

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2020.06.012

改进 A* 的 4 阶贝塞尔曲线路径规划

余星宝¹, 杨慧斌¹, 周玉凤¹, 闫健²

(1. 上海工程技术大学机械与汽车工程学院, 上海 201620; 2. 甘肃省兰州市气象局, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 自动引导车 (AGV) 路径规划时, 传统的 A* 算法存在应对障碍物时生成路径平滑度低、累计折角多、易碰撞等问题, 课题组提出一种利用 Bezier 曲线与 A* 算法相结合的路径优化算法。首先利用 A* 算法在有障碍物的栅格地图上规划出最短路径, 找出路径转弯处的特征点; 然后利用 4 阶 Bezier 曲线在 2 个特征点生成一条满足安全避障距离、具有一定曲率、路径相对更短的 Bezier 曲线; 最后结合 A* 算法生成的直线和 Bezier 曲线得到一条新的无碰撞曲线。试验结果表明在 2 种不同的障碍物密度下, 课题组提出的新算法比传统 A* 算法路径长度平均减少 5.5%、转弯角度平均减少 65.4%、碰撞次数平均减少 100%。新算法使 AGV 路径规划可减少路径长度和转弯角度, 提高了 AGV 的工作效率和安全性。

关键词: 自动引导车 (AGV); 路径规划; A* 算法; Bezier 曲线

中图分类号: TH165.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-2895(2020)06-0064-04

Improved Path Planning of A* Quartic Bezier Curve

YU Xingbao¹, YANG Huibin¹, ZHOU Yufeng¹, YAN Jian²

(1. School of Mechanical and Automotive Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China;

2. Lanzhou Meteorological Bureau of Gansu Province, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Aiming at the problems in the path planning of AGV of the traditional A* algorithm, such as low smoothness of the generated path, multiple accumulated angles, and easy collision when dealing with obstacles, a path optimization algorithm combining Bezier curve and A* algorithm was proposed. First, the A* algorithm was used to plan the shortest path on the grid map with obstacles and find out the characteristic points at the turn of the path; then the quadruple Bezier curve was used to generate a Bezier curve with safe obstacle avoidance distance, certain curvature and relatively shorter path at the two characteristic points; finally, a new collision-free curve was obtained by combining the straight line generated by the A* algorithm and the Bezier curve. Experimental results show that under different obstacle densities, the proposed algorithm reduces the path length by 5.5% on average, the turning angle by 65.4% on average, and the number of collisions by 100% on average compared with the traditional A* algorithm. The proposed method can reduce the path length for AGV path planning and turning angle, and improve the work efficiency and safety performance of AGV.

Keywords: AGV (Automated Guided Vehicle); path planning; A* algorithm; Bezier curve

路径规划^[1-2]是智能物流、无人驾驶等智能领域中重要的组成部分。路径规划的目标是实现从目的地到终点之间寻找一条安全(无碰撞)、高效(最短距离或最短时间)的一条最优或接近最优的路径。

众多专家学者对路径规划进行了大量的研究,如

蚁群算法^[3]、粒子群算法^[4]、模拟退火算法^[5]和神经网络^[6]等。罗晓东等^[7]利用拓扑地图法改进 Dijkstra 算法,结合深度优先遍历算法找到机器人的最短路径; Liao Jinquand 等^[8]采用人工免疫算法和蚁群算法融合的方式进行路径规划,将免疫机制添加到蚁群分泌的

收稿日期:2020-07-28;修回日期:2020-09-10

第一作者简介:余星宝(1996),男,江西九江人,硕士研究生,主要研究方向为制造业自动化。通信作者:杨慧斌(1983),上海人,硕士研究生,实验师,主要研究方向为运动控制、智能控制等。E-mail:2261363533@qq.com

信息素中,开发出新的路径规划算法;陈晨等^[9]针对立体仓库堆垛机的路径优化问题,提出一种混合粒子群算法和蚁群算法的混合优化算法,利用正反馈机制增加粒子的多样性,提高堆垛机的工作效率。

课题组在建立栅格地图的基础上,先利用A*算法得到AGV的运动路径,将其运动路径进行分段,针对折角较多的路段,借助4阶Bezier曲线来重新规划,实现路径优化。

1 栅格地图建立

如图1所示,建立一个20 m × 20 m的栅格地图^[10],黑色部分代表障碍物,不足一个栅格按照一个栅格面积处理。课题组采用直角坐标系的方式对每一个栅格位置进行标定。

