

平行泊车的路径规划方法及其仿真研究

杨妮娜^{1,2,3} 梁华为³ 王少平³

(1. 中科院合肥智能机械研究所 合肥 230031; 2. 中国科学技术大学 合肥 230027;

3. 中科院先进制造技术研究所 常州 213000)

摘要: 根据车辆运动学模型, 提出一种基于多段圆弧和直线的平行泊车路径规划方法, 考虑动力学约束条件, 将倒车过程逆化, 以此来确定圆弧半径和切点位置, 通过避碰约束给出泊车起始位置的范围, 通过最小泊车位约束给出最佳起始位置, 同时在 matlab 的环境下对此路径规划方法进行仿真研究, 研究结果表明, 采用这种方法不仅成功的实现了泊车和避障, 而且有效的缩小了停车位的大小, 并且起始位置的选择更加灵活, 给泊车带来了很大的便利。

关键词: 平行泊车; 路径规划; 避碰约束

中图分类号: TP2 **文献标识码:** A

Trajectory planning method and simulation research of parallel parking

Yang Nina^{1,2,3} Liang Huawei³ Wang Shaoping³

(1. Institute of Intelligent Machines, Chinese Academy of Science, Hefei 230031;

2. University of Science and Technology of China, Hefei 230027;

3. Institute of Advanced Manufacture Technology, Chinese Academy of Science, Changzhou 213000)

Abstract: According to the analysis of steering kinematics model, a trajectory planning approach was proposed based on some arcs of circumference and some straight line. Considering the dynamics constraints, the reverse process of the vehicle was conversed to determine the circular arc radius and the position of tangential point. The bound of start point was presented by collision-free constraint, the best position of start point was presented by the minimum parking space. this paper also simulates the route in the matlab environment. The result show that can not only avoid obstacles and parking successfully, but also reduce the size of the parking space effectively, and the start point is more flexible, brings great convenience of parking.

Keywords: parallel parking; trajectory planning; collision-free restriction

0 引言

近年来许多先进的汽车安全系统相继被开发出来, 其中, 自动泊车辅助系统是智能汽车安全系统中最受瞩目的技术发展之一。1 个有效的自动泊车系统, 可以帮助驾车者安全、快速、准确的完成泊车的操作。不仅节省了时间, 还减轻了驾驶员的压力。更重要的是, 降低了泊车过程中车辆发生交通事故的概率, 对整个社会具有重要意义。

根据车辆停泊时相对其他车辆和车位的位置和方向, 泊车大致可以分为平行泊车和垂直泊车两大类^[1], 本文研究的是在平行泊车情况下的自动泊车技术。目前国内外解决自动泊车的方法大致分为两个方向: 1) 路径规划, 根据停车位空间的几何形状, 车辆的运动学模型, 加上车辆的动力学约束和碰撞约束等一些非完整性约束条件, 预先求得一条到达泊车位置的参考路径, 通过控制算法跟踪该路径来完成自动泊车的任务; 2) 应用模糊逻辑和神经网络等算法模拟优秀驾驶员的泊车行为, 通过控制汽车转向角

和相对停车位的位置来实现泊车^[2]。

本文以路径规划^[3-5]为依据来设计平行泊车^[6-7]控制策略, 从泊车起始位置开始, 在起始位置到停车位的这个区域内寻找一条光滑的路径, 使车辆能够沿着这条参考路径运动而不会与周围障碍物发生碰撞, 最终使车辆能够准确的到达停车位并且保持车身方向与停车位方向平行。

1 路径规划

为了分析路径生成过程, 首先对车辆的运动学模型和动力学约束进行研究。

1.1 车辆运动学建模

由于泊车时, 车速较低, 这种情况下可以将车体看作是一个刚体, 又由于后轮与车身运动方向一致, 后轮轨迹在车体运动过程中能够完全体现车体的运动轨迹, 所以可以将后轮轴线中心坐标认为是车体运动坐标, 车轮在缓慢行驶过程中没有侧向力作用, 此时认为车轮只做滚动和侧转, 不会发生滑动, 以此来建立模型如图 1。

