



新能源汽车类教学改革创新型精品教材

智能网联 汽车概论

ZHINENG WANGLIAN QICHE GAILUN

主 编 曹江卫 孙振杰 叶香美



智能网联汽车概论

主 编 曹江卫 孙振杰 叶香美

 吉林大学出版社

 吉林大学出版社

目 录

项目一 绪论

项目二 智能网联汽车传感器应用

| | |
|-------------------|----|
| 任务一 超声波雷达 | 18 |
| 任务二 毫米波雷达 | 20 |
| 任务三 激光雷达 | 24 |
| 任务四 视觉传感器 | 27 |
| 任务五 传感器融合技术 | 30 |
| 习 题 | 32 |

项目三 智能网联汽车网络通信技术应用

| | |
|----------------------|----|
| 任务一 智能网联汽车网络技术 | 34 |
| 任务二 车载网络 | 39 |
| 习 题 | 49 |

项目四 智能网联汽车导航定位技术应用

| | |
|----------------------|----|
| 任务一 卫星定位技术 | 51 |
| 任务二 惯性导航系统 | 58 |
| 任务三 高精度地图与地图构建 | 62 |
| 任务四 组合导航定位 | 69 |
| 习 题 | 74 |

项目五 智能网联汽车路径规划与决策控制技术应用

| | |
|---------------------------|----|
| 任务一 智能网联汽车环境感知与路径规划 | 76 |
| 任务二 智能网联汽车行为决策与车辆控制 | 80 |
| 习 题 | 88 |



项目六 智能网联汽车线控技术应用

| | | |
|-----|-----------------------|-----|
| 任务一 | 智能网联汽车控制执行技术的认知 | 90 |
| 任务二 | 智能网联汽车线控技术的应用 | 93 |
| 习 题 | | 106 |

项目七 智能网联汽车高级辅助驾驶技术应用

| | | |
|-----|-----------------|-----|
| 任务一 | 车道保持辅助系统 | 107 |
| 任务二 | 自动制动辅助系统 | 118 |
| 任务三 | 盲区监测系统 | 125 |
| 任务四 | 智能泊车辅助系统 | 132 |
| 任务五 | 自适应巡航控制系统 | 141 |
| 习 题 | | 150 |

项目八 智能网联汽车自动驾驶前瞻技术

| | | |
|-----|------------------|-----|
| 任务一 | 深度学习技术 | 152 |
| 任务二 | 语义分割技术 | 155 |
| 任务三 | 大数据技术 | 157 |
| 任务四 | 云计算技术与自动驾驶 | 160 |
| 任务五 | 多接入边缘计算技术 | 164 |
| 习 题 | | 170 |

参考文献

项目三 智能网联汽车网络通信技术应用

学习目标

通过本章的学习，学生能够掌握智能网联汽车 V2X 的含义和功能，熟悉 V2X 的实现方式，了解车载网络技术及移动通信技术的发展，熟悉 5G 网络技术在 V2X 上的应用。

学习要求

| 知识点 | 能力要求 |
|-------------|----------------------|
| V2X | 掌握 V2X 的含义和功能 |
| 移动网络通信技术的发展 | 了解移动网络通信技术的发展 |
| 5G 网络与 V2X | 掌握 5G 网络技术在 V2X 上的应用 |
| CAN 总线 | 掌握 CAN 总线的原理 |
| LIN 总线 | 掌握 LIN 总线的原理 |
| FlexRay 总线 | 掌握 FlexRay 总线的原理 |
| MOST 总线 | 掌握 MOST 总线的原理 |
| 车载以太网 | 掌握车载以太网的技术及应用 |

案例引入

智能网联汽车和无人驾驶汽车在行驶过程中如何进行外部联网，实现车辆与车辆、车辆与行人等之间的信息交换？5G 会带来车联网的哪些发展？

任务一 智能网联汽车网络技术

一、车联网技术

车联网是实现自动驾驶技术的一种重要途径，其核心在于车路协同技术。“聪明的路、智慧的车”的技术路线能够弥补当前自动驾驶汽车在信息感知、分析决策上的不足，尽快实现车辆的智能化、自动化运营。基于车联网的多目标协同技术介绍如图 3-1 所示。

智能网联数据共享的传输，有两种基本的方式：一是 V2X 协同通信，二是高速蜂窝（5G/6G）移动通信。目前，我国强化 5G 通信技术，在车联网项目应用上大量支持 LTE-V2X、5G-V2X 等无线通信关键技术的发展。

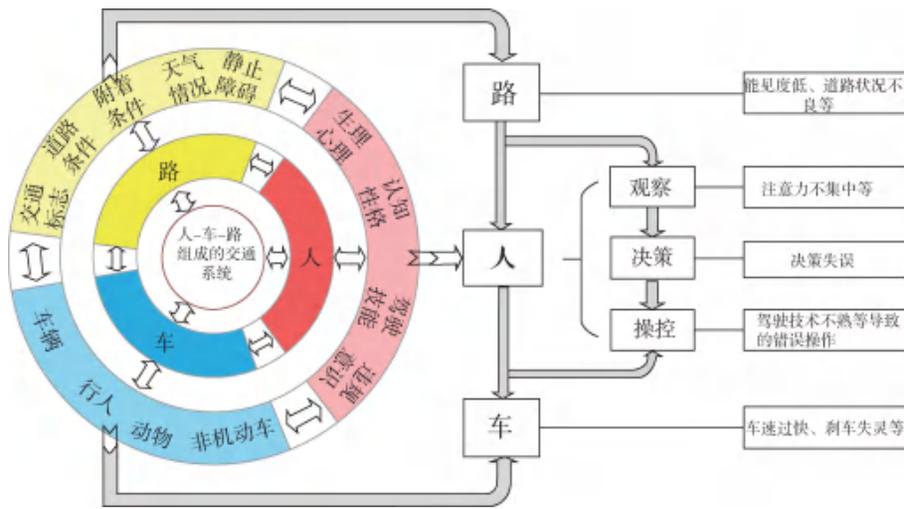


图 3-1 基于车联网的多目标协同技术

二、智能网联汽车 V2X 技术

1. V2X 的定义及简介

(1) V2X 的定义

V2X，顾名思义就是 vehicle-to-everything，实现车辆与一切可能影响车辆的实体实现信息交互，是未来智能交通运输系统的关键技术，它可以通过通讯获得实时路况、道路信息、行人信息等一系列交通信息，以提高驾驶安全性、减少拥堵、提高交通效率、提供车载娱乐信息等。基于 V2X 技术不仅可以大幅提升交通安全、降低交通事故发生率，而且可以为自动驾驶、智能交通和车联网创新提供低成本、易实施的技术路线和基础平台。相比传统雷达，V2X 通信传感系统有以下几点优势。

1) 覆盖面更广

300~500m 的通信范围相比雷达探测范围要远得多，不仅是前方障碍物，而且身旁和身后的建筑物、车辆都会互相连接，大大拓展了驾驶员的视野范围。

2) 有效避免盲区

由于所有物体都接入互联网，每个物体都会有单独的信号显示，因此即便是视野受阻，通过实时发送的信号也可以显示视野范围内看不到的物体状态，降低了盲区出现的概率，充分避免了因盲区而导致的潜在伤害。

(2) V2X 技术

V2X 主要包含 vehicle-to-vehicle (V2V)，vehicle-to-infrastructure (V2I)，vehicle-to-network (V2N) 以及 vehicle-to-pedestrian (V2P)，如图 3-2 所示。

1) V2V

V2V (vehicle-to-vehicle，车-车) 可以用作车辆间信息交互和提醒，最典型的应用是用于车辆间防碰撞安全系统。

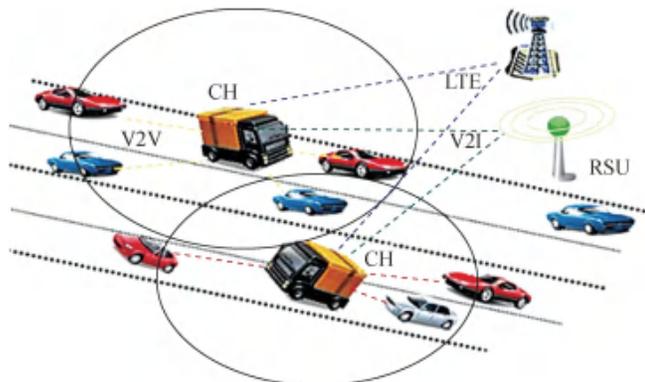


图 3-2 V2X 技术



V2V 通信需要一个无线网络，在这个网络上汽车之间互相传递信息，这些信息包括速度、位置、驾驶方向、刹车等。车与车之间的信息交互与共享如图 3-3 所示。

V2V 主要实现交叉路口碰撞预警（Intersection Collision Warning, ICW）、紧急制动预警（Emergency Brake Warning, EBW）、车辆失控预警（Control Loss Warning, CLW）、异常车辆提醒（Abnormal Vehicle Warning, AVW）等功能。



