

## 第3章 车辆总线及通信技术

### 3.1 车辆电子电气架构技术

#### 3.1.1 汽车电子电气技术

汽车电气设备(electrical device)是汽车的重要组成部分之一,如图3.1所示,其性能的好坏直接影响汽车的动力性、经济性、可靠性、安全性、舒适性及排放。例如,为使汽车发动机获得最高的经济性,须设计点火系统在最适当的时间点火;为使发动机可靠启动,须采用电力启动机;为保证汽车工作可靠、行驶安全,须利用各种指示仪表、信号装置和照明灯具等电气系统<sup>[1]</sup>。

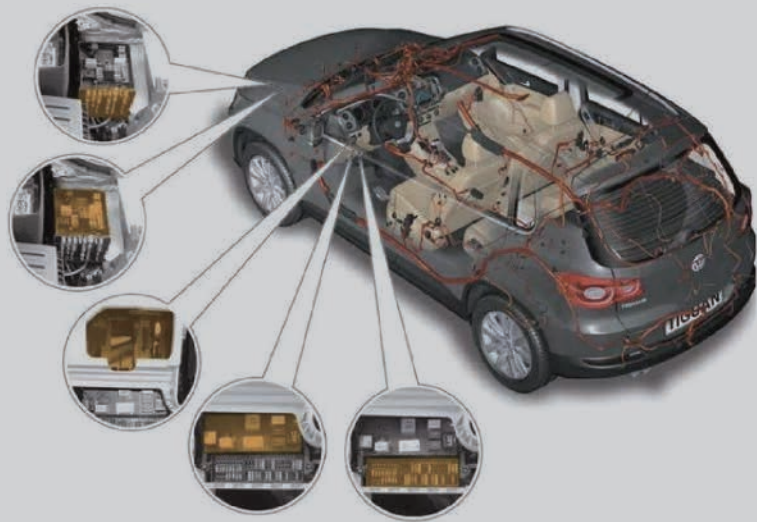


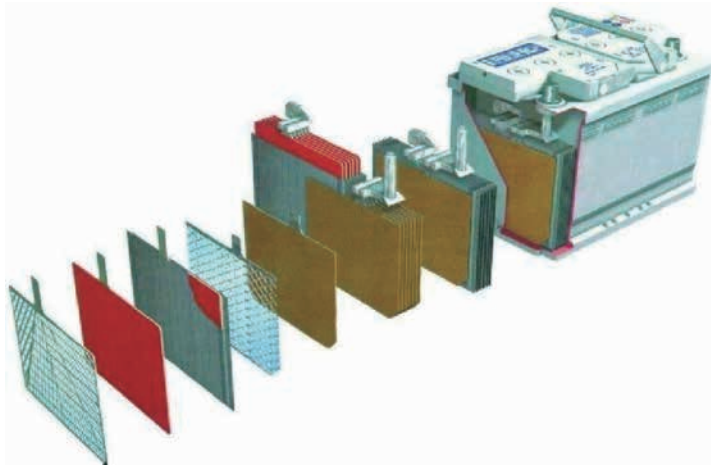
图 3.1 电气设备示意图

多年来,汽车电气设备一直在汽车上发挥着重要的作用,并将继续发挥其应有的作用。基础电气设备将向提高品质、提高性能的方向发展,辅助电气系统将向进一步拓展种类、扩大应用范围的方向发展。

## 1. 汽车电气技术

### 1) 设备的组成

(1) 电源部分。电源部分包括蓄电池及发电机,如图 3.2 所示。当发电机工作时,由发电机向全车用电设备供电,同时给蓄电池充电;蓄电池在启动发动机时向启动机供电,并在发电机不工作时向用电设备供电。有些车型的发电机本身没有调节器,需要配置电压调节器才能工作。电压调节器的作用是使发电机的输出电压保持恒定。



■ 图 3.2 电源示意图

(2) 用电设备。汽车上的用电设备很多,但基本的用电设备大致可分为启动系统、点火系统、灯光与信号系统、信息显示系统、辅助电气系统及电子控制系统等部分。

- 启动系统。启动系统的作用是启动发动机。启动系统由启动机、启动继电器及启动开关组成,如图 3.3 所示。



■ 图 3.3 启动系统示意图

- 点火系统。点火系统的作用是产生电火花,点燃可燃混合气,如图 3.4 所示。点火系统分为电子点火系统与计算机控制点火系统两大类。目前,电控发动机汽车基本上全部使用了计算机控制点火系统,部分燃油器式发动机上还在使用电子点火系统。

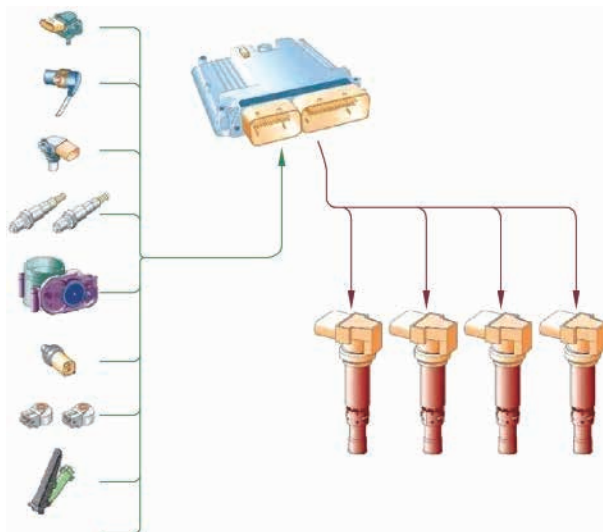


图 3.4 点火系统示意图

- 灯光与信号系统。照明装置包括车内、外各种照明灯及提供夜间安全行驶必要的灯光,其中前照灯最为重要。信号装置包括电喇叭、闪光器、蜂鸣器及各种信号灯,主要用来提供安全行车所必需的信号,如图 3.5 所示。



图 3.5 灯光与信号系统示意图

- 信息显示系统。信息显示系统包括润滑油压力表、冷却液温度表、燃油表、车速里程表、发动机转速表等仪表,如图 3.6 所示。报警装置及电子显示装置用来监测汽车各个系统的工况,比仪表更方便、直观,显示的信息量也更大。



■ 图 3.6 信息显示系统示意图

- 辅助电气系统。辅助电气系统包括电动刮水器、风窗洗涤器、风窗加热器、汽车空调、汽车音响、安全气囊、中控门锁系统、电动车窗、电动天窗、电动后视镜、电动座椅、电动后遮阳帘、电动杂物箱等,如图 3.7 所示。



■ 图 3.7 辅助电气系统示意图

- 电子控制系统。电子控制系统包括电控燃油喷射装置、电控点火装置、防抱死制动系统、自动变速器、电控悬架系统及自动巡航控制系统等,如图 3.8 所示。采用电控系统可提高汽车的动力性、经济性、安全性以及达到净化排气的目的,也可以使得汽车电气系统的功能更加丰富。

(3) 配电装置。配电装置包括中央接线盒、电路开关、保险装置、插接器和导线等。

#### 2) 汽车电气设备的特点

(1) 低压。汽车电气设备的额定电压有 12V 和 24V 两种。汽油发动机普遍采用 12V 电源,而大型柴油发动机多采用 24V 电源。

(2) 直流。汽车电源系统为发电机和蓄电池。蓄电池可循环反复使用,但发电机给蓄电池充电时必须用直流电,所以汽车电源系统采用直流电源。

(3) 单线制。汽车上所有用电设备都是并联的,电源正极到用电设备只用一根导线连接,用电设备利用本身的金属外壳直接与汽车车身相连,汽车的金属车身作为公共回路,回

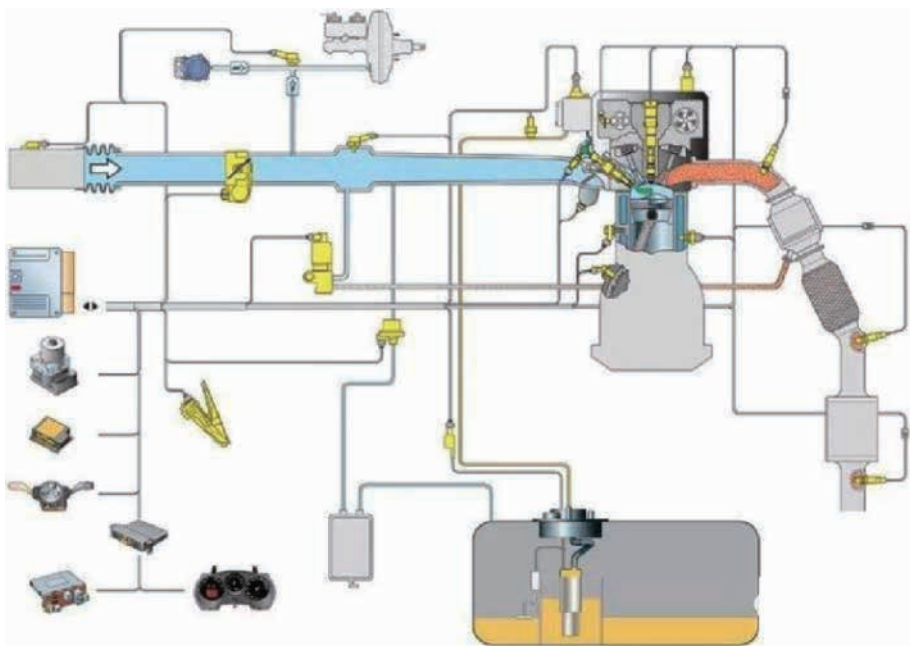


图 3.8 电子控制系统示意图

到电源负极,这种连接方式称为单线制。由于单线制节省导线、线路清晰、安装与维修方便,并且用电设备的金属构件外壳等不须与车体绝缘,因此被现代汽车广为采用。

(4) 负极搭铁。采用单线制时,蓄电池的一个电极须接到车架上,俗称“搭铁”。若将蓄电池的负极接到车架上,就称为“负极搭铁”。目前,国际上各国生产的汽车基本上都采用“负极搭铁”。

### 3) 汽车导线、线束及插接器

随着汽车电气设备的增多,导线的数量不断增加,为了便于维修,连接各设备的导线常以不同颜色加以区分。其中,截面积在  $4\text{mm}^2$  (平方毫米) 以上的导线采用单色线,而截面积在  $4\text{mm}^2$  以下的导线均采用花线。

为了使全车线路规整、安装方便及保护导线的绝缘,汽车上的全车线路除高压线、蓄电池的电缆外,一般都将同一个区域的不同规格的导线用棉纱或薄聚氯乙烯带缠绕包扎成束,又称为线束。一般来说,线束分为发动机线束、仪表线束、车身线束等。

图 3.9 所示为汽车导线、线束及插接器示意图。

线束与线束之间、线束与用电设备之间、线束与开关之间的连接采用插接器。插接器不能松动、腐蚀,为保证插接器的可靠连接,其上都有锁紧装置,而且为了避免安装中出现差错,插接器还制成不同的规格、形状<sup>[2]</sup>。

## 2. 汽车电子控制技术

随着电子技术、计算机技术和信息技术的应用,汽车电子控制技术得到了迅猛的发展,尤其在控制精度、控制范围、智能化和网络化等多方面有了较大突破。汽车电子控制技术已成为衡量现代汽车发展水平的重要标志<sup>[3]</sup>。

