

自动泊车系统设计

朴昌浩 禄 盛 张 艳 陈乔松 王 进 著



科学出版社

自动泊车系统设计

朴昌浩 禄 盛 张 艳 陈乔松 王 进 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是对过去几年作者从事自动泊车系统关键技术研究与应用开发的系统性总结,结合多年从事自动泊车项目开发的经验,系统、完整地介绍了自动泊车系统的开发流程和关键技术。重点对自动泊车系统的基本原理、超声波精确测距、图像信息融合、车位识别、轨迹生成、电动助力转向系统控制、系统仿真和车辆低速控制技术等核心技术进行了详细阐述。

本书共分为6章:第1章介绍自动泊车系统的基本原理架构和关键技术;第2章阐述车辆低速控制系统研究开发;第3章和第4章论述车位识别与匹配关键技术;第5章阐述轨迹生成方法与电动助力转向系统;第6章给出自动泊车系统的系统仿真实例。

本书可供高等院校和科研院所车辆工程学科或其他相关学科的师生、研究人员和企业工程师阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

自动泊车系统设计/朴昌浩等著. —北京:科学出版社, 2014.10
ISBN 978-7-03-041944-6

I. ①自… II. ①朴… III. ①自动停车装置—系统设计 IV. ①U284.45

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第219485号

责任编辑:余 丁 董素芹/责任校对:胡小洁
责任印制:肖 兴/封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年10月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2014年10月第一次印刷 印张:9 3/4

字数:185 000

定价:60.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

当前汽车工业已经达到了前所未有的智能化。一个国家汽车工业的发展在一定程度上代表一个国家的工业生产水平。汽车从早期的代步工具到现在已经向着智能化、安全化、舒适化和节能化方向发展。无人驾驶技术是集自动控制理论、人工智能理论、视觉计算理论、体系结构理论、程序设计技术、机构控制技术、组合导航技术、传感器技术、信息融合技术、机械设计制造技术等多种理论和技术于一体的多学科、多行业综合技术，该技术不仅有广阔的民用市场，而且有巨大的潜在军用价值。自动泊车技术是无人驾驶技术的一个重要方向。

随着汽车保有量的迅速上升，城市内现有的泊车位已经不能满足人们的需求，伴随而来的泊车难问题越来越强烈地引起人们的重视。对于在城市中生活的人们，堵车早已成为一种司空见惯的事情，而在城市中如何寻找一个合适的车位并将车辆安全、快速、准确地泊入，对于一些驾车初学者是一个难题。在此背景下，自动泊车系统应运而生，目前各国和汽车生产企业正逐步增加对自动泊车技术的研发投入力度，并且一些具备泊车功能的汽车已经开始投入生产，走入市场。

本书从自动泊车系统关键技术基础研究和实践应用两方面，系统、完整地介绍了过去几年自动泊车系统研究的工作成果，重点对自动泊车系统设计、超声波精确测距、图像信息融合、车位识别、轨迹生成、电动助力转向和车辆低速控制技术自动泊车核心技术进行了详细阐述；通过仿真和实车测试，展示了几种典型状态下自动泊车系统的工作过程。

本技术的开发获得了“汽车噪声振动和安全技术国家重点实验室”2012年先进技术培育项目（Q10-111893）的支持，在赵会、黎予生以及长安汽车股份有限公司各位领导和工程师的支持下完成了此项工作。因此，本书是集体智慧的结晶，也是重庆邮电大学自动化学学院模式识别及应用研究所研发团队过去几年的奋斗历程和研究成果的具体写照。本书由朴昌浩和禄盛等负责撰写，温球良、严斌、谢青山、黄显航、肖建华、杨旗、黄质等参与了书稿的资料整理工作；在此，谨向上述参与编写的成员表示衷心的感谢！同时，也深深感谢本书所引参考文献的全体作者！

本书中，融进了父（复）母（今）的支持，也凝结着妻子（艳）和女儿（璇）的鼓励。

由于撰写时间仓促，书中不足之处在所难免，请读者批评指正。意见请发送到 piaoch@cqupt.edu.cn。

本书的出版获得了重庆邮电大学出版基金的资助和重庆市科学委员会项目 CSTC-2013yykfC60005, CSTC2011BB4145, CSTC2013jcsf-jcssX0022 的资助。

