

·第二十五届汽车安全技术国际学术会议专题·

基于回旋曲线的垂直泊车路径规划

张明海¹ 丁宁¹ 曹立波¹ 颜京才² 李旭升²

(1.湖南大学,汽车车身先进设计制造国家重点实验室,长沙 410082;2.毫末智行科技有限公司保定分公司,保定 071000)

【摘要】为解决垂直车位自动泊车路径规划问题,提出了一种算力要求低、泊车空间小的路径规划方法。首先,考虑泊车过程中碰撞约束、汽车运动学约束要求,基于直线-圆弧组合的方式,进行垂直泊车的一步和多步基础路径规划。然后,结合回旋曲线进行曲率优化,实现泊车路径的曲率平滑。最后利用仿真验证方法的可行性,结果表明:对于不同的横向泊车空间以及不同的初始姿态角,该方法均能够规划出安全、平滑的泊车路径。

主题词:自动泊车 路径规划 直线—圆弧—回旋曲线

中图分类号:U463.6

文献标识码:A

DOI: 10.19620/j.cnki.1000-3703.20230264

Path Planning for Vertical Parking Based on Clothoid Curve

Zhang Minghai¹, Ding Ning¹, Cao Libo¹, Yan Jingcai², Li Xusheng²

(1. State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body, Hunan University, Changsha 410082; 2. Baoding Branch of Haomo Zhixing Technology Co., Ltd., Baoding 071000)

【Abstract】This paper proposed a path planning method with low computing power requirement and small parking space for path planning of vertical parking space. First, the one-step and multi-step base path planning for vertical parking were designed based on the linear-arc combination considering the requirements of collision constraints and vehicle kinematic constraints in the parking process. Then, the curvature optimization was combined with the clothoid curve to realize the curvature smoothing of the parking path. Finally, the feasibility of the method was verified by simulation. The results show that the method can plan a safe and smooth parking path for different lateral parking spaces and different initial attitude angles.

Key words: Automatic parking, Path planning, Line-arc-clothoid curve

【引用格式】张明海,丁宁,曹立波,等.基于回旋曲线的垂直泊车路径规划[J].汽车技术,2023(6):30-36.

ZHANG M H, DING N, CAO L B, et al. Path Planning for Vertical Parking Based on Clothoid Curve[J]. Automobile Technology, 2023(6): 30-36.

1 前言

随着汽车保有量的不断增加,城市交通严重拥堵,泊车环境越来越拥挤、复杂,技术不足或缺乏经验的驾驶员难以将车辆安全、准确、快速地泊入车位。因此,开发安全舒适的自动泊车系统对泊车安全具有重要意义^[1]。

作为自动泊车系统的组成部分,路径规划模块是确保泊车过程安全舒适的关键^[2]。曲线插值是常用的泊车路径规划方法,能够将路径用函数表达,具有运算耗时短、规划路径基本平滑可控的优点,缺点是缺乏灵活性。直线和圆弧组合是一种经典的方法,杜宾斯

(Dubins)曲线^[3]和Reeds-Shepp曲线^[4]可以生成两点间的最短路径,包括直线段和圆弧段,前者对应无倒车的情况,后者对应有倒车的情况。一些学者在此基础上进行了拓展或改进:Kim等^[5]提出通过组合不同的圆弧和直线在狭窄环境中搜索所有可行路径,该方法较实用,且停车路径可以通过最小化成本函数进行优化;Sungwoo等^[6]将圆弧定位法应用于平行停车,提出了一种完全基于几何的方法,该方法最大的缺点是在直线和圆弧的连接点处曲率不连续,为了精确地跟踪路径,车辆必须在连接点停下,重新调整前轮方向,这将导致不必要的时间消耗和转向系统磨损。为了避免这些问题,学者

们提出了一些解决方法,其中回旋曲线在处理路径平滑性方面具有独特优势。Vorobieva等^[7-8]采用双圆弧规划平行泊车路径,然后使用回旋曲线进行平滑处理,解决了泊车过程中原地转向的问题。张家旭等^[9]基于直线-圆弧组合方式设计平行泊车路径,并通过对固定回旋曲线的平移和翻转变换完成曲率连续的平行泊车路径规划,但使用回旋线时移动了圆弧端点。

本文采用几何方法,结合曲线路径最短和回旋曲线曲率平滑且符合车辆转弯特性的优点,对垂直车位的自动泊车路径规划开展研究。考虑开始泊车时航向角不为零的情况,首先使用直线圆弧组合的方式设计基础的一步和多步泊车路径,然后使用回旋线对圆弧段进行优化,可以有效消除路径中曲率突变的不平滑点,使整个泊车路径曲率连续,避免原地转向,以实现不同初始位置和姿态角条件下的垂直泊车路径规划。

