

基于改进 A* 算法的 AGV 智能泊车算法^①



张原¹, 陈宇轩², 魏璐璐¹

¹(西北工业大学 电子信息学院, 西安 710072)

²(西安市铁一中学, 西安 710054)

通讯作者: 魏璐璐, E-mail: weiluboy@163.com

摘要: 随着社会的发展和文明的进步, 人类对车辆智能化水平、便捷性和安全性的要求越来越高, 针对停车场车位少、停车难的问题, 在 A* 算法的基础上, 增加了时间因素, 将等待时间加入启发函数, 综合路径距离和等待时间两个因素进而规划出入库和出库任务的最佳路径, 设计了三维 A* 智能泊车算法, 在结构化环境下, 根据给定的停车场地图, 预留出最优车位, 规划出多辆同时工作的自动导引车 (Automated Guided Vehicle, AGV) 最优路径, 安排 AGV 运载车辆到指定车位或完成出库过程, 尽量减少客户在停车和取车中的等待时间, 并使总成本最小, 呈现真正“互联网化”的智能停车体验。

关键词: 三维 A* 算法; 智能泊车; 最优路径; AGV; 启发函数

引用格式: 张原, 陈宇轩, 魏璐璐. 基于改进 A* 算法的 AGV 智能泊车算法. 计算机系统应用, 2019, 28(1): 216-221. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/6712.html>

AGV Intelligent Parking Algorithm Based on Improved A* Algorithm

ZHANG Yuan¹, CHEN Yu-Xuan², WEI Lu-Lu¹

¹(School of Electronics and Information, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

²(Xi'an Tiewi Middle School, Xi'an 710054, China)

Abstract: With the development of society and the advancement of civilization, human beings are increasingly demanding the level of intelligence, convenience, and safety of vehicles. In view of the problem of less parking lot and difficult parking, the waiting time factor is added to the A* algorithm, and the waiting time is added to the number of heuristic functions, the distance of the comprehensive path and the waiting time are two factors to plan the best path for the tasks of parking into the lot and driving out of the lot, and a three-dimensional A* intelligent parking algorithm is designed. Under the structured environment, the optimal parking space is reserved according to the given parking lot map, the optimal path of the Automated Guided Vehicle (AGV) is planned for multiple simultaneous tasks, and the AGV vehicle is arranged to go to the designated parking space or to move out of the lot, with minimized waiting time of the customers to park or take the car, and making the total cost minimum, presenting a truly “Internet-enabled” smart parking experience.

Key words: three-dimensional A* algorithm; intelligent parking; optimal path; AGV; heuristic function

引言

随着机器人产业的迅猛发展, 国内的一些企业也

在积极开发 AGV 业务. 在 2016 年底第三届世界互联网大会期间, 针对车位紧张、停车难的问题, 海康威视

① 基金项目: 西北工业大学创业种子基金 (Z2017150)

Foundation item: Innovation and Venture Fund for Students in Northwestern Polytechnical University (Z2017150)

收稿时间: 2018-06-15; 修改时间: 2018-07-04, 2018-07-19; 采用时间: 2018-07-25; csa 在线出版时间: 2018-12-26

AGV 智能泊车系统提出全新的停车体验, 通过 AGV 智能泊车, 停车数量增加 40% 以上, 而且运营期间, 智能泊车 AGV 根据电量阈值和任务紧密程度自主进行充电任务, 不需要人为干预, 保证停车场的正常运营, 大大缩减了用户停车、取车时间^[1-4].

海康威视 AGV 采用视觉和惯性双导航技术实现自主定位, 定位精度误差小于 5 mm; 采用 4 组舵轮差速驱动, 支持前进、后退、平移、旋转等运动控制, 运动过程平滑柔顺; 激光雷达监测障碍, 前/后急停按钮安全防护, 实现安全可靠的运动控制; 可完成各类汽车的升举、搬运、旋转、下放. 该方案的实施, 用户只需将车辆放置在指定位置, 出入库任务交由 AGV 完成, 省去用户的停车时间以及节约取车等待时间.