朴昌浩

2014 年 5 月 8 日

目 录

前言

第 1 章 概述	1
1.1 自动泊车系统研究现状	1
1.2 自动泊车系统原理及架构	4
1.2.1 自动泊车系统原理	4
1.2.2 自动泊车系统架构	7
1.2.3 自动泊车系统通信体系	9
1.3 自动泊车系统核心技术	15
1.4 自动泊车系统开发实例	17
1.5 本章小结	18
参考文献	18
第 2 章 车速控制系统	20
2.1 低速控制意义及目标	20
2.1.1 低速控制意义	20
2.1.2 低速控制目标	21
2.2 低速控制原理及架构	22
2.2.1 低速控制原理	22
2.2.2 低速控制架构	22
2.3 低速控制系统设计及验证	23
2.3.1 车辆纵向模型及运动学数学模型	23
2.3.2 特征变量选取	24
2.3.3 速度轨迹规划方式	25
2.3.4 算法设计	28
2.4 低速控制结果评价	32
2.4.1 仿真实验	32
2.4.2 实车实验	36
2.4.3 结果评价	41
2.5 本章小结	51
参考文献	52

第3章 车位识别系统	54
3.1 车位识别意义及目标	54
3.2 车位识别原理及架构	55
3.2.1 车位识别模式	55
3.2.2 车位识别算法	57
3.2.3 相似度数据融合在车位识别中的应用	62
3.2.4 车位识别误差理论模型	66
3.3 车位识别系统设计及验证	68
3.3.1 车位识别系统设计	68
3.3.2 车位识别系统误差实验设计	74
3.4 识别结果评价	81
3.4.1 平行泊车实车验证及结果分析	81
3.4.2 垂直泊车实车验证及结果分析	90
3.4.3 四探头平行车位实车验证及结果分析	94
3.5 本章小结	96
参考文献	97
第4章 车位调节系统	99
4.1 车位调节意义及目标	99
4.2 车位调节原理	99
4.2.1 摄像头失真校正	99
4.2.2 车位调节算法设计	103
4.3 车位调节系统设计及验证	104
4.3.1 硬件平台构建	104
4.3.2 软件算法实现	105
4.4 匹配结果评价	107
4.5 本章小结	109
参考文献	109
第5章 轨迹生成与转向控制系统	111
5.1 轨迹生成与转向控制意义及目标	111
5.2 轨迹生成与转向原理及架构	111
5.2.1 车辆泊车过程分析	111
5.2.2 转向控制原理	115
5.2.3 转向控制算法设计	116
5.3 轨迹生成与转向控制设计	118

5.3.1 轨迹生成模型	118
5.3.2 转向控制模型	123
5.4 轨迹控制实车验证	125
5.4.1 泊车环境参数	125
5.4.2 实车泊车测试过程	125
5.4.3 轨迹生成与轨迹控制测试结果	128
5.5 本章小结	129
参考文献	130
第6章 自动泊车系统仿真平台	131
6.1 自动泊车系统仿真意义	131
6.2 MATLAB 系统仿真平台搭建	132
6.2.1 车辆运动学模型	132
6.2.2 轨迹生成模型	134
6.2.3 轨迹控制模型	135
6.2.4 泊车环境模型	136
6.3 自动泊车系统仿真实验设计	137
6.4 仿真结果评价	140
6.4.1 最小半径法仿真结果及分析	141
6.4.2 不等半径法仿真结果及分析	141
6.4.3 非平行初始状态法仿真结果及分析	142
6.4.4 三种方法仿真结果对比分析	145
6.5 本章小结	146
参考文献	147

第 1 章 概 述

1.1 自动泊车系统研究现状

自动泊车系统是最近几年研发出来的一种智能驾驶技术，是使车辆在城市泊车环境中轻松驾驶的一项全新技术。它不仅能够降低驾驶员在泊车时的心理压力，而且能够自动使车辆快速、安全地驶入泊车位。目前，对自动泊车系统的研究方法通常有两种实现方式，如图 1.1 所示。

