

车载感知融合标准化需求研究报告

全国汽车标准化技术委员会

智能网联汽车分技术委员会

2020年8月

目 次

1 感知融合技术概述.....	1
1.1 车载感知融合技术定义.....	1
1.2 车载感知融合技术的发展和问题.....	3
1.3 车载感知融合标准化研究的目的.....	4
2 感知融合需求.....	5
2.1 高速场景.....	5
2.2 城市道路.....	8
2.3 封闭园区.....	10
2.4 场景需求小结.....	12
3 典型传感器技术调研.....	13
3.1 毫米波雷达.....	13
3.2 激光雷达.....	20
3.3 摄像头.....	24
3.4 超声波雷达.....	29
3.5 网联传感器.....	31
3.6 小结.....	35
4 传感器抽象接口设计.....	37
4.1 传感器抽象接口通用设计.....	37
4.1.1 接口设计.....	37
4.1.2 传输架构需求.....	38
4.1.3 数据接口的定义范围.....	39
4.1.4 控制接口的定义范围.....	40
4.2 目标级别数据接口.....	41
4.2.1 可移动目标接口.....	41
4.2.2 道路目标接口.....	45
4.2.3 静态目标接口.....	52
4.3 特征级别数据接口.....	59
4.3.1 毫米波雷达.....	59
4.3.2 激光雷达.....	62
4.3.3 摄像头.....	64
4.3.4 超声波雷达.....	71
4.4 控制接口.....	74
4.4.1 传感器状态接口.....	74
4.4.2 传感器性能接口.....	77
4.4.3 传感器输入接口.....	80
4.4.4 传感器配置上报接口.....	81
5 系统问题分析和评估.....	84

5.1	车载毫米波雷达见干扰问题.....	84
5.2	雷达间干扰消除方案分析.....	85
5.2.1	被动式方案.....	85
5.2.2	主动式方案.....	86
6	标准化建议.....	95
6.1	传感器抽象接口.....	95
6.2	雷达干扰问题.....	95
7	总结和展望.....	97
附录	参考文献.....	99

全国汽车标准化技术委员会智能网联汽车分技术委员会发布

前 言

智能驾驶是一项庞大的系统工程，是多个领域前沿技术的融合体，其中涵盖芯片、操作系统、通信和云等ICT技术，感知、推理、决策控制等智能算法技术，以及驱动、转向、制动等车辆底层控制技术。其中车载感知融合模块是整个系统的最前端和输入，通过对周围环境包括其他交通参与者信息在数字世界中的重建，类似于人类感官器官来感知道路环境，是实现自动驾驶的基础和前提。

本研究报告集合行业主流技术供应商及车企，通过对产业发展、技术发展、法律法规及国内外标准进行分析，从智能驾驶的感知需求入手，结合各种智能传感器的特性，提出了具体的传感器抽象接口的标准化建议，同时对毫米波雷达大规模部署的干扰问题进行了深入分析，为下一步国家标准制定提供了参考。

在本研究报告编制过程中，各起草单位参阅了大量资料，并借鉴了行业的部分素材鉴于篇幅有限，这里不一一列举，仅作诚挚的感谢！

在此，再次衷心感谢参与研究报告编写的各个单位和组织：华为技术有限公司；中国汽车技术研究中心有限公司；重庆长安汽车股份有限公司；长城汽车股份有限公司；北京嘀嘀无限科技发展有限公司；东风汽车集团有限公司技术中心；神龙汽车有限公司；上汽大众汽车有限公司；厦门金龙联合汽车工业有限公司；奥迪（中国）企业管理有限公司；大众汽车（中国）投资有限公司；比亚迪汽车工业有限公司；国汽（北京）智能网联汽车研究院有限公司；吉利汽车研究院（宁波）有限公司；广州汽车集团股份有限公司；郑州宇通客车股份有限公司；中国第一汽车股份有限公司；惠州市德赛西威汽车电子股份有限公司；华域汽车系统股份有限公司；北京汽车研究总院有限公司；一汽解放汽车有限公司；北京百度网讯科技有限公司；泛亚汽车技术中心有限公司；中国汽车工程研究院股份有限公司；杭州海康汽车技术有限公司；金龙联合汽车工业（苏州）有限公司；福特汽车（中国）有限公司。

主要编写人：周铮、张行、夏媛、马莎、陈藜、端帅、王霖宇、王代涵、王宽、王天培、李建冰、武晓宇、程周、黎艳杨、钟守山、于太、王艳明、吴羽熙、刘强生、欧敏辉、陈波雷、赵乐、王欢、彭海东、罗瓊珞、卢红喜、金晨、王振男、祁玉晓、郭小飞、杨松超、崔茂源、彭晓宇、刘丽亚、罗贤平、伍小军、李

宏枫、朱春林、丁学如、赵维伟、韩宝广、彭伟、李晓晖、赵鹏云、邢恺、林成琳、祁金红、李春、聂石启、向小丽、刘嘉伟。

全国汽车标准化技术委员会智能网联汽车分技术委员会发布

1 感知融合技术概述

1.1 车载感知融合技术定义

汽车作为二十世纪最伟大的发明之一，成功的拉近了人与人之间空间距离，是过去百年间社会大发展的基础。在进入新千年后，随着软件、芯片处理、先进传感技术、通信技术、人工智能的技术发展，自动驾驶系统越来越引人关注。自动驾驶技术是传统汽车技术和信息通信技术融合的产物，汽车从一种交通工具，变成了一种出行服务，将来会从根本上改变人们的出行习惯和体验。

自动驾驶系统技术的整个技术框架可以类比人类驾驶员的驾驶过程，如图1，首先使用视频摄像头、雷达等多种传感器来感知周围的环境，感知模块通过对周围环境包括其他交通参与者信息在数字世界中的重建，类似于人类的眼，耳等感官器官来感知道路环境；然后利用智能计算平台来对当前汽车的行驶路线进行规划和决策，类似于人类大脑的决策过程；最终规划决策模块来驱动车辆的执行系统实现车辆的自动驾驶。

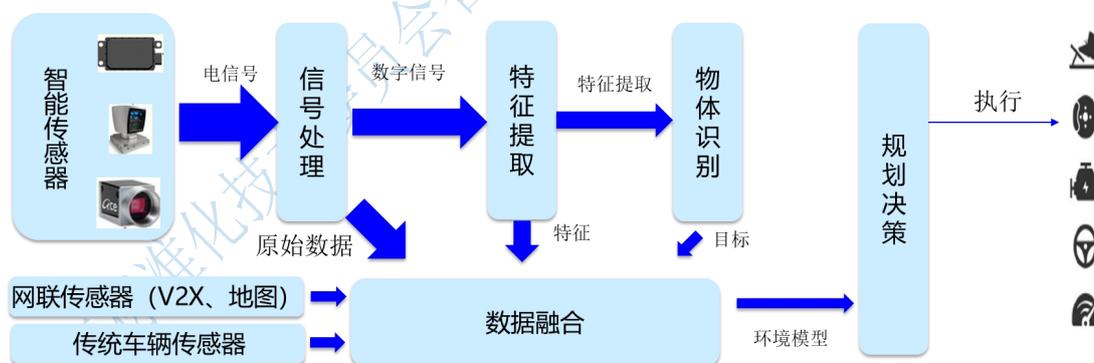


图 1 自动驾驶原理框图

自动驾驶技术不是一蹴而就的，是一个技术渐进发展的过程。GB/T《汽车驾驶自动化分级》根据人的参与程度不同，将现有的自动驾驶分为6个等级(L0-L5)，现在这种分类方法已经渐渐被大众广泛接受：

- Level 0: 车辆无任何自动控制功能，完全由驾驶员来操作。
- Level 1: 车辆具备横向或纵向其中之一的控制功能，如常见的自适应巡航ACC (Adaptive Cruise Control)，车道保持LKS (Lane Keeping

Support)等；

- Level 2: 车辆具备横向和纵向的组合控制功能，车辆在控制油门刹车的同时，也可以控制方向盘，但仍然需要驾驶员对系统负责。比如常见的交通拥堵辅助TJA(Traffic Jam Assist)，集成式巡航ICA(Integrated Cruise Assist)等；
- Level 3: 在一定条件满足时，车辆可以进行自动驾驶，此时并不需要驾驶员的参与，但在系统提示驾驶员重新接管时，驾驶员需要一定时限内重新介入；
- Level 4: 在一定条件满足时，车辆可以进行自动驾驶，此时并不需要驾驶员的参与，即使条件不满足时，驾驶员也不需要介入接管。这个等级可以视为特定场景下的自动驾驶。
- Level 5: 真正意义全工况全天候的自动驾驶。

现在商用的自动驾驶系统主要实现了L1-L2的功能，严格意义上讲，L1-L2并不属于自动驾驶，而只是高级驾驶辅助系统，旨在提高驾驶员的舒适性和安全性。现有的L1-L2技术都有特定的应用条件和控制范围，对环境的感知要求并不高，大多数可以通过单种传感器的感知来实现，驾驶员需要监控路面情况，随时接管进入全人工驾驶状态。以自适应巡航为例，车辆始终保持在一个车道，通过传感器的车辆距离测量信号，自适应巡航控制单元可以根据靠近车辆物体的移动速度判断道路情况，并控制车辆的行驶状态，而和前车的车距测量可以由毫米波雷达提供，不需要其他传感器的配合。随着汽车自动驾驶程度的提高，对环境感知的要求也不断提高，传统的单个传感器无法满足对复杂交通状态的准确识别。在现实情况当中，交通参与者多种多样，既包括路边建筑物，也包括信号灯、标志牌等交通设施；感知系统既识别运动的物体，也要识别静止的物体；物体的识别和跟踪不仅包含物体的轮廓，也包括速度等信息；同时要求感知系统在各种天气情况下都需要可靠的工作。由于不同物体表面存在多种不同的物体及其物质属性，不同传感器在不同天气状况的可靠性是不同的，没有一种传感技术可以在全天候下检测到所有可能的物体，并且以足够的精度从中获取多样化的物体类型和其他相关信息。例如激光雷达作为自动驾驶的重要传感器之一，但以激光雷达为主的自动驾驶方案在雨雪等天气状况下基本无法正常工作。所以整个自动驾驶技

术的感知模块不能依赖于单个传感器，需要引入多个传感器的协同。传感器的感知融合技术应运而生，所谓传感器的感知融合是指基于多种传感器的不同的感知特性，将多种传感器对环境感知信息进行融合，实现在数字世界对周围环境的准确重建。基于多传感器的感知融合技术是实现自动驾驶的基础和前提。

1.2 车载感知融合技术的发展和问题

车载感知融合技术主要包含两部分内容：一部分是感知技术，主要是通过不同感知技术把感知的环境数据转换为数字信号；另一部分是融合技术，即把不同传感器的数据中的信息进行融合，输出统一的环境模型，为规划决策提供有效输入。

现有的车载传感器种类繁多，大体上传感器分为内部传感器，外部传感器和元数据传感器三种：

- 内部传感器：这些传感器安装在汽车上或汽车内，并专注于车辆本身，测量汽车的动态状态。这些传感器的典型例子是陀螺仪，加速度计，转向角传感器，以及雨刮器活动传感器，转向指示器等；
- 外部传感器：这些传感器安装在汽车上或汽车内，专注于车辆周围环境，并测量汽车的环境。这些传感器的典型例子是雷达，激光雷达，超声波雷达，相机等，这类传感器技术涉及到光学，电学等各种相关学科；
- 元数据传感器：通常是指汽车外部的数据源，可以是云端的服务器或者其他车辆。这些传感器的典型例子是云数据，导航地图，V2X (Vehicle to Everything) 信息等。

各种传感器依赖于不同的学科技术，每种传感器会产生大量的感知数据。据英特尔公司测算，一辆配置了相机、雷达和激光雷达等传感器的自动驾驶系统，每天可以产生超过4000GB的数据。处理这样大量数据的计算技术和完成环境感知的感知技术是相对独立的两类学科，数据融合需要定位、车辆位置、车辆动力学、对象、环境中的对象、车队轨道、网格融合、占用网格、道路和车道融合、道路和车道、车辆数据库等多种信息的输入。高性能的数据融合算法需要大量的计算模拟来实现高性能高可靠的算法设计，从而构建一个“真实”的世界模型。

每种传感器有自己的接口格式，即使同种传感器，不同厂商的输出接口也各不相同。融合算法实现大规模计算模拟处理如果没有一个标准的输入，高性能的算法需要适配不同厂家的传感器接口和输入，这样会增加算法设计的复杂性，不利于整个自动驾驶技术的发展。通过标准化的接口设计，可以使得每种传感器遵循标准的输出格式和信息，有利于算法研究人员有更多的时间来进行融合算法的研究，同时也可以简化整个自动驾驶的设计，加快自动驾驶的进程。

国外厂商已经意识到传感器接口对整个自动驾驶技术发展的重要性，在国际标准组织ISO（International Organization for Standardization）和AUTOSAR（AUTomotive Open System ARchitecture）中已经开始进行了传感器抽象接口的标准化研究和制定工作。其中最具有影响力的是在ISO TC22 SC31中启动的ISO 23150（Road vehicles — Data communication between sensors and data fusion unit for automated driving functions — Logical interface）的研究，项目从2018年4月开始立项，正在进行外部传感器（雷达，激光雷达，摄像头和超声波雷达）和融合模块之间的逻辑接口设计。

1.3 车载感知融合标准化研究的目的

本研究课题通过对自动驾驶场景的深入分析，包括高速场景、城市道路和低速园区的自动驾驶场景的感知需求，考虑外部传感器和元数据传感器的不同特性和可能的干扰和影响传感器性能的因素，调研和设计不同传感器和融合模块之间的接口设计需求和方案，给出传感器抽象接口的标准化建议。

本课题中的传感器首先关注毫米波雷达，激光雷达，摄像头和超声波雷达四类外部传感器和网联类型传感器，包括V2X和地图等。

2 感知融合需求

2.1 高速场景

高速巡航是指包含所有的高速公路和城市快速路以及连接处，互通枢纽上实现的巡航功能，是整个高速自动驾驶功能的统称。

对于高速场景的环境感知需求包括道路、匝道、道路施工、特种车辆等，例如高速/一级公路中的地面限速、交通辅助标志(车辆类型、天气标志)、紧急停车位标志、车道线、限高标志、限高围栏、隧道、桥梁；匝道中的匝道分离指引、匝道的隔离线、匝道限速牌等；道路施工相关的LED限速牌、道路箭头指引(含电子牌)、分流的雪糕筒、认为的分流边界、一般车辆附件三角警示牌、施工或作业车辆车位警示牌等；特种车辆包括作业车辆(拖车工况)、大型运输车辆、相邻车道切入车辆等。

从功能角度分，高速巡航可分解成多个子场景如：自适应巡航、紧急制动、变道和盲区检测，车道保持辅助，车道偏离预警等。下面简单以部分传感器为例，介绍了自适应巡航、紧急制动、变道和盲区检测、车道偏离预警和车道保持辅助等子功能。下面场景中用到的传感器只是实现举例说明，并不限制实际使用中其他传感器组合实现相同功能。

• 自适应巡航ACC

1. 本车车道前方没有其他车辆，由传感器（如中远距离毫米波雷达，下面也以毫米波雷达为例）探测到本车前方没有目标，ACC系统支持车辆在本车道保持设定速度行驶；
2. 本车车道前方出现目标车辆，目标车辆车速低于本车车速，两车车间距在减小，通过前方毫米波雷达实时监测本车与前方车辆的距离 d ，并根据当前车速计算车间时距 t ，在到达最小车间时距前，本车不采取制动，车辆保持设定速度；
3. 本车车道前方出现目标车辆，目标车辆车速低于本车车速，两车车间距在减小，当车间时距减小到最小时距时（根据ISO 15622-2018，在车速高于 8m/s 时，稳定车间时距 t 应该在 $[1.5, 2.2]$ 秒之间），本车跟随目标车行驶。或目标车加速，但速度仍小于本车ACC设定的速度，则本车加速保持

跟随状态；

4. 本车车道前方目标车加速，并且车速高于ACC系统设定的速度，或前方目标车换道驶入其他车道，此时本车工况恢复到第一条所述，本车前方毫米波雷达未检测到任何目标车辆，则本车提速到设定速度行驶；
5. 本车驶入弯道（前提是弯道曲率半径符合高速路设计标准），前方固定方向和角度的毫米波雷达检测范围有可能无法覆盖本车道前方车辆，需要驾驶人介入车速控制；

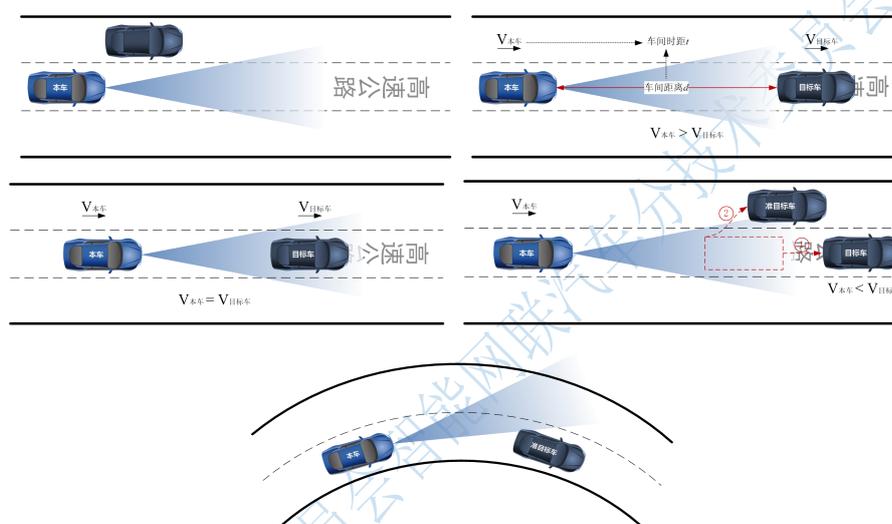


图 2 自适应巡航

• 紧急制动AEB

在本车正常行驶过程中，前方车辆突然减速，使得车间时距快速减小，或是突然出现的其他障碍物，对本车前行造成威胁的情况，通过传感器如毫米波雷达检测到上述情况，触发本车AEB功能，使本车紧急制动，如图3所示；

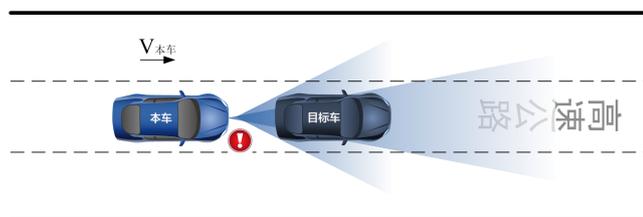


图 3 紧急制动

• 变道和盲区监测

在高速公路完成变道的过程，通常使用到盲区监测功能，前方路况主要

通过驾驶人判断，前方侧向毫米波雷达可以探测前方拟变道车道的障碍物情况，后方侧向毫米波雷达可以探测拟变道车道后向路况，实现后视镜盲区工况的监测，前后角雷达有效辅助驾驶人完成变道，如图4所示；

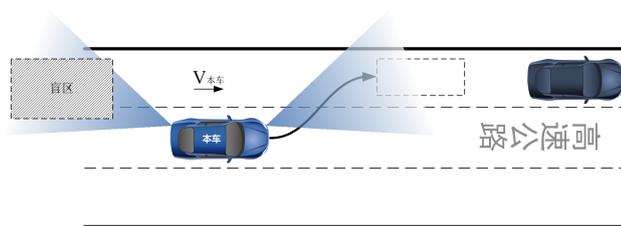


图 4 变道和盲区监测

- 车道偏离预警和车道保持辅助

通过本车前方的摄像头，实时获取前方行驶视频，并通过计算机视觉技术提取车道线，并赋予语义信息，实时监测本车行驶方向和车道线方向的偏差，据此可以完成车道偏离预警LDW和车道保持辅助LKA两项辅助驾驶功能。当本车偏离本车车道发出预警给驾驶人，或将偏移信息处理后传输给转向控制系统，从而适当修正方向，使得车辆保持在车道中间行驶，如图5所示：

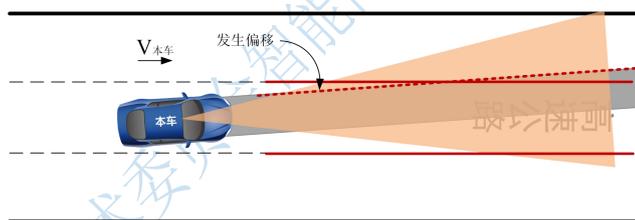


图 5 车道偏离预警LDW&车道保持辅助LKA

在前面的场景中也提到了毫米波雷达，毫米波雷达的使用频率是共享的，而且根据不同的精度占用的频率宽度也不同，即精度越大所占有的频率越宽，而整个共享的带宽是有限的，所以在高密度场景下，车载毫米波雷达的干扰就大大增加。雷达的基本任务是发现目标并测定其坐标。通常目标的回波信号中总是混杂着噪声和各类干扰，而噪声和各种干扰信号均具有随机特性。检测系统的任务是对输入信号进行必要的处理和运算然后根据系统的输出来判断输入是否有信号存在它可用门限检测来描述。检测过程中，由于门限取值的不同产生的错把噪声检测成了目标，这类错误称之为虚警，出现的概率称为虚警概率；反之，错把信号当成了噪声，称为漏检或漏警，相应出现概率为漏检概率。在现有毫米波雷达未大规模应用的情况下，毫米波雷达之间的干扰无法正常工作的情况也是时有发生

生。由此可见在毫米波雷达的大规模模式情况下（高阶自动驾驶系统可能需要6+的毫米波雷达），共享频率的毫米波雷达之间的干扰问题将越来越突出。

综合前面的场景描述和分析，总结的高速场景的感知需求如表1所示：

表格 1 高速场景感知需求

子场景/功能名称	感知需求	干扰信息	感知传感器组合示例
自适应巡航	本车道前方车辆距离、速度；	前车后向雷达对后车前向雷达的干扰	1. 毫米波雷达 2. 毫米波雷达+单目摄像头 3. 激光雷达+摄像头
自动紧急制动	本车道前方车辆的距离、速度和碰撞时间	前车后向雷达对后车前向雷达的干扰	毫米波雷达
变道	前方相邻车道是否是变道条件；	其他车雷达对本车前向雷达的干扰	毫米波雷达
盲区监测	后方盲区道路车辆情况；	其他车雷达对本车前向雷达的干扰	毫米波雷达
车道保持辅助	本车是否偏离车道线行驶	围栏投影阴影(误识别车道线)；在进入隧道前，视频无法预测的车道信息	摄像头
车道偏离预警	当车辆偏离本车道，及时发出警告	围栏投影阴影(误识别车道线)；在进入隧道前，视频无法预测的车道信息	摄像头
超车	前方相邻车道是否存在超车条件，本车道前方车辆速度；	其他车雷达对本车前向雷达的干扰	毫米波雷达+摄像头
交通拥堵辅助	高速公路发生拥堵的情况下感知周围车辆；	其他车雷达对本车前向雷达的干扰	毫米波雷达+超声波雷达+摄像头
交通设施感知	道路、匝道、道路施工、特种车辆	障碍物遮挡，标识模糊不清，恶劣天气	摄像头

2.2 城市道路

城市道路场景是在城市中除了高速公路和城市快速路外的城市道路中执行自动驾驶的场景。支撑城市道路自动驾驶的功能和高速巡航的子功能基本相同，

同样包含自适应巡航、自动紧急制动，变道，盲区监测，车道保持辅助，车道偏离预警，超车和交通拥堵辅助等。这部分的功能和要求和高速基本相似，只是行驶速度的略有不同。与此同时，城市道路面临的路况更加复杂，对于感知的内容和准确性要求也越来越高：

- 交通参与者：除了各类汽车，交通参与者也越来越复杂，包括行人，骑行者，电动自行车，摩托车，轮椅，人力车，畜力车等；
- 交通信号标志：交通信号也多种多样，如各式各样的信息和指示牌，包括单行线，禁行标志，警示标志，各种类型的交通指示灯；
- 道路标线：城市道路中有众多的类型十字路口和环岛，同时也有公交车道，分时限制车道等。