2 垂直泊车基础路径规划

2.1 汽车运动学模型

为保证泊车过程的准确性,需要对车身轮廓运动轨迹进行计算,在给予一定裕度的情况下,将车身轮廓等效为矩形,如图1所示,图中 L 为轴距, L_f 、 L_r 分别为前、后悬, W 为车宽。

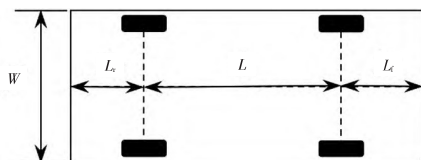


图1 汽车简化模型

由于泊车过程车速较低,可以忽略车辆侧倾和轮胎滑移的情况。本文采用基于阿克曼转向原理的运动学模型,将车视为平面刚体,选取后轴中心作为参考点,具有 x 、 y 、 φ 3个自由度,其中 (x,y) 为车辆坐标, φ 为航向角,是车身与 x 轴正方向的夹角,逆时针为正,如图2所示。

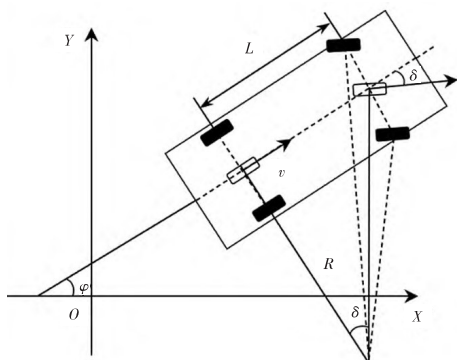


图2 阿克曼转向模型

车辆的状态方程为:

$$\begin{cases} \dot{x} = v \cdot \cos \varphi \\ \dot{y} = v \cdot \sin \varphi \\ \dot{\varphi} = v \cdot \tan \delta / L \end{cases} \quad (1)$$

式中, v 为车速; δ 为等效前轮转角。

根据最大等效前轮转角 δ_{\max} 和轴距 L ,可求得后轴中心对应的最小转弯半径 R_{\min} :

$$R_{\min} = L / \tan \delta_{\max} \quad (2)$$

2.2 单步泊车路径规划

车辆开始泊车时,首先通过全景环视系统检测车位角点 P_1 、 P_4 ,在车位左角点 P_1 处建立坐标系。此时后轴中心位于 S_1 点,以 S_1 为规划起点,坐标可根据 P_1 、 P_4 点得到,车身与车位的夹角 φ 即为初始航向角,垂直停车位尺寸为 $l \times w$,如图3所示。车辆先从 S_1 点沿 X 轴前进或后退至 S_2 点,再按最小转弯半径 R_{\min} 行驶至 S_3 点,切换倒挡按 R_{\min} 后退至 S_4 点,最后沿直线后退至 S_5 点泊入车位。图3中曲线为车辆后轴中心的轨迹, O_0 为 $\widehat{S_2S_3}$ 的圆心,对应的圆心角为 θ_0 , O_1 为 $\widehat{S_3S_4}$ 的圆心,对应的圆心角为 θ_1 。

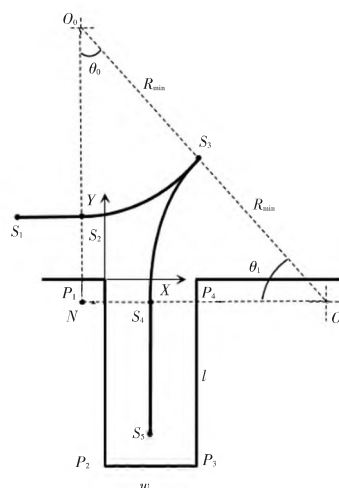


图3 单步垂直泊车示意

图4为单步泊车碰撞风险点示意图,可以看出,车辆行驶至 $\widehat{S_3S_4}$ 段上 A 点时,车身轮廓上 M 点距车位角点 P_4 最近, M 点与 P_4 须保持一定距离避免碰撞,设 M 与 P_4 的距离为安全距离 L_{safe1} 。由几何关系可得 $\angle AO_1S_4$:

$$\alpha = \arccos \left(\frac{R_{\min} - \frac{w}{2}}{R_{\min} - \frac{W}{2} - L_{\text{safe1}}} \right) \quad (3)$$

由图4中几何关系可得 O_1 的坐标为:

$$\begin{cases} X_{O1} = X_{S4} + R_{\min} = \frac{w}{2} + R_{\min} \\ Y_{O1} = -|HP_4| = -\left(R_{\min} - \frac{w}{2}\right) \cdot \tan \alpha \end{cases} \quad (4)$$

