

8-14-2020

## New Evaluating Algorithm of the Single Ship Track When Inward/ outward Port Based on Ship-handling Simulator Training

Fang Cheng

*1. Marine Dynamic Simulation & Control Lab. of DMU, Dalian 116026, China;;2. Zhejiang Institute of Communications, Hangzhou 311112, China;*

Hongxiang Ren

*1. Marine Dynamic Simulation & Control Lab. of DMU, Dalian 116026, China;;*

Yicheng Jin

*1. Marine Dynamic Simulation & Control Lab. of DMU, 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.

---

## New Evaluating Algorithm of the Single Ship Track When Inward/outward Port Based on Ship-handling Simulator Training

### Abstract

**Abstract:** The simulating navigation evaluation of the single ship when inward/outward port was a basic kind of examination type in maritime safety administration's ship maneuvering ability test question system. In order to evaluate the track of the single ship when inward/outward port based on ship-handling simulator training. Constructed the track of evaluation index system by the investigation and analysis, established *a comprehensive evaluation model of the single ship's track when inward/outward port*. In order to quantitative evaluate the score of unevaluated track by compared with the evaluated track score, *a new evaluating cloud similarity algorithm of the single ship track when inward/outward port based on the parameters vector of two-dimensional cloud model* is proposed, the simulation results show the algorithm is feasible, and it provides a new quantitative evaluation method to evaluate the single ship track when inward/outward port.

### Keywords

the inward/outward port ship, simulator training, cloud similarity, track evaluation algorithm

### Recommended Citation

Fang Cheng, Ren Hongxiang, Jin Yicheng. New Evaluating Algorithm of the Single Ship Track When Inward/outward Port Based on Ship-handling Simulator Training[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(9): 2201-2206.

## 一种新的单船进出港模拟训练航迹评估算法

方诚<sup>1,2</sup>, 任鸿翔<sup>1</sup>, 金一丞<sup>1</sup>

(1. 大连海事大学航海动态仿真和控制实验室, 大连 116026; 2. 浙江交通职业技术学院, 杭州 311112)

**摘要:** 单船进出港模拟航行评估是国家海事局评估海船船员船舶操纵能力的基础考题类型。为了评估单船进出港模拟训练的航迹, 根据调研分析, 在构建航迹评价指标体系的基础上, 建立单船进出港模拟训练航迹综合评价模型。为了通过已评航迹的评分值定量化评估待评航迹评分值, 提出基于二维正态云模型参数的单船进出港模拟训练航迹云相似度评估算法, 并通过仿真算例验证算法的可行性, 为从定量化角度评估单船进出港模拟训练航迹提供新方法。

**关键词:** 进出港船; 模拟训练; 云相似度; 航迹评估算法

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2016) 09-2201-06

### New Evaluating Algorithm of the Single Ship Track When Inward/outward Port Based on Ship-handling Simulator Training

Fang Cheng<sup>1,2</sup>, Ren Hongxiang<sup>1</sup>, Jin Yicheng<sup>1</sup>

(1. Marine Dynamic Simulation &amp; Control Lab. of DMU, Dalian 116026, China;

2. Zhejiang Institute of Communications, Hangzhou 311112, China)

**Abstract:** The simulating navigation evaluation of the single ship when inward/outward port was a basic kind of examination type in maritime safety administration's ship maneuvering ability test question system. In order to evaluate the track of the single ship when inward/outward port based on ship-handling simulator training. Constructed the track of evaluation index system by the investigation and analysis, established a comprehensive evaluation model of the single ship's track when inward/outward port. In order to quantitative evaluate the score of unevaluated track by compared with the evaluated track score, a new evaluating cloud similarity algorithm of the single ship track when inward/outward port based on the parameters vector of two-dimensional cloud model is proposed, the simulation results show the algorithm is feasible, and it provides a new quantitative evaluation method to evaluate the single ship track when inward/outward port.