目前各类停车场智能泊车算法只是针对单任务泊车提出解决方案, 这种情况过于理想化, 对错综复杂的大型停车场来说, 存在着多个出入库任务同时进行的情况, 本文在海康威视 AGV 智能机器人的基础上, 旨在解决多个 AGV 同时工作的情况, 提出新的解决方案: 本设计在 A*算法的基础上, 将等待时间加入启发函数, 提出三维 A*算法以解决停车场的智能泊车^[5]. 在该停车场管理系统, 客户进入停车场不需人工停车, 入库时只需将车停到入口位置并发出入库指令, 入库泊车任务交由 AGV 完成, 并且在停车场内部设有自动泊车引导系统, 采用算法规划出到达指定车位的最优路径, 将车送入预留车位, 进而节省车主寻找有效泊车位的时间; 客户在出库时, 发出出库任务指令, 系统收到指令在最短时间内规划出最优出库路线, AGV 将车送至出口, 完成出库任务^[6-8].

1 停车场环境和 AGV 模型建立

停车场环境的建模是建立一个便于 AGV 进行路径规划和使用的环境模型, 以实现 AGV 对出入口、障碍物、车位以及通道等标识的识别, 便于 AGV 控制器存储、处理、更新和使用, 有效的规划出入库合理的路径. 环境模型如图 1 所示, 以左下角为原点, 每个栅格代表一个单位, 地图中 P 表示车位, ×表示障碍物 (B), 右面*表示入口 (I), 左面*表示出口 (E), 地图中存在唯一的出入口, 白色表示行车道路 (X), 每个车位都与行车道路 (X) 相邻, 每个车位 (P) 只能停一辆车^[9,10].

规划出车辆出入库的最优轨迹, 记录在白色的栅格上, 在地图上存储 AGV 运载车辆的允许轨迹, 和障碍等相关信息, AGV 的轨迹被分解为单个的移动, 每

秒移动一个单位, 单个的移动轨迹被记录在每个栅格上, 每个栅格上的移动信息规定了 AGV 在这个栅格的移动方向 (前、后、左、右移动).

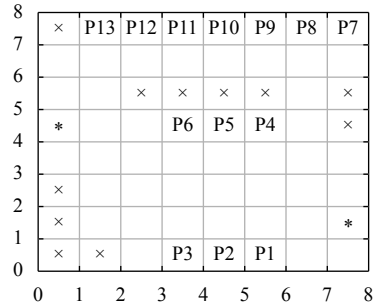


图 1 停车场环境建模

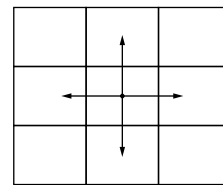


图 2 AGV 移动方向

2 停车算法设计

本算法主要分为两部分, 第一部分是车位预处理, 第二部分是路径规划算法.

预处理车位分配预处理, 预处理中忽略了 AGV 的影响, 只从车位和汽车信息来计算出初步方案, 提前为每辆车计算好预留车位数, 入库时通过预留车位数选择合理车位, 相比安排具体车位, 这种方式能够提高车位的利用率和停车场的效率. 通过这种预处理方式将原本的三维数据降低至二维, 大大加快了数据的处理速度, 从而可以得到较优的全局解.

2.1 车位预处理

总距离越长的库, AGV 处理时的功耗和时间代价相应也越高, 因此提高总距离较短车库的使用率有利于降低总体代价. 车位预处理的目的是在车入库选择时, 为后面的待入库车辆预留个数更优的车位^[11], 以节省 AGV 载车能耗以及提升整个停车系统的效率. 车位预处理采用链表的存储方式处理, 具体的步骤如下:

1) 计算每个车位离出入口的总距离, 并进行降序排序.

根据公式 (1) 计算每辆车的优先级系数,

$$P = \frac{\alpha * (W^2)}{\bar{W}} - T_{in} - \frac{\beta * (T^2)}{\bar{T}} \quad (1)$$

其中, W 是车重量, \bar{W} 是待入库车的平均重量, 是 T 车的停车时间, 是 \bar{T} 待入库车的平均停车时间, α 、 β 是比重系数, P 是该车辆的优先级.

