

DOI: 10.16652/j.issn.1004-373x.2022.08.033

引用格式:周敬东,杨磊,张超.改进A*算法的室内机器人路径规划[J].现代电子技术,2022,45(8):181-186.

改进A*算法的室内机器人路径规划

周敬东, 杨磊, 张超

(湖北工业大学 农业机械工程研究设计院, 湖北 武汉 430068)

摘要:针对传统A*算法规划的路径存在拐点过多、搜索效率较差等问题,文中提出一种基于A*算法改进的高效路径规划算法。通过改进评价函数的具体计算方式来减少不必要的往返搜索,以提高运算速度;应用关键点选取策略剔除冗余点和不必要的拐点,以降低路径长度。然后,引入三次均匀B样条插值函数对路径中转折点进行平滑处理,使带尖角的路径更加平滑;采用最小堆替换数组作为OPEN表的存储结构来更快地访问最优节点,从而提升算法计算效率。最后,对改进前后的A*算法进行仿真实验。结果表明,文中改进的A*算法在搜索点个数、路径长度、运行时间上均有显著提高,且规划出的路径更平滑。将文中改进算法应用到处于真实室内环境的六足机器人中,验证了该算法的可行性。

关键词:改进A*算法;路径规划;室内机器人;评价函数;关键点选取;平滑处理;仿真实验

中图分类号: TN820.4-34

文献标识码: A

文章编号: 1004-373X(2022)08-0181-06

Indoor robot path planning based on improved A* algorithm

ZHOU Jingdong, YANG Lei, ZHANG Chao

(Agricultural Machinery Engineering Research and Design Institute, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China)

Abstract: In allusion to the existing problems of traditional A* algorithm such as too many inflection points as well as poor search efficiency, an efficient path planning algorithm based on improved A* algorithm is proposed. The specific calculation mode of the evaluation function is improved to cut down needless round-trip search, so as to improve the calculation speed. The key point selection strategy is adopted to eliminate the repetition point and needless inflection point to reduce the path length. Then, the cubic uniform B-spline interpolation functions are used to smoothing the turning points in the path, so as to make the path with sharp-angle smoother. The minimum heap replacement array is used as the storage structure of OPEN to access the optimal node faster, so as to improve the computational efficiency of the algorithm. The simulation experiments for the improved A* algorithm was conducted. The experimental results show that the improved A* algorithm has significant improvement in the number of search points, path length and running time, and the planed path is smoother. The improved A* algorithm is applied to a hexapod robot in a real indoor environment, which verifies the feasibility of the improved A* algorithm.

Keywords: improved A* algorithm; path planning; indoor robot; evaluation function; key point selection; smoothing processing; simulation experiment

0 引言

近年来,智能机器人逐渐应用于医疗、服务、航空等众多领域。路径规划作为机器人实现智能自主规划的关键技术,受到众多学者的广泛关注^[1-2]。其具体含义是指移动机器人在存在障碍物的真实空间环境中,自主规划出一条无碰撞的有效路径^[3]。路径规划根据可支配的外界环境有效信息的程度可以分为静态路径规划和动态路径规划。实际案例中根据算法的表现来看,动态路

径规划算法实时性较差、实现较为复杂,在现有的技术条件下难以保证搜索结果有较高的精度^[4]。而在静态路径规划的算法中,A*算法相较于人工势场法^[5]、LPA*算法、Dijkstra算法^[6]、遗传算法^[7]等,因具备快速高效、灵活度高且精度准确的优势而被引入静态路径规划中^[8-9]。但是传统A*算法规划的路径仍旧存在过多冗余点、转折点以及搜索效率较差的问题,且部分路径带有尖角不够平滑。

针对上述存在的问题,本文对路径规划的效率以及规划出的轨迹平滑度等方面进行局部改进。先对评价函数的具体计算方式进行改进,减少往返搜索的次数;

收稿日期:2021-09-09

修回日期:2021-10-19

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFD0700905)

再选取必不可少的关键点,剔除冗余点和无用的转折点,并引入三次均匀B样条插值函数来平滑优化后的路径;最后采用最小堆作为搜索列表的存储结构,提高访问OPEN列表中最优点的效率。通过在Matlab仿真平台上的模拟实验验证了改进算法的可行性。将本文提出的算法应用于树莓派六足机器人,在室内环境中进行实验。结果表明,本文提出的算法在路径长度、运行时间、平滑程度上相比于传统A*算法都有很大的提高。

