Prediction Based on RBF Neural Network

Yan Gang¹, Zhou Wensong², Wang Xiangfei¹, Gao Hongliang³

(1. Administrant Brigade of Postgraduate, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China;

2. Dept. of Training, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China;

3. System Institute of Navy Equipment Research Academy, Beijing 100073, China)

Abstract: There are plenty of factors affecting a missile fittings demands, introduce the RBF method. Adopt the certain type missile as the forecasting object, and analyze the factors influencing missile maintenance spare part, introduce the structure, working principle, forecasting steps and flow chart of RBF network, and analyze the simulation result. The analyzing result shows that the method can use less time to solve the forecasting method of spare part requirement than ordinary RBF network.

Keywords: missile; spare part demands; neural network prediction; RBF neural network

0 引言

由于导弹部署后期与备件有关的各项保障数据相对较多, 采用传统的导弹备件需求量预测方法均存在一些问题: 时间序列预测法仅仅以备件的历史消耗数据为预测依据, 预测不够准确且数据不够稳定; 回归预测法尽管考虑了备件需求量的影响因素, 但是很难事先知道需求量与影响因素间的函数关系, 而且需要大量的计算, 也不能处理影响因素与需求量间的非平衡暂态关系; 专家系统法可利用专家的经验知识和推理规则, 使部队编制、战备任务、装备数量有重大变化时的预测变得可信, 但是把专家知识和经验等准确转化为一组规则是非常不容易的^[1]。

影响导弹备件需求量的因素很多, 备件需求量是多因素共同作用的结果, 可看成是多变量的非线性函数。对于抽取和逼近这种非线性函数, RBF 网络是一种特别合适的方法。神经网络具有自学习功能和逼近任意非线性函数的能力, 且神经网络处理数据具有快速性和并行性。而径向基函数 (Radial Basis Function, RBF) 网络在逼近能力、分类能力和学习速度等方面均具有优势^[2]。随着导弹装备综合保障工程的深入开展和不断完善, 在导弹使用、维护与维修的实际过程中, 会记录包括年消耗量在

内的很多影响备件需求量的保障数据, 这些都是预测备件需求量的重要信息, 为利用 RBF 神经网络法进行预测提供了可靠的数据来源。故采用 RBF 网络来解决导弹备件需求量的预测问题。

1 影响备件需求量的因素分析与量化

现以某型导弹的某备件为预测对象, 对导弹维修备件需求影响因素进行分析, 选取以下便于量化、易于统计的几个主要影响因素进行简要阐述^[3]:

1) 年度累计挂机飞行时间 (A): 导弹挂机飞行时处于高速、强振动的复杂运动状况, 对导弹自身性能以及备件性能影响很大。挂机飞行时间越长, 次数越多, 备件需求量会越大。根据平时的训练计划可统计出该型号导弹年度挂机飞行的总时间; 2) 因自身固有故障率或到寿而自然消耗的备件个数 (B): 备件的故障率是一种固有特性, 是其本身的设计和制造水平的体现。某备件在库存阶段因固有故障率引起的失效数量是可以统计的, 它直接影响着备件需求量; 3) 使用强度 (C): 部件的使用强度包括构件的载荷情况和使用率等。当某备件超出正常使用频数和强度时, 将影响某些零部件的故障率。根据装备实操训练和平时维护保养需要, 把导弹的使用强度分为 4 个等级, 数值越大, 使用强度

收稿日期: 2010-07-23; 修回日期: 2010-09-27

作者简介: 颜刚 (1984-), 男, 四川人, 工程师, 在读硕士研究生, 从事装备系统工程研究。

越大; 4) 年度使用、维修与定检中该备件 (或者含该备件的部件) 被拆卸的总次数 (D): 一般地, 装备中某个部件被拆卸的次数越多, 说明该部件越容易出现故障; 5) 环境因素 (E): 高温、高湿、高盐、强日照、雨露、振动和灾害性气候等都能使导弹在使用与库存过程中产生备件需求。根据该部队气象部门的统计资料, 把环境的严酷度分为 7 个等级, 并相应地量化为 7~1 之间的整数值, 数值越大表示严酷程度越高, 环境越恶劣; 6) 年度重大演习任务次数 (F): 一般重大演习任务都具有规模大、时效性强、使用的导弹装备和参与保障的人员多的特点, 在演习中难免会因装备使用强度高或精神紧张造成操作失误而导致备件需求。重大演习任务次数越多就越容易产生备件需求; 7) 使用与维修操作不当等人为因素损坏的个数 (G): 部队人员因退伍或转业会产生一定的流动性, 新上岗操作与维修人员的个人素质、熟练程度及业务水平都需要一段时间的锻炼和培养, 这一过程中因操作不当以及平时的疏忽等人为因素都会产生备件需求。

