

中文引用格式:于振江. 基于 IPSO-BP 的消防通信指挥系统效能评价[J]. 中国安全科学学报, 2025, 35(9): 1-7.

英文引用格式:YU Zhenjiang. Efficacy evaluation of fire communication command system based on IPSO-BP[J]. China Safety Science Journal, 2025, 35(9): 1-7.

基于 IPSO-BP 的消防通信指挥系统效能评价^{*}

于振江 工程师

(中国人民大学 党委保卫部(处), 北京 100872)

中图分类号:X913.4

文献标志码:A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2025.09.1418

资助项目:北京市高等教育学会研究项目(2025K20002)。

【摘要】 为实现消防通信指挥系统的现状研判与迭代升级的量化支撑,基于消防通信指挥系统设计规范,从业务支撑能力、数据服务能力、通信保障能力3个方面构建支队级消防指挥通信系统4级效能评价指标体系;在反向传播(BP)神经网络算法的基础上,通过改进粒子群优化(IPSO)算法优化参数,提出基于IPSO-BP的系统效能评价方法;采用专家打分与层次分析法(AHP)结合的方式获取样本数据,经主成分分析(PCA)方法降维后,分别基于BP神经网络、PSO-BP神经网络、IPSO-BP神经网络这3个模型开展仿真对比。结果表明:IPSO-BP神经网络模型的收敛速度最快,其均方误差相比于BP神经网络模型降低了75.71%,相较于PSO-BP神经网络模型降低了45.96%,为三者中的最小值;IPSO-BP模型能够合理精准地评价支队级消防通信指挥系统效能,具有一定的普适性。

【关键词】 消防通信指挥系统; 效能评价; 反向传播(BP)神经网络; 改进粒子群优化(IPSO); 指标体系

Efficacy evaluation of fire communication command system based on IPSO-BP

YU Zhenjiang

(Party Committee Security Department, Renmin University of China, Beijing 100872, China)

Abstract: This study provides quantitative support for analyzing current fire communication command systems and enabling their iterative upgrades. A four-level efficacy evaluation index system for brigade-level fire command communication systems was constructed, based on fire communication command system design specifications. This system assessed three key dimensions: operational support capability, data service capability, and communication assurance capability. An IPSO-BP-based system efficacy evaluation method was proposed, building upon BP neural network algorithm. Parameters were optimized using IPSO algorithm. Sample data were acquired through a combination of expert scoring and the Analytic Hierarchy Process (AHP). Principal Component Analysis (PCA) was applied for dimensionality reduction. Simulation comparisons were conducted using three distinct models: BP neural network, PSO-BP neural network, and IPSO-BP neural network. Results demonstrate that IPSO-BP neural network model achieves the fastest convergence speed. Its mean square error decreases by 75.71% compared to BP neural network

model and by 45.96% compared to PSO-BP neural network model, representing the lowest error value among the three models. Furthermore, IPSO-BP model reasonably and accurately evaluates brigade-level fire communication command system efficacy, demonstrating considerable generalizability.

Keywords: fire communication command system; efficacy evaluation; back propagation (BP) neural network; improved particle swarm optimization (IPSO); index system

0 引言

我国安全生产仍处于爬坡过坎阶段,全国消防救援队伍承担的应急救援任务总量持续攀升,且火灾扑救仍是主要任务^[1]。为适应“全灾种、大应急”综合救援的需求,亟需构建精准预警、科学救援及联勤联动的现代化消防指挥系统^[2]。因此,开展支队级消防通信指挥系统效能评价研究,可为系统迭代升级提供理论基础和方法指导,进而提升通信指挥能力,确保其在各类应急救援中实现功能协同联动与整体效能最大化。

