

一种弹炮结合武器系统作战效能评估方法

李秉^{1,2}, 王凤山¹, 李晓军¹

(1. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800; 2. 93856 部队, 甘肃 兰州 730000)

摘要:为了评估弹炮结合武器系统的作战效能, 构建了效能评估的指标体系, 简要分析了指标选取的理由, 建立了弹炮结合武器系统作战效能评估的三层 BP 神经网络模型, 给出了训练样本构造的方法, 并用构造的样本对 BP 神经网络进行训练。运用训练好的神经网络对弹炮结合武器系统作战效能进行评估。结果表明, 该方法能够较好地克服人为因素和模糊随机性的影响, 具有较高的可行性和可信度。

关键词:BP 神经网络; 弹炮结合武器系统; 作战效能

中图分类号:E917; TP183

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2009)06-0217-04

An Evaluation Method of Operational Effectiveness of Anti-Aircraft Gun Missile Weapon System

LI Bing^{1,2}, WANG Feng-shan¹, LI Xiao-jun¹

(1. Missile Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 713800, China;

2. The 93856 Troops, Lanzhou 730000, China)

Abstract: In order to evaluate the operational effectiveness of anti-aircraft gun missile weapon system, an index system for effectiveness evaluation is set up, analyses the reasons for selection indexes briefly, a 3-level BP neural networks is established. Introduced the construction method of training samples and used these samples to train BP neural networks. When the training precision reaches the requirement, the BP neural network is used to evaluate the operational effectiveness of anti-aircraft gun missile weapon system. The result indicated that this method conquers the infection of subjective factors and fuzzy-randomicity, the method is feasible and reliable.

Key words: BP neural networks; anti-aircraft gun missile weapon system; operational effectiveness

0 引言

现代高技术的迅猛发展和空防斗争的演变, 使低空威胁发生了质的变化。当前面临的低空威胁主要包括各种有人驾驶飞机(如全天候对地攻击机、武装直升机和隐身飞机)、无人机、各种巡航导弹(含隐身巡航导弹)、空地导弹、反辐射导弹、精确制导炸弹等。这些空袭兵器低空性能好、突然性大、火力较强、命中精度高, 给探测和拦截带来了很大的困难。弹炮结合武器系统是针对现代低空近程防空反导的需求, 由地空导弹和小高炮通过共用搜索指挥系统和火控系统而构成的防空武器系统。这种防空武器兼有防空导弹和小口径高炮的优点, 可攻击多种目标, 其火力反应快、覆盖面广, 火力死区小, 能实施多次拦截, 具有较强的抗击低空目

标能力, 近年来倍受重视^[1,2]。如何科学、准确地评估弹炮结合武器系统的作战效能, 已成为军方和工业部门共同研究的热点。文中运用 BP 神经网络对弹炮结合武器系统的作战效能进行评估, 为武器系统的研制和改进提供了一定的参考依据。

1 建立作战效能指标体系

1.1 作战效能指标体系建立的依据

针对弹炮结合武器系统抗击目标的特点, 将整个抗击过程概括为发现目标和拦截目标两个阶段, 重点考虑弹炮结合武器系统的低空搜索能力、对低空目标的拦截射击能力、作战保障能力以及系统生存能力。因此, 选择的评估指标不仅对弹炮结合武器系统的作战效能有较高的灵敏度, 而且能反映武器系统抗击目标的特点。在不影响评估有效性和可信度的前提下, 为简化问题, 作以下约定^[3]:

(1) 远方空情信息保障良好, 通信顺畅, 预警时间充裕。

收稿日期: 2008-09-07; 修回日期: 2008-12-29

基金项目: 军队“十一五”计划课题

作者简介: 李秉(1980-), 男, 甘肃兰州人, 博士研究生, 研究方向为防空作战决策与分析; 王凤山, 教授, 博士生导师, 研究方向为军事运筹学、作战指挥学。