图3中 O_0 的 Y 坐标为:

$$Y_{O0} = Y_{S2} + R_{\min} = Y_{S1} + R_{\min} \quad (5)$$

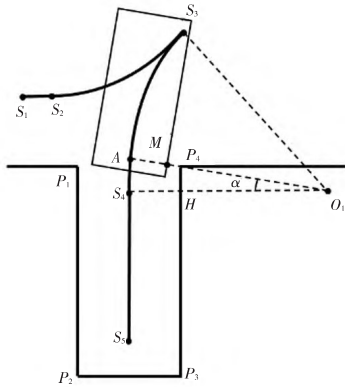


图4 单步泊车碰撞风险点示意

在图3中,对于 $\Delta O_0 O_1 N$,有:

$$\cos \theta_0 = \frac{Y_{O0} + |Y_{O1}|}{2R_{\min}} \quad (6)$$

由此可得 O_0 的 X 坐标为:

$$X_{O0} = X_{O1} - |NO_1| = R_{\min} + \frac{w}{2} - 2R_{\min} \sin \theta_0 \quad (7)$$

S_2 、 S_3 、 S_4 的坐标可以通过式(4)~(7)求得:

$$\begin{cases} X_{S2} = X_{O0} \\ Y_{S2} = Y_{S1} \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} X_{S3} = X_{O0} + R_{\min} \sin \theta_0 \\ Y_{S3} = Y_{O0} - R_{\min} \cos \theta_0 \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} X_{S4} = \frac{w}{2} \\ Y_{S4} = Y_{O1} \end{cases} \quad (10)$$

实际泊车时,起始点可能相对于 S_2 点偏前,须先后退一段距离,如图5所示。此外,初始航向角 φ 一般不为 0° ,泊车过程需先通过一段圆弧,将车辆调整到与 X 轴平行的位置,再按照以上方法进行泊车,图6所示为初始航向角不为零的泊车路径。

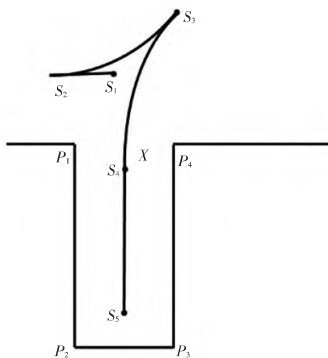


图5 起始点偏右时泊车路径示意

2.3 多步泊车路径规划

单步泊车所需空间较大,垂直泊车场景常遇到泊车空间不足的情况,比如道路较窄或对向车位停有车辆。如图7所示,车辆轮廓左前点 A_1 与上边界会发生碰撞。

此时单步泊车难以实现,需采用多步泊车的方法完成。从图7中可以看出,引起碰撞的原因是一步泊车路径中 S_3 点的 Y 坐标过大,因此,通过约束 Y_{S3} 即可避免碰撞。

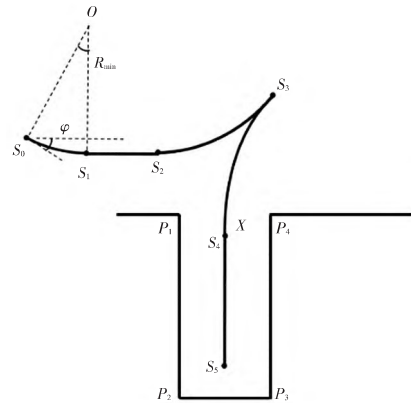
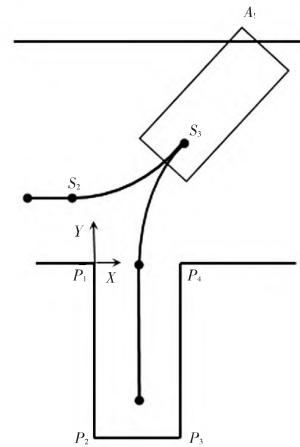

 图6 初始角度 $\varphi \neq 0^\circ$ 的泊车路径示意


图7 车辆与上边界碰撞示意

图8为车辆在 S_3 点以及行驶至 A 点的泊车示意,为避免碰撞,车辆左前点 A_1 与上边界需保留安全距离,将 J 与 A_1 的距离定为安全距离 $L_{\text{safe}2}$ 。

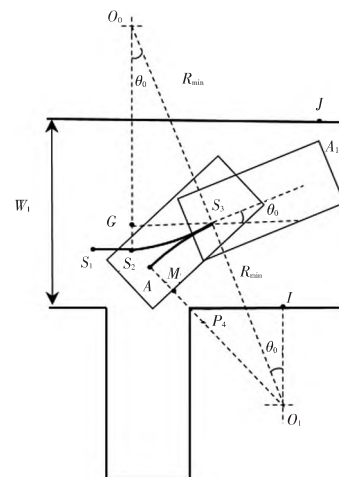


图8 多步垂直泊车空间约束

由图8中几何关系可得:

$$W_1 = Y_{A1} + L_{\text{safe}} = Y_{S2} + \Delta Y + |A_1 S_3| \sin \left(\theta_0 + \arctan \left(\frac{W/2}{L + L_f} \right) \right) + L_{\text{safe}2} \quad (11)$$

$$\theta_0 = \arccos \left| \frac{O_0 G}{O_0 S_3} \right| = \frac{R_{\min} - \Delta Y}{R_{\min}} \quad (12)$$

$$\begin{cases} X_{O1} = X_{S3} + R_{\min} \sin \theta_0 \\ Y_{O1} = Y_{S3} - R_{\min} \cos \theta_0 \end{cases} \quad (13)$$

$$\begin{cases} X_{O0} = X_{S3} - R_{\min} \sin \theta_0 \\ Y_{O0} = Y_{S3} + R_{\min} \cos \theta_0 \end{cases} \quad (14)$$

