



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109059924 B

(45)授权公告日 2020.07.03

(21)申请号 201810825064.3

(22)申请日 2018.07.25

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 109059924 A

(43)申请公布日 2018.12.21

(73)专利权人 齐鲁工业大学

地址 250353 山东省济南市长清区大学路
3501号

(72)发明人 李彬 张慧 李贻斌 荣学文

刘斌

(74)专利代理机构 济南圣达知识产权代理有限

公司 37221

代理人 黄海丽

(51)Int.Cl.

G01C 21/20(2006.01)

(56)对比文件

US 2017344007 A1,2017.11.30

CN 105716613 A,2016.06.29

CN 107357293 A,2017.11.17

张帅帅等.崎岖地形环境下四足机器人的静
步态规划方法.《吉林大学学报(工学版)》.2015,
(第04期),

审查员 索子繁

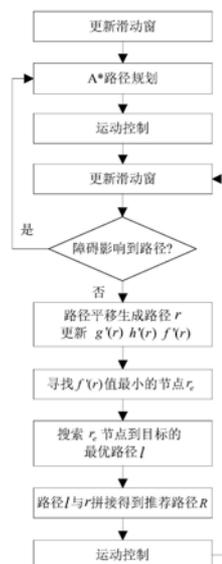
权利要求书3页 说明书7页 附图5页

(54)发明名称

基于A*算法的伴随机器人增量路径规划方
法及系统

(57)摘要

本发明公开了基于A*算法的伴随机器人增
量路径规划方法及系统,构建环境地图:根据实
际场景构建二维占据栅格地图,将每一个栅格标
记为障碍区域或可行区域;伴随机器人以及可移
动目标点的初始化:在栅格地图中设定伴随机器
人和可移动目标点的初始坐标位置;为机器人建
立滑动窗口;基于A*算法和增量路径规划方法对
伴随机器人的路径进行规划。其采用上一时刻路
径进行增量式路径更新,节省路径规划的时间,
提升伴随机器人的反应速度,及时避开新的障碍
物。



1. 基于A*算法的伴随机器人增量路径规划方法,其特征是,包括:

构建环境地图:根据实际场景构建二维占据栅格地图,将每一个栅格标记为障碍区域或可行区域;

伴随机器人以及可移动目标点的初始化:在栅格地图中设定伴随机器人和可移动目标点的初始坐标位置;为机器人建立滑动窗口;

伴随机器人的路径规划步骤:

步骤(1):伴随机器人将可移动目标点的当前位置在滑动窗口中的投影点作为新目标点,伴随机器人按照A*算法进行路径搜索得到伴随机器人与新目标点之间的最优路径;伴随机器人根据最优路径进行行走;滑动窗口以伴随机器人为基准,随着伴随机器人的移动而移动;

步骤(2):按照设定时间间隔,对滑动窗口内的栅格地图进行更新,对可移动目标点的当前位置在滑动窗口中的投影点进行更新,并对步骤(1)的最优路径在滑动窗口内进行平移;

步骤(3):伴随机器人判断更新后的滑动窗口内的栅格地图是否存在障碍物阻断最优路径;如果存在,就返回步骤(1);如果不存在,就进入步骤(4);

步骤(4):按照增量规划路径方式对伴随机器人平移后在滑动窗口内剩余路径点中代价值最小的点与更新的投影点之间的路径进行重新规划,找到新的最优路径,将新的最优路径与伴随机器人当前路径进行连接形成新的推荐路径;伴随机器人按照新的推荐路径进行行走;返回步骤(2);

所述步骤(1)伴随机器人将可移动目标点的当前位置在滑动窗口中的投影点作为新目标点,伴随机器人按照A*算法进行路径搜索得到伴随机器人与新目标点之间的最优路径的具体步骤为:

当可移动目标点在滑动窗口内,以伴随机器人当前位置为起点,以可移动目标点当前位置为终点,采用A*算法进行计算,得到最优路径;

当可移动目标点在滑动窗口外,且伴随机器人与可移动目标点的连线与滑动窗口的交点处没有障碍物时;以伴随机器人当前位置为起点,以可移动目标点在滑动窗口中的投影坐标为终点,采用A*算法进行计算,得到最优路径;

当可移动目标点在滑动窗口外,且伴随机器人与可移动目标点的连线与滑动窗口的交点处有障碍物时;以该交点为中心分别向滑动窗两侧进行寻找直到找到非障碍点;将找到的非障碍点为终点;以伴随机器人当前位置为起点,采用A*算法进行计算,得到最优路径;

所述步骤(2)的具体内容为:

对滑动窗口内的障碍物位置进行更新,对滑动窗口内可移动目标点的投影位置进行更新;按照伴随机器人位置变化对已规划的最优路径进行平移操作,删除移出滑动窗边界的路径点,保留滑动窗内的路径点,记为r;