(2)目标进入为 Poisson 流,目标到达时间间隔服从与 Poisson 分布同参数的负指数分布,且针对同一目标流评估不同弹炮结合武器系统的作战效能。

(3)目标航路为水平直线,以不变的突防速度穿越弹炮结合系统的空域,且在防御空域内停留的时间有限。

(4)对进入弹炮结合防御区的目标,先由导弹分系统射击,再由高炮分系统射击,且首先射击最先到达的目标。

1.2 作战效能评估指标体系

对于弹炮结合武器系统而言,低空近程导弹和小高炮一般都有火力重叠区,因此,评估指标体系中的杀伤区指的是由地空导弹和高炮的火力范围共同构成的一个作战区域,杀伤区的近界、远界、下界均是对此作战区域而言的^[4]。平均射击间隔时间、平均杀伤概率、平均故障间隔时间、平均修复时间是指导弹分系统和高炮分系统相对应指标的均值。弹炮结合系统作战效能评估指标体系见图 1。

评估指标体系中的低空探测能力、抗干扰能力、机动能力、隐蔽性能、故障检测能力等五项指标属于模糊指标,很难通过定量的方法表达出来,但这五项指标在弹炮结合武器系统作战效能评估中占有重要位置。为了全面、客观地考虑问题,又不至于使问题复杂化,文中通过专家打分的方式,确定这五项指标的等级及对应的数量关系(见表 1)。

表 1 低空探测能力等五项模糊指标的专家打分指标值

| 低空探测能力 | 抗干扰能力 | 机动能力 | 隐蔽性能 | 故障检测能力 |
|--------|-----------|-----------|-----------|--------|
| 好 | 较好 | 一般 | 较差 | 差 |
| 0.85-1 | 0.75-0.85 | 0.60-0.75 | 0.40-0.60 | 0-0.40 |

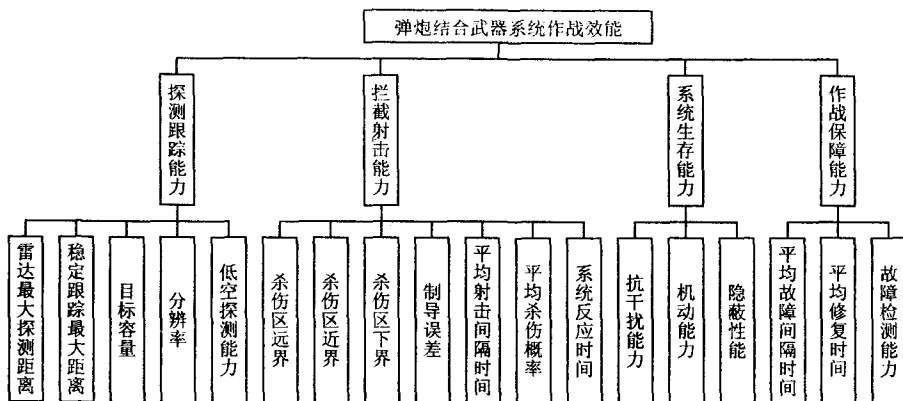


图 1 弹炮结合系统作战效能评估指标体系

2 BP 神经网络的原理

人工神经网络是由大量简单处理单元连接而形成

的,以模拟人脑行为为目的复杂网络系统,具有大规模并行、自组织、自适应和自学习能力,特别适用于处理需要同时考虑许多因素的复杂问题。神经网络有多种类型,其中 BP 网络是使用最广泛的一种。BP 神经网络通常由输入层、若干隐含层和输出层组成,其特点是同层神经元之间无任何连接,仅相邻层神经元之间有连接。它通过不断调整网络中的连接权,从而可以以任意精度逼近任何非线性函数^[5]。

典型的 BP 神经网络的算法步骤如下^[6,7]:

(1)初始化网络及学习参数,确定各层节点的数目,将网络权值和阈值的初始值设为比较小的随机数;

(2)选择足够的能反映输入与输出关系的训练样本,使样本具有广泛性和代表性,选择合适的训练模式,对样本进行训练;

(3)对于给定的训练模式,根据输入样本计算输出,并计算实际输出与期望输出的差值;

(4)根据步骤 3 得出的误差,来更新输入层—隐含层节点之间、隐含层—输出层节点之间的连接权值;

