



目录 Contents

项目一	认识智能汽车传感器	1
任务一	智能汽车的认识	2
	一、智能汽车的定义与技术架构	2
	二、智能汽车的典型应用场景	5
	三、智能汽车的未来趋势	6
任务二	智能汽车传感器的认识	7
	一、智能汽车传感器的概念与分类	7
	二、智能汽车传感器的应用案例分析	10
	三、智能汽车传感器的未来发展趋势	12
项目二	超声波雷达	15
任务一	超声波雷达的认识	16
	一、超声波雷达的定义与分类	16
	二、超声波雷达的结构与工作原理	17
	三、超声波雷达的应用分析	19
任务二	超声波雷达的装调	22
	一、超声波雷达的品质检测	22
	二、超声波雷达的安装位置与功能	23





项目三 毫米波雷达

27

任务一 毫米波雷达的认识	28
一、毫米波雷达的定义与分类	29
二、毫米波雷达的结构与工作原理	30
三、毫米波雷达的应用分析	33
任务二 毫米波雷达的装调	35
一、毫米波雷达的品质检测	35
二、毫米波雷达的安装	36
三、毫米波雷达的调试与标定	37
四、毫米波雷达标定过程的故障诊断	43

项目四 激光雷达

51

任务一 激光雷达的认识	52
一、激光雷达的定义与分类	52
二、激光雷达的结构与工作原理	56
三、激光雷达的应用分析	59
任务二 车载激光雷达的装调	63
一、车载激光雷达的品质检测	63
二、车载激光雷达的安装	64
三、车载激光雷达的调试与标定	65
四、车载激光雷达的故障诊断	69

项目五 视觉传感器

77

任务一 视觉传感器的认识	78
一、视觉传感器的定义与分类	78
二、视觉传感器的结构与工作原理	80
三、视觉传感器的应用分析	83
任务二 视觉传感器的装调	87
一、视觉传感器的品质检测	87
二、视觉传感器的安装	89





三、视觉传感器的调试与标定	90
项目六 定位传感器	97
任务一 定位传感器的认识	98
一、惯性导航系统的认识	99
二、卫星定位系统的认识	100
三、卫星定位与惯性导航的融合	103
任务二 车载定位传感器的装调	104
一、车载定位传感器的品质检测	104
二、车载定位传感器的安装	107
三、车载定位传感器的调试	109
项目七 多传感器融合	119
任务一 多传感器融合的认识	120
一、多传感器融合的工作原理	120
二、多传感器融合的发展现状与趋势	125
任务二 多传感器融合的装调	127
参考文献	135





项目一

认识智能汽车传感器

项目概述

2025年9月12日，工信部等八部门联合发布《汽车行业稳增长工作方案（2025—2026年）》，为智能汽车产业按下“加速键”。方案明确推进“车路云一体化”应用试点，加快网联基础设施与云控平台建设，鼓励车辆前装V2X、5G通信模块和北斗系统规模化应用。在最为关键的L3级准入政策上，方案明确了“有条件批准”的路径，推动技术从研发走向量产。政策配套完善了交通安全、保险等法规保障，旨在培育多元化产业价值链。2025年12月，长安旗下深蓝品牌与北汽蓝谷旗下极狐品牌成为首批获得L3级产品准入许可的车企，率先迈入量产阶段。值得一提的是，此前在2024年6月，比亚迪、蔚来、长安、广汽、上汽、北汽蓝谷、一汽、上汽红岩、宇通客车等9家车企曾入选四部门发布的L3/L4级试点联合体名单，为后续的准入测试积累了数据与经验，共同构成了中国智能驾驶从路测走向量产的全景图。



(a) 长安深蓝L07



(b) 问界M9



(c) 比亚迪汉EV



(d) 极氪007

部分 L3 级准入车型

这场由政策引领、车企主导的智能驾驶革命，不仅彻底重塑了汽车产业的竞争格局，更对专业人士提出了复合型、高标准的需求。未来的行业从业者不仅需要精通L3级自动驾驶的感知融合、决策规划等核心技术原理，还要熟悉量产车型的工程化落地逻辑，了解不同车企技术路线的优劣势与应用场景边界，更要明晰政策法规框架下的安全责任界定。

本项目聚焦智能汽车核心技术体系，以“智能感知”为关键突破点，通过结合多车型案例对比分析不同场景下的技术配置方案，讲解感知系统的适配策略。通过理论讲解与案例分析的结合，助力读者初步建立对智能汽车技术框架的认知，掌握智能感知技术的基本概念，为后续深入学习各类传感器技术、系统调试等进阶内容奠定基础。



任务一 智能汽车的认识



知识目标

1. 掌握智能汽车的基本定义及其关键技术。
2. 了解国内外智能汽车的发展现状与趋势。



能力目标

1. 能够识别智能汽车的系统组成与关键技术模块，理解各技术之间的协同关系。
2. 具备初步分析智能汽车在实际场景中应用的能力，如基于案例说明其如何提升行车安全与交通效率。



素养目标

1. 培养严谨的技术认知态度，认识到传感器对汽车行车安全的重要性。
2. 培养系统思维与责任意识，关注技术发展对社会、法律及用户权益的影响，形成严谨、负责任的科技观。



任务描述

通过系统学习智能汽车的定义、技术架构与发展现状，理解其如何实现环境感知、智能决策与控制。结合典型应用场景，建立对智能汽车整体技术体系与未来趋势的认知。

随着科技的飞速发展，智能汽车作为未来交通领域的重要发展方向，正在逐步改变人们的出行方式和交通格局。本书旨在通过对智能汽车定义、技术架构与发展现状的系统学习，帮助读者深入理解其环境感知、智能决策与协同控制的实现机制，并结合典型应用场景，建立对智能汽车整体技术体系与未来趋势的全面认知。

一、智能汽车的定义与技术架构

（一）智能汽车的定义

智能汽车是集先进传感器、控制器、执行器等装置于一体，并深度整合现代通信与网络技术的新一代汽车。它能够实现车与车、车与路、车与人之间的智能信息交换与共享，具备复杂环境感知、智能决策、协同控制等功能，最终可实现替代人工操作。智能汽车不仅是一种交通工具，更是移动智能终端、分布式能源单元和储能单元的集合体。

根据国际自动机工程师学会（SAE International）发布的 J3016 标准，汽车驾驶自动化分为 6 个等级，如图 1-1 所示。

L0（无自动化）：车辆完全由驾驶员操作，没有任何自动驾驶功能。





L1（驾驶辅助）：车辆具备一项或多项辅助驾驶功能，如自适应巡航控制（ACC）或车道保持辅助（LKA），但驾驶员仍需随时接管车辆。

L2（部分自动化）：车辆能够同时控制横向和纵向运动，如自动泊车、交通拥堵辅助等，但驾驶员仍需监控驾驶环境并随时准备接管车辆。

L3（有条件自动化）：车辆在特定条件下可以自动驾驶，但驾驶员需要在系统提示接管时及时接管车辆。

L4（高度自动化）：车辆在特定区域或条件下可以完全自动驾驶，无需驾驶员干预，但在某些情况下仍可能需要人工接管车辆。

L5（完全自动化）：车辆在任何环境和条件下都能完全自动驾驶，无需驾驶员的任何干预。

	L0	L1	L2	L3	L4	L5
驾驶员	必须完成所有驾驶操作	必须完成所有驾驶操作，但在某些情况下能够获得辅助	车辆可以承担一些基本的驾驶任务，但驾驶员必须随时准备接管车辆	当功能请求时，驾驶员必须接管车辆	当系统无法继续运行时，驾驶员需要在接到通知后接管车辆	无需驾驶员，转向盘可有可无，坐在L5级的自动驾驶汽车中，每个人都是乘客
车辆	仅能对驾驶员的指令作出响应	可以提供诸如紧急情况下自动制动或车道偏离修正等基本辅助功能	在某些特定情况下，能够自动转向、加速和制动	在某些特定情况下，可完全自动转向、加速和制动	可在大多数情况下承担全部驾驶任务，而无需驾驶员干预	能够在所有情况下承担全部的驾驶任务，无需驾驶员干预

