

基于灰色模糊综合评估法的大型船舶模拟操纵评价

陈锦标, 吴广宇, 应士君

(上海海事大学 商船学院, 上海 200135)

摘要:为提高受训海员对大型船舶的操控能力,以现有船舶操纵模拟器和计算机技术为基础,以IMO及我国海事局考试和评估项目要求为标准,应用基于灰色关联度的模糊综合评价法,建立船舶操纵评价模型.采用两级评价制与多级评价制相结合的办法,设计通过船舶操纵模拟器考试和评估系统对大型船舶模拟操作训练作出成绩评估的系统,实现科学而实用的评分功能,最终提高海员分析问题和解决问题的能力.

关键词: 船舶; 船舶操纵模拟器; 考试; 评估; 灰色模糊综合评判

中图分类号: O159; U666.158

文献标志码: A

Evaluation of large-vessel handling simulation based on synthetic grey-fuzzy method

CHEN Jinbiao, WU Guangyu, YING Shijun

(Merchant Marine College, Shanghai Maritime Univ., Shanghai 200135, China)

Abstract: In order to improve the ability of manipulating large ships for training seamen, according to the existing ship handling simulators and computer technology, under the standard of the IMO and the National Examinations and Assessment Project of the Maritime Safety Administration, a ship handling evaluation model is set up based on the fuzzy grey-level evaluation. Then a system, which can assess the results of a large ship handling training simulation by means of the ship handling simulation examination and assessment system, is designed applying the approaches combining the two-stage and multi-stage evaluation systems. The result shows that the scientific and practical score can be obtained, which can enhance the seaman's ability to analyze and resolve the problem.

Key words: ship; ship handling simulator; exam; evaluation; grey-fuzzy comprehensive evaluation

0 引言

根据我国海事局有关规定,大型船舶操纵特殊培训的目的在于提高受训人员对船舶尤其是大型船舶的操控能力.目前,大型船舶操纵训练评估存在如

下问题:

(1)评估体系不完整.教练员只是根据结果指标给出合格或者不合格的评定,没有细化学员成绩,未体现出学员操纵过程的优劣程度.

(2)船舶操纵模拟训练较为复杂,存在大量随

机性和不确定因素. 教练员必须根据人员资历及经验的不同进行现场指导, 但由于受训人员相对较多, 教练员不能及时控制每个人的操作过程, 无法给出指导性建议和意见.

为使受训人员在为数不多的几次训练中得到实时、有效的指导与评点, 提高自身的操作水平和处理问题的能力, 本文研究并设计1个能自动对操作训练效果作出成绩评估的系统——大型船舶模拟操纵考核自动评估系统. 采用两级评价和多级评价相结合的方法, 以安全裕量为内在标准建立评估体系, 运用灰色系统理论和模糊综合评估相结合的方法, 分析处理模拟训练中的问题, 并根据复杂的实际情况和训练过程形成最佳方案, 据此对受训人员的操作给出切合实际的评分和评价.

目前系统的研究只基于离线状态, 要实现自动评估, 需要编写接口程序, 将其与多普勒计程仪等航海仪器对接, 才能对受训人员进行在线评估, 具体方法另文讨论.

1 考试与评估系统设计理论

1.1 评估标准制定依据

(1) 主要依据和指导思想是 STCW 78/95 公约“关于对大型船舶和特殊操纵性能船舶的船长和大副附加培训的指导”的要求;

(2) 根据 IMO 有关模拟器使用标准以及我国海事局制订的《大型船舶操纵特殊培训、考试和发证办法及培训纲要》.

1.2 技术路线

技术路线见图1.

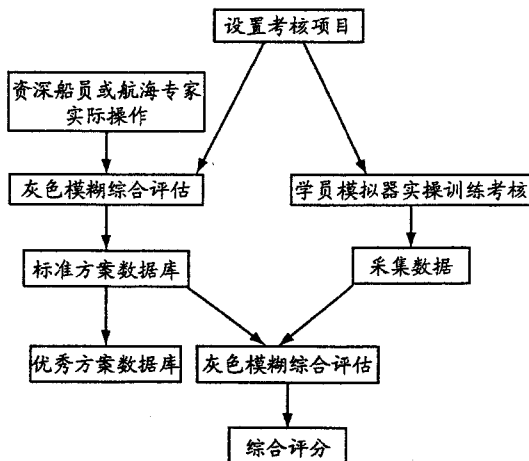


图1 技术路线

(1) 设置考试与评估项目, 确定评分标准; (2) 通过资深船员或航海专家在模拟器上实际操作得到

一组方案, 利用灰色模糊评估法得到相对标准方案, 放入标准数据库; (3) 将训练人员实操成绩与相对的既定评估标准采用灰色模糊评判法进行比较, 通过评分系统得出对受训人员模拟操纵结果的综合评价; (4) 优秀方案数据库中记录达到一定数量, 通过更新系统, 运用灰色模糊评估法得到新的最佳方案存入标准数据库.

