

# 改进蚁群算法的无人救生船航迹规划

邱晨<sup>1,2</sup>, 周海峰<sup>1,2</sup>, 王荣杰<sup>1,2</sup>, 林忠华<sup>3</sup>

(1. 集美大学轮机工程学院, 福建 厦门 361021; 2. 福建省船舶与海洋工程重点实验室, 福建 厦门 361021; 3. 集美大学机械与能源工程学院, 福建 厦门 361021)

[摘要] 为了缩短无人救生船从出发点到险情发生点所需时间, 需要规划一条无碰撞的安全航行路径。针对当前路径规划中存在的问题, 提出一种考虑时间优化的改进蚁群算法, 将该算法应用于无人救生船航迹优化, 建立了无人船在航行过程中的时间模型, 得到无人救生船航行路径的时耗计算公式, 改变了信息素更新方式。仿真结果表明, 与传统蚁群算法相比, 改进后的算法能有效降低航行时间。

[关键词] 蚁群算法; 时间; 无人救生船; 航迹规划

[中图分类号] U 664.82

## Track Planning of Unmanned Lifeboat Based on Improved Ant Colony Algorithm

QIU Chen<sup>1,2</sup>, ZHOU Haifeng<sup>1,2</sup>, WANG Rongjie<sup>1,2</sup>, LIN Zhonghua<sup>3</sup>

(1. School of Marine Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China;

2. Key Laboratory of Naval Architecture and Ocean Marine Engineering of Fujian Province, Xiamen 361021, China;

3. School of Mechanical and Energy Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China)

**Abstract:** The time required for an unmanned lifeboat from the point of departure to the point of occurrence of the danger is one of the important factors for the successful completion of a rescue mission. Aiming at the problem that the current path planning mainly focuses on the length of the path rather than the length of time, an improved ant colony algorithm factoring time optimization is proposed for the track optimization of unmanned lifeboats. The time model of the unmanned ship sailing process is established, and the time consumption calculation formula of the unmanned ship's navigation path is obtained. An improved ant colony algorithm for time optimization is proposed to change the pheromone update mode. The simulation results show that the improved algorithm can effectively reduce the navigation time compared with the traditional ant colony algorithm.

**Keywords:** ant colony algorithm; time; unmanned lifeboat; track planning

## 0 引言

无人船航迹规划是规划出一条从起始点到目标点的无碰撞安全路径。良好的航迹规划可以保障较

[收稿日期] 2019-02-21

[基金项目] 国家自然科学基金项目(51179074); 福建省自然科学基金项目(2018J01495); 福建省高校重点实验室项目(B17119); 集美大学科研启动基金项目(ZQ2013007)

[作者简介] 邱晨(1993—), 女, 硕士生, 从事仿生无人船的测控研究。通信作者: 周海峰(1970—), 博士, 教授, 硕导, 主要从事智能信息处理、光机电一体化和仿生机理以及节能等方面的研究。E-mail: 15259884291@163.com

短的航行时间, 对于用于救援的无人船, 从停泊位置到险情发生地所耗费的时间是保障任务顺利完成的关键因素。因此, 研究无人救生船航迹规划具有重要意义。

目前大部分学者对于路径规划的研究主要集中在机器人与无人机等领域, 将经典的规划算法如人工势场法<sup>[3]</sup>、可视图法<sup>[4]</sup>、A\* 算法<sup>[5]</sup>等用于解决路径规划问题, 随着智能优化技术的发展, 一些学者提出将智能算法运用于路径规划, 其中包括遗传算法<sup>[6-7]</sup>、模拟退火算法<sup>[8]</sup>、粒子群算法<sup>[9-10]</sup>、人工鱼群算法<sup>[11]</sup>及蚁群算法<sup>[12-13]</sup>等。