汽车电子控制系统基本由传感器、电子控制器(ECU)、驱动器和控制程序软件等部分



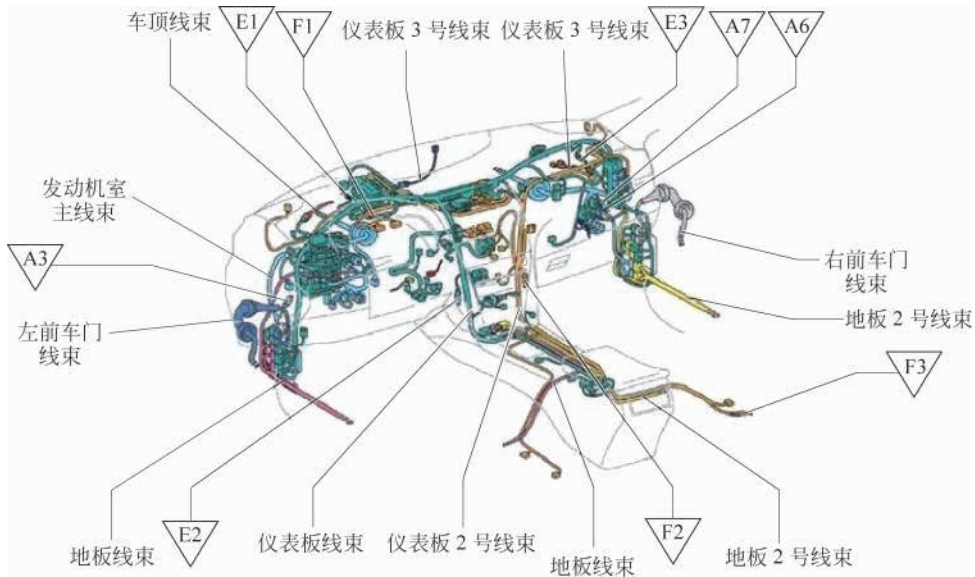


图 3.9 汽车导线、线束及插接器示意图

组成,与车上的机械系统配合使用(通常与动力系统、底盘系统和车身系统中的子系统融合),并利用电缆或无线电波互相传输信息,即所谓的“机电整合”,如电子燃油喷射系统、制动防抱死控制系统、防滑控制系统、电子控制悬架系统、电子控制自动变速器、电子助力转向等。汽车电子控制系统大体可分为 4 个部分:发动机电子控制系统、底盘综合控制系统、车身电子安全系统、信息通信系统。其中,前两种系统与汽车的行驶性能有直接关系<sup>[4]</sup>。

#### 1) 汽车电控的分类

(1) 发动机电控系统。发动机电子控制系统(E ECS)是通过对发动机点火、喷油、控制空气与燃油的比率、排放废气等进行电子控制,使发动机在最佳工况状态下工作,以达到提高其整车性能、节约能源、降低废气排放的目的。

- 电控点火装置(ESA)。电控点火装置由微处理器、传感器及其接口、执行器等构成。该装置根据传感器测得的发动机参数进行运算、判断,然后进行点火时刻的调节,可使发动机在不同转速和进气量等条件下,保证在最佳点火提前角下工作,使发动机输出最大的功率和转矩,降低油耗和排放、节约燃料、减少空气污染。
- 电控燃油喷射(EFI)。电控燃油喷射装置因其性能优越而逐渐取代了机械式或机电混合式燃油喷射系统。当发动机工作时,该装置根据各传感器测得的空气流量、进气温度、发动机转速及工作温度等参数,按预先编制的程序进行运算后与内存中预先存储的最佳工况时的供油控制参数进行比较和判断,适时调整供油量,保证发动机始终在最佳状态下工作,使其在输出一定功率的条件下,发动机的综合性能得到提高<sup>[5]</sup>。
- 废气再循环控制(EGR)。废气再循环控制系统是目前用于降低废气中氧化氮排放的一种有效措施。其主要执行元件是数控式 EGR 阀,作用是独立地对再循环到发动机的废气量进行准确的控制。

(2) 底盘综控系统。底盘综合控制系统包括电控自动变速器(CEAT)、防抱死制动系

统(ABS)与驱动防滑系统(ASR)、电子转向助力系统(EPS)、自适应悬挂系统(ASS)、巡航控制系统(CCS)等。

- 电控自动变速器(ECAT)。一般来说,汽车驱动轮所需的转速和转矩,与发动机所能提供的转速和转矩有较大差别,因而需要传动系统来改变从发动机到驱动轮之间的传动比,将发动机的动力传至驱动轮,以便能够适应外界负载与道路条件变化的需要。此外,停车、倒车等也靠传动系统来实现,适时地协调发动机与传动系统的工作状况,充分地发挥动力传动系统的潜力,使其达到最佳的匹配,这是变速控制系统的根本任务。ECAT可以根据发动机的载荷、转速、车速、制动器工作状态及驾驶员所控制的各种参数,经计算、判断后自动地改变变速杆的位置,按照换挡特性精确地控制变速比,从而实现变速器换挡的最佳控制,得到最佳挡位和最佳换挡时间。该装置具有传动效率高、低油耗、换挡舒适性好、行驶平稳性好以及变速器使用寿命长等优点。采用电子技术特别是微电子技术控制变速系统,已经成为当前汽车实现自动变速功能的主要方法<sup>[6]</sup>。
- 防抱死制动系统(ABS)与驱动防滑系统(ASR)。汽车防抱死制动系统可以感知制动轮每一瞬时的运动状态,通过控制防止汽车制动时车轮的抱死来保证车轮与地面达到最佳滑移率,从而使汽车在各种路面上制动时,车轮与地面都能达到纵向的峰值附着系数和较大的侧向附着系数,以保证车辆制动时不发生抱死拖滑、失去转向能力等不安全的因素,可使汽车在制动时维持方向稳定性和缩短制动距离,有效地提高了行车的安全性。它是汽车安全上的最有价值的一项应用。
- 电子转向助力系统(EPS)。电子转向助力系统采用电动机与电子控制技术对转向进行控制,利用电动机产生的动力协助驾车者进行动力转向,系统不直接消耗发动机的动力。EPS一般是由转矩(转向)传感器、电子控制单元、电动机、减速器、机械转向器以及蓄电池电源等构成。汽车在转向时,转矩(转向)传感器会感知转向盘的力矩和拟转动的方向,这些信号会通过数据总线发给电控单元,电控单元会根据传动力矩、拟转的方向等数据信号,向电动机控制器发出动作指令,电动机就会根据具体的需要输出相应大小的转动力矩,从而产生助力转向。如果不转向,则本套系统就不工作,处于待调用状态。电子转向助力系统提高了汽车的转向能力和转向响应特性,增加了汽车低速时的机动性以及调整行驶时的稳定性。目前国内中高档轿车应用助力转向较多<sup>[7]</sup>。
- 自适应悬挂系统(ASS)。自适应悬挂系统能根据悬挂装置的瞬时负荷,自动、适时地调整悬挂的阻尼特性及悬架弹簧的刚度,以适应瞬时负荷,保持悬挂的既定高度,极大地提高了车辆行驶的稳定性、操纵性和乘坐的舒适性。
- 巡航控制系统(CCS)。巡航控制又称恒速行驶系统,是让驾驶员无须操作油门踏板就能保证汽车以某一固定的预选车速行驶的控制系统。

(3) 车身安全系统。车身电子安全系统包括车身系统内的电子设备,主要有自适应前照灯系统、汽车夜视系统、安全气囊、碰撞警示与预防系统、轮胎压力监测系统、自动调节座椅系统、安全带控制系统等,提高了驾驶人员和乘客乘坐的舒适和方便。

(4) 信息通信系统。信息通信系统包括汽车导航与定位系统、语音系统、信息系统、通信系统等。

例如,汽车导航系统与定位系统(NTIS):该系统可在城市或公路网范围内,定向选择最佳行驶路线,并能在屏幕上显示地图,表示汽车行驶中的位置,以及到达目的地的方向和距离。这实质是汽车行驶向智能化发展的方向,再进一步就可成为无人驾驶汽车。

## 2) 汽车电控的发展趋势

随着集成控制技术、计算机技术和网络技术的发展,汽车电子技术已明显向集成化、智能化和网络化三个主要方向发展。

(1) 集成化。近年来嵌入式系统、局域网控制和数据总线技术的成熟,使汽车电子控制系统的集成成为汽车技术发展的必然趋势。将发动机管理系统和自动变速器控制系统,集成为动力传动系统的综合控制;将制动防抱死控制系统、牵引力控制系统和驱动防滑控制系统综合在一起进行制动控制;通过中央底盘控制器,将制动、悬架、转向、动力传动等控制系统通过总线进行连接,控制器通过复杂的控制运算,对各子系统进行协调,将车辆行驶性能控制到最佳水平,形成一体化底盘控制系统<sup>[8]</sup>。

(2) 智能化。智能化传感技术和计算机技术的发展,加快了汽车的智能化进程。汽车智能化相关的技术问题已受到汽车制造商的高度重视。其中,“自动驾驶仪”的构想必将依赖于电子技术实现。智能交通系统(ITS)的开发将与电子、卫星定位等多个交叉学科相结合,它能根据驾驶员提供的目标资料,向驾驶员提供距离最短而且能绕开车辆密度相对集中处的最佳行驶路线。它装有电子地图,可以显示出前方道路、并采用卫星导航。从全球定位卫星获取沿途天气、车流量、交通事故、交通堵塞等各种情况,自动筛选出最佳行车路线<sup>[9]</sup>。

(3) 网络化。随着电控器件在汽车上越来越多的应用,车载电子设备间的数据通信变得越来越重要。以分布式控制系统为基础构造汽车车载电子网络系统是十分必要的。大量数据的快速交换、高可靠性及低成本是对汽车电子网络系统的要求。在该系统中,各子处理机独立运行,控制改善汽车某一方面的性能,同时在其他处理机需要时提供数据服务。主处理机收集整理各子处理机的数据,并生成车况显示<sup>[10]</sup>。

## 3) 汽车电控的发展过程

汽车电子控制技术在提高汽车动力性、燃油经济性、安全可靠、乘坐舒适性,改善汽车尾气排放和噪声控制,推进汽车及交通智能化等方面发挥着不可替代的作用。电子控制技术的飞速发展和汽车节能、安全、排放等方面相关法规的建立,是汽车电子控制技术形成与发展的两大主要因素<sup>[11]</sup>。汽车电子控制技术的形成和发展过程可分为三个阶段<sup>[12]</sup>。

第一阶段(20世纪60年代中期至70年代末),即汽车电子控制技术萌芽及初级发展阶段。其主要特点是改善汽车单个零部件的性能,比较有代表性的技术有电子收音机、发电机硅整流器、电压调节器、晶体管无触点电子点火和电子控制燃油喷射等。

第二阶段(20世纪70年代末至90年代中期),即汽车电子控制技术的大发展阶段。这时开始出现具有一定综合性的汽车电子控制系统,大规模集成电路和超大规模集成电路技术的快速发展(导致电子控制装置小型化)和自动控制理论的引入,使汽车电子控制技术基本成熟,并逐渐向汽车的其他组成部分拓展。这一阶段的代表性技术有发动机电子控制系统、自动变速器、防抱死制动系统、电控悬架、电控转向、电子仪表和影音娱乐设备等。

而在第三阶段(20世纪90年代中期至今),电子装置已成为汽车设计中必不可少的组成。20世纪90年代以后,汽车电子控制技术进入广泛应用阶段,几乎渗透到了汽车的各个组成部分。汽车电子控制技术成为提高和改善汽车性能的主要途径。在此期间,各种控制



系统的功能进一步增强,性能更加完善,主要体现在以下几方面。

(1) 动力控制方面:在发动机管理系统(Engine Management System,EMS)的基础上增加了变速器控制功能,扩展为动力传动控制系统(Powertrain Control Module,PCM)。

(2) 汽车主动安全控制方面:在防抱死制动系统(Anti-lock Braking System,ABS)的基础上,增加了牵引力控制系统(Traction Control System,TCS,也称为TRC)和驱动防滑系统(Acceleration Slip Regulation,ASR)控制功能。

(3) 车辆稳定性控制方面:出现了车辆稳定性控制系统(Vehicle Stable Control,VSC)、强化车辆稳定性系统(Vehicle Stable Enhance,VSE)以及智能悬架控制系统。

(4) 被动安全控制方面:发展了主动安全带和安全气囊的综合控制技术。

(5) 改善驾驶人劳动强度和保障行车安全方面:在传统巡航控制系统的基础上,开发出智能巡航控制,即自适应巡航控制(Adaptive Cruise Control,ACC),控制内容包括防抱死制动、牵引力控制及车辆稳定性控制等。驾驶人即使没有踩制动踏板,ACC也能在必要的时刻自动完成汽车制动操作,以保证安全。