**Keywords:** the inward/outward port ship; simulator training; cloud similarity; track evaluation algorithm

## 引言

在国家海事局海船船员评估考试过程中, 通常会在航海模拟器设置一定的航行环境条件基础

上, 设置评估试题, 测试驾驶员的驾驶台资源管理、船舶操纵等能力, 某单个考场通常采用同一评估试题或者从预先准备的若干个评估试题中抽取题卡进行评估, 评估成绩采用考官过程监督和主观打分为主, 评估结果主观性较强, 缺乏一定的定量数据评估依据<sup>[1]</sup>。

单船进出港航行是实际船舶航行中较为简单、基础的航行情况, 也是研究其他复杂船舶航行情况



收稿日期: 2016-05-10 修回日期: 2016-07-11;  
基金项目: 国家高技术研究发展计划(863) (2015AA016404), 交通运输部应用基础研究(主干学科)(2015329225240), 浙江省教育厅科研项目(Y201533096);  
作者简介: 方诚(1983-), 男, 浙江衢州, 博士生, 讲师, 研究方向为航海仿真、智能评估。

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

• 2201 •

的基础;另外,对单船进出港航行而言,在航海模拟器中设置相同船舶属性、航行环境、航行起点等实验条件,邀请船长或引航员进行模拟航行试验,积累实验数据具有一定代表性<sup>[2]</sup>。因而,评估单船进出港船舶航行是评估其他复杂航行情况的基础,也是验证和测试评估算法的尝试途径。

对于单船进出港航行过程而言,每一次实验中不同的驾驶员在航行操作过程中的转向时刻、转向角度、转向的持续时间、动车的时刻、动车的种类、动车的持续时间是不同的,转向与动车的次数也可能不同,采用时间序列的多变量建立船舶航行数学模型的难度较大,而船舶航行留下的轨迹却能隐含所有相关变量的变化过程。因此,评估单船进出港模拟训练的航迹是基于航行过程定量数据的重要评估手段。

本文在等时间间隔采样航迹取船舶位置点的基础上,从待评航迹采样点与参考航迹采样点的位置差与航向差两个角度进行分析,将位置差与航向差分别作为纵向、横向两个维度,将隶属度作为垂向维度,建立了基于二维正态云模型的云参数相似度航迹评估算法。该算法既考虑到航迹采样点的位置和航向的静态信息,也考虑到了船舶航行过程位移差与航向差的动态信息,为基于航行过程数据的定量评估提供技术支持,具有一定的应用价值。

## 1 航迹评价概述

在航空领域的相关研究中,航迹评价是航迹规划中的重要环节,航迹评价的目的是为了评价航迹的使用价值,航迹的综合评价可以归类为一个复杂的多目标优化或者决策问题,王琦在建立飞行器航迹指标评价体系的基础上,采用了人工神经网络对航迹进行综合评价<sup>[3]</sup>,俞琪提出了基于遗传算法的多目标优化模型评价飞行器航迹<sup>[4]</sup>,郑昌文引入微粒子群算法评价飞行器航迹<sup>[5]</sup>,张瑞玲提出一种基于模糊互补判断矩阵的综合评价方法<sup>[6]</sup>,曹岱伟针对低空飞行器即时航迹提出变权综合评价模型<sup>[7]</sup>

等。在航空领域的评价模型文献中,大部分研究的方法为:首先建立飞行器航迹指标体系,然后采用数学模型或算法确定指标权重,权重获取方法可以是专家打分法、层次分析法、变权分析法、模糊数学法、权重学习算法等<sup>[8-9]</sup>。该类评价方法中确定权重的偏差往往会导致评价结果的偏差,存在主观性强、评价稳定性弱的问题。

在航海领域的研究中,现有文献尚无船舶航迹评价的推荐指标体系,在航海学课程的航线设计内容中,在进行航线设计时,主要考虑航线的安全性和经济性两个方面。通常做法是参考《航路指南》中的推荐航线,核查航线所经过的海图上图识图标信息,根据实际的航道条件及气象等信息,进行航线设计,确定计划航线,制定航行计划。实际操作过程中更加侧重于航线的安全性,如避免穿过渔区、危险区、军事区,尽量与沉船保持一定的航行距离,尽量沿着航道的右侧行驶,尽量避免穿越分道通航制,设置转向点时应综合考虑实际航行情况<sup>[10]</sup>,避免转向旋回水域过窄或与转向参照灯塔、灯浮过近等。

从船舶操纵能力和良好船艺的角度分析,在船舶进出港航行过程中考虑的因素主要有:尽量避免大幅度的用车钟,尽量按照相关水域的安全航速行驶,尽量注意风流的变化,保持正规的瞭望,尽量避免超出航道行驶等。

