

DOI: 10.13382/j.jemi.B2104739

改进 8 邻域节点搜索策略 A* 算法的路径规划*

姜媛媛^{1,2} 张阳阳¹

(1. 安徽理工大学电气与信息工程学院 淮南 232001; 2. 安徽理工大学环境友好材料与职业健康研究院(芜湖) 芜湖 241003)

摘要:针对传统 A* 算法所规划路径存在易触碰障碍物,冗余节点过多等问题。提出了一种改进 8 邻域节点搜索策略 A* 算法的路径规划。首先,在 A* 算法中改进节点搜索条件,使得获得的节点与周围障碍物节点保持一定安全距离;然后利用垂距限值法剔除改进后路径上的冗余节点,并保留关键节点;最后,基于关键节点利用 B 样条曲线拟合出一条平滑路径。在不同规模的多障碍物地图环境下进行多次实验与对比,结果表明,相比于传统 A* 算法,提出的改进 A* 算法,获得的路径节点与障碍物节点的安全距离平均保持在 0.46,路径节点平均减少了 66.8%,有效提升机器人的工作效率和安全性。

关键词: A* 算法;冗余节点;节点搜索;垂距限值法;8 邻域

中图分类号: TP242.6 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.80

Improved path planning of A* algorithm of domain node search strategy 8

Jiang Yuanyuan^{1,2} Zhang Yangyang¹

(1. School of Electrical and Information Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China; 2. Institute of Environment-Friendly Materials and Occupational Health, Anhui University of Science and Technology, Wuhu 241003, China)

Abstract: Traditional A* algorithms plan paths that run the risk of hitting obstacles and create too many redundant nodes. For these problems, a path planning with improved search 8-neighborhood node strategy A* algorithm is proposed. Firstly, the node search condition is improved in the A* algorithm so that the obtained nodes maintain a safe distance from the surrounding obstacle nodes. Secondly, the redundant nodes on the improved path are removed using the vertical distance limit method, and the critical nodes are retained. Finally, a smooth path is obtained by fitting a B spline curve to the key nodes to achieve a smooth path. By conducting several experiments and comparisons in multiple obstacle map environments of different scales. The results show that the proposed improved A* algorithm, compared to the traditional A* algorithm, maintains an average of 0.46 path nodes to obstacle nodes and reduces path nodes by an average of 66.8%, effectively improving the efficiency and safety of the robot.

Keywords: A* algorithm; redundant nodes; search node; perpendicular distance methods; eight areas

0 引言

移动机器人路径规划是指在机器人工作环境中寻找一条安全、无碰撞的光滑路径^[1],其不仅关系到机器人能否顺利完成任务,也关系到机器人运行的安全性、稳定性

和可靠性^[2-3]。

根据环境信息的已知程度将路径规划分为全局规划和局部规划。全局路径规划需要掌握所有的环境信息,根据环境信息进行路径规划。目前,常用的全局路径规划算法主要包含 A* 算法^[4]、遗传算法^[5]、蚁群算法^[6]、粒子群算法^[7]、视觉图法^[8]等。其中,A* 算法因其简单、

收稿日期: 2021-09-16 Received Date: 2021-09-16

* 基金项目:安徽省重点研究与开发计划(202104g01020012)、安徽理工大学环境友好材料与职业健康研究院研发专项基金(ALW2020YF18)项目资助

高效、易操作、准确等特点,在全球路径规划中应用广泛^[9]。然而,传统A*算法没有考虑到机器人与障碍物之间的安全距离,规划出的路径往往贴合障碍物边缘、存在较多尖锐拐角和冗余节点、不平滑,不利于机器人的运动。

近年来,许多学者,对A*算法进行了深入研究,并加以改进。Liu等^[10]、Candeloro等^[11]、Ayawli等^[12]提出改变地图模型法,利用泰森多变形图(Voronoi)与A*算法相结合减少了路径规划时间,提高了计算效率。Harabor等^[13]、赵晓等^[14]、刘子豪等^[15]利用跳点搜索原理,通过筛选跳点进行扩展,扩展过程中使用跳点代替A*算法中大量搜索节点,从而减少路径节点,加快机器人寻路速度。张丹红等^[16]、辛煜等^[17]、赵丽华等^[18]采用拓展搜索角度来改善A*算法的搜索距离。上述方法主要关注于路径的长度、搜索时间和转折次数缩减的优化,对障碍物边缘与机器人有触碰可能性上考虑较少。

