

文章编号:1006-7736(2013)02-0018-03

船舶自动避碰仿真研究

魏 伊,薛彦卓

(哈尔滨工程大学 船舶工程学院, 哈尔滨 150001)

摘要:针对海上交通环境复杂、内河航道易于碰撞的问题,研究可辅助船舶操纵的自动避碰系统.分析了船舶避碰的影响因素、船舶受力对船舶航行的影响,并对人工势场法进行改进,优化了船舶行驶路径.基于改进的人工势场法设计船舶路径规划流程,以长江水域为例进行弯曲航道的模拟.结果表明,采用人工势场法可以辅助船舶自动航行,在安全的情况下获得较短的避障路径.通过增加转向点可以减小人工势场法局部极小点的发生概率.

关键词:船舶;受限水域;自动避碰;人工势场法;转向点

中图分类号:U675.96

文献标志码:A

Simulation research on ship automatic collision avoidance

WEI Yi, XUE Yan-zhuo

(College of Shipbuilding Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150010, China)

Abstract: The ship navigation characteristics in restricted waters are considered and the current problems and deficiencies in this field are analyzed. The ship automatic collision avoidance system which can help ship maneuvering is studied. On the foundation of ship collision avoidance factors, the plan of ship path and the solution to the ship collision avoidance problems in restricted waters are introduced with artificial potential field method. The limitations of artificial potential field method are optimized through providing the concept of turning points. The reasons and principles of setting them are proposed to improve algorithm of ship avoidance path planning in confined waters. The cases of ship auto-navigation in Yangtze River entrance are conducted with Matlab program, on the foundation of mathematical model of ship movement. The differences between the navigation path before and after setting turning point are compared in restricted waters, and results of the experiments after adding the turning point are

analyzed. Simulation results indicate that ships can avoid all the obstacles in restricted waters safely without crash, and find optimal path.

Key words: ship; restricted waters; automatic collision avoidance; artificial potential field method; turning point

0 引言

现有的自动避碰研究多集中于海上及开阔水域,对狭窄水道及内河航道的船舶避碰问题研究甚少,主要原因是内河航道复杂多变,船舶类型多样,船舶避碰问题更为复杂.本文分析船舶避碰的影响因素,采用人工势场法对船舶在受限水域中航行路径进行模拟.

1 船舶避碰的影响因素

海难事故原因主要由船体因素、环境因素以及船员因素三方面构成^[1].船体因素与环境因素主要为客观因素,本文着重对船员因素进行分析. Ishio-ka^[2]分析了船员操纵决策的过程,可分为信息采集、信息分析、决策、执行操纵四部分.

通过导航仪收集来的各方面的信息为驾驶者呈现了一个较为复杂的海况,无经验的驾驶者很难对如此多的数据进行分析、理解,尤其对于拥挤、狭窄的航道,提前分析船舶行驶路径更是十分重要.驾驶者必须随时注意船舶周围环境并判断执行操作的时间.船舶自动航行系统优化船舶航行路径并为驾驶者提供操纵建议^[3],对船舶操纵、避碰具有重要意义.

收稿日期:2012-12-10.

基金项目:中国博士后科学基金资助项目(2012M510084);黑龙江省自然科学基金资助项目(LC2012C25);中央高校基本科研业务费专项资金项目(P013012203)

作者简介:魏 伊(1987-),女,硕士生,E-mail:wy608760@163.com.

通信作者:薛彦卓(1978),男,博士,副教授,E-mail:xueyanzhuo@hrbeu.edu.cn.

2 人工势场法的应用

人工势场法是 Khatib^[4] 于 1985 年提出的用于路径规划的一种方法,仿照物理学中电势和电势场的概念建立虚拟势场,实现局部路径规划.该方法与全局规划相比具有计算量小、实时性好等特点,大大加强了系统的适应性和避障性能,被广泛应用于机器人路径规划中.本文采用人工势场法模拟船舶在受限水域的路径规划,为船舶在有障碍物环境中规划一条从给定出发点到目标点的运动路径,使船舶在运动过程中能安全、无碰撞地绕过所有障碍物,并且在保证安全的前提下寻找最短避障路径^[5].

船舶在受限水域中受到若干障碍物排斥时,船舶受到障碍物与目的地共同作用的合力^[6],图 1 为引力场与斥力场叠加后的势场图.