图 1-1 驾驶自动化等级

目前，全球大部分汽车制造商和科技公司已经实现了 L2 级自动驾驶技术的量产应用，并正在积极推进 L3 和 L4 级自动驾驶技术的研发和测试。

（二）智能汽车的技术架构

智能汽车的技术架构如图 1-2 所示。

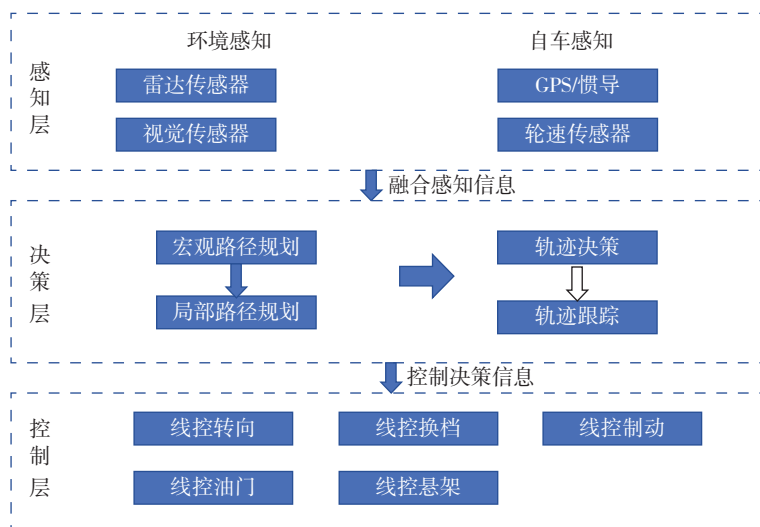


图 1-2 智能汽车的技术架构



1. 感知系统

感知系统是智能汽车的核心组成部分，其作用和地位至关重要。它赋予了车辆感知外界环境的能力，为智能决策和控制提供了基础数据支持，是实现自动驾驶和智能交通功能的关键环节。其主要作用包括以下 3 个部分。

(1) 核心基础

感知系统是智能汽车实现自动驾驶功能的核心基础。没有准确的环境感知数据，车辆无法做出合理的决策和控制动作。因此，感知系统的性能直接影响自动驾驶的安全性和可靠性。

(2) 数据来源

感知系统是车辆获取外部信息的主要来源。它通过多种传感器实时采集环境数据，并将其转化为可供决策系统处理的格式，如图 1-3 所示。这些数据的准确性和完整性是智能汽车能够正常运行的关键。

(3) 安全保障

感知系统在智能汽车的安全保障中发挥着至关重要的作用。通过实时监测车辆周围的交通状况和障碍物信息，感知系统能够提前预警潜在的碰撞风险，并为车辆的避障和紧急制动提供数据支持，从而有效降低事故发生的概率。

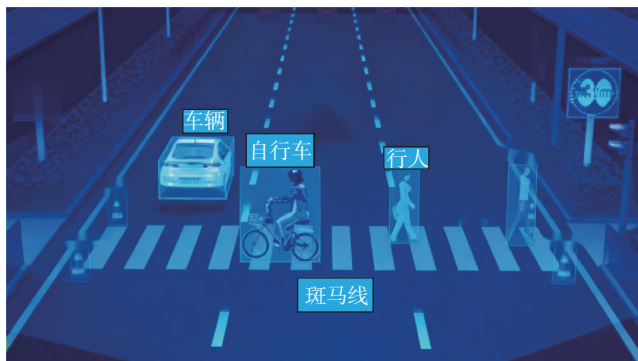


图 1-3 环境感知示意图

2. 决策系统

决策系统负责根据感知系统提供的环境信息，结合车辆的行驶状态和预设的目标，进行路径规划、行为决策和运动控制。其主要功能包括以下 3 个部分。

(1) 路径规划

基于高精度地图和实时环境信息，计算出从起点到终点的最优路径，考虑交通规则、路况、安全等因素。

(2) 行为决策

根据车辆周围的交通状况，决定车辆的行驶行为，如加速、减速、变道、避让等，确保行驶的安全性和舒适性。

(3) 控制策略

将决策结果转化为具体的控制指令，发送给车辆的执行系统，实现对车辆的精确控制，包括转向、制动和动力输出等。

3. 控制系统

控制系统负责执行决策系统发出的指令，实现车辆的运动控制，如图 1-4 所示。其主要包括以下 3 个部分。



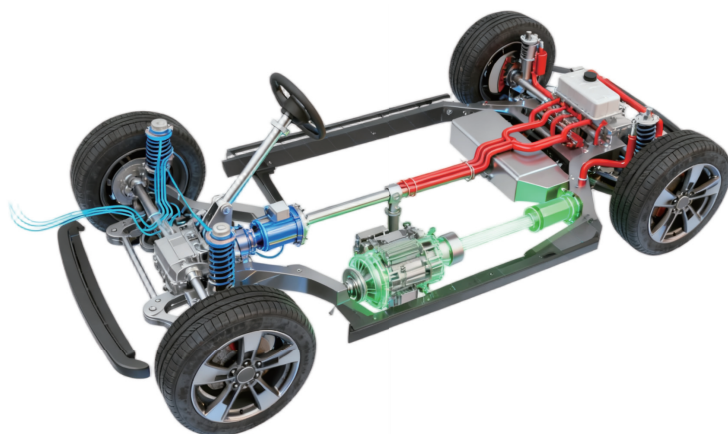


图 1-4 控制系统示意图

(1) 转向系统

通过电子控制单元（ECU）接收决策系统的转向指令，控制车辆的转向角度，实现精确的路径跟踪。

(2) 制动系统

根据决策系统的制动指令，控制车辆的制动力度，确保车辆在需要时能够安全减速或停车。

(3) 动力系统

根据车辆的行驶需求，控制发动机或电动机的输出功率，实现车辆的加速和巡航。

二、智能汽车的典型应用场景

智能汽车的应用场景非常广泛，以下是一些典型的场景。

（一）高速公路自动驾驶

在高速公路上，智能汽车能够实现自动巡航、自动变道、自动超车等功能，提高驾驶的舒适性和安全性。通过车与车通信，车辆可以提前预警前方的交通状况，避免追尾事故的发生。

（二）城市交通拥堵辅助

在城市交通拥堵场景中，智能汽车的交通拥堵辅助功能可以减轻驾驶员的疲劳，自动控制车辆的启停和跟车距离。通过车与基础设施通信，车辆能够获取前方交通信号的状态，提前调整车速，减少不必要的停车和起步，提高交通效率。

（三）智能物流配送

智能汽车在物流配送领域具有广阔的应用前景。自动驾驶卡车可以实现长途运输的无人化，提高物流效率，降低人力成本。同时，智能汽车还可以与物流中心、配送站点进行信息交互，实现货物的精准配送。例如，亚马逊、京东等电商巨头正在积极探索智能物流配送解决方案。图 1-5 所示为队列式智能物流车队。