目前航迹规划问题的研究大部分以路径长度为优化评价标准。文献 [14] 针对蚁群算法收敛速度慢、早熟等问题, 采用基于不限步长原则的启发式信息, 动态调整挥发系数, 扩大搜索范围, 使解朝着路径最短的方向收敛。文献 [15] 提出一种多阶段最短路径模型, 将影响潜艇航行的因素使用对应公式加权到实际距离中, 从而形成加权距离, 以求解潜艇最短航路。由于人工绘制航线存在许多缺陷, 考虑到传统蚁群算法效率低, 且易陷入局部最优解, 文献 [16] 提出一种改进蚁群算法, 用于规划舰船航线, 通过改进信息素更新机制, 加强蚁群算法寻优策略, 在传统蚁群算法每次迭代中增加目标函数最优值对应路径上的信息素量, 同时减弱目标函数最差值对应路径上的信息素量, 为舰船设计出一条路径最短的航线。

基于目前大部分文献尚未考虑速度变化, 默认最短路径即为最优时间的问题, 本文提出考虑速度变化, 以所需时间为目标函数, 建立无人船航行运动的时间模型, 得到无人船航迹的总时间, 提出一种改进蚁群算法, 该算法将时间启发因子引入到路径选择概率中, 改变信息素的更新方式, 使航迹向时间最短的方向优化。

# 1 模型建立与时耗计算

## 1.1 栅格法环境建模

首先设置无人救生船的航行环境为二维平面模型, 使用栅格法<sup>[17]</sup>构建无人船航行区域。考虑到无人船的尺寸问题, 以船舶长度的一半为标准, 将障碍物边界向外扩充, 故可将栅格环境下航行的无人船视为质点。若障碍物只占网格单元的部分, 则认为其充满于整个网格单元。

栅格的状态一般分为两种, 若网格单元内有障碍物, 则称其为障碍栅格, 以黑色表示, 否则称其为自由栅格, 以白色表示。无人船在航行过程中, 栅格的尺寸大小不变且障碍物处于静止状态。

在本文的研究中, 将栅格地图划分为  $A \times A$  个网格单元, 假定每个栅格的单位长度为  $a$ , 按照从左到右, 从上到下的顺序, 依次对每个栅格进行编码, 使每个栅格获得相应序号。以栅格地图的左下角为坐标原点, 横向表示  $X$  轴, 纵向表示  $Y$  轴, 标记每个栅格中心位置的坐标点, 坐标  $(x, y)$  与序号  $i (i = 1, 2, \dots, A \times A)$  的关系如式 (1) 所示。

$$\begin{cases} x = a \times (\text{mod}(i, A) - 0.5); \\ y = a \times (A + 0.5 - \text{ceil}(i/A))。 \end{cases} \tag{1}$$

由于  $x, y$  均为正值, 式中若出现  $x = -0.5$  时, 则令  $x = A - 0.5$ 。其中:  $\text{mod}$  表示 Matlab 中取余函数;  $\text{ceil}$  表示 Matlab 中向上取整函数。

如图 1 所示, 假设无人船当前节点位置为  $i$ , 对应坐标为  $(x_i, y_i)$ , 网格单元为米字相邻, 则无人船下个节点  $j$  有 8 个可选位置。当前节点位置到下一节点位置的距离  $L_{ij}$  定义为

$$L_{ij} = \begin{cases} a & x_i = x_j \text{ 或 } y_i = y_j; \\ \sqrt{2}a & \text{否则。} \end{cases} \tag{2}$$

假设前一个节点位置为  $h$ , 当前节点位置为  $i$ , 下一节点位置为  $j$ , 针对航行过程中速度变化问题, 假定上节点到当前节点航迹的后半段与当前节点到下一节点航迹的前半段的航速相同, 在每个节点  $i$  对应航速所航行的距离  $d_i$  定义为

$$d_i = \begin{cases} L_{ij}/2 & i \text{ 为起始点;} \\ L_{hi}/2 & i \text{ 为目的点;} \\ (L_{hi} + L_{ij})/2 & \text{否则。} \end{cases} \quad (3)$$

故从起始点到目的点的航迹距离  $D = \sum d_i$ 。

上一节点与到当前节点形成的直线与当前节点到下一节点形成的直线之间的夹角范围为  $[0, p_i)$ ，则两直线夹角  $\theta_{hij}$  定义为

$$\theta_{hij} = \begin{cases} 0^\circ & L_{hi} = L_{ij}, (j-i)/(i-h) = 1; \\ 45^\circ & L_{hi} \neq L_{ij} |j-h| \neq 1, |j-h| \neq A; \\ 90^\circ & L_{hi} = L_{ij} (j-i)/(i-h) \neq 1; \\ 135^\circ & L_{hi} \neq L_{ij} |j-h| = 1 \text{ 或 } |j-h| = A. \end{cases} \quad (4)$$