1 传统A*算法

机器人的静态路径规划需要在预设的环境模型中执行。结合室内环境中障碍物基本不变且地面规整简单的特点,在各种环境模型的建立方法中栅格法最为简单实用。栅格法是将真实物理空间划分为规整的栅格单元。每个栅格单元根据是否有障碍物,可以分为占用栅格和非占用栅格,机器人必须选择非占用栅格。考虑到移动机器人在真实场景下会有很多方向可供选择,为了简化模型,规定移动机器人每一步可供参考的方向只有8种,分别为上下左右、左前、左后、右前、右后。如图1所示的规划路径中,黑色栅格为不可通行的占用栅格,对应环境中的障碍物,其他则均为非占用栅格。而机器人可供选择的方向如图可知只有8个方向,以蓝色栅格为例,其下一步可选择的栅格只能为周围的8个栅格。

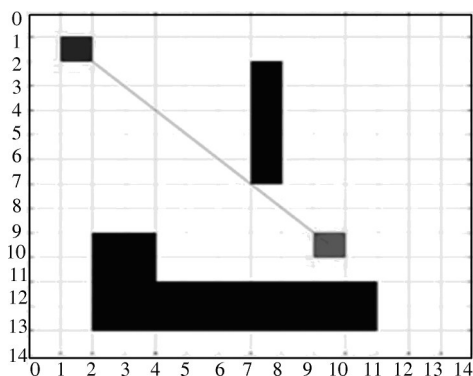


图1 规划路径

A*算法最早是由美国学者在1968年提出的一种启发式搜索算法^[10]。它同时具备Dijkstra算法和贪心搜索算法的优势,能够在启发函数指引下快速靠近目标点的同时确保规划路径最优。A*算法的评价函数如下:

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

式中: $f(n)$ 代表由出发点途经当前点并到达目标点的总代价; $g(n)$ 代表 $f(n)$ 总代价的前一部分代价,即当前点到出发点的代价; $h(n)$ 代表 $f(n)$ 总代价的后一部分代价,即当前点到目标点的代价。A*算法的特殊之处在于:

1) 设 $h(n)=0$ 时,A*算法便会退化成Dijkstra算法。

2) 设 $g(n)=0$ 时,A*算法就变成贪心搜索算法。

所以权衡好 $g(n)$ 和 $h(n)$ 之间的比例是A*算法的关键所在。

启发函数的选取也是至关重要的,通过修改启发函数能调节A*算法的行为。设机器人从当前点行驶到目标点的真实路径代价为 $h'(n)$,则存在以下情况:

1) 当 $h'(n) < h(n)$,这时最优路径可以得到保证,但 $h'(x)$ 预估值越小,则其遍历的节点越多,算法整体的效率也会越低。

2) 当 $h'(n) = h(n)$,则满足最理想的状况,算法能够计算出最优路径,且不会遍历多余的节点。但由于实际中障碍物具有不确定性,因此理想状况很难实现。

3) 当 $h'(n) > h(n)$,这时算法不能保证计算出最优路径,但是效率会最高。对路径非最优限制时,可以选择此方案。

A*算法每个节点会通过评价函数返回一个代价值,节点的代价值越小就表明该节点的重要性越高,更应该被优先考虑。A*算法在每轮迭代中都会选择未完成列表中评价函数返回值最小的节点,因此获得了目的性搜索的特性。最终A*算法通过不断检测最小的 $f(n)$ 获取出一条代价最小的路径。目前启发函数 $h(n)$ 可以根据实际情况采用曼哈顿距离式(2)、欧氏距离式(3)及切比雪夫距离式(4)的其中一种:

$$h(n) = |x_i - x_n| + |y_i - y_n| \quad (2)$$

$$h(n) = \sqrt{(x_i - x_n)^2 + (y_i - y_n)^2} \quad (3)$$

$$h(n) = \max(|x_i - x_n|, |y_i - y_n|) \quad (4)$$

A*算法主要是通过存储和更新OPEN列表和CLOSE列表对节点进行操作。首先将起始点加入到CLOSE列表中,然后考虑将其周边8个栅格的可用节点加入OPEN列表中,并在每个节点中记录一些重要信息,包括Parents、代价值等等。接着选择列表中代价值最小的点作为当前节点,重复上述步骤,若当前的扩展点出现了终点位置或者OPEN列表为空,此时采用在CLOSE列表中从后往前找父节点的方式得到一个规划出的路径。图2为仿真环境下传统A*算法的实施实例。