(5)求误差函数 $E = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m (F - G)^2$,其中, F 为期望输出值, G 为实际输出值, m 为样本数。判断 E 是否收敛到给定的学习精度之内,当误差达到要求的精度时,表明网络已训练好了,则停止训练,网络收敛;否则,进行误差的反向传播,回到步骤 2 继续进行。

3 基于 BP 神经网络模型效能评估的实现

对于解决武器系统效能评估这一类复杂的非线性问题,BP 神经网络有其独特的优势。文中采用三层 BP 神经网络对弹炮结合武器系统作战效能进行评估,设计的 BP 网络见图 2。

3.1 初始参数的确定

神经网络输入层节点数目一般为评价指标体系最底层指标的数目,文中参照评价指标体系,设计输入节点为 $x_1 \sim x_{18}$,共 18 个;隐含层神经元数目的选择原则为:神经元数目少、模型训练时收敛速度快、样本期望输出向量与实际输出向量的距离短,一般为 8 ~ 15 个神经元,文中隐层神经元节点数初始

定为 12(在训练过程中可视网络的泛化能力调整);输出层节点数为 5(输出节点 $y_1 \sim y_5$ 分别对应于优、良、中、差、很差 5 个效能评估等级)。BP 网络训练的最终

允许误差设为 0.01,节点的激活函数选用 sigmoid 函数,即

$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)}$$

权修正

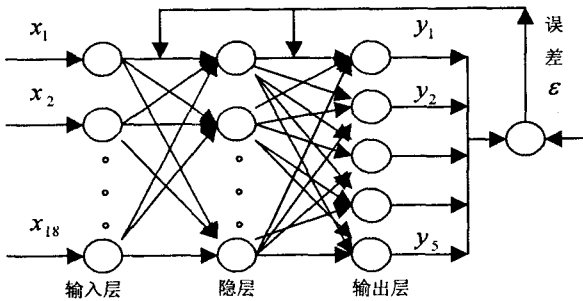


图2 3层BP神经网络

3.2 训练样本的构造

由于BP神经网络是一个有老师的学习过程,因而如何选取用来训练神经网络的样本很重要,这直接关系到评估结果的可信度。为了尽量保证样本的真实、客观,减少人为因素的影响,文中采取如下步骤获得原始训练样本:

(1) Delphi 法与 AHP 法相结合确定各指标权重^[8]。

为了克服一位专家在确定权重时的主观性问题,可以首先选择 15~30 位专家,根据两两指标的相对重要性进行评判,并不断反馈和修改。经过多轮评判,获得趋近一致的专家意见后,利用得到的两两指标的相对重要性结果构造判断矩阵,然后用 AHP 法确定各指标的相对权重,根据所得的权重数据乘以指标采样数据,得到初始训练样本。

(2)样本的归一化处理。

BP网络的作用函数要求输入范围在[0,1]之间的实数,而指标体系中各参数的衡量单位不同,且主要因素的参数值都大大超出这个范围,因此有必要对其进行归一化处理,处理方法如下:设 min_k 和 max_k 分别是对第 k 个指标而言可能出现的最小值或最大值, x_k 为原始训练样本值。

对于成本型指标(即指标值越小越好,如平均故障间隔时间),由下式进行处理:

$$x'_k = \frac{\max_k - x_k}{\max_k - \min_k}$$

对于效益型指标(即指标值越大越好,如雷达最大探测距离),由下式进行处理:

$$x'_k = \frac{x_k - \min_k}{\max_k - \min_k}$$

(3)对初始训练样本进行变权处理。

某一项指标值的极好或极差将会对评估结果产生较大的影响,如果采用常权综合法的思路,则无法体现出单项指标出现极值情况时对武器效能的影响。为了能更客观、准确地反映实际情况,在征求专家意见的基础上,对初始样本采用有激励和惩罚功能的变权法。处理方法为:对单项指标值高于 0.90 的(归一化后),给整体作战效能以 0.01 的激励,对单项指标值低于 0.40 的(归一化后),给整体作战效能以 0.01 的惩罚。

3.3 神经网络的训练及应用

依据上述方法根据实际采样数据,经处理后得到 7 组训练样本如表 2、表 3 所示。

表3 BP神经网络训练样本期望输出值

| 样本 | 期望输出值 | | | | |
|----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Y ₁ | Y ₂ | Y ₃ | Y ₄ | Y ₅ |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