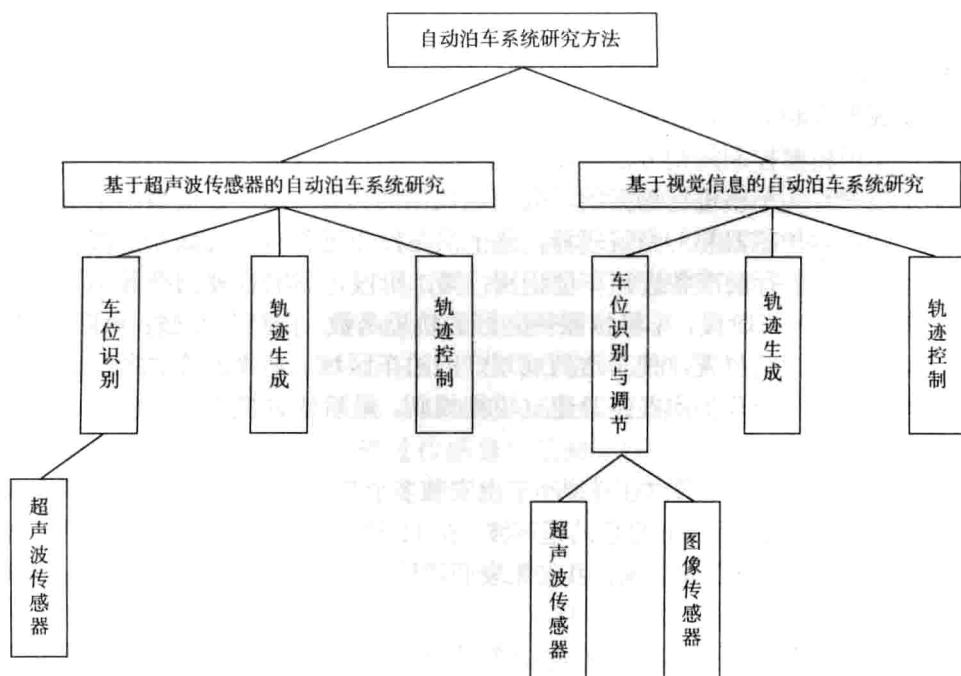


图 1.1 自动泊车系统研究方法实现方式

超声波传感器对于自动泊车系统的开发有着非常重要的作用。基于超声波传感器的车位识别技术是自动泊车系统开发的先决条件。1996 年法国学者 Paromtchik 等^[1]以模型小车作为研究对象，在其模型上安装超声波传感器，并通过搭建模拟环境下的平行泊车位，利用超声波传感器进行车位检测。相对于超声波

传感器,视觉传感器作为一种新兴技术,在近几年才得到发展,国内外利用视觉传感器对自动泊车系统进行的研究相对比较少。

基于超声波传感器的自动泊车系统研究相对而言发展比较早。法国国立计算机及自动化研究院 Paromtchik 等^[2]基于模型小车从实践角度研究了泊车运动轨迹和轨迹控制方面的工作。首先提出了一种用于平行泊车的迭代算法,该算法主要基于超声波传感器采集的测距数据实现。其次为了控制在泊车过程中的车辆的角度和车辆的纵向速度,采用了一种规划好的正弦函数方法实现。为了防止在泊车过程中的碰撞,对车辆进行实时控制并进行修正。最后在一辆名为 Ligier 的电动模型车上进行了实车验证。

英国伯明翰大学 Jiang^[3]通过在模型小车上搭建以嵌入式处理器和超声波传感器为基础的硬件平台,在模拟环境中进行了平行泊车研究。首先他们构建了不同的泊车车位环境,然后通过超声波传感器进行停车位搜索。其次在以泊车过程中的约束条件为基础的情况下,规划了一条避免泊车操作过程中碰撞的路径,通过对模型小车的控制实现了根据规划的轨迹进行泊车。

德国巴伐利亚知识工程研究中心 Holve 等^[4]在模型小车上搭建泊车环境,并通过使用模糊控制规则方法实现模型小车的自动泊车功能。他们采用的模型小车是根据真实车辆进行缩微的,其缩微比例约为 1:10。在模型小车上安装了三个超声波传感器和一个编码器。整个泊车操作过程可分为四个阶段:第一阶段,车辆向前行驶准备进行车位识别;第二阶段,车辆行驶到准备泊车时的待泊车区域;第三阶段,车辆按照规划好的轨迹函数,向车位行驶;第四阶段,车辆调整泊车后的位置,使其达到规划好的泊车区域。整个泊车的控制过程,根据人们的泊车操作的实践经验建立模糊规则,最后根据模糊规则实现自动控制泊车操作。

韩国学者 Park 等^[5]通过在模型小车上安装多个超声波传感器构建了一种车位识别环境。分别采用不同精度值的超声波,在 11 种不同的车位环境中进行了车位检测并得到了相应的测试数据,其结果表明通过对角的两个传感器可以快速精确地获得车位信息。

吉林大学尚世亮^[6]首先对自动泊车基于超声探测方法的车位检测展开研究,提出了一种基于超声波探测修正方法的车位识别技术。其次在 veDYNA 软件中建立车辆动力学模型,并在模型的基础上加入遗传算法进行平行泊车转向控制。然后对自动泊车转向控制中的电机进行研究,并将遗传算法转向控制策略运用于电机控制中。最后在实车上进行自动平行转向控制,验证转向控制策略的有效性。