由图2可知,蓝色的栅格为人为选出来的起点,红色为终点,而黄色区域为执行A*算法路径规划时一共需要搜索和计算的点的集合,但是大部分的点与生成的路径无关,而且存在不断往返搜索的现象,这就造成传统A*算法在大面积路径规划过程中存在计算量大、内存消耗严重的问题。此外,在规划的路径中存在不必要的转折点,例如点1可以直接到点3,而不必先经过点2。并

且线段1和线段2存在尖锐点,机器人行走过程中会停顿和转向,这会造成时间上的消耗。

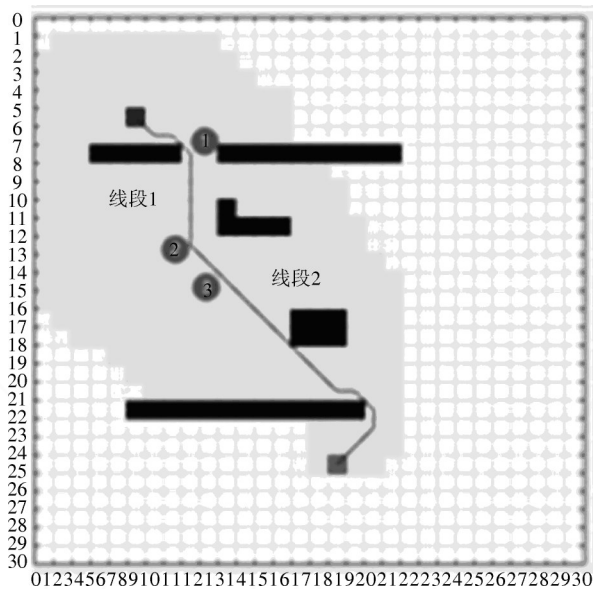


图2 传统A*算法路径

2 算法改进与仿真分析

本文在传统A*算法的基础上依次加入4种方案,用于提高算法的运行效率、缩短路径长度并平滑带有尖角的路径。仿真图的对比可以清晰地看出改进方案叠加后的效果,最后加入12组仿真实验,验证算法的通用性。

2.1 改进评价函数的具体计算方式

传统的A*算法按照估价函数进行启发式搜索时,会在开放列表中不断查询启发总代价值最小的节点,这会导致传统算法不断地来回往返搜索,从而降低算法的计算效率。

从第1节可知,估价代价等于实际路径代价的情况在存在障碍物时是难以达成的。所以为了解决传统算法往返搜索的问题,应该加大启发函数表达式中 $h(n)$ 的权重,得到:

$$f(n) = g(n) + a \cdot h(n) \quad (5)$$

相比于传统A*算法,改进后算法在实时性方面增强了不少,但仍然存在大量无用的往返搜索问题^[10-11]。为了解决上述存在的往返问题,在式(5)的基础上加入了当前节点的父节点对扩展点的影响,得到:

$$f(n) = g(n) + a \cdot (h(n) + h(p)) \quad (6)$$

式中: $h(p)$ 为当前节点的父节点到目标点的距离; a 为权重。改进后实时性得到进一步提高^[12]。改进评价函数后的A*算法实例如图3所示,相比于图2可以看出,往返搜索的节点更少,算法的计算能力更好。

