

海流影响下舰船航行最优路径规划的数学模型构建

原二保^{1,2}

(1. 山西大学, 山西太原 030060; 2. 山西建筑职业技术学院, 山西太原 030060)

摘要: 针对舰船航行过程中受到海上环境的影响, 最优路径缺乏准确度, 以提高舰船航行最优路径规划性能为目的, 提出了海流影响下舰船航行最优路径规划的数学模型构建。在海流影响下, 通过引入概率密度函数, 计算舰船航行过程中航速和航向变化量, 采用极大似然估计对舰船航速和航向的期望和方差进行似然估计, 获取了舰船的航向航速信息, 通过对舰船航行最优路径进行数学建模, 实现了舰船航行最优路径的规划。实验结果表明, 海流影响下舰船航行最优路径规划的数学模型在规划舰船航行最优路径时, 缩小最优路径规划误差的同时, 还缩短了规划时间, 具有更高的舰船航行最优路径规划性能。

关键词: 海流影响; 舰船航行; 最优路径规划; 数学模型

中图分类号: TP242 文献标识码: A

文章编号: 1672-7649(2020)10A-0028-03 doi: 10.3404/j.issn.1672-7649.2020.10A.010

Mathematical model construction of optimal route planning for ship navigation under the influence of current

YUAN Er-bao^{1,2}

(1. Shanxi University, Taiyuan 030060, China; 2. Shanxi Architectural College, Taiyuan 030060, China)

Abstract: In order to improve the performance of ship navigation optimal path planning, a mathematical model of ship navigation optimal path planning under the influence of current is proposed. Under the influence of current, the change of ship's speed and course is calculated by introducing probability density function. The expectation and variance of ship's speed and course are estimated by maximum likelihood estimation. The information of ship's course and speed is obtained. Through the mathematical modeling of ship's optimum route, the plan of ship's optimum route is realized. The experimental results show that the mathematical model of optimal path planning for ship navigation under the influence of current can reduce the error of optimal path planning, shorten the planning time, and have higher performance of optimal path planning for ship navigation.

Key words: current influence; ship navigation; optimal path planning; mathematical model

0 引言

舰船航行最优路径规划是船舶海上航行过程中必不可少的一个环节, 对舰船航行自动化和优化航线设计具有重要意义^[1]。刘满霞等^[2]将时间维度引入到舰船通道网络中, 将遗传算法与人行走时间预测方法相结合, 获得了舰船通道全局最优路径, 通过仿真分析, 计算了行人之间的最短路径, 与不考虑人与人之间影响情况下的最优路径比较, 得到了该方法当舰船遇到障碍时的最短路径, 结合舰船航行最优路径的条件定

理, 验证了该方法的有效性; 李根等^[3]先对最优路径工作场景建立了环境地图模型, 借助蚁群算法搜索出工作区域内的全局最优路径, 运用单因素分析法对蚁群算法的各个参数进行分析, 寻找到最优路径规划的参数组合, 仿真结果表明, 该算法可以在复杂环境中寻找到最优规划路径, 具有一定的可行性。

由于传统舰船航行最优路径规划数学模型经常出现计算程序复杂、鲁棒性差的问题, 本文在海流影响环境下, 构建了舰船航行最优路径规划数学模型, 以期提高舰船航行最优路径规划性能。

收稿日期: 2020-08-21

基金项目: 山西自然科学基金资助项目(2013LR013)

作者简介: 原二保(1965-), 男, 硕士, 副教授, 研究方向为应用数学。

1 舰船航行最优路径规划的数学模型构建方法设计

1.1 获取舰船的航向航速信息

由于舰船在海上的航速和航向信息具有一定的不确定性，在海流影响下根据传感器获取的舰船在 $t = i - 1$ 和 $t = i$ 两个时刻的具体位置信息，计算出舰船在 $t = i$ 时刻的航行速度信息。假设舰船的航速和航向都有一个范围，令舰船航速和航向分别为 $[v_{\min}, v_{\max}]$ 、 $[\theta_{\min}, \theta_{\max}]$ ，同时假设舰船航行在不同时间周期 Δt 内，航速和航向都会发生改变，当 $t \geq 0$ 时，存在：

$$\begin{aligned} v(t + \Delta t) &= v(t) + \Delta v, \\ \theta(t + \Delta t) &= \theta(t) + \Delta \theta. \end{aligned} \quad (1)$$

