

doi: 10.7690/bgzd.2020.12.001

着舰回收引导任务指挥人员能力评估

柴志君, 欧阳中辉

(海军航空大学岸防兵学院, 山东 烟台 264000)

摘要: 针对舰载机着舰回收引导任务指挥人员的能力评估问题, 选用 Delphi 法建立能力评估模型, 运用层次分析法确定各指标权重, 设计指挥人员能力评估的 BP 神经网络模型, 以层次分析法得出的结果为样本对其进行训练和测试。结果表明, 该方法能避免人为失误并提高评估的准确性。

关键词: 层次分析法; BP 神经网络; 指挥人员; 能力评估

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A

Capability Assessment of Aircraft Landing Command Personnel

Chai Zhijun, Ouyang Zhonghui

(School of Coast Defense, Navy Aviation University, Yantai 264000, China)

Abstract: Aiming at the ability evaluation of ship borne aircraft landing recovery and guidance mission commander, the Delphi method is used to establish the ability evaluation model, the analytic hierarchy process (AHP) is used to determine the weight of each index, the BP neural network model of command personnel ability evaluation is designed, and the result of AHP is used as a sample for training and testing. The results show that the method can avoid human error and improve the accuracy of evaluation.

Keywords: AHP; BP neural network; command personnel; capability assessment

0 引言

航母舰载机着舰回收引导任务涉及的人员、装备和保障系统等种类数量庞杂, 目前国内外的研究主要集中在流程、技术和装备性能层面^[1-2], 鲜有对指挥人员能力进行评估的研究。着舰回收引导任务指挥人员(简称指挥人员)是在任务过程中完成指挥决策、协调组织他人完成工作的人员, 主要包括着舰指挥官(landing signal officer, LSO)、飞行指挥员以及相关部门、中队的负责人员, 其能力的高低会对着舰回收引导任务能否顺利完成产生重要影响; 因此, 对着舰回收引导任务指挥人员能力评估进行研究。

1 指挥人员能力评估模型构建

通过在部队调研实践, 分析舰载机着舰回收引导任务指挥人员能力影响因素, 根据文献[3-6], 遵循“覆盖性、客观性、标准化”原则, 初步拟定指挥人员能力评估模型。选用 Delphi 法, 通过基层问卷调查, 征求专家意见, 对初步拟定的评估模型进行精简优化。如图 1 所示, 最终建立的评估模型包括个人特质、指挥经验、指挥知识、指挥能力和学习能力 5 项准则和 13 项指标。

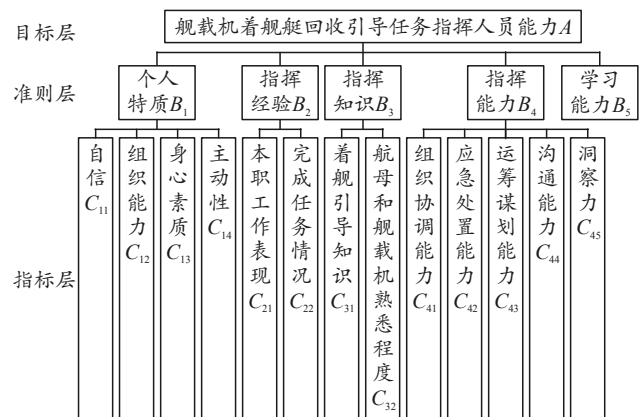


图 1 指挥人员能力评估模型

2 应用 AHP 确定权重对指挥人员能力评分

2.1 应用 AHP 确定权重

应用层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)确定着舰回收引导装备任务指挥人员能力评估模型权重时, 指挥人员能力评价小组(由待评指挥人员的上级和部队专家组成)采用 1~9 标度法建立如表 1—5 所示的各层判断矩阵^[7]。用 Matlab2014a 软件求出所有判断矩阵的 λ_{\max} 和 λ_{\max} 对应的特征向量, 进行归一化, 以得到指挥人员能力的权重。经检验, 各判断矩阵的 $CR < 0.10$ 。

