

doi: 10.7690/bgzdh.2023.03.003

基于 BP 神经网络的渡江工程信息控制效能评估

王凤山, 郭子曜

(陆军工程大学野战工程学院, 南京 210007)

摘要: 为科学测度渡江工程信息保障中的信息控制效能, 提出一种基于 BP 神经网络的渡江工程信息控制效能评估方法。围绕渡江工程信息保障任务的关键节点和预期目标, 构建渡江工程信息控制效能评价的指标体系; 利用神经网络非线性拟合精度高以及自调节功能强的特点, 设计 BP 神经网络效能评估模型; 利用仿真实验对模型进行验证分析。结果表明: 模型应用于渡江工程信息控制能力指标评价样本, 验证了 BP 神经网络在渡江工程信息控制效能评估中的有效性。

关键词: 渡江工程保障; 信息控制能力; 效能评估; BP 神经网络

中图分类号: TP183 **文献标志码:** A

Efficiency Evaluation of Information Control of River Crossing Project Based on BP Neural Network

Wang Fengshan, Guo Ziyao

(College of Field Engineering, Army Engineering University of PLA, Nanjing 210007, China)

Abstract: In order to scientifically measure the effectiveness of information control in the information support of the river crossing project, an effectiveness evaluation method based on BP neural network is proposed. Focusing on the key nodes and expected targets of the information support task of the river crossing project, the index system for evaluating the efficiency of information control of the river crossing project is constructed. By using the characteristics of high nonlinear fitting accuracy and strong self-regulation function of neural network, the efficiency evaluation model of BP neural network is designed, and the model is verified and analyzed by simulation experiments. The results show that the model is applied to the evaluation sample of the information control ability of the river crossing project, and the effectiveness of the BP neural network in the evaluation of the information control efficiency of the river crossing project is verified.

Keywords: river crossing project support; information control ability; efficiency evaluation; BP neural network

0 引言

在以信息化、网络化为复合特征的现代战争中, 信息控制权已成为敌我双方在多维战场空间争夺的焦点。有效地获取、控制、使用信息, 是形成渡江工程信息保障能力的必然选择^[1]。

信息控制能力作为衡量渡江工程信息保障能力的重要指标之一, 其效能发挥直接影响到渡江工程体系的信息保障效果^[2]。信息化条件下的战场环境呈现出复杂、多变、不可预测等特征, 信息控制要素与效能之间具备广泛的非线性作用机制, 使得对信息控制能力进行效能评估存在诸多困难^[3]。

BP 神经网络由于其较强的非线性映射能力和柔性的网络结构, 已被广泛应用于目标识别^[4]、系统控制^[5]和效能评估^[6]等领域。BP 神经网络理论应用于渡江工程信息控制效能评估, 集成战前评价作战方案、战时作战体系弱点捕获等应用, 实现对渡

江工程信息保障模式的优化, 适应了影响因素多、战场态势复杂条件下的作战保障能力评估需求^[7], 为效能评估提供了有效方法和技术优势, 对提升渡江工程信息保障中的信息控制能力具有重要价值。

1 渡江工程信息控制效能评估指标体系

1.1 信息控制能力影响因素分析

渡江工程信息控制能力中, 各种影响因素的状态和数据具备不同的量纲和特征, 具有预测与不可预测、已知与未知、矛盾与竞争性共态存在的特殊性。因此, 各种影响因素内部之间存在一定的交互、关联、排斥等相互作用, 具有物质、能量与信息复杂非线性作用机制, 如何寻求各种因素之间的联系、把握彼此的共同特征是分析信息控制能力影响因素的关键^[8], 信息控制能力内部因素影响原理如图 1 所示。

收稿日期: 2022-11-06; 修回日期: 2022-12-28

作者简介: 王凤山(1978—), 男, 江苏人, 副教授, 从事军事运筹系统建模与仿真研究。E-mail: 706042590@qq.com。

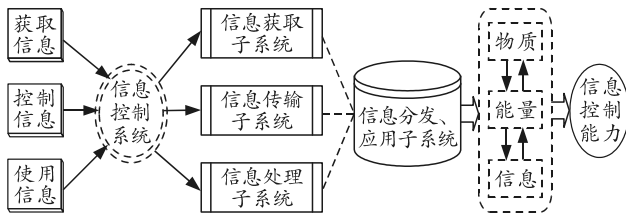


图 1 信息控制能力内部因素影响原理

渡江工程信息控制能力的核心内容是从子系统中提取反映信息控制能力的特征信息，如作战态势、电磁频谱环境、系统完备性等，通过信息融合表征信息控制能力特征信息，便于信息的分发和应用，渡江工程信息控制能力影响要素关系如图 2 所示。