目前,国内学者在消防救援指挥效能评价领域已开展诸多研究。刘帅^[3]、田景涛^[4]等基于层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP),从作战目标、过程、保障、效益 4 个方面评估灭火救援作战效能。王铁^[5]、夏登友^[6]、李洪文^[7]等整合 AHP 法、模糊集值统计理论、模糊综合评判等方法,聚焦救援指挥员、指挥对象能力、指挥机关状况、指挥保障能力 4 要素,开展灭火救援指挥效能评估。马栋等^[8]引入云模型,针对情报获取与判断、方案制定与实施 2 方面,评价灭火救援决策效能。张丽敏等^[9]依据指标体系构建原则和步骤,构建了消防指挥自动化系统效能评估指标,涵盖警情受理、通信调度、火场

指挥、模拟训练、信息管理、系统生存等。王军建^[10]基于人工反向传播 (Back Propagation, BP) 神经网络评价分析城市消防系统和灭火救援能力。然而,现有方法因依赖主观赋权、自适应性差、易陷入局部最小值,导致效能评价结果的准确度和可靠性有待提高。

鉴于此,笔者拟依据《消防通信指挥系统设计规范》(GB 50313—2013)^[11]解构系统能力要素,构建支队级消防通信指挥系统的多级效能评价指标体系,在 BP 神经网络基础上,引入改进粒子群优化 (Improved Particle Swarm Optimization, IPSO) 算法,规避传统方法存在的主观性突出、自适应性差及易陷入局部最小值等问题,以提高效能评价精度,进而为消防通信指挥系统的现状研判和迭代升级提供量化参考依据。

1 效能评价指标体系

依据 GB 50313—2013^[11],从系统性视角构建支队级消防通信指挥系统效能评价指标体系,该体系采用四级分层结构,包含目标层、3 个一级指标、8 个二级指标、27 个三级指标,效能评价指标体系框架如图 1 所示。

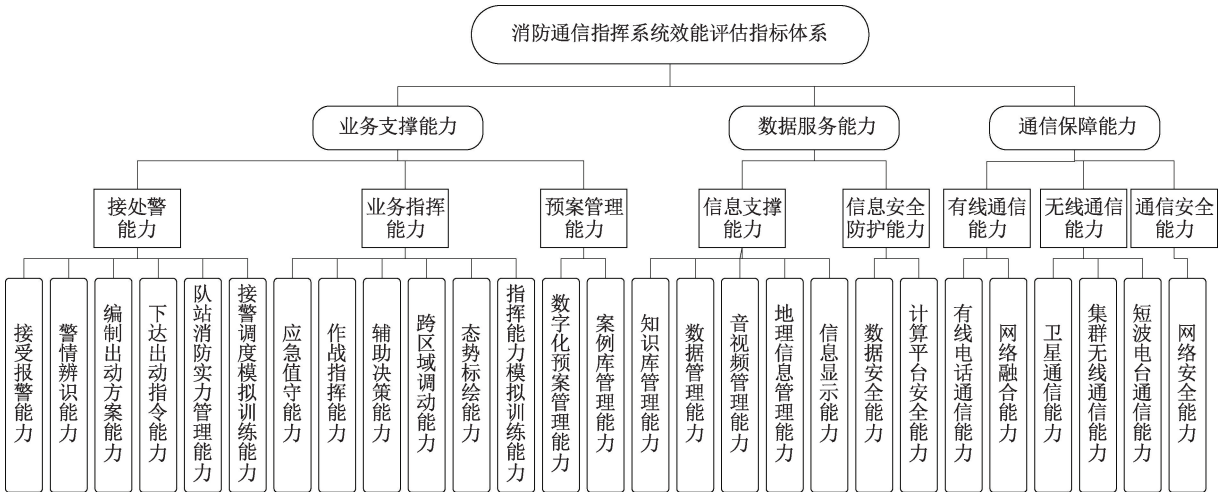


图 1 消防通信指挥系统效能评价指标体系框架

Fig. 1 Framework of efficacy evaluation index system for fire communication command system

2 效能评价流程

2.1 数据获取

首先,邀请行业专家采用 AHP 法确定消防通信指挥系统效能评价体系中各项指标的权重;其次,通过 5 分制打分法逐项量化各指标的评分;最后,基于权重与评分计算得到每个样本的效能评价结果,经汇总形成模型训练所需的样本数据。

