

优化蚁群算法在无人车自主导航中的应用

时佳斌, 苏中, 宋艳敏, 王超杰, 季林

(北京信息科技大学 高动态导航技术北京市重点实验室, 北京 100101)

摘要: 由于蚁群算法规划的最优路径存在尖峰和折线, 研究利用三阶贝塞尔曲线对蚁群算法进行优化, 通过选择可靠的控制点来控制最优路径的整体趋势, 从而消除路径上的尖峰并对折线进行平滑处理; 将优化后的蚁群算法在无人车自主导航中进行了应用, 结果证明优化后的蚁群算法可以为无人车实时规划出一条高质量的最优路径, 最优路径不仅有效地避开了障碍物, 而且有效消除路径上尖峰和折线。

关键词: 蚁群算法; Bezier 曲线; 栅格法; 路径规划; 无人车

Application of Improved Ant Colony Algorithm to Autonomous Navigation of Unmanned Vehicles

Shi Jiabin, Su Zhong, Song Yanmin, Wang Chaojie, Ji Lin

(Beijing Key Laboratory of High Dynamic Navigation Technology, University of Beijing Information Science & Technology, Beijing 100101, China)

Abstract: Since spikes and the broken lines present in the optimal path planned by ant colony algorithm, utilize third-order Bezier curve to optimize the planning results of the ant colony algorithm, by selecting reliable control points control the overall trend of the optimal path, thus the spikes can be eliminated and the broken lines can be smoothed. The ant colony optimization algorithm for autonomous navigation of unmanned vehicles has been applied, the results prove that the optimized ant colony algorithm can receive the real-time planning of a high-quality optimal path for unmanned vehicles. It not only can effectively avoid the obstacles, but also can effectively eliminate the spikes and broken lines of the path.

Key words: ant colony algorithm; Bezier curves; grids; path planning; unmanned vehicles

0 引言

路径规划是实现无人车自主导航的一项关键技术。无人车路径规划包括环境模型建立和路径规划算法两个部分。路径规划算法是路径规划中最重要的一环。

由于蚁群算法规划出的最优路径存在尖峰和折线, 本文应用栅格法^[1]将无人车工作空间离散化为规则的基本单元, 利用三阶贝塞尔曲线对蚁群算法进行优化, 通过选择可靠的控制点来控制最优路径的整体趋势, 从而消除路径上的尖峰并对折线进行平滑处理。

优化前蚁群算法的规划结果是通过一系列离散的点连接而成, 因此容易形成尖峰和折线, 使最优路径的质量下降。经过优化后, 最优路径通过一系列连续的点来描述, 不仅有效地消除了尖峰, 而且路径的平滑性很好, 最优路径的质量显著提高。

最后, 采用优化的蚁群算法对无人车进行最优路径规划, 通过实时调整无人车速度和运动轨迹, 使无人车根据最优路径

向目标点运动, 实现无人车自主导航。

1 环境建模

1.1 建立坐标系

在二维平面建立直角坐标系, x 轴正方向为水平向右, y 轴正方向垂直向下。假设栅格数量为 N , 其中 m 行 n 列, 栅格采用二维坐标 $P(x, y)$ 表示, 其中 $x \in \{0, 1, \dots, n\}$, $y \in \{0, 1, \dots, m\}$ 。 $S \in \{0, 1, \dots, N\}$ 表示所有栅格序号集, 采用直角坐标法和序号法相结合的方法可得, 栅格的坐标可按照式 (1) 计算:

$$\begin{cases} x_i = \text{mod}(S_i, n) \\ y_i = \text{int}(\frac{S_i}{m}) \end{cases} \quad (1)$$

直角坐标法建立的栅格与序号之间的关系如图 1 所示。

	0	1	2	·	·	·	28	29	x
0	0	1	2	·	·	·	28	29	
1	30	31	32	·	·	·	58	59	
2	60	61	62	·	·	·	88	89	
·	·	·	·	·	·	·	·	·	
·	·	·	·	·	·	·	·	·	
·	·	·	·	·	·	·	·	·	
29	870	871	872	·	·	·	898	899	
y									

图 1 栅格与序号之间的关系

1.2 障碍物表示方法

障碍物采用二维坐标 $B(i, j)$ 表示, 如式 (2) 描述。

收稿日期: 2014-01-24; 修回日期: 2014-03-05。

基金项目: 国家自然科学基金(61261160497); 北京市科技计划课题(Z121100001612007); 北京市教委科技成果转化和产业化项目(PXM2013_014224_000074)。