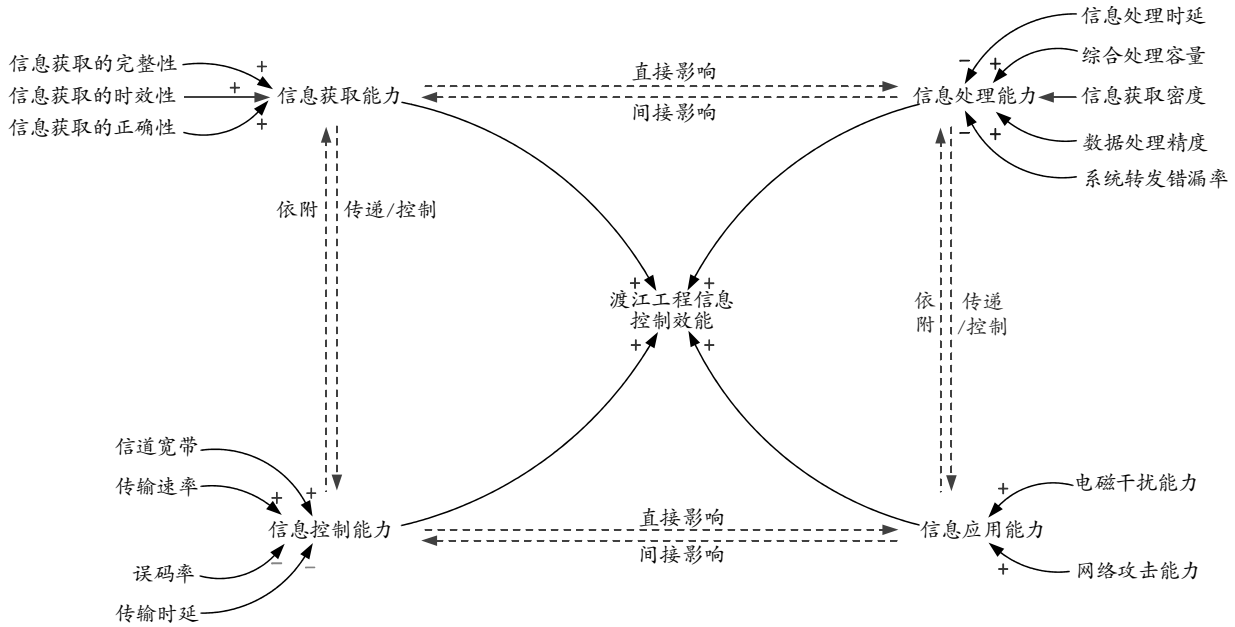


图 2 渡江工程信息控制效能影响要素关系

上图中，建立渡江工程信息控制效能影响要素关系图，图形化描述各影响要素之间功能、作用的映射关系，为指标体系构建及指标间相互关系的分析提供静态结构。

1.2 指标体系构建原则

面对战场环境与战场活动的复杂态势，难以表达渡江工程信息控制能力结构特征、信息控制子系统概念及其影响因素之间的非线性隐式关系，迫切需要掌握渡江工程信息控制效能评估指标体系的约束条件和构建原则^[9]。

渡江工程信息控制效能评估指标体系构建的原则有：系统整体性原则、目的服从性原则和动态相关性原则。

1) 系统整体性原则。

对渡江工程信息控制能力进行效能评估，并不只是将其影响要素简单叠加，而是要以系统整体发展为根本原则，在效能分析中考虑到内部元素之间的耦合、衍化等作用，寻求系统整体的性质和规律，以此为基础反映系统整体的特征。

2) 目的服从性原则。

遵循效能评估以作战保障为目的，评估原则服

从于作战实际的客观要求，针对渡江工程信息保障任务的特殊性和阶段性，设计相应的评估指标和体系，确保指标体系能够刻画出系统的功能特征、反映任务的阶段性。

3) 动态相关性原则。

系统是处在动态发展和不断变化中的，伴随其中的是功能的阶段性特征。系统内部之间各功能、子系统等要素之间相互联系又制约、相互斗争又彼此依赖，在对系统进行效能评估时要综合考量和运用各要素，利用指标要素的动态相关性反映系统的整体性。