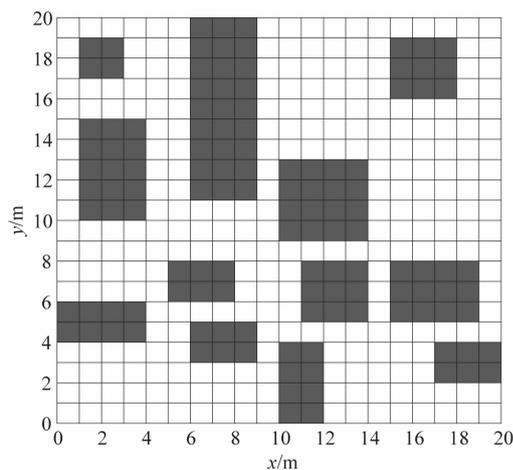


图1 栅格地图

Figure 1 Raster map

2 算法描述

2.1 A*算法

从算法分类上看,A*算法^[11]是一种启发式算法,对于不同的路况都具有较为灵活的适应能力。算法搜索过程中的扩展点保存在OPEN表中,障碍物的环境节点保存在CLOSE表中。算法从起点开始根据估值函数计算每个节点的价值,选择价值最低的节点进行扩展,每一个节点一直循环,直到搜索到终点,获得价值最低的路径,即最优路径。评价函数为:

$$f(n) = g(n) + h(n). \quad (1)$$

式中: $f(n)$ 为从起点经过节点 n 到目标点的启发式估计代价函数; n 为扩展节点; $g(n)$ 为起始点到节点 n 的实际代价值; $h(n)$ 为当前点 n 到终点的启发式代价函数,课题组采用欧几里得距离为启发函数^[12],且

$$h(n) = \sqrt{(x_T - x_n)^2 + (y_T - y_n)^2}. \quad (2)$$

式(2)即为当前节点 (x_n, y_n) 与目标节点 (x_T, y_T) 之间

的欧几里得距离。

2.2 Bezier曲线

Bezier曲线^[13]是由伯恩斯坦多项式发展而来的,控制简单,能够处理光滑曲线,应用较为广泛。文中利用Bezier曲线处理A*算法产生的折角,使得AGV运行路径更为平滑。A*算法和Bezier曲线路径对比如图2所示。

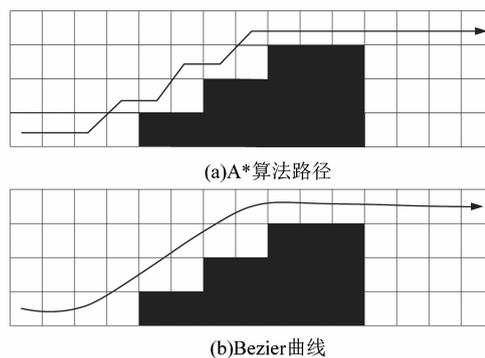


图2 不同算法的路径对比

Figure 2 Path comparison under different algorithms

在Bezier曲线中, $n + 1$ 个特征点可以定义 n 阶Bezier曲线,4阶Bezier曲线如图3所示。

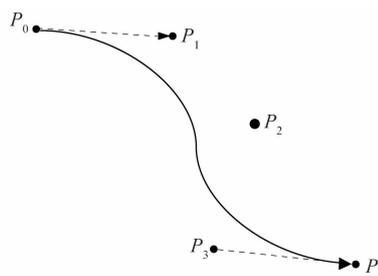


图3 4阶Bezier曲线示意图

Figure 3 Schematic diagram of fourth-order Bezier curve

Bezier曲线上点的参数方程:

$$P(t) = \sum_{i=1}^n P_i B_{i,n}(t), t \in [0,1]. \quad (3)$$

式中: P_i 为 i 点的位置; $B_{i,n}(t)$ 为 n 次Bernstein方程式。 $B_{i,n}(t)$ 满足:

$$B_{i,n}(t) = C_n^i t^i (1-t)^{n-1}, i=0,1,\dots,n. \quad (4)$$

式中: C_n^i 为二次项系数; n 为贝塞尔曲线阶次。

当 $n = 1$ 时,1阶Bezier曲线是一条2个位置点的直线;当 $n = 4$ 时,4阶Bezier曲线是一条5个位置点的曲线(如图3),将轨迹运动总时间记为1,当 t 在0~1之间波动时,参数方程为:

$$P(t) = P_0(1-t)^4 + 4P_1(1-t)^3t + 6P_2(1-t)^2t^2 + 4P_3(1-t)t^3 + P_4t^4 \quad (5)$$

3 算法融合

为解决 A* 算法转弯次数过多以及考虑 AGV 尺寸时产生的干涉问题,将 Bezier 曲线融入 A* 算法之中,算法融合流程如图 4 所示:

- 1) 由 A* 算法求出运动路径;
- 2) 在折点处分割由 A* 算法生成的路径;
- 3) 在分割路径处用 Bezier 曲线进行处理;
- 4) 得到最终优化曲线。