基于城市道路的不同特点，城市道路的自动驾驶增加了路口掉头、环岛行驶、障碍物制动\避让、驾驶员注意力\疲劳提醒、交叉路口路权判断和夜间行驶等场景。基于城市道路的感知总结如下表2：

表格 2 城市道路感知需求

子场景/功能名称	感知需求	干扰信息	感知传感器组合示例
自适应巡航	本车道前方车辆距离、速度；	前车后向雷达对后车前向雷达的干扰	1. 毫米波雷达 2. 毫米波雷达+单目摄像头 3. 激光雷达+摄像头
自动紧急制动	本车道前方车辆的距离、速度和碰撞时间	前车后向雷达对后车前向雷达的干扰	毫米波雷达
变道	前方相邻车道是否是变道条件；	其他车雷达对本车前向雷达的干扰	毫米波雷达
盲区监测	后方盲区道路车辆情况；	其他车雷达对本车前向雷达的干扰	毫米波雷达
车道保持辅助	本车是否偏离车道线行驶	围栏投影阴影(误识别车道线)；在进入隧道前，视频无法预测的车道信息	摄像头
车道偏离预警	当车辆偏离本车道，及时发出警告	围栏投影阴影(误识别车道线)；在进入隧道前，视频无法预测的车道信息	摄像头
超车	前方相邻车道是否存在超车条件，	其他车雷达对本车前向雷达的干扰	摄像头+毫米波雷达\激光雷达

	本车道前方车辆速度；		
交通拥堵辅助	高速公路发生拥堵的情况下感知周围车辆；	其他车雷达对本车前向雷达的干扰	毫米波雷达+超声波雷达+摄像头
交通设施感知	道路、匝道、道路施工、特种车辆	障碍物遮挡，标识模糊不清，恶劣天气	摄像头
路口掉头	车道线+前方对向车辆识别	其他车雷达对本车前向雷达的干扰	摄像头+毫米波雷达\激光雷达
环岛行驶	停止线+四周车辆识别	其他车雷达对本车前向雷达的干扰	摄像头+毫米波雷达\激光雷达
障碍物制动\避让	车辆 cut-in/cut-out、车辆/行人/障碍物距离与碰撞时间	其他车雷达对本车前向雷达的干扰	1. 毫米波雷达+摄像头 2. 激光雷达 3. 摄像头+超声波雷达
驾驶员注意力\疲劳提醒	驾驶员视线方位 驾驶员眼睛疲劳状态		摄像头
交叉路口路权判断	交通参与者位置、速度等识别	其他车雷达对本车前向雷达的干扰	摄像头+激光雷达+毫米波雷达
夜间行驶	行人+自行车+摩托车+动物		摄像头（红外）

2.3 封闭园区

低速园区

低速园区场景是在特定园区范围内，车辆在遵守园区交通规则（限速，红绿灯以及车道等）下进行自动驾驶。通常情况下园区和城市道路相比，速度更低，但是封闭场景，道路环境相对稳定。在园区内，自动驾驶系统对自动驾驶路径中的行人、车辆以及其他障碍物等进行避障等操作，实现跟车及车道保持功能；针对前车的突然刹车可以做出有效判断，可以实现超车及绕道行驶功能。在低速园区内，自动驾驶的场景和功能可分解为以下几个部分，具体的感知的总结见表3：

- 交通设施感知：识别驾驶环境中的交通标识和设施
- AEB/绕道超车/会车/障碍物避让：识别驾驶环境中的障碍物信息以及预测轨迹
- 特定点接驳/自车定位：自身车辆的绝对位置定位
- 车道保持：保证自身车辆在当前行驶车道行驶

表格 3 低速园区感知需求

子场景/功能名称	感知需求	干扰信息	感知传感器组合示例
交通设施感知	道路交通标线、道路交通标志以及信号指示灯	障碍物遮挡，标识模糊不清，恶劣天气	摄像头
AEB/绕道超车/会车 /障碍物避让	检测并识别行驶道路上的交通参与物如行人、自行车、电动车和机动车等，以及交通路障如锥形桶、围栏、闸机以及停车位地锁等障碍物信息	障碍物遮挡，高速运动障碍物，恶劣天气	摄像头 + 毫米波 + 激光雷达
特定点接驳 / 自动驾驶定位	车辆定位信息，车辆周围障碍物信息，车辆朝向及运行轨迹等	复杂环境干扰，恶劣天气	摄像头+激光雷达+IMU和GPS
车道保持	车道线相对于自车的位置，以及车道线属性	车道线标识模糊不清，多类别车道线，恶劣天气	摄像头

自主泊车

驾驶员在特定位置（接驳点，地库入口等）下车后，车辆自动驶入停车库并搜寻车位，搜寻到合适车位后（多个车位可使驾驶员确认某一个泊车位或根据规则选择最合适泊车位），车辆自动驶入泊车位；驾驶员可以远程启动停车位内的车辆，车辆在自动驾驶情况下驶出到特定接驳点。在自主泊车场景中，可以分为以下两个部分，感知需求的总结见表4：

- 全自动泊车/停车位搜索：搜索自车附近车位并确定是否被占用
- 全自动泊车/停车入、出库：控制车辆驶入/驶出，避障

表格 4 自动泊车感知需求

子场景/功能名称	感知需求	干扰信息	感知传感器组合示例
全自动泊车/停车位搜索	检测车位内有无障碍物，例如地锁	泊车位尺寸及类型不规范，磨损不清，遮挡等。恶劣环境干扰	环视摄像头+超声波/毫米波雷达
全自动泊车/停车	障碍物感知	高速移动障碍物，恶劣	前视/环视摄像头+超声

入、出库	环境	波/毫米波/毫米波雷达
------	----	-------------

2.4 场景需求小结

在本章中，着重从不同道路状况的驾驶场景进行场景符合功能分解，高阶自动驾驶功能都可以分解为不同的低阶的自动驾驶功能，在组合过程对整个系统的性能和可靠性都提出了更高的要求。从各种感知场景来看，各个场景中均要求感知系统能感知包括不同类型的交通参与者，各种各样的道路交通标志，各种道路标线和道路类型。与此同时，对整个感知系统的性能和抗干扰性也提出了很高的要求。感知需要适应不同的天气情况，复杂的道路状况（标志标线模糊等），精确迅速感知移动障碍物等。与此同时，特别针对毫米波雷达大量使用情况下，由于雷达之间干扰造成的传感性能影响如虚警和漏警等，也是需要在后续的研究工作中重点考虑的。

在现有的感知组合当中，没有一个传感器可以适应全工况，全天候的环境感知，这就需要对于各种传感器的不同特性，取长补短，通过不同传感器的信息融合来提高感知的性能和可靠性。信息融合的性能依赖于高质量的融合算法，高质量的算法需要长时间大数据的迭代，在这个过程中传感器输入融合算法的标准格式尤为重要，否则融合算法要根据不同传感器输入来调整会大大制约其发展和演进。由此可见，传感器和融合模块之间的接口的标准化对于整个自动驾驶技术的发展起着至关重要的作用，是整个稳定可靠自动化驾驶服务的前提。

3 典型传感器技术调研

3.1 毫米波雷达

毫米波雷达，是工作在毫米波波段（millimeter wave）探测的雷达。通常毫米波是指30~300GHz频域（波长为1~10mm）。毫米波雷达因频段介于厘米波与光波间，所以同时具备光波导与电磁波导特性，在军事领域已被广泛应用。近年来，随着人工智能的兴起无人驾驶汽车获得了越来越多的关注，为了精确掌握现实中复杂的交通状况，车载毫米波雷达技术发展逐渐成熟，目前已成为先进驾驶辅助系统关键传感器之一。相较于车载摄像头与激光雷达，毫米波雷达受天气、光线及尘埃等影响程度较低，故其探测稳定度较佳，是自动驾驶技术的重要一部分。

工作原理

毫米波雷达的工作原理如图所示，首先通过振荡器产生线性调频连续波或三角波，经由发射机发射，再由天线定向辐射出去，在空间以电磁波形式传播，当遇到目标时反射回来。接收机接收目标反射信号，再经过信号处理、数据处理即可得到目标的相关信息，最后可通过显示器将目标信息显示出来。下面对雷达如何计算得到目标的位置、距离、角度做具体阐述。

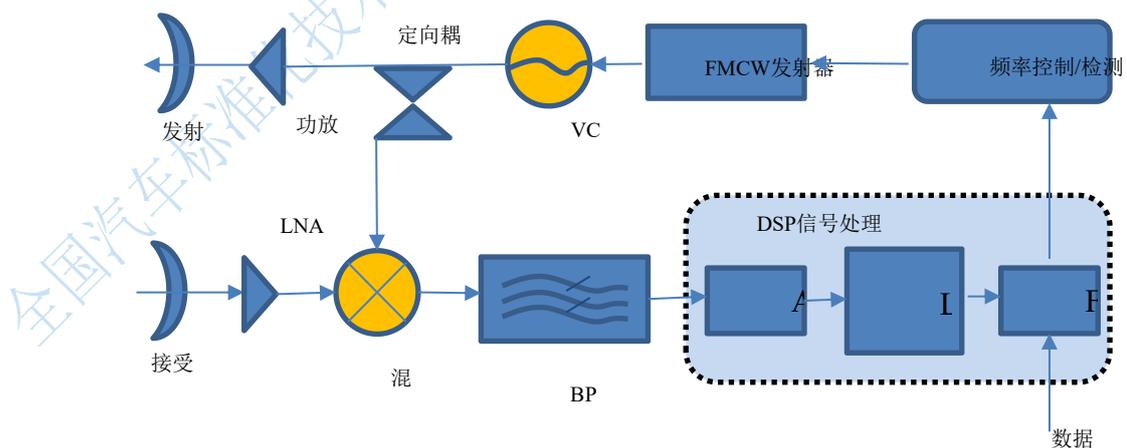


图 6毫米波雷达工作原理

目前通用的毫米波雷达主要是调频式连续(FMCW)雷达。成本低廉、结构相对简单。调频连续波模式利用多普勒效应测量得出不同距离的目标的速度。它通过发射源向给定目标发射微波信号，并分析发射信号频率和反射信号频率之间的差

值，精确测量出目标相对于雷达的运动速度等信息。

- 位置

毫米波雷达发射天线发出相应波段的有指向性的毫米波，当毫米波遇到障碍目标后反射回来，通过接收天线接收反射回来的毫米波。根据毫米波的波段，通过公式计算毫米波在途中飞行的时间，再结合电磁波传播速度，就可以知道毫米波雷达(本车)和目标之间的相对距离了，同时也就知道目标的位置。

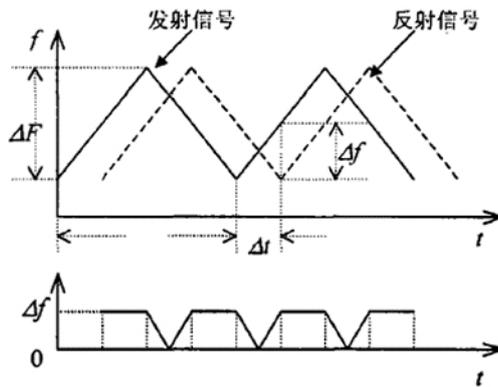


图 7 静态下毫米波的测量原理

发射信号与接收信号存在时间差 Δt ，与目标距离为 R ，则：

$$\Delta t = 2R/c$$

，其中 c 为光速。

发射信号与接收信号的频率差值即为混频输出的中频信号频率 Δf ，

根据三角形关系得： $\Delta t/\Delta f = \frac{T}{2/\Delta F}$ ，其中 T 为调制三角波周期， ΔF 为调频带宽。

联立两式得： $R = \frac{cT}{4\Delta F} \Delta f$

- 速度

根据多普勒效应，毫米波雷达的频率变化、本车及跟踪目标的相对速度是紧密相关的，利用反射回来的毫米波频率的变化，便可获得前方实时跟踪的障碍物目标和本车之间的相对运动速度。

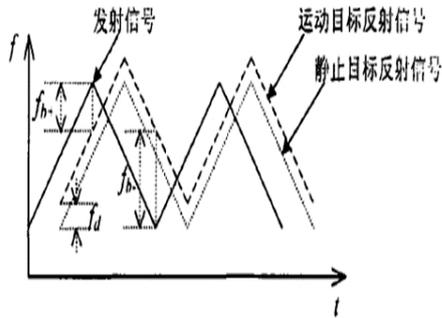


图 8 动态下毫米波的测量原理

如果反射信号来自一个相对运动的目标，则反射信号中包括一个由目标的相对运动所引起的多普勒频移。在三角波的上升沿和下降沿输出中频率可分别表示为：

- $f_{b+} = \Delta f - f_d$
- $f_{b-} = \Delta f + f_d$

由静态距离公式及多普勒频移公式原图可得：

- $f_{b+} = \frac{4\Delta F}{cT} - \frac{2fv}{c}$
- $f_{b-} = \frac{4\Delta F}{cT} + \frac{2fv}{c}$

联立以上公式，可求得目标的距离和位置表达式如下：

- $R = \frac{cT}{8\Delta F} (f_{b-} + f_{b+})$
- $v = \frac{c}{4f} (f_{b-} - f_{b+})$

因此，在实际应用中，不管目标是处于相对运动还是相对静止，只要分别求出调制三角波在上升沿和下降沿的中频信号的频率，就可以利用以上两式来计算目标的距离和速度信息。

- 方位角

毫米波雷达发射天线定向发射相应波段的毫米波，当毫米波遇到障碍目标后反射回来，通过并列的接收天线接收同一监测目标反射回来的毫米波，根据它们的相位差计算出被监测目标的方位角。其原理如下图所示：

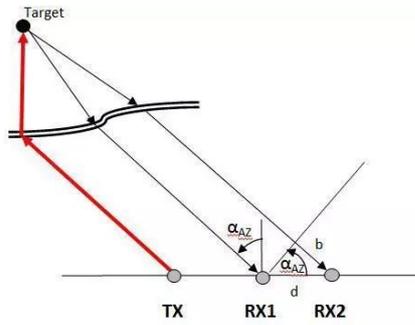


图 9毫米波雷达测方位角原理

首先获得毫米波雷达并列接收天线RX1和接收天线RX2之间的几何距离 d ，以及两根天线收到反射回波的相位差 b 。然后，利用三角函数进行计算，便可得到被监测目标的方位角 α_{AZ} 。

传感器的优缺点

优点：

- 1) 精度高抗干扰：毫米波雷达有更窄的波束(一般为毫弧度量级)，可提高雷达的角分辨能力和测角精度，并且有利于抗电子干扰、杂波干扰和多径反射干扰等。
- 2) 全天时全天候：毫米波有很强的穿透能力，其测距精度受雨、雪、雾、阳光等天气因素和杂声、污染等环境的影响较小，具有全天候全天时的特点。
- 3) 高分辨多目标：由于工作频率高，可能得到大的信号带宽(如吉赫量级)和多普勒频移，有利于提高距离和速度的测量精度以及分辨能力，并能分析目标细节特征。同时，毫米波雷达能分辨识别很小的目标，并能同时识别多个目标，因此具有很强的空间分辨和成像能力。
- 4) 敏感高误报低：毫米波雷达不易受外界电磁噪声的干扰，因此具有较高的系统敏感性，并且错误误报率低。
- 5) 高频率低功率：毫米波雷达具有更高的发射频率，更低的发射功率。
- 6) 可测速可测距：利用FMCW调频连续波，能同时测出多个目标的距离和速度，并可对目标连续跟踪，甚至能对静止目标保持跟踪不丢失。

7) 探测距离远实时性高:毫米波雷达能够进行 200 米的远距离测量,同时,70ms 以下的检测周期使得它具有极强的实时性。

缺点:

1) 受空气谐振影响:毫米波波段存在若干衰减峰频段对空气敏感度较高。

2) 毫米波雷达视场角较小,径向距离及速度测试精度高,但切向测距误差较大。

3) 对金属、运动物体探测物敏感,对非金属、静止物体探测不敏感。

4) 毫米波雷达对周边所有障碍物无法进行精准地建模,目标识别难度较大。

5) 受大功率器件和插损的影响会降低毫米波雷达的探测距离,加工精度相对要求高,单片收发集成电路的开发相对迟缓。

应用场景:

毫米波雷达的应用场景下图所示包括一下场景和功能,在前面一章的感知需求和传感器的组合示例中也已经做了相关的描述:

1) 防碰撞预警系统 (FCW),通过毫米波雷达监测车辆周围物体的距离,及时发现存在碰撞危险的情况;

2) 自适应巡航系统 (ACC),通过毫米波雷达对车辆前方的可行驶情况进行判断,支持车辆自适应纵向控制;

3) 紧急制动 (AEB),通过毫米波雷达测量前方障碍物距离,在发生碰撞危险前或碰撞不可避免时,采用紧急制动以避免或减轻碰撞伤害;

4) 盲区监测 (BSD),通过后向毫米波雷达监测车辆后方盲区情况,可以帮助驾驶人对后向路况做出基本判断;

5) 开门预警 (DOW),通过毫米波雷达实时观察后向来车,保障人员下车安全;

6) 倒车辅助系统 (BPA),通过毫米波雷达实时观察后向来车,用于倒车时告知侧方及后方来车。倒车出库时,识别并报警来自左右的车辆,辅助倒车。

7) 变道辅助 (LCA),通过毫米波来监控本车侧后方的区域,可以在一定范围内探测到邻近车道上其它的车辆当前位置、行驶速度、行驶

方向。如果一辆车处于视角盲区位置或以很快的速度从后面接近本车，那么车外后视镜上的警告信号就会一直亮着来提醒司机。如果此时司机操纵了转向灯，那么车外后视镜上的警告信号就会闪烁，提醒司机有撞车的危险。

8) 泊车辅助 (PA)，通过毫米波雷达在倒车时，探测车辆周边情况，辅助驾驶员进行安全泊车。

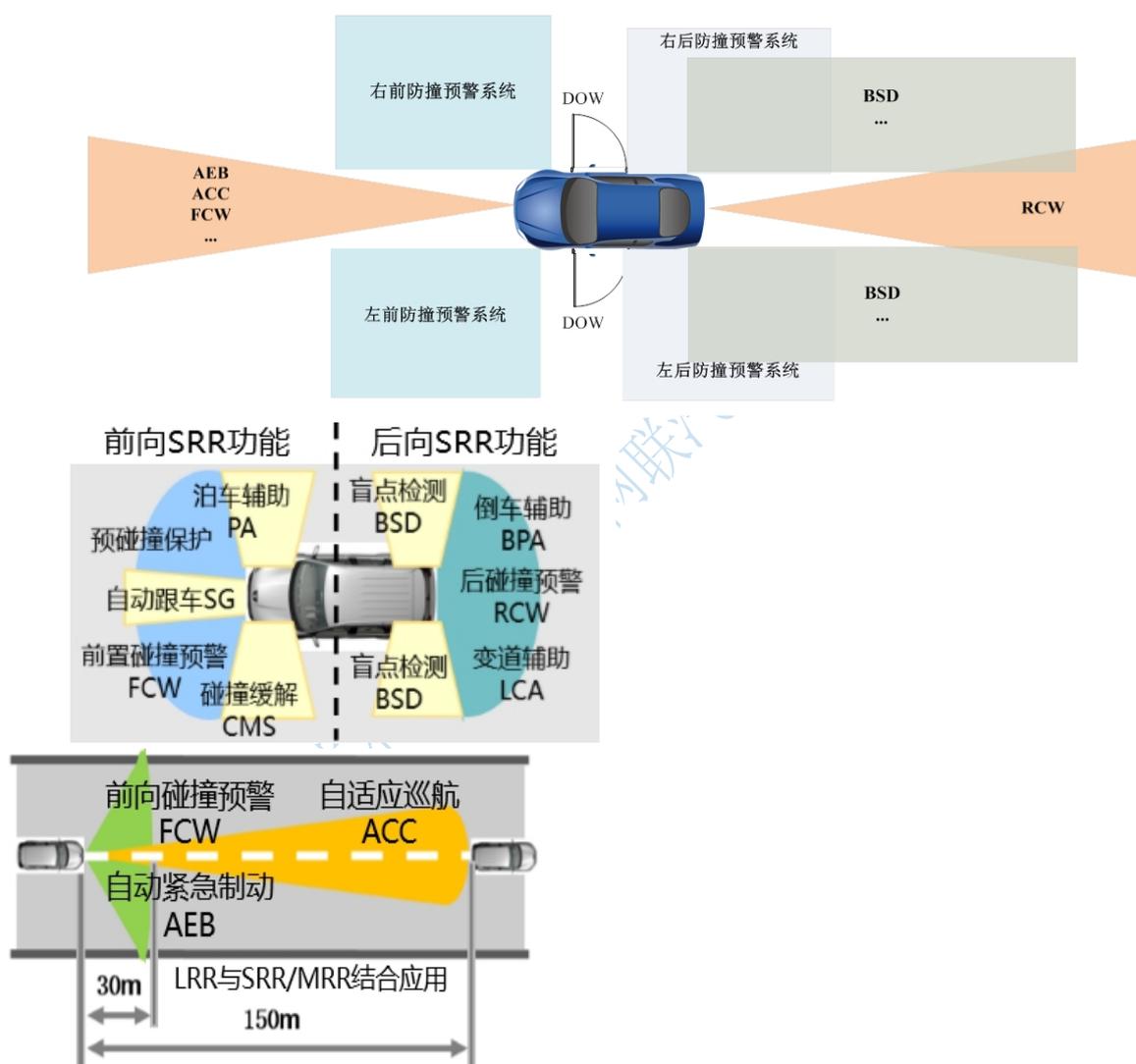


图 10毫米波雷达应用场景

产品现状和发展趋势：

2005~2013年，欧盟将24GHz、79GHz作为车载毫米波雷达的频谱，而美国使用24GHz、77GHz频带，日本选用了60~61GHz的频段。随着世界范围内76~77GHz毫米波雷达的广泛应用，日本也逐渐转入了79GHz毫米波雷达的开发中。各大国的车载雷达频段主要集中在在23~24GHz、60~61GHz和76~77GHz(79GHz)

3个频段，而世界各国对毫米波车载雷达频段使用的混乱情况使得汽车行业车载雷达的发展受到了限制。从我国的情况看，无线电主管部门对车载雷达的频率划分一直在积极推进之中。2005年，原信息产业部就发布了《微功率（短距离）无线电设备的技术要求》，将76~77GHz频段规划给了车辆测距雷达使用。

经过调研，毫米波雷达的主要性能指标包含以下几个方面：

表格 5毫米波雷达产品主要性能指标

主要性能指标名称	范围				说明
工作频率	短距雷达24~24.25GHz、中长距雷达77~81GHz				
最大可检测目标数	几十到百量级				
检测距离范围	0.5~250m、0.5~80m				
接口	CAN/CANFD/Flexray				
电压范围	9~16V				
防水防尘等级	IP6K7				
消耗功率	<10W				
测量精度	距离	长距	±0.5m	短距	±0.5m
	速度		±0.12m/s		±0.12m/s
	角度		±0.5°		±0.5°
多目标区分能力	距离	长距	2.5m	短距	1.5m
	速度		0.25m/s		0.25m/s
	角度		3.5°		8°

毫米波雷达目前最大的“缺陷”是分辨率不高，无法辨识行人和对周围障碍物进行精准的建模，而分辨率智能雷达传感器对于实现高级自动驾驶是未来的发展趋势。有些毫米波雷达企业正着力于开发雷达的成像技术，为了给雷达“开眼”，各家企业各显神通，采用不同的技术进行了大胆的创新，其中表现比较突出的有：麦得威国际（Metawave）新一代成像雷达产品WARLORD和Arbe Robotics公司Ultres系统。前者采用了新型的超材料天线，能发射可操控的高度定向的电磁波束，同时在雷达产品中嵌入了AI引擎，以实现物体的发现、识别、跟踪和分类。而后者的雷达方案是基于数学算法的合成孔径雷达（SAR）成像技术，所谓SAR成像技术是指利用大带宽发射信号实现距离向高分辨率、利用相对运动等效长合成阵列实现方位向高分辨率的雷达成像技术。虽然目前相关技术有一定的进展，但是还有很多需要改进和完善的地方。相信这些技术和发展在不久的L4级和L5级自动驾驶系统上发挥重要作用。