1.3 设计理论及分析

针对大型船舶模拟操纵训练考核中的随机性和不确定性, 系统将动态运行过程转换为静态可量化计算的评估要素; 采用灰色模糊综合评价法, 就是从被评价对象的各个指标中选取最优值作为评价标准, 评价各被评对象和标准之间的距离, 排除数据的不确定成分, 适合船舶模拟操纵训练的评估.

1.3.1 灰色模糊评价模型

参与评估的方案组成集合 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, 因素指标集 $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$, $y_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 是第 i 个因素的指标. 对于某指定方案 a_j 可以表示成 1 个向量 $a_j = \{y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{mj}\}$, $y_{ij} \in y_i (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$, 在指标 y_i 上建立 1 个单目标模糊决策函数

$$f_i: y_i \rightarrow [0, 1] \quad i = 1, 2, \dots, m$$

对于给定的方案集 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, 函数值 $f_i(a_j) = f_i(y_{ij}) [0, 1]$ 表示就因素指标而言, 方案属于优越的程度. 令 $\eta_j(i) \triangleq f_i(y_{ij}) \triangleq f_i(a_j) (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$, 可得模糊关系矩阵

$$\bar{R} = \begin{bmatrix} \eta_1(1) & \eta_2(1) & \dots & \eta_n(1) \\ \eta_1(2) & \eta_2(2) & \dots & \eta_n(2) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \eta_1(m) & \eta_2(m) & \dots & \eta_n(m) \end{bmatrix}_{m \times n}$$

称 \bar{R} 为综合评价矩阵, \bar{R} 的第 i 行向量 $\bar{R}_i = [\eta_1(i), \eta_2(i), \dots, \eta_n(i)]$ 中每个分量 $\eta_j(i)$ 为第 j 个方案 a_j 的第 i 个因素指标与第 i 个最优指标的关联度.

由于各个因素的地位和作用程度不同, 因此, 用模糊集 $\bar{P} = \{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ 表示各因素的权重分配, $P_i \in [0, 1]$, 且 $\sum_{i=1}^m P_i = 1$. 那么, 船舶操纵方案评价数学模型为 $\bar{B} = \bar{P} \otimes \bar{R}$.^[1]

1.3.2 算法原理

1.3.2.1 确定最优指标集

y_{ji} 表示方案的第 i 个因素 $y_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 的指标值. 构造初始矩阵

$$E = \begin{bmatrix} y_1^* & y_2^* & \cdots & y_m^* \\ y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ y_{n1} & y_{n2} & & y_{nm} \end{bmatrix}$$

1.3.2.2 各项指标无量纲化处理

由于在决策中所涉及的各项指标因素具有不同的量纲,因此对原始数据指标进行无量纲化处理.假定第*i*个因素指标 y_i 的最小值为 y_{imin} ,最大值为 y_{imax} ,令

$$C_{ji} = \frac{y_{ji} - y_{imin}}{y_{imax} - y_{imin}} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

1.3.2.3 基于层次分析法的权重分配计算

将评估要素集 U 中的第*k*个元素与其他要素比较,可求得各个评估要素的权重 P_i ,它反映靠泊过程中评估要素间的相互关系.

权向量 $\bar{P} = [P_1, P_2, \dots, P_m]$,由层次分析法可知

$$P_i = P_j \cdot U_{kj}$$

因 $i = k$,即

$$P_k = P_j \cdot U_{kj}$$

改写为

$$P_j = \frac{P_k}{U_{kj}}$$

累加 P_1, P_2, \dots, P_m ,有

$$\sum_{j=1}^m \frac{P_k}{U_{kj}} = P_k \cdot \sum_{j=1}^m \frac{1}{U_{kj}}$$

又 $\sum_{j=1}^m P_j = 1$,故有 $P_k \cdot \sum_{j=1}^m \frac{1}{U_{kj}} = 1$,即

$$P_k = \left(\sum_{j=1}^m \frac{1}{U_{kj}} \right)^{-1} \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

为保证应用层次分析法分析得到的结论合理,还需要对构造的判断矩阵进行一致性检验.当判断矩阵不具有完全一致性时,判断矩阵的特征根也将发生相应变化,这样就可以用判断矩阵特征根的变化检验判断的一致性程度.因此,在层次分析法中引入判断矩阵最大特征根 λ_{max} 以外的其余特征根的负平均值,作为度量判断矩阵偏离一致性的指标 CI ,即