## 2 基于航迹评价指标体系评价模型

### 2.1 航迹评价指标体系

根据上述的分析,并通过调研 10 名正在从事航海航行的一线船长以及航海领域的 5 名专家,针对单船进出港航行,初步确定航迹评价指标体系。

航迹评价指标体系的一级指标主要从安全性、经济性、稳定性三个角度评价:

安全性的二级指标主要为:碍航物、危险物标距航迹最短距离、禁航区距航迹最近边缘安全垂直距离、转向灯标距航迹相对距离、航迹出航道外缘最大距离、航迹距航道中心线最近距离、超出港内

安全航速的最大航速差、转向处航迹的旋回半径与操纵性能旋回半径最大比值;

经济性的二级指标主要为: 航迹总长度、转向点数量;

稳定性的二级指标主要为: 用车钟相对频繁度、用舵相对频繁度、待评航迹穿越推荐航线的次数。

综上所述, 航迹评价指标体系由 3 个一级指标和 12 个二级指标共同组成。

## 2.2 评价指标权重计算方法

评价指标权重计算方法大致可以分成三类: 第一类是主观赋权法, 典型方法有层次分析法、德尔菲法、逐步比较法等; 第二类是客观赋权法, 典型方法有标准离差法、主成分分析法、熵权法等; 第三类是组合赋权法, 组合赋权法是主观赋权法与客观赋权法的相互组合, 在计算权重时可以用多种方法得到的权重, 设置影响因子并予以组合计算得到权重值<sup>[11-12]</sup>。

主观赋权法主要通过专家经验信息获取权重, 客观赋权法主要从实验样本信息获取权重, 组合赋权法主要是综合专家经验信息与样本信息组合获得权重, 从形式上看, 组合赋权法更为合理, 但也存在缺陷, 比如组合不同算法得到的权重时, 权重间的影响因子取值常常是采用经验值或者主观赋值<sup>[13]</sup>。

## 2.3 基于评价指标体系的航迹综合评价模型

根据以上分析, 结合单船进出港航行特点, 基于评价指标体系的航迹综合评价模型的建立采用以下步骤:

(1) 对于单船进出港航迹进行评估主要考虑 12 个二级指标, 通过专家打分确定待评航迹的各项指标分值;

(2) 对各项指标分值进行归一化处理, 由于各项指标量纲不同, 打分参考标准不同, 因此, 有必要对指标分值进行无量纲归一化处理, 并换算成百分制数值;

(3) 确定各项指标权重。由于单船进出港航迹样本中具有的评价结果的样本也是考官主观给出的评价, 即便采用客观赋权法或组合赋权法得到的数值最终都是考官的主观信息。因而, 可直接采用主观赋权法进行权重赋值, 并做归一化处理。

(4) 综合评价。可对指标数值与指标权重相乘, 并将所有指标的相乘数值相加, 即为待评航迹的评估数值。

## 3 单船进出港模拟训练航迹云相似度评估算法

在实际国家海事局评估中, 通常采用评估成绩是否满足正态分布来考察整体评估过程是否合理, 云模型可以有效的融合信息的随机性和模糊性<sup>[14-15]</sup>, 而正态云模型是一种典型的云模型, 具备一定的普适性。故而, 在引入正态云模型的基础上, 采用云相似度的计算方法是单船进出港模拟训练航迹评估的新思路。

在航线设计及航行过程中, 船舶的位置与航向是航海人员所关注的两个重要信息。在实际的航行过程中, 虽然有推荐航线指引航行, 但是现实的航行航迹几乎不可能与推荐航线重合。因此, 对于单船进出港模拟训练航迹而言, 如果已有一条已经得到考官评分的航迹, 和一条推荐航线, 为了评估的公平性, 如何在此基础上评价另一条待评航迹是评估的关键。这个问题可以通过测算两个二维云模型的相似度得以解决<sup>[16-17]</sup>: 通过已评航迹与推荐航迹的位移差和航向差建立正态二维云模型, 再通过待评航迹与推荐航迹的位移差和航向差建立第二个正态二维云模型。每个二维正态云模型可以用两个维度进行描述: 其一, 采用等时间间隔采样, 并计算同等时刻位置点间的位移差; 其二, 同等时刻对应的航向差。

