

10.16638/j.cnki.1671-7988.2022.007.003

## 基于 CarSim 的平行泊车仿真分析

张 鹏, 龚显旭, 孙 港, 刘二源

(长安大学 汽车学院, 陕西 西安 710064)

**摘要:** 自动泊车系统属于智能驾驶技术的重要领域, 在智能驾驶的最后一公里中承担着重要作用。在自动泊车系统研究中, 提出一种多项式拟合的多段式泊车路径规划方法, 解决了传统圆弧直线相切泊车路径曲率不连续的问题。车辆运动控制部分采用模型预测控制方法对车辆进行横向运动控制, 由于车辆纵向运动无准确模型, 采用比例-积分-微分反馈控制车辆纵向速度。文章最后通过 CarSim 车辆动力学仿真软件联合 Matlab/Simulink 进行仿真分析, 实验结果表明, 文中设计的泊车路径适合泊车工况, 且跟踪误差较小。

**关键词:** 自动泊车; 智能驾驶; 路径规划; CarSim

**中图分类号:** U495 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-7988(2022)07-12-04

### Parallel Parking Simulation Analysis Based on CarSim

ZHANG Peng, GONG Xianxu, SUN Gang, LIU Eryuan

(College of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

**Abstract:** Automatic parking system is an important field of intelligent driving technology and plays an important role in the last kilometer of intelligent driving. In the research of automatic parking system, a multinomial fitting multi-section parking path planning method is proposed to solve the problem of discontinuous curvature of traditional circular arc linear tangent parking path. In the vehicle motion control part, the model predictive control method is used to control the lateral motion of the vehicle. Since there is no accurate model of vehicle longitudinal motion, proportional-integral-differential feedback is used to control vehicle longitudinal velocity. Finally, the CarSim vehicle dynamics simulation software and Matlan/Simulink are used for simulation analysis. The experimental results show that the parking path designed in this paper is suitable for parking conditions, and the tracking error is small.

**Keywords:** Automatic parking; Intelligent driving; Path planning; CarSim

**CLC NO.:** U495 **Document Code:** A **Article ID:** 1671-7988(2022)07-12-04

自动泊车系统属于自动驾驶的技术范畴, 是汽车行业的发展趋势。由于泊车工况相对于其他的驾驶场景环境相对单一安全, 因此, 自动泊车技术的研究纵跨自动驾驶的多个层级。自动泊车系统主要包括有环境感知, 决策规划, 人机交互, 运动控制。在自动泊车系统的研究开发过程中,

**作者简介:** 张鹏 (1995—), 男, 硕士研究生, 研究方向为智能网联汽车, E-mail: 1500149178@qq.com。

决策规划与车辆运动控制是研究的重点内容。在自动泊车系统的研究过程中,使用专业的汽车仿真软件可以大大提高自动泊车系统的研究效率。

CarSim 车辆动力学仿真软件起源于 1996 年,由世界著名车辆动力学领域专家 Thomas D.Gillespie 教授团队基于美国密歇根大学交通研究院大量交通实验数据研究开发<sup>[1]</sup>。CarSim 仿真软件在过去的二十多年里,一直深耕于车辆动力学领域。其可靠的车辆动力模型和大量的实验数据,保障了车辆工况仿真验证实验数据的真实性和可靠性。

## 1 车辆运动学模型建立

车辆在泊车过程中需要不断调整方向盘,使车辆倒入狭小的停车位中。自动泊车研究过程中,需要建立车辆运动学模型。运动学模型可以准确地反映车辆运动过程中的位置坐标和位姿状态。车辆的泊车工况车速较低,在低车速下可以忽略车辆侧倾和轮胎滑移。为了降低运算复杂度,建立如图 1 所示的运动学模型。