收稿日期: 2020-07-26; 修回日期: 2020-09-12

作者简介: 柴志君(1989—), 男, 山东人, 硕士, 从事军用仿真技术研究。E-mail: 275131218@qq.com。

表 1 准则层判断矩阵

A	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	权重
B ₁	1	2	1	1/2	3	0.210 2
B ₂	1/2	1	1/2	1/2	2	0.106 5
B ₃	1	2	1	1/4	3	0.180 2
B ₄	2	4	3	1/3	6	0.439 1
B ₅	1/3	1/2	1/3	1/6	1	0.064 0

$\lambda_{\max}=5.027 9, CI=0.008 3, CR=0.006 5 < 0.10$ 。

表 2 判断矩阵 B₁-C

B ₁	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	权重
C ₁₁	1	1/2	1	1/3	0.139 8
C ₁₂	2	1	2	1/2	0.263 0
C ₁₃	1	1/2	1	1/3	0.140 9
C ₁₄	3	2	3	1	0.456 3

$\lambda_{\max}=0.401 12, CI=0.003 9, CR=0.004 1 < 0.10$ 。

表 3 判断矩阵 B₂-C

B ₂	C ₂₁	C ₂₂	权重
C ₂₁	1	1/2	0.333 3
C ₂₂	2	1	0.666 7

$\lambda_{\max}=2, CR=0$ 。

表 4 判断矩阵 B₃-C

B ₃	C ₃₁	C ₃₂	权重
C ₃₁	1	3	0.750 0
C ₃₂	1/3	1	0.250 0

$\lambda_{\max}=2, CR=0$ 。

表 7 指挥人员能力各项指标评分

序号	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₂₁	C ₂₂	C ₃₁	C ₃₂	C ₄₁	C ₄₂	C ₄₃	C ₄₄	C ₄₅	B ₅	总分
1	7	9	9	7	9	9	9	7	9	9	9	9	9	9	8.708
2	5	7	7	9	3	3	7	7	7	9	7	7	7	7	6.841
3	3	7	5	5	3	5	5	5	5	7	5	5	3	7	5.278
4	7	5	5	5	9	9	9	5	9	7	3	9	5	7	6.985
5	9	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	7	5	5	5.025
6	7	3	5	5	7	5	7	9	5	5	7	5	5	5	5.693
7	7	3	7	3	5	5	5	5	5	5	3	7	3	5	4.935
8	9	5	5	5	5	5	9	7	9	7	7	7	7	9	7.394
9	7	5	5	3	3	3	7	5	5	5	5	3	5	5	5.197
10	3	5	5	9	5	7	5	7	7	5	5	5	5	5	5.667
11	7	9	5	9	5	7	5	9	7	7	3	9	7	5	6.152
12	3	7	7	3	5	5	5	7	5	3	5	7	7	3	4.898
13	9	7	9	9	3	3	9	7	9	9	9	9	9	5	8.209
14	5	9	5	9	7	9	5	5	5	5	7	7	5	5	6.195
15	5	5	9	7	9	9	5	5	5	3	7	5	5	7	5.977
16	5	7	7	9	7	7	3	9	3	3	9	5	9	5	6.916
17	5	5	3	3	5	7	5	5	5	3	5	3	3	9	5.013
18	7	7	9	7	5	9	7	7	3	5	9	7	7	7	7.135
19	5	7	3	3	5	5	5	3	7	7	5	5	5	3	5.175
20	7	5	9	5	9	7	5	7	9	7	5	5	5	7	6.607
21	5	7	9	5	7	5	5	7	5	3	5	7	7	5	5.379
22	5	5	7	5	5	5	5	5	5	7	5	9	5	7	5.167
23	7	7	7	9	5	3	7	5	7	7	7	7	7	7	6.735
24	9	9	7	7	7	9	7	9	5	5	5	5	7	5	7.379

μ_i 为 B₁ 下的能力指标评分矩阵； ω_i 为相对于 B₁ 的权重矩阵；UB₁ 为 B₁ 的得分。则对表 7 中序号为 1 的指挥人员：

$$\begin{aligned} \mu_1 &= (9, 9, 7, 9), \\ \omega_1^T &= (0.140 9, 0.262 8, 0.140 9, 0.455 4), \\ UB_1 &= \mu_1 \omega_1 = 8.718 2. \end{aligned} \tag{1}$$

