

# 基于数据挖掘和海流要素的船舶导航改进研究

苏娜, 李晓岩

(青岛黄海学院, 山东青岛 266555)

**摘要:** 研究数据挖掘和海流要素的船舶导航改进方法, 改善由于未考虑海流对船舶航行的影响, 导致船舶导航应用性较差的缺陷。利用 K-means 聚类算法挖掘大型海洋环境数据库中的海流要素。建立船舶导航路径规划全局坐标系的环境感知模型, 依据所建立环境感知模型确定船舶期望速度以及船舶转角, 确定船舶导航的期望位姿。为了提升船舶导航性能, 利用船舶定位校正方法改进船舶导航。船舶定位校正方法利用数据挖掘获取的海流要素, 与船舶经纬度结合, 校正船舶定位, 利用校正后船舶定位结果实现船舶导航改进。

**关键词:** 数据挖掘; 海流要素; 船舶导航; K-means; 环境感知模型; 船舶定位校正

中图分类号: U661 文献标识码: A

文章编号: 1672-7649(2022)11-0169-04 doi: 10.3404/j.issn.1672-7649.2022.11.035

## Research on ship navigation improvement based on data mining and ocean current elements

SU Na, LI Xiao-yan

(Qingdao Huanghai University, Qingdao 266555, China)

**Abstract:** The ship navigation improvement method of data mining and ocean current elements is studied, and the defect of poor ship navigation applicability is caused by not considering the influence of ocean current on ship navigation. The K-means clustering algorithm is used to mine ocean current elements in a large marine environment database. The environment perception model of the global coordinate system of ship navigation path planning is established, and the expected speed of the ship and the ship's turning angle are determined according to the established environment perception model, and the desired position and attitude of the ship's navigation is determined. In order to improve the ship navigation performance, the ship positioning correction method is used to improve the ship navigation. The ship positioning correction method uses the current elements obtained by data mining, combined with the longitude and latitude of the ship, to correct the ship positioning, and uses the corrected ship positioning results to improve the ship navigation.

**Key words:** data mining; ocean current elements; ship navigation; K-means; environment perception model; ship positioning correction

## 0 引言

船舶在海洋环境中航行时, 需要充分考虑海洋气候变化以及海流要素变化<sup>[1]</sup>。海流要素影响船舶航行时的方向以及速度, 船舶在复杂航道中航行时, 容易出现偏离航线情况, 航线偏离容易造成航海事故。海流是海洋环境信息中对船舶航行影响极大的因素。海洋横流作用较大时, 船舶与预先设置的导航方向偏离<sup>[2]</sup>, 影响船舶行驶。船舶行驶的海洋环境存在较高随机性, 船舶航行时间和航行空间并不固定, 从大型海洋环境数据库中挖掘船舶航行区域的海流要素, 提升海洋环境数据库的数据可靠性<sup>[3]</sup>, 满足船舶导航需求。船舶航行方向与海流方向存在较高一致性时, 有利于

提升船舶航行速度, 节约船舶航行燃料, 缩短船舶航行时间<sup>[4]</sup>。海流要素包括地形要素、气象要素以及时空尺度等众多要素。船舶航行的海洋地形复杂度较高时, 海流出现涡旋等情况时, 提升了海流要素的预报难度<sup>[5]</sup>。利用数据挖掘方法获取海流要素的相关数据, 明确船舶航行海域的海流变化, 对于制定船舶导航决策具有较高的指导作用。

数据挖掘方法是挖掘海量数据中有用数据的重要方法, 利用数据挖掘方法从大型海洋环境数据库中挖掘海流要素, 获取船舶航行区域的海流变化信息<sup>[6]</sup>, 将所挖掘海流要素作为船舶导航决策依据, 精准定位船舶, 保证船舶的航行安全。目前针对船舶导航的研

收稿日期: 2022-01-19

作者简介: 苏娜(1980-), 女, 硕士, 副教授, 主要从事计算机技术研究。

究众多, 庞玺斌等<sup>[7]</sup>针对船舶导航系统误差进行研究, 降低了船舶导航误差, 提升船舶导航精度; 张崇猛等<sup>[8]</sup>将因子图应用于船舶导航系统中, 改善船舶导航仅采用路径信息导致, 导航精度差的缺陷。以上 2 种方法虽然可以提升船舶导航性能, 但是由于未考虑船舶航行过程中受海流影响, 导致船舶航行方向以及航行速度变化的缺陷, 应用性较差。针对以上 2 种导航方法存在的缺陷, 研究基于数据挖掘和海流要素的船舶导航改进方法, 利用数据挖掘方法挖掘船舶航行区域的海流要素, 将挖掘结果应用于船舶导航改进中, 通过船舶导航改进, 提升船舶行驶安全性。

