

自动泊车调研

“跨越险阻 2021”中对自主泊车提出了如下要求：在指定区域有效范围内自主泊车。在板栗看板中给出了的停车区域是基于白灰线或者锥桶设定的。因此要实现正确的自动泊车，那么车辆就必须自动完成两项重要工作：第一，能够准确识别出可用车位，包括车位识别的速度以及准确性；第二，计算出最佳泊车路径和策略，把车辆顺利驶入车位中。这也是自动泊车中很重要的两个部分，车位识别和停车路径规划。

1. 系统类型

按照自动泊车系统的自动化程度对现有的系统进行分类，可以分为：半自动泊车、全自动泊车、记忆泊车、自主代客泊车。

半自动泊车（Semi-Automatic Parking Assist, S-APA）基于车辆的超声波传感器实现车位感知，向驾驶员提供车位信息，并进行路径规划，系统自动控制车辆转向系统，驾驶员仅需按照仪表盘的提示对车辆纵向进行控制。

与半自动泊车相比，全自动泊车（Full-Automatic Parking Assist, F-APA）更加智能化。全自动泊车系统可以对车辆进行横向和纵向的控制，同时需要驾驶员对车辆进行持续监控和有效接管，以保障泊车安全，属于 SAE L2 级别的泊车辅助系统。按照传感器组成的不同，全自动泊车分为基于超声波雷达的全自动泊车、基于超声波与视觉融合的全自动泊车（Fusion Automatic Parking Assist），其中传统超声波泊车方案仅能在由障碍物组成的车位实现泊车功能，应用场景有限，用户满意度不高。而基于超声波与视觉融合的全自动泊车系统有更强的探测物体的能力，可以对车辆周遭环境进行分类，能帮助泊车系统实现更丰富的感知。

两种类型的 APA 对比：

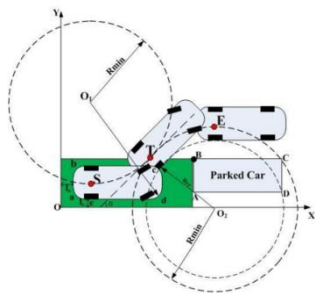
对比项	基于超声波雷达的全自动泊车	基于超声波和视觉融合的全自动泊车
传感器配置	APA 超声波雷达×4+UPA 超声波雷达×8	APA 超声波雷达×4+UPA 超声波雷达×8 +环视摄像头×4
能识别的车位类型	边界车车位	边界车车位、车位线车位、倾斜车位、 空旷区域自选车位

