



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107643752 A

(43)申请公布日 2018.01.30

(21)申请号 201710322289.2

(22)申请日 2017.05.09

(71)申请人 清研华宇智能机器人(天津)有限责
任公司

地址 300300 天津市东丽区华明科创慧谷
弘顺道5号

(72)发明人 刘召 宋立滨 于涛 陈恳 刘莉
陈洪安

(74)专利代理机构 天津滨海科纬知识产权代理
有限公司 12211

代理人 李成运

(51)Int.Cl.

G05D 1/02(2006.01)

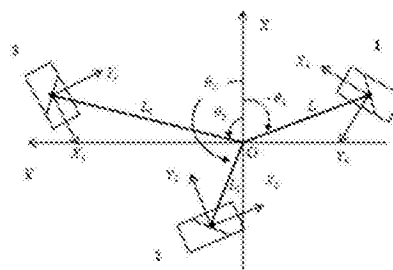
权利要求书3页 说明书8页 附图1页

(54)发明名称

基于行人轨迹预测的全向移动机器人路径
规划算法

(57)摘要

本发明提供了一种基于行人轨迹预测的全向移动机器人路径规划算法,包括以下步骤:S1、利用机器人底盘和安装在底盘上的麦克纳姆轮进行运动学建模;S2、机器人根据当前坐标、目标位置坐标进行路径规划;S3、机器人通过激光雷达模块对视野内的行人进行行为轨迹预测,计算行人一定时间内可能处于的范围;S4、机器人根据行人可能处于的范围进行躲避行人路径规划。本发明所述的基于行人轨迹预测的全向移动机器人路径规划算法可以使机器人运动更加灵活;通过激光雷达模块实时对环境中的行人进行跟踪,采用根据行人跟踪的结果对下一刻行人的位置进行预判。



1. 基于行人轨迹预测的全向移动机器人路径规划算法, 其特征在于, 包括以下步骤:

S1、利用机器人底盘和安装在底盘上的麦克纳姆轮进行运动学建模;

S2、机器人根据当前坐标、目标位置坐标进行路径规划;

S3、机器人通过激光雷达模块对视野内的行人进行行为轨迹预测, 计算行人一定时间内可能处于的范围;

S4、机器人根据行人可能处于的范围进行躲避行人路径规划。

2. 根据权利要求1所述的基于行人轨迹预测的全向移动机器人路径规划算法, 其特征在于: 所述步骤S1中, 机器人底盘安装有三个麦克纳姆轮, 所述麦克纳姆轮为左旋麦克纳姆轮。

3. 根据权利要求1或2所述的基于行人轨迹预测的全向移动机器人路径规划算法, 其特征在于: 所述步骤S1中, 机器人运动学建模方法, 具体方法如下:

S101、在机器人底盘建立机器人本体坐标系, 在机器人的轮子上建立轮子坐标系;

S102、设机器人本体坐标系X轴到各个轮子坐标系 X_i 轴的夹角为 γ_i , 每个轮子的滚轴与轮轴夹角为 α , 中心点O与各个轮子中心点的连线为 L_i , 机器人本体坐标系X轴到 L_i 的夹角为 θ_i ;

S103、设三个轮轴旋转角速度为 $\dot{\theta}_i$, 机器人中心运动速度为 $[v_x, v_y, w]^T$, 外轮半径为R, 滚轮半径为r;

S104、则逆运动学公式可表示为:

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{R-r} A \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ w \end{bmatrix}$$

其中,

$$A = \begin{bmatrix} \cos \gamma_1 + \cot \alpha \sin \gamma_1 & \sin \gamma_1 - \cot \alpha \cos \gamma_1 & -L_1 [\sin(\theta_1 - \gamma_1) + \cot \alpha \cos(\theta_1 - \gamma_1)] \\ \cos \gamma_2 + \cot \alpha \sin \gamma_2 & \sin \gamma_2 - \cot \alpha \cos \gamma_2 & -L_2 [\sin(\theta_2 - \gamma_2) + \cot \alpha \cos(\theta_2 - \gamma_2)] \\ \cos \gamma_3 + \cot \alpha \sin \gamma_3 & \sin \gamma_3 - \cot \alpha \cos \gamma_3 & -L_3 [\sin(\theta_3 - \gamma_3) + \cot \alpha \cos(\theta_3 - \gamma_3)] \end{bmatrix}$$

每个轮子的滚轴与轮轴夹角 $\alpha = \frac{\pi}{4}$ 。

4. 根据权利要求2所述的基于行人轨迹预测的全向移动机器人路径规划算法, 其特征在于: 步骤S2中, 所述机器人路径规划根据路径规划算法实现路径规划, 机器人路径规划包括全局路径规划和局部路径规划, 所述全局路径规划根据全局栅格地图和当前坐标、目标位置坐标进行路径规划, 正确得到一条由起点到终点的最优全局路径, 确定最优全局路径后, 开始进行局部路径规划。

5. 根据权利要求4所述的基于行人轨迹预测的全向移动机器人路径规划算法, 其特征在于: 所述局部路径规划采用DWA算法, 所述DWA算法在速度空间中采集多组速度数据, 并模拟出机器人一定时间内, 在这些速度下的轨迹, 之后对这些轨迹根据打分函数进行打分评价, 选取最优轨迹, 生成机器人速度控制命令。