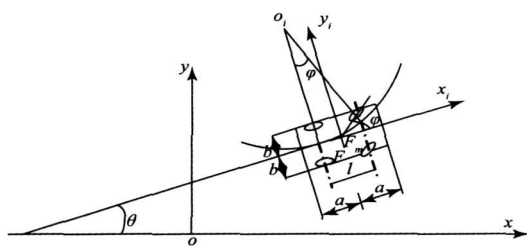


图 1 车辆运动学模型

车子的位置可以由 3 个状态变量 (x, y, θ) 准确的确定下来, θ 是车子正向与水平位置的夹角, x, y 是车辆后轴中心的坐标, v 是车辆前轮中心点运行速度, φ 是车辆前轮方向与车辆方向的夹角, 则可列出车辆的运动方程如下^[7]:

$$\dot{x} = v \cos\theta \cos\varphi \quad (1)$$

$$\dot{y} = v \sin\theta \cos\varphi \quad (2)$$

$$\dot{\theta} = v \sin\varphi / l \quad (3)$$

1.2 车辆动力学约束

通过对车辆运动学模型的分析, 可以得到车辆的动力学约束。车辆的转向中心为 o , 车轮的运动轨迹是一段段圆弧, 车子后轮在垂直方向上速度为 0, 得到第一个约束方程如下^[8]:

$$-\frac{dx}{dt} \sin\theta + \frac{dy}{dt} \cos\theta = 0 \quad (4)$$

另外一个约束就是转向装置的角度约束, $\varphi_{\min} < \varphi < \varphi_{\max}$, 也就是车辆后轮中轴的速度要大于等于角速度和最小转弯半径的乘积。用约束方程表示如下:

$$|v| \geq \left| \frac{d\theta}{dt} \right| R_{\min} \quad (5)$$

将式(4)、式(5)合并就得到车辆的动力学约束方程

$$\left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 - R_{\min}^2 \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \geq 0 \quad (6)$$

1.3 路径规划方法

在满足车辆动力学约束的前提下, 能否规划出一条合理的参考路径, 是能否完成泊车的重要条件。一条合理的参考路径, 除了能够将车泊到指定位置, 占用较小的停车位, 还要避免在倒车的过程中与周围障碍物发生碰撞。

本文通过调研, 提出了一种由直线和相切圆弧组成的 4 段式泊车路径, 如图 2 所示。该路径简单可靠, 可实施性强。整个参考路径的确定分为 4 个阶段。第一阶段, 车由现有位置开到初始位置, 所做的操作为径直向前或者向后行驶; 第二阶段, 车辆由初始位置到达两段圆弧相切的位置, 所做的操作为朝停车位方向打方向盘; 第三阶段, 车辆由切点位置到达目标位置, 所作的操作为反方向打方向盘; 第四阶段, 车子在停车位内的姿态调整。所做的操作为朝停车位方向微打方向盘。

要计算出这样的路径, 关键是求出切点位置 2, 初始位置 1 和目标位置 3 在全局坐标系下的坐标, 以及两段圆弧 R_1 和 R_2 的大小。车辆由 3 到 4 的过程, 车辆的轨迹基本上

是平行于停车位的, 仅作细微的调整。

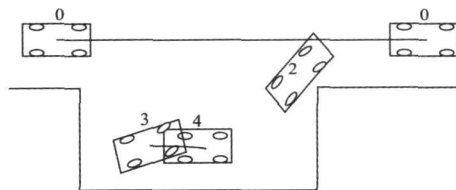


图 2 平行泊车路径示意

传统的路径规划就是按照泊车的顺序, 生成一条从倒车的起始位置倒入到停车位位置的参考路径, 这种方法的使用, 对于选择一条既能获得很好的泊车最终姿态和位置, 又能避开障碍物的路径来说, 是一个很难解决的问题, 计算量也相当大^[1]。我们完全可以将泊车的过程理解为一个可逆的过程, 采用倒序的方式, 通过车辆由停车位安全驶出的路径来规划倒入停车位的路径。这样不仅使路径的选择大大简化, 而且更容易控制, 更加简便可行。

1.4 计算过程

1.4.1 圆弧半径的选取

关于圆弧半径的选取, 我们遵循以下 3 个原则: 1) 圆弧半径要大于等于最小转弯半径; 2) 尽可能的减小泊车位空间; 3) 圆弧半径的选取要便于起始位置的确定。