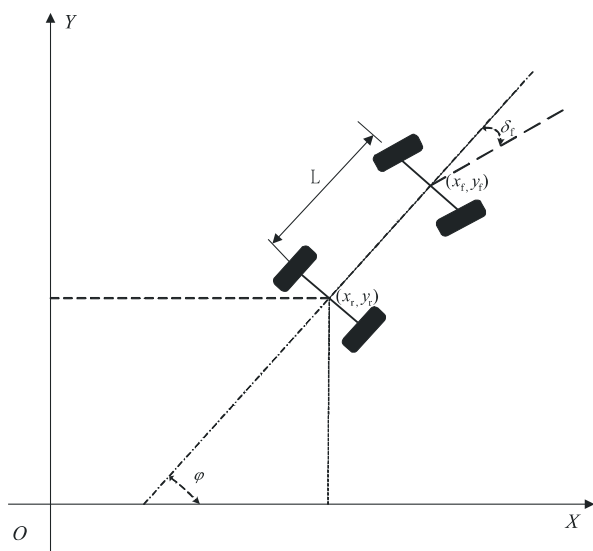


图 1 车辆运动学模型

车辆运动学中车辆运动状态如式 (1) 所示:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_r \\ \dot{y}_r \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi \\ \sin \varphi \\ \omega \end{bmatrix} \cdot v_r \quad (1)$$

### 1.2 停车位模型

图 2 中 a、b、c、d 表示车位四个边界点,  $l_c$ 、 $l_k$ 、 $l_w$  分别表示车位长度、车位宽度、过道宽度。如图 2 所示。停车位的空间尺寸参数参见相关标

准《车库建筑设计规范》。

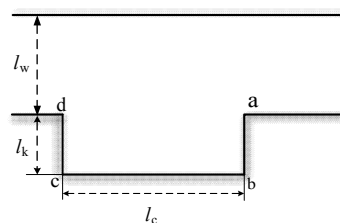


图 2 停车位模型

## 2 平行泊车路径规划

### 2.1 圆弧直线三段式泊车路径规划

泊车路径由圆弧加直线加圆弧组成<sup>[2]</sup>。圆弧直线相切法泊车轨迹具体过程为车辆从泊车起始点开始泊车,首先将方向盘向右转动合适角度,车辆运动轨迹是一个等半径圆弧,其次方向盘回正直线驶过一段距离,最后方向盘向左转动合适角度,车辆沿着等半径圆弧运动至车身与车位水平,泊车完成。

如图 3 所示,泊车轨迹满足以下几何关系:

$$(R_1 + R_2) \sin \theta + S_1 \cos \theta = S \quad (2)$$

$$(R_1 + R_2)(1 - \cos \theta) + S_1 \sin \theta = H \quad (3)$$

在两段圆弧相切的基础上,增添一段直线段,泊车终点位置确定,泊车路径和泊车起始点位置紧密相关。当  $R_1 = R_2 = R_{\min}$ , 泊车路径可达到理想最短状态。

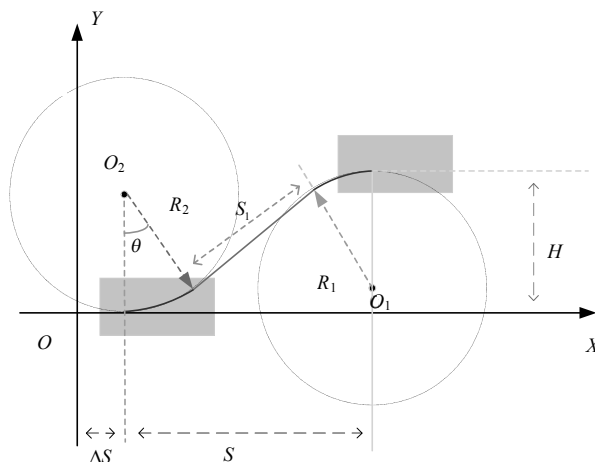


图 3 车辆运动学模型

### 2.2 基于多项式拟合的泊车路径规划

圆弧直线相切三段式泊车路径,能够满足车辆平行泊车工况的要求。由于圆弧与车辆相切泊

车路径的曲率不连续, 导致泊车过程中需要停车转向, 会加剧车轮的磨损且使泊车不连续<sup>[3]</sup>。在圆弧直线三段式泊车路径的基础上使用多项式对泊车路径优化, 生成曲率连续满足车辆运动规律的泊车路径。