综上,本文提出一种改进子节点扩招策略的A*算法。首先,改进节点附近8个邻域的搜索条件,使得规划出的节点与障碍物节点保持安全距离;然后利用垂距限值法来删除初始路径中多余节点,大大降低了路径中的冗余节点;最后通过B样条曲线拟合保存下来的关键节点得到一条平滑无碰撞路径,在多障碍物的地图环境下进行仿真实验,验证了所改进算法在避障安全性和路径节点缩减上产生明显效果。

1 传统A*算法

A*算法是在迪克斯特拉(Dijkstra)算法的基础上结合了广度优先搜索(breadth first search, BFS)算法^[19],通过启发式搜索,利用代价函数作为寻路依据,以获取最优路径^[20],其代价函数为:

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

式中: $f(n)$ 为起点开始经过当前节点到终点的总代价; $g(n)$ 为起点至当前节点 n 的实际代价, $h(n)$ 为当前节点 n 到目标节点的估计代价,是A*算法能否找到最优解的关键。对于 $h(n)$ 主要有欧几里得距离、曼哈顿距离^[17]2种计算方式,具体如下:

$$h(n) = \sqrt{(n_x - E_x)^2 + (n_y - E_y)^2} \quad (2)$$

$$h(n) = |n_x - E_x| + |n_y - E_y| \quad (3)$$

式(2)、(3)中, (n_x, n_y) 为算法访问的当节点坐标, (E_x, E_y) 为目标节点坐标。由于欧几里德距离公式相对于曼哈顿计算复杂,运算量大,本文采用曼哈顿距离公式。

领域搜索是A*算法进行路径规划的基本准则,传统A*算法邻域搜索包含4邻域搜索和8邻域搜索^[21],相对于4邻域来说,8邻域搜索速度更快,搜索效率更高,路

径长度更短,拐点少。图1所示为8邻域搜索移动方向示意图。

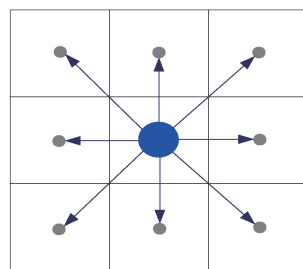


图1 A*算法机器人移动方向

Fig. 1 A* algorithm robot moving direction

如图2所示,传统A*算法所规划路径有多处路段紧邻障碍物,冗余节点多、转弯程度大等,不利于机器人移动,因此,本文通过改进8邻域节点搜索策略A*算法,获取最优路径。

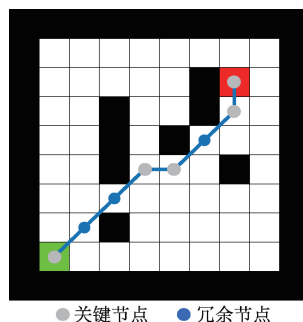


图2 传统A*算法机器人搜索路线

Fig. 2 Traditional A* algorithm robot search roadmap

2 改进8邻域子节点搜索策略

传统A*算法以中心节点向附近8个邻域扩散的方式搜索下一个待扩展节点,然后通过评价函数来选取扩展节点。

本文提出改进8邻域节点搜索策略,即:当搜索的节点相邻有障碍物节点时,此节点将不作为待扩展节点,以保证扩展出来的节点与障碍物保持安全距离。

以栅格地图为例,改进8邻域节点搜索策略如图3所示,以1处为中心节点(父节点),沿逆时针将周围8个邻域编号。父节点沿垂直和水平扩散至2或4节点时,因为相邻节点3是障碍物节点,2、4节点将不会放入到待扩展节点集中。类似地,父节点沿对角线扩展至7或9节点时,8节点是障碍物节点所以,所以7、9节点将不会放入到待扩展节点集中。将剩余节点放入到待选节点集中,通过评价函数来选取扩展节点,最终得到的路径节点都与障碍物保持一定距离。