数据处理模型

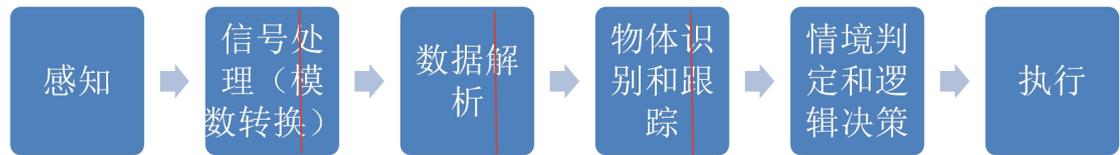


图 11毫米波雷达数据处理示意图

毫米波雷达的工作过程上图所示，根据以上处理模型，对信号处理模块（模数转换）到物体识别和跟踪之间毫米波雷达输出的数据格式作简要分析。

首先，通过天线接收目标反射回来的电磁波能量信号，然后对模拟的能量信号进行A/D采样输出离散的能量信号；

然后，对离散信号进行脉冲压缩、FFT变换、动目标检测（MTD）、恒虚警处理等一系列信号处理过程得到差拍信号之后即可提取出回波信号的飞行时间、多普勒频率、相位差等信息；

最后，进行物体识别和跟踪处理，根据回波信号的飞行时间、多普勒频率、相位差即可计算得到点目标的距离、速度、角度信息。再经过点云聚类算法、卡尔曼滤波跟踪算法对点目标进行处理，即可输出目标的位置、速度、尺寸大小、类型等信息。

表格 6 毫米波雷达产品输出格式

数据类型	数据格式和包含内容	分析 可以包括上报周期，带宽等
原始数据	毫米波雷达点云数据 距离、速度、角度数据	更新周期 $\leq 75\text{ms}$ 常用工作频率：24GHz、 77GHz
特征数据	点云分割后的特征点 距离、速度、角度数据	
目标数据	目标障碍物数据（类型、运动状态）	

3.2 激光雷达

激光雷达原理

激光雷达是一种工作在光学波段（特殊波段）的雷达，以激光作为载波，以

光电探测器为接收器件，以光学望远镜为天线，通过向外发射激光束，根据激光遇到障碍物后的折返时间、强弱程度等，计算目标与自己的相对距离、方位、运动状态及表面光学特性。激光光束可以准确测量视场中物体轮廓边沿与设备间的相对距离，这些轮廓信息组成所谓的“点云”并绘制出3D环境地图，精度可达到厘米级别。如图所示：

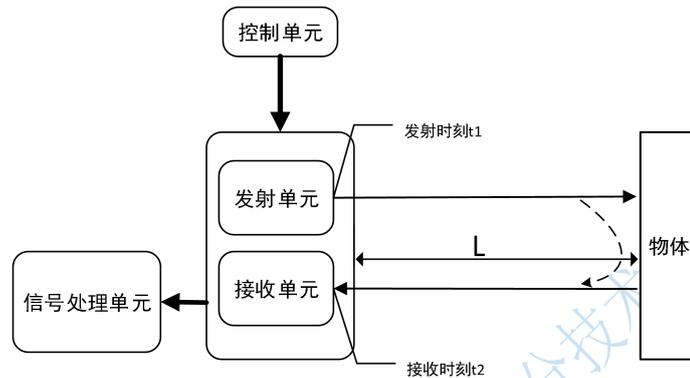


图 12 激光雷达原理

激光雷达测量距离L最常用的就是飞行时间法，通过测量激光脉冲在雷达和目标之间来回飞行时间获取目标距离的信息，其计算公式如式1，其中c为光速：

$$L = \frac{1}{2}c(t_2 - t_1) = \frac{1}{2}c\Delta t$$

从公式可以看出精度取决于时间，所以对接收单元的要求很高。如果做到1cm的精度可以推出对时间的测量精度达到0.067ns。

在激光测距方面还有相位测距、与三角测距。相位测距通过测量被强度调制的连续波激光信号在雷达与目标之间来回飞行产生的相位差获得距离信息，由于测量速度低，无法满足激光雷达实时性要求，激光雷达很少采用，经常应用于手持测距仪中。三角法通过测量激光照射点在相机中的成像位置获得距离信息，由于远距离测量精度低，车载激光雷达很少采用。

激光雷达的优缺点：

优点：

- 1) 距离、方位探测精度高，可同时跟踪多个目标，通过算法处理，能够对障碍物进行分类；
- 2) 方向性好，探测距离远，最大可达几百m；
- 3) 抗干扰能力强，稳定性相当高，鲁棒性好，激光属于直线传播、方向性好、光束非常窄，只有在其传播路径上才能接收到，所以干扰信号也很难进入激光雷达的接收机；
- 4) 获取信息量丰富，输出3D点云数据，可获取目标的距离、角度、反射强

度等信息；

5) 可全天时工作，不依赖于外界光照条件或目标本身的辐射特性。

缺点：

- 1) 容易受恶劣雨雪天气以及烟尘影响，直接影响激光雷达的测量精度，在恶劣天气及环境情况下，激光雷达的清洗存在困难；
- 2) 激光雷达目前成本高，体积大，设计使用寿命普遍较短，离满足车规级要求还存在一定的距离；
- 3) 激光雷达安全性目前存在风险，激光雷达发出去的激光本身是没有编码的，接收器无法识别接收信号的来源。激光雷达之间存在干扰，且可能会收到恶意模拟车辆、行人的信号，造成障碍物假象，干扰决策规划控制；
- 4) 传统激光雷达对线束数量要求较高，数据保真度随探测距离而下降。

应用场景

倒车侧后方盲点警示系统RCTA,使用激光雷达监测到盲区里出现的靠近车辆；
代客泊车，使用激光雷达高分辨率高精度特性精准定位障碍物，避免泊车寻迹途中发生碰撞；

高精度定位，使用激光雷达扫描三维环境，进行高精度定位；

车距监测与警告，使用激光雷达精准探测车距；

防碰撞预警系统，通过激光雷达监测车辆周围物体的距离，及时发现存在碰撞危险的情况；

自适应巡航系统，通过激光雷达对车辆前方的可行驶情况进行判断，支持车辆自适应纵向控制；

紧急制动，通过激光雷达测量前方障碍物距离，在发生碰撞危险前或碰撞不可避免时，采用紧急制动以避免或减轻碰撞伤害；

盲区监测，通过激光雷达监测车辆后方盲区情况，可以帮助驾驶人对后向路况做出基本判断；

开门预警，通过激光雷达实时观察后向来车，保障人员下车安全。

产品现状和发展趋势

现如今车载激光雷达按有无机械旋转部件主要分为机械激光雷达和固态激光雷达两类。机械激光雷达带有控制激光发射角度的旋转部件，而固态激光雷达则依靠电子部件来控制激光发射角度，无需机械旋转部件。目前机械式的设计造成其面对诸多不足：首先光路调试、装配复杂，生产周期漫长，成本居高不下；其次机械旋转部件在行车环境下的可靠性不高，难以符合车规的严苛要求。相比之下，由于固态激光雷达价格低廉，性能稳定，量产装配可以实现自动化，因此

固态激光雷达被认为是未来的主要方向。固态激光雷达目前大致形成了三种技术路线：MEMS、OPA与Flash，三种技术的比较如下表。

表格 7 固态激光雷达的三种技术路线

技术路线	MEMS	OPA	Flash
定义	微机电系统，将原本体积较大的机械旋转部件集成到硅基芯片上，由可以旋转的微振镜来反射激光器的光线，从而实现扫描。	光学相控阵，运用相干原理，采用多个光源组成阵列，通过控制各光源发射时间差，合成特定方向的光束，光束便可对不同方向进行扫描。	类似手电筒在短时间直接发出一大片覆盖探测区域的激光，再由高灵敏度的接收器，完成对环境图像的绘制。
优点	1. 无外部机械旋转部件，可靠性提高； 2. 体积小，容易集成； 3. 成本低，利于量产。	1. 没有任何机械部件，结构简单，体积小； 2. 扫描速度快，扫描精度高。	1. 光源发射端产业链成熟，有现成方案可用，而且在接收端，也可使用高速CMOS而不是复杂度更高的APD雪崩光电二极管，因此量产相对容易。
缺点	1. 寿命短； 2. 面积太小，难以解决光线接收的问题； 3. 上游元器件及半导体工艺不够成熟。	1. 阵列单元的尺寸必须小于500nm,对加工精度的要求高； 2. 扫描角度有限； 3. 接受面大、信噪比差。	1. 广泛的分散光，一下子就覆盖一个面，导致同样的功率下，它能探测的距离非常短且反射率的障碍物很难探测到。 2. 要加长探测距离需要加大功率，但这样辐射特别严重，会特别伤眼睛。

表格 8 激光雷达主要性能指标

主要性能指标名称	范围	说明
最大辐射功率	根据最大辐射功率，厂家为此分了5个等级 class1-class5	此参数意义为是否得到安全认证，是否需要做防护，一般将辐射功率分为若干等级，如果辐射功率过大，会对人造成伤害，影响安全。
水平视场角	20° - 360°	此参数意义为激光雷达在水平方面的检测范围。角度越大，水平方向检测范围越广。
垂直视场角	20° - 90°	此参数意义为激光雷达在纵向上的检测范围。角度越大，纵向方向检测范围越广。
测距精度	0.2 - 5cm	此参数代表在距离测量方面的精细度。
纵向分辨率和水平分辨率	0.08° - 0.4°	此参数代表在两个方向测量角度的精细度。
最远测量距离	20 - 300m	此参数代表在距离测量方面的能力。
测量时间/帧频率	5 - 25hz	此参数代表激光雷达的采集一帧数据的时间。

光源波长	905nm/1550nm	光学参数,发射器发射激光的波长,波长越长,探测距离远,穿透力强,但是有可能对人眼有一定伤害,还有成本问题,一般而言,长波长激光发射器较贵,大多数厂商用905nm,还有少部分是1550nm的。
------	--------------	---

数据处理模型

激光雷达的数据处理过程基本分为四个步骤,预处理、聚类分割、追踪、分类:

- 1、预处理:激光雷达拥有的多次回波技术可以把每一个反射回来的点进行标记(大地、透明、混乱和有效点)。
- 2、分割聚类扫描点:根据自车的运动,对扫描点进行分割和聚类,里面涉及到相关的点云处理算法。
- 3、目标追踪:目标追踪主要用到卡尔曼滤波等算法来获取目标的运动信息。
- 4、目标分类:根据属性和历史信息将障碍物分为人、大卡车、小汽车、自行车、未知的大目标、未知的小目标、未分类的。

根据激光雷达的数据处理模型,主要的数据输出格式如下表:

表格 9激光雷达数据处理模型及数据输出格式

数据类型	数据格式和包含内容
原始数据	同步时间、点云xyz坐标,目标反射强度、方位角度; 激光雷达点云
特征数据	轮廓线、距离、速度 点云分割后的激光点(包括路面点、静态障碍物点、动态障碍物点)
目标数据	移动目标、静态目标、车道标识(车道线、红绿灯)等

3.3 摄像头

摄像头原理

视觉传感器起源于生理视觉,是基于机器视觉的理论知识,并结合光学、微电子技术、计算机技术等知识及车辆运动特点而形成的。

对于自动驾驶系统的感知系统,视觉传感器是不可或缺的重要组成部分,相当于驾驶员的眼睛,是未来自动驾驶技术的发展重点。通过视觉传感器感知环境,并结合其它传感器(激光雷达、毫米波雷达、定位设备、超声波雷达等)的感知信息,完成车辆对所处环境的识别。

广义的视觉传感器主要是由光源、镜头、图像传感器、数模转换器、图像处

理器等组成。景物通过镜头投射到图像传感器（如CMOS和CDD）表面，图像传感器将目标的光信号转化为模拟电信号；再根据像素分布、亮度和颜色等信息，通过模数转换器转变为数字信号（CMOS图像传感器不需要A/D）；最后图像处理器通过对这些数字信号进行图像滤波与增强、灰度处理、自适应二值化、深度学习等算法处理，完成对目标和常规交通标识（包括车道线、斑马线、停止线、标识牌、交通信号灯）的检测、分类和识别；进而获得相应的识别信息并输出给自动驾驶系统。

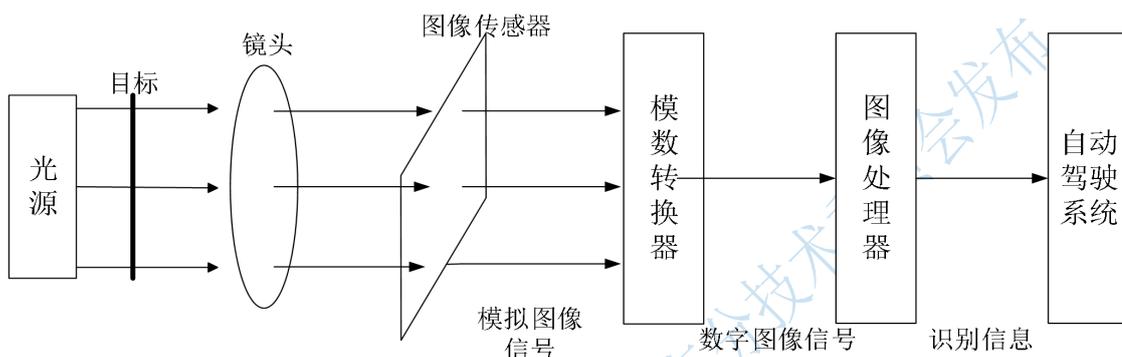


图 13 图像检测过程

目前智能驾驶摄像头主要分为单目摄像头、双目摄像头和鱼眼摄像头。

1. 单目摄像头工作原理

单目摄像头识别目前主要有两种检测算法：传统视觉检测算法和深度学习视觉检测算法。

传统视觉检测算法

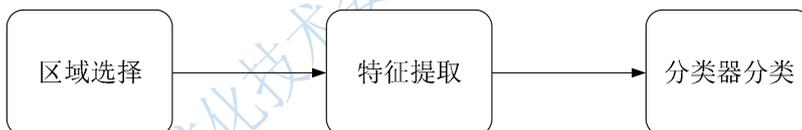


图 14 传统视觉检测算法过程

传统目标检测的方法一般分为三个阶段：首先在给定的图像上选择一些候选的区域，然后对这些区域进行特征提取的操作，最后使用预先训练好的分类器进行分类。

深度学习视觉检测算法

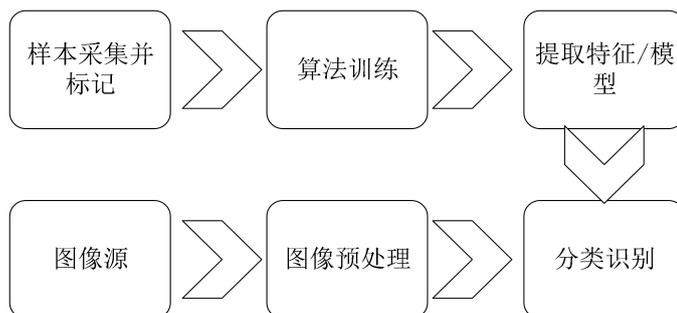


图 15深度学习视觉检测算法过程

深度学习解决方案需要将采集到一些图像，并标注图像中的各种物体，利用已经标注的目标信息训练深度学习AI算法模型；实际行驶在路上后，视觉模块能够根据摄像头实时采集的图像进行预处理优化，经过AI算法计算实现目标的检测、分类和识别。

2. 双目摄像头工作原理

双目摄像头与单目摄像头主要区别是测距的原理，单目摄像头测距原理通过近大远小的成像原理，同样大小的车辆在近距离可能是以90*60个像素显示，在远距离可能就是30*20个像素显示。

单目摄像头的测距原理就是根据目标库的先验信息（如车辆的长宽高），匹配检测目标像素大小，根据像素大小和焦距：

$$\frac{O}{S_1} = \frac{I}{f}$$

先验信息为O，I为像素数量，S1为前方目标实际距离，f为焦距，从而得出目标到摄像头的距离信息。可由单位时间内距离的变化推导出传感器与目标之间的相对速度。

双目摄像头识别原理如图，就是通过对两幅图像视差的计算，直接对前方景物（图像所拍摄到的范围）进行距离测量，而无需判断前方出现的是什么类型的障碍物。所以对于任何类型的障碍物，都能根据距离信息的变化得出相应的感知信息。

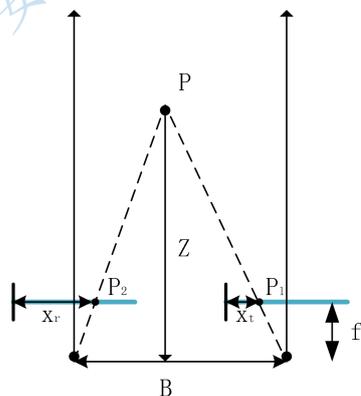


图 16双目摄像头测距原理

$$\frac{B}{Z} = \frac{(B + X_t) - X_r}{Z - f}$$

$$Z = \frac{B * f}{X_r - X_t}$$

P为被测目标，Z为被测目标距摄像头距离，B为两摄像头中轴线距离，Xr和Xt为目标分别在左、右相机图像投影点的图像坐标，f为焦距

3. 鱼眼摄像头工作原理

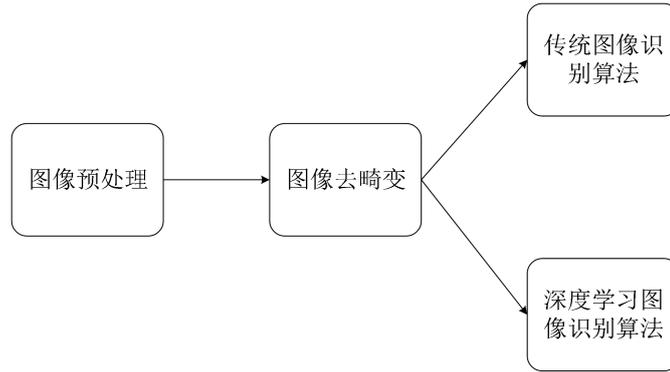


图 17 鱼眼摄像头工作原理

鱼镜头是一种短焦距（ $f=6-16\text{mm}$ ）大视场（视场角约为 180° 甚至 270° ）摄像镜头，其前面的透镜似鼓起的鱼眼。首先由鱼镜头得到的图像会经过灰度化处理、平滑处理、锐化和对比度扩展等图像预处理；之后由于鱼镜头有较大的视场角，由光学成像原理可知，焦距越短，视角越大，所产生的畸变也就越大。所以经过预处理后的图像就需要图像去畸变处理；最后使用传统图像识别算法或深度学习图像识别算法识别图像。

摄像头的优缺点

优点：

- 1) 横向距离分辨率较其他传感器（毫米波雷达）要高；
- 2) 对目标的分类能力是目前车载传感器中最好的；
- 3) 在可以识别车道线的传感器中，摄像头成本低于激光雷达；
- 4) 相较于其他传感器，摄像头是目前唯一可以识别交通标识的传感器；
- 5) 可以对环境进行识别，实现对雨雪等环境的识别；
- 6) 双目摄像头识别目标的距离精度较高；
- 7) 摄像头成本低廉，技术相对比较成熟。

缺点：

- 1) 天气对摄像头识别效果影响比较严重；
- 2) 大广角摄像头成像有镜头畸变，镜头畸变造成的图像失真对图像检测有较大影响；
- 3) 低动态的摄像头在光照变化强烈的场景下会造成代表某些区域的细节信息丢失；
- 4) 单目摄像头由于识别算法的受限，其识别距离的精度较差；
- 5) 单目摄像头的算法需要大量数据训练，并且不断更新和维护；
- 6) 双目摄像头对硬件的计算能力需求较大；
- 7) 相较于单目摄像头，双目摄像头的生产工艺难并且成本较大。

主要的应用场景

摄像头作为ADAS系统的主要传感器之一，主要应用于全景影像系统（AVM）、前碰预警系统（FCW）、自动刹车辅助系统（AEB）、移动物体检查系统（MOD）、车道偏离预警系统（LDW）、车道保持系统（LKA）等。

现有产品现状和发展趋势

车载摄像头应用广和成本低特性，将成为未来汽车智能化中使用最多的传感器。行业相关政策也同时驱动着车载摄像头的发展。美国国家公路交通安全局要求2018年5月1日以后生产的所有轻型车辆必须安装倒车后视摄像头。多家咨询机构都对未来全球车载摄像头的市场需求做了测算。HIS测算车载摄像头全球出货量将从2014年2800万枚增长至2020年的8270万枚。StrategyAnalytic预测2020年车载摄像头需求量将突破1.1亿颗，平均每辆车装配1颗以上。摄像技术发展可以分为两方面，一方面是在光学器件相关的硬件发展，另一方面是视觉的处理算法性能不断提升。

处理算法发展趋势：

- 旨在于提高模型的泛化能力，即提高模型对未出现过场景的处理能力；
- 利用小规模训练数据，完成深度学习；
- 全面的场景理解，即把识别到的目标同周围环境联系起来，找出目标与目标，目标与环境之间的联系。

摄像头硬件发展趋势：

- 转向动态图像传感器（DVS），使用更低的计算资源来实现实时处理能力；
- 低照度下感知能力持续提升；
- 像素密度持续增加；
- 面向自动驾驶的定制化设计，例如LED频闪消除、ISO26262标准的功能安全设计；
- 动态范围持续扩大（更大的明暗差别）。

表格 10 摄像头硬件性能

主要性能指标	范围	说明
分辨率	130-170MP	市场上主流产品范围
FOV	H: >45° V: >34.5°	鱼眼摄像头FOV接近或大于180°
动态范围	>120dB	大于120dB才能满足自动驾驶系统需求
输出频率	30-60FPS	市场上主流产品范围
信噪比	>41dB	—
工作电压	9 - 12V	—
温度范围	-20 - 85°C	—
功耗	<3W	—
功能安全水平	B以上	—

数据处理模型

摄像头的数据处理模型相对成熟，主要输出数据格式可以分为三个类型，即原始图像数据，特征提取和物体的识别和跟踪。具体的输出见下表：

表格 11 摄像头数据处理模型

数据类型	数据格式和包含内容	分析
原始数据	RGB/RCCB/RCCC/RAWRGB（数字矩阵）	常见帧率30FPS/36FPS/60FPS 带宽需求：较大
特征数据	轮廓线、特征点	带宽需求：中等
目标数据	目标位置、尺寸、速度、类型、置信度等信息	常见频率20HZ/36HZ 带宽需求：较小

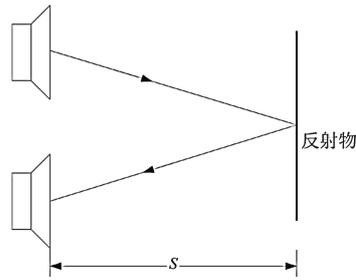
物体识别和跟踪：识别和追踪物体的类型、数量、位置、状态、距离、速度、加速度值，具体的检测目标见下表

表格 12 摄像头检测目标

分类	主要性能指标名称	范围
目标	车辆探测距离	白天跟踪距离：0-200m
	车辆纵向距离精度	< 15%
	目标分类	汽车，卡车，行人，自行车，三轮车等
	车辆速度精度	< 20%
	车辆角度精度	< 0.5°
	行人纵向探测距离	< 70m
	行人纵向探测距离精度	< 15%
	行人相对速度精度	< 4.0m/s
	行人角度精度	小于行人宽度的45%
车道线	车道线探测距离	5-140m(虚线/实线)
	直车道线	<1.5°
	弯曲车道线	车道线的偏移量<30cm
交通标识	交通标识最大探测距离	<50m
	交通灯距离	<150m
	交通灯分类	颜色：红黄绿 箭头：左、右、前

3.4 超声波雷达

超声波雷达是通过不断向汽车前方及车周发射超声波信号，当超声波遇到障碍物目标时会进行反射，通过反射回波来对前方目标进行探测，通过接收器接收到发送过来超声波时的时间差来测算距离。超声波测距原理图如下：



超声波探头与障碍物之间的距离计算公式 $s = \frac{T}{2} \times v_{\text{声}}$ 。式中： T 为超声波回波时间， $v_{\text{声}}$ 为超声波传播速度。

表格 13 超声波雷达数据处理模型

数据类型	数据格式和包含内容	分析 可以包括上报周期，带宽等
原始数据	脉冲信号	收发周期： $\leq (35\text{ms})^3$ 带宽：1KHz
特征数据	距离	
目标数据	障碍物距离	