上述文献,都是利用超声波传感器获取车辆周围的障碍物信息。对于轨迹控制,目前研究的方法主要有两种:一种是基于路径规划进行泊车操作;另外一种

是通过驾驶员的泊车经验,对其建立模糊规则,设计一种模糊控制器。

随着图像处理技术和模式识别技术的快速发展,一些泊车领域的学者对于自动泊车系统的研究开始应用图像技术。

德国慕尼黑工业大学 Daxwanger 等^[7]研究了一种基于视觉信息的模糊控制泊车方法。控制器根据摄像头采集的图像信息生成相应的转向控制信号。控制器采用了两种神经控制方法。在直接神经控制体系结构中,控制器是一个单一的人工神经网络。在模糊混合控制体系结构中,控制器被配置为一个人工神经网络和模糊网络的组合。这两种控制架构均在智能小车上进行了实验验证。

英国剑桥大学 Ozkul 等^[8]研究了一种基于视觉信息的模糊控制自动泊车辅助提示系统,帮助驾驶员完美无瑕地平行停车。该模糊控制器的输入信息主要来自于车辆外部的两个摄像头。车上的中央处理器(Central Processing Unit, CPU)对图像信息进行处理从而提取一些重要的输入信息。通过模糊控制算法对输入信息进行处理从而确定在泊车过程中车辆的转向角度和车辆的行驶速度。该辅助系统能够根据车辆的运动状况实时调整。如果驾驶员没有实时地执行提示信息,提示信息会重新计算、更新并呈现直到车辆泊车完毕。

台湾成功大学 Chao 等^[9]提出了一种基于全景视角的模型小车的自动泊车系统。通过对全景摄像头采集的图像信息进行图像处理获取相应的车位特征点,从而获取模型小车相对于车位之间的位置并生成可行的参考泊车路径。同时采用模糊逻辑控制方法来控制小车的转向进而完成平行泊车。

台湾汽车研究和测试中心 Hsu 等^[10]基于超声波传感器、视觉信息传感器、惯性导航系统、全球定位系统(Global Positioning System, GPS)等设备进行实车的自动泊车系统研究。通过传感器信息融合技术、位置估计、路径规划、纯净轨迹跟踪算法在三菱车上实现了对于 1.5 倍车长的泊车区域的自动泊车测试。

浙江大学王文飞^[11]提出了一种基于超声波传感器和视觉信息传感器的泊车位模型和泊车位车道线模型,分别采用超声波传感器和视觉信息分析的方法进行泊车位检测。首先根据车辆泊车行驶轨迹,按照数学模型关系将泊车路径划分为 4 个阶段。然后计算出每个行驶阶段的运动参数,并通过构建一个以嵌入式系统为核心的模型小车进行自动泊车系统算法和方案的验证。

综上所述,虽然国内外学者已经开始对基于视觉信息的自动泊车系统进行研究,但大多数处于理论研究阶段或者针对模型小车进行算法验证。因此,本书的主要研究内容是设计一种基于多传感器信息融合的自动泊车系统,并通过搭建实车平台实现自动泊车功能。

1.2 自动泊车系统原理及架构

1.2.1 自动泊车系统原理

自动泊车系统是一种能够快速、安全地使车辆自动驶入泊车位的智能泊车辅助系统，它通过超声波和图像传感器感知车辆周围环境信息来识别泊车车位，并根据车辆与停车位的相对位置信息，产生相应的泊车轨迹并控制车辆的速度和方向盘转向完成自动泊车。自动泊车系统平行泊车过程示意图如图 1.2 所示。