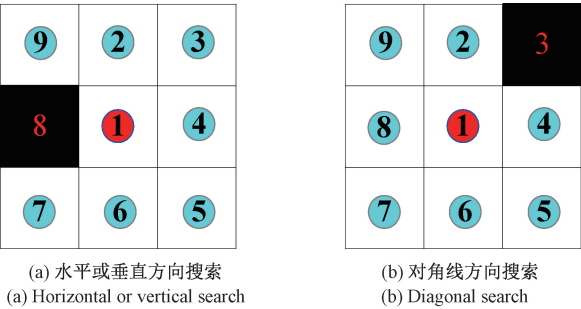


图 3 改进 8 邻域节点搜索策略

Fig. 3 Improved 8 domain node search strategy

此改进策略,虽然达到了机器人防碰撞的目的,但剔除了一部分扩展节点,会导致产生的路径变长、转折次数都会增多,可通过垂距限值法来改进这个问题。

3 垂距限值法

垂距限值法,是一种矢量数据压缩算法^[22],能够满足快速删除冗余节点的需要,相对于道格拉斯-普克法算法,具有算法简单和易于编程实现等优点^[23]。如图 4 所示,具体算法步骤如下:

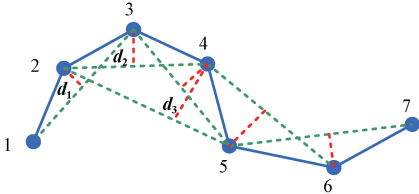


图 4 垂距限值法删除冗余节点示意图

Fig. 4 Diagram of redundant nodes removed by the vertical distance limit method

- 1) 在路径上按起始点至目标点顺序,依次用虚线连接两节点 1-3、2-4、3-5、4-6、5-7 等。
- 2) 以节点 2 开始,计算节点 2 到节点 1-3 直线段距离 d_1 。
- 3) 如果 d_1 大于预先给定的距离阈值 P ,则保留节点 2,计算节点 3 到节点 2~4 直线段距离 d_2 ;若 d_2 小于距离阈值 P 则删除节点 3。
- 4) 计算节点 4 到节点 2~5 直线段距离 d_3 ,如果 d_3 大于距离阈值 P 则保留 4 号节点。
- 5) 对其余节点重复步骤 1)~4)。
- 6) 当路径上所有节点处理完毕后,依次连接各个保留节点形成的折线,即为所求路径。该路径拐角尖锐,不利于机器人转向,可引入 B 样条曲线,平滑路径。

4 路径平滑

B 样条曲线,是在 Bezier 的基础上发展起来的一系列曲线。B 样条曲线具有 Bezier 函数的所有优点,并克服贝塞尔曲线整体控制带来的不便,可以局部调整而不改变整个路径形状^[24-25]使路径更平滑。

B 样条曲线方程可写为:

$$p(u) = \sum_{i=0}^n q_i N_{i,k}(u) \tag{4}$$

式中: $q_i (i=0,1,\dots,n)$ 为控制顶点(坐标), $N_{i,k} (i=0,1,\dots,n)$ 为 k 次规范 B 样条基函数,最高次数是 k 。基函数是由一个称为节点矢量的非递减参数 u 的序列 $U: u_0 \leq u_1 \leq \dots \leq u_2 + k$ 所决定的 k 次分段多项^[26]。B 样条的基函数通常采用 Cox-deBoor:

$$\begin{cases} N_{j,0}(u) = \begin{cases} 1, u_j \leq u \leq u_{j+1} \\ 0, \text{其他} \end{cases} \\ N_{j,k} = \frac{u - u_j}{u_{j+k} - u_j} N_{j,k-1}(u) + \frac{u_{j+k+1} - u}{u_{j+k+1} - u_{j+1}} N_{j+1,k-1}(u) \\ \text{define } \frac{0}{0} = 0 \end{cases} \tag{5}$$

式中: j 为节点序号, k 是基函数的次数,共有 $n+1$ 个控制顶点。注意区分节点和控制顶点,节点是在节点矢量 U 中取得,控制顶点则是坐标点,决定 B 样条的控制多边形。本文采用准均匀 B 样条曲线,对垂距限值法处理的路径进行平滑处理,垂距限值法保留的节点即是 B 样条曲线的控制顶点,曲线次数取 $k=2$,其节点矢量中两端节点具有重复度 $k+1$,即 $u_0 = u_2 = \dots = u_k, u_{n+1} = u_{n+2} = \dots = u_{n+3}$ 所有的内节点均匀分布,具有重复度 1。所有节点都是均匀分布的,从而拟合出一条光滑路径,如图 5 所示。