根据这些要求, 我们假设第一段圆弧半径 R_1 未知, 第二段圆弧半径 R_2 为最小转弯半径。

圆弧半径选取好了, 接下来就是圆弧切点位置和起始位置的确定。

1.4.2 切点位置的确定

泊车的过程就是车辆由初始状态到达目的状态的一个过程。现在泊车位空间位置已经确定, 就是目的状态已经确定, 我们可以通过倒序的方式来求得切点位置坐标。建立模型如图 3。坐标原点设在停车位右下角边缘处, 车辆已经停好在停车位, 车辆向右打死方向盘, 以最小半径 R_{\min} 出库, 当车辆到达切点 C 点时, 反方向打方向盘, 此时车身偏向角为 α , 根据几何关系, 有:

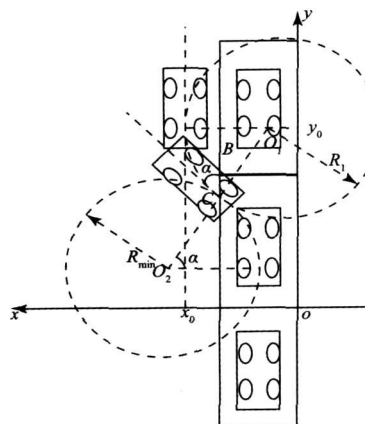


图 3 平行泊车路径示意

$$x_c = x_d + R_{\min} - R_{\min} \cos \alpha \quad (7)$$

$$y_c = y_d + R_{\min} \sin \alpha \quad (8)$$

根据经验一般是车身方向与 x 轴方向的夹角为 45° 时开始转向, 即 α 大约为 45° 。将已知条件代入公式, 我们就可以算出切点 C 的横坐标值 x_c 和纵坐标值 y_c 。

1.4.3 起始位置的确定

1.4.3.1 无碰撞的起始位置范围的确定

起始位置包括横向位置 x_0 和纵向位置 y_0 , 以停车位下方边缘处 o 作为坐标原点建立坐标系, 横向位置就是车辆后轴中心离停车位下边缘处的距离, 纵向位置就是车辆后轴中心离停车位右边缘的距离。

起始位置的选择对于路径规划来说是个非常重要的环节, 对泊车起着决定性作用。对于有效的起始位置, 首要前提是保证在泊车的过程中无碰撞发生, 由前面 C 点坐标求解可知, 当车辆到达 C 点后向左打死方向盘就不会发生碰撞, 所以在车辆从起始位置倒车入停车位的过程中可能发生碰撞的区域就是从起始位置到 C 位置, 通过数学建模可以将这一问题简化为两点^[9]:

$$1) R_1 \geq R_{\min}$$

$$2) R_1 \geq L_{ob} + \frac{w}{2}$$

由图 3, 得到以下约束方程:

$$x_{o1} = x_c + R_1 \cos \alpha \quad (9)$$

$$y_{o1} = y_c + R_1 \sin \alpha \quad (10)$$

$$x_{o1} = x_0 + R_1 \quad (11)$$

$$y_{o1} = y_0 \quad (12)$$

$$y_0 = y_{o1} = y_c + \frac{x_c - x_0}{1 - \cos \alpha} \sin \alpha \quad (13)$$

$$R_1 = \frac{x_c - x_0}{1 - \cos \alpha} \quad (14)$$

$$\sin \alpha = \frac{y_c - y_d}{R_{\min}} \quad (15)$$

$$\cos \alpha = \frac{R_{\min} - (x_d - x_c)}{R_{\min}} \quad (16)$$

$$y_0 = y_c + \frac{x_c - x_0}{x_d - x_c} (y_c - y_d) \quad (17)$$

$$R_1 = \frac{x_c - x_0}{x_d - x_c} R_{\min} \quad (18)$$

$$L_{ob} = \sqrt{(x_{o1} - x_b)^2 + (y_{o1} - y_b)^2} \quad (19)$$

式中: w 为车身宽度。

$$1) R_1 \geq R_{\min} \Rightarrow x_0 \leq 2x_c - x_d \quad (20)$$

式(20)确定了横向位置的上限值。

$$2) R_1 \geq L_{ob1} + \frac{w}{2} \Rightarrow$$

$$(x_0 + R_1 - x_b)^2 - (y_c + R_1 \cdot \sin \alpha - y_b)^2 + R_1 \cdot w - R_1^2 < \frac{w^2}{4} \quad (21)$$