其中:  $A$  为每行栅格个数;  $\theta_{hij} = 0^\circ$  表示无人船处于直行状态,  $\theta_{hij}$  的值越大表示转弯角度越大。

## 1.2 航速建模

考虑到无人救生船实际行驶过程的复杂性, 为简化计算过程, 做如下假设。

1) 当无人船转弯时需要降低航速, 无人船的航速  $v$  定义为两种情况。

情况 1: 当  $\theta_{hij} = 0^\circ$  时,  $v_i = 15 \text{ kn}$ ; 当  $\theta_{hij} = 45^\circ$  时,  $v_i = 8.2 \text{ kn}$ ; 当  $\theta_{hij} = 90^\circ$  时,  $v_i = 4.5 \text{ kn}$ ; 当  $\theta_{hij} = 135^\circ$  时,  $v_i = 2.5 \text{ kn}$ 。

情况 2: 当  $\theta_{hij} = 0^\circ$  时,  $v_i = 25 \text{ kn}$ ; 当  $\theta_{hij} = 45^\circ$  时,  $v_i = 13.7 \text{ kn}$ ; 当  $\theta_{hij} = 90^\circ$  时,  $v_i = 7.6 \text{ kn}$ ; 当  $\theta_{hij} = 135^\circ$  时,  $v_i = 4.2 \text{ kn}$ 。

2) 上节点到当前节点航迹的后半段与当前节点到下一节点航迹的前半段的航速取决于当前节点位置上无人船的转弯运动情况。

3) 起始节点到下一节点航迹的前半段为直行航速, 目标节点到上一节点航迹的后半段为直行航速。

4) 无人船由直行状态航速转为转弯状态航速或由转弯状态航速转为直行状态航速时, 不考虑加速减速过程。

## 1.3 时耗计算

航行过程共分为三个阶段: 起始节点到下一节点航迹前半段的直行阶段; 直行航态与转弯航态的随机组合阶段; 目标节点到上一节点航迹后半段的直行阶段。无人救生船的航行过程由直行航态与三种不同转角的转弯航态组成。匀速航行过程的总时间为:

$$T = \sum t_i = \sum (d_i/v_i). \quad (5)$$

式中:  $t_i$  为第  $i$  个节点对应航迹的航行时间。

# 2 基于时耗最优的改进蚁群算法

## 2.1 传统的蚁群算法

蚁群算法作为一种自组织群体智能优化算法, 正反馈机理与较强的鲁棒性使其在求解组合优化问题中得到广泛地应用, 它模拟自然界中真实蚂蚁的觅食行为, 寻找一条从蚁巢 (起始点) 到食物源 (终止点) 的最短路径。在寻找食物的过程中, 蚂蚁会在其行走路径上释放信息素, 并根据信息素浓度大小决定下一步路径方向。由于蚂蚁倾向于选择信息素更强的路径, 若某一路径上蚂蚁所释放的信息素越多, 则蚂蚁选择该路径的可能性会越大。蚂蚁在觅食过程中根据当前节点与下一节点的距离及信息素浓度来决定下一节点的转移概率为

$$P_{ij}^k(t) = \begin{cases} [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta / \sum_{s \in \text{allowed}_k} [\tau_{is}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{is}(t)]^\beta & j \in \text{allowed}_k; \\ 0 & \text{否则。} \end{cases} \quad (6)$$

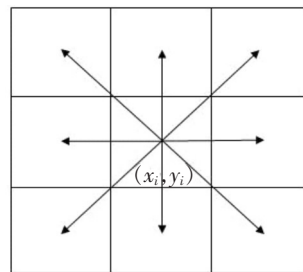


图 1 节点位置移动方式

Fig.1 Node position movement mode

式中:  $\tau_{ij}(t)$  为路径  $ij$  上的信息素浓度;  $\eta_{ij}(t)$  为与路径  $ij$  相关的启发式信息, 如式 (7) 所示;  $\alpha$  为信息素浓度启发因子;  $\beta$  为能见度启发因子,  $allowed_k$  中包含蚂蚁  $k$  尚未访问过的节点。

$$\eta_{ij} = 1/\varepsilon_{ij} \tag{7}$$

$\varepsilon_{ij}$  为节点  $i$  与下一节点  $j$  之间的欧式距离, 若两节点间的欧式距离越短, 则所对应能见度启发函数值越大, 对应转移概率也越大。