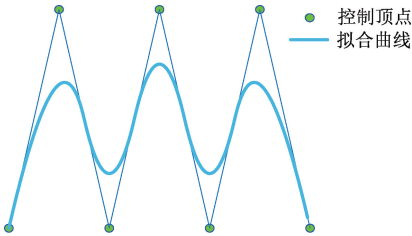


图 5 B 样条曲线拟合示意图

Fig. 5 Diagram of B spline curve fitting

5 算法流程

改进 8 邻域子节点搜索策略 A* 算法路径规划整体

步骤如下：

- 1) 在传统A*算法上加入改进8邻域子节点搜索策略,生一条新路径,新路径与障碍物保持安全距离。
- 2) 根据给定的距离阈值 P ,基于垂距限值法,删除路

径冗余节点,并保留关键节点。

基于关键节点,采用B样条曲线拟合整条路径,形成一条曲率连续的光滑路径。图6所示为改进A*算法流程图。

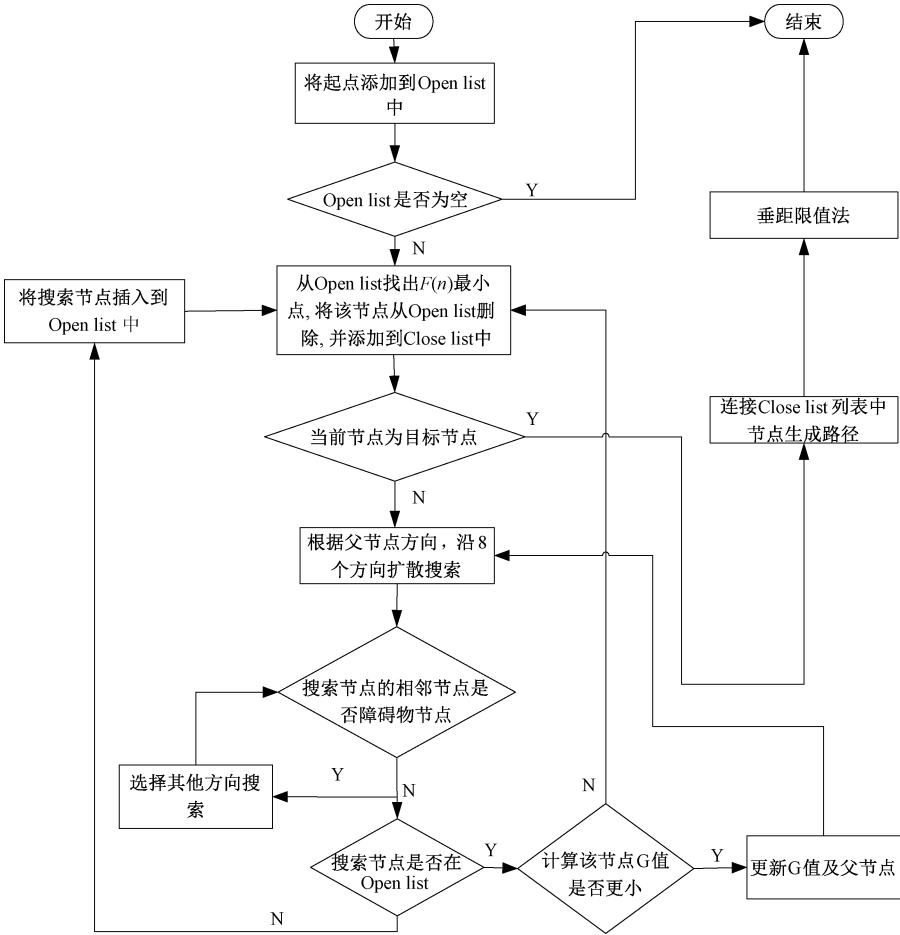


图6 改进A*算法流程

Fig. 6 Flow chart of the improved A* algorithm

6 仿真验证

为了验证本文路径规划算法,基于不同环境,采用仿真软件平台 MATLAB R2018b,硬件平台为 Intel (R) Core (TM) i7-5500U CPU@ 2.40 GHz 运行内存 8 GB。对传统A*算法、改进A*算法进行路径规划实验。实验共分为在30×30、50×50、100×100栅格地图下3组分别进行,如图7~9所示。每个地图环境下障碍物分布不同,其中左下角方格为起始点,右上角方格为目标点。为了便于较清楚体现,此处的网格线用白色代替。