此外,在汽车内部环境的人性化设计、无线网络通信技术、防盗报警系统和车载防撞雷达等电子装置方面,都得到了进一步的开发和应用。

以控制器局域网(Controller Area Network,CAN)为代表的总线(Data bus)技术在此期间有了很大的发展。CAN总线将各种汽车电子控制系统连接成车载网络。在车载网络中,各控制装置独立运行,完成各自的控制功能。同时,还可以通过通信线为其他控制系统提供数据服务,实现信息共享。以大规模集成电路和控制器局域网为特征的、多学科综合的汽车电气及电子控制技术,是第三阶段的突出特征<sup>[13]</sup>。

### 3.1.2 汽车电子电气架构

#### 1. 汽车电子电气架构概述

“电气”即与电相关的意思,可以作为定语形容所有与电相关的事物,例如电气系统、电气零件、电气功能等。“电子电气”其实可以用“电气”来替代,因为电子也是与电相关的,所以电气当然也包括电子。但目前在汽车行业内,电子电气架构已经成为约定俗成的叫法,因此称为“电子电气架构”而不是“电气架构”。

电子电气架构属于车辆电子电气系统的顶层设计,目标是在功能需求、法规和设计指标等特定约束条件下,综合对功能、性能、成本和装配等方面的具体分析,得到最优的电子电气系统技术方案。伴随着平台化、模块化开发理念在车辆开发中的应用,电子电气系统普遍基于平台化要求进行规划,即构建利于复用、裁剪、扩展的电子电气架构,用于支撑目标市场的不同车型。

随着汽车配置复杂度的增加,电子电气系统越来越复杂。同时,电子电气的成本压力也越来越大,对电气系统优化的要求也日益增加。鉴于以上原因,电子电气架构 EEA (Electronic & Electrical Architecture,EEA)的概念就应运而生,取代了传统意义上的原理线束设计<sup>[14]</sup>。

#### 2. 汽车电子电气架构分类

随着电子电气技术的进步,电子元件、电气中心、连接器、线径等正在朝着小型化的方向

发展,以达到更小、更轻、更可靠的目标。与此同时,自动化的制造工艺与装配过程的发展,能够提高产品的可靠性、生产的灵活性以及一次下线的品质。更多的功能和特性增加到汽车中,导致汽车的电子化内容将不断增加,而电气化容量基本保持不变。

汽车电子电气架构的宏观表现为物理架构和逻辑架构,但其微观实现是通过各个电子器件的集成式或分布式的系统级电子电气架构。汽车电子电气架构可分为三种:单元分布式电子电气架构、域中央式电子电气架构、整车中央式电子电气架构<sup>[15]</sup>。

单元分布式电子电气架构使用主从结构,按照各个系统的功能来划分,有分布式执行器或传感器单元与区域控制中心。具有包装体积小、灵活性高、易于标准化的优点;但也有启动价格高,设计复杂的劣势。

域中央式电子电气架构表现为很高的集成度,可以将多个系统的功能集成在一起,使用传统的布线方法。优势为启动价格低,复杂度低,易于标准化;劣势为包装和装配复杂,灵活性低。

### 3. 汽车电子电气架构发展趋势

随着激光雷达、毫米波雷达、摄像头等大量传感器的加入,汽车逐步走向智能化,而汽车电子电气架构也需要从数据传输协议、智能驾驶系统的冗余性设计到软件框架都重新设计,以满足智能汽车的高数据传输量、人机交互功能以及智能驾驶安全性。对于整车企业来说,汽车电子化架构改变带来的,并非仅仅是像零部件企业那样进行业务结构调整,还需要车企在产业链条中重新收拢一些曾经流失的控制权。

在传统的汽车电子架构中,车辆的电子电气部件大部分都是以硬线方式连接,或者局部的 LIN 和 CAN 协议的连接方式组成。这种方式会增加线束长度和重量,当然也会增加布线工艺和成本。有数据显示,一辆中高端车的线束系统成本大约 550~650 美元左右,重量大约 60kg,长度大约 5000m,而按照原有电子架构,在智能驾驶时代,需要的线束长度会更长。对于续航和价格都高度敏感、同时在智能化浪潮中肩负更多数据传输压力的电动汽车来说,简化传统电子架构已经迫在眉睫。因此,在新型电动汽车的正向开发中,借助于芯片、电子元器件等的成本下降趋势,整车企业都在以车载以太网和域控制器为核心器件对汽车电子架构进行模块化设计。大幅度缩减线束长度,可以降低电线电阻,进而减少能量损耗,对于提升续航将会起到积极的作用。同时,装 100m 线比装 1500m 线也更快速便捷,这意味着汽车产能会快速提升,成本也将得到有效降低<sup>[16]</sup>。

在传统的车身架构中,汽车主要以 CAN 协议传输数据,其 500Kb/s 的传输速率已无法满足未来智能化和数字化汽车的发展。为了处理未来汽车与卡车不断增加的数据处理要求,目前主要厂商正在研发中的可拓展型电子电气架构至关重要。电子电气架构算是一种革命性技术,有关这种架构的重要改进已经持续了超过 30 年。回顾过去,汽车电子电气架构距今最近的一次真正变革出现在 1983 年:博世(Bosch)集团推出了 CAN(控制器局域网)协议。当时,首款采用 CAN 总线的车型为 1986 款 BMW860 轿跑。此后,CAN 总线一直在车辆的电子电气架构中发挥重要作用。作为一种集中式网络,CAN 总线可以广播车辆的全部数据流,允许车内的各种控制器和传感器相互沟通<sup>[17]</sup>。

CAN 总线的出现改善了当时电子电气架构的效率与互操作性。另外,这种总线还显著降低了系统的复杂度,而复杂度降低又意味着可以减少布线数量。在这种情况下,CAN 总线不仅可协助车辆实现最高减重 45kg,还能节约珍贵的安装空间。CAN 与 LAN(局域网)

技术都非常稳定,可以让车辆的设计拥有更高的灵活度。虽然如今 CAN 网络已经开始承担更多功能,但由于未来车辆的传感器数据将比现在多很多,因此 CAN 总线可能也无法满足需求。除此之外,CAN 总线架构的带宽和吞吐量均相对有限,也难以应对未来车辆在数据流处理、网络安全及“终极”机器学习方面的需求。

CAN 总线因为其传输数据的功能性将继续留在电子电气架构的子网中,不过与 CAN 总线相比,正在快速发展的以太网可以提供比前者高 1000 倍的带宽。该技术的稳定表现已经得到充分验证,几乎每个家庭、每部电脑都在使用以太网。正因如此,以太网开始更多在汽车主动安全等对速度与容量有较高要求的应用中发挥作用。未来,以太网将主要成为一种辅助技术,与 CAN 总线并行工作。但因 CAN 总线的成本要更低,如果对带宽要求不高,则也可以无须升级到以太网网络。此外,配合 CAN 总线使用时,为了使以太网总线不会被一些优先级不高的指令阻塞,可以让以太网单纯负责一些更关键的安全系统,然后将一些与驾乘舒适度有关的功能交给 CAN 总线处理。“CAN+车载以太网”的双主干网络总线架构,CAN 协议主要负责时效要求更高、数据量小的信息传输,而车载以太网则主要作用于不同的域之间,以实现数据量大的信息互通<sup>[18]</sup>。

### 3.1.3 车载以太网

汽车电子电气架构设计的核心内容是研究汽车电气系统的“组成”和“交互”问题,而“交互”分为硬线信号交互和网络信号交互。由于现代汽车上带有网络接口的电子控制器单元日益增多,网络信号的交互已经占有绝对优势,因此车载网络技术是进行汽车电子电气架构设计时需要重点关注的关键技术。随着汽车电子的日益复杂化、网络化和宽带化,车载以太网顺应此发展趋势在车内具有广阔的发展空间。

#### 1. 概述

##### 1) 以太网概述

以太网作为一种局域网(LAN)技术自 1973 年发明以来,已经历 40 多年的发展历程,成为当前应用最为普遍的局域网技术。以太网主要由 IEEE 802.3 工作组负责标准化,以太网从最初支持 10Mb/s 的吞吐量开始,经过不断的发展,支持快速以太网(100Mb/s)、千兆以太网(1Gb/s)、万兆以太网(10Gb/s)及 100Gb/s。同时,为了适应应用的多样化,以太网速率打破了以 10 倍为一级来提升的惯例,开始支持 2.5Gb/s、5Gb/s、25Gb/s 及 400Gb/s 的速率。以太网技术不仅支持双绞线的铜线传输介质,也支持光纤传输。随着城域以太网论坛(MEF)不断将以太网技术作为交换技术和传输技术广泛应用于城域网建设,以太网已经不仅仅局限于局域网应用,还可以更广泛地应用到城域网(MAN)和广域网(WAN)的领域。

在进入汽车领域之前,以太网已经获得了广泛的应用,同时还具有技术成熟、高度标准化、带宽高以及成本低等优势。随着近年来汽车电子化的快速发展,车内电子产品数量逐年增加,复杂性日益提高。以太网所具有的技术优势可以很好地满足汽车制造商对车内互联网络的需求。但由于车内电磁兼容的严格要求,以太网直到近些年才取得了技术突破从而得以应用到汽车内。

目前,主流的车载以太网的技术标准是基于博通公司的 BroadR-Reach(BRR)技术,IEEE 已经完成对 100Mb/s 车载以太网技术的标准化,正在对 1Gb/s 传输速度的车载以太

网进行标准化。车载以太网在车内将主要应用在对带宽需求较高的系统上,如高级驾驶辅助系统(ADAS)、车载诊断系统(OBD)以及车载信息娱乐系统等。与传统的车载网络不同,车载以太网可以提供带宽密集型应用所需的更高数据传输能力,未来其将在车内具有广泛的应用前景<sup>[19]</sup>。

## 2) 以太网的发展

1969 年的最早期互联网只能以 50Kb/s 的速度传输数据。随着新技术的不断发展,目前互联网已经全面进入千兆比特时代。新技术不仅提高了互联网的数据传输速度,并且扩大了其影响范围。现代汽车中越来越多的安全性、舒适性以及迅速发展的自动驾驶功能,将促使全球汽车中数十亿计的电子控制单元通过互联网连接在一起。

现代汽车已经被深度网络化,至少体现在以下几个方面。

(1) 汽车内部的网络化。通过网络化实现整车系统控制,驾驶员信息显示,以及保证车辆的安全性和舒适性。

(2) 汽车之间的网络化,例如避免车辆之间发生碰撞。

(3) 汽车和道路基础设施之间的网络化,这可以进一步提高安全性和交通效率。

(4) 汽车和互联网之间的网络化,将使驾驶员可以实时获取当前交通状况等信息。

在目前阶段,汽车网络化还主要集中在汽车内部,并且使用的是在汽车工业以外很难看到的相对较为低端的网络技术。但随着汽车的工作方式变得日益智能化和越来越复杂,汽车网络化技术的升级已经迫在眉睫。但能够在汽车上使用的网络技术不仅仅需要更快、更便宜并且有能力连接所有节点,同样需要这种网络技术能够标准化并且得到广泛的接受。以太网是互联网中使用最多和最广泛的网络技术,自从 1973 年 5 月 22 日作为个人计算机的局域网技术被发明以来,以太网技术快速发展并且作为 IEEE 802 下的一个开放标准集合。以太网技术以 WiFi 的形式从有线网络发展到无线网络(也称为无线以太网),无线以太网在未来也将作为汽车外部网络连接的关键技术。当前全球每年有超过 10 亿的有线或无线以太网端口出货量,以太网在汽车工业的应用将极大地增长这一数字。