式中, W_1 为泊车区域宽度; $\Delta Y = Y_{S3} - Y_{S2}$;

$$|A_1 S_3| = \sqrt{\left(\frac{W}{2} \right)^2 + (L + L_f)^2}。$$

在 $\triangle P_4 O_1$ 中:

$$(X_{O1} - X_{P4})^2 + (Y_{O1} - Y_{P4})^2 = \left(R_{\min} - \frac{W}{2} - L_{\text{safe}} \right)^2 \quad (15)$$

由式(11)~(15)可求解出点 S_2 、 S_3 、 O_0 、 O_1 的坐标和 θ_0 , 至此, 可得到 $\widehat{S_2 S_3}$ 的具体形式。图9所示为完整的多步泊车路径示意, 在 $\widehat{S_3 S_4}$ 段, 前文已经考虑了与 P_4 点的碰撞, 下一步通过与 P_1 点保持一定的安全距离来推导 S_4 点。 $\widehat{S_3 S_4}$ 对应的角度为 θ_1 , 此时车辆航向角为 $\theta_0 + \theta_1$, 避免碰撞的策略是在 S_4 处, P_1 距车辆尾部的距离保持为 $L_{\text{safe}3}$, 在图10中可转换为 P_1 与直线 EF 的距离为 $L_{\text{safe}3} + L_{r0}$ 。

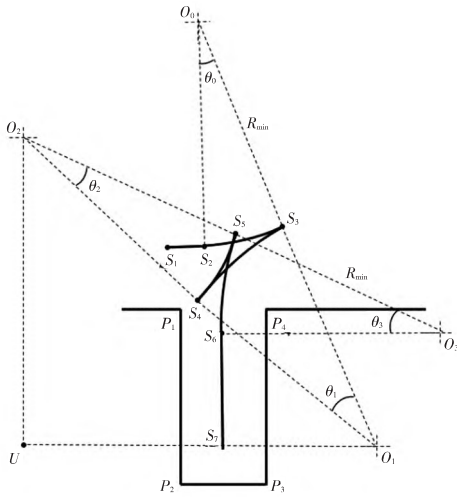


图9 多步泊车路径示意

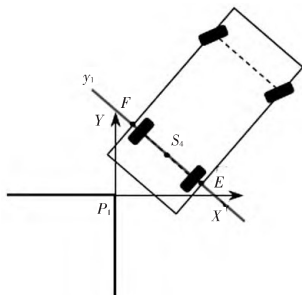


图10 S_4 点计算示意

由图9和图10中几何关系有:

$$\begin{cases} X_{S4} = X_{O1} - R_{\min} \cos \left(\frac{\pi}{2} - \theta_0 - \theta_1 \right) \\ Y_{S4} = Y_{O1} + R_{\min} \sin \left(\frac{\pi}{2} - \theta_0 - \theta_1 \right) \end{cases} \quad (16)$$

设直线 EF 的解析式为 $y_1 = kx + b$, 则:

$$\begin{cases} k = \tan \left(\frac{\pi}{2} + \theta_0 + \theta_1 \right) \\ Y_{S4} = kX_{S4} + b \end{cases} \quad (17)$$

$$L_{\text{safe}} + L_r = \frac{|kX_{P1} - Y_{P1} + b|}{\sqrt{k^2 + 1}} \quad (18)$$

由式(16)~(18)可计算出 S_4 的坐标和 θ_1 。对于 $\widehat{S_4 S_5}$ 和 $\widehat{S_5 S_6}$, 从图9中的几何关系可得到:

$$X_{O2} = X_{O1} - |O_1 U| = X_{O1} - 2R_{\min} \cos \left(\frac{\pi}{2} - \theta_0 - \theta_1 \right) \quad (19)$$

$$X_{O3} = \frac{w}{2} + R_{\min} \quad (20)$$

$$\theta_3 = \arccos \left(\frac{X_{O3} - X_{O2}}{2R_{\min}} \right) \quad (21)$$