按照泊车类型进行分类，可以分为：

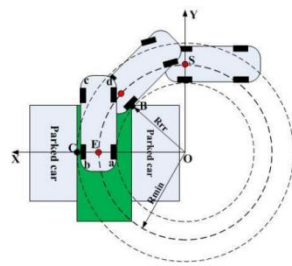
- (a) 平行式泊车
- (b) 垂直式泊车
- (c) 斜列式泊车

通常情况下采用平行泊车 and 垂直泊车。

水平泊车：

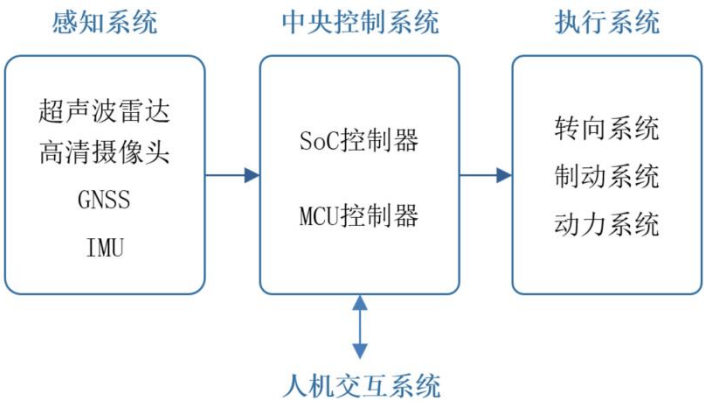


垂直泊车：



2. 常见的自动泊车系统结构

自动泊车系统一般都包含四大子系统：环境感知系统、中央控制系统、执行系统和人机交互系统。机交互系统在“跨越险阻”中不做考虑。



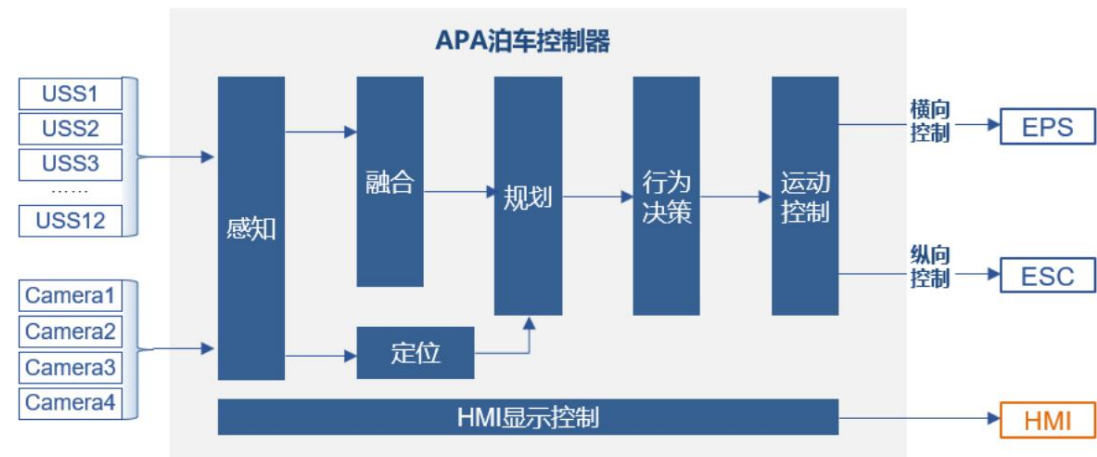
2.1 感知系统

环境感知系统的主要任务是探测周围环境信息和车身状态信息。一般具有两种检测方式，即图像采集检测(如摄像头)和距离探测(如超声波)，用以采集在泊车过程中的周边环境信息以及停车位空间参数。车身运动状态感知系统通过轮速传感器、加速度传感器、陀螺仪等，获取车辆实时行驶状态信息。

在车位探测阶段，感知系统将采集车位的长度和宽度；在泊车阶段，检测汽车相对于目标停车位的位置坐标，进而用于计算车身的角度和转角等信息，确保泊车过程的安全可靠。

2.2 中央控制系统

该系统是一个泊车控制器。中央控制系统的主要任务是接收各环境感知系统传递来的电信号，计算最优路径规划，生成相应的控制指令，并通过整车网络将泊车过程中所需的转向力矩、转角信息等信息以电信号形式下发到相关执行器，同时要把需要向驾驶员显示的信息按照输出的逻辑和顺序，通知到 HMI 端。



2.3 执行系统

执行系统主要包括电动助力转向系统和汽车发动机电控系统。根据中央控制系统的决策信息，电动助力转向系统将数字控制量转化为方向盘的角度控制汽车的转向。汽车发动机电控系统控制汽车油门开度等，从而控制汽车泊车速度。电动助力转向系统与汽车发动机电控系统协调配合，控制汽车按照指定命令完成泊车过程。

2.4 人机交互系统

驾驶员通过人机交互系统启动泊车过程，实现泊车命令的下达、泊车状态的监控及调整。L1、L2 的自动泊车系统的人机交互系统着重于用户体验，其决定泊车系统的好用易用程度，影响泊车系统的使用率。L3+的泊车系统着重于车辆周边的人与环境的交互，对象和逻辑存在差异。

