

基于改进蚁群算法的无人船路径规划方法研究

陈会伟 刘培学 刘树美

(青岛黄海学院 智能制造学院 山东 青岛 266427)

摘要: 为了解决蚁群算法在无人船路径规划应用中的不足,通过改进启发函数和信息素的更新来提升算法的性能。首先,以近海海洋环境为背景,设置无人船的最小航行步长约束、最远航程约束、最大转弯角约束等自身性能约束,建立二维栅格环境模型,确定栅格粒度;然后提出一种改进启发函数和信息素更新规则的蚁群算法,为无人船规划出一条安全、最优的航行路径;最后,采用仿真的方式进行验证,结果表明,改进后的算法能够使无人船安全地从起点位置移动到终点位置,且收敛性较好,算法更加稳定,搜索路径更短更平滑,运行时间更少。

关键词: 路径规划; 蚁群算法; 启发式函数; 无人船

基金项目: 山东省高等学校科技计划项目(J18KB163)

0 引言

由于海洋环境的复杂性(包括海流风浪、船舶、危险海域等),无人船在海上航行可能会遇见各种各样的危险,所以对船舶路径规划和动态避障的要求越来越高^[1-2]。路径规划是指在充满障碍物的环境空间中,满足其运动约束条件的同时,寻找无人船从起点到目标点符合某种性能指标的最优的航迹^[3-4]。路径规划的分类有很多种。根据无人船的应用要求,目前主要有两种路径规划:一种是传统的点到点的路径规划,另一种是完全遍历路径规划。按照路径规划层次可分为:环境信息已知的离线静态全局路径规划和环境信息未知的实时在线动态局部路径规划^[5-6]。全局路径规划是指全部了解周围相关环境后,根据这些信息做出的路径规划;局部路径规划是指对于周边环境不是很了解,需要通过传感器等设备对周围环境进行实时采集,确定障碍物的分布情况,进而制定由当前节点至下一节点的具体路径时做出的实时规划。

目前,全局路径规划常用算法有:可视图法^[7]、自由空间法、概率路径法、栅格法、粒子群算法^[8-9]、布谷鸟算法等,每一种算法都有各自的优缺点。针对近海海水养殖无人巡检船所在海洋环境,为了提高路径规划问题的质量和效率,本文在考虑无人船自身性能约束、建立栅格环境模型、安全性、实时性的基础上提出一种对启发函数、信息素的更新等要素优化的改进蚁群算法。

1 无人船路径规划数学模型建立

1.1 基于电子海图的环境模型建立

环境建模是无人船进行路径规划必须完成的第一步,也是一个比较重要的环节,环境建模的好坏直接影响着路径规划的结果与质量。为了简化模型的复杂度,在对无人船进行海面环境建模时除考虑无人船本身的特性外,还进行如下限定:

- (1) 忽略海流、海浪以及季风等因素的影响作用;
- (2) 缩小海洋上无人船行驶边界的范围;
- (3) 忽略水面波浪所致小船起伏,仅考虑无人船在水平面上的运动情况。

本文利用电子海图采用栅格化的方法对无人船航行的二维空间进行环境建模。栅格建模法的优点是:地图中规范的栅格阵列很容易用于计算机的存储、计算和显示,且栅格的邻接关系简单直接,在进行障碍物的边界信息处理时,避免了复杂的计算。缺点是:表示环境精确程度的栅格粒度与算法效率之间的冲突。

1.1.1 栅格粒度的确定

在利用栅格法对无人船航行空间建模的过程中,栅格单元的大小即栅格粒度是一项重要指标,它的取值很大程度的影响着路径规划的精度。如果选取的栅格粒度过小,虽然能够提高分辨率,但是也会增加环境信息的存储量,带给系统很大的负担,同时也增强了外界的干扰信号,这样会使路径规划的速度减慢,系统的实时性也会明显降低。反之,如果选取过大的栅格粒度,虽然抵抗外界干扰的能力增强,但也会降低环境信息的存储量,这样会使决策信息减

慢,并且当周围环境布满障碍物时,由于栅格粒度较大,直接导致了分辨率的降低,使无人船不易得到有效路径。栅格粒度由以下式子确定。

$$d_{size} = \frac{S_{total}}{S_{sum}} \cdot d_{max} \quad (1)$$

$$d = \begin{cases} d_{size}, & \text{if } d_{size} > d_{min} \\ d_{min}, & \text{其它} \end{cases} \quad (2)$$

