

11-17-2021

Intelligent Evaluation of Rescuing Persons From Water in Navigation Simulator

Haichao Wang

Key Laboratory of Marine Simulation & Control for Ministry of Transportation Dalian Maritime University, Dalian 116026, China;

Yin Yong

Key Laboratory of Marine Simulation & Control for Ministry of Transportation Dalian Maritime University, Dalian 116026, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Intelligent Evaluation of Rescuing Persons From Water in Navigation Simulator

Abstract

Abstract: Aiming at the arbitrariness and inconsistent standards in the subjective assessment of the personnel overboard rescue training evaluation in the navigation simulator, the maneuvering process of Williamson turn rescue overboard personnel is analyzed. *The evaluation index system is obtained by using the expert investigation method. The sample data of the personnel overboard rescue operation is obtained by the navigation simulator. Combining the expert investigation method, the subjective score of each sample is obtained. By using the BP neural network to train and test the samples, the intelligent evaluation model of personnel overboard rescue is obtained, and the intelligent evaluation is realized.* Experimental analysis shows that the accuracy of the model is high, and the performance evaluation is consistent with the maneuvering level of the crew, which proves the rationality of the evaluation model.

Keywords

navigation simulator, Williamson turn, personnel overboard rescue, intelligent evaluation, BP neural network

Recommended Citation

Wang Haichao, Yin Yong. Intelligent Evaluation of Rescuing Persons From Water in Navigation Simulator[J]. Journal of System Simulation, 2021, 33(11): 2647-2655.

航海模拟器中人员落水救助操纵智能化评估

王海超, 尹勇*

(大连海事大学 航海动态仿真和控制交通部重点实验室, 辽宁 大连 116026)

摘要: 针对航海模拟器中人员落水救助训练评估主观评估存在的随意性大、标准不统一的问题, 对 Williamson 旋回救助落水人员操纵过程进行分析。利用专家调查法获取评价指标体系; 利用航海模拟器获取人员落水救助操纵的样本数据, 结合专家调查法, 得到各样本的主观得分; 运用 BP 神经网络对样本进行训练和测试, 得到人员落水救助智能评估模型, 实现智能评估。实验分析表明: 该模型的精度较高, 成绩评定与船员的操纵水平相符, 证明该评估模型的合理性。

关键词: 航海模拟器; Williamson 旋回; 人员落水救助; 智能评估; BP 神经网络

中图分类号: TP391; U675.94

文献标志码: A

文章编号: 1004-731X (2021) 11-2647-09

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.21-FZ0754

Intelligent Evaluation of Rescuing Persons From Water in Navigation Simulator

Wang Haichao, Yin Yong*

(Key Laboratory of Marine Simulation & Control for Ministry of Transportation Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: Aiming at the arbitrariness and inconsistent standards in the subjective assessment of the personnel overboard rescue training evaluation in the navigation simulator, the maneuvering process of Williamson turn rescue overboard personnel is analyzed. The evaluation index system is obtained by using the expert investigation method. The sample data of the personnel overboard rescue operation is obtained by the navigation simulator. Combining the expert investigation method, the subjective score of each sample is obtained. By using the BP neural network to train and test the samples, the intelligent evaluation model of personnel overboard rescue is obtained, and the intelligent evaluation is realized. Experimental analysis shows that the accuracy of the model is high, and the performance evaluation is consistent with the maneuvering level of the crew, which proves the rationality of the evaluation model.

Keywords: navigation simulator; Williamson turn; personnel overboard rescue; intelligent evaluation; BP neural network

引言

航海模拟器已在航海教育中得到广泛应用, 对于船员的操纵技能评估多数也是在航海模拟器中实现的。目前, 我国对于船舶驾驶员的实操评估主要是由评估员完成, 该方法存在诸多问题, 如主观随意性较大、评估标准难以统一等问题。为解决上

述问题, 国内外学者做了大量工作, 开发了不同场景的船舶操纵自动评估系统, 如 Harro 根据避碰规则设计了关于避碰的自动评估系统^[1]; Lokukaluge 等以船舶水池实验的方式对船舶自动航行及自动避碰进行评估^[2]; 陶俊通过专家调查法和层次分析法建立大型船舶进出港训练评估模型^[3]; 薛满福运用模糊数学方法建立船舶靠泊操纵自动评估模型^[4];