1.3 渡江工程信息控制效能评估指标体系构建

以效能评估的需求为起点，从分析渡江工程信息控制影响要素问题域出发，通过在需求与设计之间建立规则，包含了信息控制能力与渡江工程信息保障效能等各应用领域，有效地揭示了渡江工程信息控制效能的知识内涵和概念层次^[10]，便于更好地对指标要素进行选取、优化和区分，从而实现对指标体系的构建与描述，使指标体系具有更高的准确性和合理性。

如图 3 所示，遵循评估指标的阶段性特点和关

键性要求，强调指标对象在渡江工程系统中内在的、本质的属性，忽略次要关系或与系统机理不相

关的特征，构建渡江工程信息控制效能评估指标体系。

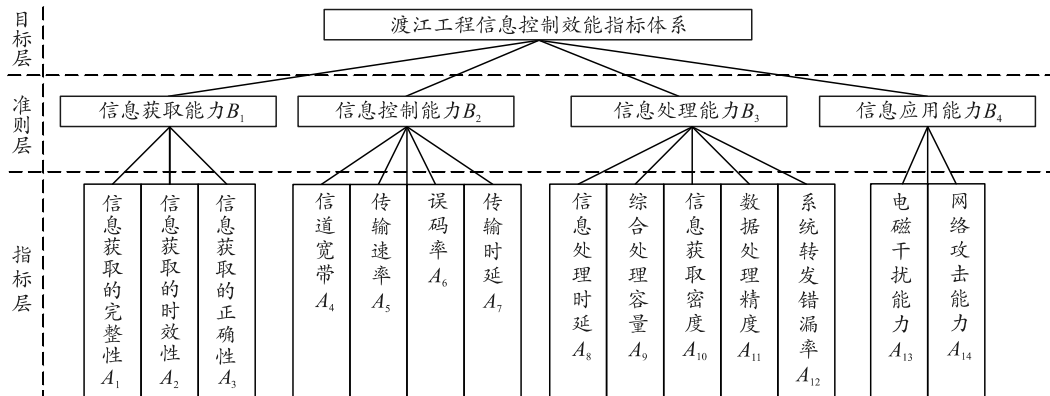


图 3 渡江工程信息控制效能指标体系

2 BP 神经网络基本原理

2.1 BP 神经网络概念

BP 神经网络，又称误差反向传播神经网络，是模拟人脑或其他自然界中的神经网络结构和功能而建立的一种信息处理系统，是对人脑神经网络数学模型的理论化表达^[11]。

解决非线性问题的唯一途径是采用多层前馈神经网络模型^[12]。BP 神经网络由输入层、隐含层和输出层 3 层结构组成，集合自学习、自适应及非线性神经元处理能力，在本质上是一个由非线性变换单元组成的前馈性神经元系统，是解决作战保障效能评估问题的有效工具。

2.2 神经元模型

BP 神经元模型的核心特征就是多输入对应单输出，其特向表征为非线性的双阈值神经元器件，依据一定的方式并行构成拓扑结构的网络。神经元作为神经网络的基本单元，其模型表示如图 4 所示。

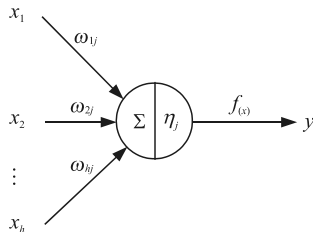


图 4 神经元基本单元模型

上图中： $\{x_1, x_2, \dots, x_h\}$ 表示神经元的 h 个输入； $\{\omega_{1j}, \omega_{2j}, \dots, \omega_{hj}\}$ 表示每个输入神经元对应的连接权值， ω_{ij} 即第 i 个神经元到第 j 个神经元的连接权值；将第 j 个神经元的输入之和表示为 t_j ； y_j 表示第 j 个神经元的输出； η_j 表示第 j 个神经元的阈值。因此，该双阈值神经元器件的输入总和可表示如下：