作者简介: 时佳斌(1986-), 男, 北京人, 硕士生, 主要从事新概念机器人方向的研究。

苏中(1962-), 男, 安徽人, 教授, 主要从事惯性器件, 高动态 IMU, 组合导航和搜救机器人方向的研究。

$$B(i, j) = \begin{cases} 1, & \text{表示栅格}(i, j) \text{ 存在障碍物} \\ 0, & \text{表示栅格}(i, j) \text{ 无障碍物} \end{cases} \quad (2)$$

式中, $0 < i \leq m, 0 < j \leq n$ 。

2 路径规划算法

2.1 蚁群算法基本原理^[4]

蚁群算法是一种随机搜索算法, 蚁群在运动过程中, 通过在环境中释放和感知信息素来实现信息交互。

初始时刻, 每条路径上的信息素数量相等, 蚁群从起点同时向目标点运动的过程中, 根据状态转移概率计算结果向信息素强度最强的方向运动, 到达目标点后对各个节点上的信息素强度进行更新, 即完成一次循环。通过一定次数的循环后, 某些路径走过的蚂蚁数量越多, 信息素强度就越强, 其他蚂蚁就会向该方向移动, 最终形成一条从起始点能无碰撞的行走走到目标点的最优路径。

(1) 状态转移概率: 状态转移概率可按照式 (3) 计算:

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha(t) \eta_{ij}^\beta(t)}{\sum_{s \in allowed_k} \tau_{is}^\alpha(t) \eta_{is}^\beta(t)}, & (j \in allowed_k) \\ 0, & \text{(其他)} \end{cases} \quad (3)$$

$$\eta_{ij} = 1/d_{ij}$$

式中, $p_{ij}^k(t)$ 为 t 时刻蚂蚁从点 i 运动到点 j 的状态转移概率; $\tau_{ij}(t)$ 为 t 时刻点 i 与 j 之间的信息素数量; η_{ij} 为节点 i 移动到节点 j 的启发信息; d_{ij} 为点 i 与 j 之间的距离; α 为蚂蚁选择路径的影响指数; β 为在蚂蚁选择路径的过程中, 启发因子所起的作用; $allowed_k$ 为下一时刻允许选择的点的集合。

(2) 信息素更新: 信息素根据式 (4) 进行调整。

$$\begin{cases} \tau_{ij}(t + t_n) = \rho \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij} \\ \Delta\tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k \end{cases} \quad (4)$$

式中, 用 $1-\rho$ ($\rho \in (0, 1)$) 表示信息素挥发的程度; $\Delta\tau_{ij}$ 为本次循环中路径 (i, j) 上的信息素增量; $\Delta\tau_{ij}^k$ 为蚂蚁在 (t, t_n) 时间内, 在路径 (i, j) 上释放的信息素数量。在建立完整路径之后再更新信息素, $\Delta\tau_{ij}^k$ 按照式 (5) 计算。

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} Q/L_k, & \text{第 } k \text{ 只蚂蚁经过}(i, j) \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

式中, L_k 为当前周期蚂蚁所走路径的总长度; Q 为信息素强度, 对算法的收敛速度有影响。

2.2 蚁群算法优化方法

在蚁群算法的规划结果中, 通过选取可靠的控制点来控制最优路径的整体趋势, 从而消除最优路径上的尖峰与折线。三阶贝塞尔曲线原理图如图 2 所示。

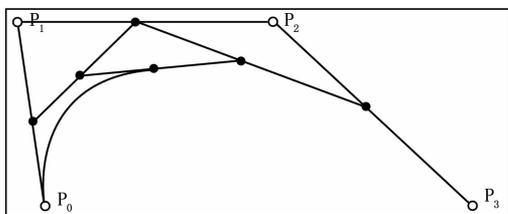


图 2 三阶贝塞尔曲线原理图

$P_0、P_1、P_2、P_3$ 4 个点在平面或在三维空间中定义了三个阶贝塞尔曲线。 P_0 为曲线起点, P_3 为曲线终点, P_1 和 P_2 为曲线控制点, 决定曲线的整体趋势。曲线参考控制点 P_1 和 P_2 , 从 P_0 移动到 P_1 。 P_0 和 P_1 之间的距离, 决定了曲线在趋近 P_3 之前, 走向 P_2 方向的长度。三阶贝塞尔曲线按照式 (6) 计算:

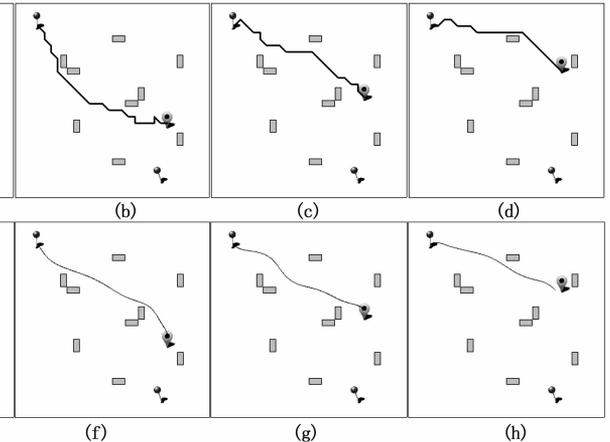


图 3 优化蚁群算法仿真图

$$B(t) = P_0(1-t)^3 + 3P_1t(1-t)^2 + 3P_2t^2(1-t) + P_3t^3 \quad (6)$$

式中, $t \in [0, 1]$, $B(t)$ 为 t 时间下点的坐标, P_0 为起点, P_n 为终点, P_i 为控制点。

2.3 优化仿真

将优化前后的蚁群算法分别进行最优路径规划仿真, 图 3 中 (a~d) 为蚁群算法最优路径规划仿真图, 图 3 中 (e~h) 是对 (a~d) 算法进行优化后的仿真图。结果证明, 优化前蚁群算法的规划结果是通过一系列离散的点连接而成, 虽然有效地避开了障碍物, 但是最优路径上存在着严重的尖峰和折线。利用三阶贝塞尔曲线将蚁群算法优化后, 通过一系列连续的点来描述最优路径, 使其光滑流畅。

3 无人车自主导航应用

3.1 无人车

无人车主要由车载计算机和执行机构两部分组成, 其还集成了卫星测量单元、惯性测量单元、环境监测单元以及声纳等模块。无人车采用无线方式, 与远程计算机进行通信, 利用自主导航软件对无人车进行最优路径规划和实时控制。

3.2 环境建模

无人车工作空间为一个二维区域, 其中存在许多障碍物 (黑色矩形), 障碍物的位置与形状、无人车尺寸以及路径规划的起点和目标点 (粉色大头针) 均已知。无人车工作环境拓扑图如图 4 所示。

根据无人车工作空间采用栅格法构建环境模型, 将工作空间划分为 900 个栅格, 即 30 行 30 列, 将地图数据存储在二维数组中, 作为蚁群算法的输入, 则无人车路径规划问题就转化为二维规划问题。