## 2. 车载以太网技术

### 1) 什么是车载以太网

车载以太网是一种用以太网连接车内电子单元的新型局域网技术。与普通的以太网使用 4 对非屏蔽双绞线(UTP)电缆不同,车载以太网在单对非屏蔽双绞线上可实现 100Mb/s 甚至 1Gb/s 的数据传输速率,同时还应满足汽车行业对高可靠性、低电磁辐射、低功耗、带宽分配、低延迟以及同步实时性等方面的要求<sup>[20]</sup>。

车载以太网的物理层采用了博通公司的 BroadR-Reach 技术,BroadR-Reach 的物理层(PHY)技术已经由单线对以太网联盟(One-pair Ethernet Alliance, OPEN)标准化,因此有时也称车载以太网为 BroadR-Reach(BRR)或 OABR(Open Alliance BroadR-Reach)。车载以太网的 MAC 层采用 IEEE 802.3 的接口标准,无须做任何适配即可无缝支持广泛使用的高层网络协议(如 TCP/IP)。

### 2) 车载以太网主要技术

车载以太网主要涉及 OSI 的 1、2 层技术,下面分别介绍车载以太网各主要技术<sup>[21]</sup>。

(1) 物理层 PHY。车载以太网使用单对非屏蔽电缆以及更小型紧凑的连接器的使用非屏蔽双绞线时可支持 15m 的传输距离(对于屏蔽双绞线可支持 40m),这种优化处理使车载



以太网可满足车载 EMC 要求。100Mb 车载以太网的 PHY 采用了 1Gb 以太网的技术,通过使用回声抵消在单线对上实现双向通信。车载以太网的物理层与标准的 100BASE-TX 的物理层主要区别有:

- 与 100BASE-TX 所使用的扰频器相比,车载以太网数字信号处理器(DSP)采用了高度优化的扰频器,可以更好地分离信号,比 100BASE-TX 系的频谱效率更高。
- 车载以太网的信号带宽为 66.7MHz,只有 100BASE-TX 系统的一半。较低的信号带宽可以改善回波损耗,减少串扰,并确保车载以太网可满足汽车电磁辐射标准要求。

(2) “一对数据线供电”PoDL。以太网供电 PoE 技术是 2003 年推出的,可通过标准的以太网线缆提供 15.4W 的供电功率。在一条电缆上同时支持供电与数据传输,对进一步减少车上电缆的重量和成本很有意义。由于常规的 PoE 是为 4 对电缆的以太网设计的,所以专门为车载以太网开发了 PoDL,可在一对线缆上为电子控制单元 ECU 的正常运行提供 12V DC 或者 5V DC 供电电压。

(3) 先进电缆诊断 ACD。ACD 功能可以通过分析反射信号的幅度和延迟来检测电缆的故障位置,这对于实现车载以太网连接的高度可靠性至关重要。

(4) 高效以太网。当关闭引擎时,车上电子单元并不是全部关闭,这时需要用电池供电,而电池的电量又是有限的,这种情况下可采用高效以太网技术关闭不再用的网络以降低耗电量。

(5) 时间同步。车内某些应用需要实现不同传感器之间的时间同步,或者在执行某次测量时需要知道不同节点的时刻,这就需要在全部参与测试的节点间做到同步,某些精度甚至需要达到亚微秒级别。车载以太网采用了 IEEE 802.1AS 的定时同步标准,该标准通过 IEEE 1588V2 的 Profile 从而用一种更简单快速的方法确定主时钟,规定了广义的精确时间协议(gPTP)。

(6) 时间触发以太网。车内的许多控制要求通信延迟要在微秒级。在传统以太网中,只有当现有的包都处理完后才会处理新到的包,即使是在 Gb/s 的速率下也需要几百微秒的延迟,满足不了车内应用的需求。为了解决这一问题,IEEE 802.3 工作组开发了一种高优先级的快速包技术,使得快速包可插入正在处理的包队列中被优先处理以保证延迟在微秒级范围内。

(7) 音视频桥接 AVB。为了满足车内音视频应用的低延迟和可保证的带宽要求,可在车内使用 IEEE 802 工作组开发的 AVB 相关标准。

AVB 技术提供了优先级、流量预留协议(SRP)、流量整形协议(FQTSS)等核心功能。AVB 在车内的应用案例有同步多媒体播放、在线导航地图等汽车联网应用、ADAS 以及诊断功能等。

IEEE 同时还制定了 AVB 的传输协议,包括:

- IEEE 1722-2011: 桥接局域网中的时间敏感应用第二层传输协议标准,也被称为音视频传输协议(AVTP)。
- IEEE 1733-2011: 桥接局域网中的时间敏感应用第三层传输协议标准。由于该协议是一个第三层协议,预计不会被汽车行业广泛采用。

为了提升 AVB 的适应性,满足工业等更多应用场景,IEEE AVB 任务组已更名为“时

间敏感性网络”TSN 工作组,现在是 IEEE 802.1 五大任务组之一,致力于开发实现超低时延的控制网络。

### 3) 车载以太网的优势

将现代以太网技术引入汽车中所带来的优势很多是来自以太网本身卓越的技术特性。

(1) 全双工(Full-Duplex)的运行方式。全双工运行意味着两个互相连接的设备可以同时发送和接收数据,相比于传统的共享式网络有三个优势:首先,全双工意味着两个设备可以同时发送和接收设备,而不需要轮流发送和接收数据。其次,全双工意味着更大的带宽总和。以 100Mb/s 的 BroadR-Reach 为例,考虑到两个方向上同时发送和接收数据,理论上的最大带宽总和为 200Mb/s。最后,全双工运行行为不同设备之间的同步通信奠定了技术基础,例如实现诸如 AVB 这样的高级功能<sup>[22]</sup>。

(2) 包交换技术。包(packet)交换技术将通信数据拆分为称作包的消息(message),在以太网中,使用帧(frame)更普遍。这些 message 可以分段发送到不同的网络上,允许同时发生多个数据交互。现代交换机可以处理来自多个发送方的 frame,将每个 frame 转到正确的接收方,这不仅仅实现了多方数据交换,而且是多方的同时数据交换。图 3.10 所示为简单的 BroadR-Reach 交换机网络。

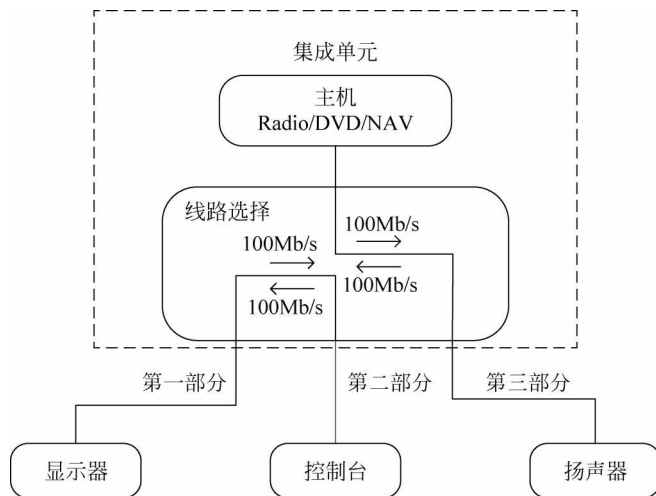


图 3.10 简单的 BroadR-Reach 交换机网络

主机(Head Unit)和扬声器(Speaker)之间的 message 可以在每个方向上进行 100Mb/s 的数据传输,Display 和 Console 之间也是如此,而且它们之间的数据传输可以同时进行,因此总共的理论带宽最大可以达到 400Mb/s。

(3) 基于地址的 Message。每个以太网 message 都有一个源地址和目标地址。交换机通过目标地址将 message 路由到它们的接收方;源地址可以被接收方读取并用于任何必要的回应。交换机对于 message 的处理功能可以与汽车中的网关(gateway)进行比较,但它们之间存在一个很大的区别。网关的 message 处理功能是由电子控制单元中的软件实现的,因此在网络拓扑改变时电子控制器单元的软件也必须改变。然而对于以太网交换机而言,它们可以连接在一起将 message 自动传输到接收方,而不需要考虑网络配置的更改。这使得增加以太网设备而需要增加交换机时变得很容易,也允许创建任意规模的网络。交换机

的这种灵活而强大的组网能力也是许多汽车整车厂将以太网作为汽车主干网的主要原因。图 3.11 展示了这种交换机组网机制。

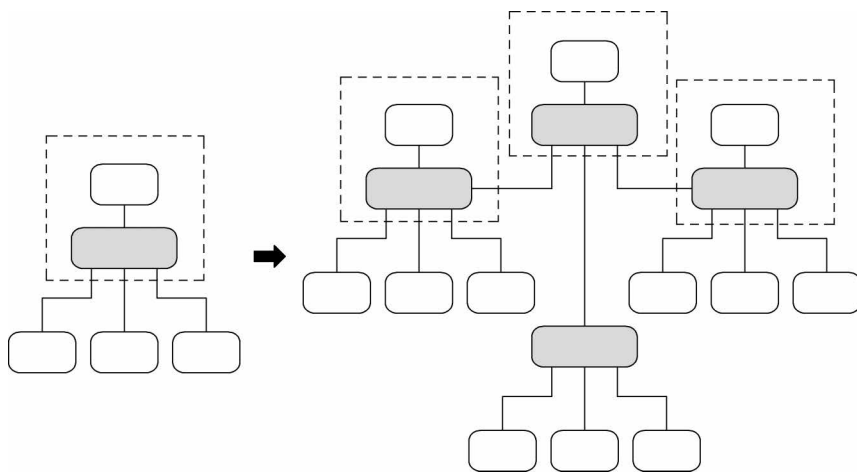


图 3.11 交换机组网机制

以太网技术的一个重要特点是在物理层实施时需要进行电气隔离,这在 IEEE 802.3 标准有描述,并且是基于 IEC 60950-1: 2001-Information Technology Equipment-safety 标准中的规定。这种电气隔离需求根据具体的以太网速度和电缆接口有所不同,但对于像 Gigabit 以太网这种新型的以太网技术,以太网控制器和以太网线缆至少通过以下三种电气隔离测试: 1500V<sub>rms</sub> at 50Hz to 69Hz 持续 60s; 220V<sub>dc</sub> 持续 60s; 以不少于 1s 的间隔实施 10 个 2400V 的变换极性的脉冲序列。这种电气隔离要求使以太网在极端恶劣的电气环境中具有很好的恢复能力,也是以太网能够在长距离、高速传输网络技术中非常受欢迎的一个原因。博通公司的 BroadR-Reach 技术有其自己的电气隔离需求,并且在汽车电子协会的 AEC-Q100 做出了规定。图 3.12 表示博通公司 BroadR-Reach 通过单对双绞线实现的 100Mb/s 的以太网技术。

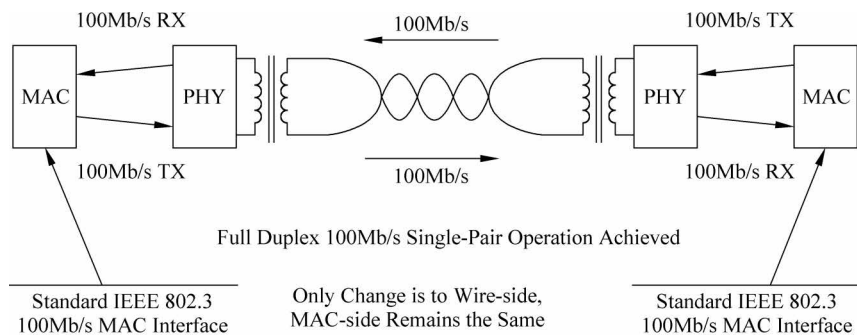


图 3.12 单对双绞线以太网技术

另外一个汽车以太网能够在降低重量的同时提高性能领域是车载摄像头网络系统。近年来汽车中摄像头的数量迅速增加,在大多数的摄像头网络系统中,摄像头通过使用三种技术连接: ①模拟量的 NTCS(National Television System Committee)信号; ②模拟量的