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

检查决策者判断思想的一致性.其中 λ_{max} 可利用 Matlab 计算判断矩阵幂根来求取,当判断矩阵具有完全一致性时, $CI = 0$,反之亦然.故

$$CI = 0, \lambda_1 = \lambda_{max} = n$$

另外,当矩阵 A 具有满意一致性时, λ_{max} 稍大于 n ,其余特征根也接近于0.衡量不同阶判断矩阵是否具有满意一致性,还需引入平均随机一致性指标 RI .对于1—9阶判断矩阵, RI 的值分别列于表1中.

表1 随机一致性指标 RI

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

对于1,2阶判断矩阵, RI 只是形式上的,因为它们总具有完全一致性.当阶数大于2时, CI 与 RI 之比称为随机一致性比率,记为 CR .当

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0.10$$

即认为判断矩阵具有满意一致性,否则就需要调整判断矩阵.

1.3.2.4 计算灰色关联度因数

以最优指标集作为参考数据列,以各个靠泊方案的指标值作为被比较列,利用隶属函数求出关联因数,即隶属度

$$\eta_j(i) = \frac{\min_j \min_i |C_j^* - C_{ji}| + \rho \max_j \max_i |C_j^* - C_{ji}|}{|C_j^* - C_{ji}| + \rho \max_j \max_i |C_j^* - C_{ji}|} \quad (4)$$

式中: ρ 为分辨因数,取 $\rho = 0.5$.采用这种方式求得的关联因数就是隶属度.

1.3.2.5 模糊评价

模糊评价结果 $\bar{B} = \bar{P} \otimes \bar{R}$,其中 \bar{P} 为权重向量, \bar{R} 为模糊关系矩阵,综合以上评估要素,算出综合分值,分值最大的方案即为最优方案.

2 模拟训练自动评估系统的实现

2.1 靠泊评估系统的设计

2.1.1 靠泊评估系统流程

系统采用两级评价制和多级评价制相结合的办法,见图2.系统从模拟器读取学员成绩,首先判定主要的评估指标是否合格,在评分系统中设定最低标准.例如:10万t的集装箱船最大横向靠拢速度 $< 10 \text{ cm/s}$;靠拢角度 $< 5^\circ$;到位后船中心离开泊位中心 < 1.5 个缆桩位,如果学员成绩合格,采用灰色模糊综合评估法将其与标准(最佳)方案比对,当学员的方案优于标准方案时给予满分,同时将其放入优秀方案数据库作为更新系统的备选方案.当优秀方案数据库中的记录达到一定数量时更新系统,采用灰色评估法和中位数 M 分析法遴选出新的标准(最佳)方案.^[2]