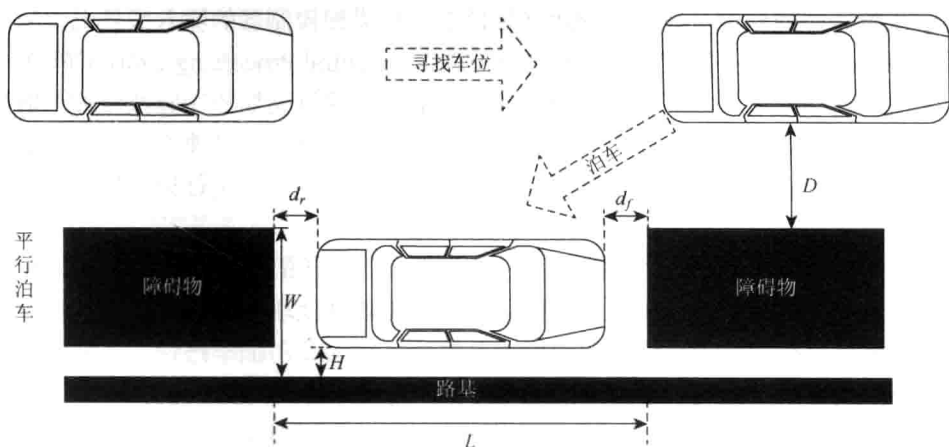


图 1.2 自动泊车系统平行泊车过程示意图

图 1.2 中， W 为泊车位宽度； L 为泊车位长度； D 为泊车起始位置，车身与障碍物的距离； H 为完成泊车时，车身与障碍物的距离； d_x ， d_f 分别为完成泊车时，车尾、车头与障碍物的距离。

本书所设计的泊车系统应满足如下基本功能。

- (1) 具有自动识别车位功能。
- (2) 具有车位调节功能。
- (3) 具有基于整车参数的路径生成功能。
- (4) 具有基于路径规划的轨迹控制功能。
- (5) 具有车速控制功能。

通过对泊车系统的功能和泊车的过程进行分析，设计了一套满足泊车需求的泊车系统架构，如图 1.3 所示，该系统架构图主要由三大模块构成。其中第一个模块是最核心的模块，是以工控板（Industrial Control Board, ICB）为核心的整车

控制单元和图像处理单元。第二个模块是以电动助力转向控制板 (Electronic Power Steering Board, EPSB) 为核心的转向控制单元。第三个模块是以超声波车速控制板 (Ultrasonic Board, ULB) 为核心的车位识别、车速控制单元。

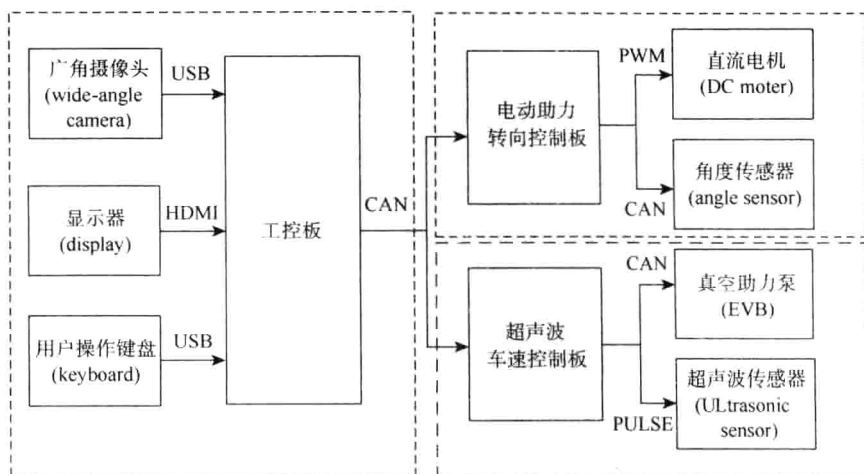


图 1.3 自动泊车系统架构图

以上三个模块主要构建了五个控制系统：超声波控制系统，图像处理系统，电动助力转向控制系统，车速控制系统和整车控制系统。上述系统构成了自动泊车系统的控制系统，各个系统之间具有统一的 CAN (Controller Area Network) 通信协议，整车控制系统可以采集各个模块的通信信息并协调模块之间互相协同工作，实现在泊车过程中对整车执行机构的控制，从而安全、快速地完成泊车操作。

超声波控制系统实现车位检测和障碍物检测功能。其中，两个超声波探测器分别安装在车辆右侧的前后端，在泊车的过程中，超声波探头发送和接收回波，通过计算超声波发送和接收回波的时间差值来确定车辆与障碍物之间的距离，从而实现车位识别功能。

图像处理系统实现车位调节功能。其中，互补金属氧化物半导体型 (Complementary Metaloxide Semiconductor, CMOS) 的广角摄像头安装在车辆的尾部，广角摄像头的水平视角大于 100° ，广角摄像头采集环境信息并传送给图像处理系统，图像处理系统能够实现图像测距，并能够在图像中建立一个与实际车位大小相同的虚拟车位，通过在图像中调节虚拟车位便可实现虚拟车位与实际车位之间的匹配。

电动助力转向控制系统实现方向盘转向控制功能。首先将原车转向系统进行改装，在原转向系统的基础上安装直流电机和角度传感器，形成电机闭环控制系统，通过对角度传感器的 CAN 协议解析便可根据方向盘的实际角度，对电机角