式(21)可以推出横向位置的下限值, 由此横向位置的范围就被确定下来了, 纵向位置的范围根据式(13)也被确定下

来了, 起始位置范围的确定, 满足了不同驾驶员的倒车习惯, 使起始位置的选择不再局限于一点上, 使泊车变得更加简便。

1.4.3.2 最小车位约束下的起始位置点

一个有效的起始位置, 不仅能够避免车辆与前一车位障碍物发生碰撞, 还能够通过约束转弯半径, 使停车位最小。下面我们就来求最小车位约束下的起始位置点。

如图 4 所示。为了避免车辆入库时与库底、库边相撞, 车辆与停车位的底边和侧边的最小安全距离应保持在 0.3 m 左右, 当车辆由切点位置到达目标位置时的转弯半径为最小转弯半径时, 所需的停车位最小。我们由图 4 就可以得到最小车位和最小车位约束下的起始位置:

$$w_{p\min} = be = (R_f - w) \frac{\sqrt{2}}{2} + 0.3 \quad (22)$$

$$bm = (R_f - w) \frac{\sqrt{2}}{2} \quad (23)$$

$$l_{p\min} = oe = (R_f - w) \cdot \sqrt{2} - bm + 0.3 + 0.5l \quad (24)$$

$$nm = (R_f - w) \cdot \left[1 - \frac{\sqrt{2}}{2} \right] \quad (25)$$

$$R_f = R_{\min} + \frac{w}{2} \quad (26)$$

$$x_0 = w_{p\min} + nm + 0.5w \quad (27)$$

$$y_0 = l_{p\min} + bm \quad (28)$$

式中: R_f 为车辆后外轮的最小转弯半径, $l_{p\min}$ 为最小停车位长度, $w_{p\min}$ 为最小停车位宽度, l 为车身长度。

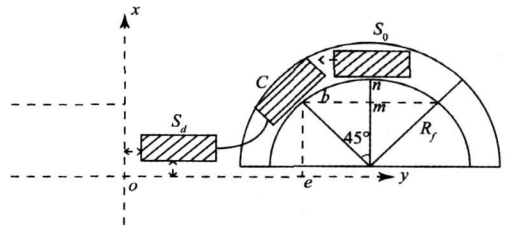


图 4 最小车位确定示意

上述坐标均是基于车身方向角为 0° 时给出, 当车辆由任意位置到达倒车的起始位置时, 车辆应基本平行于停车位的侧面, 即车身方向角应基本为 0° , 当车身方向角为正时, 应顺时针调整方向角, 当车身方向角为 0° 时, 保持当前方向角, 当车身方向角为负时, 应逆时针调整方向角, 车位内调整姿态过程跟这个相同, 当车身方向角小于 15° 时, 可以认为泊车已经基本成功^[10]。

而由于在寻找停车位并移动至起始位置的过程中, 不能够精确控制车身方向角平行于车位侧方, 因此在到达起始位置时, 车身方向角的允许误差范围为 $[-0.1, 0.1]$ 弧度, 略微调整方向即可满足条件, 一般认为起始位置的中心坐标在 $(w_p + 0.9w, l_p + 0.03l)$ 附近即可。

2 仿真结果

本文根据汽车的运动学模型^[11-16], 在 matlab 中搭建平

行泊车工况下的车辆运动 simulink 仿真图,对泊车过程进行仿真,仿真时取仿真参数如下:车辆轴距为1530 mm,轴距为2550 mm,车长为4204 mm,车宽为1794 mm,前悬为900 mm,后悬为890 mm,车辆行驶速度为5 km/h,最小转弯半径为3757 mm,转向传动比为17,方向盘极限转角为58°。仿真结果如图5所示。