传感器优缺点

优点：

- 超声波近距离盲区小；
- 超声波发射包络可调；
- 测距的方法简单，成本低。

缺点：

- 在速度很高情况下测量距离有一定的局限性，传播速度较慢；
- 超声波散射角大，方向性较差；
- 对温度敏感，精准测距需要温度补偿；
- 无法精确描述障碍物位置，多探头测试障碍物位置，精度不高。

主要应用场景

- 泊车库位检测，通过安装在车辆侧方的APA，识别车位；
- 自动泊车辅助(APA)/全自动泊车(AP)，通过安装在车辆侧方APA、前后方UPA探测障碍物；
- 盲区检测(BSD)，通过安装在车辆后方的超声波雷达，检测本车后方与侧面的车辆，并提示与报警；
- 倒车辅助，通过安装在车辆后方与侧方的超声波雷达，倒车过程中进行

障碍物预警；

- 碰撞预警，车辆行驶过程中，通过超声波雷达检测障碍物距离并发出警告。

3.5 网联传感器

V2X是车联网通信机制的总称，泛指各种汽车通讯情景，包括V2V、V2I、V2P等。车辆可以通过V2X获得实时路况、道路信息、行人信息等一系列交通信息，从而带来远距离环境信号，如V2V的应用场景主要是城市道路、高速公路中，车辆之间可以相互通讯，发送数据实现信息共享。这些共享的数据包括车辆的时速、相对位置、操控情况等，这些数据可以提供给周围车辆，使得周围车辆可以预判其他车辆的驾驶行为，从而实现主动安全策略。

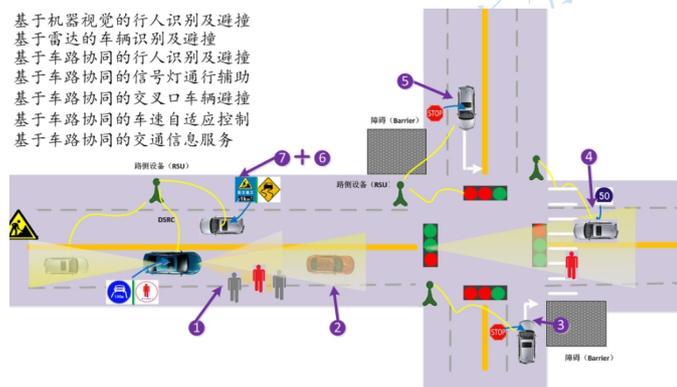


图 18 V2X 功能

网联传感器的意义：

1、通过V2X可以获得实时路况、道路信息、行人信息等一系列交通信息，从而带来远距离环境信号。解决了车辆传感器自身的“短视”弊端；

2、可以让自动驾驶应对更为复杂的道路交通环境。面对比较频繁、琐碎的道路交通信息，通过电脑计算处理得出最佳驾驶方式；

3、通过V2X能够通过实时对交通信息的分析，自动选择路况最佳行驶路线，缓解交通堵塞。通过信息互联互通，辅助覆盖感知系统不能覆盖的场景。

4、通过V2X应用广播前方事故车辆提醒，使得自动驾驶车都可以做出更迅速、更准确的判断，提前做好最佳路径规划。换道辅助/盲区车辆提醒，可以为毫米波雷达及视觉模块提供更为可靠冗余保障。前向碰撞预警，可以与前向感知传感

器进行融合处理，保证系统更为稳定可靠。红绿灯信号、限速提醒，在一定层面可以减少视觉传感器数量或减少相应处理单元。

V2X网联传感器产品现状

C-V2X通信产业链包括芯片、模组、车载终端设备、网络通信设备、测试评价等环节。若考虑到完整的C-V2X应用实现，C-V2X产业范畴还包括高精度定位系统、高精度地图等。

1) 芯片/模组

LTE-V2X芯片研发企业主要包括大唐、高通、华为、英特尔、三星等。

2) 终端设备

LTE-V2X终端设备包括车载单元OBU和路侧单元RSU。当前大唐电信、东软、北京星云互联、千方科技可提供基于LTE-V2X的OBU和RSU，华为、北京车联网互联提供基于LTE-V2X的OBU产品。其中大唐和华为的LTE-V2X终端还实现了互操作测试。

3) 网络通信设备

华为已推出测试用LTE-V2X基站，还将提供完整的核心网设备升级方案。中兴也将于2018年提供测试用LTE-V2X基站。

4) 测试工具

东软与中国信通院合作研发了LTE-V2X标准一致性测试工具与仿真工具，支持中国标准网络层、应用层及消息集协议一致性测试。

5) 高精度定位

国外企业UBLOX、ALPS、ST等推出了高精度的定位芯片及支持DR功能的模组，国内以千寻网络为代表的定位服务商也推出高精度的定位模组，支持亚米级、厘米级定位产品和服务。

6) 高精度地图

高德免费向合作车企提供高精度地图数据，百度也在其“阿波罗计划”中开放了高精度地图服务。

表格 14国内C-V2X产业主要产品及企业

类别	企业名称	产品进展详情
芯片	大唐、高通、华为、	大唐电信已发布PC5 Mode 4模式的LTE-V2X测试芯片；高

	英特尔、三星	通已经发布9150C-V2X芯片。
模组	大唐、华为、中兴	大唐已发布工规级PC5 Mode 4的通信模组，计划2018年批量供应。华为、中兴计划发布LTE-V2X测试模组。
终端	大唐电信、东软、北京星云互联、千方科技、华为、北京车网互联	大唐电信、东软、北京星云互联、千方科技可提供基于LTE-V2X的OBU和RSU，华为、北京车网互联提供基于LTE-V2X的OBU产品。其中大唐和华为的LTE-V2X终端还实现了互操作测试。
网络通信设备	华为、中兴	华为已推出测试用LTE-V2X基站，2018年还将提供完整的核心网设备升级方案。中兴也将提供测试用LTE-V2X基站。
测试工具	东软、信通院	东软与中国信通院合作研发了LTE-V2X标准一致性测试工具与仿真工具，支持中国标准网络层、应用层及消息集协议一致性测试。
高精度定位	千寻网络	推出高精度的定位模组，支持亚米级、厘米级定位产品和服务
高精度地图	高德、百度	免费开放
应用及解决方案	各车厂、运营商、设备厂商	中国一汽、上汽、江淮汽车、众泰汽车、长城汽车、海马汽车等实现了LTE-V2V、V2I、V2P应用；一汽、北汽福田、东风汽车实现商用车编队行驶方面核心技术原型；江淮汽车搭建实时采集V2X数据、为智能辅助驾驶提供决策支持的平台；众泰正在建设融合LTE-V应用和ADAS技术的小镇无人驾驶解决方案；中国移动实现了基于LTE-V的车车联网和车路协同应用；中国联通展示了多场景融合的蜂窝车联网（C-V2X）应用解决方案；中国电信重点开发了公交优先应用及停车导引应用。 东软、星云互联、千方科技等企业也各自形成了基于V2X的车车安全辅助驾驶和车路协同交通控制的整体解决方案。

国内外标准概括

国内各行业协会和标准化组织也对C-V2X技术高度重视，如中国通信标准化协会（CCSA）、中国智能交通产业联盟（C-ITS）等都已积极开展C-V2X相关研究及标准化工作。

CCSA在2014年至2015年进行了C-V2X的第一阶段LTE-V2X的关键技术可行性研究，在2016年至2017年进行了LTE-V2X行业标准的立项及研究。

2014年大唐电信集团牵头完成“基于TD-LTE的车辆安全短程通信技术研究”项目，完成了基于TD-LTE技术安全短程通信技术可行性研究。2015年大唐电信集团牵头启动“车路协同系统的安全研究”项目，完成了车路协同系统安全威胁分析、安全需求分析。2015年中国移动、国家无线电监测中心、中国信息通信研究院、大唐电信集团、华为公司、中国联通联合牵头“智能交通车车-车路主动安全应用的频率需求和相关干扰共存研究”立项，这两个研究项目已于2016年完成。

2016年CCSA完成了2项LTE-V相关行业标准的立项：第1项是中国信息通信研究院、大唐电信集团、华为公司、中兴通讯、国家无线电监测中心检测中心联合牵头的《基于LTE的车联网无线通信技术 总体技术要求》行业标准；第2项是大唐电信集团、华为公司、中国信息通信研究院、中兴通讯联合牵头的《基于LTE的车联网无线通信技术 空中接口技术要求》行业标准。

2017年4月TC5全会通过《基于LTE的车联网无线通信技术 终端设备技术要求》、《基于LTE的车联网无线通信技术 路侧设备技术要求》、《基于LTE的车联网无线通信技术 基站设备技术要求》、《基于LTE网络的车联网通信安全总体技术要求》这4项行标的立项。2017年8月，TC5全会通过《基于LTE的车联网无线通信技术 核心网设备技术要求》、《基于LTE的车联网无线通信技术 核心网设备测试方法》这2项行标的立项。通过《基于LTE的车联网无线通信技术 总体技术要求》、《基于LTE的车联网无线通信技术 空中接口技术要求》2项行标的送审稿，目前正在进行报批流程。2017年12月，TC5 WG5提交讨论《基于LTE网络的车联网通信安全总体技术要求》的征求意见稿。

C-ITS为了推进C-V2X技术在交通及汽车行业的应用，C-ITS产业联盟与中国汽车工程学会联合，也积极开展C-V2X应用层及网络层相关标准的制定。

2017年，中国信息通信研究院牵头，大唐、华为等ICT企业，长安、通用等车企参与完成了《合作式智能运输系统 车用通信系统应用层及应用数据交互标准》的制定。华为公司牵头、交通运输部公路科学研究院、中国信息通信研究院、大唐等单位联合起草制定了团体标准《基于LTE车联网无线通信技术总体技术要求》《基于ISO ITS框架的LTE-V2X标准技术规范》。大唐牵头完成了研究报告《面向自动驾驶的通信需求研究》。此外，联盟还制定了《基于公众电信网络的联网汽车信息安全技术规范》、《专用短程通信技术用于信息采集的路侧与中心接口与交互协议》等C-V2X相关的团体标准。计划于2018年重点推进《基于LTE的车联网无线通信技术 空中接口技术要求》、《合作式智能交通运输系统 通信架构》、《合作式智能交通运输系统 增强应用集》等标准的制定。

表格 15 网联传感器支持场景及数据需求

场景	感知信息需求
城市道路场景	来自车端：附近联网车辆广播的自身标签、经纬度、速度、航向角、时间戳、加速度信息、车辆的长度和宽度、故障信息等

	(BSM)
	来自路端：路端RSU发送路侧感知到的周围车辆类型、经纬度、速度、航向角、车辆的长度和宽度、时间戳信息（RSM）；信号灯信息（SPAT）；交通电子标识信息（RSI）
高速公路场景	来自车端：附近联网车辆广播的自身标签、经纬度、速度、航向角、时间戳、加速度信息、车辆的长度和宽度、故障信息等（BSM）
	来自路端：路端RSU发送路侧感知到的周围车辆类型、经纬度、速度、航向角、车辆的长度和宽度、时间戳信息（RSM）；交通电子标识信息（RSI）；电子支付信息；匝道流量控制信息等

2019年10月24日，由IMT-2020（5G）推进组C-V2X工作组、中国智能网联汽车产业创新联盟、中国汽车工程学会、上海国际汽车城（集团）有限公司共同举办的2019 C-V2X“四跨”互联互通应用示范活动完美收官。此次活动完美呈现了国内首次“跨芯片模组、跨终端、跨整车、跨安全平台”C-V2X应用展示，并充分展示了国内C-V2X全链条技术标准能力，进一步推动国内C-V2X产业化落地。

3.6 小结

在本章中，分别就毫米波雷达，激光雷达，摄像头，超声波雷达和网联传感器的工作原理，适应场景，各种条件下的优缺点，目前的国内外的技术发展状况和趋势，和数据处理模型和可能输出数据格式进行了初步的分析。总体而言，传感技术日趋竞争白热化的今天，各种类型的传感器的输出类型和方向是大体一致的，这就奠定了进行传感器输出标准化的技术基础。

在前面的感知场景中提到的，不同场景可以有不同的传感器组合进行实现，所以传感器接口在进行标准化的同时，需要留给系统实现更多的灵活性，不限制产品的具体实现。接口的标准化重点关于传感器和融合模块之间互通的必要信息传递，同时也需要从系统层面考虑标准化是否满足多种场景的需要，如何有效率的利用有限的共享资源如频率，是否需要不同实体之间的协调如通过网联来做必要的信息传递等。对于车载传感器包括雷达、激光雷达、摄像头和超声波雷达，在后续标准化过程中可以从原始数据、特征数据和目标数据三个层面来分析和研究进行相关接口标准化的必要性；对于网联传感器，可以在其他标准组织或者其他课题的研究基础上相互协调，分析现有的标准化是否满足当前融合模块的需求，特别是从多车协同的感知需求来对于网联的通信是否有进一步的需求。

4 传感器抽象接口设计

4.1 传感器抽象接口通用设计

4.1.1 接口设计

整体的接口设计包括需求，格式定义和控制数据三部分。需求主要包含接口对传输和整体E/E架构的需求，包括对于整体接口的时延、带宽和同步需求，同时要适用于不同的E/E架构；数据格式定义包含不同传感器在不同的功能集合下的输出的数据格式；控制数据包括对于传感器的配置，传感器的状态，以及接口包含的安全、校准和重配置等。



图 19 接口功能设计

为了适应不同传感器在不同应用场景下使用的灵活性，综合接口设计的各个方面，传感器和数据融合模块之间接口设计的整体原则如下：

- 通用性：包含不同车内传感器，车外传感器的目标数据，原始数据和特征数据的输出；
- 传输有效性：提高传输带宽的利用效率；
- 可扩展性：满足感知和融合技术演进的需求，扩展未来的需求；
- 互通性：传感器和数据融合技术的解耦，传感器和数据融合模块的异厂商互通；
- 安全性：传感器和数据融合/接收端的双向认证和授权，防止恶意攻击和数据的泄露
- 配置灵活性：感知技术能力的多样性和车规流程确定性之间的折衷。

4.1.2 传输架构需求

随着汽车电子电气架构的发展，根据不同的场景需求和技术能力，自动驾驶特性的处理主要有两种主流的方式，分别是分布式处理和中心式处理：

- 分布式：目前大多数汽车制造商生产的汽车的计算架构是分布式的，即将数据处理的工作放在各终端传感器上完成；
- 集中式：IT芯片厂商拥有丰富的计算能力资源，一个中心式的汽车计算架构是完全有可能的，即各终端简易传感器将采集到的原始的且未经处理的数据直接传输到强大的中央处理器中，由后者完成所有计算工作。

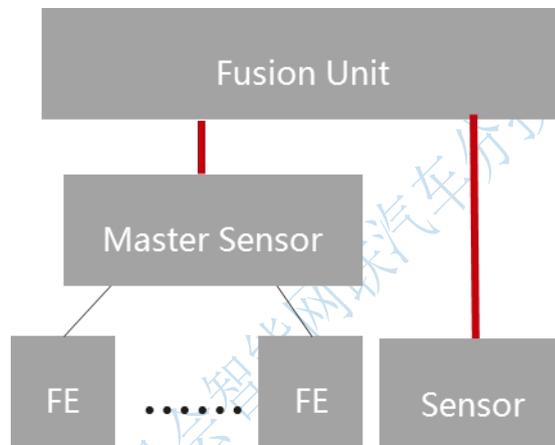


图 20 分布式和集中式处理架构

从架构角度，传感器抽象接口需要适应整体车载架构的演进和发展，需要适应各种架构和不同场景需求：

- 分布式和集中式的架构
- 支持不同处理能力的前端传感器，不同种的融合方案：既包括某种类型传感器同类融合后结果，也包括简单的数据处理后数据输出给融合单元

对于传感器接口的传输需求，根据不同数据类型和特性，需要传输层满足不同的数据类型数据的传输，包括从控制信息到数据信息，从原始数据到目标数据等的传输需求。接口定义不限制采用的传输层技术，底层的传输层技术包括但不限于以太网，CAN，FlexRay等。

4.1.3 数据接口的定义范围

接口定义的范围包括整体包含的接口和信息格式，分为目标级别，特征级别和控制信息三大类，同时包含各种坐标系的含义。

- 目标级别接口希望做到统一接口和传感器的特有的输出信息
- 特征级别和原始数据需要针对不同的传感器有不同的接口和信息格式设计

整个接口设计包含了对于接口支持的一个全集，即容纳了各种传感器和相应级别输出的标准化，并不意味着相关的传感器需要实现所有的接口。对于具体的传感器和具体的自动驾驶功能设计，根据整体的设计来进行裁剪和选择，如Lidar可以只输出原始数据，也可以原始数据和目标数据同时输出。

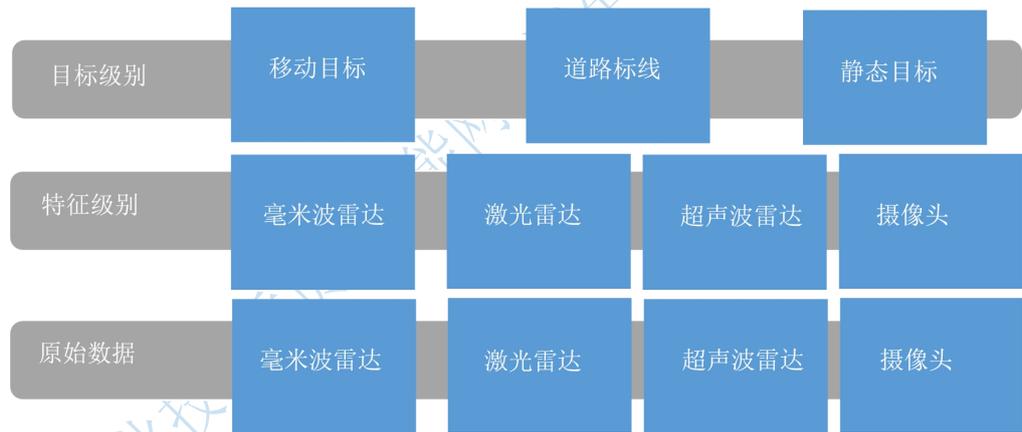


图 21 数据接口定义总览

V2X和地图虽然是车外，但是广义上也作为智能传感器的一部分，不同的标准化组织已经进行了相关的接口标准化工作，具体的引入车内可以根据其他标准组织的进展，识别中可以引入车内的智能传感器服务。后续的标准化和现有的标准组织定义统一，避免重复的标准定义。在本研究课题中，可以识别相关的标准组织以及推荐参考的接口标准。

传感器根据不同的功能，输出采用两种不同的坐标系系统：一种是以传感器为原点的坐标系，一种是以车后轴中心为远点的车载坐标系。同时不排除其他延伸的坐标系，根据具体场景具体讨论。

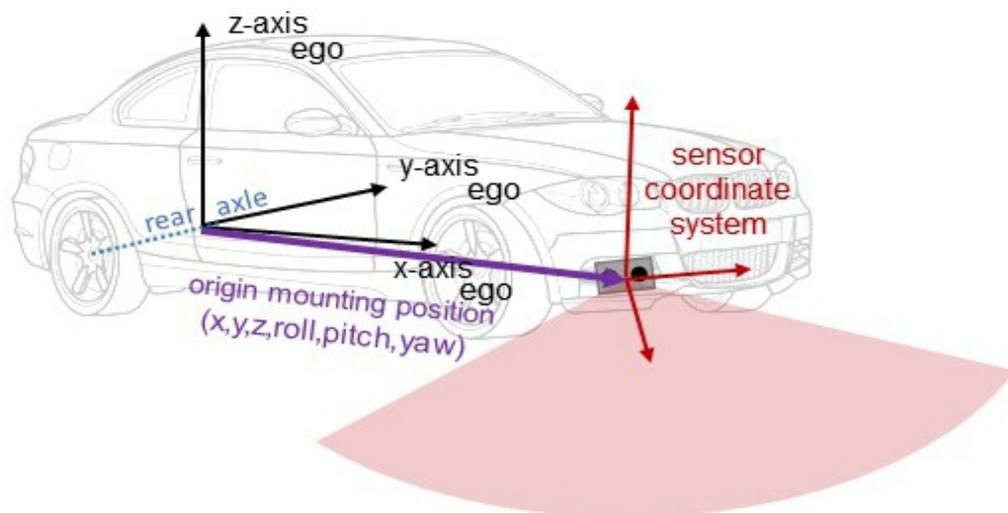


图 22 坐标系定义

4.1.4 控制接口的定义范围

传统的车载部件的功能和控制信息大多通过配置文件下发，不需要通信双方进行过多的信令交互，但是固定配置的方式也丧失了一定的灵活性，传统车的更新周期慢，生命周期内基本不需要升级，但随着车载应用的不断丰富，自动驾驶的发展，灵活的信息交互可以适应服务需求的不断发展。

- 认证和授权：自动驾驶车会通过V2X连入数字世界，sensor也可以连到云端，所以对于Sensor和Fusion的双向认证和授权），实现基于License的功能控制。
- 功能配置动态协商：功能安全的确定性要求，但是随着传感器功能的不断丰富，软件附加值越来越高，需要实现动态的功能协商，实现基于同一套硬件的不同功能组合。
- 传感器状态和性能：传感器提供自身的工作状态，同时可以根据周围工况和自身的评估结果提供传感器提供信息质量和可信度的评估，可以是整体的，也可以是分段和分片等。
- 信息的反馈和控制：根据不同的工况和传感器自身运行状态，融合模块可以调整不同传感器的参数配置，如实现对特定区域，特定物体的跟踪等。
- 在线校准：新更换的传感器可以根据设定环境或者存储数据环境的一个

在线自校准，实现即插即用。另外在线传感器根据环境和使用情况进行相应的补偿和更新。

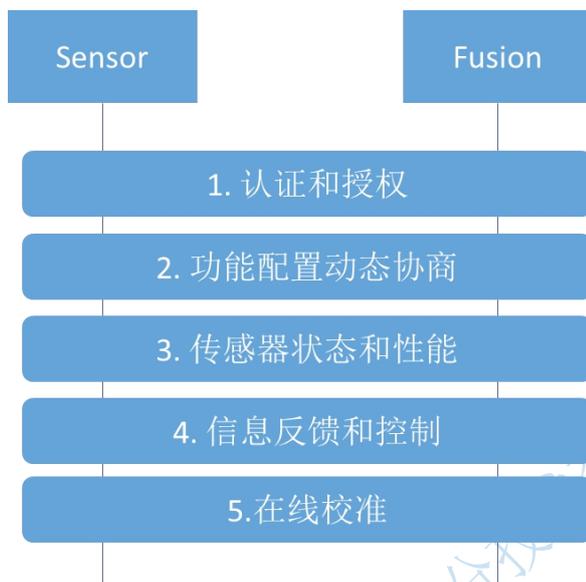


图 23 控制接口定义总览

4.2 目标级别数据接口

目标级别接口提供目标级别数据，目标级别数据是由毫米波雷达、激光雷达、摄像头和超声波雷达等传感器根据自身的感知手段而识别出的目标的数据。目标级别接口与具体的传感器类型和感知手段无关。目标级别数据是由特征级别数据和检测级别数据进一步抽象和分析得来的。

4.2.1 可移动目标接口

可移动目标接口提供可移动目标的数据，可移动目标数据是由毫米波雷达、激光雷达、摄像头和超声波雷达跟踪的可移动目标的状态信息，可移动目标包括车辆，灯光、行人等，状态信息包括可移动目标的位置、移动速度，轮廓、运动姿态等信息。可移动目标数据以数据包的格式提供。

可移动目标数据包格式由数据包头和数据体两部分组成。

可移动目标数据包头如下所示，表中详细描写了包头中的字段、数据类型、单位、是否必选和具体描述等信息。

表格 16 可移动目标数据包头

字段	数据类型	单位	是否必选	描述
版本号	结构	/	必选	接口版本号信息
传感器标识	整数	/	必选	传感器的唯一标识，可以关联不同的接口
时间戳	实数	秒	必选	时间戳
周期计数器	整数	/	可选	周期计数器，可以根据时间戳和周期信息推算，持续累加
数据质量	枚举	/	必选	表明数据质量，如可用，不可用，视场受限，性能受限，性能和视场受限，无效等