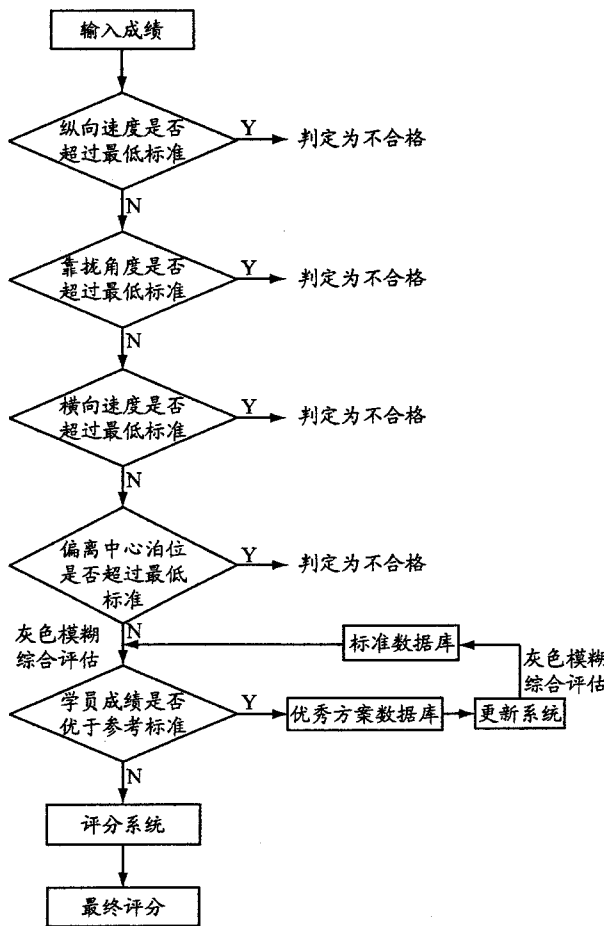


图2 靠泊评估系统流程

2.1.2 靠泊评估要素的选取及权重计算

在靠泊操纵中,要求熟练掌握摆好船位、控制余速和靠拢角度3个主要环节,它们互相联系、互相影响。靠泊方案的优劣程度除反应在靠上泊位时的纵向移动速度、横向靠拢速度、靠拢角度和偏离中心泊位距离,还反映在所耗费的时间上。将其与船只的运行重放轨迹相结合,可以很好地显示整个方案的合理程度。根据靠泊的实际情况确定以下评估要素: v_s 为纵向移动速度; v_r 为横向靠拢速度; θ 为靠拢角度; L 为偏离泊位中心距离; T 为靠泊所耗费时间。其中,靠拢角度 θ 以船首尾与码头的横向距离差表示, $\theta = |S_1 - S_2|$ 。

通过对30名航海专家和资深船长的咨询,应用1—9标度法构造比较判断矩阵,根据式(2),计算出以上5个评估要素的权重向量为:

$$\bar{P} = [15/31 \quad 5/38 \quad 5/31 \quad 5/31 \quad 1/31]$$

2.1.3 建立评估标准数据库

通过资深船员或者航海专家在模拟器上实操,得到4个样本方案 $A = \{a_1, a_2, a_3, a_4\}$, 评估要素集 $U = \{\text{纵向移动速度, 横向靠拢速度, 靠拢角度, 偏离}$

$b_4\}$ 。以下为4个靠泊方案产生的结果: $a_1 = \{10, 2, 2, 1, 27\}$, $a_2 = \{12, 3, 2, 1, 22\}$, $a_3 = \{12, 3, 2, 2, 20\}$, $a_4 = \{10, 4, 1, 1, 22\}$ 。

得初始矩阵

$$E = \begin{bmatrix} 10 & 2 & 2 & 1 & 27 \\ 12 & 3 & 2 & 1 & 22 \\ 12 & 3 & 2 & 2 & 20 \\ 10 & 4 & 1 & 1 & 22 \end{bmatrix}$$

由求得的 \bar{P}, \bar{R} 及 $\bar{B} = \bar{P} \otimes \bar{R}$, 容易得到综合分值: $\bar{B} = [0.871 \ 0, 0.477 \ 5, 0.381 \ 7, 0.880 \ 7]$ 。

分值最大的方案为最优方案,即方案4为最优方案。

2.1.4 靠泊训练自动评估系统的实现

以VB 6.0为软件开发平台设计的自动评估系统见图3,可以对学员的成绩作出评分,提出评价和建议;同时显示出船只运行的重放轨迹,为人工评估提供参考意见。

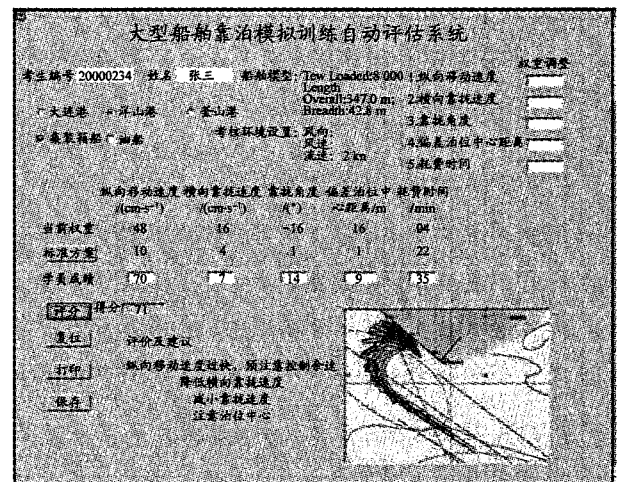


图3 靠泊训练考核自动评估系统

2.2 狭水道过弯道自动评估系统设计

2.2.1 考核原理及分析

该考核项目为单向通航,初始设置中设水流为静流,水深处处相等;考核环境是1个“S”形弯曲狭水道,由20多条锚泊着的目标船作为弯道边界,见图4。狭水道由2个弯道组成,航道宽度为650 m,总长为4.5 n mile。图中航道边界由虚线船舶连线构成,实线船舶为模拟操纵的船舶。^[3]船舶在弯曲航道航行,必须根据航道弯曲程度不断进行改向操纵,并适当控制船速,使船舶的航行轨迹与航道弯曲程度保持基本一致。由于设置该狭水道为静流,所以航道中轴线为最佳航线,以此作为评估的基准航线。在实际航行环境中,随着流速和流向的不同,再加上暗