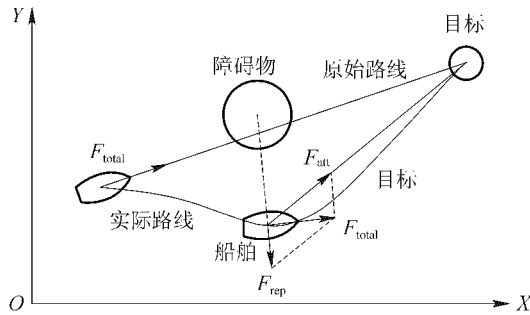


图 1 合势场

Fig. 1 The potential field of ship

船舶进入障碍物影响范围时,船舶受到引力场和斥力场的叠加,该势场定义为

$$U_{\text{total}} = U_{\text{att}} + \sum_{i=1}^n U_{\text{rep}} \quad (1)$$

其中: U_{total} 为总势能; U_{att} 为目标产生的引力势场; U_{rep} 为障碍物产生的斥力势场.

引力与斥力分别为引力场和斥力场的负梯度^[7],根据空间动力学方程和拉格朗日方程,推导出人工势场对船舶的作用力:

$$\mathbf{F} = -\nabla U_{\text{total}} = \mathbf{F}_{\text{att}} + \sum_{i=1}^n \mathbf{F}_{\text{rep}} \quad (2)$$

其中: \mathbf{F}_{att} 为目标位置对船舶的引力; \mathbf{F}_{rep} 为障碍物对船舶的斥力.

(1) 船舶所受合力

$$F_x = F_{\text{attx}} + F_{\text{repx}} \quad (3)$$

$$F_y = F_{\text{atty}} + F_{\text{repy}} \quad (4)$$

(2) 船舶在受合力作用时航向角

$$\psi = \arctan\left(\frac{F_y}{F_x}\right) \quad (5)$$

(3) 船舶行驶到一处坐标为 (x_n, y_n) ,则下一处坐标为 (x_{n+1}, y_{n+1}) ,

$$x_{n+1} = x_n + v t \cos \varphi \quad (6)$$

$$y_{n+1} = y_n + v t \sin \varphi \quad (7)$$

其中: F_x, F_y 分别为船舶所受 x, y 方向合力; $F_{\text{attx}}, F_{\text{atty}}$ 分别为船舶所受 x, y 方向吸引力; $F_{\text{repx}}, F_{\text{repy}}$ 分别为船舶所受 x, y 方向排斥力; ψ 为船舶航向角; v 为船舶行驶速度,本程序中船舶速度设为匀速 7.5 kn; t 为时间步长.

3 人工势场法优化避碰路径

虽然应用人工势场法规划出来的路径比较高效、平滑和安全,但其存在一个重要缺陷,即局部极小点问题^[8].局部极小点问题是由于吸引势场函数和排斥函数分布在同一空间内,在某些区域,船舶受多个函数的作用,造成局部最小值点;障碍物越多时,共同作用的势函数也越多,因而,产生局部最小值点的概率就越大^[9].本文针对局部极小点及船舶在受限水域航行时航道弯曲、方向不一的问题引入转向点,即在船舶行驶航道中设置用于引导船舶航行方向并缓解局部极小点的问题.

转向点引入原则为:(1)转向点应设置在障碍物较少处且转向点与障碍物距离应大于障碍物影响范围,以减小局部极小值点发生概率.(2)对于直长航道,在该航域首末应设置转向点,可以控制船舶航向,避免航向曲折;(3)转向点应尽量少取,但障碍物较多的复杂水域应增加转向点个数,以方便调节引力与斥力常数,使船舶可以顺利航行.

本文受限水域船舶避障路径规划算法步骤为:(1)建立环境地图(航道、障碍物、船舶初始位置、目的地位置);(2)在航线上取若干转向点,指引船舶走向;(3)根据引力斥力位置及势场力公式计算引力和斥力;(4)判断船舶当前是否进入障碍物影响区域,若是则转入(5),否则转(6);(5)计算船舶所受引力与斥力的合力,然后转入(6);(6)进入船舶的下一步动作,并记录船舶所经过的点.船舶向目标点移动并判断是否到达目标点,若是则中止,否则转(3).

4 仿真实验与结果分析

长江水域是我国的交通要道,长江口航道更是一个复杂繁忙的水域,该水域航道狭窄、水深受限,航道通航密度大,高密度的船舶流量增加了船舶会遇频次.而在船舶会遇时若无足够的安全距离,由于

自然条件复杂,涨落潮潮流湍急,船舶发生搁浅或碰撞的几率增加,航行安全受到威胁. 针对长江口水域地形独有的特点,本文以该水域为例进行内河弯曲航道船舶行驶模拟. 图 2 为福姜沙至浏海沙水道 CAD 模拟. 由图 2 可以看出,船舶航行路径曲折. 无障碍物作用的船舶行驶路径如图 2 粗线所示.