### 1 海流要素的船舶导航改进

#### 1.1 K-means 聚类的海洋要素挖掘算法

K-means 聚类算法包括迭代和重定位两部分, 通过迭代过程计算数据集中的各样本点的间距, 将样本划分至与样本距离最短的簇内, 利用依据距离对样本的初始划分结果, 实现数据集的初步聚类; 通过重定位过程, 更新所划分各簇的聚类中心<sup>[9]</sup>, 将与该类别相近的样本点划分至更新后的类别中。重复以上过程, 直至聚类中心为固定情况时, 终止聚类。利用 K-means 聚类算法对大型海洋环境数据库进行数据挖掘, 海流要素挖掘过程如图 1 所示。

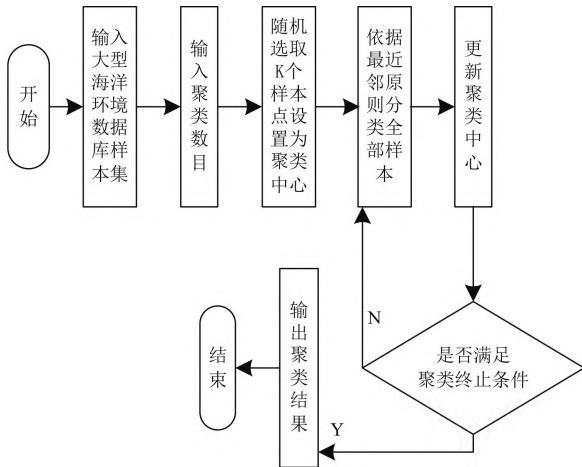


图 1 K-means 聚类算法流程图

Fig. 1 Flow chart of K-means clustering algorithm

可知, 在大型海洋环境数据库中随机选取数量为  $K$  的初始聚类中心, 计算大型海洋环境数据库中全部样本点的距离, 依据最近邻原则, 将大型海洋环境数据库中的样本划分至相应簇中。通过迭代过程更新所划分各簇的聚类中心, 直至大型海洋环境数据库中聚类中心不再更新为止, 终止聚类<sup>[10]</sup>, 输出聚类结果。通过 K-means 聚类算法获取的海洋要素挖掘结果中, 相同类别内的样本点距离应最小, 差异类别的样本点距离较大。K-means 聚类算法中, 划分大型海洋环境数据库中样本点的欧式距离表达式如下:

$$d(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (x_i - x_j)^2}, \quad (1)$$

式中,  $d(x_i, x_j)$  表示大型海洋环境数据库中样本点  $x_i$  与样本点  $x_j$  的欧式距离。

利用欧式距离衡量大型海洋环境数据库中样本点间的间距。样本与样本间的欧式距离越小时, 表示 2 个样本具有较高的相似性, 否则则表示样本点间的相似性较小。利用样本与样本间的欧式距离, 完成大型海洋环境数据库内样本的初步划分。划分后获取的数据集中平均样本距离表达式如下:

$$MeanDist(D) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m d(x_i, x_j) / C_n^2, \quad (2)$$

式中:  $n$  与  $C_n^2$  分别表示数据集  $D$  内包含的样本数量以及数据集  $D$  内随机 2 个样本点可以形成的组合数量。

通过聚类算法挖掘海洋要素获取的数据集  $D$  误差平方和表达式如下:

$$E = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in c_i} d(x, c_i)^2. \quad (3)$$

式中:  $K$  与  $c_i$  分别表示通过聚类获取的簇的数量以及簇的聚类中心;  $d(x, c_i)$  表示完成划分的样本点与聚类中心的相似程度。

通过所获取的  $S$  值衡量完成划分后各海洋要素数据集中样本点的密集程度。

#### 1.2 基于海流要素的船舶导航

研究船舶导航问题时, 需要建立船舶导航的环境感知模型, 利用所建立的环境感知模型进行船舶航行的路径规划实现船舶导航。船舶导航过程中的障碍物信息获取极为重要<sup>[11]</sup>, 选取声呐作为船舶导航的感知水下环境的重要工具, 利用罗经仪获取船舶坐标信息, 建立船舶导航的路径规划全局坐标系的环境感知模型表达式如下:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \delta & -\sin \delta \\ \sin \delta & \cos \delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_s \\ y_s \end{bmatrix}. \quad (4)$$