PAL(Phase Alternating Line); ③数字量的 LVDS(Low-Voltage Differential Signaling)。所有这些传统摄像头网络系统都需要相对厚重的线缆,并且需要使用屏蔽层用来保护传输的信号不被 EMI 干扰,这些都导致成本增加和维修困难。与此相反,博通公司的 BroadR-Reach 技术使用非常细的单对非屏蔽双绞铜线,与诸如 LVDS 这类传统技术相比,能够降低 80% 的成本和 30% 的重量。随着汽车工业逐步转向使用以太网技术,更多的竞争和产品的多样性将使成本在未来进一步下降。

无线功能也是车载以太网技术的一个优势。虽然 WiFi 在 IEEE 802.11 中定义,但正如前面所述,以太网 OSI 模型中的高层协议技术与特定的网络底层实施方案无关,这点对于以太网和 WiFi 同样适用。这意味着以太网引入汽车后也为更稳定和更快速的无线通信铺平了道路。与以太网技术一样,WiFi 技术也在不断地增强和进化,以满足不断变化的网络世界的需求。正如博通公司的 BroadR-Reach 技术,WiFi 针对汽车应用也推出了称为 WAVE(Wireless Access in Vehicular Environments)的技术,并且在 2010 年发布的 IEEE 802.11p 中进行了定义,并随后集成到 IEEE 802.11-2012 标准中。这为 V2V(vehicle to vehicle)和 V2I(Vehicle to Infrastructure)开拓了一种新的可能性,并且为 ITS 智能交通系统(Intelligent Transportation System)提供了强有力的网络技术,使得交通拥堵控制、紧急情况预警以及碰撞预警领域的技术得到提高。

#### 4) 车载以太网的机会

在汽车工业引入一种新的网络技术或者对现有的汽车网络技术进行大量的修改是代价非常高昂并且充满风险和困难的。汽车需要保证驾乘人员的生命安全并且在售出之后需要稳定运行 10 年以上,这意味着任何新技术所需要的大量硬件和软件更改必须进行广泛的测试和验证,这些工作费用高且非常耗时。因此汽车工业想要引入任何新技术并取得成功,必须提供抵消这些风险和成本的优势,这也是汽车工业引入新技术相对较慢的重要原因。车载以太网可以为智能汽车所需功能提供足够的带宽,并且具有在未来实现更好性能的潜力,它将作为高速、多方通信甚至使以往只能在科幻小说中出现的汽车功能成为可能。汽车工业从现在开始的以太网技术革命,将比 1990 开始的控制器局域网(CAN)产生更大和更深远的影响。

以太网作为局域网的标准技术已经存在了几十年,大量的传输方法和协议已经开发和实施完成。TCP/IP 是实现互联网通信应用的协议集合,从一开始 TCP/IP 就用来实现诸如电子邮件、万维网、文件传输以及即时通信等核心通信功能。音频视频桥接(Audio Video Bridging, AVB)是另一个用于以太网技术的通信标准集合,它主要应用于高性能的信息娱乐系统,用于传输对实时性要求比较高的音频和视频信息流。除了 TCP/IP、AVB 等通信协议集合为以太网所提供的诸多应用之外,还有很多协议是为了实现支持功能的,例如地址解析、网络追踪、时钟同步等。所有这些协议在 IEEE 和 IETF(Internet Engineering Task Force)的标准中都有定义。设计所有这些协议、应用和工具的目的是为了在不考虑底层实施的情况下运行任何类型的以太网,因此这些协议、应用和工具在车载以太网中也是可以使用的。除此之外,以太网不仅为汽车公司提供了多种多样的协议和应用,而且确保这些汽车公司可以获取大量的人力资本,并且使传统技术公司和汽车技术公司能够进行协同工作,这在以前几乎是不可能的。汽车上的电子控制器单元(ECU)之间的通信在不久的将来将不再使用汽车工业独有的技术,转而使用几乎每个其他工业都使用的相同技术。这必将使得



汽车工业与其他工业之间的合作更容易,并且使汽车可以实现以往只能猜想或者梦想的先进功能。在不久的将来,我们将可以拥有具备高级音频和视频流功能的汽车、可以和收费站直接通信的汽车、可以智能充电的汽车,甚至是自动驾驶汽车。这种汽车工业和非汽车工业之间互相融合的趋势正在由像博通这样的半导体供应商引领。之前博通公司的绝大部分营业收入来自非汽车行业,但目前正逐渐成为汽车市场的重要巨头。

在过去的20年中,作为在汽车网络中占统治地位的CAN网络由于其最大1Mb/s的带宽使汽车电子工程师面临巨大挑战。随着汽车中ECU计算能力的不断增长,ECU之间网络连接所需要的带宽也相应地增长。如前所述,要在汽车中使用一种新的网络技术是一个非常具有挑战性的任务,例如之前FlexRay的应用。使用车载以太网同样需要巨大的努力,但它们之间存在着本质区别:汽车一旦使用了以太网技术,不仅仅是给汽车提供了一项经过数十年实际应用验证过的成熟网络技术,更为关键的是,以太网技术是可以确保应对汽车行业在未来所面对的诸多挑战的技术。以太网在过去的几十年中能够如此成功的一个最主要原因就在于它有能力不断地进化、改变并能够满足不断增长的带宽需求,与此同时又满足了对旧设备的向后兼容性。

以太网是使用OSI 7层网络参考模型的主要受益者。通过这种分层的模块化网络设计,以太网允许对网络底层的实施细节(OSI的第1层:物理层)进行大量更改,从而可以在使用新的通信线缆类型和更快的通信速度的同时,使其他所有的OSI模型高层协议和软件不做更改。这意味着诸如AVB、TCP/IP和其他运行在以太网上的协议功能即使在网络吞吐量增长10倍时也可以保持不变。使用以太网技术之后,在改变网络底层实施技术时不再需要使用全新的网络协议集合,但从CAN转向FlexRay必须这样做。1973年最初发明的以太网技术是在施乐(Xerox)的Palo Alto研发中心,那时的以太网与今天在住宅或办公场所中使用的LAN(Local Area Network)没有丝毫的相似之处,与在服务器机房和数据仓库的高速以太网更是大相径庭,但它们依然都是以太网,因为细节虽然在变化,但是在基本工作原理上很大程度是相同的。当以太网技术应用到汽车上,情况也是如此。博通公司的BroadR-Reach技术可以使用单对非屏蔽双绞线提供100Mb/s的网络带宽,这种通信方式从来没有被以往的任何类型以太网使用过,但它仍然在OSI参考模型的高层上与其他以太网无缝集成并工作方式一致。BroadR-Reach技术已经应用在量产汽车上,并且在2014年通过了IEEE 802 标准化过程(1TPCE工作组-One Twisted Pair 100Mb/s Ethernet)。与此同时,同样是使用BroadR-Reach技术的更快速度的以太网(Reduced Twisted Pair Gigabit Ethernet, RTPGE)预计可以为未来的应用提供高达1Gb/s的带宽,并且具备完全的软件兼容能力。在未来几年,车载以太网的带宽将达到1Gb/s,未来的汽车将可以搭载目前的车载网络不可能实现的功能。

#### 5) 车载以太网发展趋势

车载电子变得日益复杂,越来越多的传感器、控制器以及接口对带宽的要求越来越高,车内不同的计算单元和不同的域之间彼此通信的需求越来越强。这种复杂性直接导致了对车内连线使用上的增长。在车载以太网进入汽车应用之前,车内已有多种不同的标准技术在应用,包括LIN、CAN、FlexRay、MOST以及LVDS等。几乎每个汽车电子器件都有其特定的线缆和通信要求,这必然导致车内连线复杂,车内线束已成为继引擎和底盘之外车内第三大成本支出的部分,生产环节中布置配线的人工成本占整车的50%。同时,车内线束

在重量上也是继底盘和引擎之外占第三位的部分。降低线束重量的技术将会直接改善燃油使用的经济性。车载以太网承载在单线对非屏蔽双绞线的传输介质上,使用更小巧紧凑的连接器的,将可减少高达 80% 的车内连接成本和高达 30% 的车内布线重量。

据全球著名的咨询公司弗若斯特沙利文公司(Frost & Sullivan)和 Strategy Analysis 预测,到 2020 年,全球将部署 4 亿个车载以太网端口;到 2022 年,全球部署的全部车载以太网端口将超过所有其他已部署的以太网端口总和。Frost & Sullivan 还预测,到 2020 年,对于低端车型每辆车上将有 6~40 个车载以太网节点,而豪华车型和混合/电动车型将会有 50~80 个车载以太网节点,有 40% 的已售车使用车载以太网;到 2025 年,车载以太网的市场渗透率将增加至 80%。

### 3. 车载以太网标准化

在车载以太网的标准化方面,4 个标准化组织或联盟起到了主要的推动作用,它们是 IEEE 802.3 和 IEEE 802.1 工作组、OPEN 联盟、汽车开放系统架构联盟 AUTOSAR 以及 AVnu 联盟。

#### 1) IEEE

IEEE 802.3 制定的局域网标准代表了业界主流的以太网技术,车载以太网技术是在 IEEE 802.3 基础上开发研制的,因此 IEEE 是目前最为重要的车载以太网国际标准化机构。为了满足车内的要求,涉及 IEEE 802.3 和 IEEE 802.1 两个工作组内的多个新规范的制定和原有规范的修订,包括 PHY 规范、AVB 规范、单线对数据线供电等。

另外,AVB 中有关 AV 的传输、定时同步等规范还需 IEEE 的其他技术委员会的标准化,如 IEEE 1722、IEEE 1588 等。

#### 2) OPEN

OPEN 联盟是于 2011 年 11 月由博通(Broadcom)、恩智浦(NXP)以及宝马(BMW)公司发起成立的开放产业联盟,旨在推动将基于以太网的技术标准应用于车内联网。相关单位可通过签署 OPEN 联盟的规范许可协议成为其成员,参与其相关规范的制定活动。

OPEN 的主要标准化目标有:

- 制定 100Mb/s BroadR-R 的物理层标准并将其推广成为开放的产业标准;
- 在相关标准化组织中鼓励和支持开发更高速的物理层技术规范;
- 制定 OPEN 的互通性要求,选择第三方执行互操作性测试;
- 发现车载以太网在实现过程中的标准化缺口。

OPEN 联盟与 IEEE 802 形成紧密的标准化合作。

#### 3) AUTOSAR

AUTOSAR 是由汽车制造商、供应商以及工具开发商发起的联盟,旨在制定一个开放的、标准化的车用软件架构。AUTOSAR 的规范包括车用 TCP/UDP/IP 协议栈。AUTOSAR 获得了汽车产业的普遍认可,各制造商将放弃私有标准的开发转而在标准实现上展开竞争,实现 AUTOSAR 的标准可使多个设备无缝地运行在同一个共享网络上。

#### 4) AVnu

AVnu 联盟是由博通联合思科、哈曼和英特尔公司成立,致力于推广 IEEE 802.1 的 AVB 标准和时间同步网络(TSN)标准,建立认证体系,并解决诸如精确定时、实时同步、带宽预留以及流量整形等技术性能问题。

目前,AVnu 已发布其车载以太网 AVB 的认证测试规范,并已认证了多个型号的产品。需要补充的是,AVnu 的技术不仅仅可应用于汽车领域,也可应用于专业 A/V、工业以及消费类电子领域。

随着汽车日益智能化和联网化,汽车电子也将更为复杂化,其对带宽的需求也日益增强。车载以太网基于目前已经非常成熟的以太网技术,可以很好地满足汽车电子的新需求并为其提供可靠、成熟、低价和标准化的解决方案,未来在汽车行业具有广阔的发展空间。

### 3.1.4 未来架构的一些特点

车辆对系统数据吞吐量的更高要求,是推动下一代电子电气架构研发的主要动力之一。

#### 1. 大处理与集中控制

计算机管理总系统,即计算机平台,就是将车上所有电子控制系统包括改善汽车本身性能的、增强驾驶人能力的,都由计算机管理总系统进行统一管理,并将所有的电子控制系统有机地组成一个整体,使技术能够充分而正确地发挥。