6. 根据权利要求5所述的基于行人轨迹预测的全向移动机器人路径规划算法, 其特征在于: 所述局部路径规划的具体方法如下:

S201、由于机器人是全向运动,因此需要先分析起点、终点之间的位置关系,确定速度空间的象限,设机器人当前运动速度为 (v_{cx}, v_{cy}, w_c) :

S202、设机器人具有运动学速度限制,设x方向速度极限、y方向速度极限、w转速极限分别如下: $v_{x_min}, v_{x_max}, v_{y_min}, v_{y_max}, w_{min}, w_{max}$

$$V_s = \{v_x \in [v_{xmin}, v_{xmax}], v_y \in [v_{ymin}, v_{ymax}], w \in [w_{min}, w_{max}]\}$$

S203、受电机性能和运动稳定性影响,机器人运动中有最大加速度,因此机器人轨迹向前模拟周期内 (Δt) ,存在一个立方体区域 V_d ,该立方体区域内速度是机器人能够实际达到的速度:

$$V_d = \left\{ (v_x, v_y, w) \mid v_x \in [v_{cx} - a_x \Delta t, v_{cx} + a_x \Delta t] \wedge v_y \in [v_{cy} - a_y \Delta t, v_{cy} + a_y \Delta t] \right. \\ \left. \wedge w \in [w_c - a_w \Delta t, w_c + a_w \Delta t] \right\}$$

S204、受安全性限制,机器人必须在碰撞到障碍物前停下来,因此可得防撞速度区域 V_a :

$$V_a = \left\{ (v_x, v_y, w) \mid v_x \leq \sqrt{2 * d_{occ}(v_x, v_y, w) * a_x} \wedge v_y \leq \sqrt{2 * d_{occ}(v_x, v_y, w) * a_y} \right. \\ \left. \wedge w \leq \sqrt{2 * d_{occ}(v_x, v_y, w) * a_w} \right\}$$

其中, $d_{occ}(v_x, v_y, w)$ 为速度 (v_x, v_y, w) 模拟轨迹上离障碍物最近的距离。

由上述步骤S202、S203、S204即可得到改进的DWA算法的搜索空间 $V_r = V_s \cap V_d \cap V_a$ 。

S205、在得到速度空间后,为了使局部路径最优,需要根据一定的评分标准对 V_r 中的每个速度 (v_x, v_y, w) 进行评分;

所述评分函数如下:

$$score = \alpha * d_{path} + \beta * d_{goal} + \gamma * d_{occ}$$

其中, α, β, γ 分别为路径贴合权重、距离目标点位置权重以及与障碍物距离权重; d_{occ} 为速度 (v_x, v_y, w) 轨迹上最大障碍物距离值, d_{goal} 为速度 (v_x, v_y, w) 轨迹终点到全局目标点的距离, d_{path} 为轨迹与全局路径的贴合程度。

7. 根据权利要求2所述的基于行人轨迹预测的全向移动机器人路径规划算法,其特征在于:步骤S3中,所述行人轨迹预测通过行为轨迹预测算法来实现,当系统发现人时,便输出行人与激光雷达模块之间的相对坐标,且相对坐标值位于机器人本体坐标系,具体方法如下:

设当前及前三个行人在全局坐标系中的坐标分别为 $p_k = (x_k, y_k)$, $p_{k-1} = (x_{k-1}, y_{k-1})$, $p_{k-2} = (x_{k-2}, y_{k-2})$, $p_{k-3} = (x_{k-3}, y_{k-3})$,系统采集到这几个坐标的时间分别为 t_4, t_3, t_2, t_1 。根据这四组数据,可以计算这一段时间内机器人的平均速度:

$$vx = \left(\frac{x_k - x_{k-1}}{t_4 - t_3} + \frac{x_{k-1} - x_{k-2}}{t_3 - t_2} + \frac{x_{k-2} - x_{k-3}}{t_2 - t_1} \right) / 3.0$$

$$vy = \left(\frac{y_k - y_{k-1}}{t_4 - t_3} + \frac{y_{k-1} - y_{k-2}}{t_3 - t_2} + \frac{y_{k-2} - y_{k-3}}{t_2 - t_1} \right) / 3.0$$

设预测时间为 Δt_2 ,则 Δt_2 时间后,人可能处于的位置坐标 $p_{pre_k} = (x_{pre_k}, y_{pre_k})$ 可以表示为:

$$x_{pre_k} = x_{people_global} + v_x * \Delta t_2$$

$$y_{pre_k} = y_{people_global} + v_y * \Delta t_2$$

以 p_{pre_k} 为圆心,半径为 r 画圆,圆的范围内为预测时间 Δt_2 后,人可能处于的范围 S_k ;

当人跟丢,或者重新跟踪时,需要重新开始循环,并初始化所有变量。

8. 根据权利要求5所述的基于行人轨迹预测的全向移动机器人路径规划算法,其特征在于:步骤S4中,所述躲避行人路径规划通过算法实现,具体如下:

S301、根据局部路径规划算法,机器人规划出未来 Δt 时间的最佳轨迹,设该轨迹的最后一个点 p_i 坐标为 (x_i, y_i) 。若存在行人跟踪结果,并假设此时预测行人的坐标点 p_{pre} 坐标为 (x_{pre}, y_{pre}) 。

S302、若 $d_i = \sqrt{(x_i - x_{pre})^2 + (y_i - y_{pre})^2} > r$,则机器人路径规划点不会在行人预测点的辐射圈内,机器人相对安全,以最佳轨迹规划行走即可;

S303、若 $d_i = \sqrt{(x_i - x_{pre})^2 + (y_i - y_{pre})^2} \leq r$,则机器人路径规划点位于辐射圈内或边缘,下一刻可能会碰到行人,此时要做快速逃离辐射圈的路径规划。

9. 根据权利要求8所述的基于行人轨迹预测的全向移动机器人路径规划算法,其特征在于:当机器人位于行人预测点辐射圈内或边缘时,机器人运动线速度沿圆的切线方向最快的逃离辐射圈,具体方法如下:

设机器人局部路径预测点最后一个点的坐标为 $p_i = (x_i, y_i)$,行人预测点 p_{pre} 坐标为 (x_{pre}, y_{pre}) ,此时两点间距离 $d = \sqrt{(x_{pre} - x_i)^2 + (y_{pre} - y_i)^2}$,设机器人运动最大线速度大小为 v_{max} ,最小线速度大小为 v_{min} ,且两点间距离、线速度之间存在线性关系:

因此,此时机器人的逃离线速度大小应为:

$$v_e = \frac{(v_{max} - v_{min})(r - d)}{r} + v_{min} \quad A$$

速度方向分为两个分别为 v_1 和 v_2 ,根据旋转矩阵 $R = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}$,分别得到两个速度方向的单位向量:

$$\begin{aligned} \vec{u}_1 &= \frac{(-y_{pre} - x_i, x_{pre} - y_i)}{\sqrt{(-y_{pre} - x_i)^2 + (x_{pre} - y_i)^2}} \\ \vec{u}_2 &= \frac{(y_{pre} - x_i, -x_{pre} - y_i)}{\sqrt{(y_{pre} - x_i)^2 + (-x_{pre} - y_i)^2}} \end{aligned} \quad B$$

根据A式和B式,得到两个切线方向的速度 \vec{v}_1 和 \vec{v}_2 ;

根据局部路径规划算法,分别以 \vec{v}_1 和 \vec{v}_2 为中心,取正、负各 30° 范围,作为规划速度进行机器人局部路径规划。

基于行人轨迹预测的全向移动机器人路径规划算法

技术领域

[0001] 本发明属于机器人路径规划领域,尤其是涉及一种基于行人轨迹预测的全向移动机器人路径规划算法。

背景技术

[0002] 自传统工业机器人诞生以来,机器人技术在短短的60年内便取得了显著的进步。如今,机器人已经不再受限于工业应用,它的研究重点和发展方向更趋向于日常生活的应用,如餐饮、迎宾、娱乐、陪伴等。在诸多形式的移动机器人中,全向轮式移动机器人又以其灵活的运动学性能而备受关注。而伴随现代传感技术、计算机技术以及人工智能技术的飞速发展,轮式移动机器人的路径规划和运动过程中的避障技术也成为了机器人技术的研究热点。

[0003] 路径规划问题可以分为环境信息完全已知的全局路径规划和环境信息部分甚至完全未知的局部路径规划。当环境信息部分或完全未知的情况下,机器人通过自身搭载的传感装置感知外部环境信息,进而以近似最优路径无碰撞的到达目的地。传统的局部路径规划中往往只是让机器人在行走过程中实时避开外界障碍物,并没有对外界移动的障碍物如行人等的运动做出预判。

发明内容

[0004] 有鉴于此,本发明旨在提出一种基于行人轨迹预测的全向移动机器人路径规划算法,以解决目前的移动机器人功能单一,无法做出运动预判的情况。

[0005] 为达到上述目的,本发明的技术方案是这样实现的:

[0006] 一种基于行人轨迹预测的全向移动机器人路径规划算法,包括以下步骤:

[0007] S1、利用机器人底盘和安装在底盘上的麦克纳姆轮进行运动学建模;

[0008] S2、机器人根据当前坐标、目标位置坐标进行路径规划;

[0009] S3、机器人通过激光雷达模块对视野内的行人进行行为轨迹预测,计算行人一定时间内可能处于的范围;

[0010] S4、机器人根据行人可能处于的范围进行躲避行人路径规划。

[0011] 进一步的,所述步骤S1中,机器人底盘安装有三个麦克纳姆轮,所述麦克纳姆轮为左旋麦克纳姆轮。

[0012] 进一步的,所述步骤S1中,机器人运动学建模方法,具体方法如下:

[0013] S101、在机器人底盘建立机器人本体坐标系,在机器人的轮子上建立轮子坐标系;

[0014] S102、设机器人本体坐标系X轴到各个轮子坐标系 X_i 轴的夹角为 γ_i ,每个轮子的滚轴与轮轴夹角为 α ,中心点O与各个轮子中心点的连线为 L_i ,机器人本体坐标系X轴到 L_i 的夹角为 θ_i ;