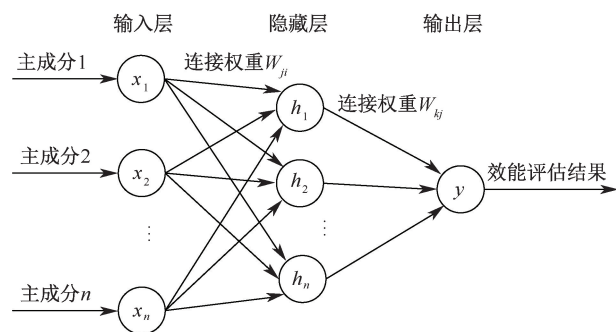
2.2 数据降维

考虑到评价指标间的相关性,为减少存储和计算资源消耗,提升机器学习模型的训练效率,采用主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)法实施数据降维,实现维度压缩的同时有限减少信息损失,具体流程包括数据中心化、协方差矩阵计算、特征值分解和投影转换等,将多个存在相关性的指标转化少数互不关联的主成分^[12]。

2.3 数据训练

2.3.1 BP 神经网络

BP 神经网络采用误差逆向传播算法训练样本数据,利用梯度下降法将网络误差平方作为目标函数计算最小值^[13]。将降维后的新变量输入 BP 神经网络模型,在确定网络结构、激活函数、初始化权重和偏置等参数后启动训练,最终确定输出层参数。BP 神经网络由输入层、隐藏层和输出层构成 3 级评价模型结构,如图 2 所示。



注: x_i 为输入节点; h_j 为输入层到隐藏层的传递函数;
 y 为隐藏层到输出层的传递函数。

图2 BP神经网络评价模型结构

Fig. 2 Structure of BP neural network evaluation model

以 3 层 BP 神经网络(只有 1 个隐藏层)为例,其传递函数为:

$$h_j = f\left(\sum_{i=1}^n w_{ji}^{(1)} x_i + \theta_j^{(1)}\right) \quad (1)$$

$$y = f\left(\sum_{j=1}^m w_{kj}^{(2)} h_j + \theta_k^{(2)}\right) \quad (2)$$

式中: $w_{ji}^{(1)}$ 为输入层到隐藏层的权重; $\theta_j^{(1)}$ 为隐藏层的偏置; $f(\cdot)$ 为激活函数; $w_{kj}^{(2)}$ 为隐藏层到输出层的权重; $\theta_k^{(2)}$ 为输出层的偏置。

2.3.2 PSO-BP 神经网络

粒子群优化算法(Particle Swarm Optimization, PSO)作为一种智能优化算法,其核心原理是:将每个粒子视为 1 个潜在解,通过模拟自然界中鸟群觅食的协作和竞争行为,最终获得最优解^[14]。在 BP 神经网络优化中,以每个粒子编码神经网络的全部权重和阈值,通过粒子速度和位置的动态更新,实现寻求全局最优解。

速度更新如下:

$$v_{id}(t+1) = w \cdot v_{id}(t) + c_1 \cdot r_1 \cdot (p_{id} - x_{id}(t)) + c_2 \cdot r_2 \cdot (g_d - x_{id}(t)) \quad (3)$$

式中: t 为迭代次数; $v_{id}(t)$ 为粒子 i 在第 t 次迭代时第 d 个维度的速度; w 为惯性权重; $x_{id}(t)$ 为粒子 i 在第 t 次迭代时第 d 个维度的位置; c_1, c_2 为学习因子; r_1, r_2 为随机数; p_{id} 为粒子 i 的历史最佳位置; g_d 为全局最佳位置。