五次多项式进行平行泊车工况路径规划, 其具体表达式为

$$y = a_5 x^5 + a_4 x^4 + a_3 x^3 + a_2 x^2 + a_1 x + a_0 \quad (4)$$

结合图 3 圆弧直线泊车路径上具体点的分析, 得到如下方程

$$\begin{cases} y_0 = a_5 x_0^5 + a_4 x_0^4 + a_3 x_0^3 + a_2 x_0^2 + a_1 x_0 + a_0 \\ k_{y0} = 5a_5 x_0^4 + 4a_4 x_0^3 + 3a_3 x_0^2 + 2a_2 x_0 + a_1 \\ y_{c4} = a_5 x_{c4}^5 + a_4 x_{c4}^4 + a_3 x_{c4}^3 + a_2 x_{c4}^2 + a_1 x_{c4} + a_0 \\ k_{yc4} = 5a_5 x_{c4}^4 + 4a_4 x_{c4}^3 + 3a_3 x_{c4}^2 + 2a_2 x_{c4} + a_1 \end{cases} \quad (5)$$

### 3 车辆运动控制策略

#### 3.1 车辆横向 MPC 控制

模型预测控制是一种有限时域内不断优化反馈的开环控制方法<sup>[4]</sup>。在车辆运动的控制过程中, 结合具体的车辆状态空间模型  $(x, y, \varphi)$ , 根据当前时刻状态模型预测将来时域的实际状态, 并将计算结果反馈到当前的控制器中进行误差优化。模型预测控制的核心工作步骤主要由预测模型, 滚动优化和反馈校正三部分组成。

车辆运动学方程作为与预测模型, 在低速工况下有如下表达式:

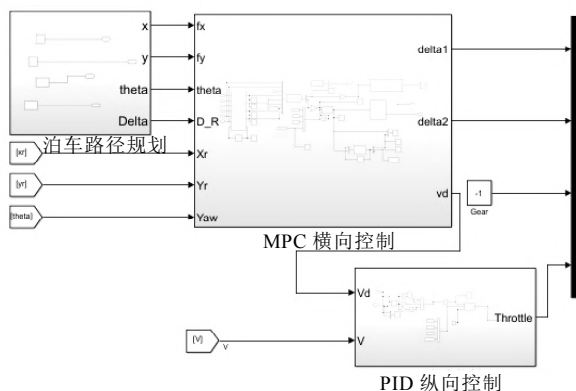


图 4 CarSim/Simulink 联合仿真

#### 4.2 仿真实验分析

为了更好地验证前文规划的泊车路径可行有效, 结合前文介绍泊车工况相关规范, 其具体信息如表 1 所示。

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ \psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \psi \\ \sin \psi \\ \tan \delta_f / l \end{bmatrix} v \quad (6)$$

在路径跟踪控制过程中, 模型预测控制 (Model Predictive Control, MPC) 器会根据车辆当前状态与下一时刻状态的线性误差模型, 往复的进行滚动优化逐渐缩小控制误差。

#### 3.2 车辆纵向 PID 控制

车辆运动过程中油门与刹车的差异性, 机械结构的复杂性, 很难使速度始终维持稳定值<sup>[5]</sup>。鉴于车辆纵向控制的复杂性和模型的不确定性, 比例-积分-微分 (Proportion Integration Differentiation, PID) 控制算法具有高效的可调性和稳定的鲁棒性, 适用于车辆纵向速度调控。

在车辆纵向速度调节控制过程中, PID 控制器根据期望车速与实际车速的差值项闭环调控。其中期望车速为  $v_e$ , 实际车速为  $v_r$ , 速度差值为  $e(t)$ :

$$e(t) = v_e(t) - v_r(t) \quad (7)$$

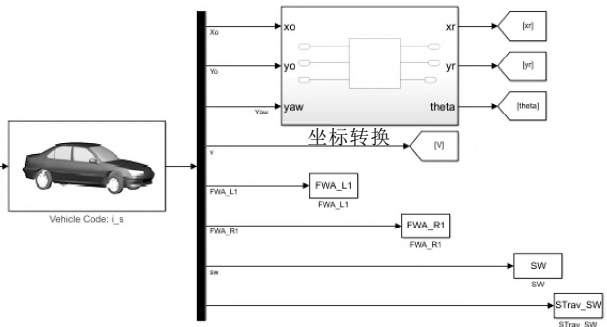
PID 控制具体数学模型如下:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (8)$$

### 4 联合仿真实验分析

#### 4.1 CarSim/Simulink 联合仿真平台搭建

CarSim 仿真软件提供高精度车辆动力学模型, 让仿真实验数据有更高的可信度。Matlab/Simulink 软件提供可视化数据模块, 让算法的开发与测试更加方便高效。如图 4 所示。