所述步骤(4)中,按照增量规划路径方式对伴随机器人平移后在滑动窗口内剩余路径点中代价值最小的点与更新的投影点之间的路径进行重新规划,找到新的最优路径,将新的最优路径与伴随机器人当前路径进行连接形成新的推荐路径的具体步骤为:

伴随机器人更新步骤(2)中平移后滑动窗口内剩余路径点的评价函数:

$$g'(r) = g(r) - g(r_b) \quad (2)$$

$$h'(r) = |x_t - x_r| + |y_t - y_r| \quad (3)$$

$$f'(r) = g'(r) + h'(r) \quad (4)$$

其中, r_b 为平移后路径 r 的起始点, $g(r)$ 表示上次规划从起始点到路径 r 的路径点的代价值, $g(r_b)$ 为上次规划从起始点到路径点 r_b 的代价值, $g'(r)$ 为本次更新后从起始点 r_b 到路径 r 的路径点的代价值; x_t 表示当前目标投影点的在栅格地图中的 x 坐标, y_t 表示当前目标投影点的在栅格地图中的 y 坐标, x_r 为路径 r 的路径点的 x 坐标, y_r 为路径 r 的路径点的 y 坐标; $h'(r)$ 为本次更新后路径 r 的路径点到目标投影点的代价值, $f'(r)$ 为本次更新后从起始点 r_b 经由路径 r 到目标投影点的代价值; r_b 作为平移后路径 r 的起始点, 由公式 (2) 可知, $g(r_b)$ 更新后的结果 $g'(r_b)$ 为 0;

从路径点 r 的最后一个点开始, 依次比较路径点 r 上 n 个路径点的代价值 $f'(r)$, 并找出代价值 $f'(r)$ 最小的路径点 r_e ; 代价值 $f'(r)$ 最小的路径点 r_e 作为重新规划的起点; 若 $f'(r)$ 出现相等情况时, 将倒数第 n 个路径点作为重新规划的起点; 然后, 采用 A* 算法规划从重新规划的起点 r_e 到更新的目标投影点的新路径 l ; 最后, 新路径 l 与路径 r 进行拼接, 从而构成新的推荐路径 R 。

2. 如权利要求 1 所述的基于 A* 算法的伴随机器人增量路径规划方法, 其特征是, 所述滑动窗口的构建过程, 包括:

在栅格地图中以伴随机器人当前位置为原点建立二维坐标平面; 在二维坐标平面中选择 $2N \times 2N$ 的栅格区域为滑动窗口; 所述滑动窗口在二维坐标平面第一象限的栅格区域为 $N \times 2N$; 所述滑动窗口在二维坐标平面第二象限的栅格区域为 $N \times 2N$; 所述滑动窗口的底边经过原点; N 表示栅格个数。

3. 如权利要求 1 所述的基于 A* 算法的伴随机器人增量路径规划方法, 其特征是, 所述拼接通过对 l 的 g 值更新实现:

$$g'(l) = g(l) + g(r_e) \quad (5)$$

$$f'(l) = g'(l) + h(l) \quad (6)$$

其中, $g(r_e)$ 表示从起始点 r_b 到路径点 r_e 的路径代价值, $g(l)$ 为以 r_e 为起点所规划的路径 l 的路径点的代价值, $g'(l)$ 为从起始点 r_b 到路径 l 的路径点的代价值, $h(l)$ 为路径 l 的路径点到目标投影点的代价值, $f'(l)$ 为路径 l 与路径 r 拼接后其路径点到目标投影点的代价值; $R = \{r, l\}$ 为新的推荐路径, $g(R) = \{g'(r), g'(l)\}$ 将进入下一轮路径搜索。

4. 如权利要求 1 所述的基于 A* 算法的伴随机器人增量路径规划方法, 其特征是,

所述在栅格地图中设定伴随机器人和可移动目标点的初始坐标位置步骤之后, 在为机器人建立滑动窗口步骤之前, 还包括: 对障碍区域进行膨胀处理。

5. 如权利要求 4 所述的基于 A* 算法的伴随机器人增量路径规划方法, 其特征是, 对障碍区域进行膨胀处理的具体步骤为:

障碍物所占用的栅格区域, 等于以障碍物自身位置为圆心, 以伴随机器人中心与伴随机器人机体边缘的最大距离为半径画圆, 所画的圆形涉及的栅格区域。

6. 基于 A* 算法的伴随机器人增量路径规划系统, 其特征是, 包括: 存储器、处理器以及存储在存储器上并在处理器上运行的计算机指令, 所述计算机指令被处理器运行时, 完成上述权利要求 1-5 任一方法所述的步骤。