度进行控制进而实现方向盘转向目标角度控制。

车速控制系统实现车辆速度控制功能。首先将刹车踏板进行改装，在刹车踏板上安装真空助力泵系统，通过对真空助力泵系统的压力调节，可以改变其作用在刹车踏板上的作用力，采集当前的车速信息便可实时地根据车速需求，改变真空助力泵系统的压力值实现对目标速度的控制。

自动泊车系统的一般过程为当驾驶员准备进行泊车操作时，开启自动泊车系统，由配置在车上的各种传感器搜集环境信息，即系统对车辆行进道路附近区域进行分析和建模，根据搜集到的环境信息，对泊车位进行识别；当识别到泊车位后，系统自动提示驾驶员驻车并匹配泊车位，获取车位精确尺寸信息和车辆初始姿态角，然后由轨迹生成算法计算泊车轨迹，最后通过轨迹跟踪控制车辆驶入泊车位。

从机理上分析，系统运行的基本过程为信息采集、车位识别、车位调节、轨迹生成和轨迹跟踪，自动泊车系统软件流程图如图 1.4 所示。

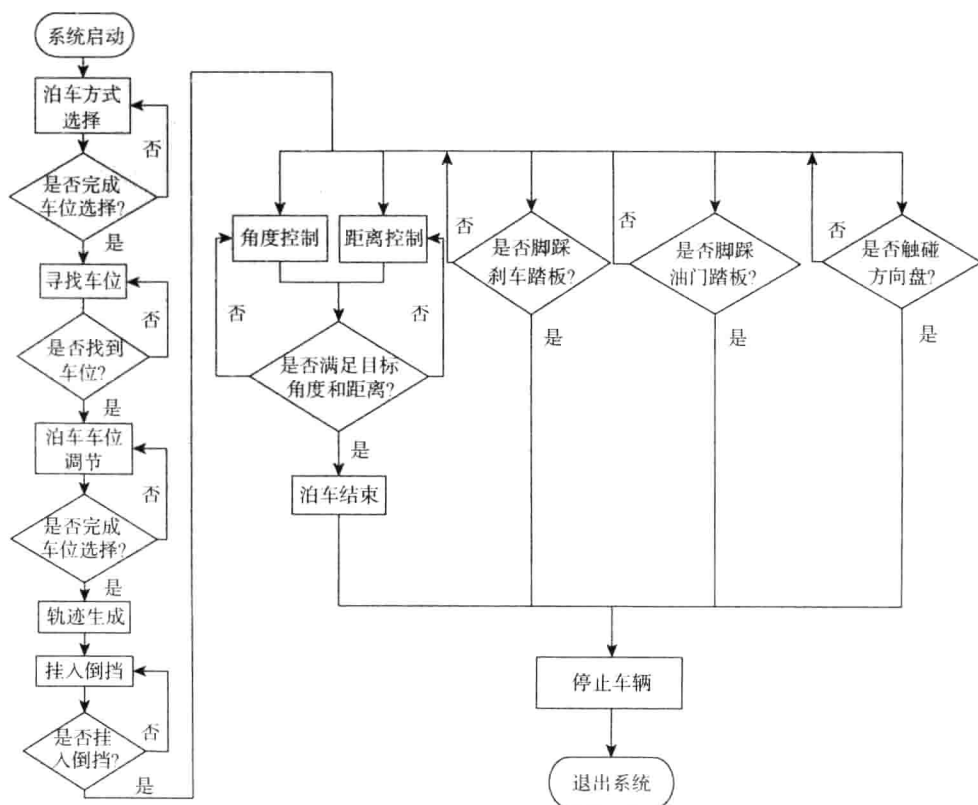


图 1.4 自动泊车系统软件流程图

由图 1.4 可知,自动泊车系统流程如下。当驾驶员准备进行泊车操作时,开启该自动泊车系统,此时,系统会提示驾驶员选择泊车方式,泊车方式分为平行泊车和垂直泊车(为以后开发打下基础)。当驾驶员选择泊车方式后,超声波传感器车位检测系统和图像传感器测距系统开始工作,超声波传感器发送和接收超声波回波数据并将数据传送给超声波控制系统进行相应的车位检测处理。当检测到合适的车位信息后,系统提示驾驶员停车并提示驾驶员进行泊车位调节,驾驶员可以通过上、下、左、右、左旋、右旋按键对人机交互界面中的虚拟车位进行调节来选择驾驶员中意的泊车区域。当驾驶员确定泊车区域后,图像处理系统根据虚拟车位的位置确定车辆与实际车位之间的距离信息,整车控制系统根据距离信息生成合适的泊车轨迹,此时,提示驾驶员挂入倒挡开始泊车。在泊车过程中,整车控制系统一方面根据轨迹信息产生角度控制信号和车速控制信号并传送给电动助力转向控制系统和车速控制系统,电动助力转向控制系统和车速控制系统根据控制信号控制方向盘和车速,当方向盘角度和车辆行驶距离达到目标轨迹要求时,整车控制系统发送指令停止车辆,从而实现泊车操作;另一方面检测刹车踏板信号、油门踏板信号、触碰方向盘信号进行紧急的安全操作处理。