可移动目标数据体如下所示，表中详细描写了数据体中的字段组、字段、数据类型、单位、是否必选和具体描述等信息，其中字段组描述了一组相关字段的共同属性。具体的字段组包含：

- 目标状态，表征目标的状态和跟踪状态；
- 目标的动态信息：方位，速度，加速度等；
- 目标轮廓信息：目标的尺寸等；
- 目标分类信息：目标的分类和概率信息等；
- 目标灯光信息：灯光类型和状态；
- 目标行人信息：行人姿态和行为信息；
- 目标轨迹信息：目标和车道位置信息；
- 激光雷达和毫米波雷达的特有信息。

表格 17 可移动目标数据体

字段组	字段	数据类型	单位	是否必选	描述
	消息中可移动目标个数	整数	/	必选	消息体中包含的可移动目标个数
可移动目标列表					
目标状态（必选）	目标标识	整数	/	必选	目标的标识编号
	链接标识	整数	/	可选	如卡车，拖车等可能会连接到其它目标，取值为0表明目标和其他目标不

					相连
	跟踪时间	实数	秒	必选	目标被跟踪时间
	跟踪状况	比特串	/	可选	目标在最近n个周期是否被跟踪到, 每个bit表明是否跟踪到目标, 1表示当前周期被跟踪到, 0表示未被跟踪到。
	测量状态	枚举	/	必选	表明上报的目标测量状态:完整测量,部分测量,新目标,预测目标,无效目标等
目标的动态信息(必选)	参考点方位	枚举	/	可选	参考点是有最高测量精度的点,参考点相对于本车的方位信息:左前,中前,右前,左中,右中,左后,中后,右后...
	参考点位置 {x, y, z}	3维向量	{米,米,米}	必选(z条件)	在笛卡尔坐标系中参考点的坐标{x, y, z}, XY和路面平行, z条件,除超声波外都必选,具体坐标系在传感器状态接口或者包头中配置。
	运动方向 {yaw, pitch, roll}	3维向量	{rad,rad,rad}	可选	在车坐标系下的运动方向
	绝对速度 {x, y, z}	3维向量	{m/s,m/s,m/s}	条件	绝对速度,xy除了超声波外必选, z可选
	相对速度 {x, y, z}	3维向量	{m/s, m/s, m/s}	可选	和本车的相对速度
	运动学中心 {x, y, z}	3维向量	{米,米,米}	可选	目标的运动学中心,可能在目标轮廓外
	运动学中心运动方向 {yaw }	实数	rad/s	可选	
	绝对加速度 {x, y, z}	3维向量	{m/s ² , m/s ² , m/s ² }	可选	绝对加速度
	相对加速度 {x, y, z}, 无	3维向量	{m/s ² , m/s ² , m/s ² }	可选	相对加速度
	位置协方差矩阵 {x, y, z}	3*3矩阵	{米,米,米} x {米,米,米}	可选	参考点位置向量的协方差矩阵
	绝对速度协方差矩阵 {x, y, z}	3*3矩阵	{m/s,m/s,m/s} x {m/s,m/s,m/s}	可选	绝对速度向量的协方差矩阵
	绝对加速度协方差矩阵 {x, y, z}	3*3矩阵	{m/s ² ,m/s ² ,m/s ² } x {m/s ² ,m/s ² ,m/s ² }	可选	绝对加速度向量的协方差矩阵
	运动方向协方差矩阵 {yaw, pitch, roll}	3*3矩阵	{rad/秒, rad/秒, rad/秒} x {rad/秒, rad/秒, rad/秒}	可选	运动方向向量的协方差矩阵

			秒}		
	移动状态	枚举	/	可选	追踪目标的移动状态信息：移动，停止移动，静止
目标轮廓信息 (可选)	目标轮廓{length, width, height}	3维向量	{米,米,米}	必选 (height条件)	目标的长宽高,高度是条件必选,条件是如果传感器可以检测高度。
	目标轮廓误差{length, width, height}	3维向量	{米,米,米}	可选	目标长宽高的误差
	物体离地面最大距离	实数	米	可选	物体离地面最大距离
	轮廓是否包含反光镜	枚举	/	可选	轮廓是否包含反光镜
目标分类(必选)	存在可能性	实数	%	必选	目标存在的可能性,以百分比计算,值越高表示识别的目标越可能存在
	可能的目标分类个数	整数	/	必选	目标分类的类别个数
	分类列表(概率总和为1)				
	类别	枚举	/	必选	可能的类别包括轿车、重卡、公共汽车、行人,轻轨,自行车,摩托车等
	属于类别的可能性	实数	%	必选	属于某个类别的可能性,以百分比表示,百分比越高就越有可能是这个类型的目标
目标灯光(条件必选:摄像头,激光雷达)	可能的灯光个数	整数	/	必选	灯光个数
	灯光列表				
	灯光类型	枚举	/	必选	灯光分类:左转向灯,右转向灯,刹车灯(左中右)等
	灯光状态	枚举	/	必选	灯光状态:关,闪烁,警告
目标行人状态信息(条件必选:摄像头)	行人姿态个数	整数	/	必选	行人姿态个数
	行人姿态列表				
	行人姿态类型	枚举	/	必选	类型:头部姿态,上身姿态
	行人姿态{yaw, pitch, roll}	3维向量	{rad,rad,rad}	必选	行人姿态,用于行人行为预测
目标轨迹(可选)	目标所在车道信息	枚举	/	必选	目标位置和本车所在车道关系:本车道,左侧相邻车道,右侧相邻车道,

					未知车道等
	运动物体和车道线夹角	2维向量	{rad,rad}	可选	运动物体和车道线夹角,分别是左边缘与右车道线的夹角,右边缘和左车道线的夹角
	运动物体和车道线夹角误差	2维向量	{rad,rad}	可选	运动物体(左右边缘)和车道线夹角的误差
	车道线的比例	2维向量	{%,%}	可选	目标横跨车道线时在左车道线和右车道各占的百分比
	目标大小变化速度	实数	%/s	必选	目标大小变化的速度,变得越大表明离本车越近,变得越小表明离本车越远
	角位置	实数	rad	必选(摄像头)	摄像头坐标系中的横向角位置
	角速度	实数	rad/s	必选(摄像头)	摄像头坐标系中的横向角速度
雷达信息(条件必选:雷达)	雷达散射截面	实数	[dB 平方米]	必选	目标的雷达散射截面 radar cross section
激光雷达信息(条件必选:激光雷达)	激光雷达反射率	实数	%	必选	目标的激光雷达反射率

4.2.2 道路目标接口

道路目标接口提供道路目标的数据。道路目标数据是由毫米波雷达、激光雷达、摄像头和超声波雷达识别的道路目标的状态信息。道路目标包括道路标线和道路边界两类,状态信息包括道路目标的类别、颜色、形状等信息。数据包格式由数据包头和数据体两部分组成。

道路目标数据包头如下所示,表中详细描写了包头中的字段、数据类型、单位、是否必选和具体描述等信息。

表格 18 道路目标数据包头

字段	数据类型	单位	是否必选	描述
版本号	结构体	/	必选	接口版本号信息
传感器标识	整数	/	必选	传感器的唯一标识，可以关联不同的接口
时间戳	实数	秒	必选	时间戳
周期计数器	整数	/	可选	周期计数器，可以根据时间戳和周期信息推算，持续累加
数据质量	枚举	/	必选	表明数据质量，如可用，不可用，视场受限，性能受限，性能和视场受限，无效等
颜色模型	枚举	/	条件必选 (条件：摄像头)	描述目标颜色的模型，如RGB, HSV, LUV, Grey等

道路目标数据体如下所示，分为道路标线数据体和道路边界数据体，表中详细描写了数据体中的字段组、字段、数据类型、单位、是否必选和具体描述等信息，其中字段组描述了一组相关字段的共同属性。主要的字段信息如下：

道路标线：

- 道路标线状态：目标状态和跟踪状态；
- 道路标线分类信息：标线的类型和概率等；
- 道路标线的属性信息：标线颜色信息；
- 道路标线的描述曲线：描述曲线的多项式等信息；
- 道路标线的描述折线：折线信息，顶点信息，角度信息等

道路边界信息

- 道路边界状态：目标状态和跟踪信息；
- 道路边界分类信息：边界的类型和概率等；
- 道路边界的属性信息：边界颜色信息；
- 道路边界的描述曲线：描述曲线的多项式等信息；
- 道路边界的描述折线：折线信息，顶点信息，角度信息等

表格 19 道路目标数据体

字段组	字段	数据类型	单位	是否必选	描述	
	消息中道路标线个数	整数	/	必选	消息体中包含的道路标线个数	
道路标线列表						
道路标线状态 (必选)	目标标识	整数	/	必选	道路标线的标识编号	
	跟踪时间	实数	秒	必选	目标被跟踪时间	
	跟踪状况	比特串	/	可选	目标在最近n个周期是否被跟踪到, 每个bit表明是否跟踪到目标, 1表示当前周期被跟踪到, 0表示未被跟踪到。	
	测量状态	枚举	/	必选	表明上报的目标测量状态: 完整测量, 部分测量, 新目标, 预测目标, 无效目标等	
道路标线分类 (必选)	存在可能性	实数	%	必选	道路标线存在的可能性, 以百分比计算, 值越高表示识别的目标越可能存在	
	可能的分类个数	整数	/	必选	分类的类别个数	
	分类列表 (概率总和为1)					
	类别	枚举	/	必选	可能的类别包括实线、中心虚线、边缘虚线、双实线、箭头、斑马线、停车位标线等, 参照GB 5768	
	属于类别的可能性	实数	%	必选	属于某个类别的可能性, 以百分比表示, 值越高就越有可能是这个类型的目标	
	箭头方向	枚举	/	必选	道路箭头标线的方向, 包括前进、左、右、左转、右转、左45度、右45度、无箭头等	
	箭头角度	实数	rad	可选	箭头标线方向相对本车前进方向的角	

					度，如果目标不是箭头则rad为0
道路标线属性 (条件必选, 条件: 摄像头)	颜色识别的可能性	实数	%	可选	道路标线被识别为某颜色的可能性, 以百分比表示, 值越大越有可能是某颜色
	颜色值列表				
	颜色值	实数	%	必选	与颜色模型有关, 如果颜色模型是RGB, 则有三个颜色值, 一个代表红色的比例, 一个代表绿色的比例, 一个代表蓝色的比例。
道路标线的描述曲线(条件必选: 摄像头, 激光雷达)	描述曲线个数	整数	/	必选	用多个曲线来描述一些不规则的道路标线形状
	曲线多项式列表				
	曲线多项式系数 { c_0, c_1, c_2, c_3 }	4维向量	/	必选	用一个三次多项式 $c_0+c_1*x+c_2*x^2+c_3*x^3$ 来表示这个曲线, 其中 c_0, c_1, c_2, c_3 是系数, x 是道路平面的水平坐标值, 单位是米
	曲线多项式系数的置信度	实数	/	可选	估计的多项式系数的置信度, 以百分比表示, 值越高系数越可能准确
	曲线多项式区间	2维向量	{米, 米}	必选	曲线多项式的 x 值的区间范围, 一个值是区间下界, 一个值是区间上界
	标线宽度	实数	米	可选	标线的宽度
	宽度误差	实数	米	可选	标线的宽度测量误差
	宽度置信度	实数	%	可选	估计的标线宽度的置信度, 以百分比表示, 越高则宽度测量得越准确
	子区域个数	整数	/	可选	道路标线可以划分成多个子区域加以描述
	子区域列表				

		子区域的区间范围	2维向量	{米, 米}	必选	子区域的x值的区间范围, 一个值是区间下界, 一个值是区间上界
道路标线的描述折线(条件必选: 摄像头, 激光雷达)	折线插值方法		枚举	/	必选	用多个折线来描述一些不规则的道路标线形状, 折线通过对实际标线的插值得到, 插值方法包括线性插值和样条插值两种
	折线个数		整数	/	必选	描述道路标线形状的折线个数
	折线列表					
	折线顶点数		整数	/	必选	折线中发生转折的点即顶点个数
	折线顶点列表					
		折线顶点坐标 {x, y, z}	3维向量	{米, 米, 米}	必选	折线顶点的坐标值
		折线顶点坐标 {x, y, z}	3维向量	{米, 米, 米}	必选	折线顶点坐标值的测量误差
		折线顶点坐标置信度	3维向量	%	可选	估计的折线顶点坐标值的置信度, 以百分比表示, 越高则坐标值测量得越准确
		顶点处折线角度	实数	rad	必选	在顶点处折线方向相对本车方向的角度
		顶点处折线角度误差	实数	rad	可选	顶点处折线角度的测量误差
		顶点处折线角度置信度	实数	%	可选	顶点处折线角度的置信度, 以百分比表示, 越高则测量得越准确
	顶点宽度	实数	米	可选	顶点的宽度值	
	顶点宽度误差	实数	米	可选	顶点宽度的测量误差	
	顶点宽度置信度	实数	%	可选	估计的顶点宽度的置信度, 以百分比表示, 越高则测量得越准确	

					准确
道路边界个数		整数	/	必选	消息体中包含的道路边界个数
道路边界列表					
道路边界状态信息 (必选)	目标标识	整数	/	必选	道路标线的标识编号
	跟踪时间	实数	秒	必选	目标被跟踪时间
	跟踪状况	比特串	/	可选	目标在最近n个周期是否被跟踪到, 每个bit表明是否跟踪到目标, 1表示当前周期被跟踪到, 0表示未被跟踪到。
	测量状态	枚举	/	必选	表明上报的目标测量状态: 完整测量, 部分测量, 新目标, 预测目标, 无效目标等
道路边界分类 (必选)	存在可能性	实数	%	必选	道路边界存在的可能性, 以百分比计算, 值越高表示识别的目标越可能存在
	可能的分类个数	整数	/	必选	分类的类别个数
	分类列表 (概率总和为1)				
	类别	枚举	/	必选	可能的类别包括栏杆、栅栏、分界线、缆索、路缘石等
	属于类别的可能性	实数	%	必选	属于某个类别的可能性, 以百分比表示, 值越高就越可能是这个类型的目标
道路边界属性 ((条件必选, 条件: 摄像头))	颜色识别的可能性	实数	%	可选	道路边界被识别为某颜色的可能性, 以百分比表示, 值越大越有可能是某颜色
	颜色值列表				
	颜色值	实数	%	必选	与颜色模型有关, 如果颜色模型是RGB, 则有三个颜色值, 一个代表红色的比例, 一个代表绿色的比例, 一个代表蓝色的比例。

道路边界的描述曲线(条件必选:摄像头,激光雷达,雷达)	描述曲线个数	整数	/	必选	用多个曲线来描述一些不规则的道路边界形状
	曲线多项式列表				
	曲线多项式系数 { c_0, c_1, c_2, c_3 }	4维向量	/	必选	用一个三次多项式 $c_0+c_1*x+c_2*x^2+c_3*x^3$ 来表示这个曲线,其中 c_0, c_1, c_2, c_3 是系数, x 是道路平面的水平坐标值,单位是米
	曲线多项式系数的置信度	实数	/	可选	估计的多项式系数的置信度,以百分比表示,值越高系数越可能准确
	曲线多项式区间	2维向量	{米, 米}	必选	曲线多项式的 x 值的区间范围,一个值是区间下界,一个值是区间上界
	宽度	实数	米	可选	宽度
	宽度误差	实数	米	可选	宽度测量误差
	宽度置信度	实数	%	可选	估计的边界宽度的置信度,以百分比表示,越高则宽度测量得越准确
	子区域个数	整数	/	可选	道路边界可以划分成多个子区域加以描述
	子区域列表				
	子区域的区间范围	2维向量	{米, 米}	必选	子区域的 x 值的区间范围,一个值是区间下界,一个值是区间上界
道路标线的描述折线(条件必选:摄像头,激光雷达)	折线插值方法	枚举	/	必选	用多个折线来描述一些不规则的道路标线形状,折线通过对实际标线的插值得到,插值方法包括线性插值和样条插值两种
	折线个数	整数	/	必选	描述道路标线形状的折线个数
	折线列表				
	折线顶点数	整数	/	必选	折线中发生转折的

					点即顶点个数
折线顶点列表					
折线顶点坐标 {x, y, z}	3维向量	{米, 米, 米}	必选	折线顶点的坐标值	
折线顶点坐标 {x, y, z}	3维向量	{米, 米, 米}	必选	折线顶点坐标值的测量误差	
折线顶点坐标置信度	3维向量	%	可选	估计的折线顶点坐标值的置信度, 以百分比表示, 越高则坐标值测量得越准确	
顶点处折线角度	实数	rad	必选	在顶点处折线方向相对本车方向的角度	
顶点处折线角度误差	实数	rad	可选	顶点处折线角度的测量误差	
顶点处折线角度置信度	实数	%	可选	顶点处折线角度的置信度, 以百分比表示, 越高则测量得越准确	
顶点宽度	实数	米	可选	顶点的宽度值	
顶点宽度误差	实数	米	可选	顶点宽度的测量误差	
顶点宽度置信度	实数	%	可选	估计的顶点宽度的置信度, 以百分比表示, 越高则测量得越准确	

4.2.3 静态目标接口

静态目标接口提供静态目标的数据。静态目标数据是由毫米波雷达、激光雷达、摄像头和超声波雷达识别的静态目标的状态信息。静态目标包括地标、交通标志、交通灯三类, 静态目标的状态信息包括静态目标的类别、位置、轮廓、内容等信息。数据包格式由数据包头和数据体两部分组成。

静态目标数据包头如下所示, 表中详细描写了包头中的字段、数据类型、单位、是否必选和具体描述等信息。

表格 20 静态目标数据包头

字段	数据类型	单位	是否必选	描述
版本号	结构	/	必选	接口版本号信息
传感器标识	整数	/	必选	传感器的唯一标识，可以关联不同的接口
时间戳	实数	秒	必选	时间戳
周期计数器	整数	/	可选	周期计数器，可以根据时间戳和周期信息推算，持续累加
数据质量	枚举	/	必选	表明数据质量，如可用，不可用，视场受限，性能受限，性能和视场受限，无效等

静态目标数据体如下所示，包括地标、交通标志、交通灯数据体，表中详细描写了数据体中的字段组、字段、数据类型、单位、是否必选和具体描述等信息，其中字段组描述了一组相关字段的共同属性。

地标信息：

- 地标状态：地标目标的状态和跟踪信息；
- 地标分类信息：地标的类型和概率等
- 地标轮廓信息：地标的尺寸等

交通标志信息：

- 交通标志状态：目标的状态和跟踪信息；
- 交通标志分类信息：标志的类型和概率等；
- 交通标志属性信息：交通标志的数值、状态等；
- 交通标志位置信息：位置坐标，置信度等；
- 交通标志的辅助标志信息：复制标志的状态，类型

交通信号灯信息：

- 交通灯状态：目标的状态和跟踪信息；
- 交通灯分类信息：信号灯的类型和概率等
- 交通灯属性信息：信号灯的颜色，形状，图案等
- 交通灯分组信息：分组标识，结构等；

- 交通灯位置信息：位置距离等。

表格 21 静态目标数据体

字段组	消息字段	数据类型	单位	是否必选	描述
	消息中地标个数	整数	/	必选	消息体中包含的地标个数
地标列表					
地标状态 (必选)	目标标识	整数	/	必选	目标的标识编号
	跟踪时间	实数	秒	必选	目标被跟踪时间
	跟踪状况	比特串	/	可选	目标在最近n个周期是否被跟踪到，每个bit表明是否跟踪到目标，1表示当前周期被跟踪到，0表示未被跟踪到。
	测量状态	枚举	/	必选	表明上报的目标测量状态：完整测量，部分测量，新目标，预测目标，无效目标等
地标分类 (必选)	存在可能性	实数	%	必选	目标存在的可能性，以百分比计算，值越高表示识别的目标越可能存在
	可能的目标分类个数	整数	/	必选	目标分类的类别个数
	分类列表（概率总和为1）				
		类别	枚举	/	必选
	属于类别的可能性	实数	%	必选	属于某个类别的可能性，以百分比表示，百分比越高就越有可能是这个类型的目标
地标位置 (必选)	参考点方位	枚举	/	可选	参考点相对于本车的方位信息：左前，中前，右前，左中，右中，左后，中后，右后…
	参考点位置 {x, y, z}	3维向量	{米, 米, 米}	必选（z条件）	在坐标系中参考点的坐标{x, y, z}，XY和路面平行，z条件，

					如果传感器可以检测到高度除超声波外都 必选
	位置协方差矩阵 {x,y,z}	3*3矩阵	{米,米,米}x {米,米,米}	可选	参考点位置向量的协 方差矩阵
	坐标方位角	实数	rad	可选	地标的参考点坐标相 对y轴的方位角
	坐标方位角的置 信度	实数	%	可选	测量的坐标方位角的 置信度,以百分比表 示,越高测量得越准 确
地标 轮廓 (可 选)	轮廓{length, width, height}	3维向量	{米,米,米}	必选(除 height坐 标外)	目标的长宽高,高度 是条件必选,条件是 如果传感器可以检测 高度。
	轮廓误差 {length, width, height}	3维向量	{米,米,米}	可选	长宽高的误差
消息中交通标志个数		整数	/	必选	消息体中包含的交通 标志个数
交通标志列表					
交通 标志 状态 (必 选)	目标标识	整数	/	必选	目标的标识编号
	跟踪时间	实数	秒	必选	目标被跟踪时间
	跟踪状况	比特串	/	可选	目标在最近n个周期 是否被跟踪到,每个 bit表明是否跟踪到 目标,1表示当前周期 被跟踪到,0表示未被 跟踪到。
	测量状态	枚举	/	必选	表明上报的目标测量 状态:完整测量,部 分测量,新目标,预 测目标,无效目标等
交通 标志 类型 (必 选)	存在可能性	实数	%	必选	目标存在的 可能性,以百分比计 算,值越高表示识别 的目标越可能存在
	交通标志类型	枚举	/	必选	可能的类型包括停止 标志、让行标志、限 速标志、绿色箭头标 志等
	交通标志类型的 置信度	实数	%	必选	识别为某类型交通标 志的置信度,以百分 比表示,越高则判断

					得越准确	
交通标志属性信息 (必选)	交通标志数值	实数	/	必选	交通标志包含的数值	
	交通标志数值单位	枚举	/	必选	交通标志包含的数值的单位, 包括公里、公里每小时、米、英里、吨、日期、百分比等	
	交通标志的形状	枚举	/	必选	交通标志的几何形状。包括圆形、方形、正三角、倒三角、菱形、左转箭头、右转箭头等	
	交通标志可变	枚举	/	必选	交通标志上的信息是否可变, 枚举值或者是可变的, 或者是静态的, 或者是失效的	
	交通标志失效	枚举	/	必选	有的交通标志上的信息可能已经失效, 枚举值或者有效, 或者失效, 或者部分失效	
交通标志位置 (必选)	指示车道	枚举	/	可选	交通标志所指示车道与本车车道的关系, 有可能是本车道、左邻车道、右邻车道、本车道与左邻车道、本车道与右邻车道、所有车道等	
	指示车道的置信度	实数	%	可选	判断的指示车道的置信度, 以百分比表示, 越高则判断得越准确	
	位置坐标 {x, y, z}	3维向量	{米, 米, 米}	必选 (除z坐标外)	交通标志在坐标系的坐标 {x, y, z}, XY和路面平行, z条件, 如果传感器可以检测到高度除超声波外都必选	
	位置坐标协方差矩阵 {x, y, z}	3*3矩阵	{米, 米, 米} x {米, 米, 米}	可选	位置向量的协方差矩阵	
交通标志的辅助标志 (必选)	交通标志辅助标志个数	整数	/	必选	交通标志的辅助标志个数	
	辅助标志列表					
	辅助标志状态 (必选)	跟踪时间	实数	秒	必选	目标被跟踪时间
		跟踪	比特串	/	可选	目标在最近n个周期