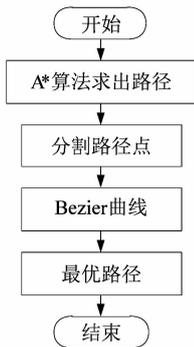


图 4 融合算法流程图

Figure 4 Flow chart of fusion algorithm

Bezier 曲线具体算法流程:

1) A* 算法生成全局路径,定义起点为 Start_Point,中间扫描折点为 Current_Points,终点为 End_Point,起点开始扫描各节点,直至终点 Start_Point—>Current_Points—>End_Point。

2) 如果 Current_Points 节点存在,继续;反之则转至 6)。

3) 若 Bezier(Start_Point, Current_Points + 1) 返回真值,继续;反之则转至 5)。

4) 将 Current_Points 赋值给 Current_Points + 1,同时删除 Current_Points 之间的节点,转至 2)。

5) Start_Point 赋值给 Current_Points, Current_Points 赋值给 Current_Points + 1,转至 2)。

6) 算法优化完成。

其中 Bezier(Point_A, Point_B) 是按照固定的栅格间隔(这里取 1/4 栅格长度)对 A, B 点之间采样,检测到折线则进行 4 阶 Bezier 曲线变换,将折点转化为具有一定曲率的曲线,并且以 AGV 当前所在点为质心,1/5 栅格长度为半径扫描是否碰撞障碍物栅格,返回对应坐标值。

4 实验仿真

课题组采用 8 邻域 A* 算法在栅格地图中进行路

径规划。图 5 所示为 16% 的障碍物下的 A* 算法和融合 Bezier 曲线的 A* 算法生成的路径。图 6 所示为 32% 的障碍物下的 A* 算法和融合 Bezier 曲线的 A* 算法生成的路径。

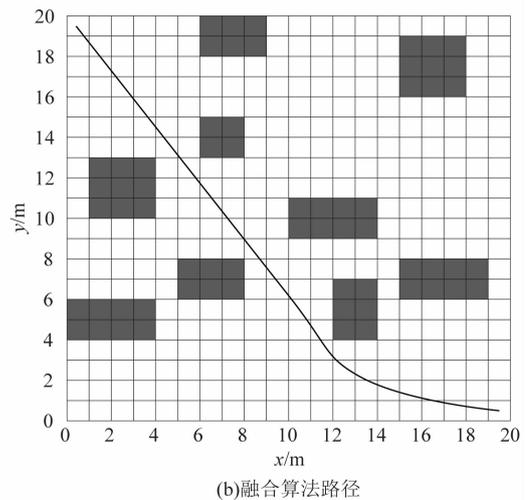
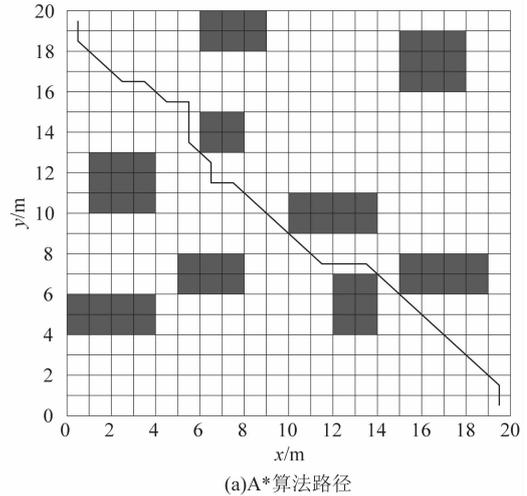
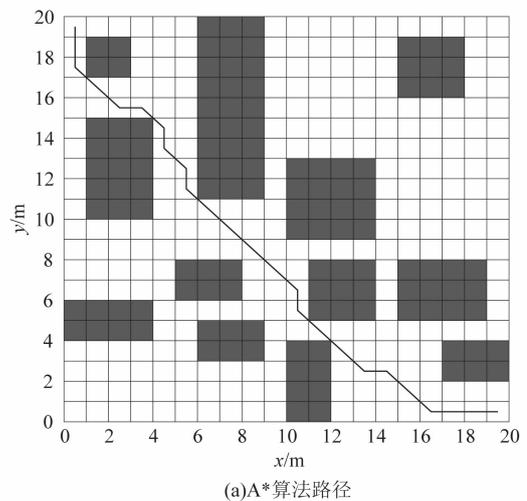