$$t_j = \sum_{i=1}^h \omega_{ij} - \eta_j \quad (1)$$

为刺激大脑神经元的输入加权求和后达到阈值，实现信号输出的目的，采用 S 型激活函数作为用于激活神经元信号的典型函数^[13]，激活函数 $f(x)$ 具体表示如下：

$$f(x) = 1 / (1 + e^{-\beta x}) \quad (2)$$

式中激活函数 $f(x)$ 决定了神经元的输出结果 y_j ，同时神经网络的收敛效率与非线性能力也取决于激活函数 $f(x)$ 。

2.3 BP 神经网络拓扑结构

BP 神经网络，采用一定规则的拓扑结构将各神经元连接起来表达每层神经元的相互独立性、耦合性，表达不同层次神经元之间的单向映射性^[14]。

以输入和输出样本集为基础对网络进行训练，即通过不断修正和学习实现对权值和阈值的改进、优化，将给定的输入输出样本集表达为有序的网络结构下映射关系。

图 5 描述的是包含 1 个输入层、若干个隐含层以及 1 个输出层的 BP 神经网络拓扑结构，其中含有 h 个输入、 k 个输出以及 r 个隐含层神经元数量，具体表示为 $[h, r, k]$ 。

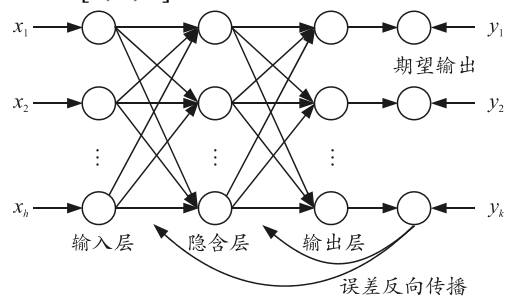


图 5 BP 神经网络拓扑结构

2.4 网络训练过程

围绕神经元处理信号的完整路径和行为，区分 BP 神经网络为 2 个过程：正向传播与误差的逆向传播，如图 6 所示。

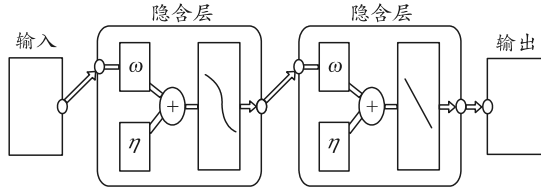


图 6 BP 神经网络结构

上图中，依据神经网络基本原理，设定输入信号为 x ，输出信号为 y ，期望输出值 \bar{y} 以及连接权值 ω ，区分 2 个阶段对 BP 神经网络的训练过程进行系统解释，正向传播即输入信号 x 到输出信号 y 的非线性作用变换，误差的逆向传播即输出信号 y 与期望输出值 q 之间的误差逆向反馈，通过调整各层级之间的连接权值 ω ，实现误差沿梯度方向下降的目的，从而确定取最小误差时相应的连接权值 ω 与阈值 η 。

3 BP 神经网络模型构建

3.1 网络结构确定

面向渡江工程信息控制效能评估的复杂非线性问题，应用 BP 神经网络寻找样本数据的函数逼近关系，实现对渡江工程信息控制中拓扑关系、功能信息和相互作用的集中描述和表达^[15]。

选取 3 层神经网络模型来构建评估模型，其中包含 1 个输入层、1 个输出层以及 1 个隐含层。输入层的节点数由图 3 中的渡江工程信息控制效能评估指标个数确定，用向量可以表示为 $\{x_1, x_2, \dots, x_{14}\}$ ；输出层为信息控制效能评估结果 y ，神经元个数为 1；隐含层节点数可以根据经验计算公式确定，具体如下：

$$r = \sqrt{h+k} + a. \tag{3}$$

式中： a 为 1~10 之间常数； h 、 r 、 k 分别为输入层、隐含层及输出层的节点数。

根据式(3)选取网络结构中隐含层节点数为 10 个，得到该 BP 神经网络评估模型结构如图 7 所示。

上图中： $\{x_1, x_2, \dots, x_{14}\}$ 表示神经网络的 14 个输入； ω_{ij} 表示输入层节点 i 到隐含层节点 j 的连接权值； ω_j 表示隐含层节点 j 到输出层的连接权值； η_j 表示隐含层的阈值； η 表示输出层的阈值。