位置更新如下:

$$x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t+1) \quad (4)$$

通过计算粒子的适应度函数值,即可得到 BP 神经网络的误差函数。

2.3.3 IPSO-BP 神经网络

IPSO 算法在 PSO 算法基础上,引入时间变异学习因子、动态惯性权重和随机数乘子。相比 PSO 算法,IPSO 算法增强了粒子在搜索空间的灵活性,并提升了搜索能力和收敛速度,在处理复杂优化问题时表现出更优异的性能。

1) 学习因子。在 PSO 算法中,学习因子 c_1, c_2 为常数,而在 IPSO 算法中,学习因子 c_1, c_2 是时间变异的,计算如下:

$$c_1(t) = c_{1b} - (c_{1b} - c_{1e}) \times \frac{t}{T_{\max}} \quad (5)$$

$$c_2(t) = c_{2b} + (c_{2e} - c_{2b}) \times \frac{t}{T_{\max}} \quad (6)$$

式中: $c_1(t), c_2(t)$ 为第 t 次迭代时的个体学习因子和社会学习因子; t 为当前迭代次数; c_{1b}, c_{1e} 为 c_1 的初始值和最终值(通常 c_1 随迭代递减); c_{2b}, c_{2e} 为 c_2 的初始值和最终值(通常 c_2 随迭代递增); $T_{\max}$ 为最大的迭代次数。

改进学习因子在算法迭代期间逐渐变换,有效

平衡了算法的探索和开发能力。

2) 动态惯性权重。IPSO 引入动态惯性权重 w , 其取值随迭代进程动态变化:

$$w = w_{\max} - (w_{\max} - w_{\min}) \times \frac{t}{T_{\max}} \quad (7)$$

式中: $w_{\max}$ 为最大惯性权重; $w_{\min}$ 为最小惯性权重。

动态惯性权重在迭代初期取值较大, 以强化探索能力; 在迭代后期取值减小, 以增强开发能力, 从而提高算法的收敛速度和精度。

3) 随机数乘子。IPSO 中, 利用随机数 m 得到新的权重 $f_{i1}^{\wedge}, f_{i2}^{\wedge}$, 新权重因随机数乘子的加入增强了算法的随机性, 有效助力算法规避局部最优陷阱:

$$f_{i1}^{\wedge} = m \times c_1 \quad (8)$$

$$f_{i2}^{\wedge} = m \times c_2 \quad (9)$$

基于 IPSO-BP 神经网络的计算流程如图 3 所示。

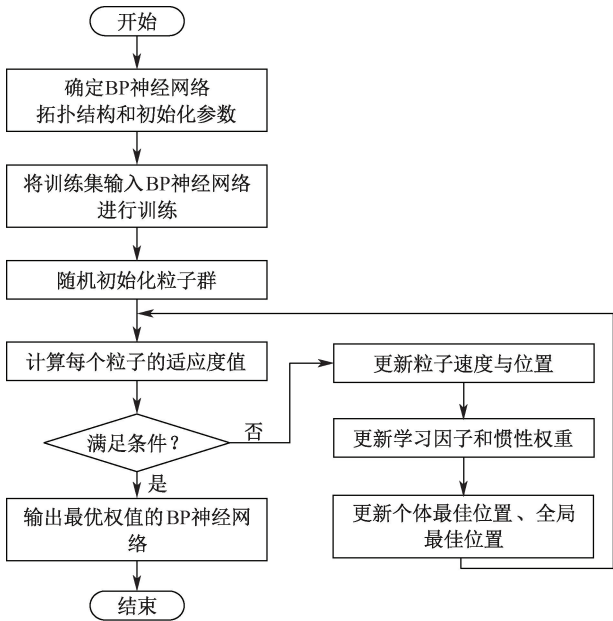


图 3 基于 IPSO-BP 神经网络的计算流程
Fig. 3 Calculation process based on IPSO-BP neural network

3 效能评价实例分析

支队级消防通信指挥系统效能评价指标体系包含 27 个三级指标, 每个三级指标需进一步细化为底层指标。首先, 采用专家打分法、AHP 法等, 从底层出发向上计算, 得到不同系统的效能评价结果, 形成数据矩阵; 其次, 通过 PCA 降维、神经网络模型训练, 最终构建效能评价模型。在评估新系统效能时, 将所有底层指标分值输入模型, 其输出值即为该系