图 3-3 车与车 (V2V) 之间的信息交互及共享

2) V2I

V2I (vehicle-to-infrastructure, 车-基础设施), I 是指车辆行驶过程中遇到的所有基础设施, 包括交通灯、公交站、电线杆、大楼、立交桥、隧道等一切人类的建筑设施。V2I 通信功能具体将采用车载智能交通运输系统的 760MHz 频段, 使用该频段可以在不影响车载传感器的情况下实现基础设施与车辆之间相互通信功能, 从而获取必要的关键信息, 如图 3-4 所示。

V2I 主要实现道路危险状况提示 (Hazardous Location Warning, HLW)、限速预警 (Speed Limit Warning, SLW)、闯红灯预警 (Signal Violation Warning, SVW)、绿波车速引导 (Green Light Optimal Speed Advisory, GLOS) 等功能。

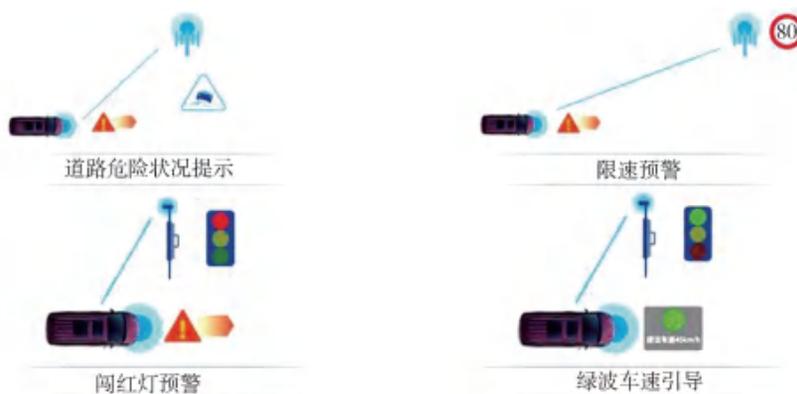


图 3-4 车与道路基础设施 (V2I) 之间的信息交互及共享

3) V2N

V2N (vehicle-to-network, 车-互联网) 是目前应用最广泛的车联网形式, 其主要功能是使车辆通

过移动网络，连接到云服务器，使用云服务器提供的导航、娱乐、防盗等应用功能。

4) V2P

V2P (vehicle-to-pedestrian, 车-行人) 则是用于给道路上行人或非机动车安全警告。

2. V2X 的发展

V2X 早期主要是基于 DSRC (全称是 dedicated short range communication) 的专用短距离通信技术, 后期随着蜂窝移动通信技术的发展出现了 C-V2X (cellular V2X, 即以蜂窝通信技术为基础的 V2X) 技术。C-V2X 无线通信技术全称为 cellular vehicle to everything, 中文名称为蜂窝车联网, 是一种以蜂窝技术为基础的车联网。C-V2X 的应用如图 3-5 所示。

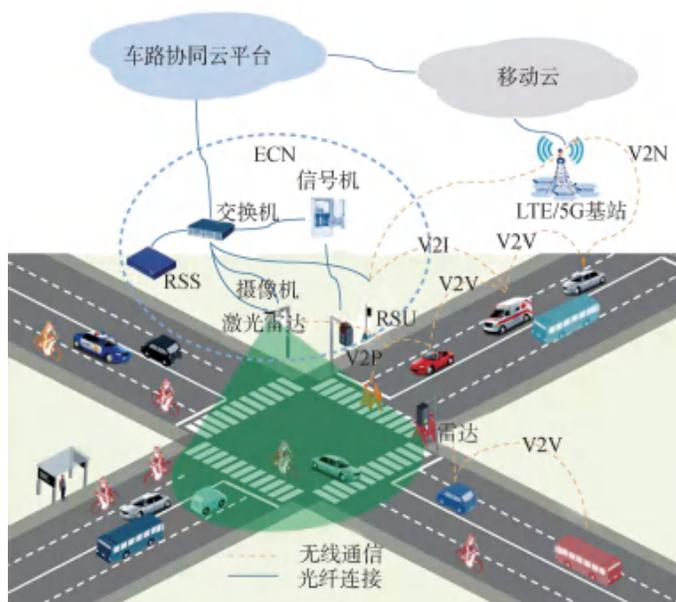


图 3-5 C-V2X 应用场景

3. 5G 与 C-V2X 的技术

(1) 移动通信的发展

移动通信是指通信中移动的一方通过无线的方式在移动状态下进行的通信, 这种通信方式可以借助于有线通信网, 通过通信网实现与世界上任何国家任何地方任何人进行通信, 因此, 从某种程度上说, 移动通信是无线通信和有线通信的结合。移动通信主要经过了 1G、2G、3G、4G 到如今的 5G 几个阶段。

(2) 5G 与 C-V2X

目前 5G 技术和 C-V2X 相辅相成, 在 5G 的框架下开发 C-V2X 技术具备一些传统的车联网所不具备的优势。它可以提供远距离和盲区预警, 具备超宽视野, 并且还具备低成本、高可靠性、更安全、更稳定, 可以让汽车透过部分障碍物进行数据传输, 提升车辆在视线盲区的感知力, 拥有高度的精确性、可靠性及强大的非视距性能, 大大提升了用户驾驶体验、交通效率以及安全性。“5G+V2X”车路协同典型应用场景如图 3-6 所示。



图 3-6 “5G+V2X”车路协同典型应用场景

我国对 LTE-V 和 5G 等基于蜂窝通信的车联网通信技术与产业态度非常积极, 其技术优势在于网络



带宽更大、通信时延更小。目前，几个城市正在试点 5G 和 LTE-V 的部署。我国部分城市智能网联汽车示范区车联网方案如表 3-1 所示。

表 3-1 我国部分城市智能网联汽车示范区车联网方案

| 序号 | 示范区 | 车联网方案 |
|----|-----------------------|---------|
| 1 | 无锡车联网 (LTE-V2X) 示范应用 | 5G |
| 2 | 国家智能汽车与智慧交通 (河北) 示范区 | 5G |
| 3 | 国家智能网联汽车 (上海) 试点示范区 | 5G |
| 4 | 智能汽车集成系统试验区 (i-VISTA) | 4.5G/5G |
| 5 | 国家智能网联汽车长沙测试区 | 5G |
| 6 | 浙江 5G 车联网应用示范区 | 5G |

三、V2X 的应用

车联网具有大量的运用场景，如今有一些已经运用到现实的交通中，还有一些人们正在讨论与研究。

1. 道路安全服务

道路安全服务是指车辆利用与路边基础设施通过 V2I 信息实现信息的发收与共享，将车辆周边的环境信息（交通事故、道路拥堵情况等）在一定区域内实现共享，以帮助驾驶员了解周边道路交通情况，对危险路段提高警惕，避免不必要的事故。该服务主要应用于近距离危险警告，特别是在大雾、大雨等特殊天气环境下，这种应用的作用更加明显。

2. 自动停车系统

在大型商场、饭店等区域有着大量的停车位，但由于停车管理效率不高，驾驶员往往很难在第一时间找到车位。APS（自动停车系统）包含一个数据库提供实时信息，包括车辆在市区的停车位，街上或在公共停车场的停车位信息。帮助连接的车辆实时保持数据库信息，同时这也支持通过智能手机访问。APS 允许司机储备一个可用的停车位，通过导航应用程序引导车辆进入停车位，并使用免密支付停车，大大提高了停车效率。

3. 紧急车辆让行

如今在现实道路交通中，警车、救护车等特殊车辆是通过鸣警笛向周围车辆发出紧急信号。虽然这在一定程度上也能起到紧急车辆让行的效果，不过使用这种方式并不能达到最佳让行效果，因为周边车辆的驾驶员仅仅知道紧急车辆的存在，但不能确定紧急车辆的所在位置与行驶方向，进而也就无法做出一致性的让行行为。但是这种缺点在车联网的应用中得到了完美的解决。在车联网应用场景中，当紧急车辆存在时，周围车辆将收到紧急救援信息，同时为周边车辆规划出一条合理的避让线路，加快紧急车辆的通行。

4. 自动跟车服务

如今在各大城市上下班高峰期，由于道路上的车辆过多，导致车辆的行驶速度缓慢，在此场景中，自动跟车系统的作用便得到充分发挥。自动跟车系统使车辆自动跟随前方车辆向前行驶，通过对前车速度、转向等控制信息实现本车的半自动操作，同时通过距离信息自动保持与前车间的安全距离，在安全驾驶的前提下，保证了驾驶员适当的休息，避免疲劳驾驶。

任务二 车载网络

一、传统车载网络

汽车中的电子部件越来越多，大量的电子单元都要进行信息交互，传统的点对点通信已经不能满足需求，因此必须要采用先进的总线技术。车用总线就是车载网络中底层的车用设备或车用仪表互联的通信网络。目前，有四种主流的车用总线：LIN 总线、CAN 总线、FlexRay 总线和 MOST 总线。

1. LIN 总线

LIN (Local Interconnect Network) 是面向汽车低端分布式应用的低成本、低速串行通信总线。它的目标是为现有汽车网络提供辅助功能，在不需要 CAN 总线的带宽和多功能的场合使用，降低成本。