图 1-5 队列式智能物流车队





三、智能汽车的未来趋势

智能汽车作为未来交通领域的重要发展方向，具有广阔的发展前景。以下是其未来趋势的两个方面。

（一）技术融合与协同

智能汽车的发展将更加依赖于多种前沿技术的深度融合与协同工作。人工智能、大数据、云计算、物联网等技术的有机结合，将显著提升智能汽车的感知、决策和协同能力。通过人工智能算法，车辆能够更精准地识别复杂环境中的各种目标；借助大数据分析，车辆可以实时优化行驶路径；利用云计算的强大计算能力，车辆能够快速处理海量数据；物联网技术则实现了车辆与外部世界的无缝连接。这些技术的深度结合，将使智能汽车在自动驾驶领域实现更高效、更安全地运行。

（二）安全与可靠性提升

随着技术不断进步，智能汽车的安全与可靠性将得到显著提升。先进的传感器技术、冗余设计以及严格的测试标准，将确保车辆在各种复杂工况下都能稳定运行。同时，通过车与车（V2V）、车与基础设施（V2I）的通信技术，车辆能够提前获取交通信息，从而有效预防事故的发生。此外，智能汽车还将配备更加完善的网络安全防护机制，防止车辆系统遭受恶意攻击，保障用户的数据安全和隐私。这些措施将共同推动智能汽车的安全与可靠性迈向新的高度，为用户带来更加安心的出行体验。





任务二 智能汽车传感器的认识



知识目标

1. 明确智能汽车常用传感器的基本概念。
2. 理解各类传感器的工作原理及适用场景。
3. 掌握传感器在智能汽车环境感知、定位等系统中的作用。



智能汽车环境
感知传感器的
安装位置与作用



智能汽车环境
感知传感器的
性能



能力目标

1. 具备识别不同类型传感器的能力，能够根据应用场景分析各类传感器的适配性。
2. 能够初步解读传感器的性能特点。



素养目标

1. 培养严谨的技术认知态度，认识到传感器对汽车行车安全的重要性。
2. 培养技术创新意识，关注传感器技术的发展趋势及其在智能网联领域的应用前景。



任务描述

通过对摄像头、激光雷达、毫米波雷达等环境感知类传感器，以及 GNSS/IMU 等状态定位类传感器的初步学习，能够识别不同类型传感器，分析其性能优劣与适用场景，理解多传感器数据融合的必要性，为后续传感器选型与系统集成奠定基础。

一、智能汽车传感器的概念与分类

（一）智能汽车传感器的概念

汽车智能传感器是指专为智能汽车设计，集成传感检测、信号处理、数据通信及自主决策辅助功能的新型传感装置。它不仅能精准采集车辆自身状态、周围环境及道路信息等原始数据，还可通过内置微处理器与算法完成数据过滤、特征提取及初步分析，直接向车载域控制器输出结构化信息或决策建议，是实现车辆环境感知、状态监测及智能控制的核心感知终端，也是智能汽车环境感知技术的核心组成部分。

（二）智能汽车传感器的分类

结合智能汽车的功能需求，汽车智能传感器主要可分为以下两大类。

1. 按核心功能分类

（1）环境感知类传感器





环境感知类传感器用于识别车辆外部环境信息，为自动驾驶提供决策依据，是智能汽车“环境感知技术”的核心载体，主要包括激光雷达、毫米波雷达、高清摄像头、超声波雷达等多类传感器与智能算法深度融合的集成系统。环境感知类传感器性能对比如表 1-1 所示。

它能够实现对车辆周边全域环境的多维感知：在空间维度上，可精准捕捉前方百米范围内的行人、非机动车，其他机动车的位置、速度、运动轨迹，同时识别道路边界、车道线、交通标志、交通信号灯等静态基础设施，甚至能探测到雨、雪、雾等恶劣天气下的路面附着系数变化；在时间维度上，通过毫秒级的数据采集与处理，实时更新环境信息，动态预判周边目标的行为意图，比如前车的制动、变道动作，行人的横穿马路趋势等。

表 1-1 环境感知类传感器性能对比

分类	摄像头	超声波雷达	毫米波雷达	激光雷达
成本	适中	低	适中	高
探测角度	30°~180°	60°~240°	10°~70°	15°~360°
远距离探测	弱	弱	弱	强
夜间环境	弱	强	强	强
全天候	弱	弱	强	弱
不良天气环境	弱	弱	强	弱
温度稳定性	强	强	强	强
车速测量能力	弱	弱	强	弱
路标识别	支持	不支持	不支持	不支持

（2）车辆状态监测类传感器

如果说环境感知技术是智能汽车的“外部之眼”，那么车辆状态感知系统便是其洞察自身运行的“内部神经中枢”，它承担着实时采集车辆自身运行参数及核心系统状态的关键职责，是保障动力、制动、转向等关键执行系统稳定运行的核心支撑，更是自动驾驶安全闭环中不可或缺的重要环节。

监测类传感器并非孤立的监测模块，而是由遍布车身的各类高精度传感器、电子控制单元（ECU）及数据传输网络构成的智能监测体系。其采集的参数与状态覆盖车辆运行的全维度核心指标：在动力系统层面，可实时捕捉发动机转速、扭矩输出、动力电池 SOC（剩余电量）、电压电流、电机工作温度等关键参数，精准掌握车辆动力输出的稳定性与续航能力；在制动系统中，能动态监测制动踏板行程、制动液压力、刹车片磨损程度及 ABS（防抱死制动系统）工作状态，确保制动响应的及时性与有效性；针对转向系统，可实时采集转向盘转角、转向助力电机扭矩、转向机间隙等数据，保障转向操作的精准度与平顺性。此外，系统还能同步监测胎压、轮胎温度、悬挂系统刚度、车身姿态（侧倾角、俯仰角）等基础参数，形成对车辆运行状态的全方位感知。

这些实时采集的状态数据（图 1-6）会通过 CAN 总线（控制器局域网）等车载通信网络高速传输至整车控制器（VCU），经过算法快速分析与诊断后，一方面为各执行系统的动态调节提供依据，例如，当监测到动力系统温度过高时，自动触发散热机制；当感知到制动液压力不足时，及时向驾驶员发出预警并限制动力输出。另一方面，这些数据也会同步至自动驾驶决策系统，与环境感知数据形成“内外联动”，确保决策指令与车辆实际运行能力相匹配，避免出现动力不足导致的避让失效、制动性能衰减引发的追尾风险等问题。若缺乏这一系统的精准监测，车辆便会陷入“自我感知缺失”的困境，既无法预判核心系统的潜在故障，也难以保障自动驾驶执行指令的安全性，极易引发运行风险。





图 1-6 基于 CAN 总线的状态数据采集

2. 按技术原理分类

(1) 视觉类传感器

视觉类传感器，尤其是摄像头，是智能汽车中不可或缺的环境感知工具。它们通过光学成像原理捕捉车辆周围的视觉信息，为自动驾驶系统提供丰富的图像数据。这些图像数据经过先进的图像识别算法处理后，能够识别道路标志、交通信号、车道线以及其他车辆和行人，从而为车辆的决策系统提供关键依据。

优势：信息维度丰富，能满足大部分环境识别需求；与人类视觉逻辑接近，适配图像识别 AI 算法。

局限：受光照（强光、黑夜）、天气（雨、雾、雪）影响大，对远距离目标测距精度较低。

典型应用：车道偏离预警（LDW）、交通标志识别（TSR）、环视影像（360°全景）。

(2) 激光类传感器

基于激光测距原理生成环境三维点云数据，典型代表为激光雷达。激光雷达是智能汽车中用于环境感知的重要传感器之一。它通过发射激光束并测量反射光的时间差或相位差，生成高精度的三维点云数据。这些点云数据能够提供车辆周围环境的详细信息，包括障碍物的形状、位置和距离。