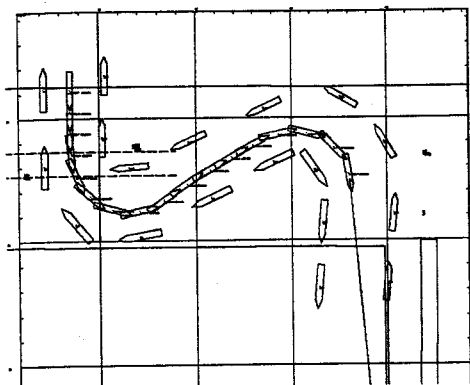


图4 船舶过限定弯道示意

2.2.2 过弯道自动评估系统流程

与靠泊训练评估系统相同,过弯道自动评估系统流程见图5。

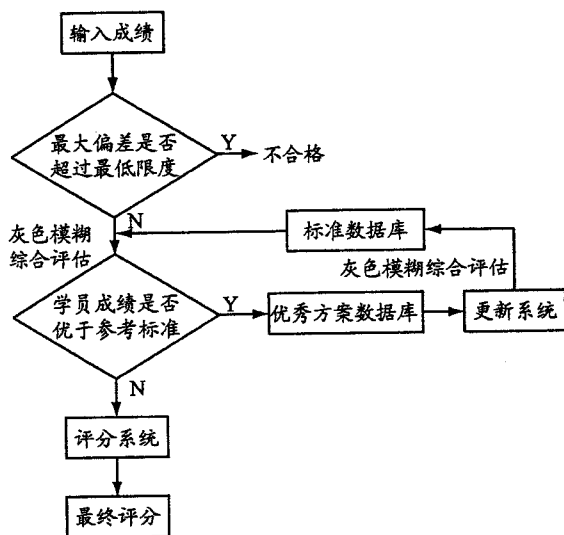


图5 过弯道评估系统流程

2.2.3 评估要素的确定及权重分配

如图6所示,误差累积量 S (图中阴影部分)可以很好地反映进弯速度、船位控制以及过弯时转向点的把握,同时还必须考虑船只在弯道中航迹与基准航线的最大偏移 L 。此外,船只在出弯时,学员必须控制好航向角及航速,以确保在直道中的航行安全。

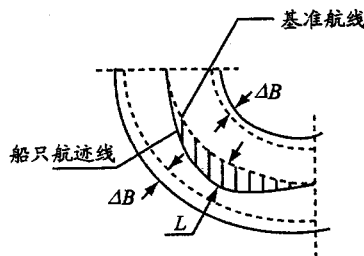


图6 船只过弯道计算示意

根据以上分析,确定狭水道过弯道的评估要素: S 为偏差累积量; L 为最大偏移; θ 为出弯时的航向角; v 为出弯时的航速。

与靠泊训练项目类似,经过咨询航海专家和资深船员,应用1—9标度法构造比较判断矩阵,根据式(2),可以计算出以上4个评估要素的权重向量。

2.2.4 采集数据的计算

以过第1个弯道为例说明算法思想:航道中线为基准航线,其走向与弯曲航道保持一致。从模拟器上可以得到船只运行的航迹点,见图6。利用Matlab首先将这些点拟合成多项式曲线,同时画出弯曲航道的中轴线(基准航线),在其区间的横坐标上划出 n 等分后对航迹线和基准航线插值,最后将它们纵坐标相减并取绝对值,这样就可以算出过弯道航行的2个重要评估要素:最大偏差 L 及误差累积量 S 。根据积分定义可知,当 $n \rightarrow \infty$ 时,偏差累积量 S 等于2条曲线所围面积,本文采用近似方法,取 $n = 10\ 000$,从而确保计算精度。另外,为保证在直道中的航行安全,出弯道时的航向角 θ 和航速 v 也成为重要的评估要素,可以从模拟器上直接读取。

标准数据库的建立及程序实现与靠泊考核评估系统相同,因篇幅原因不再重复。

3 结论

用灰色模糊综合评估法建立船舶操纵训练考核自动评估系统。该方法用原始数据直接计算,可靠性强,只要有代表性的少量样本即可,基本排除人为因素带来的影响,评价结果客观、准确。当然,该方法只是对评判对象的优劣作出鉴别,并不反映绝对水平。

参考文献:

[1] 杜栋,鹿庆华. 现代综合评价方法与案例精选[M]. 北京:清华大学出版社,2005:23-27.
 [2] 贺爱萍. 用中位数考察考试成绩更合理[J]. 西北医学教育,2007,15(2):319-320.
 [3] 卜平. 船舶操纵模拟器在航海教学与培训中的应用研究[D]. 上海:上海海运学院,2003.