$$\theta_2 = \frac{\pi}{2} - \theta_0 - \theta_1 - \theta_3 \quad (22)$$

由式(19)~(22)可得到 θ_2 、 θ_3 的值以及 O_2 、 O_3 、 S_5 、 S_6 的坐标。

3 垂直泊车路径规划算法优化

前文设计的路径规划方法由直线和圆弧组成, 可以完成泊车任务。但由于曲率不连续, 要使车辆沿规划的路径行驶, 必须在直线和圆弧连接处停车原地转向, 这会造成转向机构及轮胎的磨损, 还会延长泊车时间。因此, 需要对第2节中的路径进行优化。回旋曲线可以很好地描述车辆行驶时转向的行为, 如果车辆以恒定的速度运动, 并以恒定的角速度转向, 则后轴中心驶过的轨迹即为回旋线。回旋线具有曲率连续变化的特点^[10], 满足泊车路径对曲率平滑的要求。本文使用回旋曲线对基础路径进行优化。

3.1 回旋曲线

回旋曲线是曲率 K 随其弧长 s 线性变化的曲线, 可表示为:

$$K(s) = \sigma s + K(0) \quad (23)$$

式中, σ 为曲率变化率。

车辆从起点 O 开始, 初始状态为 $q_0 = (x_0, y_0, \varphi_0, \delta_0) = (0, 0, 0, 0)$, x_0 、 y_0 、 φ_0 、 δ_0 分别为车辆的初始 x 坐标、 y 坐标、车身航向角、曲率, 以恒定的纵向速度和恒定的转向速度向左行驶, 直至点 E , 转向盘到达最大角度, 此时转弯半径为 R_{\min} , 车辆后轴中心驶过的轨迹如图11所示。距起始点 s 处车辆的姿态信息为:

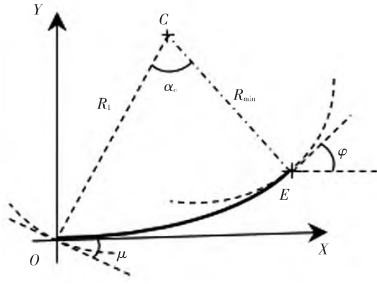


图 11 回旋曲线

$$q = \begin{cases} x = A\sqrt{\pi}C_f\left(\frac{L}{\pi A}\right) \\ y = A\sqrt{\pi}S_f\left(\frac{L}{\pi A}\right) \\ \varphi = \frac{A^2}{2R^2} \\ \delta = \frac{1}{R} \end{cases} \quad (24)$$

式中, A 为回旋曲线参数, $A^2 = RL = 1/\sigma$; C_f 、 S_f 为菲涅尔积分:

$$\begin{cases} C_f(x) = \int_0^x \cos(\pi/2)u^2 du \\ S_f(x) = \int_0^x \sin(\pi/2)u^2 du \end{cases} \quad (25)$$

圆心 C 的坐标为:

$$\begin{cases} X_C = X_B - R_{\min} \sin \beta_1 \\ Y_C = Y_B + R_{\min} \cos \beta_1 \end{cases} \quad (26)$$

由图 11 可得:

$$\begin{cases} R_1 = \sqrt{X_C^2 + Y_C^2} \\ \mu = \arctan \frac{X_C}{Y_C} \end{cases} \quad (27)$$

为充分利用车辆的最大转向角并缩小泊车空间,回旋曲线长度 S 应尽可能小。回旋曲线长度与车速及转向速度有关:

$$\begin{cases} t_{\min} = \frac{\delta_{\max}}{v_{\delta}} \\ S_{\min} = v_{\max} \cdot t_{\min} \end{cases} \quad (28)$$

式中, t_{\min} 为转向盘从 0° 转到最大角度所需时间; v_{δ} 为最大转向速度; v_{\max} 为泊车过程中的最大车速。

所用回旋线参数定为 $A_{\min}^2 = R_{\min} S_{\min}$, R_1 由式 (25)~式 (28) 计算, α_c 为回旋线对应的角度。

3.2 连续曲率路径优化

第 2 节规划的路径中,存在的问题是直线与圆弧处曲率突变(从 0 突变到 $1/R$),且圆弧段起始曲率为 $1/R$,这会给泊车过程带来困难。希望车辆每次前进/后退的路径曲率都是从 0 开始,并以 0 结束,且每一段路径曲率都是连续的。优化的思路是结合回旋线,将每一段圆弧都调整为“回旋线-圆弧-回旋线”(CAC)组合的曲线。

定义 CAC 组合曲线包括:参数为 A 的回旋线,长度

S , 初始曲率为 0, 末端曲率为 $1/R$; 半径为 R , 角度为 θ 的圆弧; 参数为 A 的回旋线, 长度 L , 初始曲率为 $1/R$, 末端曲率为 0。

针对第 2 节的结果,将最小半径 R_{\min} 替换为 R_1 ,使用回旋曲线将半径为 R_1 的圆弧过渡到半径为 R_{\min} 的圆弧。此外,需将圆弧以 S_2 为中心旋转角度 μ ,从而使优化后的航向角连续,如图 12 所示。