所有蚂蚁完成一次迭代后, 则更新每条路径上的信息素浓度, 信息素更新方式如式 (8) 所示。

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^M \Delta\tau_{ij}^k \tag{8}$$

式中:  $\rho$  为信息素挥发系数, 其值越大信息素挥发得越快;  $M$  为蚂蚁总数;  $\tau_{ij}(t+1)$  为第  $t+1$  次迭代时路径  $ij$  上的信息素浓度;  $\Delta\tau_{ij}^k$  为本次迭代中蚂蚁  $k$  留在路径  $ij$  上的信息素

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} Q/L_k & \text{蚂蚁 } k \text{ 经过路径 } ij; \\ 0 & \text{蚂蚁 } k \text{ 不经过路径 } ij. \end{cases} \tag{9}$$

式中:  $L_k$  为蚂蚁  $k$  完成路径搜索后行走的总长度;  $Q$  为一常数, 表示蚂蚁携带的信息素浓度因子。

2.2 改进蚁群算法

传统信息素更新由路径总长度决定, 由于本文提出的改进算法是基于时间优化的无人救生船航迹规划问题, 因此, 改进后信息素更新由路径总时间决定。

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} Q/T_k & \text{蚂蚁 } k \text{ 经过路径 } ij; \\ 0 & \text{蚂蚁 } k \text{ 不经过路径 } ij. \end{cases} \tag{10}$$

式中:  $T_k$  为蚂蚁  $k$  完成路径搜索后使用的总时间。

能见度启发函数采用文献 [18] 的启发式方法, 即将当前节点到下一节点的欧式距离改为下一节点到目标节点的欧式距离, 即  $\eta_{je} = 1/\varepsilon_{je}$  ( $\varepsilon_{je}$  为下一节点  $j$  与目标节点  $e$  之间的欧式距离)。

2.3 算法流程

基于本文提出的改进蚁群算法的无人救生船航迹规划步骤如下。

- Step 1: 初始化算法中的所有参数, 设置蚂蚁个数  $M$ , 最大迭代次数  $N$ , 起点位置  $S$  及终点位置  $E$ 。
- Step 2: 将所有蚂蚁置于起点位置, 创建禁忌表  $tabu$ , 并将起始点加入禁忌表中。
- Step 3: 根据转移概率选择下一可行节点, 将已走过的节点加入禁忌表, 如此循环至到达终点位置  $E$ , 一只蚂蚁完成一次路径搜索。
- Step 4: 当蚂蚁完成一次路径搜索后, 按照式 (8) 和式 (10) 进行信息素更新。
- Step 5: 判断是否达到最大迭代次数, 若是, 则输出最优路径, 若否, 则转向执行步骤 2。

3 仿真实验与分析

为了验证改进算法的可行性与有效性, 本文设定障碍物分布在全局静态  $20 \times 20$  的栅格矩阵中。在参数与环境完全相同的情况下, 利用 Matlab 分别对传统蚁群算法、文献 [16] 的改进蚁群算法与本文的改进蚁群算法进行仿真对比分析。

目前蚁群算法中主要参数的设定尚未有严格的理论依据<sup>[19]</sup>, 本文通过分析大量仿真实验数据, 得到一组适用于本文算法的较佳参数组合, 参数设置如下: 蚂蚁规模  $M = 50$  只; 最大迭代次数  $N = 150$ ; 信息素启发因子  $\alpha = 1$ ; 期望启发因子  $\beta = 5$ ; 信息素增加强度系数  $Q = 2000$ ; 信息素蒸发系数  $\rho = 0.6$ ; 单位栅格边长为  $100\text{ m}$ 。