同理可算得 B₂、B₃、B₄ 的值分别为 9, 8.5, 8.677。

表 5 判断矩阵 B₄-C

	C ₄₁	C ₄₂	C ₄₃	C ₄₄	C ₄₅	权重
C ₄₁	1	3	2	7	4	0.431 9
C ₄₂	1/3	1	1/2	3	2	0.172 5
C ₄₃	1/2	2	1	3	2	0.219 3
C ₄₄	1/7	1/3	1/3	1	1/2	0.068 7
C ₄₅	1/4	1/2	1/2	2	1	0.107 6

$\lambda_{\max}=5.059 3, CI=0.013 9, CR=0.015 2 < 0.10$ 。

2.2 指挥人员能力评分

1) 评分规则。

心理学家米勒 (G.A.Miller) 表明：在对不同事物进行辨别时，普通人能够正确区别的等级在 5~9 个之间^[8]。评价小组根据每名指挥人员在以往任务中的行为表现，依据表 6 评分规则，对其各项能力指标进行评分。24 位主要指挥人员能力指标评分情况见表 7。

表 6 能力指标评分规则

评语	好	较好	一般	较差	差
分值	9	7	5	3	1

2) 总分计算。

首先，计算准则层 B₁—B₅ 的得分。准则层下能力指标评分构成的矩阵与相对于该准则构成的权重矩阵相乘，即可求得准则的分值。

B₅ 的评分为 9。

然后，将准则层得分矩阵 UB 与其相对于目标层的权重矩阵 ω_0 相乘，得到总分值 T。对序号为 1 的人员：

$$\begin{aligned} UB &= (8.718 2, 9, 8.5, 8.677, 9), \\ \omega_0^T &= (0.201 7, 0.107 1, 0.187 1, 0.440 5, 0.063 7), \\ T &= (UB)\omega_0 = 8.708. \end{aligned} \tag{2}$$

用相同方法计算其余指挥人员的总分，见表 7 最后一列。

3 应用 BP 神经网络评估指挥人员能力

把指挥人员能力得分矩阵作为 BP 神经网络的输入，相应总得分矩阵作为输出；用 AHP 法得出的结果作样本训练网络，使输出值对应于不同的输入向量；BP 网络训练好后，权值和阈值在网络自适应学习后获得的正确内部表示。该网络可以用作类似评估的有效工具。BP 网络评估利用 Matlab2014a 软件进行。

3.1 BP 网络结构设计

1) 网络层数。选择 2 层 BP 网络对指挥人员能力进行评估。理论上已证明，只有一个隐藏层的 2 层 BP 网络在隐藏层节点数不受限制的情况下，可实现任意非线性映射^[9]。

2) 输入、输出层的节点数。输入层充当接收到的外部数据的缓冲区存储，节点数由输入向量的维数确定。指挥人员能力评估输入层节点数为 14。模型评估结果为单输出，节点数为 1。

3) 隐藏层节点数。如何确定隐藏层节点数的问题较为复杂，需借鉴前人经验和自己实验来进行选择。笔者对隐藏层节点数的设计参考如下式^[10]：

$$n = \sqrt{n_i + n_0} + a \quad (3)$$

式中： n 为隐藏层节点数； n_i 为输入节点数； n_0 为输出节点数； a 为 1~10 之间的常数。结合实验结果， n 定为 13。

4) 传递函数。指挥人员能力评估的输出结果在 0 和 1 之间，因此，将 S 型函数 log-sigmoid 作为输出层神经元的传递函数。

3.2 设计的 BP 网络向量模型

设计的 BP 网络向量模型如图 2 所示。
输入向量 隐层(第1层)神经元 输出层(第2层神经元)