图 3.13 所示为当前汽车电子电气架构与未来汽车电子电气架构图。

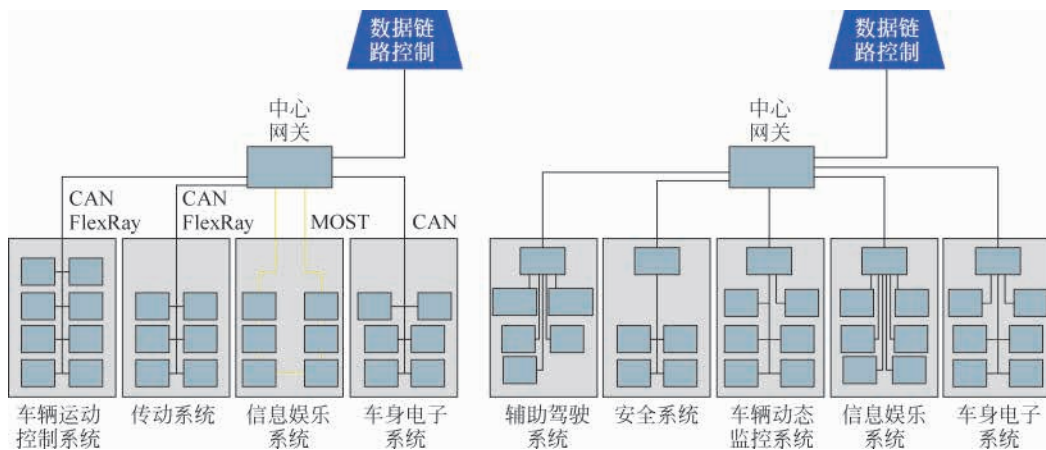


图 3.13 当前汽车电子电器架构与未来汽车电子电气架构

随着智能汽车的高速发展,系统功能越来越复杂、实时性要求越来越高、安全等级也越来越高,以 CAN 总线为基础的传统汽车分布式控制架构已不能满足未来需求,集成化的主干网加多域控制的新型电子电气架构成为未来智能汽车发展的最佳选择,对于智能汽车复杂功能和大量互联信息的高效传输及管理,以及系统安全十分必要<sup>[23]</sup>。

自动驾驶计算平台以环境感知数据、GPS 信息、车辆实时数据和 V2X 交互数据等作为输入,基于环境感知定位、路径决策规划和车辆运动控制等核心控制算法,输出驱动、传动、转向和制动等执行控制指令,实现车辆的自动控制,并通过人机交互界面(如仪表)实现自动驾驶信息的人机交互<sup>[24]</sup>。为了实现自动驾驶系统高性能和高安全性的控制需求,智能汽车计算平台汇集了多项关键技术,包括基础硬件/软件平台技术、系统安全平台技术、整车通信平台技术、云计算平台技术、核心控制算法技术等。

目前,汽车厂商一般会采用分布式汽车架构。在这种架构下,大量 ECU 单元会相互协

同工作,共同为驾驶员提供各种功能。但这种架构已经快要“到达极限”。未来,域控制器仍将是所有汽车架构的基石,分布式架构随着车辆安全功能的增加,只会变得越来越复杂,但基本性质并不会改变很大,然而客户端的需求已经有了大幅提升。自动驾驶系统设计师希望利用 1Gb 的实时以太网提供 1Gb/s,甚至更高的处理速度。从功能方面来说,这就像是把功能强大的大型计算机改成适用汽车的规格,然后再安装到汽车上。

从进化方面来说,架构的进化主要是因为特定领域内一些应用程序对数据提出了更高要求。例如,基于现有架构的混动车型可能就需要更多数据带宽。

从革命方面来说,架构的革命主要体现在利用 uber brain 多域控制器,重新思考整个架构的设计。uber brain 可以承担多个 ECU 单元的工作,从而降低系统的复杂度、成本与重量。目前,德尔福、采埃孚、博世等供应商的量产产品中均有此类硬件设备。大众-奥迪也有意打造新的电子电气架构,它正在开展一项 Z-Fast(即 Zed Faust)项目,旨在重新探索旗下车型在主动安全领域中的电子电气架构,包括车载雷达、激光雷达、视觉系统、驾驶员状态监测及各种相关传感器与执行器等。这些功能都有一个共同点,那就是需要高速的数据处理。在这种背景之下,奥迪开始设计一种全新架构,在多域控制器中引入一款“可承担重负荷的”中央处理器,负责各个子系统间的协调与决策任务。

2014 年 Z-Fast 紧凑型主板登录一款奥迪 A8 自动驾驶概念车。该系统采用了英伟达(NVidia)的 K1 芯片与 192 核 GPU,可处理几十个传感器的数据输入,从而根据当时的道路与交通状况计算车辆的安全导航行驶信息。这款中央处理器的硬件整合度与可拓展性均有所提升。

未来,由于主要的数据处理工作均将交由中央处理器进行,传感器的前端处理任务将会显著减轻,其中包括“飞行时间(time-of-flight)”与热管理系统的计算等,因此工程师就不用为每一个传感器单独配备高端微处理器。这样一来,未来汽车传感器占用的空间将显著缩小,成本也会有所下降。尽管目前部分系统可以支持升级,但这些系统通常都存在存储空间不足的问题,因此在升级前必须先卸载部分旧的设备。由于多域处理器可以提供足够的内存和处理速度,因此奥迪在未来很长一段时间内都可以没有负担地增加更多功能。对于一些真正具有前瞻性思维的厂商,中央处理器将成为一种未来之选。

## 2. 可重构设计

下一代电子电气架构工程师的目标是打造一个标准化硬件平台。这种架构很容易扩大或缩小,可以满足产品线上各类产品对功能与成本的不同要求。打造每一个架构的成本都非常高昂。为了不断满足新的需求,现代架构最重要的特点在于其灵活性和可重构性。当开始设计一个新的架构时,这个架构需要在其整个使用寿命中适应各种巨大的改变。设计是一个问题,但更重要的是适应能力。

AUTOSAR(汽车开放系统架构)联盟的主要目标之一,是在系统内与系统之间提供更大的灵活性。AUTOSAR Adaptive 平台经过专门设计,可为工程师提供更多灵活的架构。这个平台可以为一些更复杂的系统提供一个软件框架,协助工程师利用以太网增加带宽。

需要说明的是,这并不是要取代 AUTOSAR,该架构最先用于高级驾驶辅助系统(ADAS)方面的应用。此外,这种架构还可以协助标准操作系统,与更多互联功能和图像处理功能实现无缝整合,从而助力汽车信息娱乐系统的开发。AUTOSAR 4. x 将成为通用新一代 Global-B 电子电气架构的基础。



对博世而言,架构的灵活性一直是公司所追求的重点之一。目前,博世的设计团队已经开发了多种下一代电子电气架构解决方案,以满足客户的各种要求。在模块化设计思路与1Gb以太网的推动下,未来的电子电气架构将从目前的分布式结构转为跨域结构(APAS、动力总成、车身和信息娱乐系统)。

多域架构才是未来之选,从目前的域架构转化为多域架构可以减少15%~20%的布线用量。

### 3. 在“云”端

“云平台”无法完成实时计算,但从长远来看,将出现一种新的架构模型,可以普遍实现“可靠、实时的无线连接”。但这种架构不会很快到来,甚至在5G环境下也不一定可行。

未来,汽车的计算能力将继续增加,达到能够进行自动操作的水平,而云计算则主要负责一些非实时活动及近实时的协调工作,例如判断周围交通状况与天气变化等。此外,车辆的安全功能将在很大程度上借助FOTA(空中固件升级)与SOTA(空中软件升级)来实现。无论选择何种安全攻击手段,黑客攻击的宗旨总是寻找薄弱环节入手。由于这些环节将出现变化,因而威胁模型也会发生变化。这就需要一种系统性设计方法,在设计中必须整体考虑车辆中的所有硬件和软件,甚至还要考虑云端的因素。

## 3.2 自动驾驶域接口

当前汽车已经实现了高级辅助驾驶系统(ADAS),包括辅助泊车、自动制动、行人检测和防撞等功能。各类传感器头和高速串行链路等底层技术是实现此类功能不可或缺的部分,随着整个行业向第五级完全自动驾驶方向发展,它们将继续发挥至关重要的作用。

为了使汽车快速应答命令并实时产生决策,ADAS应用程序必须快速捕获、处理来自多个摄像头和传感器的输入。车内摄像系统的数据速率通常比较高。以全景环视系统为例,每个摄像头的视频流通常为1280像素×800像素,帧率为30f/s。信息娱乐系统也依赖于摄像头,其支持的分辨率越来越高,以处理音频和视频数据。如今的汽车中,经常能看到多达8个支持安全功能的摄像头。安全和信息娱乐系统相结合,使得未来汽车上可能安装十几个摄像头,多个超高清显示屏,以及支持所有数据传输的串行链路。当然,车辆与车辆(V2V)和车辆与基础设施(V2X)之间的通信也相当重要。与ADAS和信息娱乐系统一样,V2V、V2X和传感器融合系统全部要求宽带和数据完整性,从而实现汽车间以及与道路基础设施间共享数据,并作出相应决策<sup>[25]</sup>。

据预测,从2018年到2020年,带宽需求预计提高大约25倍。更高的帧率和分辨率只会给汽车带宽带来更大的压力。然而,这是支持迅速扩张在线数据容量必不可少的,包括视频流、视频会议、游戏和社交媒体等车内活动。关于底层数据传输技术,其解决带宽、数据完整性、互联复杂度以及恶劣的工作环境等问题所面临的挑战越来越大。串行链路技术必须在这种汽车环境中运行良好,以支持高速、高可靠性和低延迟等要求<sup>[26]</sup>。

以太网架构在如今的汽车中很常见,可以实现比CAN总线快100倍的链路传输数据。然而,使用以太网也要求视频压缩传送,且其速度并不足以支持当今或未来汽车的要求。汽车制造商希望在车内传输百万像素分辨率图像的需求日益迫切,同时还需要满足摄像头内

对空间及功耗预算的苛刻要求。

### 3.2.1 自动驾驶系统的硬件架构

就整体而言,汽车是个全社会化管理的产品,其固有的行业特点是相对保守的。在人工智能的大潮下,面对造车新势力和消费者需求变化的冲击,传统汽车行业渐进式的创新方法已经面临巨大的挑战,急需改变传统的架构和不断创新方法。自动驾驶整体的硬件架构不光要考虑系统本身,也要考虑人的因素。

自动驾驶系统主要包含三个部分:感知、决策、控制。从整个硬件的架构上也要充分考虑系统感知、决策、控制的功能要求。整体设计和生产上要符合相关车规级标准,如 ISO 26262、AECQ-100、TS16949 等相关认证和标准。目前 L1、L2、ADAS 系统的硬件架构体系和供应链相对完善的符合车规级要求。

感知层:依赖大量传感器的数据,分为车辆运动、环境感知、驾驶员检测三大类。

车辆运动传感器:速度和角度传感器提供车辆线控系统的相关横向和纵向信息。“惯性导航+全球定位系统=组合导航”,提供全姿态信息参数和高精度定位信息。

环境感知传感器:负责环境感知的传感器类似于人的视觉和听觉,如果没有环境感知传感器的支撑,将无法实现自动驾驶功能。主要依靠激光雷达、摄像头、毫米波雷达的数据融合提供给计算单元进行算法处理。V2X 就是与周围一切能与车辆发生关系的事物进行通信,包括 V2V 车辆通信技术、V2I 车辆与基础设施如红绿灯的通信技术、V2P 车辆与行人的通信等<sup>[27]</sup>。

驾驶员监测传感器:分为基于摄像头的非接触式和基于生物电传感器的接触式两种。通过方向盘和仪表盘内集成的传感器,将驾驶员的面部细节以及心脏、脑部等部位的数据进行收集,再根据这些部位数据变化,判断驾驶员是否处于走神和疲劳驾驶状态。

计算单元部分:各类传感器采集的数据统一到计算单元处理,为了保证自动驾驶的实时性要求,软件响应最大延迟必须在可接受的范围内,这对计算的要求非常高。目前主流的解决方案分别基于 GPU、FPGA、ASIC 等。