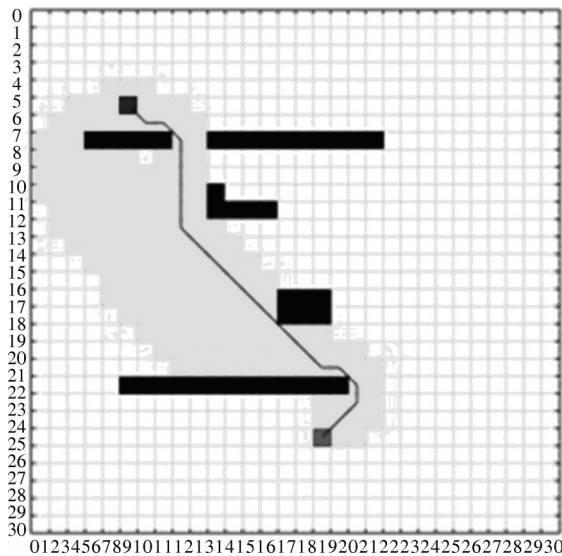


图3 加权后的A*算法路径

2.2 关键点选择

第2.1节搜索的节点经过加权评价函数的作用后大大减少了路径往返搜索,但是仍可看出路径中存在转折点、拐点。为了剔除这些点,本文提出了关键点选择策略,具体步骤如下:

1) 设由算法运行所得出的所有节点集合为 $\{Q_j | j=1, 2, \dots, n\}$,接着从起点出发,每次都与之后的节点连接起来。在保证线段不穿过障碍物的前提下,第一次出现和障碍物相交的线段时,设该节点的父节点为当前时刻的起始点,重复上面的操作。

2) 将上述步骤中充当过父节点的节点放入CLOSE列表中,作为改进后的关键点集合。

关键点选择策略去除了一些不必要的节点,大大缩短了规划路径的长度。图4为关键点两次选择改进后A*算法实例,对比图3可知规划出的路径更短。

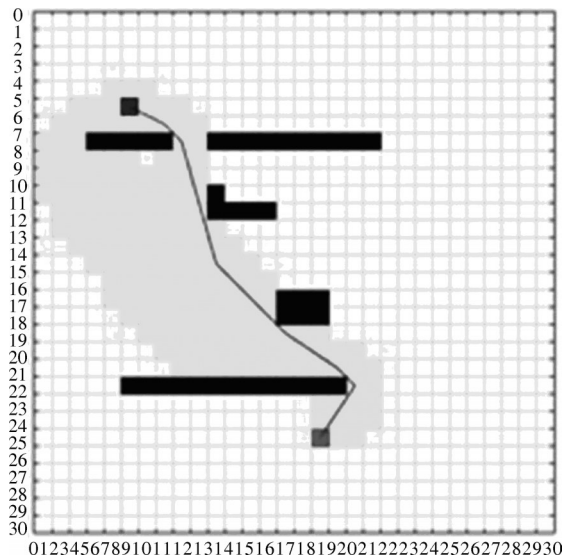


图4 关键点两次选择后的A*算法路径

2.3 路径平滑处理

经过两轮改进,A*算法路径中的转折点个数明显减少,路径长度大大缩短。但是整体的规划轨迹不平滑,部分路径带有尖角。为了消除尖角,可以加入三次均匀B样条函数,该函数可以起到路径平滑的作用,进而方便机器人行走。

运用三次均匀B样条插值函数将关键点进行平滑处理,仿真后结果如图5所示。对比图4可以看出,平滑后A*算法规划出一条有效的路径且路径更为平滑,而路径平滑可以避免实际场景中因存在路径尖角导致机器人在此停顿和转向的问题。