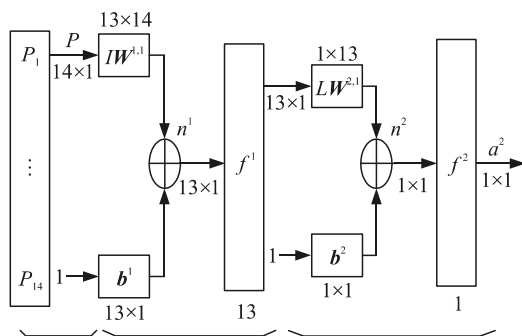


图 2 2 层 BP 网络向量模型

图中上标表示向量在网络层的序号， p 为模型的输入向量，大小为 14×1 ：

$$p^T = (p^1, p^2, \dots, p^{14}) \quad (4)$$

b^1 为隐藏层神经元的阈值向量，大小为 13×1 ：

$$(b^1)^T = (b^1_1, b^1_2, \dots, b^1_{13}) \quad (5)$$

$IW^{1,1}$ 为连接输入向量 p 与隐藏层神经元的权向量，大小为 13×14 ：

$$IW^{1,1} = \begin{bmatrix} i\omega_{1,1}^{1,1} & i\omega_{1,2}^{1,1} & \dots & i\omega_{1,14}^{1,1} \\ i\omega_{2,1}^{1,1} & i\omega_{2,2}^{1,1} & \dots & i\omega_{2,14}^{1,1} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ i\omega_{13,1}^{1,1} & i\omega_{13,2}^{1,1} & \dots & i\omega_{13,14}^{1,1} \end{bmatrix} \quad (6)$$

n^1 为中间运算结果，即阈值向量与连接权向量的加权和，大小为 13×1 ：

$$n^1 = IW^{1,1} p + b^1 \quad (7)$$

a^1 为隐藏层神经元的输出向量，大小为 13×1 ：

$$a^1 = f^1(n^1) = f^1(IW^{1,1} p + b^1) = \text{logsig}(IW^{1,1} p + b^1) \quad (8)$$

$LW^{2,1}$ 为连接隐藏层神经元与输出层神经元的权向量，大小为 1×13 ：

$$LW^{2,1} = (l\omega_{1,1}^{2,1}, l\omega_{1,2}^{2,1}, \dots, l\omega_{1,13}^{2,1}) \quad (9)$$

b^2 为输出层神经元的阈值， n^2 为输出层神经元的中间运算结果，大小为 1×1 ：

$$n^2 = LW^{2,1} a^1 + b^2 \quad (10)$$

a^2 为输出层的输出结果，大小为 1×1 ：

$$a^2 = f^2(n^2) = f^2(LW^{2,1} a^1 + b^2) = f^2[LW^{2,1} f^1(IW^{1,1} p + b^1) + b^2] = \text{logsig}[LW^{2,1} \text{logsig}(IW^{1,1} p + b^1) + b^2] \quad (11)$$

3.3 BP 网络学习算法和有关参数选择

1) 拟牛顿算法。

对图 2 所示的 BP 神经网络，迭代次数用 k 表示，则牛顿算法中用下式对所有权值和阈值进行修正：

$$x_{k+1} = x_k - A_k^{-1} g_k \quad (12)$$

式中： x_k 为第 k 次迭代各层之间的阈值向量或连接权； $g_k = \partial E_k / \partial x_k$ 为第 k 次迭代输出误差对各阈值或权值的梯度；“-”为梯度的最速下降方向； E_k 为第 k 次迭代输出总误差的性能函数，采用均方误差 (mean-square error, MSE)； A_k 为 E_k 在当前阈值和权值下的 Hessian 矩阵 (2 阶导数)^[11]。

每次迭代过程中，牛顿算法都要求 Hessian 矩阵，计算量非常大。拟牛顿算法引进新的矩阵替代

Hessian 矩阵, 既能很好地逼近, 又不需要计算 2 阶导数, 能够在保持牛顿算法快速收敛优点的同时, 避免繁琐计算。笔者采用的拟牛顿回退法 (BFGS), 由 Broyden、Fletcher、Goldfarb 和 Shanno 提出, 已被验证非常成功^[12], 其在 Matlab2014a 神经网络工具箱中的函数名称为 trainbfg。

2) 其他训练参数选择。

选择反向跟踪搜索法 backtracking 作 1 维线性搜索方法, 其函数名为 srchbac; 最大训练次数为 200; 最大失败次数为 5; 训练要求精度为 10^{-7} ; 最小梯度要求为 10^{-6} ; 显示训练迭代过程为 30。其他参数默认为 Matlab2014a 神经网络工具箱中的值。

