

ADAS算法设计（八）：APA算法设计

第一代自动泊车辅助系统APA一般基于安装在车身四周的12颗超声波雷达实现，适用于由边界车或障碍物组成的边界车位；第二代自动泊车辅助系统APA进一步融合4颗360环视摄像头，增加了对地面标线车位的识别能力。

本文主要探讨APA的控制算法设计。

一、APA算法功能需求

自动泊车辅助系统APA通过传感器（超声波雷达、360环视摄像头）自动搜索周边环境中的适用车位，在驾驶员确认目标车位后，系统接管车辆横纵向运动，引导车辆自动泊入目标车位。

APA算法的功能需求如下：

- 1) 系统适用工况：< 5km/h；
- 2) 车辆能够实现平行车位和垂直车位两种车位的泊车入库功能；
- 3) 泊车过程中系统控制车辆的横纵向运动；
- 4) 驾驶员可以通过HMI进行APA功能的开启和关闭；
- 5) 泊车过程中，HMI需提示用户操作内容；

二、APA控制系统接口

根据APA算法功能需求，APA控制系统需输入功能开关、挡位信号、车速、方向盘转角等整车信号及传感器感知到的车位坐标点等信号。具体见下表1

表 1 APA控制系统接口

| 输入/输出 | 信号 | 备注 |
|-------|----------|---------|
| 输入 | APA功能开关 | / |
| | 方向盘转角信号 | (°/s) |
| | 挡位信号 | (D/N/R) |
| | 本车车速信号 | (m/s) |
| | 制动踏板信号 | / |
| | 车位A焦点x坐标 | (m) |
| | 车位A焦点y坐标 | (m) |
| | 车位B焦点x坐标 | (m) |
| | 车位B焦点y坐标 | (m) |

| | | |
|----|------------|-----|
| 输出 | 车辆方向角 | (°) |
| | 目标转角信号 | (°) |
| | 纵向控制信号 | / |
| | HMI提示、报警信息 | / |

三、APA平行泊车控制算法

APA平行泊车算法用于实现平行车位的泊车控制功能，由有效车位识别模块、泊车初始位置范围确定模块、泊车路径规划模块、轨迹跟踪控制模块、泊车状态控制模块和HMI交互显示模块六个部分组成，以下分别介绍。

1) 有效车位识别模块

有效车位识别模块主要根据传感器获取的车位信息（车位的尺寸和车位与车辆的相对位置关系）计算车辆成功泊车入库的最小尺寸，并与真实车位进行比较，再根据平行泊车路径规划算法需要进行坐标变换，便于后续的算法处理。

平行泊车过程参见下图1。

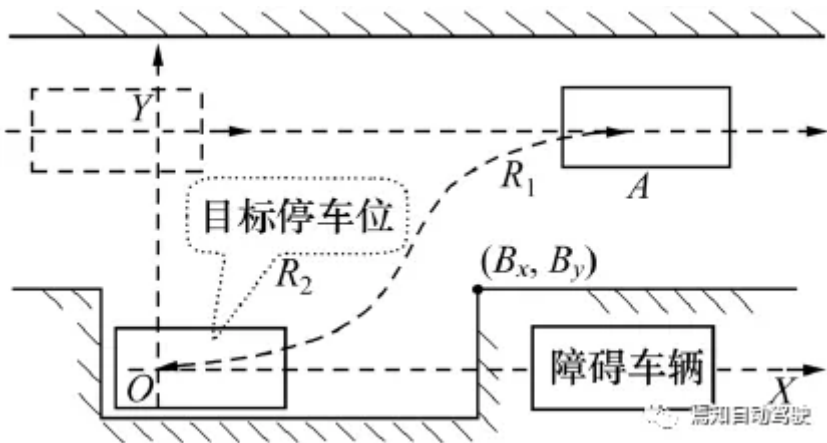


图 1 平行泊车过程示意图

车辆无碰撞轨迹连续的最短泊车空间为：

$$L_{min} = r + \sqrt{2(R_{min} + d)B_y + l^2 - B_y^2}$$



上式中：r —— 后悬；
d —— 车宽；
Rmin —— 内侧轮最小转弯半径；
l —— 车头到后轴距离；

By —— 车位B点y坐标。

2) 泊车初始位置范围确定模块

平行泊车采用的算法是在两相切圆弧算法的基础上采用B样条曲线拟合的方法实现泊车路径规划。泊车初始位置范围确定模块的主要功能是根据车辆当前与车位的相对位置关系，基于两相切圆理论，进行两相切圆弧的规划，参见下图2。