本文提出了基于二维正态云模型参数的单船进出港模拟训练航迹云相似度评估算法<sup>[18]</sup>。

算法如下:

输入: 1 条待评航迹  $L_d$ , 1 已评航迹  $L_v$  及评分

$S_v$ , 1 条推荐航迹  $L_t$ ;

输出: 待评航迹的评分  $S_d$

第 1 步: 因船舶初始点相同, 令三条航迹在每条航迹上采样相等时间间隔的相同个数航迹点  $n$ , 推荐航迹  $L_t$  的  $L_{ti}$  时刻的航迹点位置, 记  $L_{ti}$  时刻航迹点位置  $drop(\varphi_{Lti}, \lambda_{Lti})$ , 则可得推荐航线采样航迹点集合  $A_t$  及所对应的航向数据集合  $C_t$ , 同理可知, 待评航迹位置集合  $A_d$  与航向集合  $C_d$ , 已评航迹位置集合  $A_v$  与航向集合  $C_v$ :

$$A_t = \{drop(\varphi_{Lti}, \lambda_{Lti}), i = 1, 2 \cdots n\},$$

$$C_t = \{C_{ti}, i = 1, 2 \cdots n\}$$

$$A_d = \{drop(\varphi_{Ldi}, \lambda_{Ldi}), i = 1, 2 \cdots n\},$$

$$C_d = \{C_{di}, i = 1, 2 \cdots n\}$$

$$A_v = \{drop(\varphi_{Lvi}, \lambda_{Lvi}), i = 1, 2 \cdots n\},$$

$$C_v = \{C_{vi}, i = 1, 2 \cdots n\}$$

第 2 步: 根据集合  $A_t$  与集合  $A_v$  求  $i$  时刻的已评航迹与推荐航迹的位移差  $\Delta D_{tvi}$  和航向差  $\Delta C_{tvi}$ , 根据集合  $A_t$  与集合  $A_d$  求  $i$  时刻的已评航迹与推荐航迹的位移差  $\Delta D_{tdi}$  和航向差  $\Delta C_{tdi}$  ( $R$  为地球半径, 约为 6 378 137 m):

$$\Delta C_{tvi} = C_{ti} - C_{vi}, \Delta D_{tvi} = \arccos(C) \cdot R \cdot \pi / 180 \quad (1)$$

$$C = \sin(\varphi_{Lti} \pi / 180) \sin(\varphi_{Lvi} \pi / 180) + \cos(\varphi_{Lti} \pi / 180) \cos(\varphi_{Lvi} \pi / 180) \cos((\lambda_{Lti} - \lambda_{Lvi}) \pi / 180) \quad (2)$$

$$\Delta C_{tdi} = C_{ti} - C_{di}, \Delta D_{tdi} = \arccos(C) \cdot R \cdot \pi / 180 \quad (3)$$

$$C = \sin(\varphi_{Lti} \pi / 180) \sin(\varphi_{Ldi} \pi / 180) + \cos(\varphi_{Lti} \pi / 180) \cos(\varphi_{Ldi} \pi / 180) \cos((\lambda_{Lti} - \lambda_{Ldi}) \pi / 180) \quad (4)$$

第 3 步: 对推荐航迹与已评航迹, 采用逆向云算法分别求取航向差维度的期望  $Ex(\Delta C_{tv})$ 、熵  $En(\Delta C_{tv})$ 、超熵  $He(\Delta C_{tv})$  3 个参数, 位移差维度的期望  $Ex(\Delta D_{tv})$ 、熵  $En(\Delta D_{tv})$ 、超熵  $He(\Delta D_{tv})$  三个参数。同理对推荐航迹与待评航迹求取航向差维度的期望  $Ex(\Delta C_{td})$ 、熵  $En(\Delta C_{td})$ 、超熵  $He(\Delta C_{td})$  三个参数, 位移差维度的期望  $Ex(\Delta D_{td})$ 、熵