[0015] S103、设三个轮轴旋转角速度为 $\dot{\theta}_i$,机器人中心运动速度为 $[v_x, v_y, w]^T$,外轮半径为 R ,滚轮半径为 r ;

[0016] S104、则逆运动学公式可表示为：

$$[0017] \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{R-r} A \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ w \end{bmatrix}$$

[0018] 其中，

$$[0019] A = \begin{bmatrix} \cos \gamma_1 + \cot \alpha \sin \gamma_1 & \sin \gamma_1 - \cot \alpha \cos \gamma_1 & -L_1 [\sin(\theta_1 - \gamma_1) + \cot \alpha \cos(\theta_1 - \gamma_1)] \\ \cos \gamma_2 + \cot \alpha \sin \gamma_2 & \sin \gamma_2 - \cot \alpha \cos \gamma_2 & -L_2 [\sin(\theta_2 - \gamma_2) + \cot \alpha \cos(\theta_2 - \gamma_2)] \\ \cos \gamma_3 + \cot \alpha \sin \gamma_3 & \sin \gamma_3 - \cot \alpha \cos \gamma_3 & -L_3 [\sin(\theta_3 - \gamma_3) + \cot \alpha \cos(\theta_3 - \gamma_3)] \end{bmatrix}$$

[0020] 每个轮子的滚轴与轮轴夹角 $\alpha = \frac{\pi}{4}$ 。

[0021] 进一步的，步骤S2中，所述机器人路径规划根据路径规划算法实现路径规划，机器人路径规划包括全局路径规划和局部路径规划，所述全局路径规划根据全局栅格地图和当前坐标、目标位置坐标进行路径规划，正确得到一条由起点到终点的最优全局路径，确定最优全局路径后，开始进行局部路径规划。

[0022] 进一步的，所述局部路径规划采用DWA算法，所述DWA算法在速度空间中采集多组速度数据，并模拟出机器人一定时间内，在这些速度下的轨迹，之后对这些轨迹根据打分函数进行打分评价，选取最优轨迹，生成机器人速度控制命令。

[0023] 进一步的，所述局部路径规划的具体方法如下：

[0024] S201、由于机器人是全向运动，因此需要先分析起点、终点之间的位置关系，确定速度空间的空间象限，设机器人当前运动速度为 (v_{cx}, v_{cy}, w_c) ：

[0025] S202、设机器人具有运动学速度限制，设x方向速度极限、y方向速度极限、w转速极限分别如下： v_{x_min} 、 v_{x_max} 、 v_{y_min} 、 v_{y_max} 、 w_{min} 、 w_{max}

[0026] $V_s = \{v_x \in [v_{xmin}, v_{xmax}], v_y \in [v_{ymin}, v_{ymax}], w \in [w_{min}, w_{max}]\}$

[0027] S203、受电机性能和运动稳定性影响，机器人运动中有最大加速度，因此机器人轨迹向前模拟周期内 (Δt) ，存在一个立方体区域 V_d ，该立方体区域内速度是机器人能够实际达到的速度：

$$[0028] V_d = \left\{ (v_x, v_y, w) \mid v_x \in [v_{cx} - a_x \Delta t, v_{cx} + a_x \Delta t] \wedge v_y \in [v_{cy} - a_y \Delta t, v_{cy} + a_y \Delta t] \right. \\ \left. \wedge w \in [w_c - a_w \Delta t, w_c + a_w \Delta t] \right\}$$

[0029] S204、受安全性限制，机器人必须在碰撞到障碍物前停下来，因此可得防撞速度区域 V_a ：

$$[0030] V_a = \left\{ (v_x, v_y, w) \mid v_x \leq \sqrt{2 * d_{occ}(v_x, v_y, w) * a_x} \wedge v_y \leq \sqrt{2 * d_{occ}(v_x, v_y, w) * a_y} \right. \\ \left. \wedge w \leq \sqrt{2 * d_{occ}(v_x, v_y, w) * a_w} \right\}$$

[0031] 其中， $d_{occ}(v_x, v_y, w)$ 为速度 (v_x, v_y, w) 模拟轨迹上离障碍物最近的距离。

[0032] 由上述步骤S202、S203、S204即可得到改进的DWA算法的搜索空间 $V_r = V_s \cap V_d \cap V_a$ 。

[0033] S205、在得到速度空间后，为了使局部路径最优，需要根据一定的评分标准对 V_r 中的每个速度 (v_x, v_y, w) 进行评分；

[0034] 所述评分函数如下：

$$[0035] \quad \text{score} = \alpha * d_{\text{path}} + \beta * d_{\text{goal}} + \gamma * d_{\text{occ}}$$

[0036] 其中, α, β, γ 分别为路径贴合权重、距离目标点位置权重以及与障碍物距离权重; d_{occ} 为速度 (v_x, v_y, w) 轨迹上最大障碍物距离值, d_{goal} 为速度 (v_x, v_y, w) 轨迹终点到全局目标点的距离, d_{path} 为轨迹与全局路径的贴合程度。