从3组仿真实验图可看出,随着地图规模的增大和障碍物密集度的增加,传统A*算法规划的路径触碰障碍

物的次数增大,路径冗余节点较多,路径不够平滑,而经过改进的A*算法优化的路径,由于加入了改进8邻域节点扩展策略以及运用了垂距限值法,路径安全性得到很大提升,且路径节点减少,平滑后的路径更助于机器人的稳定移动。

表1为改进A*算法与A*算法在不同环境地图中实验数据对比情况。改进A*算法相比A*算法,路径长度及转折点增加,运行时间变长,但机器人与障碍物之间距离平均保持在0.46,且路径节点平均减少了66.8%。实验数据表明,改进A*算法对传统A*算法的路径有着很好的优化效果,在简单和复杂环境中都能有效改善路径安全质量产生平滑路径。

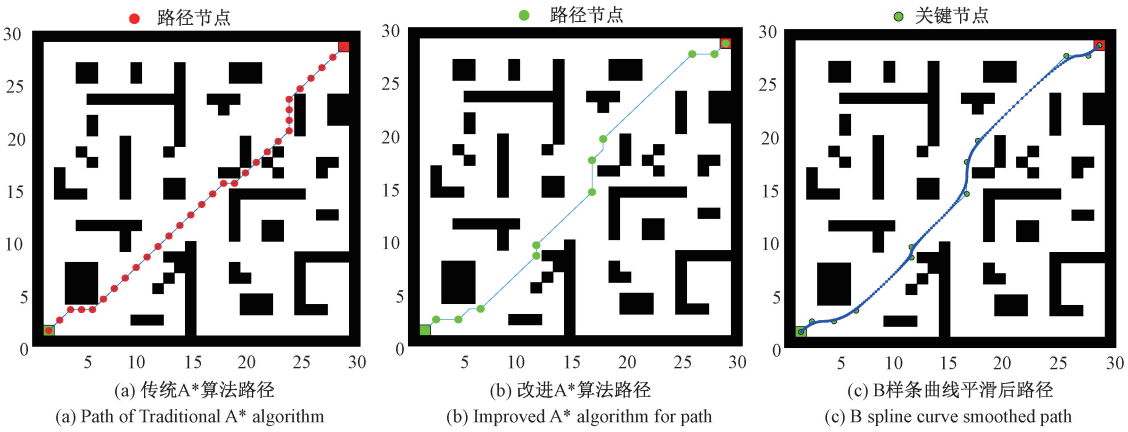


图 7 实验 1(30×30)
Fig. 7 Experiment 1

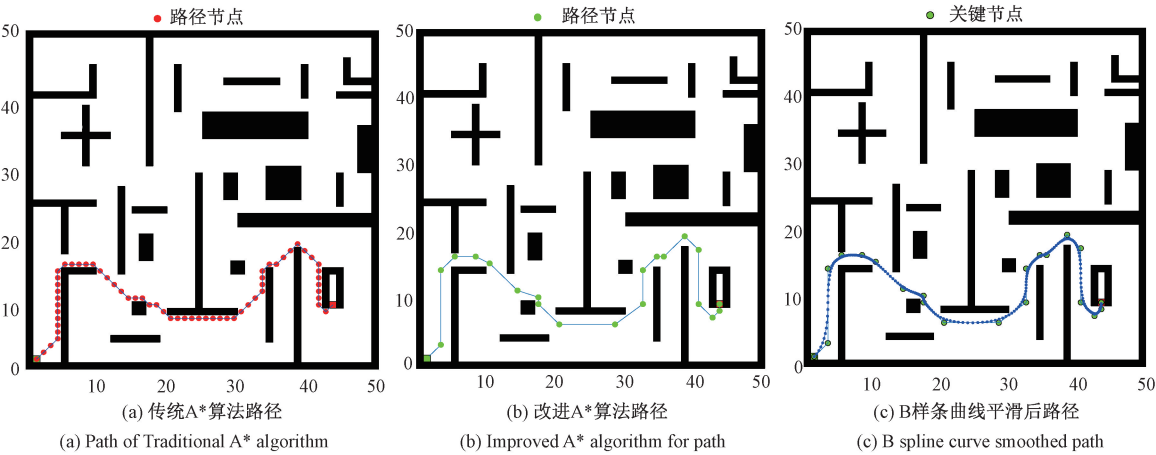


图 8 实验 2(50×50)
Fig. 8 Experiment 2

表 1 传统 A* 算法与改进 A* 算法实验结果对比

Table 1 Comparison of experimental results of between the traditional A* algorithm and the improved A* algorithm						
实验名称	算法	路径长度	路径节点	距离障碍最近距离	转折点	运行时间/s
实验 1	传统 A* 算法	39.94	31	0	9	0.61
	改进 A* 算法	41.11	14	0.5	12	0.84
实验 2	传统 A* 算法	71.35	62	0	18	1.59
	改进 A* 算法	78.09	21	0.34	19	2.62
实验 3	传统 A* 算法	141.86	106	0	18	1.70
	改进 A* 算法	147.09	38	0.5	36	2.12

7 结 论

路径规划是移动机器人完成给定任务的主要环节,本文提出了一种改进 8 邻域节点搜索策略 A* 算法,该算法首先对传统 A* 算法的节点扩展方法进行改进;然后利

用垂距限值法然后利用垂距限值法来删除初始路径中多余节点并保留关键节点;最后通过 B 样条曲线拟合关键节点。通过对传统 A* 算法的改进使得机器人获得最佳行走路径,有效地提升了机器人路径规划的安全性和稳定性。如何保证在路径安全性的基础上缩短路径规划时间和减少路径长度将是以后研究重点。