3.3 无人车自主导航

无人车自主导航软件流程图如图 5 所示。

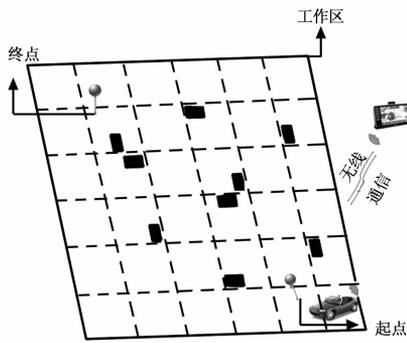


图 4 工作环境拓扑图

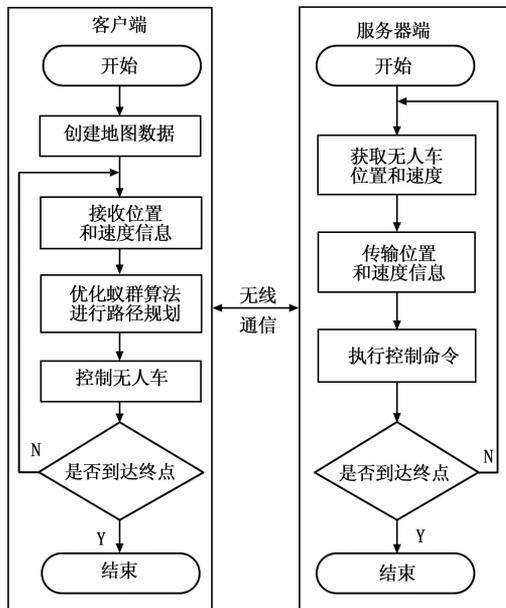


图 5 无人车自主导航软件流程图

无人车和远程计算机之间采用无线通信方式进行信息交互, 远程计算机作为客户端, 无人车作为服务器端。服务器端实时的将无人车位置与速度信息传输给客户端, 客户端将获取的实时位置作为路径规划的起始点, 并结合目标点利用优化的蚁群算法进行路径规划, 最终生成一条起始点到目标点的高质量的最优路径。客户端根据规划结果, 控制无人车向目标点运动, 同时更新实时位置, 重新开始路径规划, 直至无人车运动到目标点为止。

3.3 应用实验

无人车自主导航路径如图 6 所示, 图中 (a) ~ (f) 描述了无人车从起始点到目标点进行最优路径规划的全过程, 结果证明, 优化后的蚁群算法能够为无人车实时规划出一条高质量的最优路径, 最优路径不仅有效地避开了障碍物, 而且光滑流畅。

4 结束语

本文采用栅格法对无人车进行环境建模, 利用三阶贝塞尔

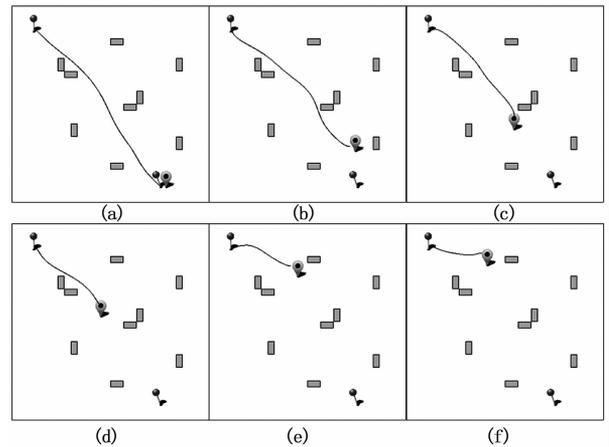


图 6 无人车自主导航路径

曲线对蚁群算法进行优化, 并将其应用于无人车自主导航。

结果证明, 优化后的蚁群算法可以为无人车实时规划出一条高质量的最优路径, 最优路径不仅有效地避开了障碍物, 而且光滑流畅, 有较强的实用性。但是, 它也存在着规划时间较长的缺点。同时, 本文只讨论了障碍物状态和位置已知的路径规划问题, 针对障碍物状态和位置更复杂的情形还应进一步研究。

参考文献:

- [1] 李铁铮, 局鹤华. 基于栅格空间的移动机器人快速路径规划方法 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (1): 164-166.
- [2] 杨献峰, 付俊辉. 移动机器人路径规划的仿真研究 [J]. 计算机仿真, 2012, (7): 223-226.
- [3] Zhu Q B, Hu J, Henschen L. A new moving target interception algorithm for mobile robots based on sub-goal forecasting and an improved scout ant algorithm [J]. Applied Soft Computing, 2013, 13 (1): 539-549.
- [4] 李 猛, 王道波, 柏婷婷, 等. 基于蚁群优化算法和人工势场的无人机航迹规划 [J]. 应用科学学报, 2012, (3): 215-220.
- [5] 高 曼, 刘以安, 张 强. 优化蚁群算法在反舰导弹航路规划中的应用 [J]. 计算机应用, 2012, 32 (9): 2530-2533, 2541.
- [6] Ting C J, Chen C H. A multiple ant colony optimization algorithm for the capacitated location routing problem [J]. International Journal of Production Economics, 2013, 141 (1): 34-44.
- [7] 孙纯哲, 林巨广, 楼赣菲, 等. 凹形障碍全局路径规划的双蚁群完全交叉算法 [J]. 农业机械学报, 2008, (7): 149-153.
- [8] 张 毅, 罗 元, 郑太雄, 等. 移动机器人技术及其应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [9] 张 斌, 钱正祥. 基于蚁群算法的无人机航迹规划技术及研究现状 [J]. 战术导弹技术, 2012, (7): 58-62.
- [10] 范路桥, 姚锡凡, 卞青青, 等. 蚁群算法及其在移动机器人路径规划中的应用 [J]. 机器人技术, 2008, 24 (8): 257-261.