根据航速建模假设情况 1 进行仿真实验, 图 2 为三种算法的无人船规划航迹图。表 1 为三种蚁群算法的仿真结果对比。

根据假设航速情况 2 进行仿真实验, 图 3 为三种算法的无人船规划航迹图, 表 1 为三种蚁群算法的仿真结果对比。



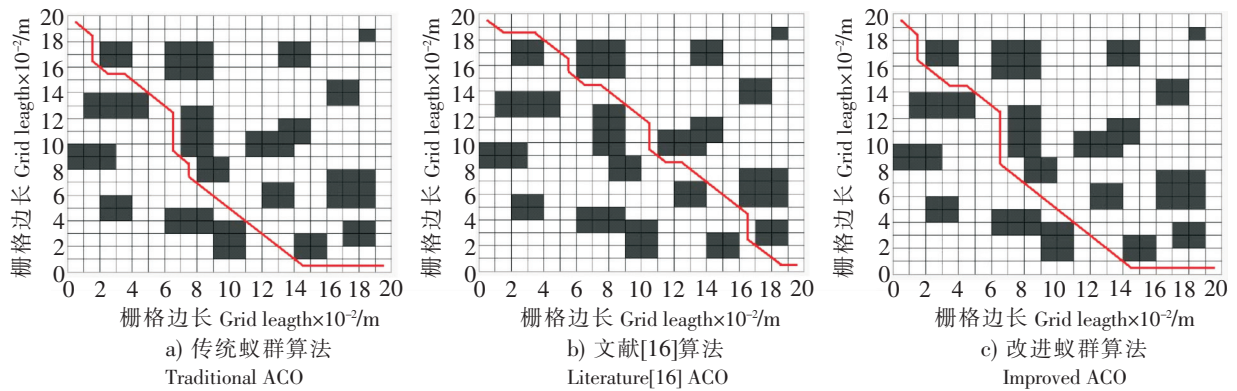


图 2 情况 1 时无人船航迹路线

Fig.2 Unmanned ship track route under case 1

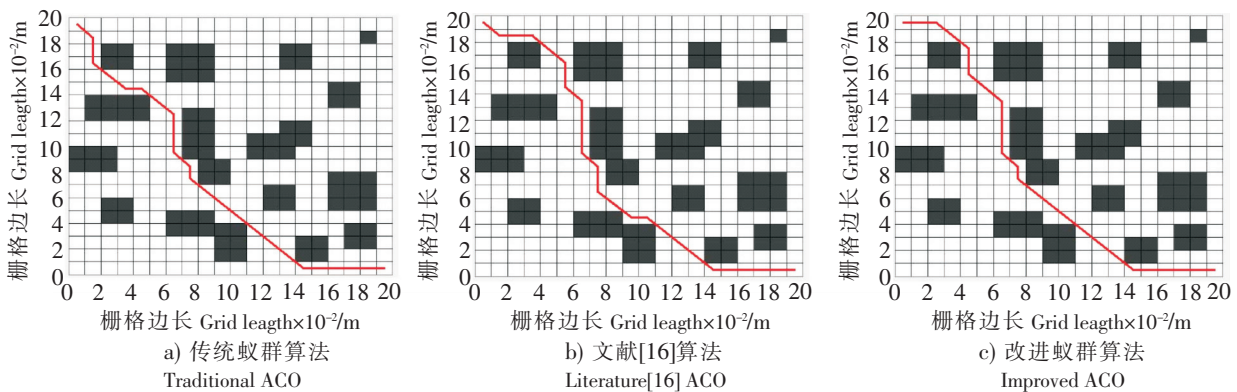


图 3 情况 2 时无人船航迹路线

Fig.3 Unmanned ship track route under case 2

表 1 传统蚁群算法、文献[16]蚁群算法与改进蚁群算法仿真结果对比

Tab.1 Comparison of simulation results of traditional ACO,literature [16]ACO and improved ACO

算法 Algorithm	最小距离 Shortest distance/m	最小时间 Minimum time/s	
		情况 Case 1	情况 Case 2
传统蚁群算法 Traditional ACO	3 038.48	506.949 4	308.142 2
文献[16]算法 Literature[16] ACO	2 979.90	551.261 8	332.626 6
改进蚁群算法 Improved ACO	3 038.48	480.997 8	304.549 6