$En(\Delta D_{td})$ 、超熵  $He(\Delta D_{td})$  3 个参数:

$$Ex(\Delta C_{tv}) = \Delta \bar{C}_{tv} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta C_{tvi} \quad (5)$$

$$Ex(\Delta D_{tv}) = \Delta \bar{D}_{tv} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta D_{tvi} \quad (6)$$

$$En(\Delta C_{tv}) = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta C_{tvi} - \Delta \bar{C}_{tv}| \quad (7)$$

$$En(\Delta D_{tv}) = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta D_{tvi} - \Delta \bar{D}_{tv}| \quad (8)$$

$$(S(\Delta C_{tv}))^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} (\Delta C_{tvi} - \Delta \bar{C}_{tv})^2 \quad (9)$$

$$(S(\Delta D_{tv}))^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} (\Delta D_{tvi} - \Delta \bar{D}_{tv})^2 \quad (10)$$

$$He(\Delta C_{tv}) = \sqrt{(S(\Delta C_{tv}))^2 - (En(\Delta C_{tv}))^2} \quad (11)$$

$$He(\Delta D_{tv}) = \sqrt{(S(\Delta D_{tv}))^2 - (En(\Delta D_{tv}))^2} \quad (12)$$

$$Ex(\Delta C_{td}) = \Delta \bar{C}_{td} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta C_{tdi} \quad (13)$$

$$Ex(\Delta D_{td}) = \Delta \bar{D}_{td} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta D_{tdi} \quad (14)$$

$$En(\Delta C_{td}) = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta C_{tdi} - \Delta \bar{C}_{td}| \quad (15)$$

$$En(\Delta D_{td}) = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta D_{tdi} - \Delta \bar{D}_{td}| \quad (16)$$

$$(S(\Delta C_{td}))^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} (\Delta C_{tdi} - \Delta \bar{C}_{td})^2 \quad (17)$$

$$(S(\Delta D_{td}))^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} (\Delta D_{tdi} - \Delta \bar{D}_{td})^2 \quad (18)$$

$$He(\Delta C_{td}) = \sqrt{(S(\Delta C_{td}))^2 - (En(\Delta C_{td}))^2} \quad (19)$$

$$He(\Delta D_{td}) = \sqrt{(S(\Delta D_{td}))^2 - (En(\Delta D_{td}))^2} \quad (20)$$

第 4 步: 根据第 3 步求得两个二维正态云模型参数:

$$C_{tv}(Ex(\Delta C_{tv}), En(\Delta C_{tv}), He(\Delta C_{tv}), Ex(\Delta D_{tv}), En(\Delta D_{tv}), He(\Delta D_{tv}))$$

$$C_{td}(Ex(\Delta C_{td}), En(\Delta C_{td}), He(\Delta C_{td}), \\ Ex(\Delta D_{td}), En(\Delta D_{td}), He(\Delta D_{td}))$$

求取两个二维云的相似度  $\text{sim}(C_{tv}, C_{td})$ :

$$\text{sim}(C_{tv}, C_{td}) = \cos(\bar{C}_{tv}, \bar{C}_{td}) = \frac{\bar{C}_{tv} \cdot \bar{C}_{td}}{\|\bar{C}_{tv}\| \|\bar{C}_{td}\|} \quad (21)$$

第 5 步: 待评航迹的评分  $S_d$

$$S_d = S_v \times \text{sim}(C_{tv}, C_{td}) \quad (22)$$

## 4 仿真算例

仿真实验在航海模拟器上进行, 以油轮“长航希望”进港为例, 参考实际进港航行环境情况, 设置东北风 1 节, 东流 0.5 节, 起始航行位置为: 北纬  $38^{\circ}55.812'$ , 东经  $121^{\circ}47.028'$ , 选择一段 60 分钟左右的航行过程, 航行过程取样等时间间隔的 127 个航迹采样点(除起点外)。