式中:  $X, Y$  表示局部坐标系中障碍物坐标;  $x, y$  与  $\delta$  分别表示随体坐标系下船舶位置以及船舶首向角;  $x_s, y_s$  表示随体坐标系下障碍物位置。

可得船舶在局部坐标系下的位置更新表达式如下:

$$\begin{bmatrix} x_{t+1} \\ y_{t+1} \end{bmatrix} = V \begin{bmatrix} x_t \\ y_t \end{bmatrix} + V \begin{bmatrix} \cos \gamma \\ \sin \gamma \end{bmatrix} \Delta t + \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \Delta t. \quad (5)$$

式中,  $\gamma$  与  $\Delta t$  分别表示船舶航向角以及船舶航行的时间间隔;  $V$  表示船舶航行速度;  $x_t, y_t$  与  $x_{t+1}, y_{t+1}$  分别表示时间为  $t$  以及  $t+1$  时的船舶位置。

考虑海流要素对船舶导航的影响, 船舶导航控制的速度计算公式如下:

$$\begin{bmatrix} u_r \\ v_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_a \\ v_a \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}. \quad (6)$$

式中:  $u_r, v_r$  与  $u_a, v_a$  分别表示考虑海流要素时船舶航行的水平速度分量以及船舶满足期望位姿时所需的水平速度分量;  $u$  与  $v$  分别表示船舶航道海流的东分量以及北分量。

船舶导航中的期望速度以及转角表达式如下:

$$v_z = \sqrt{u_r^2 + v_r^2}, \quad (7)$$

$$\mu = \arctan v_z - \delta. \quad (8)$$

通过以上过程可知, 船舶导航需要获取关键航点的位置信息, 利用船舶航行的环境信息以及海流要素, 确定当前船舶位姿状态<sup>[12]</sup>, 完成船舶航行的环境感知。基于海流要素的船舶导航流程图如图 2 所示。可知, 船舶导航中船舶位姿的确定极为重要。利用声呐感知船舶行驶航线的环境信息, 判断船舶前进方向是否存在障碍物。

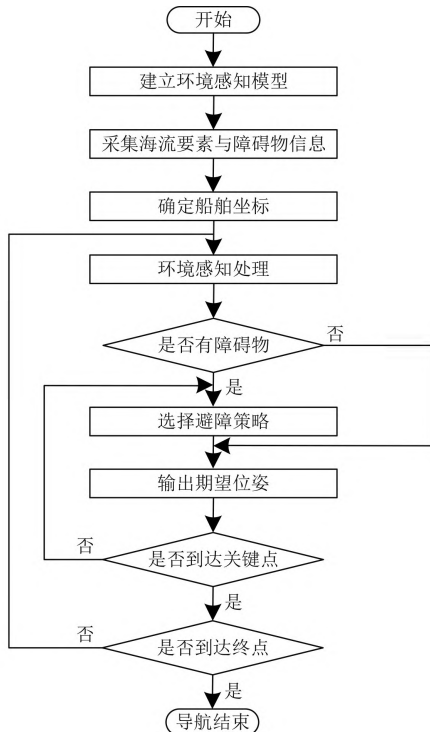


图 2 海流要素的船舶导航流程图

Fig. 2 Flow chart of ship navigation with ocean current elements

### 1.3 船舶定位校正的船舶导航改进

为了提升船舶导航性能, 利用船舶定位校正方法对船舶导航进行改进。通过数据挖掘方法获取的船舶航道海流流量东分量、北分量以及流速等海流要素, 与船舶经纬度、航行时间结合, 对船舶定位进行校

正, 提升船舶导航性能。利用牛顿定律体现船舶运动表达式如下:

$$\bar{F} = m d\bar{V}/dt. \quad (9)$$

式中:  $m$  与  $\bar{V}$  分别表示船舶质量以及航速;  $\bar{F}$  表示船舶航行过程中受到的总的作用力。

船舶在航道行驶时, 船舵和螺旋桨受到海流作用的反作用力。利用水动力模型体现船舶航行过程中, 运动参数与船舶总作用力间的关系。航道海流要素中的水深与流速等因素与船舶受到的作用力影响较大。将航道的海流要素与操舵舵角和螺旋桨转速等众多外力结合, 建立船舶运动方程式如下:

$$\begin{cases} X = m\dot{u} - vr - mx_G r^2, \\ Y = m\dot{v} - ur - mx_G r^2, \\ N = I_Z \dot{r} + ur + mx_G v. \end{cases} \quad (10)$$