7. 一种计算机可读存储介质, 其特征是, 其上存储有计算机指令, 所述计算机指令被处

理器运行时,完成上述权利要求1-5任一方法所述的步骤。

基于A*算法的伴随机器人增量路径规划方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及伴随机器人领域,特别是涉及基于A*算法的伴随机器人增量路径规划方法及系统。

背景技术

[0002] 伴随行走作为典型的移动机器人人机协作方式,其既可解除遥控机器人带来的繁琐的操作负担,又能充分发挥移动机器人在复杂环境下的灵活性与适应性,因而研究移动机器人的伴随行走功能具有较强的现实意义。

[0003] 目前许多专利文献都对伴随行走机器人开展了研究,然而其侧重点往往集中于机器人如何识别目标,而对跟随行走过程中的重点一环——路径规划却鲜有研究。现今机器人领域普遍采用的路径规划方式为基于栅格的路径规划算法,该种规划方法将环境用规则化的栅格进行表示,并把路径规划转化为对联通栅格的搜索问题。

[0004] A*算法是该类算法中应用最广泛的一种,它可以搜索出连接起始点与目标点的最优路径。但A*是一种静态搜索算法,这意味着当环境发生变化时该算法不得不从起点开始重新规划。实际应用时由于环境变化往往发生在局部范围内,因此这种从起点开始的重规划方式会引起相同路径的重复规划从而导致路径搜索效率的下降。

[0005] 为解决该问题D*算法首先被提出,它结合了启发式搜索与增量式搜索的优点。其后又出现了D*Lite算法,该算法是D*算法的简化版,此外还有LPA*、ARA*的改进算法。上述改进算法在特定条件下均可搜索出起点到目标点的最优路径,然而它们都要求机器人的起点与目标点至少有一个是固定状态。

[0006] 对于伴随机器人而言,由于伴随机器人均需要跟随主人行走;其探知的环境信息会随着伴随机器人位置的变化而实时更新,这导致路径规划的起点与目标点不再是固定的地理坐标,因而上述各种算法均不适用于伴随机器人的应用环境,据发明人了解,现有伴随机器人的路径规划算法,比较浪费时间,浪费伴随机器人自身能耗,且算法运行时间长导致机器人反应速度慢,路径规划后遇到新的移动障碍物,无法及时调整路线;为此需设计出一种快速有效的路径规划算法来提高伴随机器人在复杂环境下的适应性。

发明内容

[0007] 为了解决现有技术的不足,本发明提供了基于A*算法的伴随机器人增量路径规划方法及系统,其采用上一时刻路径进行增量式路径更新,节省路径规划的时间,提升伴随机器人的反应速度,及时避开新的障碍物。

[0008] 作为本发明的第一方面,提供了基于A*算法的伴随机器人增量路径规划方法;

[0009] 基于A*算法的伴随机器人增量路径规划方法,包括:

[0010] 构建环境地图:根据实际场景构建二维占据栅格地图,将每一个栅格标记为障碍区域或可行区域;

[0011] 伴随机器人以及可移动目标点的初始化:在栅格地图中设定伴随机器人和可移动

目标点的初始坐标位置;对障碍区域进行膨胀处理;为机器人建立滑动窗口;

[0012] 伴随机器人的路径规划步骤:

[0013] 步骤(1):伴随机器人将可移动目标点的当前位置在滑动窗口中的投影点作为新目标点,伴随机器人按照A*算法进行路径搜索得到伴随机器人与新目标点之间的最优路径;伴随机器人根据最优路径进行行走;滑动窗口以伴随机器人为基准,随着伴随机器人的移动而移动;

[0014] 步骤(2):按照设定时间间隔,对滑动窗口内的栅格地图进行更新,对可移动目标点的当前位置在滑动窗口中的投影点进行更新,并对步骤(1)的最优路径在滑动窗口内进行平移;

[0015] 步骤(3):伴随机器人判断更新后的滑动窗口内的栅格地图是否存在障碍物阻断最优路径;如果存在,就返回步骤(1);如果不存在,就进入步骤(4);

[0016] 步骤(4):按照增量规划路径方式对伴随机器人平移后在滑动窗口内剩余路径点中代价值最小的点与更新的投影点之间的路径进行重新规划,找到新的最优路径,将新的最优路径与伴随机器人当前路径进行连接形成新的推荐路径;伴随机器人按照新的推荐路径进行行走;返回步骤(2)。

[0017] 进一步的,所述滑动窗口的构建过程,包括:

[0018] 在栅格地图中以伴随机器人当前位置为原点建立二维坐标平面;在二维坐标平面中选择 $2N*2N$ 的栅格区域为滑动窗口;所述滑动窗口在二维坐标平面第一象限的栅格区域为 $N*2N$;所述滑动窗口在二维坐标平面第二象限的栅格区域为 $N*2N$;所述滑动窗口的底边经过原点; N 表示栅格个数。