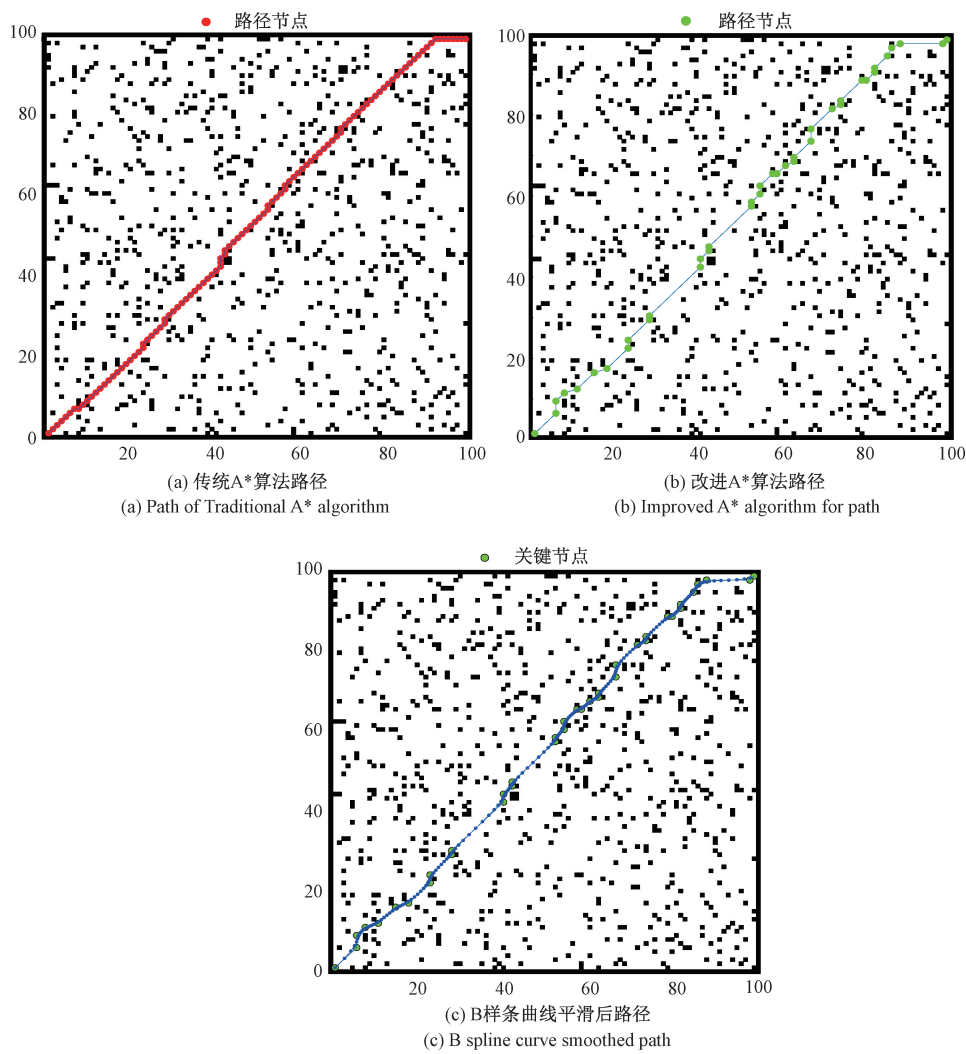


图 9 实验 3 (100×100)
Fig. 9 Experiment 3

参考文献

[1] WANG B, LIU Z, LI Q, et al. Mobile robot path planning in dynamic environments through globally guided reinforcement learning [J]. IEEE Robotics and Automation Letters, 2020, 5(4) : 6932-6939.

[2] DUCHON F, BABINEC A, KAJAN M, et al. Path planning with modified a star algorithm for a mobile robot [J]. Procedia Engineering, 2014, 96(7) : 59-69.

[3] HOU Y B, WANG W, LU X Y. Mobile robot path planning and research in the improved artificial immune algorithm [J]. Advanced Materials Research, 2012, 466(467) : 864-869.

[4] ERKE S, BIN D, YIMING N, et al. An improved A-star based path planning algorithm for autonomous land vehicles[J]. International Journal of Advanced Robotic Systems, 2020, 17(5) : 1-13.

[5] ROBERGE V, TARBOUCHI M, LABONTÉ G. Fast genetic algorithm path planner for fixed-wing military UAV using GPU [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2018, 54(5) : 2105-2117.

[6] 李志锟, 黄宜庆, 徐玉琼. 改进变步长蚁群算法的移动机器人路径规划 [J]. 电子测量与仪器学报, 2020, 34(8) : 15-21.

[7] LI ZH K, HUANG Y Q, XU Y Q. Path planning of mobile robot based on improved variable [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2020, 34(8) : 15-21.

[7] ZHEN X, ENZE Z, QING W C. Rotary unmanned aerial vehicles path planning in rough terrain based on multi-objective particle swarm optimization [J]. Journal of