车辆控制:自动驾驶需要用电信号控制车辆的转向、制动、油门系统,其中涉及车辆底盘的线控改装,目前在具备自适应巡航、紧急制动、自动泊车功能的车上可以直接借用原车的系统,通过 CAN 总线控制而不需要过度改装。

HMI 系统:车机、仪表、HUD 等车内 HMI 的设计的主要目的是与车内乘员实现交互,例如导航、接管提醒、语音交互等。并且能通过声音、图像、振动提醒司机注意安全,有效减少司机困倦、分心的状态。

### 3.2.2 自动驾驶域车内接口

现在市面上有诸多车内连接接口技术可供各家车厂选择,例如以太网是一个已经被认为可取代旧有车用总线如多媒体接口 MOST、支持安全关键功能之通用高速传输接口 FlexRay 等的潜力技术;低功耗蓝牙(Bluetooth Low Energy)以及高速 802.11ac WiFi,可用以连接车辆与智能型手机/可穿戴装置。

此外,有线宽带 MHL 被应用于后座信息娱乐系统;同时旧有车用总线标准如 CAN 与

LIN 仍在扮演车辆控制网络接口的角色。还有一些原本不是为车用开发的连接技术也抢着上车,如可利用廉价双绞铜线支持低电压、高速传输的低电压差动信号传输(LVDS),以及在高速传输应用中也常见的串行/解串器(SerDes)接口等<sup>[28]</sup>。

### 1. 同轴电缆

同轴电缆(Coaxial cable)是一种电线及信号传输线,如图 3.14 所示,一般是由 4 层物料造成:最内是一条导电铜线,线的外面有一层塑胶(作绝缘体、电介质之用)围拢,绝缘体外面又有一层薄的网状导电体(一般为铜或合金),然后导电体外面是最外层的绝缘材料作为外皮。根据尺寸来分,同轴电缆有不同标准规格,直径从 1/8 英寸到 9 英寸不等。

短距离的同轴电缆一般会用于家用影音器材或是业余无线电设备中。此外,也曾经被广泛使用在以太网的连接,直至被双绞线和光纤所取代。

长距离的同轴电缆常用作电台或电视台网络中的电视信号线。未来有被其他高科技器材渐渐取代的趋势,如 T1/E1、人造卫星等。但由于同轴电缆相对便宜且早已铺设完成,因而沿用至今。

汽车制造商使用更多的摄像头和传感器来实现汽车安全,与此同时,同轴电缆供电(PoC)为汽车设计师们提供了一个紧凑型解决方案来降低车身重量。然而,世上没有十全十美的东西,在通过同一电缆输送电力和前后通道信号时可能会出现。另外,用来为系统供电的车载蓄电池在冷启动运行时会产生低至 3V 的宽电压偏移,而在钳位负载突降或其他瞬态条件下电压可高达 42V。百万像素摄像头系统的最大挑战在于同轴电缆的潜在压降问题。为避免因压降产生的信号完整性问题,需要在传输 PoC 前将解串器电压至少增至 9V。一旦将电力输送至串行器侧,就必须将电压调回串行器和图像传感器所需工作电压。



图 3.14 同轴电缆

### 2. 双绞线

双绞线(Twisted Pair, TP)是一种综合布线工程中最常用的传输介质,是由两根具有绝缘保护层的铜导线组成的。把两根绝缘的铜导线按一定密度互相绞在一起,每一根导线在传输中辐射出来的电波会被另一根线上发出的电波抵消,有效降低信号干扰的程度。

双绞线一般由两根 22~26 号绝缘铜导线相互缠绕而成,“双绞线”的名字也是由此而来。实际使用时,双绞线是由多对双绞线一起包在一个绝缘电缆套管里的。如果把一对或多对双绞线放在一个绝缘套管中便成了双绞线电缆,如图 3.15 所示,但日常生活中一般把

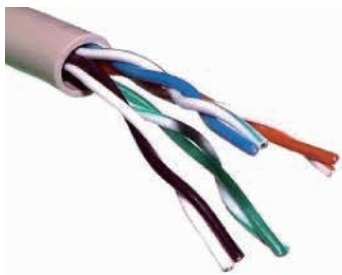


图 3.15 双绞线电缆

“双绞线电缆”直接称为“双绞线”。

与其他传输介质相比,双绞线在传输距离、信道宽度和数据传输速度等方面均受到一定限制,但价格较为低廉。

双绞线的优点包括传输距离远、传输质量高。由于在双绞线收发器中采用了先进的处理技术,极好地补偿了双绞线对视频信号幅度的衰减以及不同频率间的衰减差,保持了原始图像的亮度和色彩以及实时性,在传输距离达到 1km 或更远时,图像信号基本无失真。如果采用中继方

式,传输距离会更远。

布线方便、线缆利用率高。一对普通电话线就可以用来传送视频信号。另外,楼宇大厦内广泛铺设的 5 类非屏蔽双绞线中的任取一对就可以传送一路视频信号,无须另外布线,即使是重新布线,5 类线缆也比同轴电缆容易。此外,一根 5 类线缆内有 4 对双绞线,如果使用一对线传送视频信号,另外的几对线还可以用来传输音频信号、控制信号、供电电源或其他信号,提高了线缆利用率,同时避免了各种信号单独布线带来的麻烦,减少了工程造价<sup>[29]</sup>。

抗干扰能力强。双绞线能有效抑制共模干扰,即使在强干扰环境下,双绞线也能传送极好的图像信号。而且,使用一根线缆内的几对双绞线分别传送不同的信号,相互之间不会发生干扰。

可靠性高、使用方便。利用双绞线传输视频信号,在前端要接入专用发射机,在控制中心要接入专用接收机。这种双绞线传输设备价格便宜,使用起来也很简单,无需专业知识,也无太多的操作,一次安装,长期稳定工作。

价格便宜,取材方便。由于使用的是目前广泛使用的普通 5 类非屏蔽线缆或普通电话线,购买容易,而且价格也很便宜,给工程应用带来极大的方便。

### 3. 其他车内接口

#### 1) AUX

AUX 是 Auxiliary(辅助)的缩写,它是一种额外的信号线路设计。在一般的音响器材上,除了正式的输出与输入端子之外,常常还会配备几个标有 AUX 的输出/输入端子,作为预备用的接续端。如果有特别的应用,例如要做额外的声音输出或输入,就可以利用这种端子。这种预备端子或线路,不论输出/输入,统称为 AUX。

在各大网络厂商路由、三层以上的硬件上通常具备这些接口。

AUX 端口(Auxiliary port)为异步端口,主要用于远程配置,也可用于拨号连接,还可通过收发器与 Modem 进行连接。支持硬件流控制(Hardware Flow Control)。AUX 端口与 Console 端口通常被放置在一起,因为它们各自所适用的配置环境不一样。

AUX 接口在用户与设备之间建立命令行的连接方式;为设备进行一些通常在用户模式下无法完成的操作,如初始化、恢复初始配置、修正不正常的用户模式等。为设备提供一个固定端口,它可以作为普通的异步串口使用,最高速率为 115 200b/s。利用 AUX 接口,可以实现对硬件产品的远程配置、线路备份等功能。

#### 2) USB

USB 是英文 Universal Serial Bus 的缩写,中文含义是“通用串行总线”。它不是一种新的总线标准,而是应用在 PC 领域的接口技术。

USB 具有传输速度快、使用方便、支持热插拔、连接灵活、独立供电等优点,可以连接鼠标、键盘、打印机、扫描仪、摄像头、闪存盘、MP3 机、手机、数码相机、移动硬盘、外置光软驱、USB 网卡、ADSL Modem、Cable Modem 等几乎所有的外部设备。

USB 总线接口较上述传统串行通信标准接口而言,具有许多优点。

(1) USB 接口使用方便,统一的物理协议和连接器能满足多种外设需求,无须再为不同外设准备不同的接口和协议。

(2) USB 接口自带电源和地线,可由总线提供 5V 电压和最大 500mA 的电流,低功耗



外设无需外接电源,非常适合于便携设备。

(3) USB 接口支持热插拔,无须断电即可进行设备与主机的连接和断开,操作非常简便。

(4) USB 接口真正支持即插即用,可自动识别 USB 总线上设备的插入或卸载,无须用户重新设定端口地址和中断请求。

(5) USB 接口的数据传输率比传统通信接口快十几倍甚至百倍,早期的 USB 2.0 的最大传输带宽为 480Mb/s(即 60MB/s),而 USB 3.0 的最大传输带宽高达 5.0Gb/s。

(6) USB 接口单独使用自己的保留中断,无须为不同外设申请多个 IRQ 资源和内存 I/O 地址,从而大大节省系统资源。

(7) USB 接口协议支持同步、中断、块和控制传输 4 种类型,可以满足不同设备的数据传输要求,使其在实际应用中更具灵活性。

(8) USB 协议中定义了完整的错误检测机制,可以保证高速传输过程的可靠性。

### 3.2.3 接口存在的问题

自动驾驶车辆有大量的传感器会产生大量数据,当然会需要更大带宽的传输接口;针对以上问题,自动驾驶域数据传输接口仍存在较大发展空间,以下列出目前面临的部分问题。

(1) 随着越来越多电子装置进驻车辆(各种摄影机、雷达、光达、智能天线……),产生的数据也越来越多,更重要的是这些数据必须在很短的时间内进行传输与处理,因为 ADAS 指令的延迟可能人命攸关。

(2) 自动驾驶车辆的视讯性能非常重要,包括影像分辨率以及延迟性,因为影像传输若发生问题会产生致命结果;更高的视讯分辨率与接近零的延迟,都需要更高带宽。

(3) 虽然在车内 15m 的传输距离感觉很短,但缆线并不一定是直直地从 A 点到 B 点,还会绕过座椅、车门甚至车轮,更别说车辆的引擎以及各种零部件。

## 3.3 整车总线及线控技术

### 3.3.1 汽车总线技术

汽车总线是指汽车内部导线采用总线控制的一种技术,通常称为汽车总线或汽车总线技术<sup>[30]</sup>。随着电子技术的迅速发展和在汽车上的广泛应用,汽车电子化程度越来越高。从发动机控制系统到传动系控制系统,从行驶、制动、转向控制系统到安全保证系统以及仪表报警系统渐渐形成了一个复杂的大系统。

LIN(局部互联协议)和 CAN(控制器局域网)是当前汽车普遍采用的汽车总线,还有用于汽车多媒体和导航的 MOST 总线等。

#### 1. LIN 总线

LIN(Local Interconnect Network,局域互联协议)是由 Audi、BMW、Daimler-Chrysler、Motorola、Volcano Communications Technologies(VCT 通信技术公司)、Volkswagen(大

众)和 Volvo 等公司和部门(LIN 联合体)提出的一个汽车底层网络协议,是一种新发展的汽车子总线系统,其目的是给出一个价格低廉、性能可靠的低速网,在汽车网络层次结构中作为低端网络的通用协议,并逐渐取代目前各种各样的低端总线系统。这个标准与其相应的开发、测试以及维护平台的应用,将会降低车上电子系统开发、生产、使用和维护的费用。

### 1) LIN 总线的通信系统

在汽车网络中,主控制器发送任务给 LIN 网络上的通信。主控制器发送一个起始报文,该起始报文由同步断点和同步字节消息标志符所组成。相应地,在接收并且滤除消息标志符后,一个 LIN 网络由一个主节点和一个或多个从节点组成,所有节点都有一个从通信任务。该通信任务分为发送任务和接收任务,主节点还有一个主发送任务。一个从任务被激活并且开始本消息的应答传输。该应答由 2 或 4 或 8 个数据字节和一个校验码所组成。起始报文和应答部分构成一个完整的报文帧。这种通信规则可以用多种方式来交换数据:由主节点到一个或多个从节点;由一个从节点到主节点或其他的从节点,通信信号可以在从节点之间传播而不经主节点或者主节点广播消息到网络中的所有节点。报文帧的时序由主控制器控制<sup>[31]</sup>。