统的效能评价结果。

3.1 数据获取

以接受报警能力为例, 该能力直接影响消防救援的应急响应速度, 在消防通信指挥系统中至关重要。从基础指标和其他指标 2 个维度对其细化后, 最终形成 5 个底层评价指标。接受报警能力评价指标体系如图 4 所示。

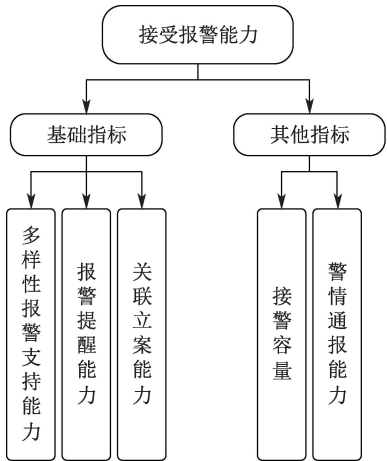


图 4 接受报警能力评价指标体系
Fig. 4 Evaluation index system for alarm acceptance capability

各指标定义及评分规则如下:

1) 多样性报警支持能力表示对不同设备、系统及网络的报警接收能力。主要包括公网固定/移动电话报警、其他系统转送警情、其他专网电话报警、物联网系统/设备报警、公网短信/彩信报警、互联网多形式报警、长期演进语音承载/新空口承载语音音视频报警等 7 类场景。评分规则为: 支持 7 项得 5 分, 5 项得 4 分, 3 项得 3 分, 2 项得 2 分, 1 项得 1 分。

2) 报警提醒能力。接收报警时应有不能随意关闭的显著提醒功能。

3) 关联立案能力。针对现场报警、调度命令及政府职能部门通知通告等特殊情况, 可实现人工或自动立案, 并支持后补立案和关键警情信息补录。

4) 接警容量表示有效接警的最大话务承载量。

5) 警情通报能力。基于语音或信息系统对接方式, 向应急、公安、交通、住建等联动单位和社会救援力量发送警情通报, 并接收反馈信息。

其中, 报警提醒能力、关联立案能力、接警容量及警情通报能力的指标评价语言见表 1, 基于 AHP 法计算的各项指标权重见表 2。

采用专家打分法对河北、山东、江苏、福建、贵州、云南等省份的 40 个支队级消防通信指挥系统的

表 1 指标评价语言

Table 1 Indicator evaluation language		
等级	评价语言	分值
1	好	5
2	较好	4
3	一般	3
4	较差	2
5	差	1

表 2 指标权重

Table 2 Indicator weights					
指标	多样性报警支持能力	报警提醒能力	关联立案能力	接警容量	警情通报能力
权重	0.55	0.10	0.04	0.25	0.06

接受报警能力开展评分,结合 AHP 法确定的指标权重,计算效能评价结果。接受报警能力指标评分,结果见表 3。

表 3 接受报警能力指标评分结果

Table 3 Scoring of alarm acceptance capability indicators						
序号	多样性报警支持能力	报警提醒能力	关联立案能力	接警容量	警情通报能力	评分
1	4	2	3	2	4	3.26
2	3	5	2	4	4	3.47
3	4	4	3	4	3	3.9
4	4	4	5	5	4	4.29
5	3	3	5	4	4	3.39
6	3	4	2	4	2	3.25
7	3	4	2	4	4	3.37
8	4	2	2	5	2	3.85
9	3	4	4	5	4	3.7
10	3	2	3	2	2	2.59
11	5	5	5	4	4	4.69
12	3	5	3	4	3	3.45
13	2	3	2	2	4	2.22
14	2	4	3	3	3	2.55
15	4	3	4	3	2	3.53
16	4	3	2	3	4	3.57
17	2	2	3	2	3	2.1
18	4	4	5	3	5	3.85
19	5	3	4	4	5	4.51
20	5	5	4	3	4	4.4
21	5	5	4	3	5	4.46
22	2	3	5	4	4	2.84
23	3	4	3	4	5	3.47
24	2	4	2	3	2	2.45
25	5	5	5	4	4	4.69
26	3	3	2	2	3	2.71
27	4	3	2	2	2	3.2
28	4	5	4	5	3	4.29