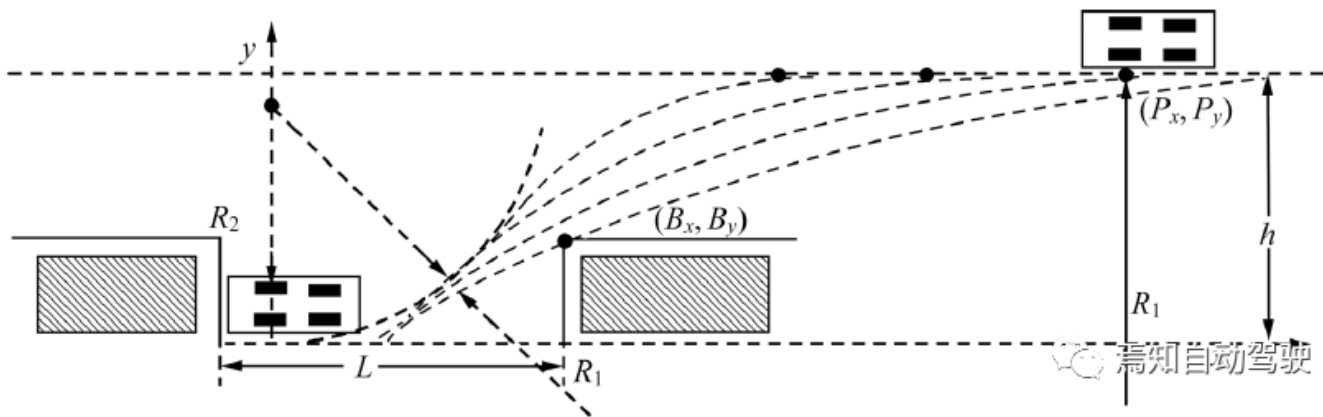


图 2 泊车初始位置范围示意图

图2中R2圆弧通常设置为固定半径值，通过车辆位置关系计算出泊车初始位置范围Px_min和Px_max。

3) 泊车路径规划模块

系统根据泊车初始位置范围提示驾驶员刹车，当车辆挺稳后系统根据车辆当前位置信息，确定两泊车相切圆弧的尺寸，生成从泊车起始位置至泊车目标点的圆弧泊车路径，见下图3。

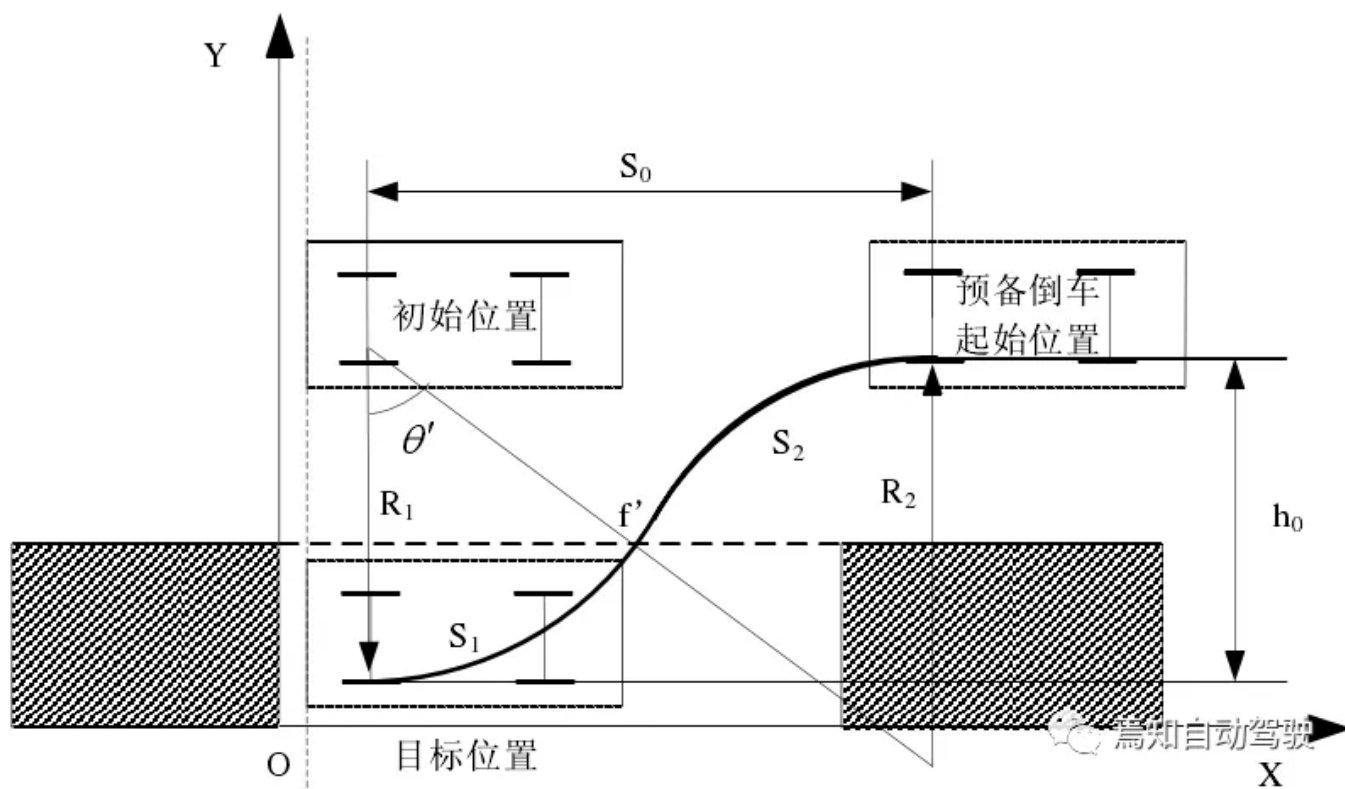


图 3 泊车相切圆弧路径示意图

在两圆弧的相切点存在曲率突变问题，对于连续泊车过程，此方法存在严重缺陷，对此可采用B样条曲线拟合方法，生成泊车轨迹，见下图4。

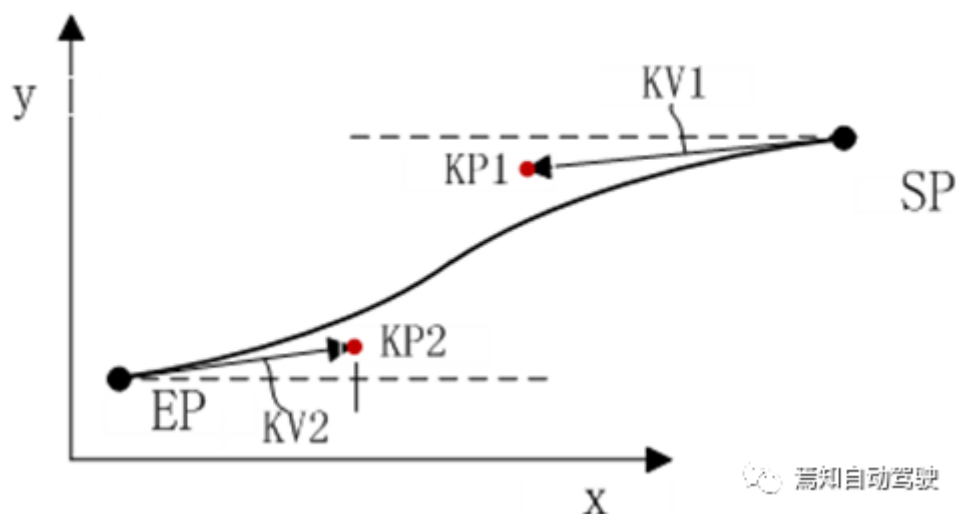


图 4 基于B样条曲线的泊车轨迹示意图

4) 轨迹跟踪控制模块

轨迹跟踪控制模块基于B样条曲线的拟合泊车路径，生成车辆横向控制及纵向控制的目标值，同时根据车辆实时反馈的状态信号进行修正控制。

5) 泊车状态控制模块

泊车状态控制模块功能时根据HMI、车辆与车位的相对位置关系、驾驶员的操作等信息，进行泊车状态逻辑的控制。

泊车主状态包括：

- OFF：泊车功能关闭；
- Standby：泊车功能开启准备；
- ParkingSpace_Search：寻找车位；
- ParkingSpace_Appears：车位有效；
- AutoParking_Assist：辅助泊车；
- PositionTuning：泊车调整；
- Parking_Finish：泊车完成；
- Fail：泊车失败。

6) HMI交互显示模块

HMI交互模块的功能是根据APA的运行状态，与驾驶员进行交互。

四、APA垂直泊车控制算法

APA垂直泊车算法用于实现垂直车位的泊车控制功能，由有效车位识别模块、泊车初始位置范围确定模块、泊车路径规划与控制模块、泊车状态控制模块和HMI交互显示模块六个部分组成。