根据上述实验条件, 从样本航迹中选取一条待评航迹  $L_d$ , 如图 1 所示。

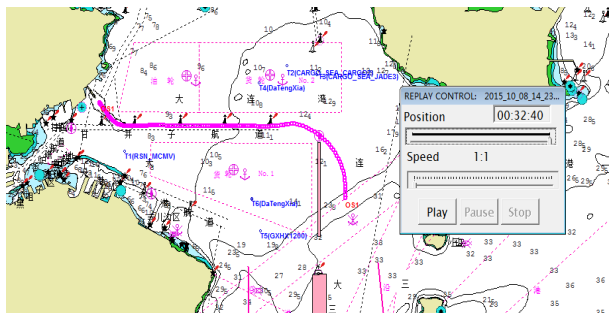


图 1 待评航迹仿真图

根据大连港进港航道情况、船长和专家经验, 并经过考官的审核同意, 设置计划航线(如图 2 中实线  $L_t$  所示), 选取一条考官和专家都认为船舶操纵及航行比较优秀的航行过程进行主观评分, 采用基于评价指标体系的航迹综合评价模型, 二级指标体系评分及指标权重情况如表 1 所示, 经过计算, 评分结果分数为 92.456 分。该航迹作为已评航迹如图 2 中  $L_v$  所示。待评航迹为图 2 中  $L_d$  所示。

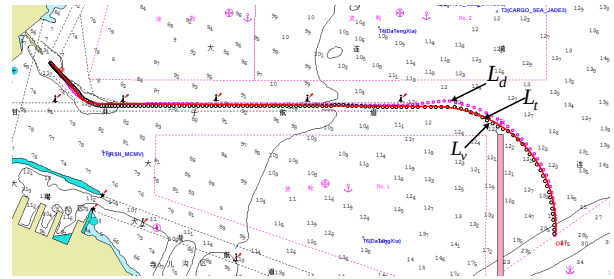


图 2 已评航迹、待评航迹与推荐航线位置仿真图

表 1 二级指标体系评分及指标权重情况表

| 二级指标内容                  | 评分     | 权重    |
|-------------------------|--------|-------|
| 碍航物危险物距航迹最短距离           | 95     | 0.071 |
| 禁航区距航迹最近边缘安全垂距          | 91     | 0.094 |
| 转向灯标距航迹相对距离             | 89     | 0.101 |
| 航迹出航道外缘最大距离             | 100    | 0.074 |
| 航迹距航道中心线最近距离            | 94     | 0.065 |
| 超港内安全航速最大航速差            | 98     | 0.104 |
| 转向处航迹的旋回半径与操纵性能旋回半径最大比值 | 93     | 0.083 |
| 航迹总长度                   | 96     | 0.068 |
| 转向点数量                   | 98     | 0.071 |
| 用车钟相对频繁度                | 88     | 0.095 |
| 用舵相对频繁度                 | 89     | 0.102 |
| 待评航迹穿越推荐航线次数            | 81     | 0.072 |
| 合计评分                    | 92.465 |       |

经过基于二维正态云模型参数的单船进出港模拟训练航迹云相似度评估算法中第 1, 2, 3 步计算得到, 两个二维正态云的相关参数为:

$$C_{tv}(-0.7510, 4.5609, 2.7359, \\ 2.5537, 1.3384, 0.2049)$$

$$C_{td}(-1.7037, 5.7519, 1.9844, \\ 5.7639, 2.5952, 0.5907)$$

经过第 4 步计算得到:

$$\text{sim}(C_{tv}, C_{td}) = 0.9381$$

经过第 5 步计算最终得到待评航迹的评分

$$S_d = 0.9381 \times 92.465 = 86.74142$$

针对该待评航迹, 将 10 名船长与 5 名专家分成三组(A 组、B 组、C 组), 每组 5 人, 采用传统专家打分法, 利用航迹评价指标体系进行评分, 在未预先告知评分小组成员待评航迹是同一条的情况下, 分别在不同的时间对待评航迹进行 2 次评

分, 得出该待评航迹评分情况如表 2 所示。从表中可以看出, 尽管是同样的专家、同样的评分标准、同样的待评航迹, 2 次评分的结果是有差异的, 而采用相似度的评分结果是相同的。

表 2 待评航迹评分情况表

| 组名      | 第 1 次<br>评分 | 第 2 次<br>评分 | 评分<br>均值 | 与相似度<br>评分误差 |
|---------|-------------|-------------|----------|--------------|
| A 组     | 90.25       | 85.19       | 87.72    | 0.98         |
| B 组     | 87.26       | 83.12       | 85.19    | -1.55        |
| C 组     | 87.16       | 82.97       | 85.07    | -1.68        |
| A+B+C 组 | 88.22       | 83.76       | 85.99    | -1.41        |
| 相似度评分   | 86.74       | 86.74       | 86.74    | -0.75        |