续表 3

序号	多样性报警支持能力	报警提醒能力	关联立案能力	接警容量	警情通报能力	评分
29	3	5	4	3	5	3.36
30	3	3	4	5	3	3.54
31	3	4	4	4	5	3.51
32	4	2	4	3	3	3.49
33	4	4	3	4	4	3.96
34	3	3	4	5	3	3.54
35	5	4	3	5	5	4.82
36	3	3	4	2	2	2.73
37	4	5	3	5	4	4.31
38	4	4	3	4	5	4.02
39	4	2	3	3	5	3.57
40	4	5	3	3	2	3.69

基于 40 个样本的综合评分结果,采用分位数法划分效能等级:将前 50%定义为中等以上(不含中等)水平,确定“中等”和“良好”的分界值为 3.53;依据指标评价语言,以“一般”对应的评分 2.96 作为“合格”与“中等”分界值,以“较好”对应的评分 4.21 作为“良好”与“优秀”分界值;通过计算“较差”与“一般”区间的临界值,确定 2.37 为“合格”与“待改进”分界值。结合表 1 和表 3 确定“优秀”“良好”“中等”“合格”“待改进”的对应评分区间后,即可得到效能分级结果(表 4)。

表 4 效能分级

Table 4 Efficacy grading		
等级	评分区间	效能分级
1	(4.21,5]	优秀
2	(3.53,4.21]	良好
3	(2.96,3.53]	中等
4	(2.37,2.96]	合格
5	[0,2.37]	待改进

3.2 数据训练

基于专家对接受报警能力各项指标的评分构建数据矩阵,经 PCA 法降维后得到 4 个综合因子。设置 BP 神经网络、PSO-BP 神经网络及 IPSO-BP 神经网络的模型参数,并分析不同模型的评价性能差异。具体算法参数设置见表 5。

BP 神经网络、PSO-BP 神经网络、IPSO-BP 神经网络经 100 次迭代后的均方误差曲线如图 5 所示。由图 5 可知:IPSO-BP 神经网络在初始阶段的均方误差最低,且训练误差率下降最快;进入收敛阶段后,其误差提升空间最小,曲线趋于平稳,并在 100 次迭代内打到预期均方误差。因此,IPSO-BP

表 5 算法参数设置

Table 5 Algorithm parameter settings

算法	参数名称	参数设置
BP	输入层神经元个数	4
	隐藏层神经元个数	6
	输出层神经元个数	1
	学习速率	0.1
	训练目标	0.000 01
	初始权值	随机数范围(-1,1)
	隐藏层神经元传递函数	正切 S 型函数
	输出层神经元传递函数	线性型函数
	网络训练函数	批梯度下降训练函数
PSO-BP	粒子个数	100
	粒子维度	37
	个体学习因子	2.8
	群体学习因子	1.3
	惯性权重	0.7
IPSO-BP	粒子个数	100
	粒子维度	37
	个体学习因子	$2.8-0.5\times\frac{t}{T_{\max}}$
	群体学习因子	$1.3+0.2\times\frac{t}{T_{\max}}$
	速度	$[-0.15,0.15]$
	惯性权重	$0.9-0.5\times\frac{t}{T_{\max}}$