收稿日期: 2021-06-03 修回日期: 2021-08-14

基金项目: 工信部智能船舶综合测试与验证研究(2018-437); 中央高校基本科研业务费专项资金(3132019312); 辽宁省自然科学基金指导计划(2019-ZD-0152)

第一作者: 王海超(1993-), 男, 博士生, 研究方向为船舶救助操纵智能评估方法等。E-mail: wanghaichao@dlmu.edu.cn

通讯作者: 尹勇(1969-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为航海仿真、航海智能等。E-mail: bushyin@163.com

蒋效彬等通过专家法和模糊综合评判法建立锚泊操纵自动评估模型^[5]。虽然不同场景的自动评估系统被构建,但已有的自动评估功能也存在较多缺陷,如需要人工参与,由评估员编辑规则和量化权重,如果对于规则的编辑和量化不够准确,会对评估结果的合理性产生直接的影响。另外,有些自动评估系统操作比较繁琐,规则的设置及量化较为困难,因此很少被使用,迫切需要建立更加智能的评估系统。智能评估方面国内外学者主要集中在船舶风险评估领域,如万子谦建立了对船舶航行关键风险因素进行定量评估的船舶航行风险贝叶斯网络模型^[6];邓小富等基于模糊层次分析方法,研究了船舶通航风险评估系统的设计方法^[7]; Mohammad Mahdi Abaei 等提出了一种预测船舶在沿海等浅水区航行搁浅可能性的方法^[8]; Ulku Ozturk 等提出了一种基于机器学习和模糊推理的港口近碰撞风险评估方法^[9]; Huang Juanchen 等提出了基于自动识别系统的进近航道航行安全评估的交叉线法和蒙特卡罗法^[10],而对船舶操纵智能评估的研究相对较少。陈锦标等基于遗传算法和人工神经网络方法,建立了船舶靠泊操纵智能化评估模型^[11];王德龙基于 K 近邻算法和多目标优化理论,提出了船舶操纵避碰实操智能化评估方法^[12]。

综上,国内外学者开发了大量不同场景的评估系统,但还没有针对船舶落水人员救助训练的智能评估系统,从上文可以看出,自动评估系统的构建多数基于专家调查法、层次分析法和模糊综合评判等方法,智能评估系统构建多数基于机器学习等智能算法,本文借鉴前人经验,提出一种结合专家调查法和机器学习算法的智能评估方法,该方法通过分析人员落水救助操纵过程,利用专家调查法获取评价指标体系,然后利用航海模拟器获取人员落水救助操纵的样本数据,结合专家调查法,得到各样本的主观得分,最后运用 BP 神经网络对样本进行训练和测试,得到人员落水救助智能评估模型。该评估模型可以减轻评估人员的工作量,提高评估的客观性与科学性。论文基于航海模拟器,对船舶救

助落水人员操纵的评估方法、评估模型进行深入研究,搭建基于专家调查法和 BP 神经网络法的智能评估模型。

1 BP 神经网络

BP 神经网络是一种按照误差逆向传播算法训练的多层前馈神经网络,具有自组织、自适应、自学习的特点,包括信号的前向传播和误差的反向传播 2 个过程, BP 神经网络对样本数据要求不严格,具有非线性映射能力,广泛应用于函数逼近^[13]、模式识别^[14]、分类^[15](本文任务)等领域。BP 神经网络由输入层、隐含层、输出层组成。3 层 BP 神经网络^[16]结构示意图如图 1 所示。

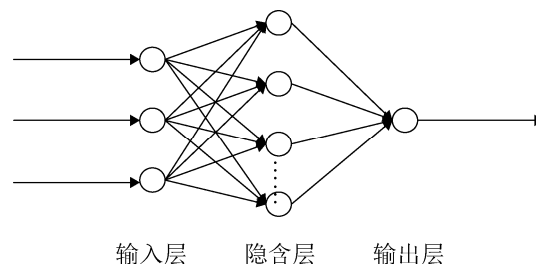


图 1 BP 神经网络结构示意图

Fig. 1 BP neural network structure diagram

简易 BP 神经网络算法如下:

设 BP 神经网络训练集有 p 个样本,输入层有 m 个节点,隐含层有 l 个节点,输出层有 n 个节点,输入层到隐含层权重系数矩阵为 $\mathbf{w}$,隐含层到输出层的权重系数为 $\mathbf{v}$ 。

(1) 设 BP 神经网络训练集为 $\mathbf{D}$, 输入样本为 $\mathbf{X}$, 目标输出样本为 $\mathbf{T}$, 则有

$$\mathbf{D} = \{(X^1, T^1), (X^2, T^2), \dots, (X^P, T^P)\} \quad (1)$$

$$\mathbf{X}^p = (x_1^p, x_2^p, \dots, x_m^p)^T, p = 1, 2, \dots, P \quad (2)$$

$$\mathbf{T}^p = (t_1^p, t_2^p, \dots, t_n^p)^T, p = 1, 2, \dots, P \quad (3)$$

(2) 隐含层节点的输出 z_k^p 为

$$z_k^p = f(\sum_{i=1}^m w_{ik} x_i^p - \theta_k), k = 1, 2, \dots, l \quad (4)$$

式中: w_{ik} 为输入层节点 i 到隐含层节点 k 的链接权值; f 为隐含层激励函数; θ_k 为隐含层第 k 个节

点的阈值。

(3) 输出层节点的输出 y_j^p 为

$$y_j^p = f(\sum_{k=1}^l v_{kj} z_k^p - o_j), j=1, 2, \dots, n \quad (5)$$

式中: v_{kj} 为隐含层节点 k 到输出层节点 j 的链接权值, o_j 为输出层第 j 个节点的阈值。

(4) 样本 p 的均方误差为

$$E^p = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n (y_j^p - t_j^p)^2 \quad (6)$$

式中: t_j^p 为实际值即目标值。

(5) 权值更新

$$w_{ik}(t+1) = w_{ik}(t) + \eta[(1-\beta)J(t) + \beta J(t-1)] \quad (7)$$

$$v_{kj}(t+1) = v_{kj}(t) + \eta[(1-\beta)J'(t) + \beta J'(t-1)] \quad (8)$$

式中: $J(t) = -\partial E / \partial w_{ik}(t)$; $J'(t) = -\partial E / \partial w'_{ik}(t)$; η 为学习速率, 范围在 0.001~10; β 为动量因子, $0 \leq \beta < 1$ 。

2 智能评估模型

智能评估模型的构建包括评估方法的选择、数据采集、评价指标体系的构建、数据转换、确定学习样本、模型训练、模型测试。

2.1 评价指标体系的建立

常用的驶近落水人员的操船方法有单旋回、Williamson 旋回和 Scharnow 旋回。单旋回适用于“立即行动”, 但不适用于“延迟行动”和“人员失踪”; Scharnow 旋回适用于“人员失踪”, 但不适用于“立即行动”和“延迟行动”; Williamson 旋回最适用于“延迟行动”, 对“立即行动”和“人员失踪”也适用, 故本文只对 Williamson 旋回进行分析。Williamson 旋回操纵要点: ①向落水者一舷操满舵; ②当转向角达到 $45^\circ \sim 60^\circ$ 时操相反一舷满舵; ③船首距原初始航向的相反方向相差 20° 时回正舵; ④待船舶航向变为初始航向的相反方向时把定, 发现落水者适时进行停船接近落水者^[17]。经过对各种资料的分析及专家调查问卷, 确定了 Williamson 旋回救助落水人员操纵评价指标体系, 如图 2 所示。

图 3 为 Williamson 旋回救助落水人员的船舶航迹, 图 3 中 L_o 为航迹点的经度(东经), L_a 为航迹点的纬度(北纬)。人员落水救助操纵要求驾驶员在一定时间内将落水人员救到船上。这就需要驾驶员有较好的操船能力, 操纵船舶以适当的距离和速度接近落水者。为更加全面的评估驾驶员操纵能力, 也将航迹凹凸次数纳入评价指标体系。