LIN 总线包含一个宿主节点和一个或多个从属节点，所有节点都包含一个被分解为发送和接收任务的从属通讯任务，而宿主节点还包含一个附加的宿主发送任务，在实时 LIN 总线中，通讯总是由宿主任务发起的。LIN 总线拓扑图如图 3-7 所示。

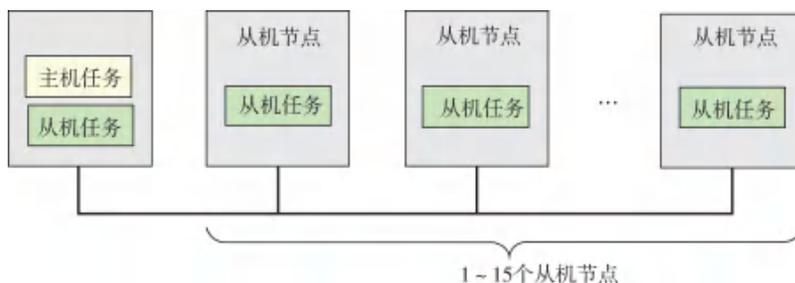


图 3-7 LIN 总线拓扑图

除了宿主节点的命名之外，LIN 网络中的节点不使用有关系统设置的任何信息。LIN 总线上的所有通讯都由主机节点中的主机任务发起，主机任务根据进度表来确定当前的通讯内容，发送相应的帧头，并为报文帧分配帧通道，总线上的从机节点接收帧头之后，通过解读标识符来确定自己是否应该对当前通讯做出响应、做出何种响应（如图 3-8 所示）。基于这种报文滤波方式，LIN 可实现多种数据传输模式，且一个报文帧可以同时被多个节点接收利用。LIN 总线物理层采用单线连接，两个电控单元间的最大传输距离为 40m。

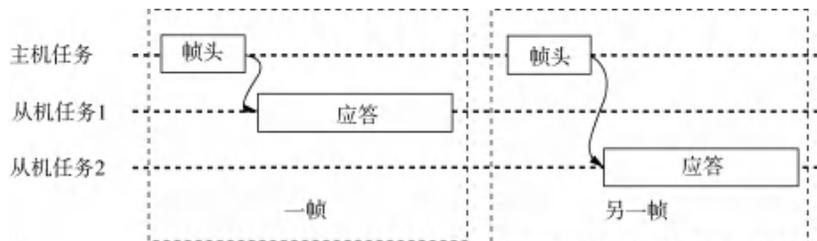


图 3-8 LIN 总线传输模式

在总线上实行“线与”，“0”为显性电平，“1”为隐性电平，当总线有至少一个节点发送显性电平时，总线呈现显性电平；所有节点均发送隐性电平或者不发送信息时，总线呈隐性电平，即显性电平起



着主导作用。LIN 总线报文帧如图 3-9 所示。



图 3-9 LIN 总线报文帧

由于 LIN 总线一般最大值在 12V 左右，因此可以设置示波器的垂直挡位为 2V/div，时基可以设置为 500 μ s 左右。LIN 总线波形如图 3-10 所示。

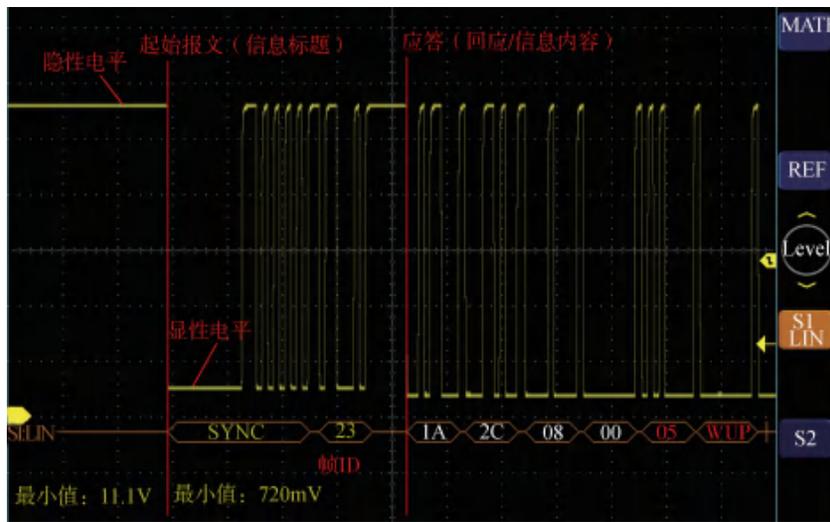


图 3-10 LIN 总线波形

2. CAN 总线

CAN (Controller Area Network) 即控制器局域网，20 世纪 80 年代由德国 Bosch 公司最先提出，最初动机是为了解决现代汽车中庞大的电子控制装置之间的通讯，减少不断增加的信号线。

(1) CAN 总线特点

- 1) 数据通信没有主从之分，任意一个节点可以向任何其他（一个或多个）节点发起数据通信，靠各个节点信息优先级先后顺序来决定通信次序；
- 2) 多个节点同时发起通信时，优先级低的避让优先级高的，不会对通信线路造成拥塞；
- 3) 通信距离最远可达 10km（速率低于 5kbps），速率可达到 1Mbps（通信距离小于 40m）；
- 4) CAN 总线传输介质可以是双绞线或同轴电缆。CAN 总线适用于大数据量短距离通信或者长距离小数据量，实时性要求比较高，多主多从或者各个节点平等的现场中使用（如图 3-11 所示）。

当一个节点要向其他节点发送数据时，该节点的 CPU 将要发送的数据和自己的标识符传送给本节点的 CAN 芯片，并处于准备状态；当它收到总线分配时，转为发送报文状态。CAN 芯片将数据根据协议组织成一定的报文格式发出，这时，网上的其他节点处于接收状态。每个处于接收状态的节点对接收到的报文进行检测，判断这些报文是否是发给自己的，以确定是否接收它。

(2) CAN 总线信号电平

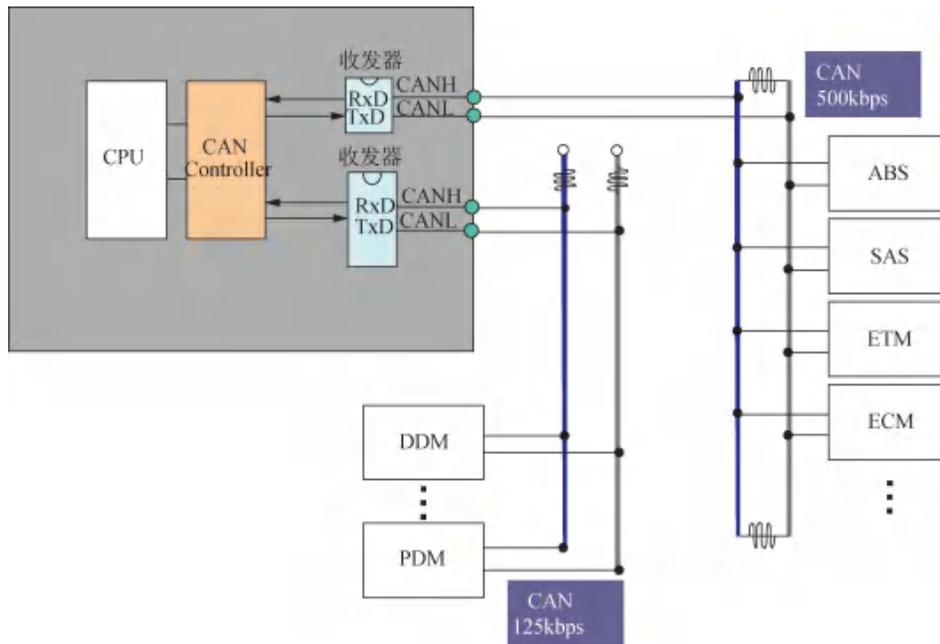


图 3-11 CAN 总线拓扑图

高速 CAN 和低速 CAN 总线在物理层信号电平上的定义有所不同。图 3-12 和图 3-13 分别表示高速和低速 CAN 总线上信号电平与总线逻辑的对应关系。高速 CAN，定义 CAN-H 和 CAN-L 电压相同（CAN-H=CAN-L=2.5V）时为逻辑“1”，CAN-H 和 CAN-L 电压相差 2V（CAN-H=3.5V，CAN-L=1.5V）时为逻辑“0”。高速 CAN 收发器在共模电压范围（-12V~12V）内，将 CAN-H 和 CAN-L 电压相差大于 0.9V 解释为显性状态（Dominant），而将 CAN-H 和 CAN-L 电压相差小于 0.5V 解释为隐性状态（Recessive）。

低速 CAN，定义 CAN-H 和 CAN-L 电压相差 5V（CAN-H=0V，CAN-L=5V）时为逻辑“1”，相差 2.2V（CAN-H=3.6V，CAN-L=1.4V）时为逻辑“0”。

CAN 总线的信号电平具有线与特性，即显性电平（0）总是会掩盖隐性电平（1）。如果不同节点同时发送显性和隐性电平，总线上表现出显性电平（0），只有在总线上所有节点发送的都是隐性电平（1）时，总线才表现为隐性。线与特性是 CAN 总线仲裁的电路基础。