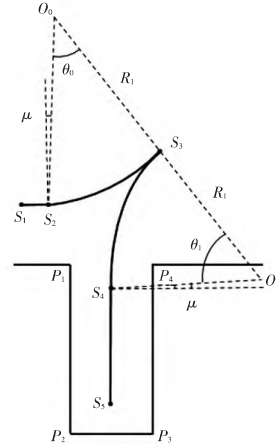


图 12 回旋曲线优化的泊车路径示意

对于不同的圆心角度 α , 转化为回旋曲线-圆弧-回旋曲线(CAC 序列), 考虑以下 2 种情况: 当 $\alpha \geq 2\alpha_c$ 时, 使用完整的 CAC 序列, 如图 13a 所示; 当 $\alpha < 2\alpha_c$ 时, 使用 2 段回旋线(CC 序列)进行优化, 如图 13b 所示。回旋线对应的参数 A_{new} 、 L_{new} 将有所变化:

$$A_{\text{new}} = \sqrt{\frac{R_1^2 \sin\left(\frac{\Delta\varphi}{2} + \mu\right)^2}{\pi \left(\cos \frac{\Delta\varphi}{2} C_f\left(\sqrt{\frac{\Delta\varphi}{\pi}}\right) + \sin \frac{\Delta\varphi}{2} S_f\left(\sqrt{\frac{\Delta\varphi}{\pi}}\right) \right)^2}} \quad (29)$$

$$L_{\text{new}} = A_{\text{new}} \sqrt{\Delta\varphi} \quad (30)$$

式中, $\Delta\varphi = (\varphi_{\text{end}} - \varphi_{\text{start}})$ 为汽车转过的角度。

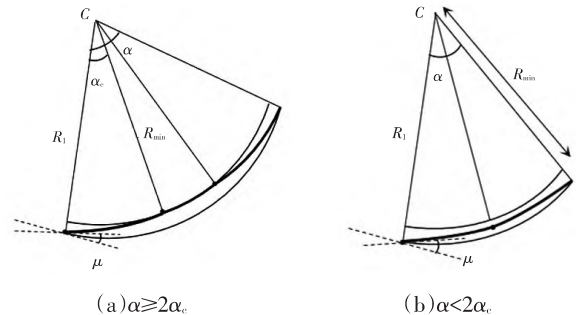


图 13 回旋曲线优化圆弧的 2 种情况

4 仿真验证

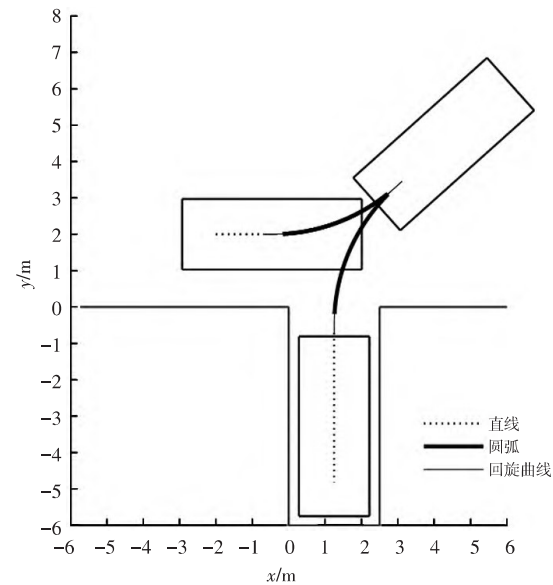
本文针对某品牌 SUV 汽车展开试验, 汽车相关参数如表 1 所示, 采用尺寸为 $2.5 \text{ m} \times 6 \text{ m}$ 的垂直车位。通

过 MATLAB 对垂直泊车进行仿真。

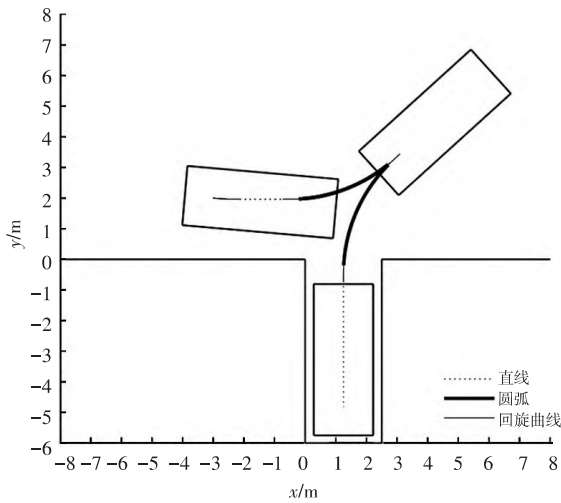
表 1 汽车主要参数

参数	数值	参数	数值
轴距 L/mm	2 900	车宽 W/mm	1 940
前悬 L_f/mm	1 110	最大前轮等效转角 $\delta_{\max}/(^{\circ})$	30
后悬 L_r/mm	930	轮距 L_w/mm	1 664