- Systems Engineering and Electronics, 2020, 31 (1): 130-141.
- [8] LÜ T, FENG M. A smooth local path planning algorithm based on modified visibility graph [J]. Modern Physics Letters B, 2017, 31: 19-21.
- [9] 迟旭, 李花, 费继友. 基于改进 A* 算法与动态窗口法融合的机器人随机避障方法研究 [J]. 仪器仪表学报, 2021, 42(3): 132-140.
- CHI X, LI H, FEI J Y. Research on robot random obstacle avoidance method based on fusion of improved A* algorithm and dynamic window method [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2021, 42(3): 132-140.
- [10] LIU Z H, LIU H B, LU Z G, et al. A dynamic fusion path finding algorithm using delaunay triangulation and improved A-star for mobile robots [J]. IEEE Access, 2021, 9: 20602-20621.
- [11] CANDELORE M, LEKKAS A M, SØRENSEN A J. A voronoi-diagram based dynamic path-planning system for under actuated marine vessels [J]. Control Eng Pract, 2017, 61: 41-54.
- [12] AYAWLI B B K, MEI X, SHEN M, et al. Mobile robot path planning in dynamic environment using Voronoi diagram and computation geometry technique [J]. IEEE Access, 2019, 7: 86026-86040.
- [13] HARABOR D, GRASTIEN A. The JPS path finding system [C]. Annual Symposium on Combinatorial Search, 2012: 207-208.
- [14] 赵晓, 王铮, 黄程侃, 等. 基于改进 A* 算法的移动机器人路径规划 [J]. 机器人, 2018, 40(6): 903-910.
- ZHAO X, WANG ZH, HUANG CH K, et al. Mobile robot path planning based on an improved A* algorithm [J]. Robot, 2018, 40(6): 903-910.
- [15] 刘子豪, 赵津, 刘畅, 等. 基于改进 A* 算法室内移动机器人路径规划 [J]. 计算机工程与应用, 2021, 57(2): 186-190.
- LIU Z H, ZHAO J, LIU CH, et al. Path planning of indoor mobile robot based on improved A* algorithm [J]. Computer Engineering and Applications, 2021, 57(2): 186-190.
- [16] 张丹红, 陈文文, 张华军, 等. A* 算法与蚁群算法相结合的无人艇巡逻路径规划 [J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2020, 48(6): 13-18.
- ZHANG D H, CHEN W W, ZHANG H J, et al. Patrolpath planning of unmanned surface-vehicle based on A* algorithm and ant colony algorithm [J]. Huazhong University of Science & Technology (Natural Science Edition), 2020, 48(6): 13-18.
- [17] 辛煜, 梁华为, 杜明博, 等. 一种可搜索无限个邻域的改进 A* 算法 [J]. 机器人, 2014, 36(5): 627-633.
- XIN Y, LIANG H W, DU M B, et al. An improved A* algorithm for searching infinite neighborhoods [J]. Robot, 2014, 36(5): 627-633.
- [18] 赵丽华, 万晓冬. 基于改进 A* 算法的多无人机协同路径规划 [J]. 电子测量技术, 2020, 43(7): 72-75.