因此, 待评航迹的评分数值是在已评航迹的主观评判标准的基础上, 采用二维正态云模型参数组成的向量间计算云相似度得到的结果, 有效的解决了采用基于评价指标体系的航迹评价模型时, 针对每一位学员评估都要进行专家打分、考官审查等程序, 也同时有效的避免了由于专家打分、考官评价的主观性导致每次评判标准可能不统一、评价过程不公平的问题, 为量化评估单船进出港模拟训练航迹提供新思路。

## 5 结论

本文针对国家海事局海船船员评估考试中的单船进出港评估问题, 根据航线设计及结合航海专家经验, 在构建航迹评价指标体系上, 建立基于评价指标体系的航迹综合评价模型, 针对主观评价过程中每次评判标准可能不统一、评价过程不公平的问题, 提出了基于二维正态云模型参数的单船进出港模拟训练航迹云相似度评估算法, 通过 Matlab 编程测试与 VC++ 试验, 将算法在航海模拟器中进行测试。结果表明, 通过计算待评航迹与已评航迹的云相似度, 得到的评估分值是可行的。该算法为单船进出港模拟训练航迹的量化评估提供新途径, 具有一定的应用价值。

## 参考文献:

- [1] 方诚, 任鸿翔. 航海模拟器智能评估方法综述 [J]. 中国航海, 2015, 38(4): 48-52.
- [2] 方诚, 任鸿翔, 金一丞. 少量样本条件下模拟训练航迹点生成算法 [J]. 大连海事大学学报, 2016, 42(5): 35-40.
- [3] 王琦. 飞行器航迹规划与评价算法研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007: 42-47.
- [4] 俞琪. 基于遗传算法的快速航迹规划方法研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2007: 42-47.
- [5] 郑昌文, 李磊. 基于进化计算的无人飞行器多航迹规划 [J]. 宇航学报, 2005, 26(2): 223-227.
- [6] 张瑞玲. 基于多目标的航迹评价方法 [J]. 黑龙江科技信息, 2013, 27: 51-52.
- [7] 曹岱伟, 刘刚. 低空飞行器即时航迹评估方法及模型 [J]. 现代电子技术, 2014, 37(2): 6-8.
- [8] 陈超, 沙基昌, 刘俊先, 等. 分组变权综合评估方法及应用 [J]. 系统管理学报, 2007, 16(3): 341-344.
- [9] 金莹, 张以文. 虚拟企业伙伴选择指标综合权重确定方法 [J]. 统计与决策, 2013, 10: 72-74.
- [10] 郭禹, 张吉平, 戴冉. 航海学 [M]. 大连: 大连海事大学出版社, 2014: 123-189.
- [11] 李春好, 孙永河, 贾艳辉, 等. 变权层次分析法 [J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30(4): 723-731.
- [12] 刘大海, 宫伟, 邢文秀, 等. 基于 AHP-熵权法的海岛海岸带脆弱性评价指标权重综合确定方法 [J]. 海洋环境科学, 2015, 34(3): 462-467.
- [13] 鲍新中, 张建斌, 刘澄. 基于粗糙集条件信息熵的权重确定方法 [J]. 中国管理科学, 2009, 17(3): 131-135.
- [14] 李德毅, 刘常昱. 论正态云模型的普适性 [J]. 中国工程科学, 2004, 6(8): 28-33.
- [15] 李海林, 郭崇慧, 邱望仁. 正态云模型相似度计算方法 [J]. 电子学报, 2011, 39(11): 2561-2567.
- [16] F S Naneh Karan, S Chakraborty. Dynamics of a Repulsive Voter Model [J]. IEEE Transactions on Computational Social Systems. USA: IEEE, 2016: 13-22.
- [17] Naseri H, A Nahvi, F Salimi Naneh Karan. A new psychological methodology for modeling real-time car following maneuvers [J]. Travel Behavior and Society (S2214-367X), 2015, 2(2): 124-130.
- [18] Xiaojun Yang, Liaoliao Yan, Luan Zeng. How to handle uncertainties in AHP: The Cloud Delphi hierarchical analysis [J]. Information Sciences (S0020-0255), 2013, 222(3): 384-404.