技术特点：按结构分为机械式、半固态（MEMS）、固态（Flash）；探测距离 50~300 m，角分辨率 $0.1^\circ \sim 1^\circ$ ，可生成三维点云模型，精准获取目标距离、轮廓及位置信息。

优势：环境适应性强（不受光照影响）、测距精度高（厘米级）、三维感知能力突出，能有效识别异形障碍物。

局限：成本较高，易受大雨、浓雾等极端天气干扰，点云数据处理对算力要求高。

典型应用：高阶自动驾驶（L3 及以上）环境建模、障碍物精准避障。

(3) 微波类传感器（毫米波雷达）

毫米波雷达是智能汽车中用于环境感知的另一种重要传感器。它通过发射微波并测量反射波的频率变化，探测目标物体的距离、速度和角度。

技术特点：工作频段多为 76~77 GHz（长距）、76~79 GHz（中短距）；探测距离 10~200 m，测速精度 ± 0.1 km/h，可同时跟踪多个目标的距离、速度及方位角。

优势：全天候工作（不受雨、雾、雪影响）、抗干扰能力强、响应速度快，适合动态目标监测。

局限：分辨率较低，无法识别目标纹理与颜色，对静态小目标探测能力弱。

典型应用：自适应巡航（ACC）、自动紧急制动（AEB）、盲区监测（BSD）。

(4) 超声类传感器（超声波雷达）

超声波雷达是智能汽车中用于近距离探测的重要传感器。它通过发射和接收超声波信号，测量车辆与周围障碍物的距离。

技术特点：工作频率 40 kHz 左右，探测距离 0.1~5 m，精度 ± 1 cm。

优势：成本低、近距离探测精度高、不受光线影响，适合狭窄空间感知。



局限：探测距离短、易受温度与空气流动影响，无法识别远距离或高速目标。

典型应用：倒车雷达（PDC）、自动泊车（APA）、车门开启防撞预警。

（5）定位类传感器（GNSS/IMU）

定位类传感器，如全球导航卫星系统（GNSS）和惯性测量单元（IMU），是智能汽车实现精准定位的关键技术。GNSS 通过卫星信号为车辆提供全球范围内的位置信息，而 IMU 则通过测量车辆的加速度和角速度，提供车辆的运动状态信息。

1) GNSS 定位模块（全球导航卫星系统）。

技术特点：支持 GPS、北斗、GLONASS 等多系统融合定位，静态定位精度厘米级（配合差分基站），动态定位精度亚米级。

优势：可获取车辆全球绝对位置信息，为路径规划提供基础。

局限：在隧道、高楼遮挡区域，信号易失锁，需与其他传感器融合。

典型应用：车载导航、自动驾驶路径匹配、车队管理。

2) IMU 惯性测量单元（惯性类）。

技术特点：集成加速度计与陀螺仪，可测量车辆加速度、角速度及姿态角，采样频率 100 ~ 1 000 Hz。

优势：不受外部环境干扰，可在 GNSS 失锁时短时间维持定位精度。

局限：存在累积误差，长时间单独使用精度会下降，需与 GNSS 融合。

典型应用：自动驾驶高精度定位、车辆姿态稳定控制。

二、智能汽车传感器的应用案例分析

根据目前主流智能汽车技术架构方案，智能汽车传感器布置方案各不相同。以下将深入剖析特斯拉 Model Y、小鹏 P7i（2023 款）以及蔚来 ES8 三款热门车型的传感器布局方案。

（一）特斯拉 Model Y：纯视觉架构

当前特斯拉 Model Y 在传感器布局上采用以视觉为核心的方案，主要依赖摄像头收集环境信息，如图 1-7 所示。其车头、车尾及车身两侧共配备 8 个摄像头，其中前视摄像头具备 500 万像素，视野范围广且分辨率高，可清晰识别前方 300 m 内的车辆、行人、交通标志与车道线等。侧视与后视摄像头则负责监测车身周边与后方状况，为变道、倒车等操作提供数据支持。

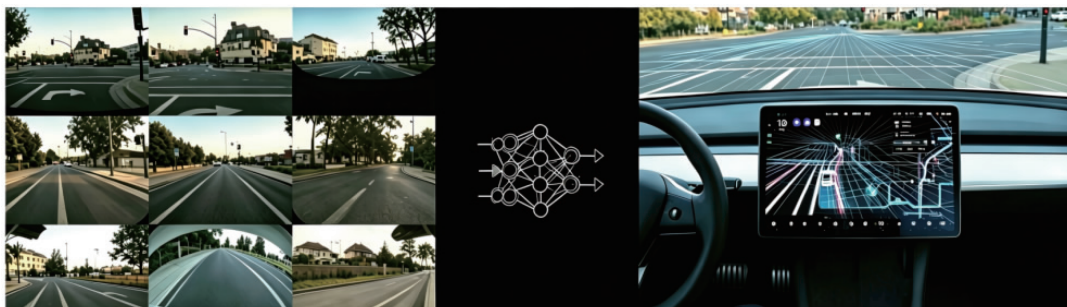


图 1-7 特斯拉视觉感知系统的输入和输出

（注：图片信息源自特斯拉官方《Tesla Vision Update》，原文链接：https://www.tesla.com/en_nz/support/transitioning-tesla-vision）





此布局方案优势在于成本控制出色，视觉算法成熟，软件迭代升级可优化感知性能，但缺点是在雨雾、强光等恶劣天气下，摄像头性能下降，影响感知精度。

（二）小鹏 P7i：多传感器融合架构

小鹏 P7i（2023 款）（图 1-8）构建了一套精密的多传感器融合体系，涵盖激光雷达、毫米波雷达、超声波雷达与摄像头，以实现全方位、高精度的环境感知。嵌入前大灯两侧共搭载 2 颗 126 线激光雷达，采用前向扫描方式覆盖车辆前方及侧前方区域，探测距离超过 200 m，为小鹏 XNGP 等高阶智驾功能提供高精度前向感知数据。能有效识别远距离及低反射率目标，如黑色障碍物、路边指示牌等。

5 个毫米波雷达分别布置在车头、车尾及车身两侧，负责中远距离动态目标追踪，与激光雷达数据互补，增强对快速移动物体的监测能力，确保在复杂交通流中精准感知车辆相对速度与距离变化。12 个超声波雷达均匀分布于车身四周，聚焦近距离探测，在自动泊车时，可构建车位数字孪生模型，更新频率达 10 Hz，精准引导车辆入位。此外，全车配备 12 个摄像头，包含前视、后视、环视等不同视角，前视摄像头具备智能图像识别能力，可实现车道保持（精度 $<\pm 3\text{ cm}$ ）、前碰预警（响应时间 $<50\text{ ms}$ ）等功能；环视摄像头提供 360°全景拼接画面（4K 分辨率），助力驾驶者全面掌握车辆周边状况。这种多传感器融合方案优势明显，不同类型传感器相互补充，降低单一传感器失效风险，提升感知可靠性与稳定性，适应复杂多变的城市道路环境。不过，其成本相对较高，传感器数据融合与算法处理复杂度增加，对算力要求严苛。