2) 建立任务队列, 若任务队列为空, 直接分配车位; 否则, 根据车的优先级排列任务队列, 依次输出预留车位.

2.2 二维 A*算法的路径规划

A*是在 Dijkstra 的基础上一种启发式的局部优化算法, 所谓的"启发式", 就是对每一个搜索的位置进行评估, 也就对当前位置离目标的距离节点进行评估. A*算法是一种静态路网中求解最短路径的最有效的搜索方法^[12-14], 很好的应用在停车场存在固定障碍物的路径规划中, 启发的估价函数表示式 (2).

$$f(n) = g(n) + h(n) \quad (2)$$

其中, $h(n) = |X_1 - X_2| + |Y_1 - Y_2|$, (X_1, Y_1) 、 (X_2, Y_2) 分别为节点 n 和目标车位坐标, $f(n)$ 表示节点 n 的估价函数, $g(n)$ 表示从源节点到节点 n 在状态空间中的实际代价, $h(n)$ 为曼哈顿函数, 表示节点 n 到目的节点的最优路径的评估代价, 它在估价函数中的作用是主要的.

A*算法的基本思想是:

(1) 建立两个列表存放节点数据, 分别为 *open* 列表和 *close* 列表, 首先将源节点放入 *open* 列表;

(2) 将 f 值最小的点作为当前节点, 并从 *open* 列表中删除, 添加到 *close* 列表;

(3) 如果当前节点为终点节点, 则结束搜索;

(4) 处理当前节点的所有临近节点: 若已经在 *open* 列表, 再次计算 g 值, 与之前的 g 值进行比较, 以判断是否更新父节点和 g 值; 若不在 *open* 列表中, 那么就添加到 *open* 列表, 若该节点为障碍物或者已经被添加至 *close* 列表, 此节点不予处理;

(5) 如果 *open* 列表不为空, 转为步骤 (2).

由于建模的 AGV 只有前后左右四个方向, 所以在遍历当前节点的临近节点时, 只需遍历当前节点上下左右的四个临近节点, 若存在停车路径, A*算法通过父指针由目标节点回到初始节点完成路径规划.

2.3 三维 A*算法的路径优化

2.3.1 可达点判断

A*算法有效的解决了单个 AGV 工作的出入库路径规划的问题, 但是对于大型停车场存在多个 AGV 同时工作的情况, 就会出现同一栅格碰撞和时间维度上相遇的冲突, 导致停车场内不必要的损失. 为了实现合理规避同时工作的 AGV 并且具有最短的行程时间的

路径, 解决时间冲突问题, 本文主要基于传统二维 A*算法的算法思想, 实时对周围可达点进行判断, 若时间发生冲突时, 使该点不可达, 而选取其他周围临近点, 从而到达指定车位, 完成出入库动作.

2.3.2 启发函数的改进

增加了栅格是否可达的判断之后, 彻底解决了碰撞和相遇的冲突, 但在复杂的停车场内, 出入库任务和 AGV 返回任务同时进行的几率很大, 最终导致路径规划并不是最优路径甚至规划失败. 如图 4 所示, 假设停车场内同时进行 1 号 AGV 到 P6 车位入库以及 2 号 AGV 返回到入口待命的任务, 采用 A*算法规划出的两条路径之间存在一大段的重叠, 根据可达点的判断, 如果规划出可用路径, 其中一条路径必须"躲避"一个栅格才能成功规划出路径, 但是这种做法会增加路径搜索长度, 对于 AGV 较多的大型停车场, 路径规划的运算时间也会急剧上升.