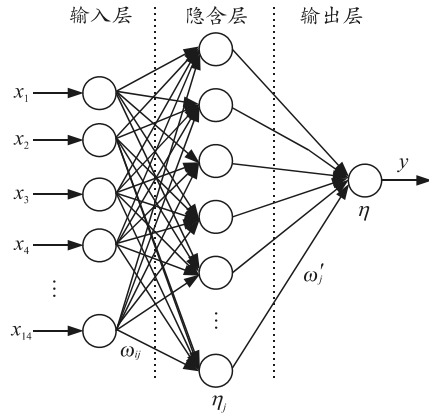


图 7 BP 神经网络评估模型结构

3.2 神经网络概念模型

为有效度量神经网络的输入、输出值，将隐含层、输出层的输出表示如下：

$$y_j = f \left(\sum_{i=1}^h \omega_{ij} x_i - \eta_j \right); \tag{4}$$

$$y = f' \left(\sum_{j=1}^r y_j \omega_j - \eta \right). \tag{5}$$

式中：隐含层选取 tansig-双曲正切 S 型传递函数，其输入值可以为任意值，输出值为 $[-1, 1]$ ；输出层选取 purelin-线性传递函数，输入输出均为任意值。通过输入层、隐含层、输出层的确定以及传递函数的选取，刻画基于 BP 神经网络的渡江工程信息控制效能评估的概念模型，如图 8 所示。

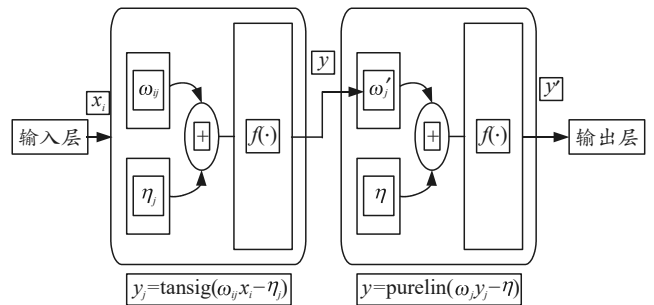


图 8 基于 BP 神经网络的概念模型

数据是反映基于 BP 神经网络的渡江工程信息控制效能评估中信息交换的基本元素和方式，以两阶段输入转化为输出的过渡过程来刻画和理解“大脑”吸收和转化知识、经验的功能和行为特征，如“渡江工程信息系统机动能力对整体信息控制效能影响微弱”；以反馈式将误差由输出端逆向传播给输入的过程来形容和描述“大脑”对知识、经验的辨识和应用能力，不仅为输出结果的真实性、有效性提供规范化的数据支撑，而且为网络参数的设定和数学模型的应用提供判决依据^[16]。

4 实例评估分析

4.1 样本选取和预处理

训练样本和预测样本的选取是基于 BP 神经网络渡江工程信息控制效能评估的前提，按照神经网络中对数据的选取、分析、预处理、转换、综合、计算步骤，将基于 BP 神经网络的渡江工程信息控制效能评估问题转换为 3 阶段问题^[17]：第 1 阶段，根据渡江工程信息控制效能评估要求，遵循渡江工程保障任务的关键特征，分析影响信息控制能力的主次因素并构建指标体系；第 2 阶段，采集典型渡

江工程保障方案中的指标数值为训练样本和校验样本，确定神经网络的初始权值与阈值，构造基于 BP 神经网络的渡江工程信息控制效能评估模型；第 3 阶段，设定神经网络参数并对数据进行训练，将训练后的数据与样本数据进行比对、分析，计算误差并验证模型的有效性。

以某舟桥部队执行渡江工程保障任务为评估实例，采集 200 个模拟的渡江工程信息保障方案为训练样本，设计其末端指标数据集，样本输入值即期望输出值。渡江工程信息控制效能评估训练样本对应的指标值和期望值如表 1 所示。