图 3-14 所示就是高速 CAN-BUS 的正常波形，CAN-H 与 CAN-L 波形一致，但极性相反。

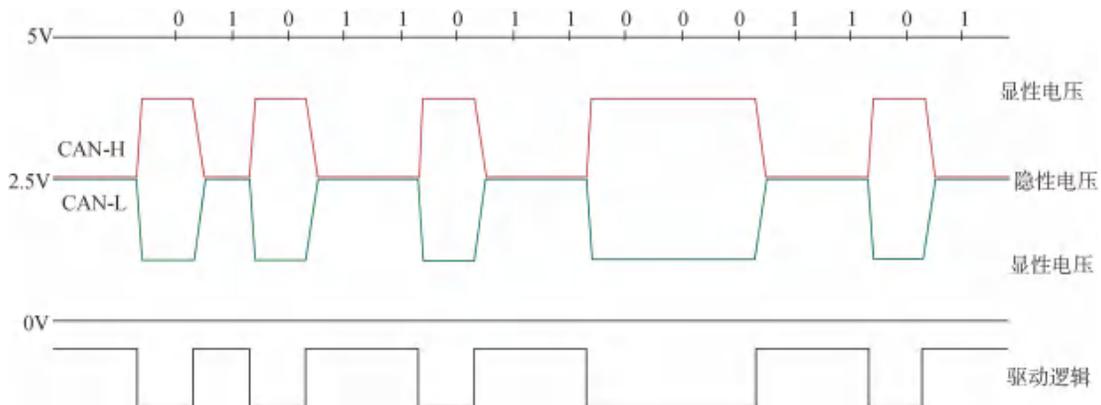


图 3-12 高速 CAN 信号电平 (ISO11898-2)

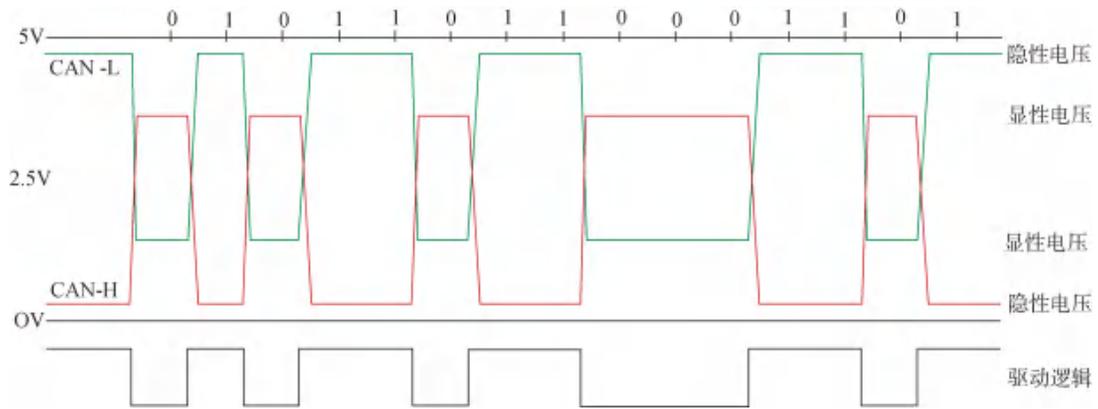


图 3-13 低速 CAN 信号电平 (ISO11898-3)

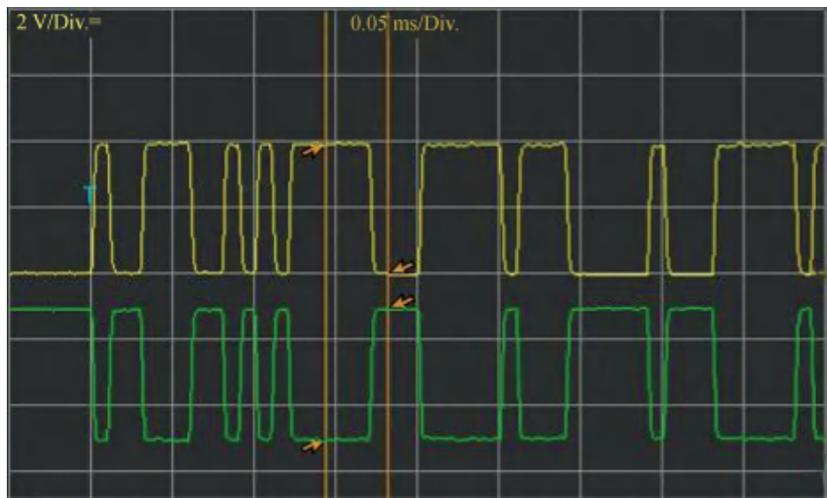


图 3-14 CAN 总线的正常波形

(3) CAN-FD

随着总线技术在汽车电子领域越来越广泛和深入的应用，特别是自动驾驶技术的迅速发展，汽车电子领域对总线宽度和数据传输速率的要求也越来越高，传统 CAN (1Mbit/s, 8bytes Payload) 已难以满足日益增加的需求。因此在 2012 年，Bosch 发布了新的 CAN-FD 标准 (CAN with Flexible Data Rate)，CAN-FD 继承了 CAN 的绝大多数特性，如同样的物理层，双线串行通信协议，基于非破坏性仲裁技术，分布式实时控制，可靠的错误处理和检测机制等；同时 CAN-FD 弥补了 CAN 在总线带宽和数据长度方面的不足。2015 年 6 月 30 日，国际标准化组织 (ISO) 已经正式认可 CAN-FD，并无反对票通过 ISO 11898-1 作为国际标准草案。

CAN-FD 的优势：

- 1) 该协议能够支持更高的速率，可以更快地刷写 ECU；
- 2) 在单个数据帧内传送率可达 64 字节，避免了经常发生的数据分拆传输的状况；
- 3) 对汽车行业而言，CAN-FD 协议显得非常重要，CAN 线束和其他物理层面元件可重新再利用；
- 4) 更高的带宽，在电动车以及今后的动力 CAN 上应用更有优势；
- 5) 上层应用层架构不需要改变，在原来基础上扩展即可。

3. FlexRay 总线

(1) FlexRay 的原理与特点

FlexRay 总线数据收发采取时间触发和事件触发的方式。利用时间触发通信时，网络中的各个节点都

预先知道彼此将要进行通信的时间，接收器提前知道报文到达的时间，报文在总线上的时间可以预测出来。即便行车环境恶劣多变，干扰了系统传输，FlexRay 协议也可以确保将信息延迟和抖动降至最低，尽可能保持传输的同步与可预测。这对需要持续及高速性能的应用（如线控刹车、线控转向等）来说，是非常重要的。它采用了周期通信的方式，一个通信周期可以划分为静态部分、动态部分、特征窗和网络空闲时间 4 个部分。静态部分和动态部分用来传输总线数据，即 FlexRay 报文。特征窗用来发送唤醒特征符和媒介访问检测特征符。网络空闲时间用来实现分布式的时钟同步和节点参数的初始化。

FlexRay 通讯特点：

1) 高速率和容错性

FlexRay 支持两通道，可通过一个或两个通道进行数据传输，单个通道的数据传输速率可达 10Mbps，通过两通道平行传输数据时可达 20Mbps。也可通过双通道传输相同的数据（真实情况大多应用这种方式），当其中某个通道出现故障或信息有误时，另一通道可继续正常传输，并不影响整个网络的数据通信，通过这种冗余备份实现很好的容错性。

2) 确定性

FlexRay 是一种时间触发式的总线系统，符合 TDMA（Time Division Multiple Access）的原则，因此在时间控制区域内，时隙会分配给确定的消息，即会将规定好的时间段分配给特定的消息，时隙经固定周期重复，也就是说信息在总线上的时间可以被预测出来，因此保证了其确定性。这就意味着控制信号是根据预定义的时间进度传输的，无论系统外部发生什么情况，都不会产生计划外事件。

3) 灵活性

FlexRay 除了支持时间触发式通讯外，还可通过事件触发来进行数据的传输，例如对于时间要求不高的信息，可配置在事件控制区域内传输，可形成以时间触发为主，兼顾事件触发的灵活特性。

此外，FlexRay 的拓扑是多样的，有线型、星型和混合型三大类，再结合单通道和双通道的使用（FlexRay 的两个通道可相互独立实现，所以两个通道可采用不同的拓扑结构，如一个通道为主动星形拓扑，另一个为总线拓扑结构），所以最终组合的结果可形成很多种。再例如既有点对点的线性结构和多节点的线性结构，还有增加冗余性的双通道星型拓扑结构等等。

(2) FlexRay 的总线信号电平

FlexRay 可采用屏蔽或不屏蔽的双绞线，每个通道有两根导线，即总线正（Bus-Plus，BP）和总线负（Bus-Minus，BM）组成。采用不归零法（Non-Return to Zero，NRZ）进行编码。可通过测量 BP 和 BM 之间的电压差识别总线状态，这样可减少外部干扰对总线信息的影响，每一通道需使用 80~110Ω 的终端电阻。将不同的电压加载在一个通道的两根导线上，可使总线有四种状态：Idle_Lp（Low power）、Idle、Data_0 和 Data_1，如图 3-15 所示。