式中:  $X$  与  $Y$  表示船舶运动的相对惯性坐标中;  $x$  轴与  $y$  轴中的水动力分量;  $m$  与  $N$  分别表示船舶重量以及相对惯性坐标系的轴心力矩;  $I_Z$  表示船舶的惯性矩。

航道的海流力与力矩表达式如下:

$$\begin{cases} X_C = AV_C^2 (\rho G_{XC}) / 2, \\ Y_C = AV_C^2 (\rho G_{YC}) / 2, \\ N_C = AV_C^2 L (\rho G_{MC}) / 2. \end{cases} \quad (11)$$

式中:  $X_C$  与  $Y_C$  分别表示船舶沿  $x$  方向以及  $y$  方向受到的海流力;  $N_C$  表示船舶航行时围绕  $z$  轴的力矩;  $\rho$  与  $L$  分别表示海水密度以及船体长度;  $V_C$  与  $A$  分别表示海流流速以及水线长度乘吃水;  $G_{XC}, G_{YC}$  与  $G_{MC}$  分别表示船舶沿  $x$  方向以及  $y$  方向海流力系数以及力矩系数。

利用近似方法处理船舶航行水面以及进水面, 获取船舶运动过程中, 船体与海流的相对运动状况。船舶航行过程中利用一阶非线性微分方程表达式如下:

$$\frac{dy}{dt} = F(y, w(t)) \quad (12)$$

利用改进的龙格-库塔法处理式 (12), 获取考虑海流要素情况下, 船舶航行过程中受海流影响, 形成的船舶经度与纬度变化表达式如下:

$$L_j(n+1) = L_j(n) + u(n) + (R * \cos L_w(n)) / dt, \quad (13)$$

$$L_w(n+1) = L_w(n) + v(n) R / dt. \quad (14)$$

式中:  $R$  与  $dt$  分别表示地球半径以及时间步长;  $R * \cos L_w(n)$  表示纬度为  $L_w(n)$  时的经度圈半径。

通过以上过程, 利用数据挖掘算法挖掘的海流要素, 获取船舶航行过程中的实际坐标, 实现船舶定位的校正, 将校正后的船舶坐标, 代入船舶导航流程中, 完成船舶导航的改进, 提升船舶导航精度。

## 2 实验结果与分析

本文方法挖掘海洋要素的挖掘结果如表 1 所示。可知，采用本文方法可以有效挖掘影响船舶导航性能的海洋要素，所挖掘的海洋要素可以作为船舶导航的数据基础。

表 1 海洋要素挖掘结果

Tab. 1 Mining results of marine elements

监测点 序号	海流流速/ cm·s <sup>-1</sup>	海流流速东 分量/cm·s <sup>-1</sup>	海流流速北 分量/cm·s <sup>-1</sup>	海水密度/ g·cm <sup>-3</sup>	海水盐 度/psu
1	10.85	11.52	9.85	1.05	27.85
2	11.64	10.52	9.52	1.04	28.64
3	13.28	12.64	13.85	1.04	27.52
4	23.85	24.68	22.58	1.05	29.12
5	31.85	30.52	32.58	1.04	28.46
6	8.64	7.94	8.16	1.03	27.85
7	7.84	7.68	7.15	1.04	28.64
8	9.58	9.67	9.15	1.04	28.16
9	13.64	13.18	13.85	1.04	28.67
10	14.56	14.76	13.85	1.05	28.94

统计采用本文方法挖掘海流要素的调整兰德系数和调整互信息系数，统计结果如图 3 所示。可知，采用本文方法挖掘影响船舶导航的海洋要素，挖掘结果的调整兰德系数和调整互信息系数均高于 0.5，实验结果验证本文方法采用 K-means 聚类算法具有较高的数据挖掘性能，可以有效挖掘大型海洋环境数据库的海洋要素，为船舶导航提供有效的数据基础。