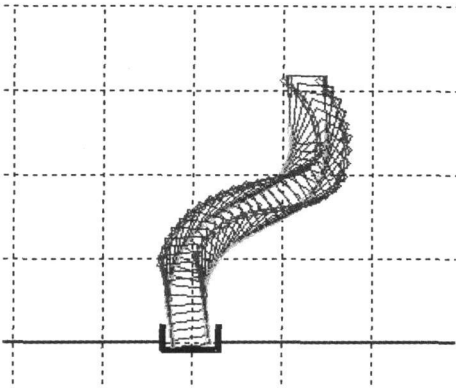


图5 仿真结果

此外,本文还针对不同的起始位置进行仿真,得到表1的结果。由表1可以看出,泊车空间为车身长度的1.4—1.5倍,当 (x_0, y_0) 为(4.7, 7.69)时,起始位置最佳,此时的泊车空间最小,为6.04。

表1 起始位置坐标与最小车位值

横向距离	纵向距离	最小车位长度
x_0/m	y_0/m	l_p/m
3.9	7.19	6.24
4.0	7.29	6.24
4.1	7.29	6.14
4.2	7.49	6.24
4.3	7.49	6.24
4.4	7.59	6.24
4.5	7.59	6.14
4.6	7.89	6.24
4.7	7.69	6.04
4.8	7.89	6.14
4.9	7.99	6.14

3 结 论

通过在 MATLAB 下的仿真,验证了本文提出的路径规划方法的可行性,不仅成功的实现了泊车和避障,而且有效的缩小了停车位的大小,并且起始位置的选择更加灵活,给泊车带来了很大的便利。

参 考 文 献

[1] 徐津津.双向路径规划在垂直自动泊车系统中的仿真研究[J].天津汽车,2009(5):36-39.

- [2] 郭孔辉,姜辉,张建伟,等.基于模糊逻辑的自动平行泊车转向控制器[J].吉林大学学报,2009(S2):236-240.
- [3] 聂文华,薛燕荣.基于行为反应控制的UCAV自主航路规划研究[J].国外电子测量技术,2010,29(4):52-57.
- [4] 李小斌,汤子站,杜健锋,等.声音导引系统设计[J].国外电子测量技术,2010,29(3):68-71.
- [5] 曹浩,屈展.基于最佳成熟时间法的车辆路径规划[J].电子测量技术,2009,32(7):36-39.
- [6] 宋金泽,戴斌,单恩忠,等.融合动力学约束的自主平行泊车轨迹生成方法[J].中南大学学报,2009(S1):135-141.
- [7] 朱益斌,胡学龙,朱亚峰,等.自主式寻迹机器人小车的的设计[J].国外电子测量技术,2006,27(7):40-42.
- [8] JIANG K. A sensor guided parallel parking system for non holonomic vehicles[C]. Dearborn, MI, USA proceedings of IEEE conference on Intelligent Transportation Systems, 2002:270-275.
- [9] 王芳成.自动平行泊车系统的研究[D].中国科学技术大学,2010.
- [10] 吴锴.智能自动泊车系统研究[D].南京理工大学,2008.
- [11] 沙春哲,施云波,修德斌,等.气体传感器长期稳定性智能检测系统[J].电子测量技术,2010,33(6):102-105.
- [12] 陈刚,张为公,龚宗洋,等.汽车驾驶机器人多机械手协调控制研究[J].仪器仪表学报,2009,30(9):1836-1840.
- [13] 张卡,盛业华,叶春,等.基于中心投影形状特征的车载移动测量系统交通标志自动识别[J].仪器仪表学报,2009,31(9):2101-2108.
- [14] 尚世亮.自动平行泊车车位超声检测与转向控制算法研究[D].吉林大学,2009.
- [15] 杜宇人,周爱军.一种基于视频图像的运动车辆跟踪方法[J].电子测量与仪器学报,2009,23(3):45-48.
- [16] 姜印平,钱振洋,赵欣华,等.车载油耗测量系统的研究[J].电子测量与仪器学报,2010,24(2):190-194.

作 者 简 介

杨妮娜,女,1986年1月出生,在读硕士,主要研究方向为检测技术与自动化装置。

E-mail: yangnina207@126.com

梁华为,男,1966年出生,研究员,博导,主要研究方向为检测技术与自动化装置。

E-mail: hwliang@iim.ac.cn

王少平,男,1977年出生,助理研究员,主要研究方向为检测技术与自动化装置。

E-mail: spwang@iim.ac.cn