[0019] 进一步的,所述步骤(1)伴随机器人将可移动目标点的当前位置在滑动窗口中的投影点作为新目标点,伴随机器人按照A*算法进行路径搜索得到伴随机器人与新目标点之间的最优路径的具体步骤为:

[0020] 当可移动目标点在滑动窗口内,以伴随机器人当前位置为起点,以可移动目标点当前位置为终点,采用A*算法进行计算,得到最优路径;

[0021] 当可移动目标点在滑动窗口外,且伴随机器人与可移动目标点的连线与滑动窗口的交点处没有障碍物时;以伴随机器人当前位置为起点,以可移动目标点在滑动窗口中的投影坐标为终点,采用A*算法进行计算,得到最优路径;

[0022] 当可移动目标点在滑动窗口外,且伴随机器人与可移动目标点的连线与滑动窗口的交点处有障碍物时;

[0023] 以该交点为中心分别向滑动窗两侧进行寻找直到找到非障碍点;将找到的非障碍点为终点;以伴随机器人当前位置为起点,采用A*算法进行计算,得到最优路径。

[0024] 进一步的,所述步骤(2)的具体内容为:

[0025] 对滑动窗口内的障碍物位置进行更新,对滑动窗口内可移动目标点的投影位置进行更新。按照伴随机器人位置变化对已规划的最优路径进行平移操作,删除移出滑动窗边界的路径点,保留滑动窗内的路径点,记为 r 。

[0026] 进一步的,所述步骤(4)中,按照增量规划路径方式对伴随机器人平移后在滑动窗口内剩余路径点中代价值最小的点与更新的投影点之间的路径进行重新规划,找到新的最优路径的具体步骤为:

[0027] 伴随机器人更新步骤(2)中平移后滑动窗口内剩余路径点的评价函数:

$$[0028] \quad g'(r) = g(r) - g(r_b) \quad (2)$$

$$[0029] \quad h'(r) = |x_t - x_r| + |y_t - y_r| \quad (3)$$

$$[0030] \quad f'(r) = g'(r) + h'(r) \quad (4)$$

[0031] 其中, r_b 为平移后路径 r 的起始点, $g(r)$ 表示上次规划从起始点到路径 r 的路径点的代价值, $g(r_b)$ 为上次规划从起始点到路径点 r_b 的代价值, $g'(r)$ 为本次更新后从起始点 r_b 到路径 r 的路径点的代价值; x_t 表示当前目标投影点的在栅格地图中的 x 坐标, y_t 表示当前目标投影点的在栅格地图中的 y 坐标, x_r 为路径 r 的路径点的 x 坐标, y_r 为路径 r 的路径点的 y 坐标; $h'(r)$ 为本次更新后路径 r 的路径点到目标投影点的代价值, $f'(r)$ 为本次更新后从起始点 r_b 经由路径 r 到目标投影点的代价值; r_b 作为平移后路径 r 的起始点, 由公式(2)可知, $g(r_b)$ 更新后的结果 $g'(r_b)$ 为 0;

[0032] 从路径点 r 的最后一个点开始, 依次比较路径点 r 上 n 个路径点的代价值 $f'(r)$, 并找出代价值 $f'(r)$ 最小的路径点 r_e ; 代价值 $f'(r)$ 最小的路径点 r_e 作为重新规划的起点; 若 $f'(r)$ 出现相等情况时, 将倒数第 n 个路径点作为重新规划的起点; 然后, 采用 A* 算法规划从重新规划的起点 r_e 到更新的目标投影点的新路径 l ; 最后, 新路径 l 与路径 r 进行拼接, 从而构成新的推荐路径 R 。

[0033] 所述拼接通过对 l 的 g 值更新实现:

$$[0034] \quad g'(l) = g(l) + g(r_e) \quad (5)$$

$$[0035] \quad f'(l) = g'(l) + h(l) \quad (6)$$

[0036] 其中, $g(r_e)$ 表示从起始点 r_b 到路径点 r_e 的路径代价值, $g(l)$ 为以 r_e 为起点所规划的路径 l 的路径点的代价值, $g'(l)$ 为从起始点 r_b 到路径 l 的路径点的代价值, $h(l)$ 为路径 l 的路径点到目标投影点的代价值, $f'(l)$ 为路径 l 与路径 r 拼接后其路径点到目标投影点的代价值。 $R = \{r, l\}$ 为新的推荐路径, $g(R) = \{g'(r), g'(l)\}$ 将进入下一轮路径搜索。

[0037] 进一步的, 对障碍区域进行膨胀处理的具体步骤为:

[0038] 障碍物所占用的栅格区域, 等于以障碍物自身位置为圆心, 以伴随机器人中心与伴随机器人机体边缘的最大距离为半径画圆, 所画的圆形涉及的栅格区域。

[0039] 作为本发明的第二方面, 提供了基于 A* 算法的伴随机器人增量路径规划系统;