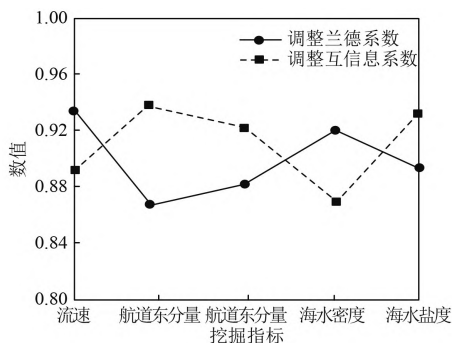


图 3 本文方法挖掘性能

Fig. 3 Mining performance of our method

依据挖掘的海洋要素，获取研究海域在船舶航行时间内的海流流速数据如图 4 所示。海流流速是影响船舶航行方向以及航行速度的重要因素。本文方法可以获取船舶航行区域的海流流速，为利用船舶定位校正对船舶导航进行改进提供重要的依据。

利用船舶定位校正，提升船舶导航性能。统计本文方法的船舶定位校正结果，统计结果如图 4 所示。可知，采用本文方法校正后的船舶定位结果与实际船

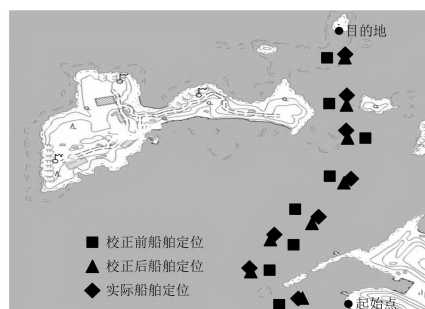


图 4 船舶定位校正结果

Fig. 4 Ship positioning correction results

舶定位结果更加接近，说明采用本文方法可以有效利用海洋要素实现船舶定位校正，本文方法利用海洋要素校正船舶定位可提升船舶导航性能。

## 3 结 语

海流要素对船舶航行方向以及航行速度影响较大，利用海流要素对船舶导航进行改进，提升船舶导航性能。海流要素应用于船舶导航中，有效降低仅采用罗经以及计程仪等设备对船舶导航定位精度的影响，利用海流要素降低船舶定位误差，提升船舶的导航精度。利用船舶导航改进，为船舶安全航行、缩短船舶航行时间提供决策支持。

## 参考文献:

- [1] 周春辉, 黄弘逊, 易晚霞, 等. 桥区河段原油船队航行仿真方法研究 [J]. 系统仿真学报, 2021, 33(3): 690–697.
- [2] 张进峰, 朱学秀, 彭斯杨. 基于历史航次信息的船舶典型轨迹 [J]. 中国航海, 2021, 44(3): 39–43+50.
- [3] 滕菲, 单麒麟, 李铁山. 智能船舶综合能源系统及其分布式优化调度方法 [J]. 自动化学报, 2020, 46(9): 1809–1817.
- [4] 刘佳仑, 杨帆, 马枫, 等. 智能船舶航行功能测试验证的方法体系 [J]. 中国舰船研究, 2021, 16(1): 45–50.
- [5] 王凤武, 尹忠勋, 徐翌森, 等. 船舶大风浪航行安全评价方法综述 [J]. 安全与环境学报, 2021, 21(2): 475–482.
- [6] 黄帅. 船用惯性导航设备缓冲系统设计 [J]. 机床与液压, 2021, 49(22): 133–136.
- [7] 庞玺斌, 梁成程, 张闯. 一种船舶组合导航系统混合误差模型及应用 [J]. 航海工程, 2020, 49(5): 127–132.
- [8] 张崇猛, 邓福建, 杨涛, 等. 基于因子图的船用导航系统信息融合算法 [J]. 中国惯性技术学报, 2020, 28(4): 448–455.
- [9] 方涛, 黄卫权, 王宗义. 船用极区格网惯性导航系统综合校正方法 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2020, 52(4): 58–65.
- [10] 谢鸿伟, 张英俊, 邢胜伟, 等. 基于模型预测控制的船舶自主避碰方法 [J]. 船舶工程, 2021, 43(8): 23–28+95.
- [11] 陈志超, 薛圻蒙, 罗凯, 等. 基于改进 LOS 导航算法的智能船舶自动靠泊控制研究 [J]. 中国航海, 2021, 44(2): 126–133.
- [12] 吴晓明. 船用北斗导航系统终端定位性能的检测验证 [J]. 中国航海, 2020, 43(4): 89–93+115.