（三）蔚来 ES8（2024 款）：全域感知架构

蔚来 ES8（2024 款）（图 1-9）首创瞭望塔式传感器布局，全身布置了 33 个高性能传感器。其车顶的瞭望塔式激光雷达位置较高，视野开阔，能够提前探测到远距离的障碍物和路况信息，大幅提升感知能力。

5 个毫米波雷达分布在车身的關鍵位置，负责中远距离的目标监测。12 个超声波雷达则分布于车身四周，用于近距离的精准探测。全车配备 11 个高清摄像头，其中 7 个为前向摄像头，达 800 万像素，感知距离远、内容精细，能够清晰识别前方的各种物体和路况。通过瞭望塔式布局，这些摄像头减少了感知盲区，配合超远距高精度激光雷达，每秒能产生 8 GB 数据，感知系统极为精准。

蔚来 ES8 的传感器布局通过多类型传感器的协同工作，打造了 360°无死角全域感知网络，为驾驶者提供了全面且精准的环境信息。同时，其 Adam 超算平台集成了 4 颗 NVIDIA DRIVE Orin X 芯片，算力高达 1 016 TOPS，能够快速处理海量的传感器数据，实现高效的决策和响应。不过，该布局方案同样面临前期研发投入大、算法优化难度高的挑战。



图 1-8 小鹏 P7i（2023 款）展示图



图 1-9 蔚来 ES8 展示图





三、智能汽车传感器的未来发展趋势

（一）传感器技术的创新

在汽车智能化浪潮的驱动下，传感器技术正经历从“精度优化”到“维度革新”的跨越式发展，其创新突破深度渗透材料科学、制造工艺与工作原理三大核心领域，为复杂车规环境提供更可靠的感知解决方案。

以制造工艺为例，采用 MEMS（微机电系统）工艺的激光雷达，将发射、接收与信号处理单元集成于毫米级芯片上，体积较传统机械激光雷达缩小 90%，质量降至 500 g 以下，可轻松嵌入车顶、前保险杠等隐蔽位置，既保证感知视野，又不破坏车身设计。

中国科学院上海微系统与信息技术研究所武震宇研究员团队设计并制造出了一种用于激光雷达的高可靠双轴 MEMS 微镜。其通过结构设计、工艺、封装、控制方法 4 个方面的优化，在 X 轴和 Y 轴上分别实现了 102.8° 和 104.8° 的光学扫描角，可用于激光雷达中实现光束扫描等功能，有助于缩小激光雷达体积，使其更易集成。

（二）传感器与通信技术的深度融合

在车端传感器互联层面，通过车载通信模组，激光雷达、摄像头、毫米波雷达的实时数据可实现 1 毫秒级同步传输，配合边缘计算节点的融合算法，能消除传感器间的“感知时差”。例如，当车辆高速行驶时，前向激光雷达探测到 200 m 外的突发障碍物，同时侧后方毫米波雷达监测到相邻车道车辆的加速意图，两者数据经 V2X 模块融合后，可提前 1.2 s 为自动驾驶系统提供避让决策依据，较单一传感器响应速度提升 30%。

（三）人工智能在传感器中的应用

人工智能技术正从“数据处理工具”转变为传感器系统的“智能大脑”，通过算法与硬件的深度耦合，让传感器从“数据采集器”升级为“环境理解器”，为高级别自动驾驶提供认知级感知能力。

在感知数据智能处理方面，深度学习算法的嵌入大幅提升了传感器的目标识别能力。传统摄像头依赖人工设计特征提取模板，对异形障碍物（如掉落的货物、突发横穿的动物）识别准确率不足 70%，而采用 YOLOv8（YouOnlyLookOnce）算法的智能摄像头，通过百万级标注样本训练，能将此类目标识别准确率提升至 95% 以上，同时实现目标属性（如行人姿态、车辆类型、交通标志含义）的精准解读。此外，基于 Transformer 架构的点云分割算法，可对激光雷达采集的三维点云数据进行实时语义分割，在 100 ms 内区分出路面、行人、车辆、护栏等 12 类目标，分割精度达 92%，为自动驾驶系统提供结构化的环境描述。



学习总结

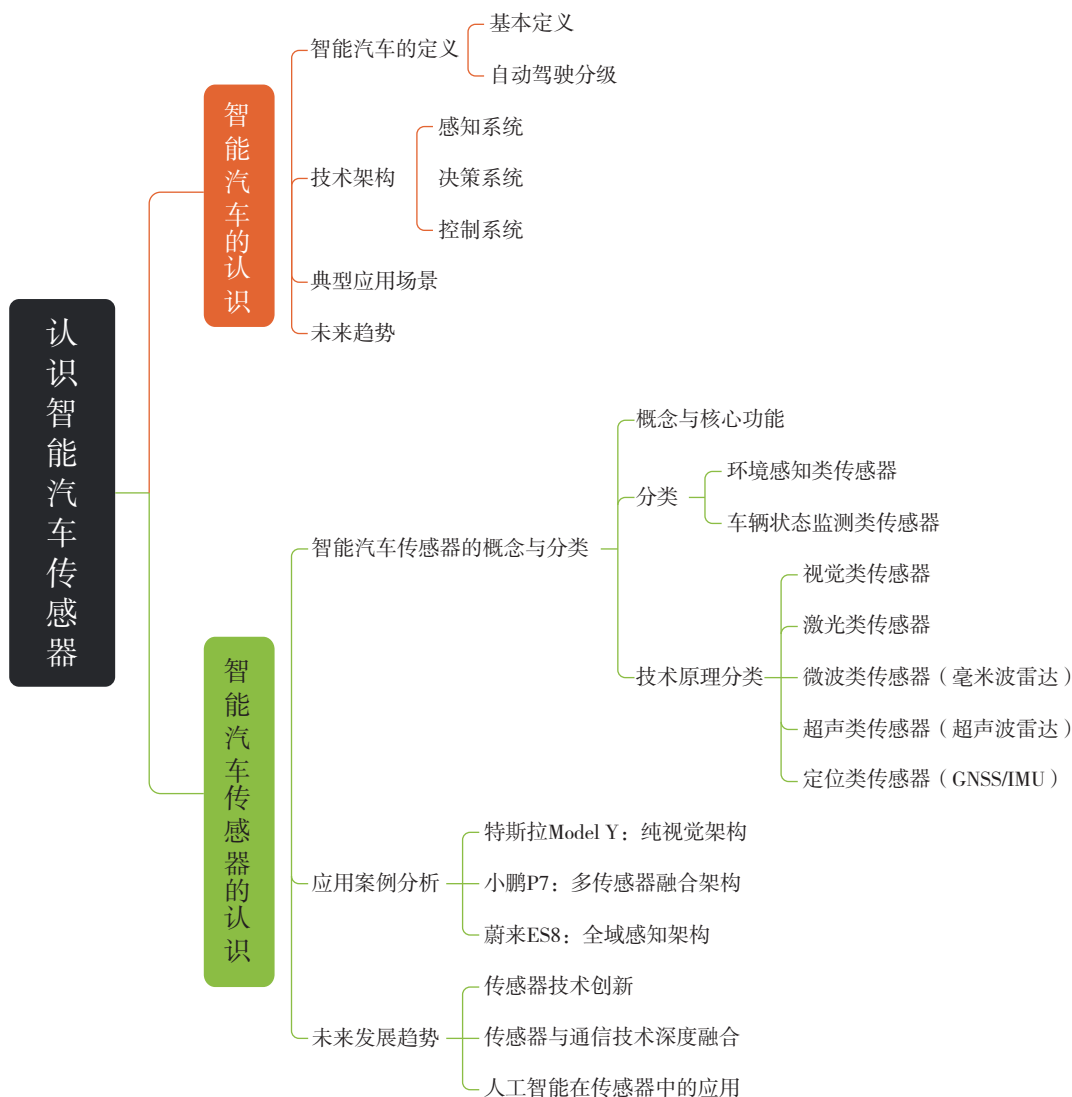
本项目系统阐述了智能汽车的基本概念、技术体系及核心传感器技术。智能汽车是搭载先进传感器、控制器与执行器，并融合现代通信与网络技术，具备复杂环境感知、智能决策与协同控制功能的新一代汽车。其技术架构可概括为“三横两纵”体系，关键技术涵盖传感、通信、控制、安全与人机交互五大方面。