图 14 所示为汽车单步泊车规划的路径,图 14a 中,车辆的初始坐标为 $(-2,2)$,初始航向角为 0° ;图 14b 中,初始坐标为 $(-3,2)$,初始航向角为 -5° 。对于不同的初始位置和角度,本文的方法可以规划出直线-圆弧-回旋曲线组合的安全平滑泊车路径,但所需泊车空间较大。



(a)初始坐标为 $(-2,2)$,航向角为 0° 时的泊车路径



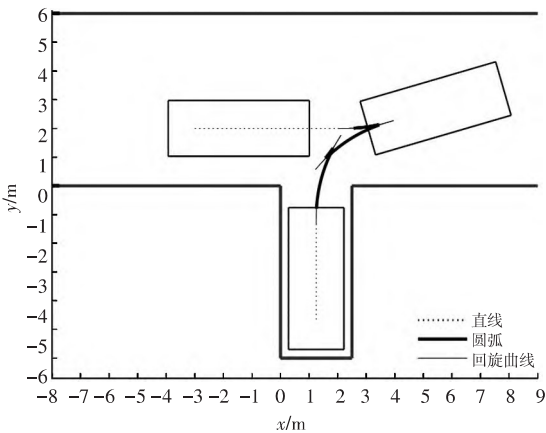
(b)初始坐标为 $(-3,2)$,航向角为 -5° 时的泊车路径

图 14 单步泊车仿真结果

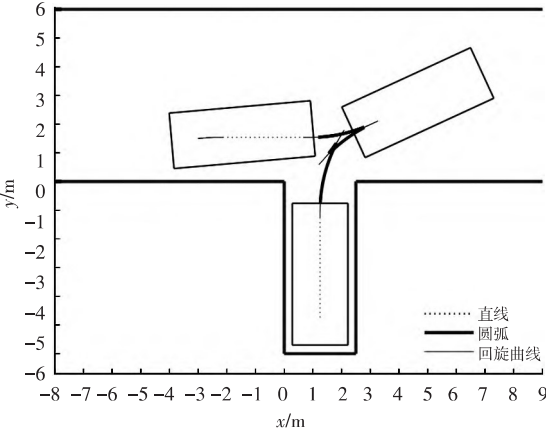
为确保泊车过程的安全性并提高路径规划的适用性,根据实际泊车场景,将横向泊车距离限制为 6 m。

2023 年 第 6 期

图 15 为在不同的初始坐标和初始航向角下,规划的多步泊车路径均能避免碰撞且平滑。



(a)初始坐标 $(-3,2)$,航向角为 0° 时的泊车路径



(b)初始坐标为 $(-3,1.5)$,航向角为 5° 时的泊车路径

图 15 多步泊车仿真结果

5 结束语

本文对垂直车位自动泊车场景,规划了具有不同初始航向角的平滑泊车路径。首先,根据车辆初始姿态以及泊车空间,考虑运动学约束和碰撞约束,设计基于直线-圆弧组合的单步和多步垂直泊车基础路径规划方法。然后,对于连接点曲率不平滑的问题,结合回旋曲线对基础路径规划结果进行优化,实现了泊车路径的曲率平滑,有效避免了泊车过程中的原地转向。基于 MATLAB 的仿真结果表明,对于不同的初始航向角,该方法能规划出安全无碰撞的平滑轨迹,验证了安全性和可行性。

参 考 文 献

[1] LI B, WANG K X, SHAO Z J. Time-Optimal Maneuver Planning in Automatic Parallel Parking Using A Simultaneous Dynamic Optimization Approach[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2016, 17 (11): 3263-3274.