APA垂直泊车控制算法与平行泊车控制算法的主要差异在路径规划，以下将主要介绍垂直泊车路径规划与控制算法：

垂直泊车在路径规划上采用了三段圆弧规划方法，其泊车轨迹较短，对车辆与车位的位置要求较低，符合驾驶员日常的泊车习惯，见下图5。

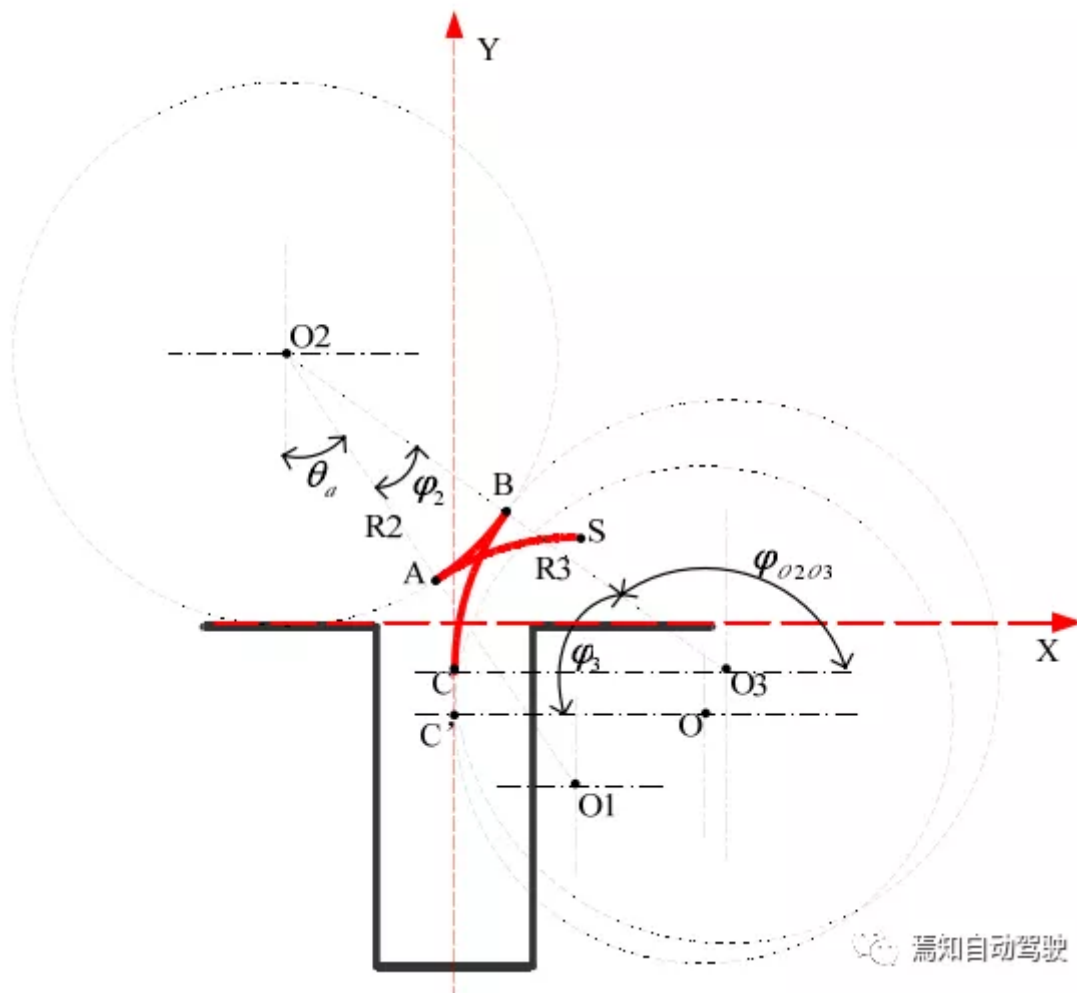


图 5 垂直泊车轨迹示意图

上图5中，车辆自动泊车功能启动后，与平行泊车类似，低速行驶寻找车位，当发现有效车位后，系统提示驾驶员刹停。

当车辆挺稳后，处于图5中的S点，系统开始规划路径，第一段泊车路径为圆弧SA，A点的选取保证车辆后侧不超过车位边沿，同时车辆右侧边沿不与车位边沿发生碰撞。

确定A点后，设置第三段圆弧半径R3，根据三圆相切和三角几何关系，寻找最合理的B点位置，使车辆沿BC圆弧能够安全无碰撞的泊车入位。

在车辆实际泊车过程中，系统根据车辆真实的驻车位置，进行路径的重新规划，以保证车辆能够成功地泊入车位。