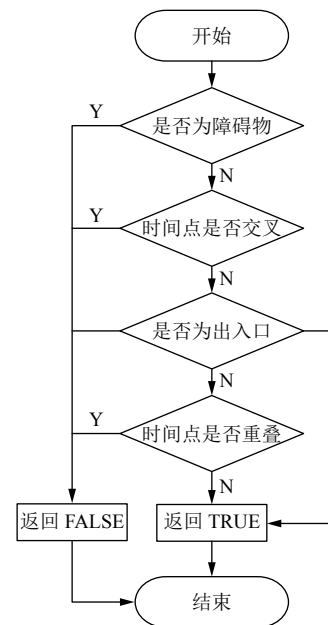


图 3 可达点判断流程图

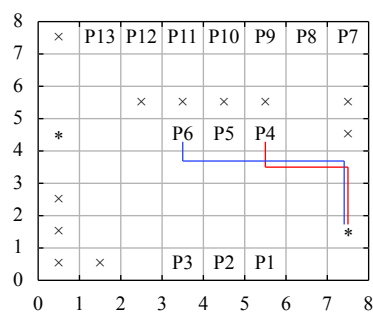


图 4 A*算法路径规划

本文对启发函数进行改进,在曼哈顿函数的基础上,修改在Y轴的比例系数,使得在路径规划的时候,优先选择在Y轴方向的栅格,改进后的启发函数如式(3):

$$h(n) = |X_1 - X_2| + \theta|Y_1 - Y_2| \quad (3)$$

其中, $\theta > 1$, θ 为Y轴的比例系数,规划路径时,优先搜索Y轴方向的空闲栅格,可以在一定程度上有效的减少路径重叠,避免增加路径长度的代价,加快了路径搜索的同时也更容易获得更优路径,改进后的1号AGV和2号AGV的路径如图5所示,选择可达点时,优先选择在Y轴方向的栅格有效的减少了路径重叠的发生,同时减少了运算时间,获得优化路径.

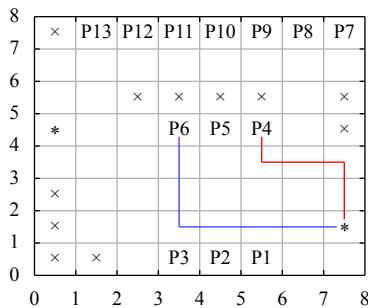


图5 改进启发函数的路径规划

2.3.3 三维最优路径求解

改进后的启发式函数虽然在一定程度上避免了路径重叠的问题,但是在对于多AGV的大型停车场来说,运动错综复杂,上述方法不足以完全消除路径重叠和路径过长甚至规划失败,为了保证停车场的正常运作,在改进启发函数的基础上,构建三维A*算法,本文采用任务延时机制,路径规划时,遇到重叠,通过任务延时,增加等待时间这一维度,进一步判断路径代价,进而规划出最优路径.

三维A*算法和传统A*算法相比关键因素在于增加了时间因素,将等待时间加入启发函数,综合路径距离和等待时间两个因素进而规划出入库和出库任务的最佳路径,以提高错综复杂的大型停车场的运营效率.

执行路径规划任务时,设置任务延时初始值为0,定义代价向量 $Cost(n)$ 和最小代价向量 $minCost(n)$,代价向量 $Cost(n)$ 是AGV从初始栅格到终点的代价,其中包括等待时间代价 $W(n)$ 和行程代价 $D(n)$,最小路径代价定义为最新路径规划的代价和上次计算路径代价之间的差值.在AGV执行出入库任务的过程中,对周围的

点进行可达判断,调用三维A*算法规划路径,若不可达,否则延时一个时间单位,重新进行规划,若规划出可达路径,计算路径代价和最小路径代价,暂存在 $Cost(n)$ 和 $minCost(n)$,延时一个时间单位,再次调用三维A*算法规划路径,每次迭代记录最小路径代价,直至时间延时代价大于最小路径代价,终止循环,返回最优路径.则 $Cost(n)$ 可以通过以下函数计算:

$$Cost(n) = W(n) + D(n) \quad (4)$$

算法流程图如图6所示.