图 5 16% 障碍物路径

Figure 5 Obstacle path of 16%



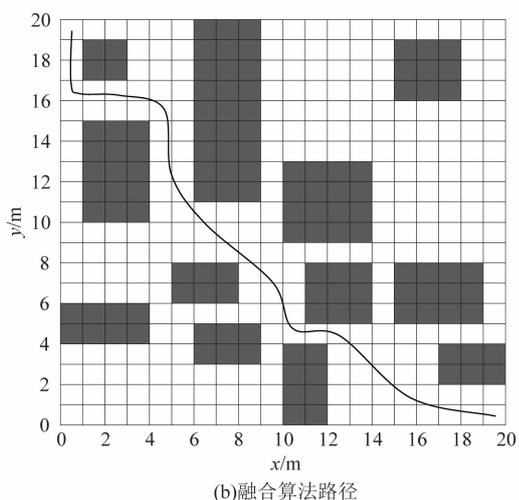


图 6 32% 障碍物路径

Figure 6 Obstacle path of 32%

由图 5 和图 6 可以看出 A* 算法可以避开障碍物找到终点,但是路径不够平滑,折角较多。经过 Bezier 曲线融合的 A* 算法得到的曲线更加平滑,而且在一些拐角处对障碍物的碰撞概率也有所降低。其路径长度等相关数据如表 1 所示,可以看出,相比于传统的 A* 算法,课题组提出的融合算法路径长度更短,折角更小,而且碰撞次数明显减少。

5 结语

传统的 A* 算法虽然可以得到一条从起点到终点的路线,但是其平滑度和防碰撞的能力都还有待提高。课题组在建立栅格地图的基础上,提出一种新的融合 Bezier 曲线的 A* 算法,在传统 A* 算法的基础上对其路径进行分割,将折点角度较多和离栅格太近的区域进行 Bezier 曲线处理,得到一条较为平滑且更安全的路径。通过实验仿真证明了新算法的有效性和可行性。

表 1 A* 算法和融合算法的各项数据

Table 1 Data of A* algorithm and fusion algorithm

算法	16% 障碍物			32% 障碍物		
	路径长度/m	转弯角度/(°)	碰撞次数	路径长度/m	转弯角度/(°)	碰撞次数
A* 算法	31.245	630.00	3	33.514	540.00	4
融合算法	30.024	62.34	0	31.201	320.52	0

课题组提出的方法虽然可以减少 AGV 路径的弯折角度,增加路径的平滑度,但是实际场景中 AGV 的直线路径是优于曲线路径的,因此在保证 AGV 可以达到终点前提下,应深入研究更多直线路径与更少 Bezier 曲线的融合算法,提高系统工作效率及鲁棒性。

参考文献:

[1] 白亮亮,平雪良,仇恒坦,等. 分布式室内移动机器人的定位与导航[J]. 轻工机械,2016,34(4):54-57.
 [2] 梁建刚,刘晓平,王刚,等. 基于改进蚁群算法的自动导引运输车全局路径规划方法研究[J]. 机电工程,2018,35(4):431-436.
 [3] GUPTA A, SRIVASTAVA S. Comparative analysis of ant colony and particle swarm optimization algorithms for distance optimization[J]. Procedia Computer Science, 2020, 173:245-253.
 [4] 丁承君,王鑫,冯玉伯,等. 基于粒子群优化算法的 AGV 路径规划[J]. 传感器与微系统,2020,39(8):123-126.
 [5] 季野彪,牛龙辉. 基于模拟退火策略的强化学习路径规划算法[J]. 现代计算机,2019(32):12.
 [6] PRADHAN B, NANDI A, HUI N B, et al. A novel hybrid neural network-based multirobot path planning with motion coordination[J].

IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2020, 69(2):1319-1327.
 [7] 罗晓冬,张秋菊. 取档机器人路径规划的改进 Dijkstra 算法[J]. 轻工机械,2019,37(3):102.
 [8] LIAO Jinquan. Research on PAGV path planning based on artificial immune ant colony fusion algorithm[J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2018, 35(3):2821-2826.
 [9] 陈晨,茅健. 基于混合蚁群粒子群算法的立体库堆垛机路径优化[J]. 轻工机械,2019,37(4):63-66.
 [10] 唐焯. 室内移动机器人搜索人的算法设计[J]. 轻工机械,2017, 35(3):40-48.
 [11] 王森驰. 基于 A* 算法的工业机器人路径规划[D]. 沈阳:沈阳工业大学,2017:19-26.
 [12] 马飞,杨焱岫,顾青,等. 基于改进 A* 算法的地下无人铲运机导航路径规划[J]. 农业机械学报,2015,46(7):304.
 [13] WEI Xuesong, WANG Xiaoyang, CHEN Songying. Research on parameterization and optimization procedure of low-Reynolds-number airfoils based on genetic algorithm and Bezier curve[J]. Advances in Engineering Software, 2020, 149:102864.