2 RBF 神经网络理论

2.1 RBF 神经元模型

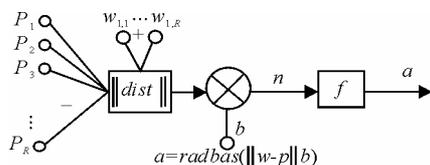


图 1 RBF 神经网络

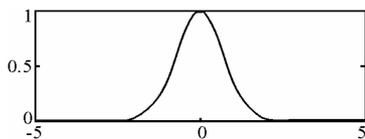


图 2 径向基传递函数

图 1 为一个有 R 个输入的 RBF 神经元模型。RBF 神经元的传递函数有各种各样的形式, 最常用的形式是高斯函数 (radbas), 与其它神经元不同, 神经元的输入为输入矢量 P 和权值 w 之间的距离乘以阈值 b 。径向基传递函数 f 可表示为:

$radbas(n) = e^{-n^2}$ 。图 2 为径向基传递函数曲线。

2.2 RBF 网络的结构

RBF 网络的结构如图 3^[4]。

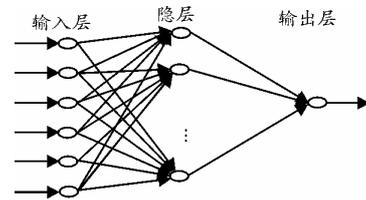


图 3 径向基函数网络的结构

RBF 网络是 2 层前项型神经网络, 包含 1 个具有径向基函数神经元的隐层和 1 个具有线性神经元的输出层。输入信号传递到隐层, 隐层再传递到输出层, 隐层节点函数为高斯函数, 输出层节点函数通常是简单的线性函数。

2.3 RBF 网络的工作原理

隐层神经元的网络输入为加权输入与相应阈值的乘积, 然后通过神经元函数 radbas 计算得到隐层神经元的网络输出。其中, 加权输入表示输入层输入向量与权值向量之间的距离, 通过 dist 函数计算得到; 输出层神经元的输入为加权输入与相应阈值之和, 然后通过线性函数 purelin 计算得到网络的输出。其中, 加权输入表示隐层输出向量与权值向量的乘积。

3 RBF 网络预测步骤与流程图

以影响备件需求量的因素作为输入, 并以需求量作为输出, 建立基于影响因素的 RBF 网络预测模型, 其基本流程如图 4。

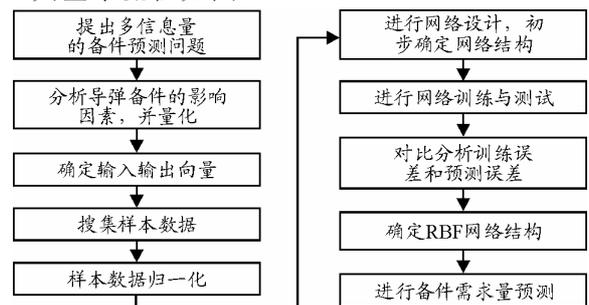


图 4 基于影响因素的 RBF 网络预测流程

表 1 样本数据

样本时间	影响因素量化值							备件消耗数
	A/h	B	C	D	E	F	G	
2002 年	370	0	1	25	6	0	4	70
2003 年	440	1	1	30	4	0	5	73
2004 年	480	1	2	32	3	1	3	82
2005 年	560	1	2	31	2	1	1	81
2006 年	770	2	3	36	3	2	2	86
2007 年	790	3	3	40	3	2	3	89
2008 年	850	2	4	45	5	3	2	94
2009 年	630	1	1	30	1	1	1	76