3. 关键技术

自动泊车过程可以分为三个部分：车位探测、路径规划和路径追踪。

车位识别：利用超声波传感器等监测本车与路边车辆的距离信息判断车位的长度是否满足停车要求。

路径规划：中央处理器根据汽车与目标停车位的相对位置等数据得出汽车的当前位置、目标位置及周围的环境参数，据此规划计算出最佳泊车路径和策略。

路径跟踪：执行路径规划，将相关策略转化为电信号传达给执行器，依据指令引导汽车按照规划好的路径泊车。

3.1 车位识别

在车位识别的技术方面，停车泊位一般分为两种类型：一种是空间车位如两车之间的停车区域，另一种是线车位，即地面划有停车标线的区域。前者多采用超声波进行车位探测，后者常利用摄像头获取车位信息。

3.1.1 车位识别——摄像头

利用摄像头进行车位识别主要运用了图像识别技术：车位线检测图像生成 >> RGB 颜色通道选择 >> 感兴趣区域设置及更新 >> 车位线检测。

(1) 利用 `sobel_x` 模版计算出水平的梯度方向，根据梯度来检测出边缘点，并删除“远处”的边缘点；

(2) 通过洗牌算法随机选出几个边缘点的代表点，并利用最小二乘法来拟合代表点得到直线方程；

(3) 以各个边缘点距离直线方程的距离作为评判边缘点的“分数”，当分数超过一定的阈值则表明该边缘点为车位线的边缘点，否则重新检测；

(4) 当边缘点的分数超过阈值时，去判断车位的“分数”，该“分数”由以下因素组成：直线上点的像素值、两条直线的平行度、是否为矩形和直线段的长度及距离；

(5) 如果判断车位成功，则进行 ROI 区域的更新

3.1.2 车位识别——超声波传感器(基于时序的判断)

通过超声传感器对车辆侧面的障碍物进行探测，即可完成车位探测及定位。在探测车位时，车辆以某一恒定车速 v 平行驶向泊车位：

(1) 当车辆驶过 1 号车停放的位置时，装在车身侧面的超声波传感器开始测

量车辆与 1 号车的横向距离 D 。

(2) 当车辆通过 1 号车的上边缘时,超声波传感器测量的数值会有一个跳变,记录此时时刻 t_1 。

(3) 车辆继续匀速前进,当行驶在 1 号车与 2 号车之间时,处理器可以求得车位的平均宽度 W 。

(4) 当通过 2 号车下边缘时,超声波传感器测量的数值又发生跳变,处理器记录当前时刻 t_2 ,算得最终的车位长度 L 。

(5) 处理器对测量的车位长度 L 和宽度 W 进行分析,判断车位是否符合泊车基本要求并判断车位类型。

3.1.3 车位识别-多传感器融合

近几年来,多传感器信息融合的车位识别方法开始受到研究人员的关注。通过互相融合不同传感器获得的信息,可以有效提升采集信息的可信度,使得对所识别环境的描述更加准确。传感器组合会产生不同的方案。

(a) 超声波传感器+环视摄像头:同时结合超声波传感器和环视摄像头的障碍物信息检测,超声波雷达辅助提取感兴趣区域,实现泊车位的高精度检测,大大提升了泊车场景的覆盖范围。

(b) 毫米波雷达+单目摄像头:利用摄像机完成车道标记检测,并借助毫米波雷达测量的距离在采集到的图像中找到车位的边界,能够更精准地还原车辆周围的空间环境

(c) 超声波传感器+摄像头:利用超声波雷达测量车位的水平长度和垂直纵深,并用摄像头检测侧方停靠车辆的轮载,能够自动识别规则和不规则车位。

3.2 路径规划

运用转向几何学和运动学原理,利用汽车在泊车过程中围绕转向中心做圆周运动的特点。通过车位检测信息获取停车位空间的几何形状,以及当前车辆位置与目标停车位的相对位置数据,分析低速时汽车动力学模型和避免碰撞的条件采取控制算法,预先规划出泊车的几何路径。该过程分为 3 个阶段:分别是车位外起始位置调整、泊车入位和车位内姿态调整。

(1) 起始位置调整,车位外起始位置要在控制算法中设定相应的距离、位置等条件使得车辆位置满足泊车条件;

(2) 泊车入位,泊车入位阶段要建立模型,进行合理的路径规划;