利用 Matlab 语言编制描述该 BP 网络模型的计算机程序,将表 2、表 3 中的训练样本输入程序后,即可对网络进行训练,直到满足网络模型的识别精度要求为止(文中要求在 0.01 以内)学习结果如图 3 所示。可以看出,当网络训练至第 48 步时,网络模型的识别精度为 0.00974836,网络性能达标。此时,BP 神经网络已经具备了模式识别的能力。

表2 BP神经网络训练样本输入值

| 样本 | 输入值 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | X ₅ | X ₆ | X ₇ | X ₈ | X ₉ | X ₁₀ | X ₁₁ | X ₁₂ | X ₁₃ | X ₁₄ | X ₁₅ | X ₁₆ | X ₁₇ | X ₁₈ |
| 1 | 0.93 | 0.82 | 0.79 | 0.76 | 0.91 | 0.94 | 0.69 | 0.93 | 0.96 | 0.86 | 0.90 | 0.98 | 0.75 | 0.94 | 0.96 | 0.89 | 0.92 | 0.96 |
| 2 | 0.81 | 0.84 | 0.86 | 0.76 | 0.81 | 0.84 | 0.89 | 0.86 | 0.73 | 0.81 | 0.83 | 0.77 | 0.84 | 0.82 | 0.88 | 0.79 | 0.89 | 0.80 |
| 3 | 0.83 | 0.81 | 0.88 | 0.68 | 0.86 | 0.75 | 0.85 | 0.82 | 0.66 | 0.82 | 0.75 | 0.88 | 0.71 | 0.78 | 0.86 | 0.82 | 0.77 | 0.83 |
| 4 | 0.62 | 0.38 | 0.76 | 0.81 | 0.86 | 0.76 | 0.52 | 0.48 | 0.67 | 0.56 | 0.58 | 0.65 | 0.44 | 0.54 | 0.70 | 0.56 | 0.59 | 0.62 |
| 5 | 0.75 | 0.82 | 0.81 | 0.79 | 0.71 | 0.46 | 0.78 | 0.72 | 0.76 | 0.85 | 0.92 | 0.77 | 0.72 | 0.76 | 0.68 | 0.49 | 0.58 | 0.69 |
| 6 | 0.74 | 0.86 | 0.77 | 0.56 | 0.80 | 0.76 | 0.88 | 0.92 | 0.68 | 0.55 | 0.49 | 0.68 | 0.49 | 0.55 | 0.78 | 0.76 | 0.68 | 0.77 |
| 7 | 0.42 | 0.46 | 0.49 | 0.32 | 0.46 | 0.41 | 0.42 | 0.45 | 0.32 | 0.36 | 0.49 | 0.40 | 0.46 | 0.48 | 0.46 | 0.41 | 0.52 | 0.61 |

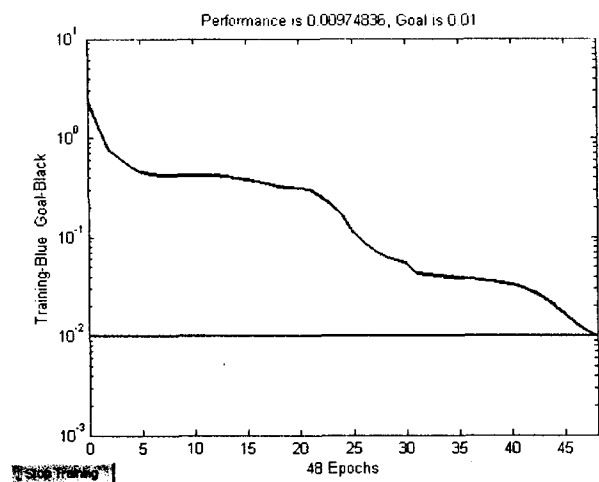


图 3 网络模型学习过程

为了验证该 BP 神经网络的评估能力,选用了某一型号的弹炮结合武器系统,其 $x_1 \sim x_{18}$ 的指标值分别为(0.75, 0.83, 0.81, 0.69, 0.76, 0.80, 0.77, 0.63, 0.71, 0.80, 0.66, 0.89, 0.72, 0.75, 0.86, 0.68, 0.92, 0.74),通过专家打分,判断该型号武器系统效能为良。而神经网络的输出值为 0.0012, 0.9884, 0.0506, 0.0000, 0.0000, 依据最大隶属度原则,显然可以判定该型号武器系统效能为良。神经网络的评估结果与专家的定性评判结果相同,该网络可以用来对弹炮结合武器系统的作战效能进行评估。