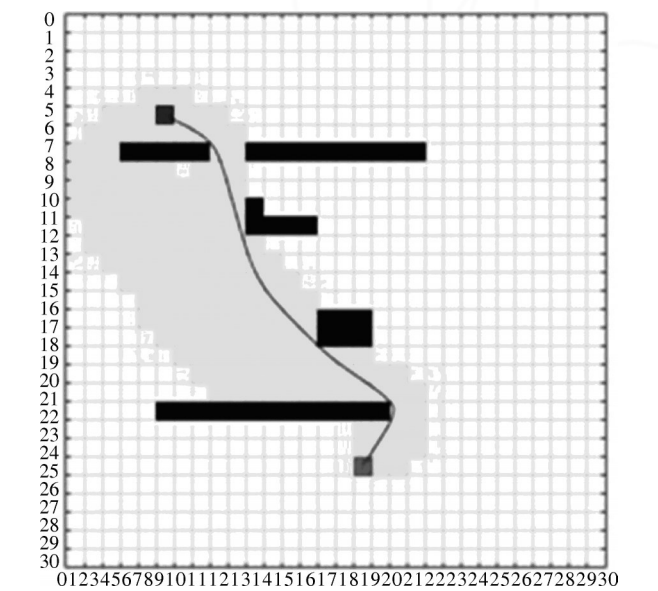


图5 平滑后的A*算法

2.4 最小堆加速

A*算法通过在 OPEN 列表逐一搜索的方式寻找表中 F 值最小的节点。OPEN 表的结构为数组,如图6所示。对数组进行遍历、查找等操作时,消耗的时长会随着存储容量的不断加大而变长。为了减少遍历的时间成本,本文采用一种树形结构来代替数组,即最小堆。最小堆的节点天然具备有序性,因此具有最小值的节点始终位于堆顶。

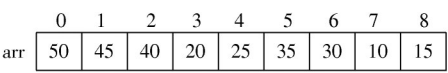


图6 数组示意图

最大堆和最小堆示意图如图7所示。由于A*算法每次遍历 OPEN 表的目的均为找到表中 F 值最小的点,而遍历表中每一个节点,必然效率会降低。因此选取小顶堆来存储扩展点,可以避免数组长度过大时,查找最小元素需要从数组首部逐一遍历,造成不必要的重复计算。最小堆查找最小值只需要 pop()堆顶的节点,这一

特性使其搜索效率相较于数组更加高效。

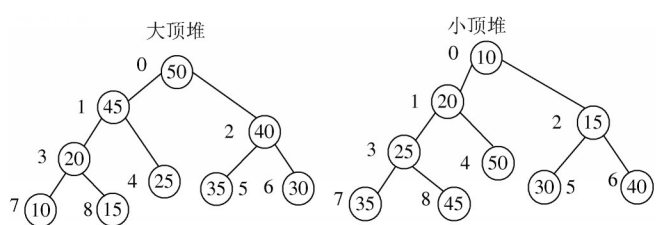


图7 最大堆和最小堆示意图

2.5 改进对比

在 Matlab 平台上采用两边长均为为 13 的正方形栅格模型进行建图,设置起点位置为(6,6),终点位置为(25,17),得到的环境地图以及本文算法得出的路径(黑色路径)和传统A*算法的路径(蓝色路径)如图8所示。

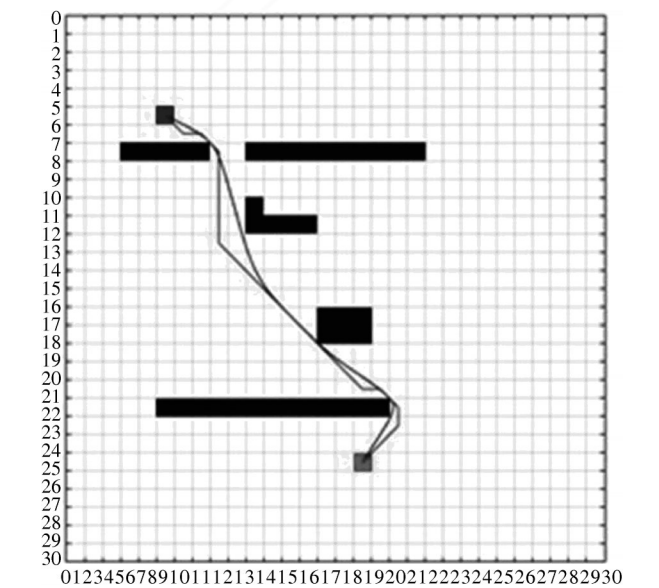


图8 改进前后A*算法对比

传统A*算法和本文提出的算法在路径长度、转折点数、扩展点数、运行时间上的数据结果如表1所示。

表1 改进前后A*算法的仿真对比

算法	路径长度	转折点 /个	访问节点数	时长 /ms
传统A*算法	262	8	309	60
改进A*算法	253.22	6	167	48
平滑A*算法	254.13	—	167	50

通过图8和表1可以明显看出:

- 1) 传统A*算法存在过多冗余点、拐点,导致规划出来的路径不是最合理的。
- 2) 改进A*算法路径长度有所降低,扩展点从309个变为167个,运行时间缩短了。而且改进的算法规划出来的路径更平滑,有利于机器人转向时速度的均匀控制。

为了验证改进A*算法的通用性,通过随机生成障碍物以及调整栅格边长的方式进行了12组环境不同的仿真实验。实验结果如图9~图11所示。

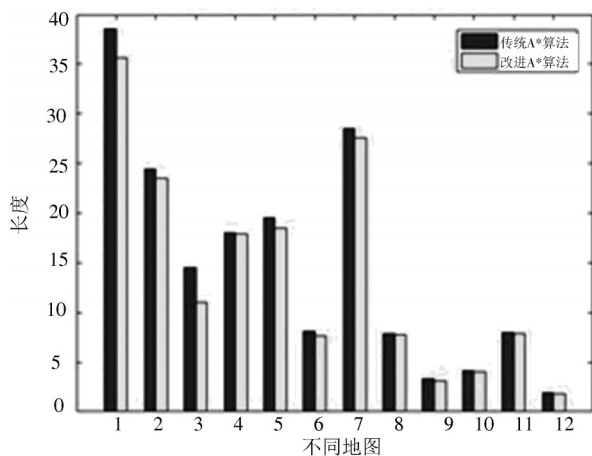


图9 路径长度对比示意图

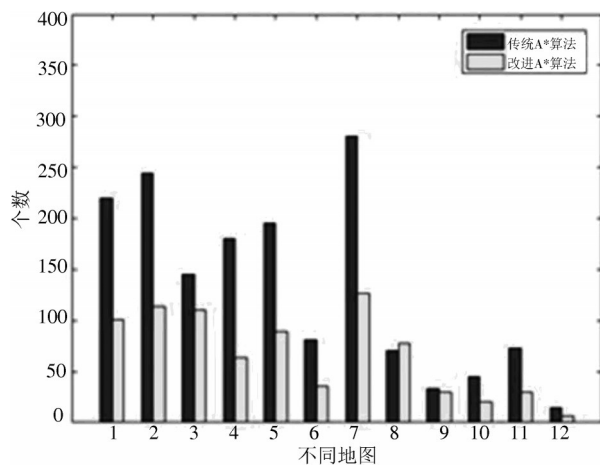


图10 搜索点数对比示意图

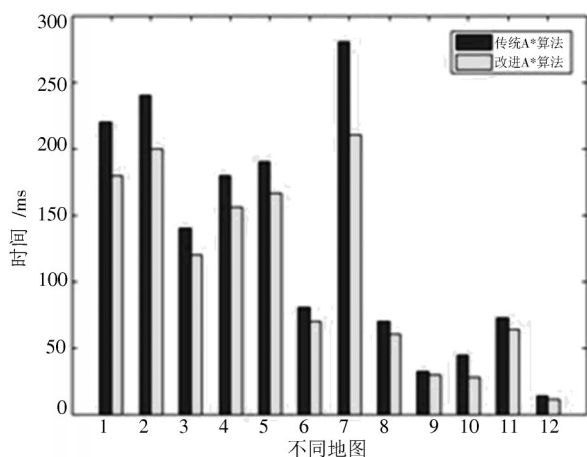


图11 运行时间对比示意图

通过12组仿真实验数据可以得出:改进A*算法相较于传统A*算法路径长度降低约3%,转折次数下降约25%,搜索点个数减少约46%,运行时间降低约17%,且

规划出的路径更平滑。实验表明改进的A*算法优化的效果在大尺寸地图和障碍物多的情况下愈发优于传统A*算法。

3 实验

此次实验所采用的机器人SpiderPi六足机器人,如图12所示。该机器人单条腿长26 cm,躯干外长24 cm,尺寸为40 mm×20.14 mm×51.10 mm,重量为2.35 kg。机器人通过主控板来控制舵机的行为,舵机协调机器人六足的动作。