作为智能汽车的“感知基石”，传感器按功能可分为环境感知与状态监测两大类；按技术原理主要包括视觉、激光、微波、超声、定位及状态传感器等。各类传感器在探测距离、精度、环境适应性及成本上各有特点，需通过多传感器数据融合技术实现优势互补，共同构建可靠的环境感知系统。

通过本项目学习，旨在使读者建立对智能汽车及其传感器系统的整体认知，理解不同传感器的原理、特性及应用场景，明确多传感器融合的重要性，为后续传感器选型、测试与系统集成奠定必要的理论与知识基础。



感知技术背后的“中国智造”：从“跟跑”到“领跑”的产业担当

十余年前，智能汽车感知技术领域曾长期被国外企业垄断，核心技术“卡脖子”不仅推高了智能汽车制造成本，更让我国智能汽车产业发展步履维艰。但随着“新能源汽车产业发展规划”等国家战略推进，中国企业以“啃硬骨头”的韧劲投入研发，在感知传感器领域实现从“跟跑”到“领跑”的





跨越，书写了“中国智造”的产业担当。

在激光雷达赛道，国产企业用“十年磨一剑”的坚持打破国外高价垄断：禾赛科技的研发团队曾为攻克激光雷达“远距离抗干扰”难题，在新疆吐鲁番高温、黑龙江漠河严寒等极端环境下反复测试，最终推出的 AT128 激光雷达，在 10% 反射率条件下有效探测距离达 200 m，测距精度约 3 cm，每秒点云输出量突破 153 万点，能够清晰感知 200 m 范围内的道路参与者和交通设施，性能比肩国际顶尖产品，而成本仅为早期进口产品的 1/5。速腾聚创的 M1 激光雷达凭借车规级可靠性，批量搭载于小鹏 G9、理想 L9 等车型，2024 年激光雷达总销量约 54.4 万台，以 33.5% 的市场份额位居全球行业第一。2025 年 2 月成为全球首家达成百万台高线数激光雷达下线的企业，超越 Velodyne 成为行业标杆。这些突破不仅让 L2+ 级智能汽车售价从 30 万元下探至 15 万元区间，更让普通家庭得以享受“自动避障、车道保持”等智能功能，生动诠释了“技术为民”的产业初心。

摄像头与毫米波雷达领域同样亮点纷呈：华为 ADS 4.0 系统搭载的自研智能驾驶摄像头芯片，通过创新的“多帧合成算法”，将图像识别帧率提升至 60 fps，在暴雨天气（能见度不足 50 m）、逆光场景（正午强光直射）下，对行人、护栏的识别准确率仍达 98% 以上，曾在深圳滨海大道的测试中，成功避免因暴雨遮挡导致的追尾风险；德赛西威公司研发的毫米波雷达，通过优化“信号滤波算法”，探测距离突破 200 m，对路面碎石、废弃纸箱等静态小目标的识别精度较国外产品提升 30%，在高速公路场景中，能提前 1.5 s 预警前方抛洒物，为车辆安全筑起“防护网”。这些技术成果的背后是无数工程师“7×24 h”的研发攻关——华为智能驾驶团队曾为优化摄像头夜间识别效果，连续 1 个月在凌晨的郊区道路采集数据；德赛西威公司的雷达研发组为解决“隧道内信号反射”问题，反复调试算法参数超千次，这正是“精益求精、追求极致”工匠精神的生动体现。

如今，我国智能汽车感知技术已从“单点突破”迈向“系统领先”。2025 年端到端大模型技术浪潮中，国产多传感器融合方案率先落地：小鹏 X9 搭载的“激光雷达+摄像头+毫米波雷达”融合系统，在城市 NOA（导航辅助驾驶）场景中的通过率达 95%，超越特斯拉、宝马等国外竞品的 90%。更值得关注的是，技术突破还带动了就业市场繁荣，仅 2024 年，国内传感器调试工程师、标定技术员等岗位需求就增长 40%，为高职学生提供了大量优质就业机会。这不仅是技术的胜利，更是中国汽车产业从“制造大国”向“制造强国”转型升级的缩影。作为未来的智能汽车技术从业者，我们当以这些突破为激励，怀揣“产业报国”的信念，在传感器调试、标定、融合等岗位上深耕细作。或许未来某天，你参与调试的激光雷达，就能让更多家庭的出行更安全、更智能，为“中国智造”在全球智能汽车领域的持续“领跑”贡献青春力量。





项目二

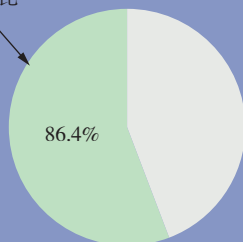
超声波雷达



项目概述

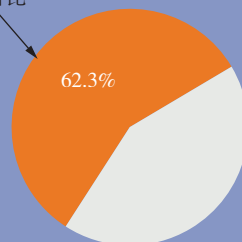
据行业估算，2024 年搭载超声波雷达的乘用车销量达到 2 300 万辆，占全年乘用车总销量的 78.6%。另外，2024 年新能源乘用车销量为 1 286.6 万辆，其中搭载超声波雷达系统的车型占比为 86.4%；传统燃油车销量为 1 480 万辆，搭载率为 62.3%。

搭载超声波雷达
车型占比



新能源销量：1 286.6万辆

搭载超声波雷达
车型占比



燃油车销量：1 480万辆

为何超声波雷达能成为辅助驾驶车型中的“标配级”感知部件，配置率始终居高不下？在复杂的行车环境感知体系中，它又承担着怎样不可替代的角色？请带着这些关键问题深入本项目，你将全面掌握超声波雷达的应用逻辑与技术细节，找到上述问题的完整答案。

本项目融合理论授课、实操演练等多元教学环节，引导读者系统理解超声波雷达的定义内涵、结构设计逻辑及工作原理机制，扎实掌握技术核心知识模块；依托多车型案例对比分析与技术发展趋势解读，明晰超声波雷达在智能车各类场景的应用场景与配置策略。聚焦质检流程实操、精准装调训练等核心实训内容，让读者深度掌握超声波雷达工作特性及工程应用细节，全面提升技术实操与问题解决能力。



任务一 超声波雷达的认识



知识目标

1. 掌握超声波雷达的定义、分类。
2. 掌握超声波雷达的主要组成部分及其工作原理。
3. 了解超声波雷达在智能汽车中的应用场景。



能力目标

1. 能够在实物或结构图中准确识别超声波雷达的核心部件，并理解其在测距过程中的原理。
2. 能够结合具体应用场景（如自动泊车、盲区监测），将超声波雷达的测距性能、波束角、频率特性等参数与实际功能要求相关联，分析其在不同高级驾驶辅助系统功能中的适用性与局限。