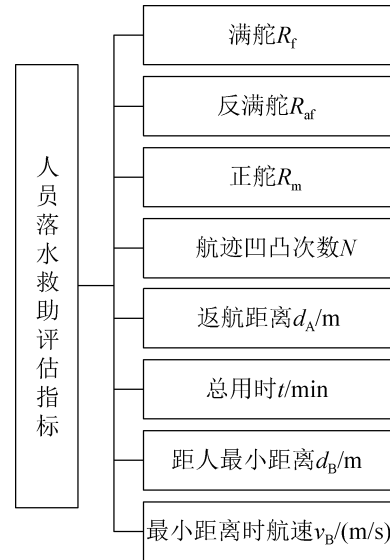


图 2 Williamson 旋回救助落水人员操纵评估指标
Fig. 2 Williamson turn rescue drowning personnel evaluation index system

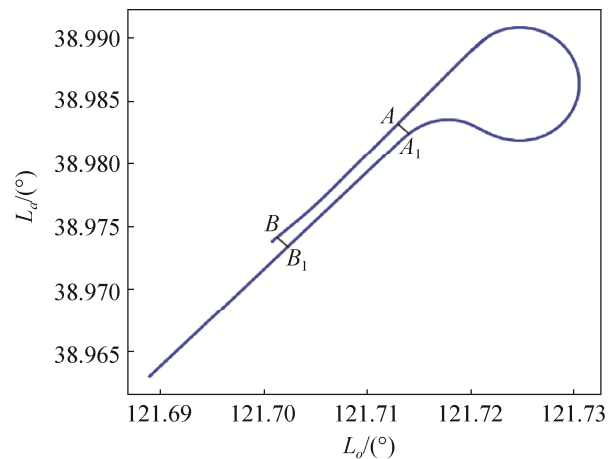


图 3 Williamson 旋回救助落水人员操纵航迹曲线
Fig. 3 Williamson's turn rescue drowning personnel maneuver track curve

图 2 中的指标说明如下:

(1) 航迹凹凸次数 N : 当舵把定后实际航迹偏

离平滑航迹的频次。

(2) 返航距离 d_A , 单位为 m: 图 3 中 AA_1 两点之间距离。

(3) 总用时 t , 单位为 min: 人员落水开始到救助结束所用的时长。

(4) 距人最小距离 d_B , 单位为 m: 船舶返航救助落水人员过程中距离落水人员的最近距离(图 3 中 B_1 为落水人员位置, 则 BB_1 即是距人最近距离)。

(5) 最小距离时航速 v_B , 单位为(m/s): 船舶返航救助落水人员过程中距离落水人员最近距离时的航速(船舶在图 3 中 B 点的航速)。

2.2 数据采集

借助航海模拟器模拟载重约 30 000 t 的实习船“育鹏”轮(船长 199.75 m, 船宽 27.8 m, 型深 15.5 m)救助落水人员, 请具备不同操纵水平航海人员模拟 Williamson 旋回救助落水人员过程, 共模拟操纵 107 次, 分别记为样本 1, 样本 2, ..., 样本 107。样本 1 的部分数据如表 1 所示。

2.3 数据转换

将采集的航海模拟器样本数据, 通过 Python 编程转化为评估过程所需的评价指标, 以“总用时”

为例, 用 Python 读取样本中的时间数据, 并用结束时刻的时间数据减去发现落水人员时刻的时间数据即为评估过程的“总用时”。表 2 列出了 5 组样本的评价指标数据。

采用 Williamson 旋回救助落水人员过程中, 评估人员发现落水人员, 并向落水人员一舷打满舵则满舵项记为‘1’, 否则记为‘0’。当船舶转向角达到 $45^\circ \sim 60^\circ$ 时, 若评估人员向相反一舷操满舵, 则反满舵项记为‘1’, 否则记为‘0’。同理, 当船首距原初始航向的相反方向相差 20° 时, 若评估人员回正舵, 则正舵项记为‘1’, 否则记为‘0’。

2.4 学习样本的采集和确定

为确定评估人员的操纵等级, 向经验丰富的船长和航海领域资深专家发放调查问卷, 调查问卷包含评价指标和航迹线, 共发放调查问卷 30 份, 回收有效问卷 24 份。将操纵水平划分为优、良、及格、不及格 4 个等级, 并分别用 4, 3, 2, 1 表示。为确保调查结果的准确性, 将有效问卷进行统计分析, 并将结果回馈给专家, 进行反复修正, 修正后的 5 组样本数据如表 3 所示(与表 2 对应)。