显性：差分电压不为 0V（Data_0 和 Data_1）

隐性：差分电压为 0V（Idle_Lp、Idle）

4. MOST 总线

MOST 是一种专门针对车内使用而开发的、服务于多媒体应用的数据总线技术。MOST 表示“多媒体传输系统”。MOST 总线利用光脉冲传输数据，采用环形结构，在环形总线内只能朝着一个方向传输数据。

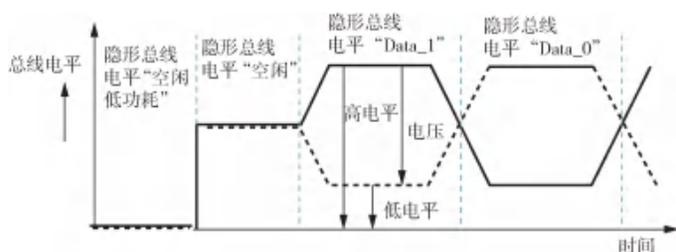


图 3-15 FlexRay 总线的波形



(1) MOST 总线的特点与结构

MOST 光纤传输技术具有以下优点：

1) 传输速率高。MOST 总线采用光纤在传输数据时，相关部件的数据交换是用数字方式来进行的（以前的音频和视频信号只能作为模拟信号来传送），其传输速率可达 21.2Mbt/s。MOST 总线传输速率明显高于 CAN 总线系统 1Mbt/s 的最高传输速率，因此 CAN 总线系统只能够用于传输控制信号。

2) 抗电磁干扰能力强。MOST 总线传输信号时，是用光信号进行的。与无线电波相比，光波的波长更短，因此不会产生电磁干扰，同时对电磁干扰也不敏感。

3) 重量轻、占用空间小、成本低。MOST 总线光纤是采用有机玻璃制成的，相对于金属导线来说在提供相同频宽时，能减轻约 4.5kg 的重量和节省约 250m 长的线束，这样就减轻了汽车的重量，节约了空间，降低了成本，同时扩展了功能。

MOST 总线基于环形拓扑，从而允许共享多个发送和接收器的数据。MOST 总线主控器（通常位于汽车音响主机处）有助于数据采集，所以该网络可支持多个主拓扑结构，在一个网络上最多有 64 个主设备（如图 3-16 所示）。

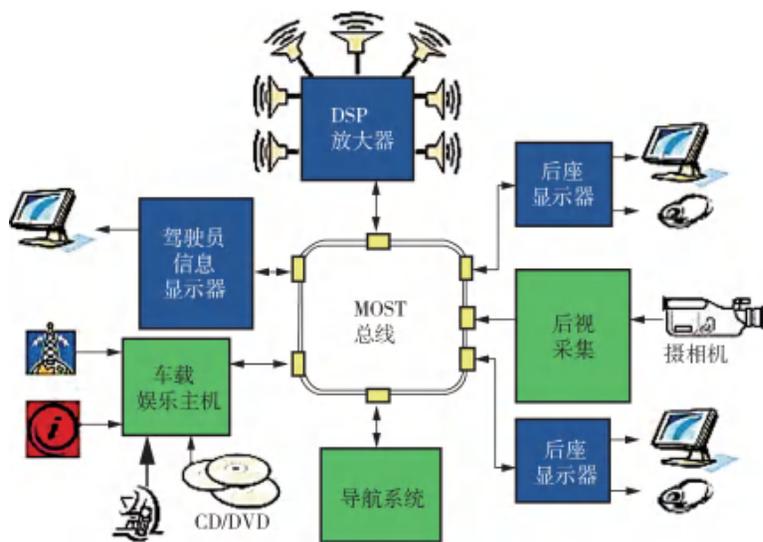


图 3-16 MOST 总线的组成

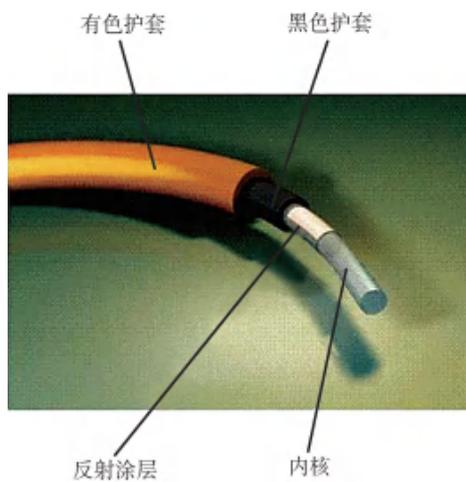


图 3-17 光导纤维的结构

MOST 总线采用光导纤维作为传输介质。光导纤维由纤芯、反射涂层、黑色包层和彩色包层组成（如图 3-17 所示）。纤芯是光导纤维的核心部分，它是用有机玻璃制成的光导线，根据全反射的原理进行几乎无损失的传导。透光的反射涂层是用氟聚合物制成，它包在纤芯周围，对全反射起到关键的作用。黑色包层是由尼龙制成，它用来防止外部光的照射。彩色包层起到识别，保护及隔热的作用。光纤传输采用 650nm（红色）的 LED 发射器。数据以 50Mbaud、双相编码的方式发送，最高数据传输速率为 24.8Mbps。

光波沿光导纤维的传输过程中，只有一部分是沿直线传输的，绝大部分是按全反射原理在纤芯表面以之字形曲线传送的。当一束光以小角度照射到折射率高的材料（纤芯）和折射率低材料（涂层）之间的界面时，光束就会在纤芯的内部被完全、反射。这种全反射效应取决于从内部照射到界面的光波角度，如果角度过陡，也就是光导纤维弯曲或弯折过度时，光波就会离开纤芯而造成很大的损失。所以，光导纤维的曲率半径不可小于 25mm。

(2) MOST 总线的工作原理

MOST 的数据传送使用 512b 的帧，以及 16 个帧的块（如图 3-18 所示）。帧的重复率为 44.1kHz（每帧 22.67ms），每个帧内除了前导码和其他内部管理位以外，还包含有同步、异步和控制数据。总线是完



全同步的，设计师可将网络内的任何设备指定为主设备，其他所有结点都从主设备处获得自己的时钟。网络完全是即插即用的，当上电或有连接改变时，有一个寻找设备的过程，主结点上保持着一个所连设备的中心注册处。

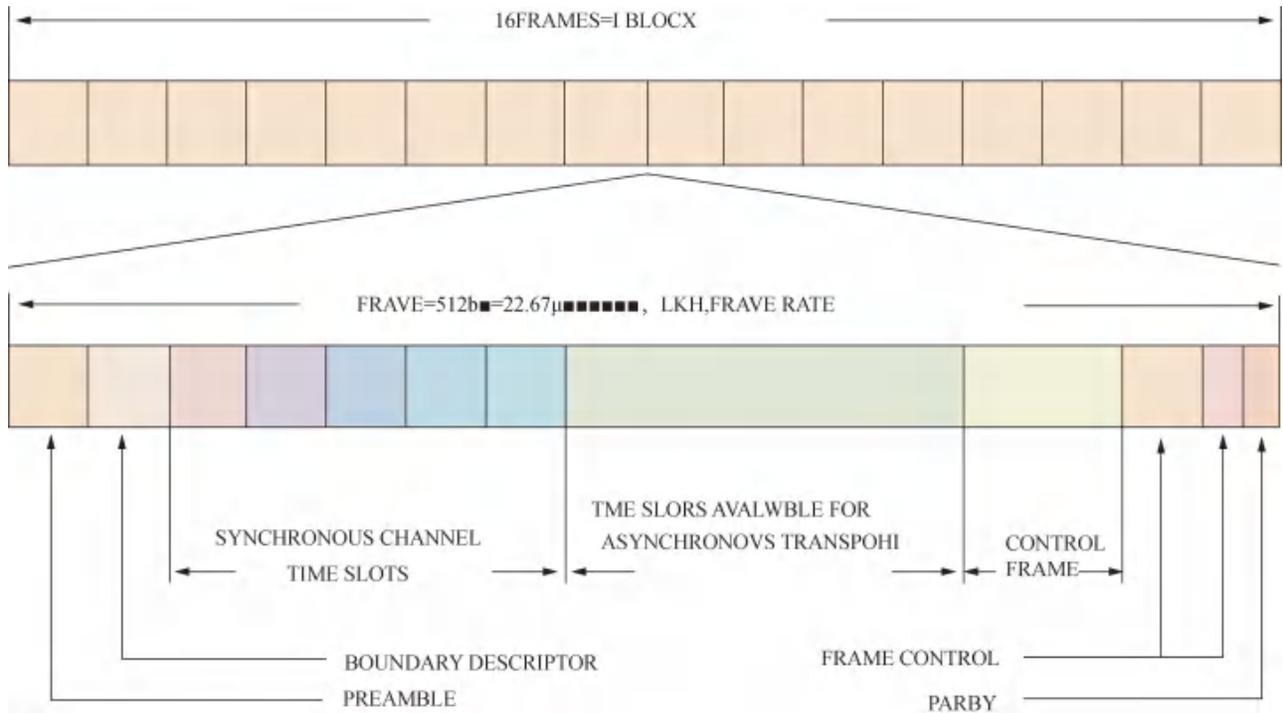


图 3-18 MOST 数据块

二、车载以太网

1. 以太网的发展

传统的汽车网络架构主要是由 CAN 总线组成，车内分布式电控单元 ECU 按照功能划分为动力总成、车身控制、辅助驾驶等总线区域；车窗、车灯、天窗等则通过 LIN 总线接入 CAN 网络，如图 3-19 所示。