1.2.2 自动泊车系统架构

要实现全自动泊车,必须设计一套具备环境感知、决策运算、执行泊车操作这三部分功能的系统。因此,自动泊车系统主要由环境数据采集系统、中央处理器、车辆策略控制系统三部分组成^[12-14]。

环境数据采集系统是车辆的耳目,主要通过各种传感器直接获得车位位置、车位大小信息、障碍物的信息,间接获得车辆姿态信息等一系列泊车相关的信息,这些信息就是整个自动泊车系统的输入量。中央处理器的决策运算功能是指根据这些输入信息,决定该车是否能够泊入车位,采取哪种方式泊入,泊车的参考路径以及如何避障等问题。最后将决策结果形成传给车辆策略控制系统的信号文件。车辆策略控制系统的功能则是指根据决策单元传过来的信号文件,对车辆的转向角、车速等进行控制。使车辆能够按照预想的轨迹行驶泊入车位,系统框图如图 1.5 所示。

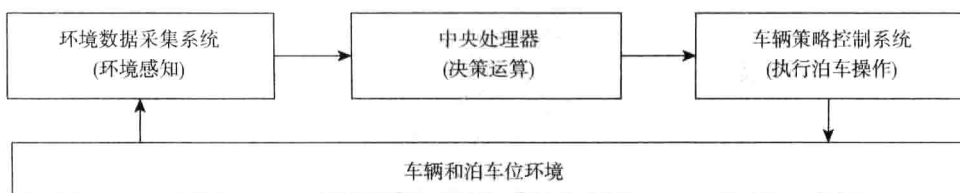


图 1.5 系统框图

其中,环境数据采集系统主要由 8 个超声波传感器和 1 个单目视觉摄像头构成。其基本原理为由车身侧面的超声波传感器检测车位信息和车位周边环境信息,当检测到目标泊车位后,启动位于车尾正后方的视觉摄像头,进行车位调节,获得车位详细信息。这些信息是策略控制系统进行决策控制的基础。

超声波传感器安装位置和检测范围如图 1.6 所示,摄像头安装位置和检测范围如图 1.7 所示。摄像头需经过一定的选型才能满足系统要求,最关键的一点是考虑其探测范围。