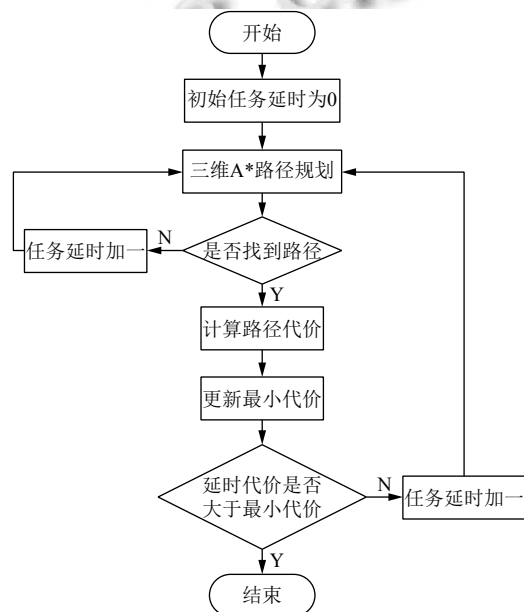


图6 延时最优路径流程图

三维A*算法将等待时间加入最优路径的判断条件,仅通过一个任务延时变量就优化了路径,算法简单利于实现,对停车场的运营效率的提升具有较大实际意义.

3 算法验证仿真

3.1 三维A*算法有效性的仿真

采用改进后的三维A*算法对存在多个出入库任务的情景进行仿真,以验证算法的可行性.

图7为停车场在某一时刻的使用状况,停车场剩余8个车位空闲,其余车位被占用,图中红色代表车位已被占用.车辆到达停车场入口的时间服从泊松分布,短时间内有4辆车顺序进入停车场待进入停车场车位,并有P1、P8两个车位的2辆车发出出库命令.根据车位预处理算法,选取车位P3、P4、P9作为3辆车的待

入库车位,采用顺序执行和三维A*算法分别对6辆车的出入库进行路径规划,AGV的路径距离和执行任务时间段如表1所示,其中s表示单位长度,t表示单位时间.

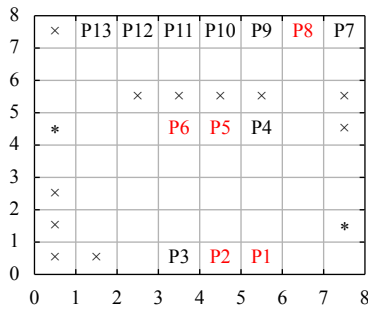


图7 当前停车场状态

表1 路径长度和消耗时间数据

序 号	起点 位置	终点 位置	按照顺序执行		三维A*算法	
			路径距离(s)	时间阶段(t)	路径距离(s)	时间阶段(t)
1	P1	出口	10	0-10	10	0-10
2	P8	出口	9	10-19	9	0-9
3	入口	P3	5	19-24	5	2-7
4	入口	P4	5	24-29	5	0-5
5	入口	P9	8	29-37	8	4-12
合计			37	37	37	12

由表1可知,任务顺序执行任务的路径距离为37s,消耗的总时间为37t;三维A*算法完成6辆车出入库任务的路径距离为37s,消耗总时间为12t,三维A*算法可完成停车场的智能泊车过程.相对于按照顺序依次执行任务,虽然总的路径长度不变或者可能会在一定程度上增加路径长度,但是整个任务执行消耗时间大大减少,这种方案更能满足用户的实际需要,提高停车场的运营效率.

3.2 三维A*算法效率分析

泊车行为是由人、车和泊车位有机组成,传统停车场的运营效率的属性主要包括入口至泊车的行驶距离、时间以及泊车位至用户目的地的步行距离和时间(用户需步行往返这个距离进行放车和取车),而第一个属性主要取决于驾驶员的驾车技术和侧方停车技术,所需时间因人而异,如果驾驶技术不娴熟,在多任务同时进行的停车场内,事故发生的可能性极大,造成本不必要的损失,而基于AGV的智能停车场出入库的任务交由AGV完成,三维A*算法存在可达点的判断以及规

划出的最优路径,不仅避免了事故的发生,而且省去了用户停车和返回时间;第二个属性,由于用户不同,假设用户的目的地都为出口处,而AGV停车场用户不需到达泊车位,只需在出口处更短的时间等待,即可提车使用,大大提高停车场的运营效率.