表 1 渡江工程信息控制效能评估指标样本数据

指标	训练样本				校验样本			
	第 1 组	第 2 组	...	第 150 组	第 1 组	第 2 组	...	第 50 组
A_1	71	86		87	85	70		93
A_2	87	51		82	56	71		67
A_3	91	71		92	61	94		61
A_4	68	95		56	54	90		85
A_5	$0.902 2 \times 10^4$	$0.787 6 \times 10^4$		$0.441 4 \times 10^4$	$0.799 1 \times 10^4$	$0.766 1 \times 10^4$		$0.186 7 \times 10^4$
A_6	0.55×10^{-6}	0.15×10^{-6}		0.06×10^{-6}	0.73×10^{-6}	0.67×10^{-6}		0.29×10^{-6}
A_7	193	131		151	131	107		160
A_8	138	123		199	132	161		128
A_9	71	51		51	85	50		84
A_{10}	0.61	0.34		0.61	0.49	0.50		0.41
A_{11}	0.004 7	0.002 5		0.002 9	0.006 4	0.002 8		0.002 1
A_{12}	0.01	0.07		0.02	0.02	0.05		0.07
A_{13}	73	53		53	91	63		54
A_{14}	60	61		61	55	66		78
效能	0.24	0.15		0.97	0.22	0.42		0.20

4.2 神经网络训练流程

以神经网络模板为输入和输出的接口、工具，面向渡江工程信息控制效能分析仿真评估的结构化设计，自上而下、逐级分解的方式对渡江工程信息控制数据进行训练、分析，利用权值和阈值控制数据值的映射和输出，包含数据的计算、转换、映射、反馈、修正、优化等操作的描述，实现输出和预想结果的一致^[18]。

BP 神经网络应用于效能评估建模，一般包括以下训练步骤：

1) 设置 BP 神经网络的各项参数，其中训练目标误差为 0.000 01，最大迭代次数为 1 000，学习速率为 0.01，设置隐含层节点个数为 10，使其获得较好的网络结构；

2) 输入预处理后的训练数据，设定初始化迭代次数 $N=0$ ；

3) 应用模型进行迭代训练，计算模型输出值 y ；

4) 计算模型的输出误差 p ，其中迭代次数 $N=N+1$ ；

5) 对误差值进行分析、反馈，当误差值 $p > 0.000 01$ 时，调整网络权值并返回步骤 3)；当误差值 $p < 0.000 01$ 时，训练终止并记录输出值 y 及迭代次数 N 。

4.3 神经网络训练结果

训练完成后的模型均方误差如图 9 所示。

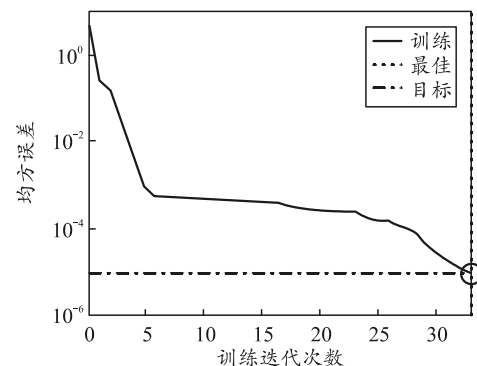


图 9 训练样本迭代误差

上图包括模型训练样本误差随迭代次数增加的变化曲线以及设定的目标误差线。分析可得，随着训练迭代次数的增加，模型的相对误差逐渐减小，

在迭代 6 次之前收敛速度较快, 在迭代 8 次时趋于稳定, 逼近模型的目标误差值, 在第 33 次训练迭代完成后, 模型误差达到最佳值 0.000 01, 完成训练。

4.4 样本检验及分析

为验证 BP 神经网络评估模型的有效性, 利用训练好的模型对校验样本进行评估并输出结果, 通过将样本输出数据与神经网络评估模型输出数据进行比较, 得到模型误差, 具体如图 10 所示。

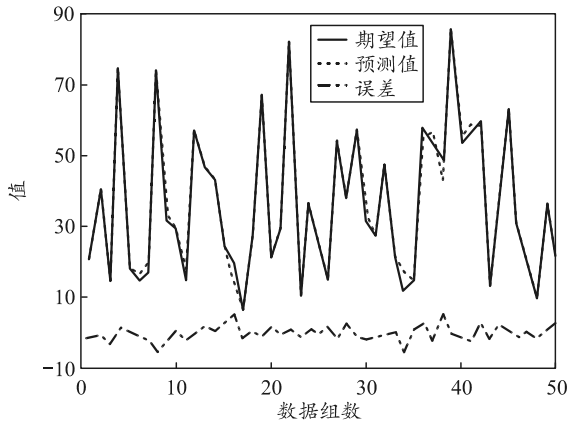


图 10 校验样本评估结果

仿真结果表明: 利用 BP 神经网络得出的效能评估值与期望值拟合效果较好, 基于 BP 神经网络的渡江工程信息控制效能评估模型的评估值和期望值之间的相对误差较小, 模型构建符合预期, 表明该 BP 神经网络系统可以广泛用来评估渡江工程信息控制能力的作战保障效能。