式中： $v(t)$ ， $\theta(t)$ 分别表示 t 时刻舰船的航速和航向； $v(t + \Delta t)$ ， $\theta(t + \Delta t)$ 分别表示 $t + \Delta t$ 时刻的舰船航速和航向，航速和航向的变化量满足正态分布。

舰船航行过程中航速和航向变化量的概率密度函数表示为：

$$p(\Delta v) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\Delta v}^2}} \exp\left(-\frac{(\Delta v - \mu_{\Delta v})^2}{2\sigma_{\Delta v}^2}\right), \quad (2)$$

$$p(\Delta \theta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\Delta \theta}^2}} \exp\left(-\frac{(\Delta \theta - \mu_{\Delta \theta})^2}{2\sigma_{\Delta \theta}^2}\right). \quad (3)$$

式中： $\mu_{\Delta v}$ ， $\sigma_{\Delta v}$ 分别表示舰船航速变化量的均值和方差； $\mu_{\Delta \theta}$ ， $\sigma_{\Delta \theta}$ 分别表示舰船航向变化量的均值和方差。

利用海上远距离传感器获得舰船航行位置的具体信息 (x, y) ，计算出舰船航行的航速和航向信息，采用极大似然估计对舰船航速 Δv 和航向 $\Delta \theta$ 的期望和方差进行似然估计，得到：

$$\hat{\mu}_{\Delta v} = \overline{\Delta v}, \quad \hat{\sigma}_{\Delta v}^2 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (\Delta v(t) - \overline{\Delta v})^2, \quad (4)$$

$$\hat{\mu}_{\Delta \theta} = \overline{\Delta \theta}, \quad \hat{\sigma}_{\Delta \theta}^2 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (\Delta \theta(t) - \overline{\Delta \theta})^2. \quad (5)$$

1.2 规划舰船航行最优路径

在获取舰船航向航速信息的基础上，对舰船航行最优路径进行数学建模，具体步骤为：

步骤 1 用 S 表示模型的解空间，共存在 m 个区域，解空间的取值范围为 $[\xi_{\min}, \xi_{\max}]$ ， λ 表示解空间的长度，舰船航行最优路径的最小和最大适应度函数为 f_{\min} 和 f_{\max} ，计算公式为：

$$\begin{cases} \xi_{\min} = (1 - \delta)f_{\min} \\ \xi_{\max} = (1 + \delta)f_{\max} \\ \lambda = \xi_{\max} - \xi_{\min} \end{cases}, \quad (6)$$

式中， δ 表示常数，通常是正数。

步骤 2 舰船航行区域为 $\left[\xi_{\min} + \lambda \cdot \frac{i-1}{m}, \xi_{\min} + \lambda \cdot \frac{i}{m}\right]$ ，每个航行区域内舰船的数量为 M_i ，其中， $i = 1, 2, 3, \dots, m$ 。