- [2] HSU T H, LIU J F, YU P N, et al. Development of an Automatic Parking System for Vehicle[C]// 2008 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Harbin, China: IEEE, 2008: 1-6.
- [3] DUBINS L E. On Curves of Minimal Length with A Constraint on Average Curvature, and with Prescribed Initial and Terminal Positions and Tangents[J]. American Journal of Mathematics, 1957, 79(3): 497-516.
- [4] REEDS J, SHEPP L. Optimal Paths for A Car That Goes Both Forwards and Backwards[J]. Pacific Journal of Mathematics, 1990, 145(2): 367-393.
- [5] KIM D, CHUNG W, PARK S. Practical Motion Planning for Car-Parking Control in Narrow Environment[J]. IET Control Theory & Applications, 2010, 4(1): 129-139.
- [6] SUNGWOO C, BOUSSARD C, D'ANDRÉA- NOVEL B. Easy Path Planning and Robust Control for Automatic Parallel Parking[J]. IFAC Proceedings Volumes, 2011, 44(1): 656-661.
- [7] VOROBIEVA H, GLASER S, MINOIU-ENACHE N, et al. Automatic Parallel Parking in Tiny Spots: Path Planning And Control[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2015, 16(1): 396-410.
- [8] VOROBIEVA H, GLASER S, MINOIU-ENACHE N, et al. Geometric Path Planning for Automatic Parallel Parking in Tiny Spots[J]. IFAC Proceedings Volumes, 2012, 45(24): 36-42.
- [9] 张家旭, 赵健, 施正堂, 等. 基于回旋曲线的平行泊车路径规划和跟踪控制[J]. 吉林大学学报(工学版), 2020, 50(6): 2247-2257.
- ZHANG J X, ZHAO J, SHI Z T, et al. Path Planning and Tracking Control for Parallel Parking Based on Clothoid Curve[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2020, 50(6): 2247-2257.
- [10] FRAICHARD T, SCHEUER A. From Reeds and Shepp's to Continuous-Curvature Paths[J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 2004, 20(6): 1025-1035.

(责任编辑 王 一)

修改稿收到日期为2023年5月4日。

《汽车文摘》征文

《汽车文摘》(月刊)于1963年7月3日创刊,由国务院国有资产监督管理委员会主管、中国第一汽车集团有限公司主办,为中国汽车工程学会会刊。《汽车文摘》以“览全球汽车技术文献,指中国汽车技术之道”为使命,以打造“中国汽车前沿与创新技术传播与交流的重要平台”为愿景,致力于成为汽车领域最具影响力的综述类期刊。

2022年11月,《汽车文摘》复合影响因子达1.066,首个影响因子突破“1”,这反映出《汽车文摘》自2019年启动转型升级以来,期刊学术影响力稳步提升。

《汽车文摘》坚信“他山之石,可以攻玉”,深耕电动化、智能化、网联化、共享化和智能制造5大方向和10大领域,聚焦新能源与混合动力汽车、智能网联汽车、燃料电池、低碳与氢等零碳燃料、汽车安全、健康与舒适、碳达峰与碳中和、生命周期评价(LCA)与技术经济分析、智能制造、材料轻量化与一体化压铸、飞行汽车前沿与创新技术综述论文,揭示相关领域的新动态、新趋势、新技术和新进展,为广大科研和工程技术人员进一步发展这一领域提供新突破口、新出发点和新基准。

欢迎高等院校师生、研发工程技术人员、技术管理人员,充分发挥专业领域优势,深度挖掘国内外高影响力学术期刊与其它文献,形成某个技术领域前沿综述。

《汽车文摘》2023年选题范围:

电动化:混合动力关键技术;动力电池关键技术;先进充电技术;电驱动系统及电力电子技术;底盘及子系统线控关键技术;燃料电池动力系统设计与优化。

智能化:新型电子电气架构;自动驾驶感知、决策与运动控制;智能新能源汽车测试评价方法与工具链;车辆智能安全技术。

网联化:智能网联云控技术;车用通信及网络技术;车路协同技术;汽车人因、人机交互与智慧座舱;信息安全与功能安全;车网融合(V2G)及应用。

低碳化:汽车节能与排放技术;清洁能源动力系统技术;碳达峰、碳中和;氢燃料制、储、运、加及安全管控技术;生命周期评价(LCA)、标准法规与技术经济分析;低碳与氢等零碳燃料。

轻量化:新能源汽车新材料技术;混合材料轻量化设计;一体化压铸。

共享化:区块链技术与移动出行;车辆大数据挖掘方法与应用案例。

燃料电池:电池堆、电池系统与基础设施。

智能制造:机器人与自动化控制、四大工艺、物流技术、设计-制造-服务。

颠覆式出行:飞行汽车;未来低空智能交通体系及其关键技术。

汽车安全:主被动安全与融合;智能安全;健康与舒适

《汽车文摘》发表论文的独特优势:

《汽车文摘》是国家级刊物、中国汽车工程学会会刊、汽车领域唯一的综述期刊。《汽车文摘》不收版面费、4个月左右可发稿。

投稿要求:

1. 综述篇幅在10 000~15 000字(6~10页),图文并茂,图、表和公式非原创要求标注引用文献;
2. 请按科技论文要求撰写文章摘要,摘要中文字数在200±10字;
3. 文章必须附有公开发表、体现本领域最新研究成果和高影响力出版物作为参考文献,一般要求参考文献在20篇以上,一半左右为外文参考文献,且在文中标注所引用文献;
4. 来稿保密审查工作由作者单位负责,确保署名无争议,文责自负;
5. 切勿一稿多投。

《汽车文摘》投稿网址: <http://www.qcwz.cbpt.cnki.net>

邮箱: autodigest@faw.com.cn

《汽车文摘》编辑部