[0040] 基于 A* 算法的伴随机器人增量路径规划系统, 包括: 存储器、处理器以及存储在存储器上并在处理器上运行的计算机指令, 所述计算机指令被处理器运行时, 完成上述任一方法所述的步骤。

[0041] 作为本发明的第三方面, 提供了一种计算机可读存储介质;

[0042] 一种计算机可读存储介质, 其上存储有计算机指令, 所述计算机指令被处理器运行时, 完成上述任一方法所述的步骤。

[0043] 与现有技术相比, 本发明的有益效果是:

[0044] 相比现有单纯使用一种算法来对伴随机器人进行路径规划而言, 本发明将 A* 算法与增量式路径规划相结合, 更加提升了路径规划的速度, 避免了不必要的算法运行, 避免了 A* 算法的重复执行浪费的时间, 提升了机器人的反应速度, 节省了算法运行的时间, 节省了伴随机器人自身的能耗。

附图说明

[0045] 构成本申请的一部分的说明书附图用来提供对本申请的进一步理解,本申请的示意性实施例及其说明用于解释本申请,并不构成对本申请的不当限定。

[0046] 图1是环境信息描述;

[0047] 图2(a)和图2(b)是A*算法搜经搜索过程;

[0048] 图3(a)和图3(b)是IA*算法路径搜索过程;

[0049] 图4(a)和图4(b)是A*与IA*重规划路径比较;

[0050] 图5是IA*算法流程。

具体实施方式

[0051] 应该指出,以下详细说明都是例示性的,旨在对本申请提供进一步的说明。除非另有指明,本文使用的所有技术和科学术语具有与本申请所属技术领域的普通技术人员通常理解相同含义。

[0052] 需要注意的是,这里所使用的术语仅是为了描述具体实施方式,而非意图限制根据本申请的示例性实施方式。如在这里所使用的,除非上下文另外明确指出,否则单数形式也意图包括复数形式,此外,还应当理解的是,当在本说明书中使用术语“包含”和/或“包括”时,其指明存在特征、步骤、操作、器件、组件和/或它们的组合。

[0053] 当伴随机器人在复杂环境下运行时,路径规划相邻时刻的机器人及目标点所处的位置变化很小,因而其所处的环境信息很难发生剧烈的变化,所以在路径更新时若机器人每次都从起点对路径进行重规划则会导致新旧路径具有较多的重复部分,从而导致路径搜索效率的下降。为了解决该问题,该部分提出了增量式A*路径规划算法IA*。

[0054] A*算法在1980年由Nilsson提出,该算法是建立在Dijkstra算法基础上的一种启发式搜索算法,它可规划一条从起点 $S_{star} \in S$ 到目标点 $S_{goal} \in S$ 的最优路径,其中S是有限状态空间中一系列节点的集合。A*算法采用评价函数来对OPEN列表中的栅格点进行选择

[0055] $f(s) = g(s) + h(s)$ (1)

[0056] 该式中 $f(s)$ 表示所搜索到的栅格点s的代价值, $g(s)$ 反映了从起点到栅格点s的路径长度, $h(s)$ 为栅格点s到目标点的路径长度,通常采用Manhattan函数进行计算,则目标点处的f值即为最优路径的长度。

[0057] 由于A*为最短路径搜索算法因而在采用A*进行路径规划时,从起点到已规划路径点r的代价值 $g(r)$ 同样为最短距离。因此为了提高路径规划的速度,该申请利用已规划路径点的 $g(r)$ 值来构建增量式路径搜索算法IA*,具体搜索策略为:

[0058] 首先,构建环境地图。由于不同条件下伴随机器人与目标点之间的距离时刻处于变化中且环境感知传感器的探测距离有限,为此本申请并未按照机器人与目标点的位置变化构建完整的环境地图,而是以随着机器人的运动而移动的滑动窗的方式对设定距离范围内的环境信息进行更新,同时将目标点位置在滑动窗中的投影作为暂态目标点进行路径规划。

[0059] 滑动窗中的环境信息采用规则化的栅格地图进行描述。机器人及目标点的位置通过栅格坐标表示,进而将路径规划问题转化为栅格8邻域区间的连通性问题,同时将障碍物所处的栅格点按照机器人中心与机体边缘的最大距离进行膨胀。图1对环境地图进行了描

述,其中五角形所示为机器人位置,三角形为目标点位置,叉形填充的栅格表示障碍物及其膨胀后的影响区域。

[0060] 当目标点在滑动窗内时,机器人将搜索一条通向该点的最优路径,但当目标点在滑动窗外时机器人会首先计算该点在滑动窗中的投影坐标。目标投影点的选取方法为当机器人与目标点的连线与滑动窗的交点无障碍时则选择该交点作为投影点,否则以该交点为中心分别向滑动窗两侧寻找直到找到非障碍点。图1中目标点1所示为目标处于地图范围内时机器人会直接规划一条最优路径。目标点2所示为机器人与目标连线与地图边界的交点未受障碍影响时机器人会规划一条到该交点的最优路径。目标点3所示为目标投影点的选取方法为当机器人与目标点的连线与滑动窗的交点有障碍时,机器人以该交点为中心分别向滑动窗两侧寻找直到找到非障碍点并将该点作为暂态目标点。