[0037] 进一步的, 步骤S3中, 所述行人轨迹预测通过行为轨迹预测算法来实现, 当系统发现人时, 便输出行人与激光雷达模块之间的相对坐标, 且相对坐标值位于机器人本体坐标系, 具体方法如下:

[0038] 设当前及前三个行人在全局坐标系中的坐标分别为 $p_k = (x_k, y_k)$, $p_{k-1} = (x_{k-1}, y_{k-1})$, $p_{k-2} = (x_{k-2}, y_{k-2})$, $p_{k-3} = (x_{k-3}, y_{k-3})$, 系统采集到这几个坐标的时间分别为 t_4, t_3, t_2, t_1 。根据这四组数据, 可以计算这一段时间内机器人的平均速度:

$$[0039] \quad vx = \left(\frac{x_k - x_{k-1}}{t_4 - t_3} + \frac{x_{k-1} - x_{k-2}}{t_3 - t_2} + \frac{x_{k-2} - x_{k-3}}{t_2 - t_1} \right) / 3.0$$

$$[0040] \quad vy = \left(\frac{y_k - y_{k-1}}{t_4 - t_3} + \frac{y_{k-1} - y_{k-2}}{t_3 - t_2} + \frac{y_{k-2} - y_{k-3}}{t_2 - t_1} \right) / 3.0$$

[0041] 设预测时间为 Δt_2 , 则 Δt_2 时间后, 人可能处于的位置坐标 $p_{\text{pre}_k} = (x_{\text{pre}_k}, y_{\text{pre}_k})$ 可以表示为:

$$[0042] \quad x_{\text{pre}_k} = x_{\text{people_global}} + vx * \Delta t_2$$

$$[0043] \quad y_{\text{pre}_k} = y_{\text{people_global}} + vy * \Delta t_2$$

[0044] 以 p_{pre_k} 为圆心, 半径为 r 画圆, 圆的范围内为预测时间 Δt_2 后, 人可能处于的范围 S_k ;

[0045] 当人跟丢, 或者重新跟踪时, 需要重新开始循环, 并初始化所有变量。

[0046] 进一步的, 步骤S4中, 所述躲避行人路径规划通过算法实现, 具体如下:

[0047] S301、根据局部路径规划算法, 机器人规划出未来 Δt 时间的最佳轨迹, 设该轨迹的最后一个点 p_i 坐标为 (x_i, y_i) 。若存在行人跟踪结果, 并假设此时预测行人的坐标点 p_{pre} 坐标为 $(x_{\text{pre}}, y_{\text{pre}})$ 。

[0048] S302、若 $d_i = \sqrt{(x_i - x_{\text{pre}})^2 + (y_i - y_{\text{pre}})^2} > r$, 则机器人路径规划点不会在行人预测点的辐射圈内, 机器人相对安全, 以最佳轨迹规划行走即可;

[0049] S303、若 $d_i = \sqrt{(x_i - x_{\text{pre}})^2 + (y_i - y_{\text{pre}})^2} \leq r$, 则机器人路径规划点位于辐射圈内或边缘, 下一刻可能会碰到行人, 此时要做快速逃离辐射圈的路径规划。

[0050] 进一步的, 当机器人位于行人预测点辐射圈内或边缘时, 机器人运动线速度沿圆的切线方向最快的逃离辐射圈, 具体方法如下:

[0051] 设机器人局部路径预测点最后一个点的坐标为 $p_i = (x_i, y_i)$, 行人预测点 p_{pre} 坐标为 $(x_{\text{pre}}, y_{\text{pre}})$, 此时两点间距离 $d = \sqrt{(x_{\text{pre}} - x_i)^2 + (y_{\text{pre}} - y_i)^2}$, 设机器人运动最大线速度大小为 v_{max} , 最小线速度大小为 v_{min} , 且两点间距离、线速度之间存在线性关系:

[0052] 因此, 此时机器人的逃离线速度大小应为:

$$[0053] \quad v_e = \frac{(v_{\max} - v_{\min})(r - d)}{r} + v_{\min} \quad A$$

[0054] 速度方向分为两个分别为 v_1 和 v_2 ,根据旋转矩阵 $R = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}$,分别得到两个速度方向的单位向量:

$$[0055] \quad \begin{aligned} \vec{u}_1 &= \frac{(-y_{pre} - x_i, x_{pre} - y_i)}{\sqrt{(-y_{pre} - x_i)^2 + (x_{pre} - y_i)^2}} \\ \vec{u}_2 &= \frac{(y_{pre} - x_i, -x_{pre} - y_i)}{\sqrt{(y_{pre} - x_i)^2 + (-x_{pre} - y_i)^2}} \end{aligned} \quad B$$

[0056] 根据A式和B式,得到两个切线方向的速度 \vec{v}_1 和 \vec{v}_2 ;

[0057] 根据局部路径规划算法,分别以 \vec{v}_1 和 \vec{v}_2 为中心,取正、负各 30° 范围,作为规划速度进行机器人局部路径规划。

[0058] 相对于现有技术,本发明所述的基于行人轨迹预测的全向移动机器人路径规划算法具有以下优势:

[0059] 本发明所述的基于行人轨迹预测的全向移动机器人路径规划算法可以使机器人运动更加灵活;通过激光雷达模块实时对环境中的行人进行跟踪,采用根据行人跟踪的结果对下一刻行人的位置进行预判;根据行人轨迹预判结果,采取预测点连线垂线方向附近速度组合重新进行路径规划,以达到提前躲避行人的目的。

附图说明

[0060] 构成本发明的一部分的附图用来提供对本发明的进一步理解,本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明,并不构成对本发明的不当限定。在附图中:

[0061] 图1为本发明实施例所述的全向移动机器人运动学建模原理示意图;

[0062] 图2为本发明实施例所述的改进的DWA算法原理示意图;

[0063] 图3为本发明实施例所述的躲避行人预测点原理示意图。

具体实施方式

[0064] 需要说明的是,在不冲突的情况下,本发明中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。

[0065] 在本发明的描述中,需要理解的是,术语“中心”、“纵向”、“横向”、“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明的限制。此外,术语“第一”、“第二”等仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此,限定有“第一”、“第二”等的特征可以明示或者隐含地包括一个或者更多个该特征。在本发明的描述中,除非另有说明,“多个”的含义是两个或两个以上。

[0066] 在本发明的描述中,需要说明的是,除非另有明确的规定和限定,术语“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解,例如,可以是固定连接,也可以是可拆卸连接,或一体地连接;可以是机械连接,也可以是电连接;可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连,可以是两个元件内部的连通。对于本领域的普通技术人员而言,可以通过具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0067] 下面将参考附图并结合实施例来详细说明本发明。

[0068] 基于行人轨迹预测的全向移动机器人路径规划算法,包括以下步骤:

[0069] S1、利用机器人底盘和安装在底盘上的麦克纳姆轮进行运动学建模;

[0070] S2、机器人根据当前坐标、目标位置坐标进行路径规划;

[0071] S3、机器人通过激光雷达模块对视野内的行人进行行为轨迹预测,计算行人一定时间内可能处于的范围;

[0072] S4、机器人根据行人可能处于的范围进行躲避行人路径规划。

[0073] 其中,所述机器人包括三个安装在机器人底部的左旋麦克纳姆轮。

[0074] 如图1所示,所述机器人运动学建模方法,具体方法如下:

[0075] S101、在机器人底盘建立机器人本体坐标系,在机器人的轮子上建立轮子坐标系;

[0076] S102、设机器人本体坐标系X轴到各个轮子坐标系 X_i 轴的夹角为 γ_i ,每个轮子的滚轴与轮轴夹角为 α ,中心点O与各个轮子中心点的连线为 L_i ,机器人本体坐标系X轴到 L_i 的夹角为 θ_i ;

[0077] S103、设三个轮轴旋转角速度为 $\dot{\theta}_i$,机器人中心运动速度为 $[v_x, v_y, w]^T$,外轮半径为 R ,滚轮半径为 r ;

[0078] S104、则逆运动学公式可表示为:

$$[0079] \quad \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{R-r} A \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ w \end{bmatrix}$$

[0080] 其中,

$$[0081] \quad A = \begin{bmatrix} \cos \gamma_1 + \cot \alpha \sin \gamma_1 & \sin \gamma_1 - \cot \alpha \cos \gamma_1 & -L_1 [\sin(\theta_1 - \gamma_1) + \cot \alpha \cos(\theta_1 - \gamma_1)] \\ \cos \gamma_2 + \cot \alpha \sin \gamma_2 & \sin \gamma_2 - \cot \alpha \cos \gamma_2 & -L_2 [\sin(\theta_2 - \gamma_2) + \cot \alpha \cos(\theta_2 - \gamma_2)] \\ \cos \gamma_3 + \cot \alpha \sin \gamma_3 & \sin \gamma_3 - \cot \alpha \cos \gamma_3 & -L_3 [\sin(\theta_3 - \gamma_3) + \cot \alpha \cos(\theta_3 - \gamma_3)] \end{bmatrix}$$

[0082] 每个轮子的滚轴与轮轴夹角 $\alpha = \frac{\pi}{4}$ 。当麦克纳姆轮与地面相交的滚轴与 L_i 垂直时,矩阵A始终可逆,即正运动学始终有解。

[0083] 其中,所述机器人路径规划算法包括全局路径规划和局部路径规划,所述全局路径规划根据全局栅格地图和当前坐标、目标位置坐标进行路径规划,正确得到一条由起点到终点的最优全局路径,确定最优全局路径后,开始进行局部路径规划。

[0084] 其中,所述局部路径规划采用DWA算法,所述DWA算法在速度空间中采集多组速度数据,并模拟出机器人一定时间内,在这些速度下的轨迹,之后对这些轨迹根据打分函数进行打分评价,选取最优轨迹,生成机器人速度控制命令。

[0085] 如图2所示,所述局部路径规划的具体方法如下:

[0086] 常规的DWA (Dynamic Window Approach, 动态窗格法) 算法通常应用于双轮差速移动机器人, 往往只需要考虑向前的速度 v_x 和旋转角速度 w , 因此速度窗格为平面内的矩形。但全向移动机器人的运动特性为平面内的全向运动, 为保证运动的灵活性, 需要同时规划横向移动的速度, 也就是说, 窗格不再是平面矩形, 而是一个空间长方体。因此传统的动态窗格法不再满足全向移动机器人的灵活性要求, 需要对其进行改进。

[0087] S201、由于机器人是全向运动, 因此需要先分析起点、终点之间的位置关系, 确定速度空间的空间象限, 设机器人当前运动速度为 (v_{cx}, v_{cy}, w_c) :

[0088] S202、设机器人具有运动学速度限制, 设 x 方向速度极限、 y 方向速度极限、 w 转速极限分别如下: $v_{x_min}, v_{x_max}, v_{y_min}, v_{y_max}, w_{min}, w_{max}$

[0089] $V_s = \{v_x \in [v_{xmin}, v_{xmax}], v_y \in [v_{ymin}, v_{ymax}], w \in [w_{min}, w_{max}]\}$

[0090] S203、受电机性能和运动稳定性影响, 机器人运动中有最大加速度, 因此机器人轨迹向前模拟周期内 (Δt) , 存在一个立方体区域 V_d , 该立方体区域内速度是机器人能够实际达到的速度:

$$[0091] \quad V_d = \left\{ (v_x, v_y, w) \mid v_x \in [v_{cx} - a_x \Delta t, v_{cx} + a_x \Delta t] \wedge v_y \in [v_{cy} - a_y \Delta t, v_{cy} + a_y \Delta t] \right. \\ \left. \wedge w \in [w_c - a_w \Delta t, w_c + a_w \Delta t] \right\}$$

[0092] S204、受安全性限制, 机器人必须在碰撞到障碍物前停下来, 因此可得防撞速度区域 V_a :

$$[0093] \quad V_a = \left\{ (v_x, v_y, w) \mid v_x \leq \sqrt{2 * d_{occ}(v_x, v_y, w) * a_x} \wedge v_y \leq \sqrt{2 * d_{occ}(v_x, v_y, w) * a_y} \right. \\ \left. \wedge w \leq \sqrt{2 * d_{occ}(v_x, v_y, w) * a_w} \right\}$$

[0094] 其中, $d_{occ}(v_x, v_y, w)$ 为速度 (v_x, v_y, w) 模拟轨迹上离障碍物最近的距离。

[0095] 由上述步骤S202、S203、S204即可得到改进的DWA算法的搜索空间 $V_r = V_s \cap V_d \cap V_a$ 。

[0096] S205、在得到速度空间后, 为了使局部路径最优 (避开障碍物, 尽量贴合预定的最佳全局路径, 并且与最终点位置误差最小), 需要根据一定的评分标准对 V_r 中的每个速度 (v_x, v_y, w) 进行评分;

[0097] 所述评分函数如下:

[0098] $score = \alpha * d_{path} + \beta * d_{goal} + \gamma * d_{occ}$

[0099] 其中, α, β, γ 分别为路径贴合权重、距离目标点位置权重以及与障碍物距离权重; d_{occ} 为速度 (v_x, v_y, w) 轨迹上最大障碍物距离值, d_{goal} 为速度 (v_x, v_y, w) 轨迹终点到全局目标点的距离, d_{path} 为轨迹与全局路径的贴合程度。

[0100] 其中, 所述行人轨迹预测算法当系统发现人时, 便输出行人与激光雷达模块之间的相对坐标, 且相对坐标值位于机器人本体坐标系, 具体方法如下:

[0101] 设当前及前三个行人在全局坐标系中的坐标分别为 $p_k = (x_k, y_k)$, $p_{k-1} = (x_{k-1}, y_{k-1})$, $p_{k-2} = (x_{k-2}, y_{k-2})$, $p_{k-3} = (x_{k-3}, y_{k-3})$, 系统采集到这几个坐标的时间分别为 t_4, t_3, t_2, t_1 。根据这四组数据, 可以计算这一段时间内机器人的平均速度:

$$[0102] \quad vx = \left(\frac{x_k - x_{k-1}}{t_4 - t_3} + \frac{x_{k-1} - x_{k-2}}{t_3 - t_2} + \frac{x_{k-2} - x_{k-3}}{t_2 - t_1} \right) / 3.0$$

$$[0103] \quad v_y = \left(\frac{y_k - y_{k-1}}{t_4 - t_3} + \frac{y_{k-1} - y_{k-2}}{t_3 - t_2} + \frac{y_{k-2} - y_{k-3}}{t_2 - t_1} \right) / 3.0$$

[0104] 设预测时间为 Δt_2 , 则 Δt_2 时间后, 人可能处于的位置坐标 $p_{pre_k} = (x_{pre_k}, y_{pre_k})$ 可以表示为:

$$[0105] \quad x_{pre_k} = x_{people_global} + v_x * \Delta t_2$$

$$[0106] \quad y_{pre_k} = y_{people_global} + v_y * \Delta t_2$$

[0107] 以 p_{pre_k} 为圆心, 半径为 r 画圆, 圆的范围内为预测时间 Δt_2 后, 人可能处于的范围 S_k ;