		状况				是否被跟踪到，每个bit表明是否跟踪到目标，1表示当前周期被跟踪到，0表示未被跟踪到。
		测量状态	枚举	/	必选	表明上报的目标测量状态：完整测量，部分测量，新目标，预测目标，无效目标等
	辅助标志类型 (必选)	存在可能性	实数	%	必选	目标存在的可能性，以百分比计算，值越高表示识别的目标越可能存在
		辅助标志类型	枚举	/	必选	可能的辅助标志类型包括距离、限速、冰冻、湿滑、起始、结束等
		辅助标志类型的置信度	实数	%	必选	识别为某类型辅助标志的置信度，以百分比表示，越高则判断得越准确
	辅助标志数值 (必选)	辅助标志数值	实数	/	必选	辅助标志包含的数值
		辅助标志数值单位	枚举	/	必选	辅助标志上包含数值的单位，包括公里、公里每小时、米、英里、吨、日期、百分比等
		辅助标志失效	枚举	/	必选	有的辅助标志可能已经失效，枚举值或者有效，或者失效，或者部分失效
	辅助标志位置 (必选)	辅助标志相对位置	枚举	/	必选	辅助标志相对于交通标志主标志的位置，包括上方、下方、左、右等
		辅助标志相对位置的顺序	整数	/	必选	假设多个辅助标志位于主标志的下方，则有的位于下方第一位，这值就是1，有的位于下方第二位，这个值就是2

消息中交通灯个数		整数	个	必选	消息体中包含的交通灯个数
交通灯列表					
交通灯状态(必选)	目标标识	整数	/	必选	目标的标识编号
	跟踪时间	实数	秒	必选	目标被跟踪时间
	跟踪状况	比特串	/	可选	目标在最近n个周期是否被跟踪到, 每个bit表明是否跟踪到目标, 1表示当前周期被跟踪到, 0表示未被跟踪到。
	测量状态	枚举	/	必选	表明上报的目标测量状态: 完整测量, 部分测量, 新目标, 预测目标, 无效目标等
交通灯类型(必选)	存在可能性	实数	%	必选	目标存在的可能性, 以百分比计算, 值越高表示识别的目标越可能存在
交通灯信息(必选)	交通灯颜色	枚举	/	必选	交通灯的颜色, 包括红灯、黄灯、绿灯、红黄灯等
	交通灯颜色的置信度	实数	%	必选	识别为某类颜色的置信度, 以百分比表示, 越高则识别得越准确
	交通灯发光状态	枚举	/	必选	交通灯的发光状态, 包括闪烁, 持续、计数、关闭等
	交通灯发光状态的置信度	实数	%	必选	识别为某类发光状态的置信度, 以百分比表示, 越高则识别得越准确
	交通灯图像	枚举	/	必选	交通灯上所显示的图像, 包括前向箭头、左向箭头、右向箭头、左上箭头、右上箭头、左右向箭头、调头箭头、行人、禁行、自行车、交叉路口等
	交通灯图像的置信度	实数	%	必选	识别为某类形状的置信度, 以百分比表示, 越高则识别得越准确
交通	交通灯灯组ID	整数	/	必选	交通灯可能是由多个

灯结构) (必选)					灯按照一定结构组成了灯组, 这些灯有相当的灯组ID
	交通灯灯组结构	枚举	/	必选	交通灯灯组结构的可能类型, 包括横向3灯排列, 纵向3灯排列, 狗屋型等
	交通灯灯组结构的置信度	实数	%	必选	识别为某类灯组结构的置信度, 以百分比表示, 越高则识别得越准确
交通灯位置(必选)	位置坐标{x, y, z}	3维向量	{米, 米, 米}	必选(除z坐标外)	交通灯在坐标系的坐标{x, y, z}, XY和路面平行, z条件, 如果传感器可以检测到高度除超声波外都必选
	位置坐标协方差矩阵{x, y, z}	3*3矩阵	{米, 米, 米}x {米, 米, 米}	可选	位置坐标向量的协方差矩阵

4.3 特征级别数据接口

特征级别接口是与传感器类型相关的, 不同的传感器会提供不同的特征级别数据。特征级别数据可以进一步细分为特征数据和检测数据。其中, 摄像头和超声波雷达提供特征数据和检测数据, 毫米波雷达和激光雷达只提供检测数据。

4.3.1 毫米波雷达

毫米波雷达的特征级别接口只提供检测数据。毫米波雷达的检测数据包括毫米波雷达检测的位置、速度、雷达散射截面等信息。毫米波雷达检测数据的数据包格式由数据包头和数据体两部分组成。

毫米波雷达检测包头如下所示, 表中详细描写了包头中的字段、数据类型、单位、是否必选和具体描述等信息。

表格 22 毫米波雷达检测目标数据包头

字段	数据类型	单位	是否必选	描述
版本号	结构体	/	必选	接口版本号信息
传感器标识	整数	/	必选	传感器的唯一标识, 可以关联不同的接口
时间戳	实数	秒	必选	测量时间戳

周期计数器	整数	/	可选	周期计数器,可以根据时间戳和周期信息推算,持续累加
数据质量	枚举	/	必选	表明数据质量,如可用,不可用,视场受限,性能受限,性能和视场受限,无效等
径向速度不模糊范围 {begin, end}	2维向量	{m/s,m/s}	可选	雷达测速的不模糊范围,目标速率在此范围内不发生模糊
距离不模糊范围 {begin, end}	2维向量	{m,m}	可选	雷达测距的不模糊范围,目标距离在此范围内不发生模糊
方位角(angle azimuth)不模糊范围 {begin, end}	2维向量	{rad,rad}	可选	雷达测方位角的不模糊范围,目标方位角在此范围内不发生模糊
仰角(angle azimuth)不模糊范围 {begin, end}	2维向量	{rad,rad}	可选	雷达测仰角的不模糊范围,目标仰角在此范围内不发生模糊

毫米波雷达检测数据体如下所示,表中详细描写了包头中的字段组、字段、数据类型、单位、是否必选和具体描述等信息,其中字段组描述了一组相关字段的共同属性。主要的字段组信息如下:

- 检测状态:检测的状态和跟踪信息;
- 检测信息:检测点的位置、速度,信噪比等

表格 23 毫米波雷达检测目标数据体

字段组	字段	数据类型	单位	是否必选	描述
	消息中检测形状个数	整数	/	必选	检测的形状个数
检测形状列表					
状态(必选)	存在可能性	实数	%	必选	检测形状存在的可能性,以百分比计算,值越高表示越可能存在
	关联目标标识	整数	/	条件必选	与检测关联的目标的标识编号

				(条件: 目标 接口)	
	相对时间	实数	秒	必选	检测形状相对于时间戳的时间
信息 (必选)	检测点坐标 {distance, elevation, azimuth}	3维 向量	{米,rad,rad}	必选	在坐标系中检测点坐标, 第一项是距离, 第二项是仰角, 第三项是方位角
	坐标协方差矩阵 {distance, elevation, azimuth}	3*3 矩阵	{米,rad,rad} x {米,rad,rad}	可选	检测点坐标的协方差矩阵
	检测点径向速度	实数	m/s	必选	径向速度
	检测点径向速度误差	实数	m/s	可选	径向速度的误差
	雷达散射截面	实数	dB m ²	必选	目标的雷达散射截面radar cross section
	雷达散射截面误差	实数	dB m ²	可选	目标的雷达散射截面的误差
	信噪比	实数	dB	可选	检测信噪比
	信噪比误差	实数	dB	可选	检测信噪比的误差
	多目标概率	实数	%	可选	检测点来源是多个目标的概率, 以百分比表示, 百分比越大越可能来源是多个目标, 如果只是一个目标引起的则概率为0
	模糊标识 (Ambiguity ID)	实数	/	可选	检测发生模糊时, 可能出现多个模糊结果, 为多个检测结果分配同一个模糊标识, 如果不发生模糊, 则模糊标识为0
模糊概率 (Detection ambiguity)	实数	%	可选	检测发生模糊时, 可能出现多个检测结果, 模糊概率即本	

	probability)				检测结果出现的概率
	目标相关信息	枚举	/	可选	如果检测与某个目标相关联,则提供目标相关信息,包括不可分类,噪声,可从上面绕过(overdrivable)和可从下面绕过(underdrivable)等

4.3.2 激光雷达

激光雷达的特征级别接口只提供检测数据。激光雷达的检测级别数据包括激光雷达检测的位置、反射率等信息。激光雷达检测数据的数据包格式由数据包头和数据体两部分组成。

激光雷达检测包头如下所示,表中详细描写了包头中的字段、数据类型、单位、是否必选和具体描述等信息。

表格 24 激光雷达检测目标数据包头

字段	数据类型	单位	是否必选	描述
版本号	结构体	/	必选	接口版本号信息
传感器标识	整数	/	必选	传感器的唯一标识,可以关联不同的接口
时间戳	实数	秒	必选	测量时间戳
周期计数器	整数	/	可选	周期计数器,可以根据时间戳和周期信息推算,持续累加
数据质量	枚举	/	必选	表明数据质量,如可用,不可用,视场受限,性能受限,性能和视场受限,无效等

激光雷达检测数据体如下所示,表中详细描写了包头中的字段组、字段、数据类型、单位、是否必选和具体描述等信息,其中字段组描述了一组相关字段的共同属性。主要的字段组信息如下:

- 检测状态: 检测的状态和跟踪信息;

- 检测信息：检测点的位置、速度，发射率等

表格 25 激光雷达检测目标数据体

消息字段	数据类型	单位	是否必选	描述	
消息中检测形状个数	整数	/	必选	检测的形状个数	
检测形状列表					
状态 (必选)	存在可能性	实数	%	必选	检测形状存在的可能性, 以百分比计算, 值越高表示越可能存在
	关联目标标识	整数	/	条件必选 (条件: 目标接口)	与检测关联的目标的标识编号
	相对时间	实数	秒	必选	检测形状相对于时间戳的时间
信息 (必选)	检测点坐标 {distance, elevation, azimuth}	3维向量	{米, rad, rad}	必选	在坐标系中检测点坐标, 第一项是距离, 第二项是仰角, 第三项是方位角
	坐标协方差矩阵 {distance, elevation, azimuth}	3*3矩阵	{米, rad, rad} x {米, rad, rad}	可选	检测点坐标的协方差矩阵
	高度	实数	米	必选	检测点的高度
	高度误差	实数	米	可选	检测点高度的误差
	反射率	实数	%	可选	雷达反射率
	反射率误差	实数	%	可选	雷达反射率的误差
	无障碍物概率	实数	%	可选	从发射源到检测点范围内无障碍物的概率, 越小则越有可能有障碍物
	目标相关信息	枚举	/	可选	如果检测与某个目标相关联, 则提供目标相关信息, 包括不可分类, 噪声, 可从上面绕过 (overdrivable) 和可从下面绕过

					(underdrivable) 等
--	--	--	--	--	----------------------

4.3.3 摄像头

摄像头的特征接口提供摄像头的特征数据和检测数据。特征数据由检测数据进一步抽象分析得来。摄像头的检测数据包括摄像头检测的位置、形状、颜色等。摄像头的特征数据包括摄像头检测特征的位置、形状、颜色等信息。

摄像头检测数据的数据包格式由数据包头和数据体两部分组成。

摄像头检测包头如下所示，表中详细描写了包头中的字段、数据类型、单位、是否必选和具体描述等信息。

表格 26 摄像头检测目标数据包头

字段	数据类型	单位	是否必选	描述
版本号	结构体	/	必选	接口版本号信息
传感器标识	整数	/	必选	传感器的唯一标识，可以关联不同的接口
时间戳	实数	秒	必选	测量时间戳
周期计数器	整数	/	可选	周期计数器，可以根据时间戳和周期信息推算，持续累加
数据质量	枚举	/	必选	表明数据质量，如可用，不可用，视场受限，性能受限，性能和视场受限，无效等
颜色模型	枚举	/	条件必选 (条件：摄像头)	描述目标颜色的模型，如RGB, HSV, LUV, Grey。

摄像头检测数据体如下所示，表中详细描写了包头中的字段组、字段、数据类型、单位、是否必选和具体描述等信息，其中字段组描述了一组相关字段的共同属性。主要的字段组信息如下：

- 形状状态：形状的状态和跟踪信息；
- 形状的细节信息：形状的类型，概率，颜色等；
- 形状的特征点信息：特征点的坐标和存在可能性等

表格 27 摄像头检测目标数据体

字段组	字段	数据类型	单位	是否必选	描述
	消息中形状个数	整数	/	必选	检测的形状个数
形状列表					
状态(必选)	存在可能性	实数	%	必选	检测形状存在的可能性,以百分比计算,值越高表示越可能存在
	关联目标标识	整数	/	条件必选(条件:目标接口)	与特征关联的目标的标识编号
	关联特征标识	整数	/	条件必选(条件:特征接口)	与特征关联的特征的标识编号
	相对时间	实数	秒	必选	检测形状相对于时间戳的时间
详细信息(必选)	基本形状	枚举	/	必选	基本形状,包括点,点云,椭圆,方形,多边形,折线等
	可能分类个数	整数	/	必选	形状被识别为某个类别的个

				数
分类列表 (概率总和为1)				
形状检测类别	枚举	/	必选	可能的类别包括背景、前景、大地、天空、建筑、植被、路、行人、车、交通标志、人行道等
形状检测可靠性	枚举	,	必选	形状被检测的可靠性,检测为某类别的置信度大于50%就被认为检测可靠,反之检测不可靠
形状检测类型ID	整数	/	可选	形状被检测为多种可能的类别时,每个类别会使用一个ID用以区分,如果只被检测为一个类别,则ID为0
颜色识别的可能性	实数	%	可选	被识别为某颜色的可

					能性,以百分比表示,值越大越有可能是某颜色
	颜色列表				
	颜色值	实数	%	必选	与颜色模型有关,如果颜色模型是RGB,则有三个颜色值,一个代表红色的比例,一个代表绿色的比例,一个代表蓝色的比例。
形状特征点信息(必选)	形状特征点个数	整数	/	必选	构成基本形状的特征点个数
	特征点列表				
	存在可能性	实数	%	必选	特征点存在的可能性,以百分比计算,值越高表示特征点越可能存在
	特征点坐标 {distance, elevation, azimuth}	3维向量	{米,rad,rad}	必选	在坐标系中特征点坐标,第一

					项是距离，第二项是仰角，第三项是方位角
	坐标协方差矩阵 {distance, elevation, azimuth}	3*3矩阵	{米, rad, rad} x {米, rad, rad}	可选	特征点坐标的协方差矩阵

摄像头特征数据的数据包格式由数据包头和数据体两部分组成。

摄像头特征包头如下所示，表中详细描写了包头中的字段、数据类型、单位、是否必选和具体描述等信息。

表格 28 摄像头特征数据包头

字段	数据类型	单位	是否必选	描述
版本号	结构体	/	必选	接口版本号信息
传感器标识	整数	/	必选	传感器的唯一标识，可以关联不同的接口
时间戳	实数	秒	必选	时间戳
周期计数器	整数	/	可选	周期计数器，可以根据时间戳和周期信息推算，持续累加
数据质量	枚举	/	必选	表明数据质量，如可用，不可用，视场受限，性能受限，性能和视场受限，无效等
颜色模型	枚举	/	条件必选(条件：摄像头)	描述目标颜色的模型，如RGB, HSV, LUV, Grey。

摄像头特征数据体如下所示，表中详细描写了包头中的字段组、字段、数据类型、单位、是否必选和具体描述等信息，其中字段组描述了一组相关字段的共同属性。主要的字段组信息如下：

- 特征状态：特征的状态和跟踪信息；
- 特征的详细信息：特征的类型，概率，颜色等；

- 特征的特征点信息：特征的坐标和存在可能性，翻译速度，旋转速率等等

表格 29 摄像头特征数据体

字段组	字段	数据类型	单位	是否必选	描述
	消息中特征个数	整数	个	必选	消息中包含的特征个数
特征列表					
特征状态 (必选)	存在可能性	实数	%	必选	特征存在的可能性，以百分比计算，值越高表示识别的特征越可能存在
	特征标识	整数	/	必选	特征的标识编号
	关联目标标识	整数	/	必选	与特征关联的目标的标识编号
	相对时间	实数	秒	必选	特征相对于时间戳的时间
	跟踪状况	比特串	/	可选	特征在最近n个周期是否被跟踪到，每个bit表明是否跟踪到目标，1表示当前周期被跟踪到，0表示未被跟踪到。
特征信息 (必选)	特征基本形状	枚举	/	必选	特征点组成的基本形状，包括点，点云，椭圆，方形，多边形，折线等
	特征的可能分类个数	整数	/	必选	特征被识别为某个类别的个数
	分类列表 (概率总和为1)				
	特征识别类别	枚举	/	必选	可能的类别包括背景、前景、大地、天空、建筑、植被、路、行人、车、交通标志、人行道等
	属于类别的可能性	实数	%	必选	属于某个类别的可能性，以百分比表示，百分比越高就越有可能是这个类型的特征形状

	颜色识别的可能性	实数	%	可选	被识别为某颜色的可能性,以百分比表示,值越大越有可能是某颜色
	颜色列表				
	颜色值	实数	%	必选	与颜色模型有关,如果颜色模型是RGB,则有三个颜色值,一个代表红色的比例,一个代表绿色的比例,一个代表蓝色的比例。
形状特征点信息(必选)	形状特征点个数	整数	/	必选	组成特征形状的特征点个数
	特征点列表				
	存在可能性	实数	%	必选	特征点存在的可能性,以百分比计算,值越高表示特征点越可能存在
	特征点坐标{x, y, z}	3维向量	{米,米,米}	必选	在坐标系中特征点的坐标{x, y, z}
	坐标协方差矩阵{x, y, z}	3*3矩阵	{米,米,米}x {米,米,米}	可选	特征点坐标向量的协方差矩阵
	特征点法向量{x, y, z}	3维向量	{米,米,米}	可选	特征点所在平面的规一化法向量
	特征点法向量误差	3维向量	{米,米,米}	可选	特征点法向量的误差
	特征点旋转速率向量{yaw, pitch, roll}	3维向量	{rad/s, rad/s, rad/s}	可选	特征点在三个坐标方向的旋转速率
	特征点旋转速率向量误差{yaw, pitch, roll}	3维向量	{rad/s, rad/s, rad/s}	可选	特征点旋转速率的误差
	平移速率	3维向量	{1/s, 1/s, 1/s}	可选	平移速率
平移速率误差	3维向	{1/s, 1/s, 1/s}	可选	特征点平移速率	

		差	量			的误差
		缩放速率	3维向量	{1/s, 1/s, 1/s}	可选	缩放速率
		缩放速率误差	3维向量	{1/s, 1/s, 1/s}	可选	缩放速率的误差

4.3.4 超声波雷达

超声波雷达的特征接口提供超声波雷达的检测数据。特征数据和检测数据。特征数据由检测数据进一步抽象分析得来。超声波雷达的检测数据包括超声波雷达检测的反射率、高度等信息。超声波雷达的特征数据包括超声波雷达检测特征的形状等信息。

超声波雷达检测数据的数据包格式由数据包头和数据体两部分组成。

超声波雷达检测包头如下所示，表中详细描写了包头中的字段、数据类型、单位、是否必选和具体描述等信息。

表格 30 超声波雷达检测数据包头

字段	数据类型	单位	是否必选	描述
版本号	结构体	/	必选	接口版本号信息
传感器标识	整数	/	必选	传感器的唯一标识，可以关联不同的接口
时间戳	实数	秒	必选	测量时间戳
周期计数器	整数	/	可选	周期计数器，可以根据时间戳和周期信息推算，持续累加
数据质量	枚举	/	必选	表明数据质量，如可用，不可用，视场受限，性能受限，性能和视场受限，无效等

超声波雷达检测数据体如下所示，表中详细描写了包头中的字段组、字段、数据类型、单位、是否必选和具体描述等信息，其中字段组描述了一组相关字段的共同属性。主要的字段组信息如下：

- 检测状态：检测的状态和跟踪信息；
- 检测的详细信息：反射率，椭圆轴信息，高度等；

表格 31 超声波雷达检测数据包头

字段组	字段	数据类型	单位	是否必选	描述
	消息中检测形状个数	整数	/	必选	检测的形状个数
检测列表					
状态（必选）	存在可能性	实数	%	必选	检测形状存在的可能性，以百分比计算，值越高表示越可能存在
	关联目标标识	整数	/	条件必选(条件：目标接口)	与检测关联的目标的标识编号
	关联特征标识	整数	/	条件必选(条件：特征接口)	与检测关联的特征的标识编号
	相对时间	实数	秒	必选	检测形状相对于时间戳的时间
信息（必选）	反射率	实数	%	可选	雷达反射率
	椭圆长轴长度	实数	米	必选	以超声波发射点和反射点为焦点构成椭圆，使检测形状位置在椭圆上。
	椭圆短轴长度	实数	米	必选	以超声波发射点和反射点为焦点构成椭圆，使检测位置在椭圆上。
	椭圆长短轴协方差	2*2矩阵	{米,米}x {米,米}	可选	椭圆长短轴的协方差矩阵
	高度	实数	米	可选	检测形状所在高度

超声波雷达特征数据的数据包格式由数据包头和数据体两部分组成。

超声波雷达特征包头如下所示，表中详细描写了包头中的字段、数据类型、单位、是否必选和具体描述等信息。

表格 32 超声波雷达特征数据包头

字段	数据类型	单位	是否必选	描述
版本号	结构体	/	必选	接口版本号信息
传感器标识	整数	/	必选	传感器的唯一标识，可

				以关联不同的接口
时间戳	实数	秒	必选	测量时间戳
周期计数器	整数	/	可选	周期计数器，可以根据时间戳和周期信息推算，持续累加
数据质量	枚举	/	必选	表明数据质量，如可用，不可用，视场受限，性能受限，性能和视场受限，无效等

超声波雷达特征数据体如下所示，表中详细描写了包头中的字段组、字段、数据类型、单位、是否必选和具体描述等信息，其中字段组描述了一组相关字段的共同属性。主要的字段组信息如下：

- 特征状态：特征的状态和跟踪信息；
- 特征的详细信息：特征的形状，概率等；
- 特征的特征点信息：特征的位置，高度，速度等

表格 33 超声波雷达特征数据体

字段组	字段	数据类型	单位	是否必选	描述
	消息中特征个数	整数	/	必选	消息中包含的特征个数
特征列表					
特征状态 (必选)	存在可能性	实数	%	必选	特征存在的可能性，以百分比计算，值越高表示识别的特征越可能存在
	特征标识	整数	/	必选	特征的标识编号
	关联目标标识	整数	/	必选	与特征关联的目标的标识编号
	相对时间	实数	秒	必选	特征相对于时间戳的时间
	跟踪状况	比特串	/	可选	特征在最近n个周期是否被跟踪到，每个bit表明是否跟踪到目标，1表示当前周期被跟踪到，0表示未被跟踪到。
特征信息	基本形状	枚举	/	必选	特征点组成的基本形状，包括点，线段

(必选)					等
	基本形状可能性	整数	/	必选	特征被识别为某个基本形状的可能性,
形状特征点信息(必选)	形状特征点个数	整数	/	必选	组成基本形状的特征点个数
	形状特征点列表				
	特征点坐标 {x, y}	2维向量	{米, 米}	必选	在坐标系中特征点的坐标 {x, y, z}
	高度	实数	米	可选	特征点的高度
	坐标协方差矩阵 {x, y, z}	3*3矩阵	{米, 米, 米}x {米, 米, 米}	可选	特征点坐标向量和高度的协方差矩阵
	特征点速度向量 {x, y, z}	2维向量	{m/s, m/s}	可选	特征点的速度向量
	特征点速度向量协方差矩阵	2*2矩阵	{米, 米}x {米, 米}	可选	特征点速度向量的协方差矩阵
	三边测量定位状态	枚举	/	必选	特征点的坐标是否是通过三边测量法定位的, 值为是、不是或未知
被追踪状态	枚举	/	可选	特征点被追踪的状态, 包括刚被追踪、即将删除、已被测量等	

4.4 控制接口

4.4.1 传感器状态接口

传感器状态接口提供传感器状态数据, 传感器状态数据包括传感器的运行状态、故障情况、校准等。

传感器状态数据的数据包格式由数据包头和数据体两部分组成。

传感器状态包头如下所示, 表中详细描写了包头中的字段、数据类型、单位、是否必选和具体描述等信息。

表格 34 传感器状态数据包头

字段	数据类型	单位	是否必选	描述
----	------	----	------	----

版本号	结构体	/	必选	接口版本号信息
传感器标识	整数	/	必选	传感器的唯一标识，可以关联不同的接口
时间戳	实数	秒	必选	时间戳
消息计数器	整数	/	可选	消息计数器，累计发送的消息个数
数据质量	枚举	/	必选	表明数据质量，如可用，不可用，视场受限，性能受限，性能和视场受限，无效等