素养目标

认识到超声波雷达作为低速场景下关键感知部件的可靠性及其性能边界，理解其在复杂环境中可能出现的漏检、误检风险，在实际应用中始终保持谨慎，树立安全第一的责任意识。



任务描述

本任务旨在系统学习超声波雷达的结构、工作原理与特点，掌握其在自动泊车（APA）、驻车辅助（UPA）及低速障碍物检测等场景中的实际应用。



什么是超声波
传感器

一、超声波雷达的定义与分类

（一）超声波雷达的定义

超声波是一种频率高于 20 kHz、人耳不可感知的弹性机械波。与可闻声波相比，超声波可精准聚焦，能量集中度高且穿透能力强，当接触到两种介质的分界面时，会清晰呈现反射现象。声波频段区间划分如图 2-1 所示。

超声波雷达是以超声波作为信号载体，实现距离测量、障碍物探测等功能的传感设备。其核心工作原理是基于“发射—反射—接收”的信号闭环。雷达发射超声波信号，当声波接触到障碍物时，会产生反射并形成回波；随后雷达的接收器捕捉该回波，通过计算声波从发射到接收的时间差，结合超声波在对应介质（如空气、液体）中的传播速度，最终换算出雷达与障碍物之间的距离、位置等关键信息。



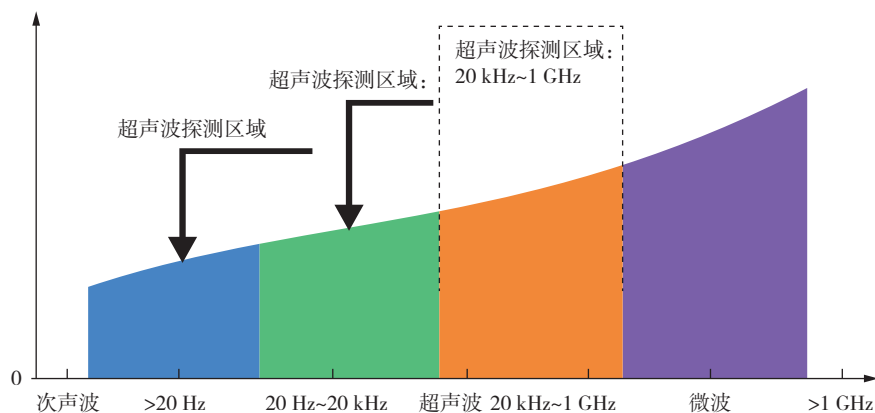


图 2-1 声波频段区间划分图

（二）超声波雷达的分类

1. 按安装位置划分

安装在前后保险杠上的超声波驻车辅助雷达（Ultrasonic Parking Assist, UPA），主要用于监测车辆前后方障碍物。其频率较高（约 58kHz），探测范围一般为 0.15~2.5 m，检测范围大，精度较高，检测更精准。

安装在车辆侧方的自动泊车超声波雷达（Automatic Parking Assistant, APA），用于测量侧方障碍物距离，其频率约 40 kHz，探测范围一般为 0.3~5 m，可实现车位识别与侧向障碍物检测，因此在自动泊车和侧方辅助中应用广泛。

图 2-2 所示为 12 颗超声波雷达布置方案示意图。



图 2-2 12 颗超声波雷达布置方案示意图

2. 按探测性能划分

根据探测距离与角度参数，超声波雷达可分为短距雷达和中距雷达。短距雷达（如 UPA）探测距离通常不超过 3 m，水平探测角度可达约 $\pm 120^\circ$ ，适合近距离泊车与低速防碰撞应用；中距雷达（如 APA）探测距离可扩展至 5 m 以上，水平探测角度约为 $\pm 80^\circ$ ，适用于低速横向辅助场景。

3. 按工作频率划分

目前，超声波雷达常用的工作频率为 40 kHz、48 kHz 和 58 kHz。频率越高，灵敏度越强，分辨率越高，但探测角度相应减小。40 kHz 雷达因探测角度较大、适应性较好而应用最普遍，适用于侧向停车位识别（APA）。58 kHz 雷达指向性更集中，常用于前后向近距精确检测（UPA）。

二、超声波雷达的结构与工作原理

（一）超声波雷达的结构

超声波雷达主要由超声波探头、声学匹配模块与阻尼块、电路模块、外壳与防护组件组成。超声



波雷达传感器外形结构如图 2-3 所示。



图 2-3 超声波雷达
传感器外形结构

1. 超声波换能器

超声波换能器是声电转换的关键，相当于雷达的收发器。其主要材料是一种具有压电效应、能够实现电能与机械能相互转换的晶体材料——压电晶片。

发射端接收发射电路的高频电信号，通过压电效应产生机械振动，发出超声波（常见频率 20~400 kHz）。接收端捕捉目标反射的超声波，再通过压电效应将机械振动转换为微弱的电信号，传递给接收电路。

目前，超声波换能器常见类型有收发一体式（结构紧凑，如汽车倒车雷达）和收发分离式（抗干扰强，用于高精度场景）。

2. 信号处理模块

信号处理模块负责对原始电信号进行加工处理，为距离计算提供精准数据。部分超声波雷达的信号处理单元会集成到主控制单元。

（1）信号放大电路

将接收的微弱反射电信号放大，避免信号被噪声淹没。

（2）滤波电路

过滤环境中的电磁干扰信号，保留有效超声波信号。

（3）解调电路

将放大后的调制信号还原为基带信号，便于后续处理。

（4）测量单元

精准计算超声波从发射到接收的时间差，结合声速换算出探测距离。

3. 主控制单元

主控制单元是雷达的“大脑”，通常由微控制器或专用芯片实现，主要功能包括时序同步、数据校正、结果输出、故障检测。

（1）微控制器（MCU）

控制传感器的发射时序、信号处理流程，同时对测量数据进行初步校验。

（2）通信接口

常见的有 CAN 总线接口、LIN 总线接口，负责将距离数据、设备故障信息传输至车载 ECU，同时接收 ECU 的控制指令。

（3）故障检测单元

监测传感器、电路的工作状态，若出现短路、信号异常等问题，及时生成故障码并上报。

4. 外壳与防护组件

外壳和防护组件为超声波雷达提供了必要的物理保护。通常采用金属或塑料材料制成的外壳，能够提供 IP67 级的防护，有效防水、防尘，并屏蔽电磁干扰，确保了雷达在各种恶劣环境下的稳定运行。

防护网能够防止异物遮挡探头，而泡棉减震材料则确保了雷达在车辆行驶过程中的工作稳定性，避免因振动导致的探测误差。

（二）超声波雷达的工作原理

超声波雷达的工作流程可以分为以下几个步骤，流程简图如图 2-4 所示。





1. 信号发射阶段

超声波雷达被触发时，驱动升压电路把 12 V 提升到 20 V 左右，对压电陶瓷叠堆充电；随后以 8~16 个 40 kHz 脉冲激励换能器，使其共振向外辐射 60°~120° 锥形超声波束，持续约 0.5 ms。

2. 信号接收与处理阶段

发射结束后，障碍物回波使压电片产生毫伏级电压，经带通滤波与 30~60 dB 可调增益放大后，与预设阈值比较，检测出有效回波；同时内部计时器记录“发射停止→回波到达”的时间差 t 。

3. 信息提取与解读

将测得的时间差 t 代入下方公式，即可算出目标距离；对多回波进行滤波、突变剔除与温度补偿后，通过 LIN/PWM 帧把距离、置信度及故障状态发送给 ECU，完成一次测距循环。