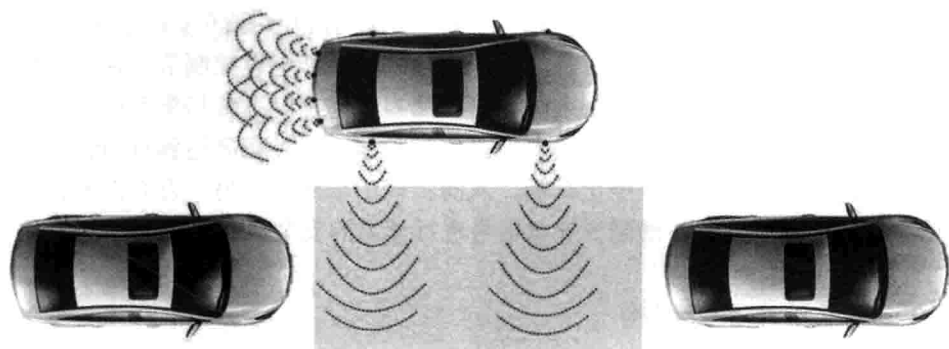


图 1.6 超声波传感器安装位置和检测范围

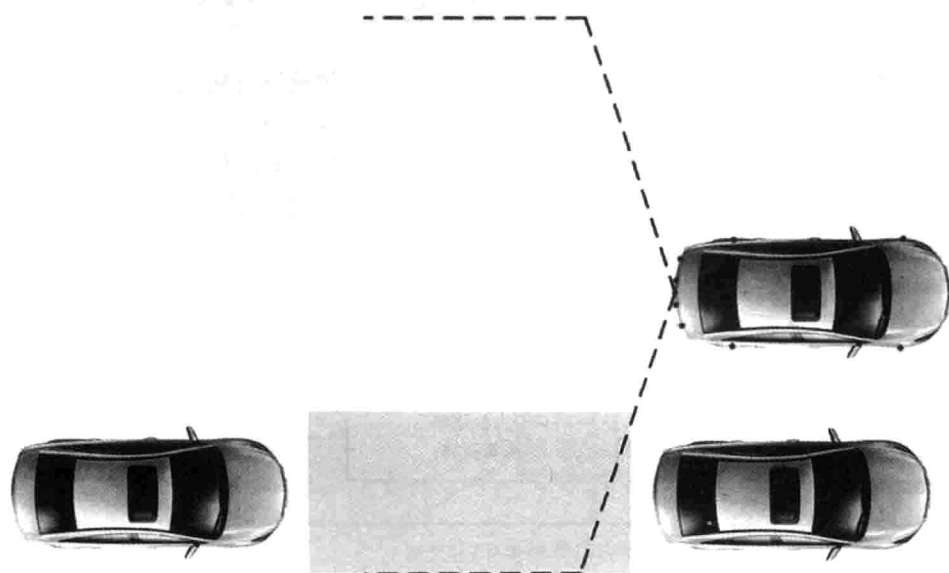


图 1.7 摄像头安装位置和检测范围

中央处理器主要由计计算机构成，其所担负的主要任务如下。

- (1) 接收感知系统采集到的信息。
- (2) 通过运算得出参考泊车轨迹，并得到车速和前轮转角的命令包。
- (3) 将车速和前轮转角的信号传递给策略控制系统。

车辆策略控制系统是以长安乘用车为平台进行研发的，速度控制采用实验车自带电动真空助力器（Electronic Vacuum Booster，EVB）实现，通过加装电动助力转向系统（Electric Power Steering，EPS）来实现控制方向盘，进而控制车轮转向角。策略控制系统为整个泊车系统的执行机构，通过接收由轨迹生成算法输出的命令信息（车速和转角命令），进而控制车辆完成泊车过程。

自动泊车系统各模块功能如图 1.8 所示^[15]。

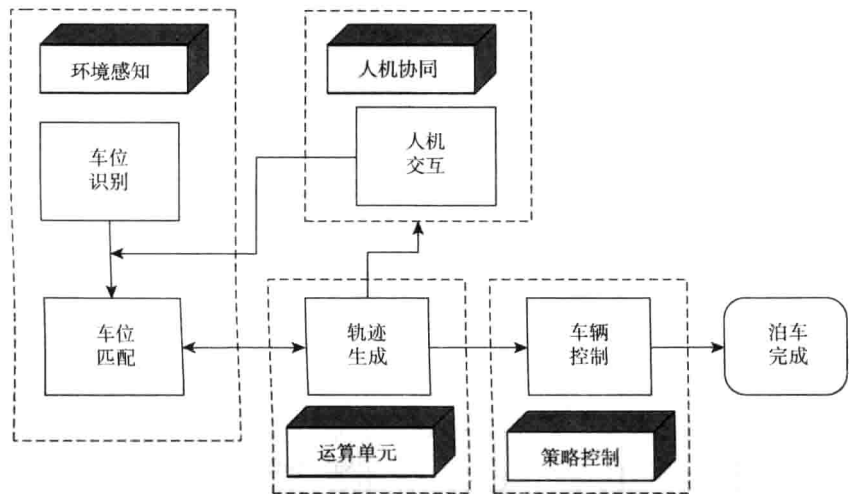


图 1.8 自动泊车系统各模块功能

1.2.3 自动泊车系统通信体系

在 1.2.2 节中，针对泊车系统整体软件流程图进行了一个初步的介绍。接下来，为了进一步了解各硬件设备和软件模块之间以怎样的方式进行通信，在分析泊车系统技术要求的基础上，设计了相应的系统通信协议，包括工控板与超声波车速控制板和工控板与电动助力转向控制板之间的协议，自动泊车系统 CAN 通信节点如图 1.9 所示。

根据图 1.9，设计相应的 CAN 通信协议。其中工控板发送给超声波控制板的 CAN 报文信息如表 1.1 所示；工控板发送给电动助力转向控制板的 CAN 报文信息如表 1.2 所示；超声波车速控制板发送给工控板的 CAN 报文信息如表 1.3 所示；电动助力转向控制板发送给工控板的 CAN 报文信息如表 1.4 所示。