从图 5 到图 8 中可以看出, 多项式拟合的多段式泊车路径可以很好地适用平行泊车工况。在联合仿真中车辆跟踪参考路径准确, 车辆前轮偏角误差保持在较小范围内。

表 1 仿真实验参数

仿真建模	配置/数值	参数/单位
车身高	2.229	m
车身宽	1.820	m
车辆轴距	2.620	m
车辆前悬	0.966	m
车辆后悬	0.850	m
整车质量	1370	kg
仿真车速	-1	m/s

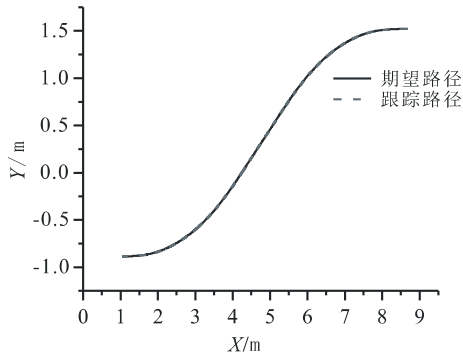


图 5 路径跟踪效果

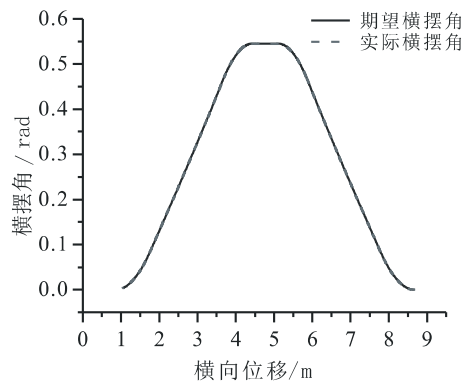


图 6 横摆角跟踪效果

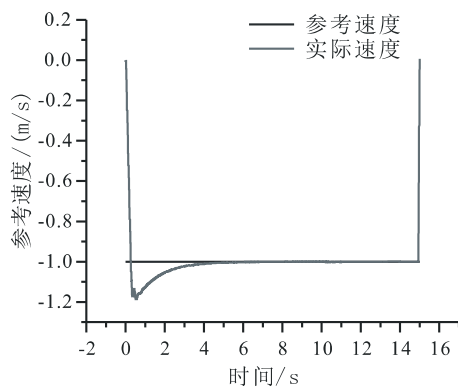


图 7 速度随时间变化

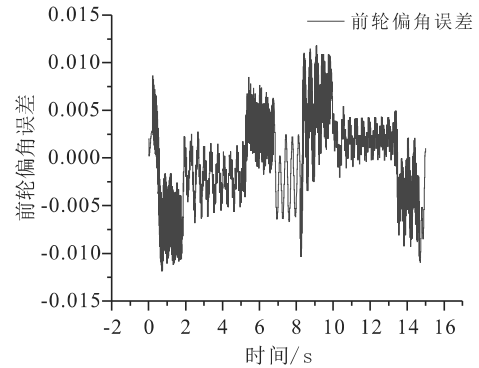


图 8 前轮偏角跟踪误差

## 5 结论

本文针对现有圆弧直线多段式泊车路径存在的泊车路径曲率不连续问题,提出了在圆弧直线路径基础上多项式拟合的泊车路径规划方法。多项式拟合泊车路径具有曲率连续的优势,且多项式拟合路径参考点选取的是圆弧直线泊车路径上的关键点。从 CarSim/Simulink 联合仿真实验结果表明,本文介绍的泊车路径具有较好的适用性。

## 参考文献

- [1] 袁晶鑫.基于 CarSim 的智能车辆路径跟踪控制算法研究[D].长春:吉林大学,2019.
- [2] 姜辉.自动平行泊车系统转向控制策略的研究[D].长春:吉林大学,2010.
- [3] 侯晓阳.基于路径规划的平行泊车系统研究[D].北京:清华大学,2015.
- [4] 胡远志,何朋声,刘西.基于模型预测控制的平行泊车控制方法[J].重庆理工大学学报(自然科学),2020,34(10):1-8.
- [5] 于伟,张乃尧,白帆.倒车问题的模糊优化控制方案[J].机电一体化,2001(5):21-24.