[0061] 然后,进行路径规划。 A^* 算法进行路径规划时,一次完整的搜索过程如图2(a)所示,图中栅格的尺寸为 $10*10\text{cm}$,其中五角形与三角形分别表示机器人与目标点位置,黑色栅格表示障碍物位置。 A^* 算法遍历栅格时所出的 g 值、 h 值及 f 值分别标注在栅格的左下角、右下角及左上角。在下一时刻随着环境信息的更新 A^* 算法会重新遍历栅格以找到通向新目标的最优路径,更新后的结果如图2(b)所示。

[0062] 机器人在初始时刻首先按照 A^* 算法搜索得到最优路径,然后在其余时刻则按照增量式规划思路进行路径重规划。在重规划时,伴随机器人首先按照位置变化对地图中的环境信息及上次规划路径点进行坐标平移,平移后路径点的评价函数更新为:

$$[0063] \quad g'(r) = g(r) - g(r_b) \quad (2)$$

$$[0064] \quad h'(r) = |x_t - x_r| + |y_t - y_r| \quad (3)$$

$$[0065] \quad f'(r) = g'(r) + h'(r) \quad (4)$$

[0066] 其中, r_b 为平移后路径 r 的起始点, $g(r)$ 表示上次规划从起始点到路径 r 的路径点的代价值, $g(r_b)$ 为上次规划从起始点到路径点 r_b 的代价值, $g'(r)$ 为本次更新后从起始点 r_b 到路径 r 的路径点的代价值; x_t 表示当前目标投影点的在栅格地图中的 x 坐标, y_t 表示当前目标投影点的在栅格地图中的 y 坐标, x_r 为路径 r 的路径点的 x 坐标, y_r 为路径 r 的路径点的 y 坐标; $h'(r)$ 为本次更新后路径 r 的路径点到目标投影点的代价值, $f'(r)$ 为本次更新后从起始点 r_b 经由路径 r 到目标投影点的代价值; r_b 作为平移后路径 r 的起始点,由公式(2)可知, $g'(r_b)$ 更新后的结果 $g'(r_b)$ 为0;

[0067] 从路径点 r 的最后一个点开始,依次比较路径点 r 上 n 个路径点的代价值 $f'(r)$,并找出代价值 $f'(r)$ 最小的路径点 r_e ;代价值 $f'(r)$ 最小的路径点 r_e 作为重新规划的起点;若 $f'(r)$ 出现相等情况时,将倒数第 n 个路径点作为重新规划的起点;然后,采用 A^* 算法规划从重新规划的起点 r_e 到更新的目标投影点的新路径 l ;最后,新路径 l 与路径 r 进行拼接,从而构成新的推荐路径 R 。更新后的 g 值、 h 值及 f 值如图4(a)所示。

[0068] 同时机器人会从平移后的路径末端开始,依次比较更新后路径点的代价值 $f'(r)$,并找出该值最小的路径点 r_e 。该点如图3(a)中的空心圆形节点所示。为提高搜索效率,此处设定路径点的后向搜索个数为 n 。若 $f'(r)$ 出现相等情况时,将倒数第 n 个路径点作为代价值最小的路径点。

[0069] 然后采用 A^* 算法规划从该路径点到目标点的最优路径,得到新的路径片段。该路径片段如图3(b)中的空心六边形节点所示。

[0070] 最后该路径片段与平移后的路径进行拼接从而共同构成当前时刻的完整路径R，由于该完整路径不是从起点进行的规划因而不能保证其为最短路径，因此该处称其为次最优路径。该拼接过程主要通过对新路径点的g值更新实现

$$[0071] \quad g'(l) = g(l) + g(r_e) \quad (5)$$

$$[0072] \quad f'(l) = g'(l) + h(l) \quad (6)$$

[0073] 其中， $g(r_e)$ 表示从起始点 r_b 到路径点 r_e 的路径代价值， $g(l)$ 为以 r_e 为起点所规划的路径l的路径点的代价值， $g'(l)$ 为从起始点 r_b 到路径l的路径点的代价值， $h(l)$ 为路径l的路径点到目标投影点的代价值， $f'(l)$ 为路径l与路径r拼接后其路径点到目标投影点的代价值。 $R = \{r, l\}$ 为新的推荐路径， $g(R) = \{g'(r), g'(l)\}$ 将进入下一轮路径搜索。