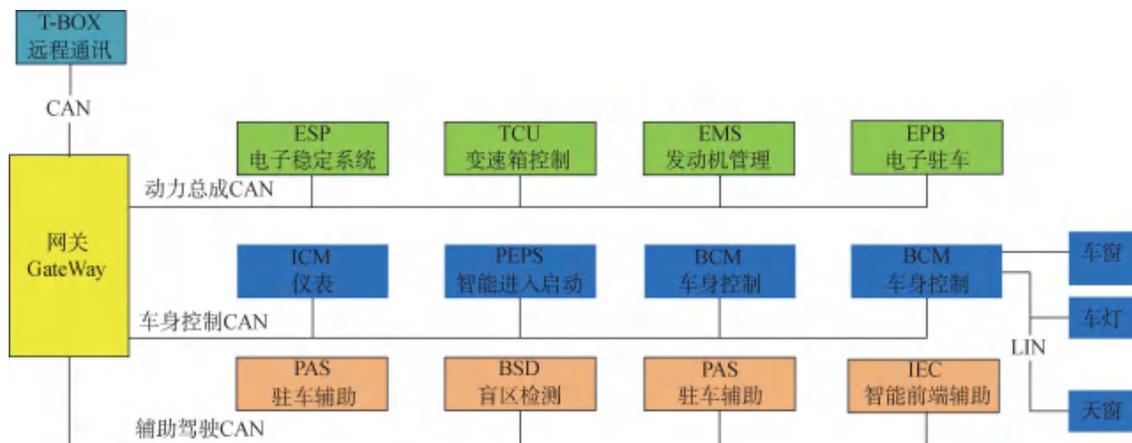


图 3-19 传统汽车网络架构

处理器运算能力和硬件的高速发展，使得许多创新在汽车环境下得到迅速推进，大量的传感器和处



理器被用在车辆的不同系统实现相应的功能。为了建立相关的 ECU 之间的通信链路，允许 ECU 彼此使用更高级的功能和共享数据，这种增长逐渐发展成了现在复杂的、异构的车载网络。传统的车辆控制应用所需带宽普遍较低，带宽问题并未引起广泛的关注，当引入信息娱乐系统和基于视频的高级驾驶辅助系统（ADAS）后，这些应用程序相比传统控制系统的数据传输带宽需求有显著增长，现有车载网络传输带宽不足的问题凸显，因此迫切需求下一代的车载网络技术及架构。

由于车载以太网具有高带宽、低延迟、低成本的特性，在新一代整车架构中将替代 CAN 总线成为优选网络架构。如图 3-20 所示，以车载以太网作为骨干网络，将核心域控制器（动力总成、车身、娱乐、ADAS）连接在一起。各个域控制器在实现专用的控制功能的同时，还提供强大的网关功能。从图 3-20 可以发现，在各个域控制器的下方，各部件之间通讯基本是通过 CAN-FD 来实现数据共享，这种类似于传统车载网络架构（除娱乐子网中，娱乐域控制器与其子部件的通信将通过以太网实现）。另外，当一个域需要与其他域交换信息时，则需经由网关、以太网路由实现。

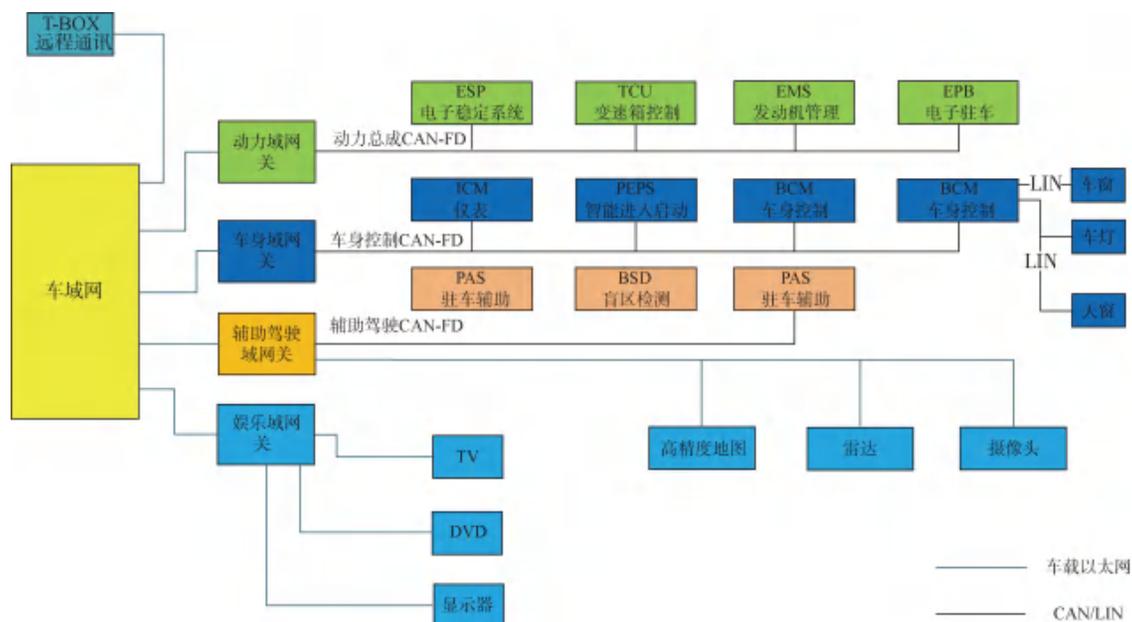


图 3-20 新一代智能汽车网络架构

以太网使用 CSMA/CD（载波监听多路访问及冲突检测）技术，目前通常使用双绞线（UTP 线缆）进行组网。包括标准的以太网（10Mbit/s）、快速以太网（100Mbit/s）、千兆网（1Gbit/s）和 10G（10Gbit/s）以太网。它们都符合 IEEE802.3 标准。

以太网成为下一代车载网络的发展趋势可以归纳为以下三个方面：

(1) 以太网的通用技术

目前采用的车载网络技术，都是难以与外部设备及网络服务连接的封闭标准。究其原因，目前占主流的车载网络标准 CAN、LIN 及 FlexRay，以及面向媒体的系统传输标准 MOST 等都具有浓重的“汽车行业”色彩，导致其应用的局限性，反之以以太网是一种简单、成熟的开放标准，基于以太网的应用都极大地降低了应用成本。

(2) 高层应用对带宽的迫切需求

现在智能电子产品与车载设备的交互越来越多，云概念的兴起，搭载了高级驾驶辅助系统（ADAS）、智能视觉安全应用，如车道偏离检测，及信息娱乐设备的新型信息平台主导了新一代汽车电子的发展趋势。从功能性的角度，车载子系统增加，不同的子系统之间对共享数据的需求越来越多；另外随着摄像

头分辨率的提升，显示需求大量增加，传统车载网络在带宽上面临巨大挑战。

目前主导车载网络标准的 CAN 和 FlexRay 无疑将遭遇发展的瓶颈，在这方面最有竞争力的是 MOST。MOST 总线目前最大带宽为 150Mb/s，但 MOST 常用架构为多个设备共享带宽。与 MOST 相比，以太网可以采用更为灵活的星形连接架构，使得每一条链路都可以专享 100Mb/s 甚至更高的带宽。

(3) 以太网的开放性和互联扩展优势

伴随不断增长的 ADAS 的复杂性，行业内需求一种简化和标准化的方法，在面对越来越多的互相隔离的子系统时，可以把车载系统看作一个网络去管理和运营，以收获更好的重用性和互操作性。对于车载网络，以太网提供的先决条件就是这种整体性的办法，适合作为主干网络连接各个应用领域，特别是需求更高带宽的应用。

由于以太网的灵活性及可扩展的带宽，远程信息处理和多媒体娱乐系统、基于 IP 的 Web 应用程序与车载网络的接口过渡变得平滑，车辆与外部世界的交互将会更加频繁，例如近几年兴起的基于 Internet 的汽车应用和 V2X 通信概念。

2. 车载以太网的演进

在汽车行业，以太网以新型网络的姿态介入汽车网络当然无法一蹴而就，在短期内无法取代现有的车载网络，因此以太网在进入汽车网络时考虑分阶段、从子系统开始逐步深入，并最终统和汽车网络的演进过程，如图 3-21 所示。