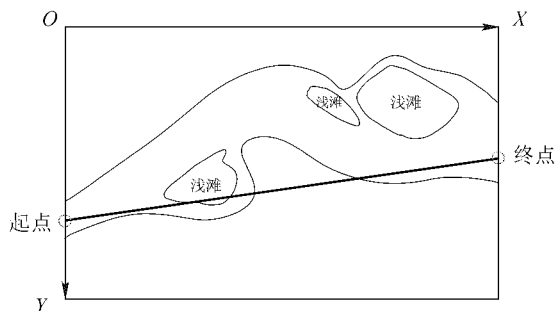


图 2 福姜沙至浏海沙水道 CAD 模拟

Fig. 2 The CAD simulation figure of channel from Fujiangsha to Liuhaisha

利用人工势场法模拟船舶在内河弯曲航道行驶情况,起点坐标为(0,260),终点坐标为(460,190),比例尺为 1:70,单位为米. 加入若干斥力点坐标如表 1 所示.

表 1 内河弯曲航道斥力点坐标

Tab. 1 The coordinate of repulsive force point in curve waterway

序号	斥力点坐标	序号	斥力点坐标	序号	斥力点坐标
1	(53, -16)	10	(46, 42)	19	(286, 132)
2	(63, -9)	11	(156, 53)	20	(300, 125)
3	(73, -3)	12	(166, 59)	21	(311, 120)
4	(84, 5)	13	(175, 62)	22	(321, 117)
5	(96, 11)	14	(187, 70)	23	(340, 116)
6	(106, 16)	15	(199, 72)	24	(358, 115)
7	(116, 22)	16	(220, 83)	25	(380, 120)
8	(126, 30)	17	(211, 79)		
9	(136, 36)	18	(265, 286)		

经试验调试确定人工势场斥力常数为 200,引力常数为 40,设定船舶航速为 7.5 kn. 该水域船舶行驶路径模拟如图 3 所示. 图 3(b)标注位置设置转向点,坐标为(270,137),此时障碍物坐标如表 2 所示.

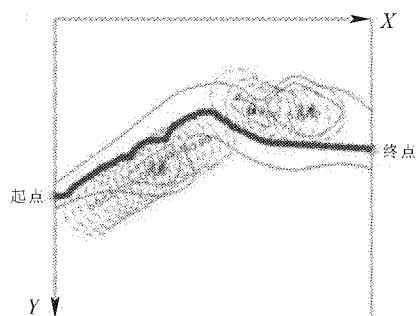
表 2 加入转向点后弯曲航道斥力点坐标

Tab. 2 The coordinate of repulsive force point in curve waterway after adding turning point

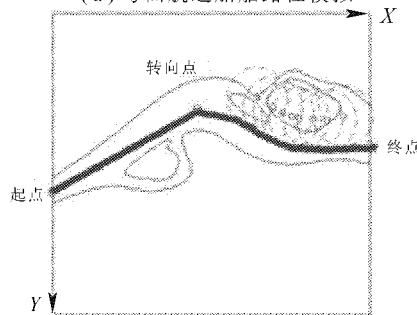
序号	斥力点坐标	序号	斥力点坐标	序号	斥力点坐标
1	(273, 125)	4	(319, 100)	7	(366, 95)
2	(294, 112)	5	(329, 97)	8	(388, 110)
3	(308, 105)	6	(348, 96)		

将福姜沙至浏海沙水道设置转向点前后船舶行驶路径相比较,在船舶航行水域内设置转向点后,船

舶在起始点初速度方向指向转向点而非终点,船舶沿水道方向行驶,尤其对于弯曲航道,可以避免终点方向与航道方向不一致的问题. 在航道顺直障碍物较少的水域里,船舶可以直接驶向转向点,如图 3(b)前半段. 如前文所述,引力与斥力共同作用,引力大小与船舶与引力点距离成正比,距离越大引力越大,增加转向点可减小船舶与引力点的距离,平衡引力与斥力作用在船上的合力,使船舶行驶的路径更加光滑. 同时转向点将船舶航行区域分为若干段,减少设置斥力点个数,使船舶航线变得光滑、平直.



(a) 弯曲航道船舶路径模拟



(b) 加入转向点后的路径模拟

图 3 福姜沙至浏海沙水道设置转向点后船舶行驶路径

Fig. 3 The comparison of ship path in curve waterway

5 结 论

(1) 仿真结果表明,该方法可使船舶安全、无碰撞地绕过所有障碍物,并且在保证安全的条件下寻找最短避障路径;

(2) 针对人工势场法的局限性——局部极小点,本文提出设置第二引力点的方法,并引入转向点的概念,给出转向点设置原因及原则;

(3) 仿真结果表明,引入转向点不仅可减小局部极小点的发生概率,还可使船舶航行路径更加平滑、顺直,并且在保证安全的条件下,可以得到船舶航行路径为较短避障路径.

(下转第 24 页)