传感器状态数据体如下所示，表中详细描写了包头中的字段组、字段、数据类型、单位、是否必选和具体描述等信息，其中字段组描述了一组相关字段的共同属性。主要的字段组信息如下：

- 传感器工作状态：工作模式，电压，温度，湿度，干扰等；
- 传感器校准信息：校准状态，修正值等；

表格 35 传感器状态数据体

字段组	字段	数据类型	单位	是否必选	描述
传感器状态（必选）	传感器运行状态	枚举	/	必选	包括正常运行、受限、关闭、初始化、错误、未定义等
	传感器运行模式	枚举	/	必选	包括测量开启、测量关闭等
	传感器故障情况	枚举	/	必选	包括无故障、可恢复故障、不可恢复故障等
	传感器故障原因	枚举	/	必选	包括内存不足、软件故障、机械故障、过热过冷、电量不足、外部干扰、标定错误等
	传感器诊断模式	枚举	/	必选	包括正常运行模式、自检模式等
	传感器电压状态	枚举	/	必选	包括正常、过高、过低、即将过高、即将过低等
	传感器温度状态	枚举	/	必选	包括正常、过热、过冷、即将过热、

					即将过冷，无效等
	传感器输入信号状态	枚举	/	必选	包括正常、不合理、丢失、失效、超时等
	传感器外部干扰状态	枚举	/	可选	包括完全干扰、干扰影响大、干扰影响小等
	降低发射功率状态	枚举	/	可选	包括正常、降低发射功率状态
	传感器加热状态	枚举	/	可选	包括加热开启、加热关闭等
	传感器清洁状态	枚举	/	可选	包括清洁开启、清洁关闭、需要清洁等
	传感器同步状态	枚举	/	可选	包括同步正常、不同步、同步偏差、超时等
	传感器同步偏差值	实数	秒	可选	传感器同步偏差值
传感器校准（可选）	传感器校准状态	枚举	/	必选	包括已校准、未校准、性能下降、需重新校准等
	初始安装位置校正{x,y,z}	3维向量	{米,米,米}	可选	初始安装位置的校正
	初始安装位置校正误差{x,y,z}	3维向量	{米,米,米}	可选	初始安装位置的校正误差
	位置校正最小值{x,y,z}	3维向量	{米,米,米}	可选	位置校正最小值
	位置校正最大值{x,y,z}	3维向量	{米,米,米}	可选	位置校正最大值
	初始安装方向角校正{yaw,pitch,roll}	3维向量	{rad,rad,rad}	可选	初始安装方向角校正
	初始安装方向角校正误差{yaw,pitch,roll}	3维向量	{rad,rad,rad}	可选	初始安装方向角校正的误差
	方向角校正最小值{yaw,pitch,roll}	3维向量	{rad,rad,rad}	可选	传感器方向角的校正最小值
	方向角校正最大值{yaw,pitch,roll}	3维向量	{rad,rad,rad}	可选	传感器方向角的校正最大值

	{yaw,pitch,roll }				
激光 雷达	回波模式	枚举	/	可选	单回波, 双回波

4.4.2 传感器性能接口

传感器性能接口提供传感器性能数据, 传感器性能数据包括传感器的位置、检测范围、检测能力等。

传感器性能数据的数据包格式由数据包头和数据体两部分组成。

传感器性能包头如下所示, 表中详细描写了包头中的字段、数据类型、单位、是否必选和具体描述等信息。

表格 36 传感器性能数据包头

字段	数据类型	单位	是否必选	描述
版本号	结构体	/	必选	接口版本号信息
传感器标识	整数	/	必选	传感器的唯一标识, 可以关联不同的接口
时间戳	实数	秒	必选	时间戳
消息计数器	整数	/	可选	消息计数器, 累计发送的消息个数
数据质量	枚举	/	必选	表明数据质量, 如可用, 不可用, 视场受限, 性能受限, 性能和视场受限, 无效等
传感器坐标系	枚举	/	必选	传感器采用的坐标系, 包括后轴坐标系, 路面坐标系等
传感器位置 {x, y, z}	3维向量	{米, 米, 米}	必选	传感器位置坐标
传感器位置误差	3维向量	{米, 米, 米}	可选	传感器位置坐标的误差
传感器偏转 {yaw, pitch, roll}	3维向量	{rad, rad, rad}	必选	传感器相对坐标平面的偏转角度
传感器偏转误差	3维向量	{rad, rad, rad}	必选	传感器偏转角度的误差

传感器性能数据体如下所示, 表中详细描写了包头中的字段组、字段、数据

类型、单位、是否必选和具体描述等信息，其中字段组描述了一组相关字段的共同属性。主要的字段组信息如下：

- 视场状态：视场范围和状态等；
- 视场受限原因：受限类型和原因等；
- 真实目标检测能力：每种检测类型的分辨力等
- 参考目标检测能力：参考目标的检测参数等

表格 37 传感器性能数据体

字段组	字段	数据类型	单位	是否必选	描述
	传感器视场区域个数	整数	/	必选	可检测区域个数
视场区域列表					
状态 (必选)	水平范围 {begin,end}	实数	{rad, rad}	必选	水平方向可检测的角度范围
	垂直范围 {begin,end}	实数	{rad, rad}	必选	垂直方向可检测的角度范围
	盲区状态	枚举	/	必选	传感器的盲区状态，包括全盲，部分盲区，无盲区等
视场受限信息 (必选)	视场受限原因个数	整数	/	必选	传感器视野受限的原因个数
	视场受限原因列表				
	视场受限原因类型	枚举	/	必选	传感器视场受限原因的类型，包括雨，雪，沙，夜，湿等
	归于该类视场受限原因的可能性	实数	%	必选	归于某种类型原因的可能性，以百分比表示，百分比越大越可能是这种原因
真实目标检测能力	可检测目标类型个数	整数	/	必选	传感器可检测的目标类型个数
	可检测目标类型列表				
	可检测目标类型	枚举	/	必选	传感器可检测的目标类型，包括轿车，卡车，摩托车，自行车，行人，移动目标，静态目标等
	检测距离范围 {min,max}	2维向量	{米,米}	必选	传感器可检测目标的距离范围，超过这个范围

					则不可准确检测
	最小分类概率 Minimum classification rate	实数	%	可选	检测范围内检测区域的最小分类概率，高于此值则可以识别为某种类型
	最大假阳率 maximum false positive rate	实数	%	可选	估计的检测区域的最大假阳率
	阳性预测率 Positive predictive value	实数	%	可选	估计的检测区域的阳性预测率
参考体检测能力	参考体个数	整数	/	必选	传感器检测时为了获得某项不易测量的指标，可能需要借助某些容易测量的参考体的指标来进行推算
	参考体列表				
	参考体的雷达散射面积	实数	dBm ²	条件必选	当传感器是毫米波雷达时，参考体的雷达截面面积radar cross section
	参考体的反射率	实数	%	条件必选	当传感器是激光雷达或超声波时，参考体的反射率
	Delta E色差	实数	/	条件必选	当传感器是摄像头时，传感器所能识别参考体相对背景的最小色差，Delta E在ISO 11664-4中定义
	相对速度范围 {min,max}	2维向量	/	条件必选	当传感器是雷达时，传感器能检测的参考体相对本车的相对速度范围，范围之外无法准确检测
	检测距离范围 {min,max}	2维向量	{米,米}	必选	传感器可检测参考体的距离范围，超过这个范围则不可准确检测
	信噪比	实数	dB	必选	参考体检测的信噪比

4.4.3 传感器输入接口

传感器输入接口是指对传感器的信息外部信息输入的动态输入来帮助传感器更有效的完成对于周围环境的感知,输入的信息可以包括自车信息,环境信息等,也可以包括后续传感器的模式配置等。

传感器输入接口数据的数据包格式由数据包头和数据体两部分组成。

传感器输入接口数据包头如下所示,表中详细描写了包头中的字段、数据类型、单位、是否必选和具体描述等信息。

表格 38 传感器输入数据包头

字段	数据类型	单位	是否必选	描述
版本号	结构	/	必选	接口版本号信息
发送端标识	整数	/	必选	发送端的车内唯一标识,可以是融合模块或者其他传感器
时间戳	实数	秒	必选	时间戳
周期计数器	整数	/	可选	周期计数器,可以根据时间戳和周期信息推算,持续累加

传感器输入接口数据数据体如下所示,表中详细描写了包头中的字段组、字段、数据类型、单位、是否必选和具体描述等信息,其中字段组描述了一组相关字段的共同属性。主要的字段组信息:

- 传感器配置信息: 包括传感器模式和接口配置,传感器标定信息;
- 环境信息: 道路类型,温度,湿度,天气状况等;
- 车辆状态: 车辆速度,行驶方向,方向盘转角,左、右转向灯状态,制动状态,档位信号,横摆角速度,雨刮工作状态等等

表格 39 传感器输入数据体

字段组	消息字段	数据类型	单位	是否必选	描述
传感器配置信息	传感器模式设置	枚举		可选	可以设置多种模式:开启,关闭,重启,休眠等
	上报接口配置	比特串		可选	传感器接口上报的信息,1开启,0

					关闭,包括所有可能的接口。
环境信息	天气信息	枚举		可选	天气信息:雨,雪,雾等
	道路信息	枚举		可选	道路信息:高速,停车场,城区道路,郊区等
	温度	实数		可选	气温
	湿度	实数		可选	气温
车辆状态	车辆速度 {x,y,z}	3维向量	{m/s,m/s,m/s}	可选	
	运动方向 {yaw,pitch,roll}	3维向量	{rad/s,rad/s,rad/s}	可选	
	转向角	实数	rad	必选	
	转向灯状态	枚举	/	可选	左右转向灯状态
	制动状态	枚举	/	可选	制动器状态
	雨刷器工作状态	枚举	/	可选	是否开启,开启的速度等

4.4.4 传感器配置上报接口

传感器配置上报接口是指对传感器在上电后将传感器的配置状态或者配置状态变化上报给融合模块,特别是关于接口配置的信息。

传感器配置上报接口数据的数据包格式由数据包头和数据体两部分组成。

传感器上报接口数据包头如下所示,表中详细描写了包头中的字段、数据类型、单位、是否必选和具体描述等信息。

表格 40 传感器配置上报数据包头

字段	数据类型	单位	是否必选	描述
版本号	结构	/	必选	接口版本号信息
传感器标识	整数	/	必选	传感器车内唯一标识
时间戳	实数	秒	必选	时间戳
周期计数器	整数	/	可选	周期计数器,可以根据时间戳和周期信息推算,持续累加

传感器上报接口数据体如下所示,表中详细描写了包头中的字段组、字段、

数据类型、单位、是否必选和具体描述等信息，其中字段组描述了一组相关字段的共同属性。主要的字段组信息：

- 传感器安装和校准信息：包括传感器安装位置和校准信息等；
- 接口上报频率和接口最大限制目标数信息等

表格 41 传感器配置上报数据体

字段组	字段	数据类型	单位	是否必选	描述
安装位置和校准(可选)	车载坐标系选择	枚举		必选	车载坐标系：后轴中心，道路平面
	传感器校准状态	枚举		必选	校准状态：已校准，未校准，降级，初始校准失败，校准未执行，需要重新校准
	初始位置 {x,y,z}	3维向量	{m,m,m}	可选	
	初始安装位置校正 {x,y,z}	3维向量	{m,m,m}	可选	初始校准后安装位置的校正值
	初始安装位置校正误差 {x,y,z}	3维向量	{m,m,m}	可选	估计的校准误差
	位置校正最小值 {x,y,z}	3维向量	{m,m,m}	可选	
	位置校正最大值 {x,y,z}	3维向量	{m,m,m}	可选	
	初始安装方向角 {yaw,pitch,roll}	3维向量	{rad,rad,rad}	可选	
	初始安装方向角校正 {yaw,pitch,roll}	3维向量	{rad,rad,rad}	可选	
	初始安装方向角校正误差 {yaw,pitch,roll}	3维向量	{rad,rad,rad}	可选	
	安装方向角校正最小值 {yaw,pitch,roll}	3维向量	{rad,rad,rad}	可选	
	安装方向角校正最大值	3维向量	{rad,rad,rad}	可选	

	{yaw,pitch,roll}				
接口发送频率(可选)	可移动目标接口信息发送频率	整数	1/s	条件	
	道路标线接口发送频率	整数	1/s	条件	
	静态目标接口发送频率	整数	1/s	条件	
	特征级别接口发送频率	整数	1/s	条件	
	检测级别接口发送频率	整数	1/s	条件	
	传感器性能接口发送频率	整数	1/s	条件	
	传感器状态接口发送频率	整数	1/s	条件	
接口目标列表最大值(可选)	可移动目标接口目标列表限制	整数		条件	
	道路标线接口目标列表限制	整数		条件	
	静态目标接口目标列表限制	整数		条件	
	特征级别接口目标列表限制	整数		条件	
	检测级别接口目标列表限制	整数		条件	
	传感器性能接口目标列表限制	整数		条件	
	传感器状态接口目标列表限制	整数		条件	

5 系统问题分析和评估

5.1 车载毫米波雷达见干扰问题

随着车载毫米波雷达（后面简称雷达）渗透率的提升，汽车雷达之间的互干扰变得不可忽视，正像ISO 21448 预期功能安全规范中提到的那样，车载雷达间的干扰问题已经是重要的预期功能安全风险。尤其在中国，路况比较复杂，在一线城市的市区路口、典型环线和高架桥等场景下，车辆密度都比较大，同时，路侧雷达也将广泛部署，因此车载雷达之间的干扰问题会逐渐加重。

Fast-FMCW（锯齿波）因其相对低的实现复杂度及较好的多目标检测性能成为目前的主流车载雷达方案，这里也以锯齿波为基本参考波形来描述雷达的干扰问题。

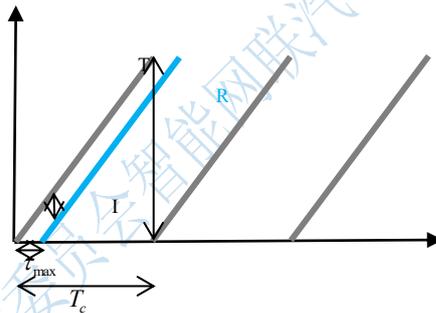


图 19 锯齿波波形示意图

如图 19所示，锯齿波的主要参数包括Chirp扫频带宽 B ，单次Chirp时间 T_c ，扫频次数 N ，这些参数和距离及速度的设计目标（主要是测量分辨率和范围）相关，另外天线配置主要依赖于角度分辨率和FOV设计目标。

雷达间干扰主要会引发两类问题：虚警和漏警。通常同斜率的FMCW干扰信号如果落入本雷达的目标检测（中频）范围内，则会形成虚警或称为“鬼影”(ghost)，相当于本雷达分不清接收的是目标的回波还是另一个一模一样的雷达的直射信号，如图 20（左）所示。另一方面，不同斜率的干扰信号如果落入本雷达目标检测（中频）接收的范围之内，可能会造成一定距离和一定速度范围内的目标检测的干扰底噪抬升，造成目标尤其是小目标的漏警，如图 20（右）所示。

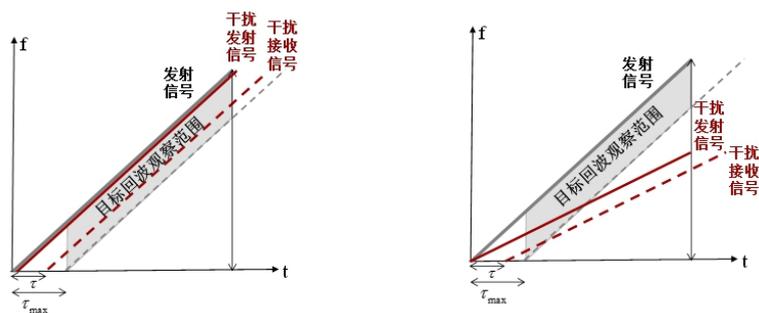


图 20 雷达间干扰原理示意图

5.2 雷达间干扰消除方案分析

随着自动驾驶的普及和雷达的大规模应用，雷达间的干扰情况会越来越突出，所以需要采用一定的技术手段来确保车载雷达的性能和服务质量。当前的车载雷达间抗干扰手段主要有两种：一是被动式，即对于已经落入本雷达目标检测范围内的干扰想办法去除；二是主动式，即想办法使得干扰不落入雷达的目标检测范围。

5.2.1 被动式方案

被动式方案大多是延续军用雷达的被动对抗式思路，通过接收侧的私有算法方案进行干扰的检测和去除，或者随机化发射侧雷达设计参数，一方面来对抗干扰，另一方面也减弱对其他雷达的干扰。常用的技术手段包括：

- 接收机干扰去除，比如时域瞬时干扰去除或去除后插值补偿等；
- 检测干扰并进行避免，比如检测到某频率有强干扰时，下次选择其他频率使用；
- 雷达发射参数的随机化，包括时、频、空、码域的随机化等；
- 还有一部分干扰去除的方案是通过更改雷达波形，采用抗干扰性更好的波形，比如PMCW，OFDM等来减少干扰。

例如，在US006094160A中就给出了一种时域瞬时干扰去除的方案：

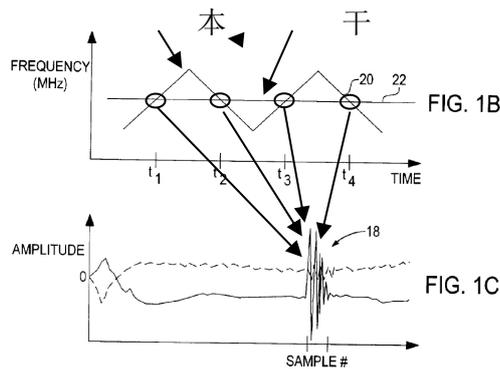


图 21 一种时域瞬时干扰去除方案

通常来说，上述被动式雷达会有如下方面潜在的问题：

- 接收机干扰去除方案：复杂度通常比较高，一般要求干扰源不能太多，在高密度场景下干扰消除效果有限；
- 检测干扰方案：干扰检测范围有限，有一定盲目性；干扰避免不能保证避免的程度和效果；
- 发射波形的时频域随机化：一般会造成接收端检测方案复杂化，且可能带来速度或距离检测的模糊问题，需要附加新技术去除模糊，有些可能还会用到比如稀疏重构等算力要求较高的技术；
- 非FMCW新波形，比如PMCW，OFDM等：这些新波形方案目前的产业成熟度还较低，性价比有待进一步论证。

5.2.2 主动式方案

除了上述被动对抗干扰的方式之外，还有一种方式，通过政府机构或多雷达厂商之间的协调，建立一定的通用规范，主动避免干扰的发生，我们称之为协同式方案。协同式方案希望通过多雷达之间的协作，比如对多雷达使用的资源、波形、空间方向等进行协同，从一开始就主动避免干扰。这种协作可以是预定义的某种多雷达都遵从的使用规则，比如资源使用规则，也可以基于干扰侦听和避免方式，还可以是基于某种强大的中心控制机制进行统一协调。考虑到中心控制的方式在现实中难以实现或需要付出较大的代价（比如信息交互的带宽，时延，可靠性，中心控制装置的算力要求等），这里以预定义时频栅格（资源）使用规则方式和干扰侦听和避免方式的协同为主来进行进一步说明。

5.2.2.1 预定义时频栅格（资源）使用规则方式：

此方案中，雷达使用的资源以时频栅格的形式存在，在后续此方案的描述中，

以时频栅格代替时频栅格（资源）。通过时域和或频域协同，不同雷达的波形在时域或频域上错开一定的间隔，使得干扰接收信号与发射信号的差频在彼此目标回波的观察范围之外，则可规避干扰的影响，从而提高检测概率，如图 22所示：

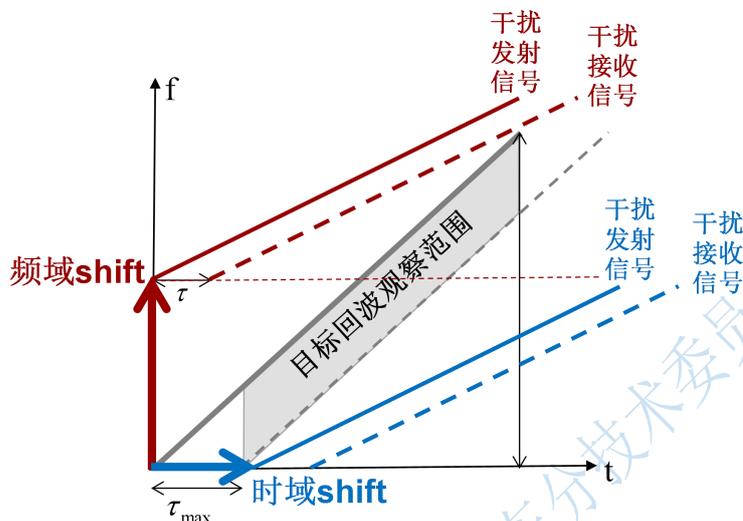


图 22 雷达时域/频域协同示意图

另外，不同雷达的Chirp时间 T_c 的不同也会给二者之间的互干扰带来较大的影响，会在距离域检测中形成多个干扰峰值，并在速度域形成多个干扰栅瓣，可能造成大量ghost，因此在支持的速度分辨率和速度范围相近的雷达类型中，尽量使得 T_c 相同。

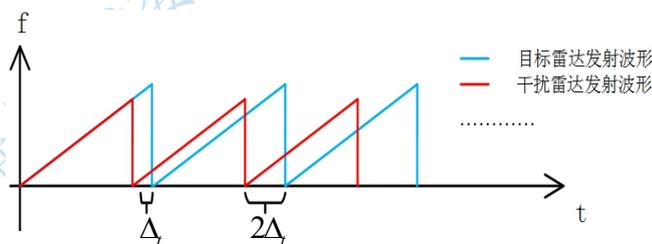


图 23 不同雷达Chirp时间不同示意图

为尽可能在可使用的频带上容纳更多的互不干扰波形，可设置频域栅格（frequency raster），如图 24（左）所示，频域栅格将一段频率范围划分为多个子频率范围，每个频域栅格对应一个频点，频域栅格之间的频率间隔由雷达波形决定。雷达工作的起始频率只能在频域栅格中选择，雷达波形则需要从该频域栅格所适用的波形中选择；同理，对于激活期重叠的多个雷达，错开不同的起始时间也可以降低雷达之间的互干扰，为尽可能在时间上容纳更多的互不干扰波形，可以设置时域栅格（time raster），如图 24（右）所示，时域栅格将一段

时间范围划分为多个子时间范围，每个时域栅格对应一个时刻，时域栅格之间的时间间隔由雷达波形决定。雷达工作起始时间只能在时域栅格中选择，雷达波形则需要从该时域栅格所适用的波形中选择。

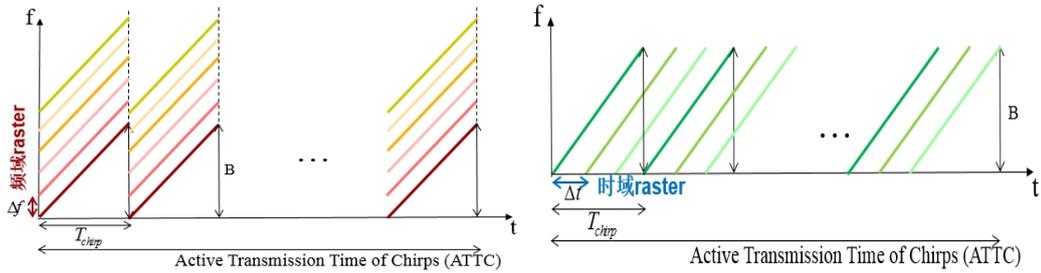


图 24 频域、时域栅格划分示意图

另一方面，在时间上错开不同雷达的激活期也可以进一步扩展时域容量。

由于时频域有一定对偶性，通常情况下，可用频带的栅格划分可以选择使用频域栅格或时域栅格中的一种，或者混合使用。

总体上，可以将时频域资源划分为多个互不干扰的栅格，然后每个雷达选择一个栅格资源进行发送。每雷达的具体资源使用方式，可以从资源池中随机选择使用，当资源池足够大时，已经可以获得较好的规避干扰的效果。也可以通过侦听选择较为空闲的资源使用。为保证侦听的公平性，可以定义统一的侦听机制。甚至可以通过V2X等通信机制来帮助多个雷达之间进行时频资源和波形的协作。