(3) 车位内姿态调整,在调整阶段,应该针对车身相对于车位的位置和姿态进行系统分析,制定车辆在车位内调整的方案确保车辆符合停车标准。

规划路径时可以使用不同的模型,通过将圆弧与直线组合可以得到一条泊车路径,但由于曲率不连续,在泊车过程中需要停车转向:使用多项式曲线或者回旋曲线可以克服这个问题,但由于执行机构精度有限,随着前轮不断偏转,误差会不断累积。通常情况下采用平行泊车和垂直泊车。当车位的尺寸比较小时,无法一次性泊入车位,可采用多次“揉库”的方法泊车。

3.2.1 垂直泊车（企业样例）

垂直泊入车位搜索完成后,建立电子地图,车位空间长度 L_{slot} 不小于车身长度,车位空间宽度 W_{slot} 不小于车身宽度+0.8m (根据需求及超声波性能 TBD)。泊车横向空间 D_x 大于 6.5m 时(根据车身参数及转向系统参数标定),可保证泊入。最终泊入位置满足 x 与 y 方向与期望停车点偏差小于 8cm, 角度偏差小于 3 度,则认为成功泊入。

3.2.2 水平泊车（企业样例）

水平泊车均采用倒车入库策略,对于 SVM 车位,在 SVM 范围内识别到水平车位,即可开始自动泊入控制。在泊入控制第一步,车辆继续前进开过车位,完成 US 的车位扫描,确定融合车位坐标。车位搜索完成后,建立电子地图,车位空间长度 L_{slot} 不小于车身长度+0.8m(根据需求及超声波性能 TBD),车位空间宽度 W_{slot} 不小于车身宽度+0.4m (根据需求及超声波性能 TBD)。泊车横向空间 D_x 大于 4.5m 时 (根据车身参数及转向系统参数标定),可保证泊入。最终泊入位置满足 x 与 y 方向与期望停车点偏差小于 8cm, 角度偏差小于 3 度,则认为成功泊入。

3.3 路径跟踪

自动泊车系统根据停车位信息和车辆初始位置选择合适的泊车路径并实时跟踪车辆实际运行路径。路径规划是在传感器测量的距离信息的基础上制定的,但是其测量结果受环境影响较大,容易形成误差。在泊车入位的过程中,如果车辆运动中偏离目标路径,实时控制和调整,确保对环境数据的及时更新和对路径的及时调整。对于泊车运动控制方面基于对行车安全以及路径跟踪的效果,车速要求一般控制在 5-10km/h 的范围。

若路径是由圆弧和直线组成,转弯过程中前轮转角都维持在同一个角度,跟踪难度比较低,若路径是由复杂曲线组成,如多项式曲线,前轮转角一直在变化,跟踪的难度就会比较大,误差就更容易累积。

多种路径跟踪控制方法: 纯跟踪算法、位置与航向偏差控制 Stanly 算法、

MPC。

4. 案例介绍

4.1 博世

在 L2 的全自动泊车产品上，博世采用纯超声波方案，使用 12 个第五代超声波雷达和自动泊车控制器，可以实现侧方位停车、垂直泊车和车辆泊出等，包括自动控制转向、油门、刹车和换挡等功能。

在 L2+的遥控泊车产品上，博世采用超声波系统和视觉系统的融合感知技术方案（配置 4 个第二代近距离摄像头和 12 个第六代超声波传感器）。车辆可以自动搜索车位，并且通过手机或者钥匙实现自主泊入及泊出，无需驾驶员进行转向、换挡、刹车、油门等操作。

4.2 百度 Apollo

百度将 L4 级技术（数据和软件算法）降维，结合百度地图端/云端服务端/高级别自动驾驶量产经验，打造出软硬一体、行泊一体，从泊车辅助到全场景行车辅助的解决方案，包括 AVP 智能泊车和 ANP 领航辅助驾驶系统。其中，AVP 智能泊车系统包含 12 个超声波雷达、4 个环视相机（2M）、1 个前视相机（2M）和 1 个计算单元 ACU-Advanced，是国内为数不多的已量产 AVP 方案，支持多层级泊车功能，包括 APA、RPA、代客泊车等全场景泊车解决方案。