- ZHAO L H, WAN X D. Multi-UAV collaborative path planning based on improved A* algorithm [J]. Electronic Measurement Technology, 2020, 43(7): 72-75.
- [19] WANG Z Y, ZENG G H, HUANG B, et al. Global optimal path planning for robots with improved A* algorithm [J]. Journal of Computer Applications, 2019, 39(9): 2517-2522.
- [20] TANG G, TANG C, CLARAMUNT C, et al. Geometric A-star algorithm: An improved a-star algorithm for AGV path planning in a port environment [J]. IEEE Access, 2021, 9: 59196-59210.
- [21] 郭晓静, 杨卓橙. 基于邻域拓展的静态路径规划 A* 算法研究 [J]. 计算机工程与应用, 2021: 1-9.
- GUO X J, YANG ZH CH. An improved A* algorithm based on neighbor extension in the static environment [J]. Computer Engineering and Applications, 2021: 1-9.
- [22] JI H, WANG H. The research on the compression algorithms for vector data [C]. International Conference on Multi-media Technology, 2010, 1-4.
- [23] 彭认灿, 董箭, 郑义东, 等. 垂距法与道格拉斯-普克法删除冗余顶点效率的比较 [J]. 测绘通报, 2010, (3): 66-67, 71.
- PENG R C, DONG J, ZHENG Y D, et al. The efficiency comparison of methods between perpendicular distance and Douglas-Peuckerin deleting redundant vertexes [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2010, (3): 66-67, 71.
- [24] ELBANHAWI M, SIMIC M, JAZAR R. Randomized bidirectional B-spline parameterization motion planning [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2016, 17(2): 406-419.
- [25] LIU D, GU D, SMYL D, et al. B-spline-based sharp feature preserving shape reconstruction approach for electrical impedance tomography [J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2019, 38(11): 2533-2544.
- [26] UYAR K, ÜLKER E. B-spline curve fitting with invasive weed optimization [J]. Applied Mathematical Modelling,

2017, 52:320-340.

作者简介



姜媛媛 (通信作者), 2018 年于南京航空航天大学获得博士学位, 现为安徽理工大学教授, 主要研究方向为电力电子系统故障诊断与预测、移动机器人路径规划。
E-mail: jyyl672@163.com

Jiang Yuanyuan (Corresponding author)

received his Ph. D. degree from Nanjing University of Aeronautics and Astronautics in 2002. Now she is a professor at

Anhui University of Science and Technology. Her main research interests include fault diagnosis and prediction for power electronic systems and path planning of mobile robot.



张阳阳, 现为安徽理工大学硕士研究生, 主要研究方向为移动机器人路径规划。
E-mail: 1916541320@qq.com

Zhang Yangyang is a M. Sc. candidate at Anhui University of Science and Technology. His main research interest includes path planning of mobile robot.