5 结论

笔者建立基于 BP 神经网络的渡江工程信息控制效能评估模型, 提出渡江工程信息控制效能评估的系统方法。该方法利用 BP 神经网络评估机制的逻辑性和系统性, 较好地反映出渡江工程信息控制效能的功能和数据传递基本情况, 实现减小作战效能评估过程中技术和人为因素影响的目的, 使渡江工程信息控制效能评估趋向于系统化、层次化和智能化, 并利用仿真分析验证了 BP 神经网络效能评估模型的科学性。

参考文献:

- [1] 陈志奇, 赵云峰. 信息化战争背景下联合特种作战任务新特点[J]. 国防科技, 2019, 40(3): 65-68.
- [2] 陈希, 杨兵, 孙志豪. 基于灰色聚类的信息作战指挥协同效能评估[J]. 火力与指挥控制, 2020, 45(4): 71-76, 82.
- [3] 杨兵, 陈希, 梁振新. 基于 Petri 网的信息作战指挥协同流程建模与分析[J]. 火力与指挥控制, 2020, 45(6): 145-150.
- [4] 王泓霖, 李伟, 许强, 等. 基于 PSO-BP 神经网络的 HRRP 目标识别[J]. 火力与指挥控制, 2019, 44(12): 39-44.
- [5] 赵宏凯, 蒋科坚. 基于 BP 神经网络的电磁轴承逆系统解耦控制[J]. 电子设计工程, 2021, 29(6): 123-129, 134.
- [6] 乔蓉, 周峰. 基于 PCA-BP 神经网络地空导弹武器系统作战效能评估[J]. 军事运筹与系统工程, 2020, 34(4): 38-43, 67.
- [7] 刘国强, 陈维义, 程晗, 等. 基于 BP 神经网络的炮光集成武器系统作战效能评估与预测[J]. 海军工程大学学报, 2019, 31(3): 55-59.
- [8] 宋敬华, 林清享, 李亮. 指控装备作战效能评估指标体系构建[J]. 指挥控制与仿真, 2020, 42(5): 47-50.
- [9] 孙志鹏, 陈桂名, 高卫刚. 预警反击作战预警信息保障能力评估指标体系构建[J]. 火力与指挥控制, 2020, 45(8): 92-96, 102.
- [10] 马驰, 王超, 姜清涛, 等. 基于改进 WNN 的陆军指挥信息系统作战效能评估[J]. 指挥信息系统与技术, 2020, 11(5): 94-99.
- [11] ISLAM B, BAHARUDIN Z, NALLAGOWNDEN P. Development of chaotically improved meta-heuristics and modified BP neural network-based model for electrical energy demand prediction in smart grid[J]. Neural Computing and Applications, 2016.
- [12] 罗杰, 苏兵, 翟乐育. 基于 BP 神经网络的空中无人通信平台作战效能评估[J]. 指挥控制与仿真, 2021, 43(5): 21-25.
- [13] 郑国杰, 任吉, 李泽鹏. 基于改进的 BP 神经网络模型的雷达网效能评估[J]. 空军预警学院学报, 2019, 33(2): 116-120.
- [14] 刘伟, 梁甲慧. 基于 BP 神经网络的地空导弹混编群作战效能评估[J]. 舰船电子工程, 2021, 41(4): 18-21, 51.
- [15] MARU A, DUTTA A, KUMAR K V, et al. Software fault localization using BP neural network based on function and branch coverage[J]. Evolutionary Intelligence, 2019(8): 87-104.
- [16] 迟明祎, 侯兴明, 陈小卫, 等. 基于 BP 神经网络的某反装甲武器系统打击效果预测[J]. 兵器装备工程学报, 2020, 41(8): 52-57.
- [17] 武超, 郭晓雷. 基于 BP 神经网络的军事通信网络效能评估方法研究[J]. 中国电子科学研究院学报, 2016, 11(3): 300-304.
- [18] 孟晓姣, 张世巍, 李小健, 等. 一种基于 BP 神经网络的车载通信设备性能评估方法[J]. 电子科技, 2021, 34(5): 24-28.