表 1 航海模拟器中样本数据
Tab. 1 Sample data in navigation simulator

序号	时间/ms	经度/(°)	纬度/(°)	航向/(°)	航速/kn	舵角/(°)	...	主机转速/rpm
1	1 841	135.997 774 2	38.107 386 1	10.0	16.94	0.00	...	101.0
2	2 741	135.997 808 5	38.107 464 3	10.0	16.94	0.00	...	101.0
3	3 742	135.997 842 7	38.107 542 3	10.0	16.94	0.00	...	101.0
4	4 741	135.997 876 8	38.107 620 2	10.0	16.94	0.00	...	101.0
5	5 741	135.997 910 9	38.107 697 9	9.9	16.95	0.00	...	101.0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

表 2 评价指标数据
Tab. 2 Evaluation index data

R_f	R_{af}	R_m	N	d_A/m	t/min	d_B/m	$v_B/(m/s)$
1	1	1	2	19.62	14.03	38.15	0.76
1	1	1	3	176.28	15.93	23.23	1.13
1	1	1	2	267.4	16.01	48.35	2.4
1	1	0	4	235.82	22.63	23.48	5.33
1	1	1	1	26.37	14.46	24.45	1.23

表 3 Williamson 旋回救助落水人员操纵轨迹样本集
Tab. 3 Sample set of Williamson's manoeuvring track for rescuing drowning personnel

序号	R_t	R_{af}	R_m	N	d_A/m	t/min	d_B/m	$v_B/(m/s)$	标签(成绩)
1	1	1	1	2	19.62	14.03	38.15	0.76	4
2	1	1	1	3	176.28	15.93	23.23	1.13	3
3	1	1	1	2	267.4	16.01	48.35	2.4	2
4	1	1	0	4	235.82	22.63	23.48	5.33	1
5	1	1	1	1	26.37	14.46	24.45	1.23	4
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$

2.5 模型训练和测试

BP 神经网络工作需要 2 个样本集, 分别是训练集和测试集。训练集用来对网络进行训练建立模型, 测试集用来检验经过训练的模型的性能。本文共采集有效样本 107 个, 随机选取 90 个样本为训练样本, 剩余 17 个为测试样本。训练集通常包含 2/3 ~ 4/5 的样本数据^[18]。本文样本数据较少, 为了让训练数据涵盖尽可能多的情况, 划分数据时训练样本多划分了一些, 与 4/5 相近。

2.5.1 网络结构的确定

采用 3 层神经网络模型来构建评估模型, 其中输入层节点数由评价指标数确定为 8, 输出层节点数为 4, 代表 4 个操纵等级。隐含层节点个数根据式(9)^[19]可初步判断出隐含层节点个数范围为[4, 14], 隐含层节点个数与分类精度曲线如图 4 所示, 当隐含层节点数取 12(α 取 9)时, 精度达到峰值。

$$m = \sqrt{n + l} + \alpha \quad (9)$$

式中: m 为隐含层节点数; n 为输入层节点数; l 为输出层节点数; α 为[1, 10]之间的常数。

2.5.2 结果分析

为使模型输入尽量在激活函数的敏感区, 对样本数据进行归一化处理。图 5 为训练过程中样本的误差变化, 由图 5 可以看出训练样本的平均误差逐渐降低。

图 6 为 2 种方法对 17 组测试数据评估结果对比图。专家评估结果: “优”有 6 组, 所占比例为

35.3%, “良”有 1 组, 所占比例为 5.9%, “及格”有 7 组, 所占比例为 41.2%, “不及格”有 3 组, 所占比例为 17.6%。智能评估结果: “优”有 6 组, 所占比例为 35.3%, “良”有 3 组, 所占比例为 17.6%, “及格”有 5 组, 所占比例为 29.4%, “不及格”有 3 组, 所占比例为 17.6%。