[0108] 当人跟丢, 或者重新跟踪时, 需要重新开始循环, 并初始化所有变量。

[0109] 其中, 所述躲避行人路径规划算法具体如下:

[0110] S301、根据局部路径规划算法, 机器人规划出未来 Δt 时间的最佳轨迹, 设该轨迹的最后一个点 p_i 坐标为 (x_i, y_i) 。若存在行人跟踪结果, 并假设此时预测行人的坐标点 p_{pre} 坐标为 (x_{pre}, y_{pre}) 。

[0111] S302、若 $d_i = \sqrt{(x_i - x_{pre})^2 + (y_i - y_{pre})^2} > r$, 则机器人路径规划点不会在行人预测点的辐射圈内, 机器人相对安全, 以最佳轨迹规划行走即可;

[0112] S303、若 $d_i = \sqrt{(x_i - x_{pre})^2 + (y_i - y_{pre})^2} \leq r$, 则机器人路径规划点位于辐射圈内或边缘, 下一刻可能会碰到行人, 此时要做快速逃离辐射圈的路径规划。

[0113] 如图3所示, 当机器人位于行人预测点辐射圈内或边缘时, 机器人运动线速度沿圆的切线方向可以最快的逃离辐射圈, 具体方法如下:

[0114] 设机器人局部路径预测点最后一个点的坐标为 $p_i = (x_i, y_i)$, 行人预测点 p_{pre} 坐标为 (x_{pre}, y_{pre}) , 此时两点间距离 $d = \sqrt{(x_{pre} - x_i)^2 + (y_{pre} - y_i)^2}$ 。设机器人运动最大线速度大小为 v_{max} , 最小线速度大小为 v_{min} , 且两点间距离、线速度之间存在线性关系:

[0115] 因此, 此时机器人的逃离线速度大小应为:

$$[0116] \quad v_e = \frac{(v_{max} - v_{min})(r - d)}{r} + v_{min} \quad A$$

[0117] 速度方向分为两个分别为 v_1 和 v_2 , 根据旋转矩阵 $R = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}$, 可以分别得到两个速度方向的单位向量:

$$[0118] \quad \begin{aligned} \vec{u}_1 &= \frac{(-y_{pre} - x_i, x_{pre} - y_i)}{\sqrt{(-y_{pre} - x_i)^2 + (x_{pre} - y_i)^2}} \\ \vec{u}_2 &= \frac{(y_{pre} - x_i, -x_{pre} - y_i)}{\sqrt{(y_{pre} - x_i)^2 + (-x_{pre} - y_i)^2}} \end{aligned} \quad B$$

[0119] 根据A式和B式, 可以得到两个切线方向的速度 \vec{v}_1 和 \vec{v}_2 ;

[0120] 根据局部路径规划算法, 分别以 \vec{v}_1 和 \vec{v}_2 为中心, 取正、负各 30° 范围, 作为规划速度

进行机器人局部路径规划。

[0121] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

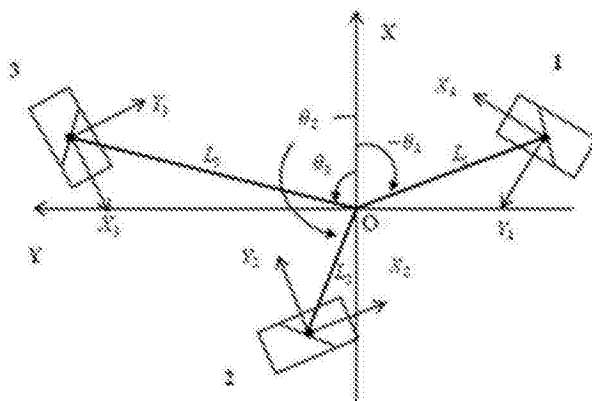


图1

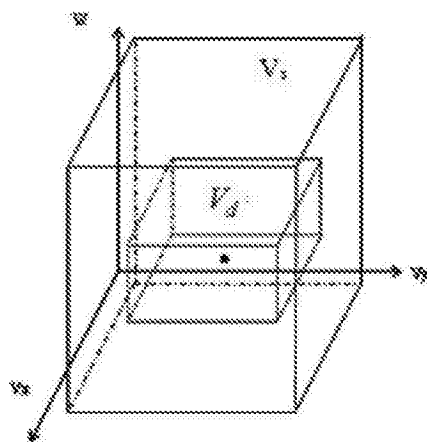


图2

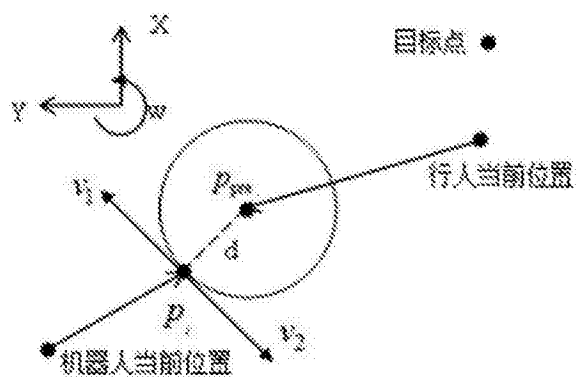


图3