4 结束语

BP 神经网络是一种基于非线性系统的预测方法。

(上接第 216 页)

自动汇总,并及时提供给管理者作决策依据。

(5)灵活性、开放性与可扩展性的充分结合。在数据库、系统结构、功能模块的设计与程序编码等方面考虑以后增加新的、或修改已有的子系统或功能模块的可能性,增强软件的易维护程度。

(6)具备兼容性与可移植性,尽可能考虑了应用系统对不同环境的适应能力,如对各种工作平台的支持等。

(7)系统具有很高的安全性,对用户和数据的安全性措施方面采取了用户身份验证、用户访问权限设定等手段。

7 结束语

以 .NET 框架为基础所设计开发的面向石油科技管理的网络办公软件系统,可以大大提高科技管理的水平和效率,系统所采用的 Web 开发模式、COM 组件、网络图表打印技术等方面均有一定程度的创新,可

文中在建立弹炮结合武器系统效能评估指标体系的基础上,设计了基于 BP 神经网络的弹炮结合武器系统作战效能评估模型,减少了武器系统效能评估的人为因素,增强了评估结果的可信度,并在实际应用中取得了令人满意的效果,可望为弹炮结合武器系统的研制和开发提供一定的参考依据。

参考文献:

- [1] 李执力,王险峰,余旭东.弹炮结合防空武器系统效能分析与评估[J].飞航导弹,2004,29(6):10-11.
- [2] 林玉琛.低空威胁与弹炮结合防空系统[J].现代防御技术,1993,21(6):36-37.
- [3] 毛和瑞,常云丽.弹炮结合防空武器系统的服务概率[J].系统工程理论与实践,2002,31(2):118-122.
- [4] 曹泽阳,高虹霓.弹炮合一防空武器系统抗击效率模型研究[J].弹箭与制导学报,2002,22(3):68-69.
- [5] Mckeown J, Stella F. Some Numerical Aspects of the Training Problem for Feed Forward Neural Nets[J]. Neural Networks, 1997, 12(8):26-30.
- [6] de Pedro, Price H, Babcock S J, et al. On air defense communications network connectivity[J]. Neural Networks, 1997, 12(6):78-80.
- [7] 蒋薇.基于 GMDH 方法和 bp 神经网络的经济预警模型[J].现代科学管理,2006,18(10):58-60.
- [8] Chiclana F, Herrera F, Herrera-Viedma E. Integrating three representation models in fuzzy multipurpose decision making based on fuzzy preference relations[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1998, 97(1):33-48.

为同类软件的设计提供一定的借鉴作用。

参考文献:

- [1] 罗海滨,范玉顺,吴澄. workflow 技术综述[J]. 软件学报, 2000, 11(7):899-907.
- [2] 樊海斌. 基于 ASP.NET 技术的办公自动化系统设计[J]. 软件导刊, 2007(5):85-86.
- [3] 薛华成. 管理信息系统[M]. 北京:清华大学出版社, 2000.
- [4] Kim Y, Kang S, Kim D, et al. WW-FLOW: Web-based workflow management with runtime encapsulation[J]. IEEE Internet Computer, 2002, 43(3):55-64.
- [5] 梁战武. ASP 程序设计[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2001.
- [6] 林锐,唐勇,石志强. Web 软件用户界面设计指南[M]. 北京:电子工业出版社, 2005.
- [7] Torres R J. 用户界面设计与开发精解[M]. 北京:清华大学出版社, 2002.
- [8] Lowy J. .NET 组件程序设计[M]. 北京:电子工业出版社, 2007.