神经网络的收敛性能优于 BP 神经网络和 PSO-BP 神经网络。

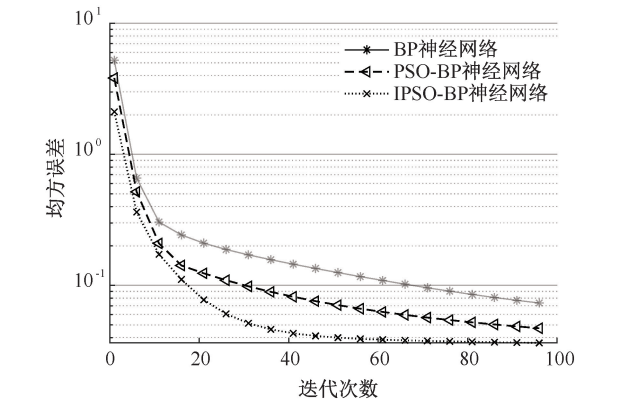


图 5 BP 神经网络、PSO-BP 神经网络与 IPSO-BP 神经网络经 100 次迭代后的均方误差曲线

Fig. 5 Mean square error curves of BP, PSO-BP, and IPSO-BP neural networks after 100 iterations

对 BP 神经网络、PSO-BP 神经网络与 IPSO-BP 神经网络分别进行 10 次仿真,记录各次仿真的均方误差,并计算平均均方误差,结果如图 6 所示。由图 6 可知,尽管 3 种模型的结果均存在波动,但相比于 BP 神经网络模型和 PSO-BP 神经网络模型,IPSO-

BP 神经网络模型的均方误差分别降低 75.71% 和 45.96%,表明 IPSO-BP 模型的评价精度更优。

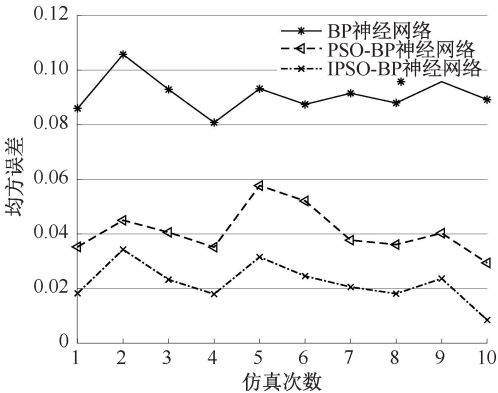


图 6 BP 神经网络、PSO-BP 神经网络与 IPSO-BP 神经网络模型的评价均方误差

Fig. 6 Mean square error of BP, PSO-BP and IPSO-BP neural network model

3.3 模型应用

以某支队级消防通信指挥系统的接受报警能力为例,采用 IPSO-BP 模型评估其效能,初始效能评分为 3.47。结合系统实际运行情况,针对多样性报警支持能力、报警提醒能力和警情通报能力开展迭代升级。改造后的效能评分提升至 4.22,整体效能提升 21.61%,改造前后效能评分见表 6。目前该支队的接受报警能力已从中等水平提升至优秀水平,评估结果与系统实际建设情况相符。

表 6 某支队级消防通信指挥系统接受报警能力改造前后效能评分

Table 6 Performance score of detachment fire communication command system before and after receiving alarm capability transformation

指标	改造前	改造后
多样性报警支持能力	3	4
报警提醒能力	3	4
关联立案能力	4	4
接警容量	4	4
警情通报能力	3	4
效能评分	3.47	4.22

4 结 论

1) 在支队级消防通信指挥系统效能评价中,IPSO-BP 模型的评价精度更优。IPSO-BP 神经网络的收敛情况优于 BP 神经网络与 PSO-BP 神经网络;其均方误差相较于 BP 神经网络和 PSO-BP 神经网络模型,分别降低了 75.71% 和 45.96%。

2) 以某支队级消防通信指挥系统的接受报警能力为实例,采用 IPSO-BP 模型评估其改造前后的效能,得出改造后效能评分为 4.22,较改造前提高 21.61%。目前,该支队接受报警能力处于优秀水平,与实际情况相符,验证了 IPSO-BP 模型在支队级消防通信指挥系统效能评价中的合理性与适用性。