[0074] IA*算法由于是对原有路径的增量式更新因而生成的新路径较A*算法重规划所得的路径具有更好的连贯性，同时由于IA*算法只进行增量式路径搜索，因而其较A*算法在路径重规划时具有更高的效率。随着环境信息的变化，若原有路径受到障碍影响时，则采用A*算法重规划一条从起点到目标的最优路径，否则将继续采用增量式方法进行路径规划。

[0075] 图4(b)图路径由IA*产生，由于IA*算法会在原有路径的基础上进行增量式路径规划，从而其路径不会出现较大波动。图4(a)图路径由A*算法生成，由于每次规划A*算法都要从起点重新进行路径搜索可见其生成的路径长度最短，然而这也导致其相邻时刻路径之间的较大差异，这易导致机器人航向的不稳定。同时由于IA*算法只进行增量式路径搜索，因而其较A*算法在路径重规划时具有更高的效率。随着环境信息的变化，若原有路径受到障碍影响时，则此时采用A*算法重规划一条从起点到目标的最优路径，否则将继续采用增量式方法进行路径规划。IA*算法流程如图5所示。

[0076] 由于IA*算法只进行增量式路径搜索，因而其较A*算法在路径重规划时具有更高的效率。表1对多次规划遍历的栅格总数进行了比较，由该表可知A*算法遍历的栅格个数是IA*算法的5倍以上。

[0077] 表1.A*算法与IA*算法搜索的总栅格数比较

次数	搜索栅格个数		A*/IA*
	A*	IA*	
1	39257	5510	7.12
2	38128	4435	8.60
3	38319	4071	9.41
[0078] 4	53006	9035	5.86
5	41264	5610	7.35
6	42973	3712	11.57
7	23180	4177	5.5
8	41864	5861	7.14
9	19185	3120	6.15

[0079] 以上所述仅为本申请的优选实施例而已，并不用于限制本申请，对于本领域的技

术人员来说,本申请可以有各种更改和变化。凡在本申请的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本申请的保护范围之内。

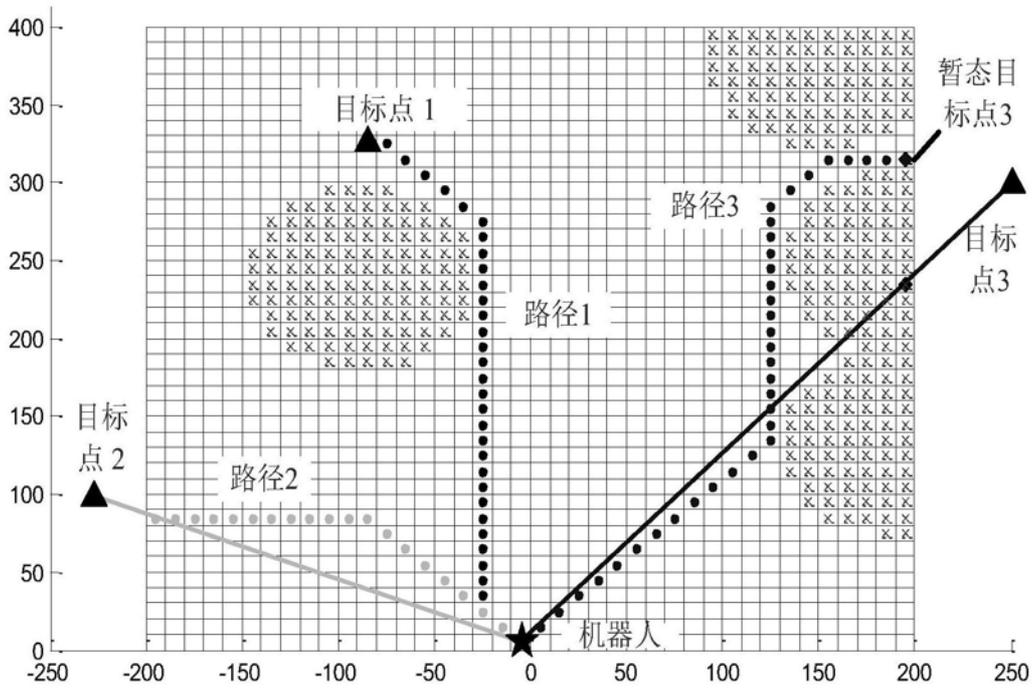


图1

112	98	92	∞	∞	∞	∞
92	20	88	10	92	00	
112	98	98	∞	∞	∞	∞
82	30	78	20	88	10	
112	98	98	∞	∞	∞	∞
72	40	68	30			
112	98	98	∞	∞	∞	∞
62	50	58	40			
112	98	98	∞	∞	∞	∞
52	60	48	50			
112	98	84	∞	∞	∞	∞
42	70	38	60	34	50	
118	98	84	90	104	∞	∞
38	80	28	70	24	60	20
			20	70	24	80
132	104	84	90	104	∞	∞
42	90	24	80	14	70	10
			10	80	14	90
∞	110	90	90	110	∞	∞
	20	90	10	80	0	90
			10	100		