步骤 3 舰船在第 i 个航行区域内出现的概率为 p_i ，计算公式为：

$$p_i = \frac{M_i}{m}. \quad (7)$$

步骤 4 根据步骤 3 计算得到的 p_i 值，得到舰船航行最优路径的熵值，表示为：

$$H_t = - \sum_{i=1}^N p_i \lg p_i. \quad (8)$$

根据舰船航行最优路径数学建模的具体步骤，得到舰船航行最优路径规划流程如图 1 所示。

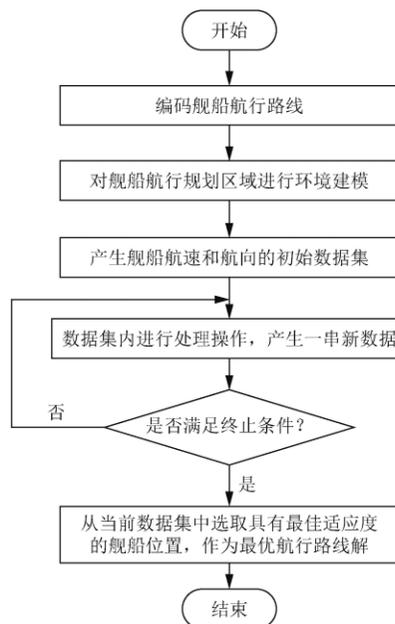


图 1 舰船航行最优路径规划流程图

Fig. 1 Flow chart of optimal route planning for ship navigation

综上所述，在海流影响下，获取了舰船的航向航速信息，通过对舰船航行最优路径进行数学建模，实现了舰船航行最优路径的规划。

2 实验对比分析

2.1 设定测试参数

对海流环境下舰船航行最优路径规划的数学模型进行实验测试，实验参数如表 1 所示。

表 1 试验参数
Tab. 1 Experimental parameters

测试模型	本文模型	文献[2]	文献[3]
实验工具	Math0728	Math0728	Math0728
求解次数	50	50	50
代数设定	15	15	15
起始坐标	(0, 0)	(0, 0)	(0, 0)
目的地坐标	(130.5, 29.2)	(130.5, 29.2)	(130.5, 29.2)

2.2 舰船航行最优路径规划误差对比试验

在表 1 实验参数的基础上，分别采用考虑多人相互影响的舰船通道最短路径规划^[2]、基于蚁群算法的最优路径规划^[3]以及海流影响下舰船航行最优路径规划数学模型，进行舰船航行最优路径规划误差对比试验，实验结果如图 2 所示。可以看出，与文献 [2] 和文献 [3] 模型相比，本文所设计模型可以提前获取舰船航行的航向和航速信息，可以把握好每一个坐标位置信息，从而缩小了规划误差。

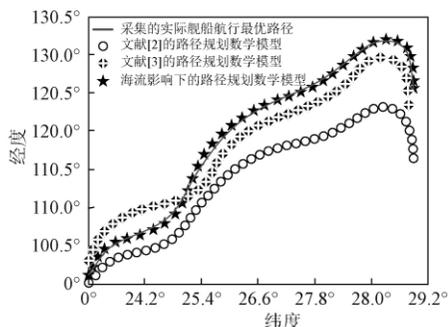


图 2 舰船航行最优路径规划误差对比结果
Fig. 2 Error comparison results of optimal route planning for ship navigation

2.3 舰船航行最优路径规划时间对比试验

在表 1 实验参数的基础上，分别采用文献 [2] 模型、文献 [3] 模型以及海流影响下舰船航行最优路径规划数学模型，进行舰船航行最优路径规划时间对比试

验，实验结果如图 3 所示。可以看出，随着迭代次数的增加，与文献 [2]、文献 [3] 模型相比，本文所设计模型的规划时间最短。

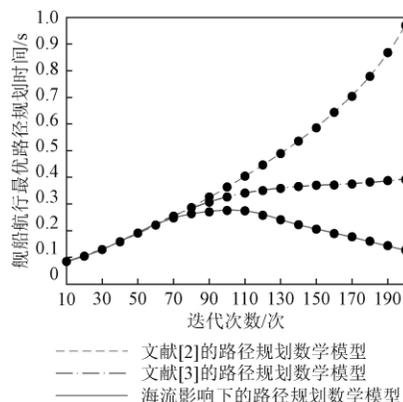


图 3 舰船航行最优路径规划时间对比结果
Fig. 3 Comparison results of optimal path planning time for ship navigation

综合以上实验结果，海流影响下舰船航行最优路径规划数学模型在最优路径规划误差和时间方面具有一定优势。

3 结 语

本文提出了海流影响下舰船航行最优路径规划的数学模型构建，结果显示海流影响下舰船航行最优路径规划数学模型在规划最优路径时，具有一定的规划性能优势。但是在今后的研究中要消除海上环境因素带来的影响。

参考文献:

[1] 杜明树, 许劲松. 无人帆船长途路径规划研究 [J]. 船舶工程, 2018, 40(4): 24-27+97.
 [2] 刘满霞, 程远胜, 张攀. 考虑多人相互影响的舰船通道最短路径规划 [J]. 中国造船, 2015(2): 185-192.
 [3] 李根, 李航, 张帅阳, 等. 基于蚁群算法的最优路径规划及参数研究 [J]. 中国科技论文, 2018, 13(16): 1909-1914.