第一阶段：子系统级别

单独在某个子系统使用以太网，这一阶段的衍生产品目前已经在整车上实施，如基于 DoIP 标准的 OBD 诊断设备；使用 IP 摄像头的驾驶辅助系统。

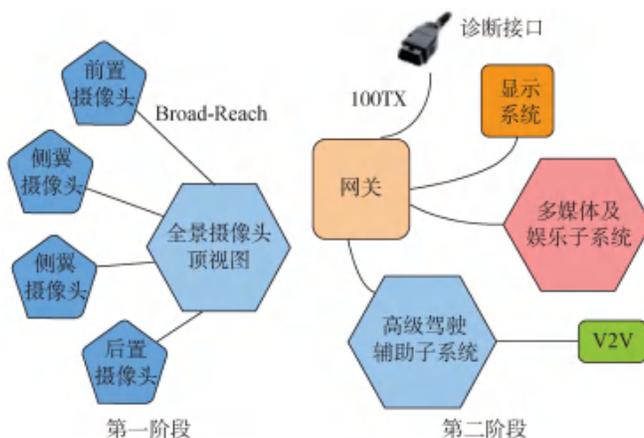


图 3-21 车载以太网的演进

第二阶段：架构级别

将几个子系统功能整合，形成一个拥有功能集合的小系统，如图 3-21 给出的第二阶段的车载以太网，将多媒体、驾驶辅助和诊断界面结合在一起，融合了传感器、全景摄像头及雷达等多种数据。因为可以保证更高的带宽和更低的延迟，在涉及安全方面的应用，摄像头可以使用更高分辨率的未压缩的数据传输，从而避免压缩失真等导致障碍物检测失败的问题。

第三阶段：域级别

前两个阶段专注于一个特定的应用领域，第三阶段使用以太网为车载网络骨干，集成动力总成、底盘、车身、多媒体、辅助驾驶，真正形成一个域级别的汽车网络。这种网络架构引入了一个新问题：如何组织 ECU 和网络管理者之间的通信？不可否认的是，这种分层式的架构会造成控制器通过以太网骨干



网和交换机通讯时所需的软件内容增加。车载以太网域级别架构如图 3-22 所示。

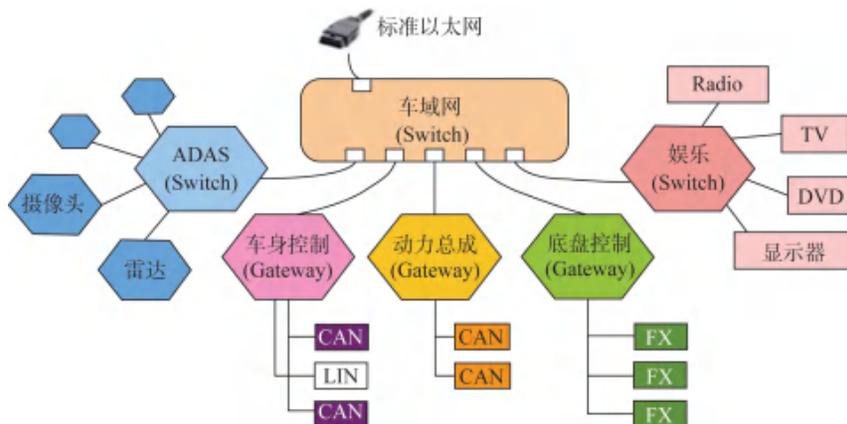


图 3-22 车载以太网域级别架构

3. 车载以太网拓扑

车载以太网常见的拓扑结构有星型 (star-based)，菊花链型 (daisy-chain) 和树型 (tree-structure)。这些结构在交换式以太网中支持 IEEE802.3 和 IEEE802.1Q 标准。

星型拓扑结构 (如图 3-23 所示) 管理方便，极易扩展，安装维护成本低，但由于要专用的网络设备 (如交换机) 作其核心节点，对核心设备的负担较重，可靠性要求高，各站点的分布处理能力较低。

菊花链型结构 (如图 3-24 所示) 由星型结构的基础网络构成，通过菊花链或串行的方式增加下一个节点。菊花链型拓扑结构容易扩展，各站点可以分布处理，网络设备的负担相对较轻，但节点之间的通讯相对较复杂，安装维护成本较高。

结合以上两种拓扑结构实现了树型结构 (如图 3-25 所示)，在汽车网络中权衡了良好的分布处理性能和安装维护成本。

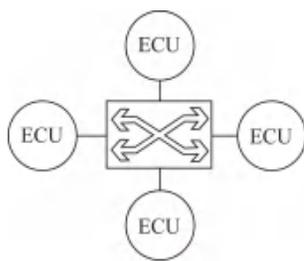


图 3-23 星型拓扑结构

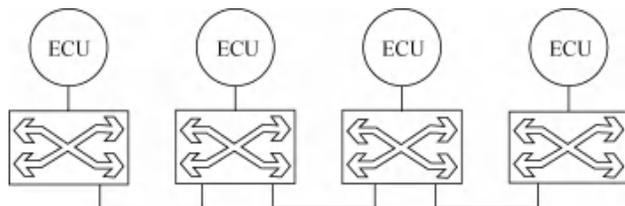


图 3-24 菊花链型拓扑结构

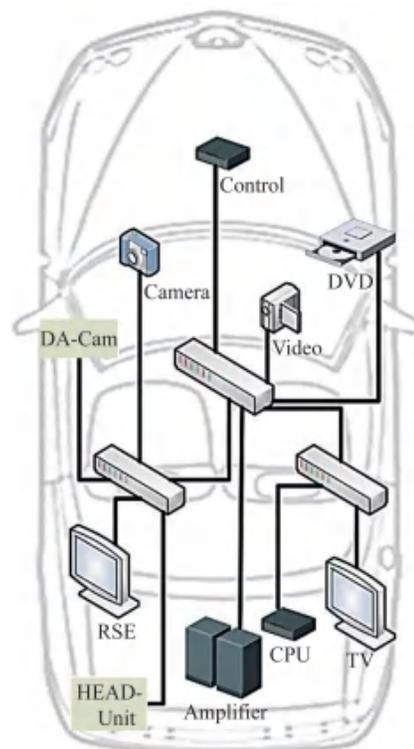


图 3-25 树型结构



习 题

一、选择题

1. 能够实现 V2X 通信的是 ()。
A. 蓝牙 B. Wi-Fi C. DSRC D. 4G
2. 盲区预警/变道辅助使用的通信类型是 ()。
A. V2V B. V2I C. V2P D. V2N
3. 前方拥堵提醒使用的通信类型是 ()。
A. V2V B. V2I C. V2P D. V2N
4. 在通信距离不超过 40m 时, CAN-BUS 的通信速率最高可达到 ()。
A. 1000kb/s B. 500kb/s C. 250kb/s
5. 在汽车网络中, 用 () 来约定各模块的优先权。
A. 数据总线 B. 通信协议 C. 总线速度

二、名词解释

1. V2X
2. DSRC
3. 车用总线

三、简答题

1. 智能网联汽车 V2X 主要包括哪些功能?
2. V2X 有哪些具体的应用?
3. 常用的车用总线有哪些?
4. CAN 网络的特点是什么?
5. 以太网有哪些拓扑形式?

项目四 智能网联汽车导航定位技术应用

学习目标

通过本章的学习，学生能够掌握导航定位的定义与类型，了解全球卫星定位技术、北斗卫星导航系统、惯性导航系统、高精度地图与导航地图的差别以及高精度地图构建（SLAM）技术。

学习要求

| 知识点 | 能力要求 |
|------------|-------------------------|
| 导航定位的定义与类型 | 掌握导航定位的定义；了解全球导航卫星系统的类型 |
| 全球定位系统 | 了解 GPS 组成、原理及特点 |
| 北斗卫星定位系统 | 了解北斗卫星定位系统的组成及特点 |
| 惯性导航系统 | 掌握惯性导航系统的含义、组成及原理 |
| 高精度地图 | 熟悉高精度地图的含义及作用、高精地图的构建 |

案例引入

汽车自动驾驶、不需人工干预，只要说出目的地，汽车就能够将你安全地送达。在车辆运行过程中，你不再是驾驶者，可以尽情享受途中的风景，或在驾驶舱内享受音乐的美感，或者与同乘者安心交流，或者安静的小憩……这里涉及一个很重要的系统——导航定位系统。