4 RBF 网络设计

4.1 样本数据的收集与获取

通过调研有针对性地取得了上节中提出的 7 个影响因素的相关数据以及历史消耗数据，如表 1。

在获得样本数据后，由于其中各个指标因素互不相同，原始样本中各量的单位与量级差别也不同，为了计算方便及防止部分神经元达到过饱和状态，

需要对输入和输出向量进行归一化处理。利用 MATLAB 实现样本数据的归一化过程，将数据处理为区间[0,1]之间的数据。归一化方法很多，笔者采用如下公式^[5]：

$$\hat{x} = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

归一化后的样本数据见表 2。

表 2 归一化后的样本数据

样本时间	影响因素量化值							备件消耗数
	A	B	C	D	E	F	G	
2002 年	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0	0.000 0	0.750 0	0.000 0
2003 年	0.145 8	0.333 3	0.000 0	0.250 0	0.600 0	0.000 0	1.000 0	0.125 0
2004 年	0.229 2	0.333 3	0.333 3	0.350 0	0.400 0	0.333 3	0.500 0	0.500 0
2005 年	0.395 8	0.333 3	0.333 3	0.300 0	0.200 0	0.333 3	0.000 0	0.458 3
2006 年	0.833 3	0.666 7	0.666 7	0.550 0	0.400 0	0.666 7	0.250 0	0.666 7
2007 年	0.875 0	1.000 0	0.666 7	0.750 0	0.400 0	0.666 7	0.500 0	0.791 7
2008 年	1.000 0	0.666 7	1.000 0	1.000 0	0.800 0	1.000 0	0.250 0	1.000 0
2009 年	0.541 7	0.333 3	0.000 0	0.250 0	0.000 0	0.333 3	0.000 0	0.250 0

4.2 网络结构设计

由于 RBF 网络的非线性映射能力很强，故采用 RBF 神经网络。用量化得到的影响因素作为训练样本的输入，实际的消耗量作为训练样本的输出，对网络进行训练。当网络误差达到要求时，网络的训练结束。此时该网络即可用于实际的预测。由于输入样本为 6 维的输入向量，则输入层有 6 个神经元；而网络只有 1 个输出数据，那么输出层只有 1 个神经元。得到的网络结构如图 3。对 RBF 神经网络来说，散布常数的设置是一个关键问题。散布常数需要足够大才能覆盖所有的输入区间，但是如果散布常数太大，则每个神经元的响应区域又会交叉过多，反而带来精度问题。在仿真中，经过多次试验，散布常数取 25，可得到较好的结果。

5 仿真结果分析

利用表 2 中 2002~2007 年的影响因素数据作为输入向量，以 2003~2008 年的消耗数量作为目标向量输出进行网络训练，得到网络结构即为预测的结构。表 3 中列出 2003~2008 年 RBF 神经网络训练的误差，从训练结果可看出网络能达到较高的精度。

取 2008 年的影响因素数据作为测试样本，得到各网络的输出值后，分别与 2009 年的实际消耗量相比较，将此误差也作为选择最优网络结构的重要依据之一。输入 2009 年的影响因素数据到网络模型中，预测 2010 年的备件需求量。以 2009 年的影响因素数据为输入，预测输出为 0.692 7，反归一化并

取整数得 2010 年该备件的需求量为 87 个。

表 3 训练的网络性能

样本时间	测试数据的预测误差 (1.0e-012)	样本时间	测试数据的预测误差 (1.0e-012)
2003 年	-0.028 4	2006 年	-0.105 4
2004 年	0	2007 年	-0.076 9
2005 年	-0.093 6	2008 年	0.028 4

6 结论

该方法在设计 RBF 神经网络时，不需设计隐层神经元的个数，比普通的前向网络训练更省时，并能解决模型未知带来的缺陷，仿真结果验证了该方法的有效性。但由于利用神经网络进行训练时，需要大量精确的样本才能得到较高精度的预测值，而支持向量机可解决小样本条件下的预测问题，因此，下一步将考虑采用支持向量机来解决导弹备件需求预测问题。

参考文献：

- [1] 金天球. 飞航导弹备件需求预测方法研究[D]. 烟台：海军航空工程学院，2009，3.
- [2] 董长虹. Matlab 神经网络与应用[M]. 北京：国防工业出版社，2005：121-124.
- [3] 徐廷学，赵江堂. 导弹武器系统的保障性试验与评价研究[J]. 飞航导弹，2001，8(3)：11-13.
- [4] 王希彬，等. RBF 神经网络在惯导系统传递对准中的应用[J]. 系统仿真技术，2008，4(4)：233-236.
- [5] 甘应爱，等. 运筹学（第3版）[M]. 北京：清华大学出版社，2004.
- [6] 蒋世军，沈剑峰，王炳. 反舰导弹海杂波建模与仿真[J]. 四川兵工学报，2009(12)：117-118.