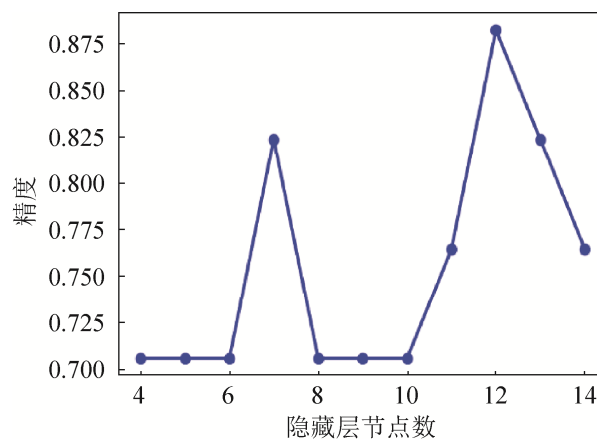


图 4 隐藏层节点数和模型精度关系曲线

Fig. 4 Relationship curve between the number of nodes in hidden layer and model accuracy

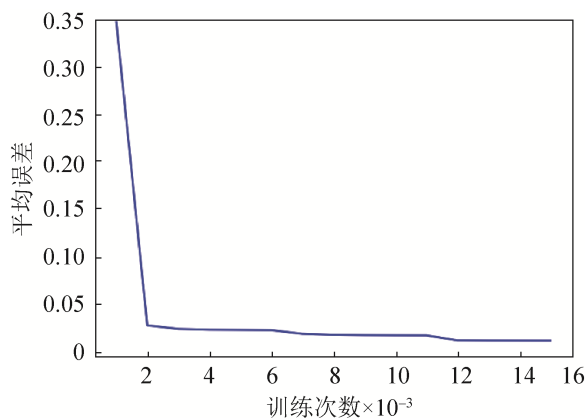


图 5 训练过程中样本的平均误差变化

Fig. 5 Samples average error variation in training process

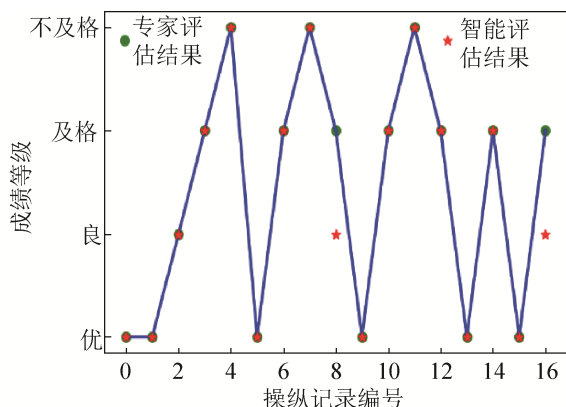


图6 2种方法的评估结果

Fig. 6 Assessment results of 2 methods

智能评估结果与专家评估结果对比,等级“优”和“不及格”评估结果完全相同,等级“良”和“及格”有2个结果不一致,第9组和第17组测试样本专家评估结果为“及格”,在智能评估结果中为“良”,2组数据虽然评估结果不同,却很相近,因此,智能评估结果与专家评估结果基本一致。

3 实例分析

将该评估模型集成到 DMU-V.Dragon5000 航海模拟器中进行测试。

3.1 评估流程

当操纵人员操作航海模拟器中的船舶进行人员落水救助训练时,该模型会接收航海模拟器中被操纵船舶的经纬度、航向、航速等数据,并对这些数据进行转换,转换成评估过程所需要的评估指标,评估指标归一化处理,将归一化处理后的评估指标作为模型输入传递到模型中,模型会给出该操纵人员的操纵等级。具体流程见图7。