4.3 纵目科技

目前，纵目科技业务领域中不仅包括 360 环视 AVM、自动泊车 APA、Home Zone 记忆泊车 HPP 和自主代客泊车 AVP 等智能驾驶系统，还包含最新推出的全场景全生态的智能驾驶综合解决方案 Drop'n Go。纵目的 360 环视 AVM 是 L0-L1 级别的自动驾驶技术产品，在前装和后装领域，提供 AVM DK 和 AVM 系统产品，实现 360° 全景泊车和 ADAS 功能；自动泊车辅助系统作为低速 L2 自动驾驶产品，实现了水平、垂直、斜列、环状车位自动泊车和遥控泊车的功能，是全场景、高智能的全自动泊车系统。

5. 论文整理

- [1] Lee B, Wei Y, Guo I Y. Automatic parking of self-driving car based on lidar[J]. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, 2017, 42: 241-246.
- [2] Zhang J, Chen H, Song S, et al. Reinforcement learning-based motion planning for automatic parking system[J]. *IEEE Access*, 2020, 8: 154485-154501.
- [3] Aye Y Y, Watanabe K, Maeyama S, et al. An automatic parking system using an optimized image-based fuzzy controller by genetic algorithms[J]. *Artificial Life and Robotics*, 2017, 22(1): 139-144.
- [4] Bibi N, Majid M N, Dawood H, et al. Automatic parking space detection system[C]//2017 2nd international conference on multimedia and image processing (ICMIP). *IEEE*, 2017: 11-15.
- [5] Junzuo L, Qiang L. An Automatic Parking Model Based on Deep Reinforcement Learning[C]//*Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, 2021, 1883(1): 012111.
- [6] Kirtibhai Patel R, Meduri P. Faster R-CNN based automatic parking space detection[C]//2020 The 3rd International Conference on Machine Learning and Machine Intelligence. 2020: 105-109.
- [7] Krasner G, Katz E. Automatic parking identification and vehicle guidance with road awareness[C]//2016 IEEE International Conference on the Science of Electrical Engineering (ICSEE). *IEEE*, 2016: 1-5.
- [8] Ma S, Jiang H, Han M, et al. Research on automatic parking systems based on parking scene recognition[J]. *IEEE Access*, 2017, 5: 21901-21917.
- [9] Khalid M, Wang K, Aslam N, et al. From smart parking towards autonomous valet parking: A survey, challenges and future Works[J]. *Journal of Network and Computer Applications*, 2021, 175: 102935.
- [10] Moon J, Bae I, Kim S. Real-time near-optimal path and maneuver planning in automatic parking using a simultaneous dynamic optimization approach[C]//2017 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV). *IEEE*, 2017: 193-196.
- [11] Moon J, Bae I, Kim S. Automatic parking controller with a twin artificial neural network architecture[J]. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019, 2019.
- [12] Patel R, Meduri P. Car Detection Based Algorithm For Automatic Parking Space Detection[C]//2020 19th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA). *IEEE*, 2020: 1418-1423.
- [13] Piao C, Zhang J, Chang K H, et al. Multi-Sensor Information Ensemble-Based Automatic Parking System for Vehicle Parallel/Nonparallel Initial State[J]. *Sensors*, 2021, 21(7): 2261.
- [14] Song Y, Liao C. Analysis and review of state-of-the-art automatic parking assist system[C]//2016 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES). *IEEE*, 2016: 1-6.
- [15] Wu T F, Tsai P S, Hu N T, et al. Research and implementation of auto parking system based on ultrasonic sensors[C]//2016 International Conference on Advanced Materials for Science and Engineering (ICAMSE). *IEEE*, 2016: 643-645.
- [16] Zhang P, Xiong L, Yu Z, et al. Reinforcement learning-based end-to-end parking for automatic parking system[J]. *Sensors*, 2019, 19(18): 3996.