智能网联汽车或无人驾驶汽车的导航定位通过全球定位系统（GPS）、北斗卫星导航定位系统（BDS）、惯性导航系统、激光雷达、视觉传感器等，获取车辆的位置和航向信息。

汽车定位的方式主要有以下几种。

1. 信号定位：

包含卫星定位、Wi-Fi 定位、基站定位、蓝牙定位等。卫星信号定位如图 4-1 所示。

2. 航迹推算：

采用测距模块、IMU 惯性导航模块等进行定位，如图 4-2 所示。它是利用车辆航向、速度和里程计等传感器的信息，推算出车辆相对于起始点的位置。

3. 环境匹配：

通过激光雷达、视觉传感器及高精地图进行匹配定位。车载视觉 SLAM 导航如图 4-3 所示。



图 4-1 卫星信号定位



图 4-2 IMU 惯性导航

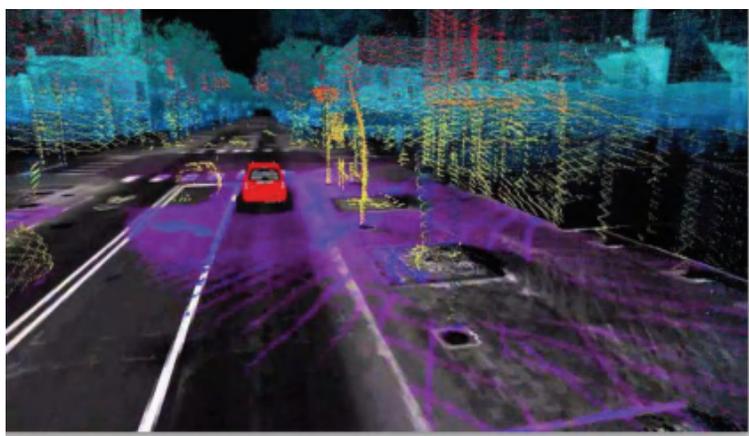


图 4-3 视觉 SLAM 导航

智能网联汽车通过定位系统以及自身环境感知系统确定的环境信息准确感知自身在全局环境中的位置，再通过导航系统准确感知汽车所要行驶的方向以及路径等信息。在实际应用中，通过信息融合实现导航与定位组合，从而使环境信息与车辆信息融合成系统性的整体。

现在大多数智能网联汽车处于 1 级和 2 级别，仅需要实现高级辅助驾驶功能（ADAS）便已足够，这一阶段中卫星定位精度只需达到导航级精度即可。

当智能网联汽车步入 3 级别甚至 4 级、5 级时，就要求在高速公路、停车场泊车等特殊场景实现全自动驾驶，这需要高精度定位技术实现厘米级的定位，才能真正做到在高速公路上变道超车、上下匝道以及定点泊车等功能。

在智能网联汽车实际应用中，主要用到卫星定位、惯性导航定位及环境匹配定位三种技术。

任务一 卫星定位技术

一、 卫星定位系统的定义

全球导航卫星系统（GNSS, Global Navigation Satellite System）是一种空基无线电导航定位系统，能在地球表面或近地空间的任何地点为用户全天候提供三维坐标、速度以及时间信息。它包括美国的

GPS 导航定位系统、俄罗斯的 GLONASS 导航定位系统、欧盟的 Galileo 导航定位系统以及中国的北斗导航定位系统 (BDS)，如图 4-4 所示。此外，还包括区域系统和增强系统，其中区域系统有日本的 QZSS (Quasi-Zenith Satellite System, 准天顶卫星系统) 和印度的 IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System, 印度区域导航卫星系统)，增强系统有中国的北斗 CORS (Continuously Operating Reference Stations, 连续运行卫星定位服务综合系统，也称为北斗地基增强系统)、美国的 WAAS (Wide Area Augmentation System, 广域增强系统)、日本的 MSAS (Multi-Functional Satellite Augmentation System, 多功能卫星增强系统)、欧盟的 EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service, 欧洲地球静止导航重叠服务)、印度的 GAGAN (The GPS Aided Geo Augmented Navigation, GPS 辅助型近地轨道增强系统，是印度部署的广域增强系统) 等。本节主要介绍全球导航卫星系统。



图 4-4 全球导航卫星系统

二、 卫星定位系统的组成

以应用广泛的美国 GPS 以及我国北斗 BDS 为例，介绍卫星定位系统的组成部分。

1. 美国 GPS 组成

GPS 是在子午仪卫星导航系统 (Transit) 的基础上发展的，始建于 20 世纪 70 年代，1994 年全面建成。GPS 定位有 24 颗卫星均匀分布在 6 个轨道面上，轨道倾角为 55° ，均为近圆形轨道，每一轨道面相距 60° ，即轨道的高度为 60° 。各轨道平面上卫星间的仰角相隔 90° ，其中一个轨道平面上的卫星比西部相邻轨道平面上相应的卫星提前 30° 。

它能连续为世界各地的陆海空用户提供精确的位置、速度和时间信息，最大优势是覆盖全球，全天候工作，可以为高动态、高精度平台服务，目前得到普遍采用。

其卫星定位系统由三部分构成：地面控制部分、空间部分、用户装置部分，如图 4-5 所示。

(1) 地面控制部分

地面控制部分由主控站、监测站和注入站三部分构成。除此以外，还有地面天线及相应通信辅助系统进行信息传递。

1) 主控站

主控站有一个，其位于美国本土 Colorado Spings 的联合空间执行中心，用于协调、管理地面监控系统，并将监测站的观测资料联合处理，推算卫星的星历、卫星钟差和大气修正参数等数据，并将

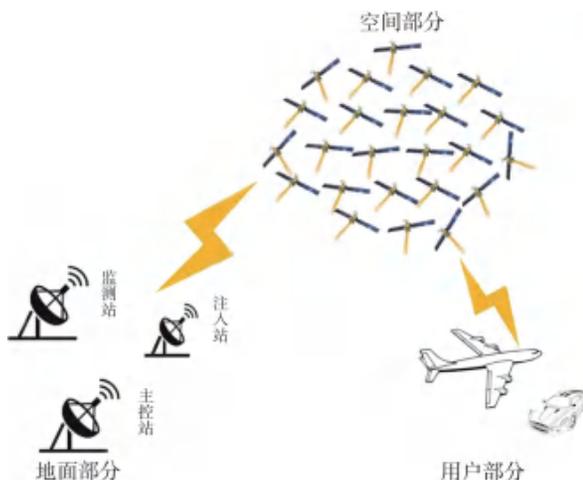


图 4-5 美国 GPS 组成

这些数据编制成导航电文送到注入站，同时还可以调整卫星运行姿态、纠正卫星航道偏差、调度备用卫星以替代失效的卫星工作、监控卫星对用户的指令发送等功能。

2) 监测站

监测站有五个，其中四个与主控站、注入站重叠，另外一个在夏威夷。监测站内部设有双频 GPS 接收机、高精度原子钟、气象参数测试仪和计算机等设备。其主要任务是跟踪所有可见的 GPS 卫星，对每颗可见卫星每六秒进行一次伪距测量和积分多普勒观测，并将搜集的数据和当地气象观测资料经过处理后传送到主控站。

3) 注入站

注入站有三个，分别设在印度洋的迭哥加西、南大西洋的阿松森岛和南太平洋的卡瓦加兰，其主要任务是将主控站编制的导航电文、计算出的卫星星历和卫星钟差的改正数等数据，通过直径为 3.6m 的天线注入相应的卫星。

(2) 空间部分

GPS 系统空间部分的 24 颗工作卫星组成一个 GPS 卫星组，其中 21 颗是导航卫星，3 颗是活动卫星。24 颗卫星以 55° 的轨道倾角绕地球运行。卫星的运行周期大约为十二个小时。每个工作卫星接收和存储来自地面监控设备发送来的导航定位控制指令，进行数据处理，向用户连续发送导航定位信号，用户可以使用这些信号来实现导航。

GPS 卫星的主体呈圆柱形，两侧有太阳能帆板，能自动对日定向。其太阳能电池为卫星提供工作用电。每颗卫星都配备多台原子钟，可为卫星提供高精度的时间标准。卫星上带有燃料和喷管，可在地面控制系统的控制下调整自己的运行轨道。

(3) 用户设备部分

用户设备部分包括 GPS 接收机、硬件和数据处理软件、微处理机及终端设备等，如图 4-7 所示。GPS 接收机存在于手机、计算机、汽车、船舶以及许多其他设备中。通过卫星天线，GPS 接收机可以根据一定的卫星截止角捕获被测卫星，跟踪并锁定这些卫星的运行情况。当导航接收机捕获被跟踪的卫星信号时，可以测量接收天线对卫星伪距的变化率以及接收天线对卫星距离的变化率，并解调卫星轨道参数等数据。基于这些数据，接收机中的微处理器可以根据定位解算方法进行定位计算，并计算用户地理位置的纬度、经度、高度、速度以及时间等信息。

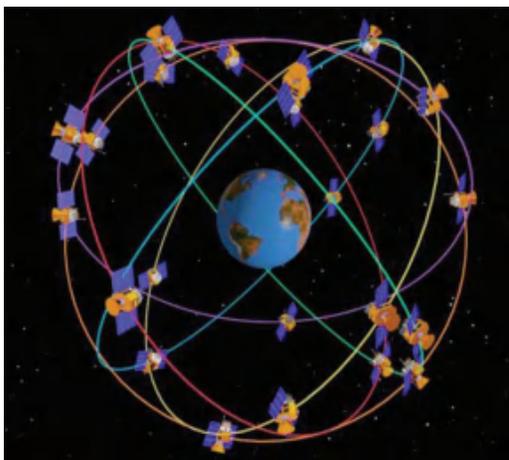


图 4-6 GPS 系统空间部分



图 4-7 GPS 用户设备部分

2. 北斗卫星定位系统组成

北斗卫星定位系统（如图 4-8 所示）是我国自行研制的全球卫星导航系统，2020 年建成北斗三号系