图2 (a)

∞	98 88 10	84 ▲ 84 0	■	∞	∞	∞
∞	98 78 20	84 ● 74 10	98 78 20	∞	∞	∞
∞	98 68 30	84 ● 64 20	98 68 30	∞	∞	∞
∞	98 58 40	84 ● 54 30	104 64 40	∞	∞	∞
∞	98 48 50	84 ● 44 40	■	∞	∞	∞
∞	98 38 60	84 ● 34 50	■	■	∞	∞
∞	98 28 70	84 ● 24 60	■	■	■	∞
∞	104 24 80	84 ● 14 70	90 10 80	■	■	∞
∞	118 28 90	90 10 80	90 ★ 0 90	110 10 100	∞	∞

图2 (b)

		▲	■			
			98 ● 68 30			
		84 ○ 54 30				
		84 ● 44 40	■			
		84 ● 34 50	■	■		
		84 ● 24 60	■	■	■	
		84 ● 14 70		■	■	
			90 ★ 0 90			

图3 (a)

	98 88 10	84 ▲ 84 0	■			
	98 78 20	84 ○ 74 10	98			
	98 68 30	84 ○ 64 20	98			
	104 64 40	84 ○ 54 30	104			
		84 ● 44 40	■			
		84 ● 34 50	■	■		
		84 ● 24 60	■	■	■	
		84 ● 14 70		■	■	
			90 ★ 0 90			

图3 (b)

		■	■	■	■	110 ▲ 110 0
					124	112 ○ 100 10
			●		124	110 ○ 90 20
		●			124	110 ○ 80 30
		●	■		130	110 ○ 70 40
		●	■	■	126	110 ○ 60 50
		●	■	■	110	110 ○ 50 60
		124 ● 14 110	110 10 100	■	■	110 ○ 40 70
		130 10 120	110 ★ 0 110	110 ○ 10 100	110 ○ 20 90	110 ○ 30 80

图4 (a)

						112 ▲ 112 0
		132 82 50	118 78 40	112 ○ 82 30	112 ○ 92 20	112 ○ 102 10
		138 78 60	118 ● 68 50	118 78 40	126 96 30	126 106 20
		124 ● 54 70	138 78 60	132 82 50		
		124 ● 44 80				
		124 ● 34 90				
		124 ● 24				
		124 ● 14 110				
			110 ★ 0 110			

图4 (b)

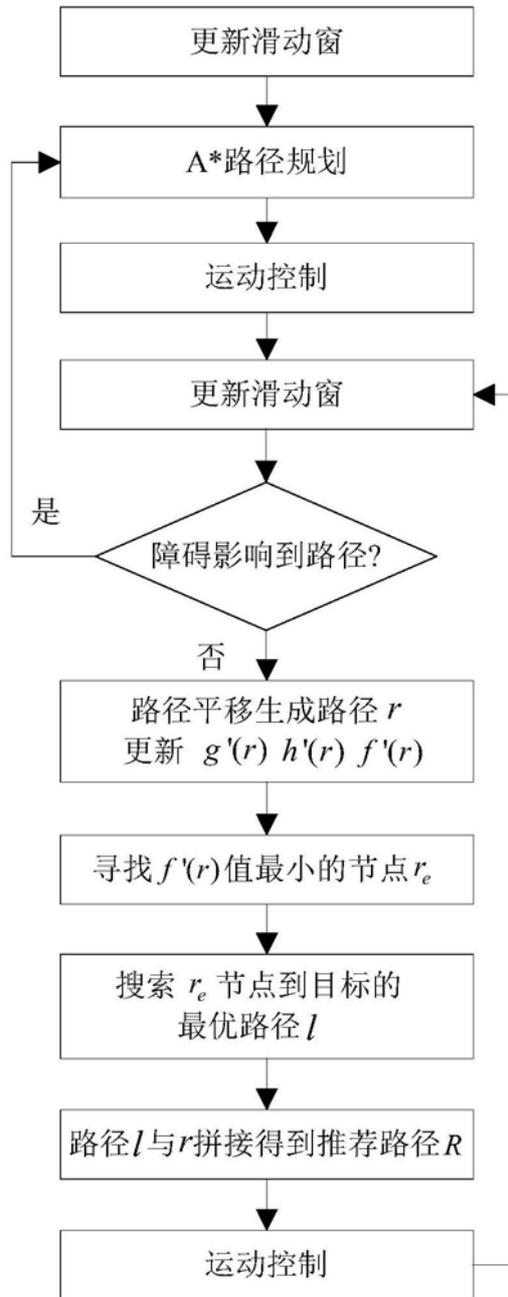


图5