通过表 1 可以得出，考虑航速变化时，在情况下，最短航迹长度上，文献 [16] 算法比传统蚁群算法降低了 1.93%，本文算法与传统蚁群算法结果相等；在航迹耗时上，文献 [16] 算法比传统蚁群算法增加了 8.74%，但本文算法比传统蚁群算法降低了 5.12%。在情况 2 下，最短航迹长度上，三种算法结果对比与情况 1 相同；在航迹耗时上，文献 [16] 算法比传统蚁群算法增加了 7.95%，但本文算法比传统蚁群算法降低了 1.17%。故对于需要快速到达遇难点的救生船而言，本文提出的改进蚁群算法具有较大的优势。

4 结论

本文提出的改进蚁群算法能够使无人船航迹向着时间更短优化，相比传统蚁群算法，本文的改进蚁群算法考虑了无人救生船航行过程中速度大小的变化，以时间为目标函数，使优化向着时间更短的

方向进行,有效地改善了无人救生船的寻优路径,航行时间得到明显减少,具有更好的实用性。

## [ 参考文献 ]

- [1] 申云磊,高霄鹏. 无人艇的研究现状与进展 [J]. 船电技术, 2018, 38(9): 7-10.
- [2] 熊亚洲,张晓杰,冯海涛,等. 一种面向多任务应用的无人水面艇 [J]. 船舶工程, 2012, 34(1): 16-19.
- [3] 郭泉鹏. 基于改进人工势场法的路径规划算法研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2017.
- [4] 陈超,唐坚. 基于可视图法的水面无人艇路径规划设计 [J]. 中国造船, 2013, 54(1): 129-135.
- [5] BING F, LIN C, ZHOU Y, et al. An improved A \* algorithm for the industrial robot path planning with high success rate and short length [J]. Robotics and Autonomous Systems, 2018, 106: 26-37.
- [6] 王雷,李明. 改进自适应遗传算法在移动机器人路径规划中的应用 [J]. 南京理工大学学报, 2017, 41(5): 627-633.
- [7] GALVEZ RL, DADIOS EP, BANDALA AA. Path planning for quadrotor UAV using genetic algorithm [C] //Information, Technology Communication and Control, Environment and Management. Philippines: IEEE Press, 2015: 1-6.
- [8] 陶重霖,雷祝兵,李春光,等. 基于改进模拟退火算法的搬运机器人路径规划 [J]. 计算机测量与控制, 2018, 26(7): 182-185.
- [9] 于鸿达,王从庆,贾峰,等. 一种基于差分进化混合粒子群算法的多无人机航迹规划 [J]. 电光与控制, 2018, 25(5): 22-25.
- [10] DUAN H, QIAO P. Pigeon-inspired optimization: a new swarm intelligence optimizer for air robot path planning [J]. International Journal of Intelligent Computing and Cybernetics, 2014, 7(1): 24-37.
- [11] 喻俊松. 基于改进人工鱼群算法无人机航迹规划研究 [D]. 南昌: 南昌航空大学, 2015.
- [12] 夏国清,韩志伟,赵博,等. 基于量子蚁群算法的无人水面艇航迹规划 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2018, 40(3): 1-6.
- [13] LEE J. Heterogeneous-ants-based path planner for global path planning of mobile robot applications [J]. International Journal of Control Automation and Systems, 2017, 15(5): 1-16.
- [14] KHALED AKKA, Farid Khaber. Mobile robot path planning using an improved ant colony optimization [J]. International Journal of Advanced Robotic Systems, 2018, 15(3): 1-7.
- [15] 朱黎,邓苏,黄宏斌. 基于改进蚁群算法的潜艇最短航路规划 [J]. 黑龙江大学学报(自然科学版), 2016, 26(6): 830-835.
- [16] 王莹,刘维亭. 基于改进蚁群算法的舰船航路规划研究 [J]. 现代电子技术, 2010, 33(21): 186-188.
- [17] 何雨,张志安,韩明明,等. 基于全向机器人路径规划的蚁群算法研究 [J]. 测试技术学报, 2018, 32(5): 11-17.
- [18] 郭玉. 基于改进蚁群算法的机器人路径规划研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2008.
- [19] 陈佳. 无人驾驶救助船路径规划算法的研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2013.

(责任编辑 陈 敏 英文审校 周云龙)