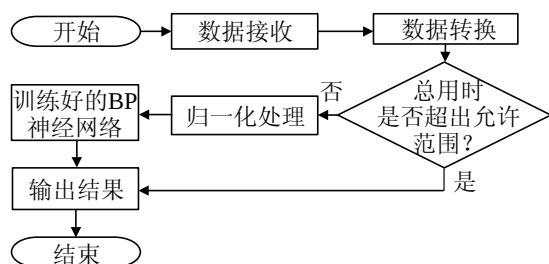


图7 评估流程图

Fig. 7 Assessment flow chart

3.2 测试及结果分析

请不同航海专业人员操纵模拟器进行 Williamson 旋回救助落水人员训练,用训练好的 BP 神经网络模型对他们的操纵水平进行评估,图8展示了9次训练的操纵轨迹及评估成绩。智能评估成绩与专家给出的成绩对比如表4所示。智能评估结果和专家评估结果对比,有一个与专家评估结果不一致,图8(c)智能评估结果为“良”,专家评估结果为“及格”。二者评估结果不同的原因应是图8(c)的总体评价指标处于“良”与“及格”的分界处,在所有数据中,图8(c)指标最小距离时航速是除“不及格”以外最大的,该指标在救助过程中越小越好,其他指标与图8(e),(g)相对比较接近,图8(e)的专家评估结果是“良”,故图8(c)的专家评估结果为“及格”是合理的,图8(c)的返航距离较图8(g)小很多,该指标在救助过程中越小越好,图8(g)的智能评估结果为“及格”,故图8(c)的智能评估结果为“良”也是合理的。总体上看,智能评估结果与专家评估结果较为相近。

图8中9次训练的智能评估结果按顺序排列,图8(a),(b)智能评估结果为“优”,图8(c),(d),(e)智能评估结果为“良”,图8(f),(g)智能评估结果为“及格”,图8(h)(i)智能评估结果为“不及格”。图8(a),(b)中的航迹曲线和评估指标值较为良好,故成绩也较高。图8(d)与(a)相比,指标值相差较大的是返航距离和距人最小距离,在救助落水人员过程中这两个指标值越小越好,故图8(a)较图8(d)的成绩好。图8(c)与(b)相比指标值相差较大的是返航距离和最小距离时航速,最小距离时航速越小对救助越有利,故图8(b)较图8(c)成绩好也是合理的。图8(c)和图8(e)指标值相近,成绩相同。图8(d)和图8(e)指标值相近,距人最小距离图8(d)较图8(e)大,最小距离时航速图8(d)较图8(e)小,故两者成绩相同也是合理的。图8(f),(g)的指标值与图8(d)较为相近,但指标返航距离值比图8(d)大较多,故图8(f),(g)较图8(d)成绩差也是合理的。图8(h),(i)和(g)相比,指标距人最小距离和最小距离时航速值明显较图8(g)大,所以成绩较图8(g)低也是正确的。



图 8 航海模拟器中评估模型测试图

Fig. 8 Evaluation model test diagram in navigation simulator

<http://www.china-simulation.com>

• 2653 •

表 4 评估结果分析

Tab. 4 Analysis of evaluation results

训练序号	智能评估成绩	专家评估成绩
图 8 (a)	优	优
图 8 (b)	优	优
图 8 (c)	良	及格
图 8 (d)	良	良
图 8 (e)	良	良
图 8 (f)	及格	及格
图 8 (g)	及格	及格
图 8 (h)	不及格	不及格
图 8 (i)	不及格	不及格

通过上述分析可知, 该模型的评估结果与实际相符, 进一步证明了该评估模型是较为科学、合理的。

4 结论

通过专家调查法获得 Williamson 旋回救助落水人员评价指标体系; 搭建 BP 神经网络评估模型, 模型测试精度较高, 实际输出与期望输出相差较小; 实例分析测试对模型进行进一步验证, 模型的成绩评定与实际相符。虽然该模型已初步实现智能评估, 但仍有许多不足之处, 如样本的训练数据较少, 并不能涵盖所有情况, 需将更多的操纵训练数据加入到模型训练中, 增加样本数据的多样性, 这样训练好的模型才会更加可靠, 更贴近实际; 同样, 本文缺少对权重合理性的探讨, 权重的合理性探究是验证模型合理性的重要手段。此外, 该模型虽然能给出参与评估人员的评估指标值和操纵等级, 但并未给出评估的详细给分情况和改进意见, 故仍需完善。

参考文献:

- [1] Harro G. Simulator Training and the Internet[C]// CAORF July 3-7 2000, New York: United States Merchant Marine Academy, 2000: 1-8.
- [2] Perera L P, Ferrari V, Santos F P, et al. Experimental Evaluations on Ship Autonomous Navigation and Collision Avoidance by Intelligent Guidance[J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering (S0364-9059), 2015, 40(2): 374-387.
- [3] 陶俊. 大型船舶进出港训练评估方法的研究与实现[D]. 大连: 大连海事大学, 2009.
Tao Jun. Research and Realization of Assessment Method of Large Ship Entering and Leaving Port Training[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2009.
- [4] 蒋效彬, 任鸿翔, 王德龙, 等. 航海模拟器的锚泊操纵自动评估系统[J]. 上海海事大学学报, 2016, 37(1): 82-86.
Jiang Xiaobin, Ren Hongxiang, Wang Delong, et al. An Automatic Evaluation System of Anchoring Operation in Navigation Simulator[J]. Journal of Shanghai Maritime University, 2016, 37(1): 82-86.
- [5] 薛满福, 房希旺, 任鸿翔. 船舶靠泊操纵评估模型[J]. 中国航海, 2013, 36(3): 46-49.
Xue Manfu, Fang Xiwang, Ren Hongxiang. An Assessment Model of Ship Berthing[J]. Navigation of China, 2013, 36(3): 46-49.
- [6] 万子谦. 船舶航行风险的识别、过滤与评估研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2017.
Wan Ziqian. Research on Ship Navigation Risk Identification, Filtering and Evaluation[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2017.
- [7] 邓小富, 朱银培, 董海亮. 基于模糊层次分析的船舶通航风险评估系统设计[J]. 舰船科学技术, 2017, 39(24): 46-48.
Deng Xiaofu, Zhu Yinpei, Dong Hailiang. Design of Ship Navigation Risk Assessment System Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process[J]. Ship Science and Technology, 2017, 39(24): 46-48.
- [8] Abaei M M, Arzaghi E, Abbassi R, et al. Dynamic Reliability Assessment of Ship Grounding Using Bayesian Inference[J]. Ocean Engineering (S0029-8018), 2018, 159: 47-55.
- [9] Ozturk U, Birbil S I, Cicek K. Evaluating Navigational Risk of Port Approach Manoeuvres with Expert Assessments and Machine Learning[J]. Ocean Engineering (S0029-8018), 2019, 192(15/16): 106558.
- [10] Huang J C, Nieh C Y, Kuo H C. Risk Assessment of Ships Maneuvering in an Approaching Channel Based on AIS Data[J]. Ocean Engineering (S0029-8018), 2019, 173: 399-414.
- [11] 陈锦标, 唐瑶, 肖英杰. 基于 GA-BP 模型的船舶靠泊操纵智能化评价[J]. 中国航海, 2016, 39(1): 64-68.
Chen Jinbiao, Tang Yao, Xiao Yingjie. Intelligent Evaluation of Ship Berthing Operation Based on GA-BP Model[J]. Navigation of China, 2016, 39(1): 64-68.

- [12] 王德龙. 船舶操纵避碰智能评估模型[D]. 大连: 大连海事大学, 2018.
Wang Delong. The Intelligent Assessment Model for Ship Maneuvering and Collision-Avoidance[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2018.
- [13] Jia Y, Chen F, Wu P, et al. A Study of Online Function Approximation System Based on BP Neural Network [C]//2019 International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery (CyberC). Guilin: IEEE, 2019: 147-150.
- [14] Tang J, He L. Genetic Optimization of BP Neural Network in the Application of Suspicious Financial Transactions Pattern Recognition[C]//International Conference on Management of E-commerce & E-government. Beijing: IEEE, 2012: 280-284.
- [15] Wang S, Jiang J, Lu X. Study on the Classification of Pulse Signal Based on the BP Neural Network[J]. Journal of Biosciences and Medicines (S2327-509X), 2020, 8(5): 104-112.
- [16] 胡志武, 程葆明, 陈延才. 基于 BP 神经网络的船员适任性评价模型[J]. 上海海事大学学报, 2010, 31(4): 23-27.
Hu Zhiwu, Cheng Baoming, Chen Yancai. Model of Crew Competency Evaluation Based on BP Neural Network[J]. Journal of Shanghai Maritime University, 2010, 31(4): 23-27.
- [17] 洪碧光. 船舶操纵[M]. 大连: 大连海事大学出版社, 2008: 207-209.
Hong Biguang. Ship Manoeuvring[M]. Dalian: Dalian Maritime University Press, 2008: 207-209.
- [18] 周志华. 机器学习[M]. 北京: 清华大学出版社, 2016: 25-26.
Zhou Zhihua. Machine Learning[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2016: 25-26.
- [19] 飞思科技产品研发中心. 神经网络理论与 MATLAB7 实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
Feisi Technology R&D Center. The Neural Network Theory and Achievement by MATLAB 7[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005.