其中, S_{total} 是障碍物面积的和, S_{sum} 是栅格环境总面积, d_{max} 是原始栅格最大边长, d_{min} 为原始栅格最小边长, d 是最终的栅格边长(栅格粒度)。

1.1.2 栅格的空间表示

忽略水面无人船的高度,只考虑环境信息为平面的情况,将水面环境空间设置为 S 。以二维环境空间 S 的左下角为坐标原点,将水平向右方向设定为 X 轴正方向,将水平向上方向设定为 Y 轴正方向,构造二维空间直角坐标系。将 X 轴的最大坐标设定为 X_{max} ,将 Y 轴的最大坐标设定为 Y_{max} 。将栅格粒度规定为 B ,那么栅格在每一行中的个数为 $N_x=X_{max}/B$;在每一列中的个数为 $N_y=Y_{max}/B$,则规划空间可划分为 $N=N_x*N_y$ 个栅格,将栅格中心点作为无人船航行路径点。

在实际进行航迹路径规划时,规划空间是连续的空间位置点,对规划空间进行网格划分,可以满足计算机只能以离散的方式存储航点的要求。栅格的状态分为两种,若网格单元内有障碍物,则称其为障碍栅格,以黑色表示,赋值为 1,否则称其为自由栅格,以白色表示,赋值为 0。利用栅格直角坐标系直接表示栅格位置,令栅格与坐标系 X 轴、 Y 轴刻度对应。考虑到无人船的体型大小相对于水面环境空间而言可忽略不计,可以把无人船看作为一个移动的质点。无人船在水面环境执行任务的过程就转变为质点在二维平面移动的过程。

本文在对海洋环境进行建模时,将不满一个栅格的障碍物记做一个栅格实际的障碍物环境。未处理前障碍物栅格如图 1 所示,处理后的障碍物栅格如图 2 所示。

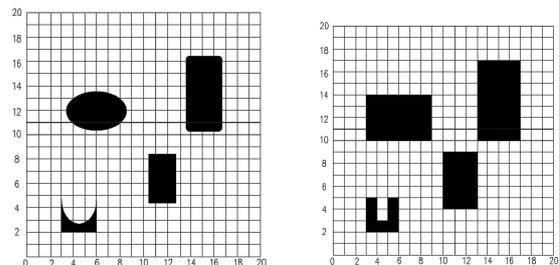


图 1 未处理前栅格障碍物形状 图 2 经过处理后栅格障碍物形状

1.2 无人船路径规划约束描述

路径规划时需考虑无人船自身性能约束,使规划的路径满足航行要求,否则无人船将不能准确跟踪生成的路径航行。约束条件主要有以下3个方面:

(1) 最小航行步长约束

由于机动性能所限,一般不希望无人船进行过多的转向和迂回,因此在改变航行状态之前,无人船都不能改变航行姿态,而需要保持一段直航距离。航迹段示意图如图3所示:

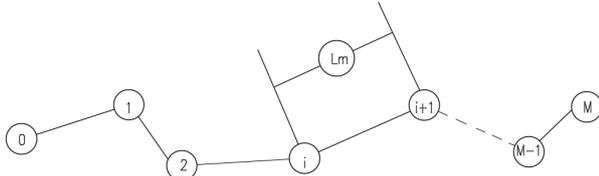


图3 航迹段示意图

假设航迹由 M 段组成,第 m 段航程可以表示为 L_m , 最小航行距离为 L_{min} , 那么该约束可以用式 3 表示:

$$L_m \geq L_{min} (m = 1, 2, 3, \dots, M) \quad (3)$$

(2) 最远航程约束

无人船的电池电量有限导致其在起止巡航点间的航程不能超过最远航程。在此将最大航程记为 L_{max} , 一整条航程有 M 个节点,

则图 3 中航线的总航程为 $L = \sum_{m=1}^M L_m$, 所以整条航迹的总航程 L 必须要满足式 4 约束条件:

$$L \leq L_{max} \quad (4)$$

(3) 最大转弯角约束

在惯性的作用下,为保证无人船航行姿态稳定,在航行过程中若需改变方向,转弯的角度需限定在一定范围内,即小于等于最大转弯角。假设 α 为无人船实际转弯角, α_{max} 为最小转弯角,约束条件为式 5:

$$0 \leq \alpha \leq \alpha_{max} \quad (5)$$

1.3 优化目标

在不同的规划环境中,优化目标是不同的,本文的优化目标有两个:

- (1) 航路可行,满足所有的约束条件。
- (2) 在较短的时间规划出的最短的航路。

2 基于改进蚁群算法的无人船路径规划

2.1 蚁群算法原理

蚁群算法是由 Marco Dorigo 等人提出的一种仿生搜索算法,它主要依托蚂蚁觅食过程中路径选择的方式来寻求最优路径。蚂蚁在觅食的过程中,会在所经过的路上遗留一种挥发性的分泌物 pheromone (称为信息素,该物质随着时间的推移会逐渐挥发消失,信息素浓度的大小表征路径的远近),吸引后续蚂蚁根据信息素的残留浓度进行路径选择,经反复循环搜索而使所有蚂蚁得到从巢穴到目的地的最短路径。

在算法的初始阶段,需要给每条路径定义一个初始信息素浓度,通常设定一个大于零的常量,也可以进行启发式设计,并且设定上下限;在后续蚂蚁不断迭代的过程中,通过设计信息素的更新方式和规则,给与每一路段不同的信息素权重;最后为了更加接近实际,每次迭代完成后,对整条路段上的信息素进行再次更新,可以根据实际工程需求设计更新规则。

传统蚁群算法步骤:

第 1 步:通过初始化航行区域内所有栅格点的信息素来构造信息素矩阵,确定迭代总次数 P;

第 2 步:在起始点放置蚂蚁,群体数目为 K;

第 3 步:每一只蚂蚁根据状态转移规则选择下一个要到达的栅格点,最终到达目的地,形成一条可行路径;

第 4 步:计算所有蚂蚁得到的可行路径的目标函数并保存最优解;

第 5 步:根据信息素更新规则调整每个格点的信息素,并判断是否满足迭代次数 P 等迭代限制条件;若满足,则顺利完成搜索并保存结果;若不满足,则返回第 3 步,重新执行。

传统蚁群算法的缺点是各路径上的信息素浓度在第一次迭代时设置成相同的数值,这样造成各路径上的信息素浓度在运算初期差别不大,反馈作用不明显,蚂蚁选择路径时盲目性较大,算法运算长,收敛速度慢,且在复杂的环境下容易陷入局部最优,出现早熟收敛现象。为了避免搜索时间过长、消除出现局部最优解的情况以及改善最优路径的收敛速度,本文完成一种对启发式函数、信息素的更新等要素优化的改进算法。

2.2 改进蚁群算法

2.2.1 启发式函数

根据蚁群算法的原理,当无人船从当前一个节点航行至下一个节点的时候,需要根据启发式函数计算无人船在当前节点航行至区域内其他节点的概率。一个合适的启发函数可以使得算法快速的规划出一条效果理想的路径。本文对启发函数的设计如下:

$$H(x, y) = D_1(x, y) \times D_2(x, y) \quad (6)$$

其中, $D_1(x, y) = \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2}$ 表示当前节点到下一个节点的距离,主要用来引导无人船航行至距离当前节点较近的下一个节点。

$D_2(x, y) = \sqrt{(x_{i+1} - x_0)^2 + (y_{i+1} - y_0)^2}$ 表示无人船从下个节点航行至终点的距离,主要用来引导无人船航行至路径规划的终点。

上式中, x_i, y_i 表示当前节点在 x, y 轴的坐标, x_{i+1}, y_{i+1} 表示下一个节点在 x, y 轴的坐标, x_0, y_0 表示终点在 x, y 轴的坐标。

2.2.2 信息素的更新

根据蚁群算法原理,信息素是蚁群在觅食过程中对蚂蚁产生吸引作用的信息载体,在一定程度上对算法的收敛速度和路径规划效果有着十分重要的影响。信息素更新是指在一次迭代之后,找出当前的最优路径,对这个路径上的每一段路径都进行信息素更新。本文采用加入可达栅格数 (Reachable grid number) 作为路径的一个重要评论因素,用 R 表示可达栅格数,则 R 可取 0, 1, 2, ..., 8, R 越大,表示可选的栅格数越多,不确定性越大。更新后的信息素公式如下:

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{Q}{L_k + R}, & \text{第 } k \text{ 只蚂蚁走过 } c_i, c_j \text{ 的路径} \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (7)$$

其中, Q 是给定的恒定参数,表示信息素的强度系数, L_k 是第 k 只蚂蚁在一个周期中行进的路径总长度。

3 实验结果与分析

对无人船航行区域进行模拟,用 Matlab 软件编程工具进行仿真,验证该算法进行路径规划的效果以及可行性。首先模拟海洋环境建立 20x20 的二维栅格地图,每个栅格大小相同,长度均为 1,同时构建 76 个障碍物区域。确定无人船路径规划的起始点坐标为 (0.5, 19.5), 终点坐标为 (19.5, 0.5)。同时设置蚁群算法各个参数的值,参数设置如表 1 所示。

表 1 仿真参数设置

蚂蚁个数	50
最大迭代次数为	60
信息素更新系数	0.2
信息素衰减系数	0.9
信息素强度系数	80

采用相同的设置参数，将本文改进算法与传统蚁群算法进行比较，两种算法分别进行了 10 次仿真实验。各个算法某次实验仿真结果如图 4，图 5 所示。

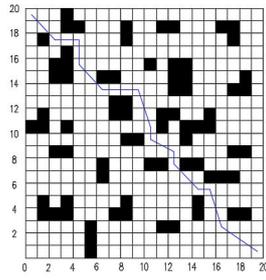
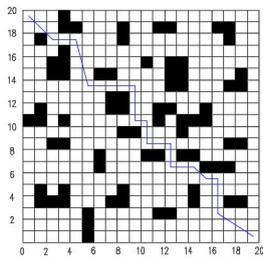


图4 传统蚁群算法路径规划仿真 图5 改进蚁群算法路径规划仿真
实验结果显示，2 种算法都可以在运行过程中使无人船安全地从起点移动到终点位置，但改进蚁群算法收敛性较好，搜索路径更平滑。

表2 算法仿真结果对比

算法	最短航迹长度	平均迭代次数	平均运行时间/S
传统蚁群算法	30.38	13	11.378
改进蚁群算法	29.83	6	10.572

由表 2 可以看出，本文所采用的改进蚁群算法规划出的路径更短，算法更加稳定，运行时间更少，能在较短的时间内收敛。

4 结束语

以近海海洋环境为背景，通过研究无人船的最小航行步长约束、最远航程约束、最大转弯角约束等自身性能约束，建立具有合适栅格粒度的二维栅格环境，针对传统蚁群算法的不足，提出一种对启发函数、信息素的更新等要素优化的改进算法。最后，采用仿真的方式进行验证，实验结果表明，改进后的算法能够使无人船安

全地从起点位置移动到终点位置，且收敛性较好，算法更加稳定，搜索路径更短更平滑，运行时间更少。由于水下复杂多变的环境，无人船海底路径规划问题还有很多可以探讨的地方，例如如何结合海流、海浪以及季风干扰、船舶运行规则等因素进一步改进路径规划算法有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 张树凯,刘正江,张显库,刘玉.无人船艇的发展及展望[J].世界海运,2015,38(09):29-36.
- [2] Yao Peng,Wang Honglun,Su Zikang.Real-time path planning of unmanned aerial vehicle for target tracking and obstacle avoidance in complex dynamic environment[J].Aerospace Science and Technology,2015,47:269-279.
- [3] 陈华.水面无人艇局部路径规划初步研究[D].大连海事大学,2016.
- [4] 林玉龙.复杂海洋环境中的无人船自主扫海路径规划研究[D].哈尔滨工程大学,2017.
- [5] 戴光明.避障路径规划的算法研究[D].华中科技大学,2004.
- [6] 郑广成.基于遗传算法的船舶导航路径规划研究[J].舰船科学技术,2017,39(10):76-78.
- [7] 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(01):129-135.
- [8] 于鸿达,王从庆,贾峰,刘阳.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(05):22-25+45.
- [9] 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.