参 考 文 献

- [1] 陈长坤,张健,焦伟冰,等.数字孪生消防救援技术系统架构及关键技术分析[J].中国安全科学学报,2023,33(8):156-163.
CHEN Changkun, ZHANG Jian, JIAO Weibing, et al. Research on architecture and key technologies of fire rescue technology system based on digital twin[J]. China Safety Science Journal, 2023, 33(8): 156-163.
- [2] 应急管理部.《“十四五”国家消防工作规划》(摘登)[N].中国应急管理报,2022-04-16(005).
- [3] 刘帅.基于 AHP 的灭火救援作战效能评估研究[J].今日消防,2022,7(2):12-14.
LIU Shuai. The study of AHP-based firefighting and rescue combat effectiveness evaluation[J]. Fire Protection Today, 2022, 7(2): 12-14.
- [4] 田景涛.消防救援队伍灭火救援作战效能评估研究[J].劳动保护,2024(5):73-75.
- [5] 王铁,贾定夺.基于层次分析法的灭火救援指挥效能评估技术[C].第十届中国科协年会论文集(一),2008:1334-1339.
- [6] 夏登友,辛晶,王铁.模糊集值统计理论在灭火救援指挥效能评估中的应用[J].武警学院学报,2006,22(3):17-19.
XIA Dengyou, XIN Jing, WANG Tie. Firefighting & rescue command efficiency assessment based on fuzzy centralization statistical theory[J]. Journal of the Chinese People's Armed Police Force Academy, 2006, 22(3): 17-19.
- [7] 李洪文,侯峰,范恩强.模糊综合评判在灭火救援指挥效能评估中的应用[J].安防科技,2010(9):16-19.
- [8] 马栋,夏登友,陈震,等.基于云模型的灭火救援决策效能评估[J].消防科学与技术,2016,35(1):104-108.
MA Dong, XIA Dengyou, CHEN Zhen, et al. Effectiveness evaluation of firefighting and rescue decision making based on cloud model[J]. Fire Science and Technology, 2016, 35(1): 104-108.
- [9] 张丽敏,裴建国,周炜,等.消防指挥自动化系统效能评估指标体系研究[J].消防科学与技术,2010,29(4):311-313.
ZHANG Limin, PEI Jianguo, ZHOU Wei, et al. Research on the effectiveness evaluation index system of fire command automation system[J]. Fire Science and Technology, 2010, 29(4): 311-313.
- [10] 王军建.基于人工神经网络的城市消防系统评价及灭火救援能力分析[J].消防技术与产品信息,2016(10):47-50.
WANG Junjian. Evaluation of urban fire protection system based on neural network and analysis of fire rescue capability[J]. Fire Technique and Products Information, 2016(10): 47-50.
- [11] GB 50313—2013,消防通信指挥系统设计规范[S].
GB 50313-2013, Code for design of fire communication and command system[S].
- [12] 朱玉清,杨宝玉,李瑞阁.主成分分析与 VARCLUS 在综合评价中的异同比较[J].统计与决策,2010(22):155-157.
- [13] 石娟,常丁懿,郑鹏.基于 BP 神经网络的建筑工人不安全行为预警模型[J].中国安全科学学报,2022,32(1):27-33.
SHI Juan, CHANG Dingyi, ZHENG Peng. An early warning model of unsafe behaviors of construction workers on BP neural network[J]. China Safety Science Journal, 2022, 32(1): 27-33.
- [14] 汪伟,梁然,祁云,等.基于 PSO-BPNN 的煤自燃危险性预测模型[J].中国安全科学学报,2023,33(7):127-132.
WANG Wei, LIANG Ran, QI Yun, et al. Prediction model of coal spontaneous combustion risk based on PSO-BPNN[J]. China Safety Science Journal, 2023, 33(7): 127-132.



作者简介: 于振江 (1988—),男,河北张家口人,硕士,工程师,主要从事消防管理与技术方面的研究。E-mail: yuzhenjiang@ruc.edu.cn。