3.4 网络训练与测试

将指挥人员能力评估指标 c_{11} 、 c_{12} 、 c_{13} 、 c_{14} 、 c_{21} 、 c_{22} 、 c_{31} 、 c_{32} 、 c_{41} 、 c_{42} 、 c_{43} 、 c_{44} 、 B_5 作为 BP 神经网络的输入向量 p_1, p_2, \dots, p_{14} , 先进行规范化处理 (表 7 中所有数据除以 10), 统一到 [0,1] 范围内; 然后将前 18 组和后 6 组数据分别用作权值训练样本和检验样本。当训练次数为 130 时, 训练精度达到 10^{-7} 。由表 8 可知: 训练结果与期望输出的相对误差很小, 最大为 -0.12%。

表 8 学习结果

人员序号	1	2	3	4	5	6
训练结果	8.710	6.829	5.278	6.981	5.026	5.693
期望输出	8.708	6.841	5.278	6.985	5.025	5.693
相对误差/%	-0.02	0.12	0	0.04	-0.01	0
人员序号	7	8	9	10	11	12
训练结果	4.934	7.402	5.197	5.670	6.140	4.898
期望输出	4.935	7.394	5.197	5.667	6.152	4.898
相对误差/%	0.01	-0.08	0	-0.03	0.12	0
人员序号	13	14	15	16	17	18
训练结果	8.206	6.200	5.970	6.917	5.013	7.129
期望输出	8.209	6.195	5.977	6.916	5.013	7.135
相对误差/%	0.03	-0.05	0.07	-0.01	0	0.06

将 6 组测试数据输入训练好的 BP 网络, 可得出 6 位指挥人员能力的评估结果如表 9 所示。可以看出, 利用 BP 网络得到的数值与预期值之间的相对误差不超过 4.7%。这样的误差幅度在指挥人员能力评估中可以接受。保存经过训练的网络, 在遇到类似问题时, 只需输入待评指挥人员能力的指标数据并启动网络, 即可快速得到评估结果。最后, 将输出结果乘以 10, 还原成指挥人员能力评估分值。

表 9 测试结果

人员序号	1	2	3	4	5	6
训练结果	8.710	6.829	5.278	6.981	5.026	5.693
期望输出	8.708	6.841	5.278	6.985	5.025	5.693
相对误差/%	-0.02	0.12	0	0.04	-0.01	0

4 结束语

1) 针对航母舰载机着舰回收引导任务, 采用 Delphi 法建立了指挥人员能力评估模型, 对航母上其他指挥岗位人员能力评估具有借鉴意义。

2) AHP 是确定指挥人员能力评估指标权重的有效方法, 减少了确定权重过程中评估小组逻辑推理上的失误。

3) 基于 BP 神经网络的指挥人员能力评估方法无需人工干预, 从而避免了人为失误, 提高了评估的准确性。

4) BP 神经网络具有很强的自学能力和容错能力, 可以不断学习新的样本数据, 从而提高评估的准确性, 扩大应用范围。

5) 由于 BP 神经网络评估方法的学习训练样本来自 AHP 求得的结果, 所以, 基于 BP 神经网络的指挥人员能力评估方法不能完全替代 AHP。当指挥人员能力指标发生变化时, BP 网络仍须使用 AHP 方法来获取网络的训练样本。

6) 在汲取以往经验的同时, 需要通过实验确定隐藏层中的节点数。拟牛顿算法具有较快的收敛速度, 在小型网络训练中, 对于指挥人员能力评估等高维度问题, 其优势显而易见。

7) 可通过改变初始值来解决在 BP 网络训练过程中可能出现的误差性能函数局部最小问题。

参考文献:

[1] 吴文海, 汪节, 高丽, 等. 舰载机着舰指标体系构建[J]. 飞行力学, 2017, 5(35): 1-6.

[2] USA Navy. Landing signal officer reference manual[M]. Washington: Department of Navy Landing Signal Officers School, 2005: 1-200.

[3] 宋宜平, 董健, 董建奇, 等. 基于灰色熵权法的装备保障人员能力评估模型研究[J]. 价值工程, 2013, 3(11): 110-112.

[4] LUAN B K. Study on Effectiveness Evaluation of Equipment Service System[J]. Information Technology, 2011(8): 136-137.