图12 SpiderPi六足机器人

实验环境如图13所示,采用边长为20 cm、大小为13×13的栅格模型进行建图,得到的环境地图以及规划出来的路径如图14所示。设定起点位置为(3,1),终点位置为(11,13),将改进后的A*算法代码运行在六足机器人的开发板中,使得机器人自主进行路径行走。改进前后A*算法的对比结果如表2所示。由表2可知,改进的A*算法规划出的路径(黑色线段)相较于传统A*算法规划出的路径(蓝色线段),在运算速度、路径长度、平滑长度上均有提高。



图13 实验环境

4 结语

相对于传统的A*算法,本文以改进评价函数计算方式、关键点选择以及路径平滑处理和最小堆加速策略,对传统A*算法进行改进。改进评价函数计算方式减少了往返搜索的次数,提高了算法效率。关键点选择策略

避免了不必要的转折点和冗杂点,缩短了规划的路径长度。B样条函数的使用平滑了带尖角的路径,优化了规划的轨迹。最小堆加速策略加速了查找路径的速度。而且本文提出的算法在场景大且环境较为复杂时,提升的效果更加明显。将本文算法应用于树莓派六足机器人中,实验结果表明,改进的A*算法较传统A*算法在综合指标上更有优势,且规划出的路径更加合理。

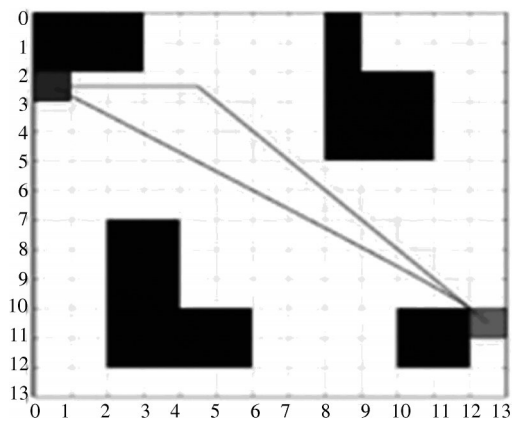


图 14 改进 A* 算法

表 2 改进前后 A* 算法的实验对比

算法	路径长度 /cm	访问节点数	时长 /s
传统 A* 算法	382.8	85	70
改进 A* 算法	320.2	48	61

参 考 文 献

[1] 刘晨阳. 移动机器人研究现状和未来发展的分析[J]. 同行, 2016(11):113.

[2] 杨兴. 室内自主导航移动机器人路径规划研究[D]. 太原: 中北大学, 2016.

[3] 霍凤财, 迟金, 黄梓健, 等. 移动机器人路径规划算法综述[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2018, 36(6): 639-647.

[4] 曹思萌. 动态环境下移动机器人的路径规划算法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2019.

[5] 杨凯, 龙佳, 马雪燕, 等. 移动机器人改进人工势场的路径规划方法研究[J]. 现代电子技术, 2020, 43(7): 141-145.

[6] 陈亚琳, 庄丽阳, 朱龙彪, 等. 基于改进 Dijkstra 算法的泊车系统路径规划研究[J]. 现代制造工程, 2017(8): 63-67.

[7] 宋宇, 王志明. 基于改进遗传算法的移动机器人路径规划[J]. 现代电子技术, 2019, 42(24): 172-175.

[8] 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.

[9] 王维, 裴东, 冯璋. 改进 A* 算法的移动机器人最短路径规划[J]. 计算机应用, 2018, 38(5): 1523-1526.

[10] 吴鹏, 桑成军, 陆忠华, 等. 基于改进 A* 算法的移动机器人路径规划研究[J]. 计算机工程与应用, 2019, 55(21): 227-233.

[11] 王玮, 王玉惠, 王文敬, 等. 基于改进加权 A* 算法的舰机联合航迹规划[J]. 电光与控制, 2016, 23(9): 7-10.

[12] 赵真明, 孟正大. 基于加权 A* 算法的服务型机器人路径规划[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2008(z1): 196-198.

作者简介:周敬东(1973—),男,湖北武汉人,副教授,研究方向为自动控制、检测、机电一体化技术,计算机、数字信号处理和传感器技术,非电量、电量参数采集技术,由计算机、FPGA、单片机组成的测控系统。

杨 磊(1994—),男,湖北孝感人,硕士,研究方向为机器人路径规划智能算法。

张 超(1990—),男,湖北武汉人,副教授,研究方向为家用医疗产品设计。