三维A*算法的停车场管理效率主要取决于启发函数里 θ 值的选择,针对不同的 θ 值,针对图7模型停车场,在处理一定数量车辆的出入库任务进行仿真,与传统停车场的效率进行对比,结果如表2所示.

表2 AGV智能停车场和传统停车场效率对比(单位:t)

进出车辆数量	时间	AGV智能停车场			传统停车场
		$\theta=1$	$\theta=1.2$	$\theta=1.3$	
$C_{in}:5 C_{out}:4$	T_{in}	0	0	0	35
	T_{out}	12	8	9	32
$C_{in}:4 C_{out}:8$	T_{in}	0	0	0	24
	T_{out}	19	15	16	39
$C_{in}:8 C_{out}:8$	T_{in}	0	0	0	53
	T_{out}	21	18	20	42

表2中 C_{in} 表示仿真入库任务的车辆数量, C_{out} 表示仿真出库任务的车辆数量, T_{in} 表示处理入库任务完成所需时间, T_{out} 表示出库任务完成所需时间.从表中可以看出,无论比例系数 θ 取值多大,AGV智能停车场的效率都明显高于传统停车场,但是 θ 并不是越大越好, θ 具体的取值根据停车场的实际布局情况而定.

4 结束语

本文在A*算法的基础上,提出了改进的三维A*路径规划算法,通过仿真验证了智能泊车算法的合理性和可行性,算法可满足智能停车场的正常运营,且系统可预留出最优车位,规划出出入库的最优路径,该问题的研究不仅避免了客户对于车位选择的盲目性,而且省去了停车时间以及节约了取车的等待时间,有效的降低了停车场的运营成本,并提高了停车场的运营效率智能化程度,使得停车场内部管理更加规范化、有序化,尤其对于车位较多的大型停车场管理具有重要的实际意义.

参考文献

- 1 AGV智能泊车初探(一).AGV智能泊车初探(一).智能机器人,2017,(1):22-23.
- 2 范秋秋.基于物联网技术的城市停车诱导系统研究[硕士学位论文].淮南:安徽理工大学,2017.

- 3 张席洲, 邱永涵. 基于 RFID 的停车诱导系统设计. 武汉理工大学学报 (交通科学与工程版), 2011, 35(3): 484-487. [doi: 10.3963/j.issn.1006-2823.2011.03.012]
- 4 王淼弛. 基于 A*算法的移动机器人路径规划[硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2017.
- 5 Frampton KD. Acoustic self-localization in a distributed sensor network. *IEEE Sensors Journal*, 2016, 6(1): 166-177.
- 6 朱云虹, 袁一. 基于改进 A*算法的最优路径搜索. 计算机技术与发展, 2018, 28(4): 55-59. [doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2018.04.012]
- 7 杨嘉华. 基于双向最短路径的大型停车场停车路径优化算法. 信息技术与信息化, 2016, (9): 58-60. [doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2016.09.011]
- 8 李伟, 余森, 王伟. 基于时间最短路径的停车场车位引导算法. 自动化仪表, 2015, 36(8): 23-25.
- 9 胡娟娟. 停车诱导系统关键技术研究[硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2006.
- 10 刘军. 基于 ZigBee 的智能停车场管理系统的设计与实现[硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2012.
- 11 王殿君. 基于改进 A*算法的室内移动机器人路径规划. 清华大学学报 (自然科学版), 2012, 52(8): 1085-1089.
- 12 彭红星, 解凤玲. 改进 Dijkstra 算法在停车诱导系统中的应用与仿真. 计算机应用, 2011, 31(S2): 63-66.
- 13 Comelli P, Ferragina P, Granieri M N, *et al.* Optical recognition of motor vehicle license plates. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 1995, 44(4): 790-799. [doi: 10.1109/25.467963]
- 14 陈红伟. 公路不停车收费系统中的车辆识别. 仪器仪表与分析监测, 2002, (1): 13-14. [doi: 10.3969/j.issn.1002-3720.2002.01.004]