预定义时频栅格方案：

预定义时频栅格方案有四个步骤，其中第一步即标准化预定义时频栅格是整个方案的前提，最后一步为可选，定期的重新选择时频栅格可以更有效的降低雷达干扰的概率，提高方案的有效性。



图 25 预定义时频栅格方案步骤图

首先需要标准化预定义的时频资源供雷达选择。LRR和MRR的波形参数建议如下：

- LRR: 带宽250MHz /最大测距范围250m /中频滤波器带宽15MHz /Chirp脉宽27.8us
- MRR: 带宽2GHz/最大测距范围100m/中频滤波器带宽15MHz/Chirp脉宽88.9us

假设雷达之间的同步误差为2us，由此得到这两款波形时频栅格的情况如表格 42所示，

表格 42 LRR/MRR波形集合示例

波形示例-同斜率	LRR	MRR
频域栅格的频率间隔	36 MHz	60 MHz
频域容量	21 @ 1GHz	34 @ 4GHz
时域栅格的时间间隔	4 us	2.67 us
时域容量	24 @ 1GHz	66 @ 4GHz

以LRR频域栅格为例，在频域上间隔36MHz为一个频域栅格，1GHz带宽内就有21个候选频域栅格可供雷达选择，这21个候选频域栅格即组成了频域栅格资源池。这些频域栅格的具体划分需要进行标准化，在协议中规定具体的候选频域栅格资源池。建议LRR和MRR在频域上使用不同的子带，子带指的是一段频率范围，其中包含一个或者多个频域栅格。同理时域上按照表格 42 可以划分出多个候选的时域栅格可供雷达选择，所有候选的时域栅格组成了时域栅格资源池。综合考虑时频栅格，则经过划分会形成候选的时频栅格资源池，供雷达选择使用。下面以频域栅格为例按步骤说明本方案是如何实施的。

第一步，时间同步，频域栅格的使用需要雷达首先进行同步，雷达可以通过各种同步机制如与GPS进行同步，确定后续信号发射的时间起点。后续按选定的时间起点进行周期性发射，雷达的刷新周期为50ms。

第二步，雷达随机选择在频域资源池中的一个频域资源，在后续的刷新周期内使用这个资源来发射雷达信号。如图 26所示，雷达1/2/3分别选择了深红色/绿色/黄色的频域栅格作为其使用的资源。

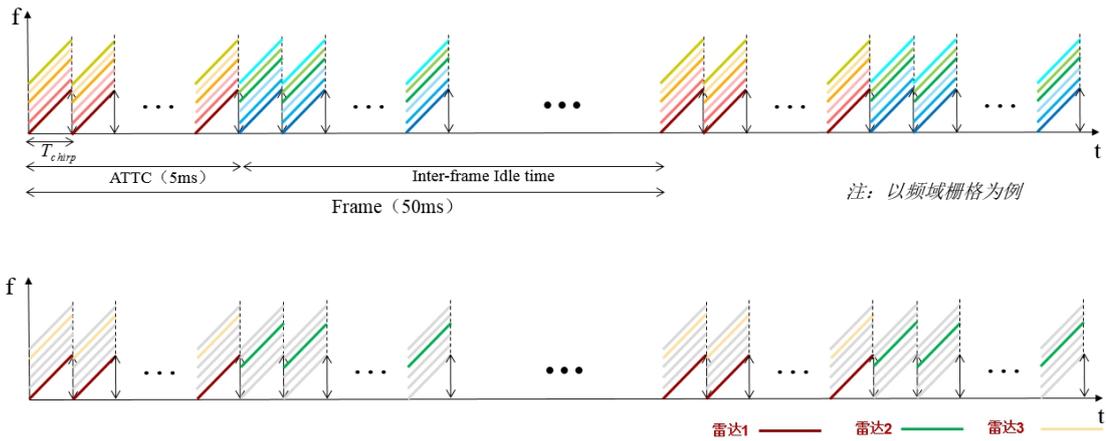


图 26 预定义时频栅格方案示例

第三步（可选），考虑到公平性和避免干扰的目的，雷达在同一个频域栅格上连续发射数个刷新周期的信号之后，重新随机选择一个频域栅格进行信号发射。推荐连续使用频域资源多个周期（如1s）后重新随机选择频域栅格。如图 27所示，雷达首先在频域栅格1上工作，1秒钟之后，雷达重新随机选择频域栅格，在频域栅格2上工作。即每间隔1s，雷达进行一次随机选择，再重新从21个频域栅格内随机选择一个作为其使用的频域资源。

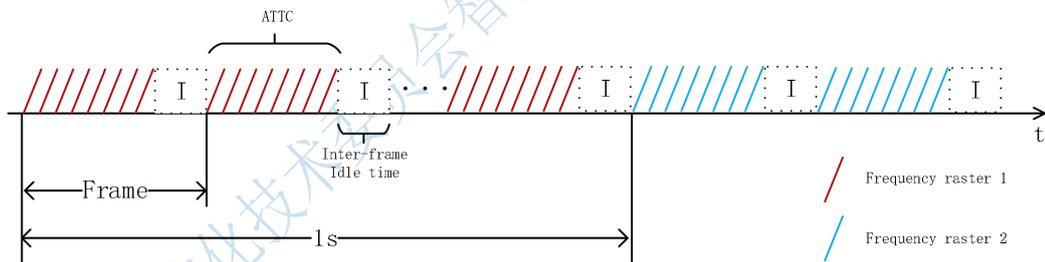


图 27 雷达随机重选频域栅格示意图

5.2.2.2 干扰侦听和避免方式

此方案中，雷达使用的资源以信道的形式存在，在后续此方案的描述中，以信道来表示雷达使用的资源。所述信道与上一个方案中的频域栅格类似，都是对一段频率范围的划分结果，只是频域栅格划分的更紧密（频域栅格间距为几十兆赫兹），信道划分的粒度往往更大（信道间距为几百兆赫兹）。

现有的雷达会使用跳频技术在一定程度上规避干扰，这在一定程度上可以有效地降低和规避干扰。但是目前跳频的频点随机，且在跳频的时候，并不知道干扰方的频点和带宽，只能根据自己使用的带宽做简单的“信道”判断（现有技术

并没有对雷达工作频段进行信道划分)，这就不能十分有效的避免干扰，且当雷达渗透率非常高的时候，跳频技术实际是在一种无序的情况下使用的，造成了宝贵的频域资源的不合理使用和浪费。本章节提出了一种干扰侦听和避免方式。该方案如图 28所示，有三个步骤，其中第一步即标准化信道划分是整个方案的前提；中间一步雷达侦听是本方案的核心步骤，最后一步为定期的重新选择信道可以更有有效的保证资源使用的公平性。

干扰侦听的方案要求在发射空闲周期，即数据处理期间对于其他信道进行处理，要求雷达芯片需要同时进行其他信道侦听和工作频率信号的处理。

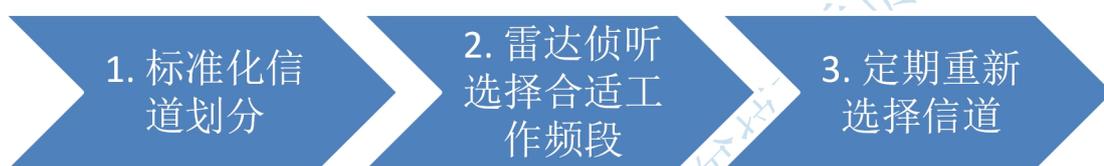


图 28 干扰侦听和避免方案步骤图

频域侦听信道划分建议

我们建议200MHz作为一个信道，将77-81GHz分为如图 29所示的20个互不交叠的信道：

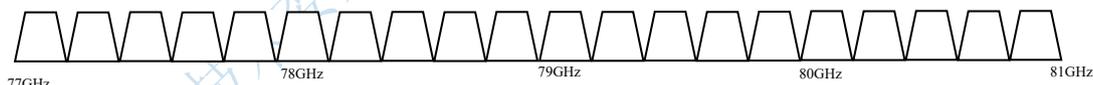


图 29 信道划分示意图

表 4-1 77-81GHz信道划分情况表

Channel No.	Center frequency (GHz)	Channel Bandwidth (MHz)
1	77.1	200
2	77.3	200
3	77.5	200
4	77.7	200
5	77.9	200
6	78.1	200
7	78.3	200
8	78.5	200
9	78.7	200

10	78.9	200
11	79.1	200
12	79.3	200
13	79.5	200
14	79.7	200
15	79.9	200
16	80.1	200
17	80.3	200
18	80.5	200
19	80.7	200
20	80.9	200

根据不同的雷达信号带宽，雷达可能会同时使用上面的1~10个信道。为了主动规避干扰，雷达在发送前，需要主动侦听各信道的使用情况，尽量避免与干扰较大的雷达使用同样或者重叠的信道。雷达以如上划分的信道为单位进行侦听，例如如果雷达目前工作在LRR状态下，需要使用200MHz，它可以在如上20个信道上进行侦听，选择干扰最小的信道进行发送。如果雷达目前工作在MRR状态下，需要1GHz带宽，那么雷达可以同时侦听连续的5个信道，选择干扰最小的5个连续信道进行发送。

干扰侦听和避免方案

采用干扰侦听和避免方式进行工作时，按照图 30所示的状态机进行：



图 30 干扰侦听和避免方案状态机示意图

空闲态时，雷达在连续多个刷新周期（也称为帧）内的空闲时间里除了进行信号处理，也对划分的候选使用的信道进行侦听，如图 31 所示。

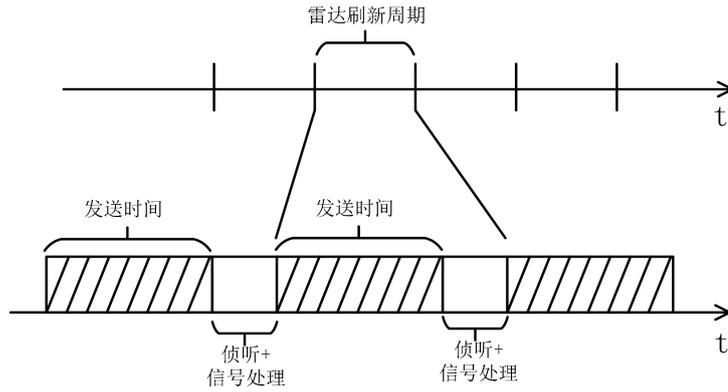


图 31 雷达发射侦听时域示意图

检测频带作为雷达侦听所对应的一段频带，其带宽不小于雷达的信号带宽，雷达的信号带宽是指发送的信号的波形所占用的带宽。雷达根据需求和能力，可以侦听多个检测频带，该多个检测频带则组成了该雷达的候选检测频带。

如图 32所示，检测频带包括信道L和信道L+1 这2个连续信道，雷达的信号带宽小于信道L和信道L+1的带宽之和，检测频带的带宽大于等于雷达的工作带宽。

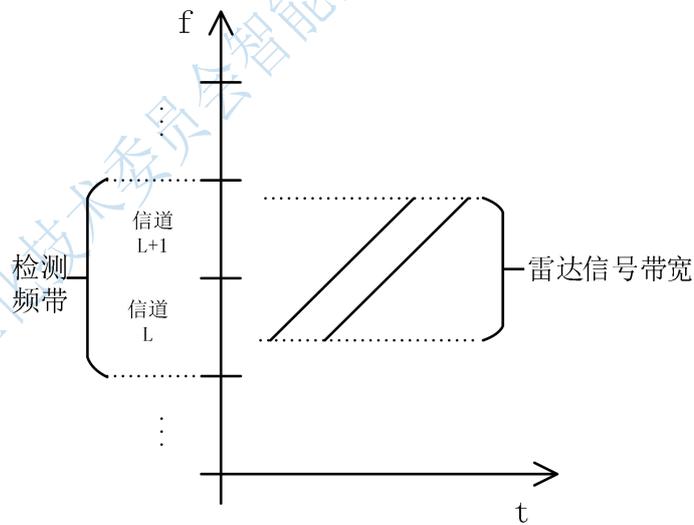


图 32 雷达检测频带与雷达信号带宽的关系示意图

例如，对于信号带宽为200MHz的雷达，上述划分的每个200MHz的信道都可以成为侦听的候选检测频带；对于信号带宽为300MHz的雷达，每两个连续的200MHz信道都可以成为侦听的候选检测频带。雷达可以根据信号带宽和自身能力确定检测频带。检测频带的侦听的方式如图 33所示，雷达将待发射信号的频段调至检

测频带 p 的范围内，然后通过接收机接收检测频带 p 频段内的信号，并与待发射信号进行混频，最后再将混频后的信号进行中频滤波，然后基于最后的滤波结果进行能量检测。在信道空闲期内检测的信道数目可以根据雷达的能力决定。

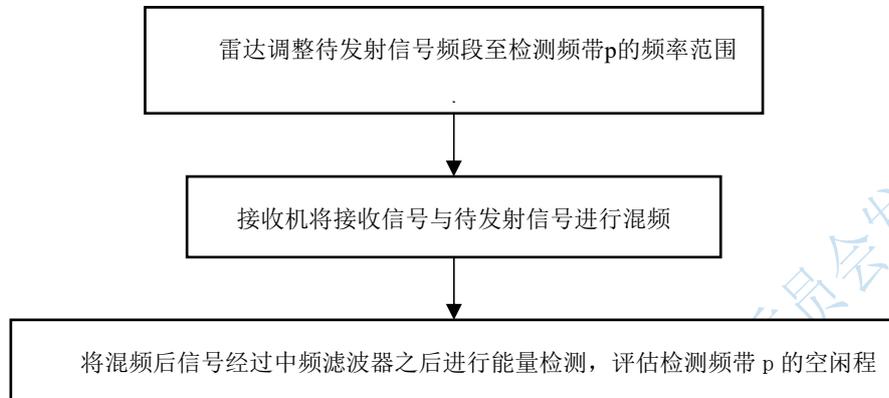


图 33 雷达基于检测频带进行侦听流程图

雷达综合考虑连续多个刷新周期内侦听得到的所有检测频带的能量值，选出在整个侦听窗口内能量值最低的检测频带进行后续刷新周期的信号发射。其中侦听窗口为多个雷达刷新周期的整数倍。

雷达在对一个频段使用了一段时间(如多个刷新周期，考虑公平性和复杂度，推荐1s)后，可以对发射使用的信道或信道组合进行调整，使用在空闲态识别的信道条件较好的信道或信道组合进行之后一段时间的目标探测。如果有其他雷达恰好采用和当前雷达相同频率和时间发送，则需要考虑增强方案来进行检测，如在不影响性能的前提下，利用1-2个发射周期的工作时间来进行干扰侦听。

侦听方案不要求雷达进行时间同步，但是如果雷达的工作带宽比较大，占用多个信道进行发射情况下，雷达之间的干扰也会比较大。如果可以实现时间同步和发射周期协同一致，则干扰概率会降低。总之，干扰避免的效果和代价是成比例的。

6 标准化建议

6.1 传感器抽象接口

感知融合部分是整个自动驾驶框架中最基础的部分，根据感知融合技术的框架，可能进行标准化的设计主要分成三个方向，即传感器抽象接口，数据融合处理的标准化和融合输出即环境模型或者世界模型的标准化。

从现阶段技术发展情况和应用情况来看，传感器和融合模块之间的传感器抽象接口发展较快，而且传感器和融合模块之间的分工较为明确，也有了一定的行业共识，传感器接口具备了进行标准化的基本条件，建议进行传感器抽象接口的标准化工作。具体可以考虑的标准化范围包括雷达、激光雷达、摄像头和超声波雷达，首先进行目标数据和特征数据接口的研究和标准化，同时考虑支持数据传输的必要控制信息特别是传感器状态，性能，输入信息等控制信息的标准化。在后续的标准化工作中，传感器接口的标准化需要和国际标准ISO23150的进展结合，互相促进，适时启动标准国标转化工作。

其他标准中涉及部分技术发展暂不成熟，如数据融合处理的标准化和环境模型输出的标准化可以随着自动驾驶技术的不断发展来进一步研究讨论。网联传感器特别是V2X相关的接口标准化已经在其他课题或者标准组织已经进行了并行的讨论，在本课题中不需要重复进行，在进行网联传感器的标准化研究中考虑对于融合模块的输入，特别是多车协同的感知需求。其他两部分。在后续的研究和标准制定中，可以继续完善相关方案设计，同时继续和国际标准组织联动，把标准化的研究成果也推向国际标准。

6.2 雷达干扰问题

目前现有的被动式干扰消除技术的性能在高雷达渗透率下是远远不够的，主动协同式方案可以在干扰发生之前就通过多雷达的协作来尽量规避其发生，也从一定程度上降低了被动式方案的复杂度要求和场景限制。建议标准化主动协同式方案，并进一步通过协同式和被动式联合可以发挥更好的干扰消除效果。

主动协同式方案可以在干扰发生之前就通过多雷达的协作来尽量规避其发

生，也从一定程度上降低了被动式方案的复杂度要求和场景限制，并且可以用于不同厂商之间的雷达干扰共存。主要包括预定义时频栅格方案和干扰侦听/避免方案两种。

方案一：预定义时频栅格方案

- 第一步，标准化预定义时频栅格；
- 第二步，雷达之间达到时间同步；
- 第三步，从预定义的时频栅格资源池中随机选择时频栅格，进行雷达信号发送；
- 第四步（可选步骤），雷达定期重新选择时频栅格。

方案二：干扰侦听/避免方案

- 第一步，标准化预定义频域信道划分；
- 第二步，雷达通过侦听选择干扰小的信道或信道组合作为其工作频段，进行雷达信号发送；
- 第三步，雷达定期重新选择频域信道。

主动协同式方案需要多厂商的进行一定的协作，因此需要标准化。建议主要的标准化影响点可能包括：

- 1，定义时/频/码等域互不干扰的可用波形集合和波形约束；
 - 2，约定时/频域raster的大小和位置；
 - 3，定义资源使用方式，比如Listen before talk的方式和规则等；
- 1，2和3可以结合使用。

7 总结和展望

车载感知融合标准化研究课题从自动驾驶设计框架入手,对于感知融合技术的定义,发展和问题进行了剖析,由于没有任何一个传感器可以满足全工况,全天候的可靠工作,所以实现自动驾驶依赖于多传感器的感知融合技术,结合现有的技术发展和行业应用,明确了进行标准化研究的范围,重点进行传感器抽象接口的标准化研究。

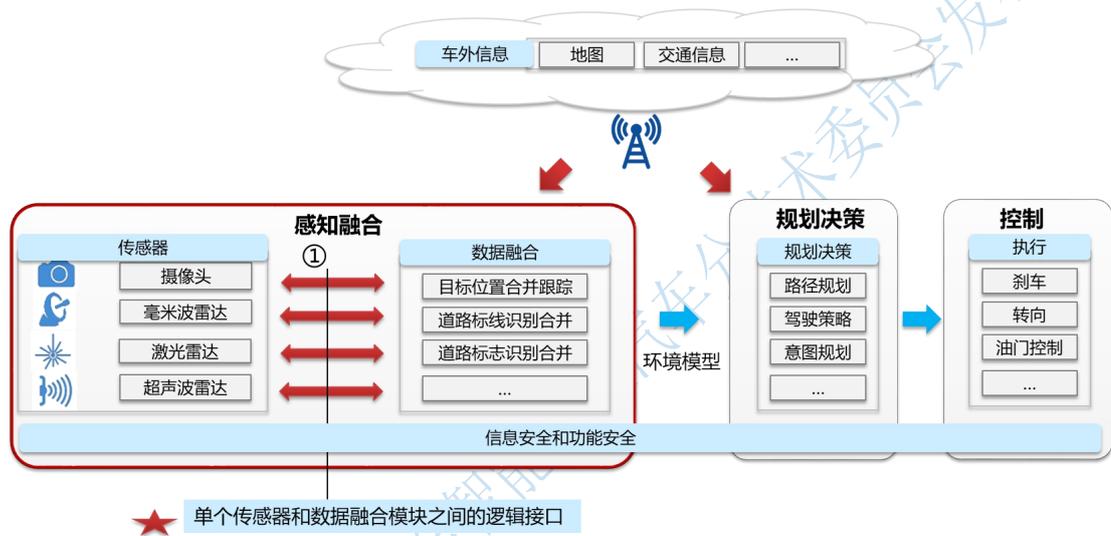


图 34 感知融合标准化框架

研究课题从需求调研出发,完成了不同道路状况的驾驶场景进行场景符合功能分解,把高阶自动驾驶功能分解为不同的低阶的自动驾驶辅助驾驶功能。各种感知场景均要求感知系统能感知进行自动驾驶的所有要素包括不同类型的交通参与者,各种各样的道路交通标志,各种道路标线和道路类型等,同时也要适应不同的天气和道路情况,精确迅速的感知移动障碍物等。这就要求对于各种传感器的不同特性,取长补短,通过不同传感器的信息融合来提高感知的性能和可靠性。由于自动驾驶场景下,特别针对毫米波雷达大量使用情况下,由于雷达之间干扰造成的虚警和漏警等对于传感性能影响也是很大的,课题也对于雷达干扰消除的主动式和被动式方案进行了对比分析。被动式干扰消除技术的性能在高雷达渗透率下是远远不够的,主动协同式方案可以在干扰发生之前就通过多雷达的协作来尽量规避其发生,也从一定程度上降低了被动式方案的复杂度要求和场景限制,协同式和被动式联合可以发挥更好的干扰消除效果也是需要在后续的标准工

作中重点考虑的。

在需求调研的同时，课题也分别就毫米波雷达，激光雷达，摄像头，超声波雷达和网联传感器的工作原理，适应场景，各种条件下的优缺点，目前的国内外的技术发展状况和趋势，和数据处理模型和可能输出数据格式进行了初步的分析。每种传感器采用的数据处理思路是基本一致的，这就奠定了进行传感器抽象标准化的技术基础。同时因为融合模式和算法多种多样，所以传感器抽象接口的设计需要满足不同的融合场景的需求，不限制自动驾驶的方案实现。

在传感器抽象接口的设计方案研讨中，课题明确了传感器的抽象接口的设计原则，需要满足不同传输架构设计和演进的需求，主要进行了车载传感器包括毫米波雷达，激光雷达，摄像头，超声波雷达的传感器抽象接口设计。接口设计包含数据接口和控制接口两部分，其中数据接口包含了目标级别和特征级别的数据接口，接口的设计中也参考了其他标准化组织的讨论进展和成果，后续会和其他标准组织联动，适时启动国标的工作。对于网联传感器，由于其他标准组织和课题中已经进行了比较充分的讨论，后续可以在相关课题中加入对于融合模块输入的场景需求讨论，特别是从多车协同的感知需求，而不需要在本课题中重复讨论。

回顾整个课题的研究工作，传感器抽象接口和雷达干扰只是感知融合研究的第一步，也是一小步，在讨论过程中也识别出了一些后续可行性的方向：现有接口设计的演进和增强如时间同步，参数标定等；新的传感器接口设计包括传感器硬件和通信接口，原始数据，红外、微光、惯导、雨量等其他传感器，可行驶空间接口等；融合模块模板的标准化包括框架和关联方法，融合输出接口的标准化等。总之感知融合相关技术研究和标准化的不断发展，实现自动驾驶行业的分工协作，才能加快实现高性能高可靠的自动驾驶的步伐。

附录 参考文献

- [1] GB 5768 《道路交通标志和标线》
- [2] ISO 8855:2011 《车辆动力学和路面保持能力 词汇》
- [3] ISO 23150 《Data communication between sensors and data fusion unit for automated driving functions — Logical interface》
- [4] 《合作式智能运输系统 车用通信系统应用层及应用数据交互标准》
- [5] 《基于LTE的车联网无线通信技术 总体技术要求》
- [6] GB/T 《汽车驾驶自动化分级》

全国汽车标准化技术委员会智能网联汽车分技术委员会发布