超声波雷达的测距原理如图 2-5 所示，由传感器发出的高频超声波脉冲遇到障碍物时被反射回来，部分反射回波被换能器接收，转换成电信号。超声波脉冲以声波速度传播，从发射到接收到超声波脉冲所需时间间隔与传感器到障碍物表面的距离成正比。距离计算公式为

$$L = \frac{C \times T}{2}$$

式中， L 为测量的距离长度； C 为超声波在空气中的传播速度； T 为测量距离传播的时间差。

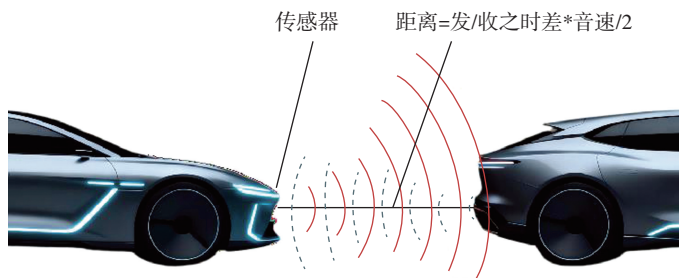


图 2-5 超声波雷达的测距原理

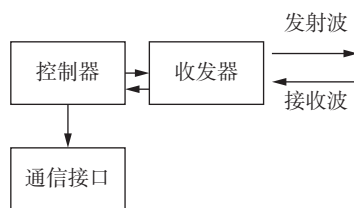


图 2-4 超声波雷达工作流程简图

三、超声波雷达的应用分析

(一) 超声波雷达的特点

1. 超声波雷达的优点

超声波雷达作为一种经典的近距离测距传感器，在智能汽车环境感知系统中具有不可替代的作用。

(1) 成本极低

压电陶瓷振子工艺成熟，普通倒车雷达单价稳定在 50~100 元，是车载传感器中价格最低的感知单元，整车厂可大规模铺货而不增加物料清单 (BOM) 压力。

(2) 短距精度高

40 kHz 波长仅 8.6 mm，配合纳秒级计时器，可把往返时间差折算到 1 cm 分辨率，能区分宽 5 cm 的细长路沿、手指粗的铁杆，为自动泊车提供厘米级障碍物信息。



超声波传感器的特点





(3) 可探测低矮物体

依靠机械波反射,可探测 PVC 锥桶、铁链等,可在倒车时及时发现停车场内的隔离桩。

(4) 环境适应性强

超声波雷达对环境的适应性较强,能够在不同的天气条件下(如雨、雪、雾)正常工作,其性能受天气影响较小。

2. 超声波雷达的缺点

(1) 响应慢

声波在空气中速度仅 343 m/s,探测 2 m 目标往返需 12 ms,加上振铃消退与滤波,单周期在 20~30 ms,刷新率被限制在 50 Hz 以下,难以满足 30 km/h 以上自动制动系统(AEB)的实时性要求。

(2) 量程短

空气对 40 kHz 超声波衰减大,有效回波信号随距离四次方递减,常规探测边界 0.15~5 m,盲区小于 15 cm。因此,对高速行驶需 150 m 预警的场景无能为力,只能用于泊车与低速拥堵。

(3) 抗干扰能力差

多颗雷达同时工作时,相邻探头的余震和发射脉冲会互相叠加,造成假回波;需采用错频、顺序触发或编码激励,并延长振铃等待时间,结果进一步压缩有效刷新率并扩大近距离盲区。



图 2-6 自动泊车场景示意图

(二) 超声波雷达的应用

超声波雷达因成本优势和短距精确感知能力,被广泛应用于以下车载功能。

1. 泊车辅助

通过在车辆前后及侧面布设 12~16 个超声波传感器,实现障碍物识别和自动泊车轨迹规划,如图 2-6 所示。

2. 低速防碰撞

在狭窄道路或拥堵场景中,超声波雷达可实现对近距离障碍物(如路沿、行人、儿童或小物体)的探测与预警,

如图 2-7 所示。

3. 自动门/尾门防夹功能

这些应用场景凸显了超声波雷达在近距离探测中的不可替代性,其与毫米波雷达、摄像头协同工作,可显著提升智能驾驶系统的全方位安全性。

(三) 超声波雷达的发展现状与趋势

随着智能驾驶技术的进步,超声波雷达的发展主要呈现以下趋势。

1. 探测距离与精度提升

在智能驾驶的低速场景中,超声波雷达的探测距离与精度直接决定了车辆环境感知的可靠性,新一代技术通过硬件与算法的双重革新实现了性能跃升。从硬件层面来看,新型换能器采用了压电陶瓷材料改良配方与优化的振子结构设计,相较于传统换能器,其能量转换效率提升了 25% 以上。



图 2-7 超声波雷达在汽车上的应用





搭配自适应滤波算法，该算法能够实时分析环境中的噪声特征，动态调整滤波参数，滤除路面碎石撞击、车辆振动等干扰信号；而回波增强算法则通过对微弱回波信号的叠加放大与特征提取，进一步提升了信号的信噪比。

在双重技术加持下，超声波雷达的测距范围成功从传统的 5~6 m 扩展至 10 m，即便在 10 m 的最大探测距离下，其测距精度仍能稳定保持在厘米级（ ± 1 cm），这一精度水平足以满足车辆在狭窄车位泊车时对距离把控的严苛要求。

2. 系统集成度提高

在智能驾驶系统向“域集中”架构演进的趋势下，超声波雷达的系统集成度提升成为降低整车复杂度、优化能效的关键方向。传统超声波雷达多为独立模块，需通过单独的线束与车辆 ECU（电子控制单元）连接，不仅增加了车身布线的复杂度，还存在信号传输延迟、功耗较高等问题。而新一代超声波雷达模块则实现了与车辆域控制器的深度集成，雷达模块直接作为域控制器的一个功能单元，通过车载以太网或 CAN 等高速通信协议与域控制器进行数据交互，省去了独立的控制单元与冗余线束。

综上，超声波雷达将继续在低速与近距感知领域发挥重要作用。随着换能器、信号处理与融合算法的持续改进，其在自动泊车、低速防碰撞等功能中的应用价值将进一步提升，并与其他传感器共同支撑智能汽车的全方位环境感知能力。



任务二 超声波雷达的装调



知识目标

1. 掌握超声波雷达安装规范与检测标准。
2. 理解超声波雷达标定原理，并能够掌握调试与标定方法。



能力目标

1. 能够按照规范独立完成超声波雷达的品质检测。
2. 能够使用相关设备完成雷达的基础性能测试与数据解读。



素养目标

1. 培养规范操作与安全意识。
2. 在安装、调试、标定等环节中，要求细致检查、反复验证，培养严谨、细致的工作态度，避免因疏漏导致问题。
3. 在多环节协作（如安装、调试、测试）中，强调团队协作能力，明确责任分工，培养责任意识和团队精神。



任务描述

本任务要求读者掌握超声波雷达规范的安装与测试流程。读者需依据质检标准完成超声雷达的品质检测。随后，结合实训环节，掌握自主泊车功能对超声波雷达的配置要求，包括超声波雷达选型与布置原则。

一、超声波雷达的品质检测

（一）超声波雷达的外部检查

1. 检查目的

通过目视或手触快速判定雷达在交付、装车或维护阶段是否存在外观缺陷或防护失效，避免后续影响感知功能。

2. 检查项目及方法

外部检查项目及方法如表 2-1 所示。

表 2-1 外部检查项目及方法

检查项目	方法	合格标准
外壳完整性	目视+手触	各部件外表面应光洁、平整，无凹痕、划伤、裂缝、变形、毛刺、霉斑等缺陷