### 2) LIN 总线特点

(1) 可靠传输。信号传输时间可靠;LIN 总线传输速率很高,最高速率可以达到 20Kb/s;一个主控器和多个从设备模式不需要仲裁机制。

(2) 低成本。LIN 总线较少的信号线就可符合国际标准的相关规定;在节点处无需陶瓷振荡器或晶振就可以实现自同步,大大降低使用成本。

(3) 在网络上增加新的节点不需要在 LIN 从节点做硬件和软件更改。

### 3) LIN 总线的应用

LIN 总线在汽车上得到广泛应用,如汽车的方向盘相关部件、汽车座椅控制、车门控制系统和车载传感器等。LIN 可以很容易地连接到汽车网络中的智能传感器、制动器或光敏器件等,并且得到十分方便的维护和服务。LIN 总线的系统用数字信号量将模拟信号量替换,使得 LIN 总线性能提升很大。

## 2. CAN 总线

CAN 总线是 ISO 国际化的串行通信协议。在汽车产业中,出于对安全性、舒适性、方便性、低公害、低成本的要求,各种各样的电子控制系统被开发了出来。由于这些系统之间通信所用的数据类型及对可靠性的要求不尽相同,由多条总线构成的情况很多,线束的数量也随之增加。为适应“减少线束的数量”“通过多个 LAN,进行大量数据的高速通信”的需要,CAN 总线应运而生<sup>[32]</sup>。

在当前的汽车总线网络中 CAN 总线占据主导地位。20 世纪 80 年代初德国 BOSCH 公司为解决现代汽车中诸多的控制与设备之间的数据交换问题而开发了一种串行数据通信协议,因而产生 CAN 总线。CAN 总线分为高速 CAN 和低速 CAN,低速 CAN 是舒适型总线,速度为 125Kb/s,主要连接着仪表、防盗装置等;高速 CAN 系统是动力型总线,采用硬线,速度为 500Kb/s,主要连接着 ABS、ECU 等。CAN 总线的通信介质一般为双绞线,另外还有同轴电缆和光导纤维。

图 3.16 所示为汽车中 CAN 总线的应用。

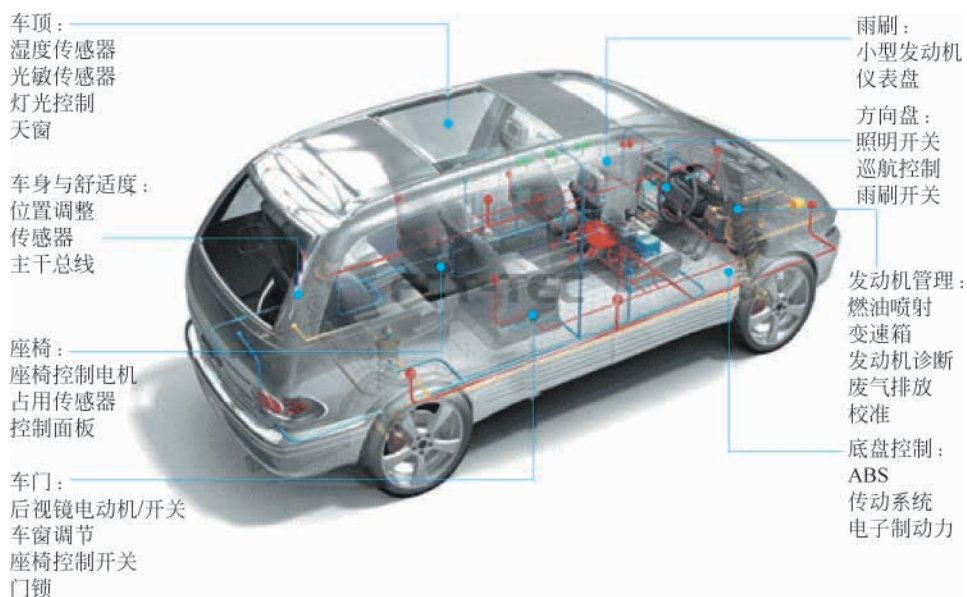


图 3.16 汽车中 CAN 总线的应用

### 1) CAN 总线的通信

在各节点的 CAN 总线均可以实现互相自由通信：多主竞争式总线结构是 CAN 总线的通信特点，CAN 总线上任意节点可在任意时刻主动地向网络上其他节点发送信息而不分主次，并且可在各个通信节点之间自由通信。国际标准化组织已经认证 CAN 总线，CAN 总线应用广、性价比高且技术比较成熟，对分布式测控系统之间的数据通信特别适用。

传统的站地址编码被 CAN 总线协议废除了，而对通信数据模块进行编码，这种方法的优点是可以使 CAN 总线的节点个数理论上在网络内没有限制。数据块编码的标识符可以由 29 或 11 位二进制数组成，因而有 2 或 2 个以上不同的数据块可以被定义，这种数据块编码的方式，还可以使相同的数据被不同的节点同时接收到，这一方式在分布式控制系统中普遍使用。为了保证通信的实时性，使得数据段长度最多为 8 字节，并且 8 字节不会占用总线时间过长。为了保证数据通信的可靠性，CAN 协议采用了 CRC 检验并可提供相应的错误处理功能。因为 CAN 总线的功能强大，所以越来越受到行业的重视。

CAN 总线对通信数据的成帧处理的完成：CAN 总线通信可完成对通信数据的成帧处理，包括数据块编码、信息传输、位填充、循环冗余检验、优先级判别等工作。在接口中集成了 CAN 协议的物理层的功能。

### 2) CAN 总线的特点

(1) CAN 总线在数据通信传输时没有主从之分，任意一个节点都可以向其他任何节点（一个或多个）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) 对于 CAN 总线上的通信，在多个节点同时发起通信时，优先级高的先通信，优先级低的及时避让，因而通信线路不会拥堵。

(3) CAN 总线是两根导线铰接连接，可以避免信号干扰，使得信号传输更加可靠。

(4) 如果某个节点在通信时发生了严重错误，节点通信能够自动离开总线的功能。

(5) CAN 总线是双绞线。CAN 总线的实时性要求比较高,因而 CAN 总线适用于大数据量短距离通信或者长距离小数据量通信。

### 3) CAN 总线在设备的应用

CAN 总线可以分为高速 CAN 和低速 CAN,高速 CAN 系统传输速率为 500Kb/s,主要控制 ECU、ABS 等模块的信号传输;低速 CAN 系统传输速率为 125Kb/s,主要控制仪表、防盗等。

## 3. CAN FD 总线

CAN 是国际上应用最广泛的开放式现场总线之一。作为一种技术先进、可靠性高、功能完善、成本合理的远程网络通信控制方式,CAN 总线已广泛应用于自动化控制系统中。然而,随着系统复杂性和通信量的增加,传统的 CAN 总线由于带宽的限制已经难以满足市场需求。为了进一步提高传输速率,CAN 总线的升级版——CAN FD(CAN with Flexible Data-Rate)应运而生<sup>[33]</sup>。

它继承了 CAN 总线的主要特性,提高了 CAN 总线的网络通信带宽,改善了错误帧漏检率,同时可以保持网络系统大部分软硬件特别是物理层不变。这种相似性使 ECU 供应商不需要对 ECU 的软件部分做大规模修改即可升级汽车通信网络。

### 1) CAN FD 做出的改进

CAN FD 采用了两种方式来提高通信的效率:一种方法为缩短时间提高位速率;另一种方式为加长数据场长度、减少报文数量、降低总线负载率。在 CRC 校验段采用了三种多项式来保证高速通信下的数据可靠性。

(1) 可变速率(CAN with Flexible Data-Rate)。从控制场中的 BRS 位到 ACK 场之前(含 CRC 分界符)为可变速率,其余部分为原 CAN 总线用的速率。两种速率各有一套位时间定义寄存器,它们除了采用不同的位时间单位 TQ 外,位时间各段的分配比例也可不同。

图 3.17 所示为 CAN FD 数据帧。

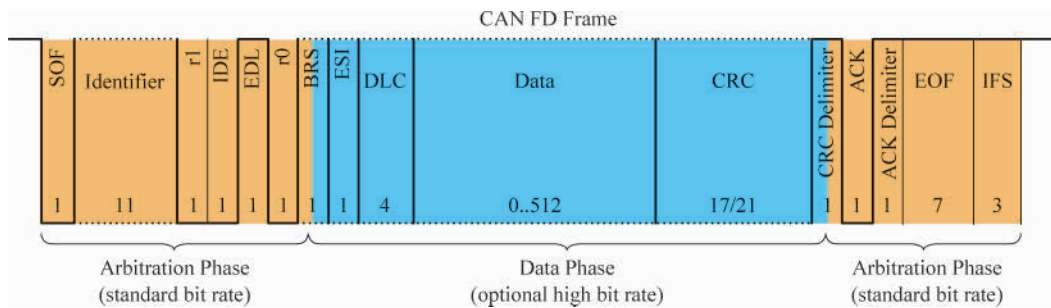


图 3.17 CAN FD 数据帧

(2) 新的数据场长度。CAN FD 对数据场的长度做了很大的扩充,DLC 最大支持 64 字节,在 DLC 小于或等于 8 时与原 CAN 总线是一样的,大于 8 时则有一个非线性的增长,最大的数据场长度可达 64 字节。

(3) CRC 校验场。在 CAN FD 协议标准化的过程中,通信的可靠性也得到了提高。由于 DLCs 的长度不同,在 DLC 大于 8 字节时,CAN FD 选择了两种新的 BCH 型 CRC 多项式。



CAN 与 CAN FD 的对照如表 3.1 所示。

表 3.1 CAN 与 CAN FD 对照

Data Length 数据长度	CRC Length CRC 长度	CRC Polynom CRC 多项式
CAN(0~8 字节)	15	$x^{15} + x^{14} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^4 + x^3 + 1$
CAN FD(0~16 字节)	17	$x^{17} + x^{16} + x^{14} + x^{13} + x^{11} + x^6 + x^4 + x^3 + x^1 + 1$
CAN FD(17~64 字节)	21	$x^{21} + x^{20} + x^{13} + x^{11} + x^7 + x^4 + x^3 + 1$

## 2) 如何从传统的 CAN 升级到 CAN FD

尽管 CAN FD 继承了绝大部分传统 CAN 的特性,但是从传统 CAN 到 CAN FD 的升级,仍需要做很多的工作。

在硬件和工具方面,要使用 CAN FD,首先要选取支持 CAN FD 的 CAN 控制器和收发器,还要选取新的网络调试和监测工具。

在网络兼容性方面,对于传统 CAN 网段的部分节点需要升级到 CAN FD 的情况要特别注意,由于帧格式不一致的原因,CAN FD 节点可以正常收发传统 CAN 节点报文,但是传统 CAN 节点不能收发 CAN FD 节点的报文。

总之,CAN FD 协议是 CAN-BUS 协议的最新升级,将 CAN 的每帧 8 字节数据提高到 64 字节,波特率从最高的 1Mb/s 提高到 8~15Mb/s,使得通信效率提高 8 倍以上,大大提升了车辆的通信效率。

## 4. MOST 总线

MOST 是 Media Oriented Systems Transport 的缩写,中文名称为“多媒体传输系统”,是一种用于多媒体数据传输的网络系统,该系统将符合地址的信息传送到某一接收器上,在这一点上,与 CAN 总线是不同的。

### 1) MOST 总线的通信

MOST 网络以光纤为载体,通常是环状拓扑结构,布线只需单根光纤。MOST 可提供高达 50Mb/s 的传输速率,远远超过传统车载网络。常见的 MOST 网络有 3~10 个节点。一个时序主控者负责驱动系统时钟、生成帧数据即 64 字节序列数据。可以同时满足 15 个不同音频流的播放,环中的每一个节点都代表着多媒体设备。剩下的节点都充当从控者,有一个节点充当用户控制界面或 MMI。一般来说,这个节点也是时序主控者<sup>[34]</sup>。

### 2) MOST 总线特点

(1) 传输速度快。

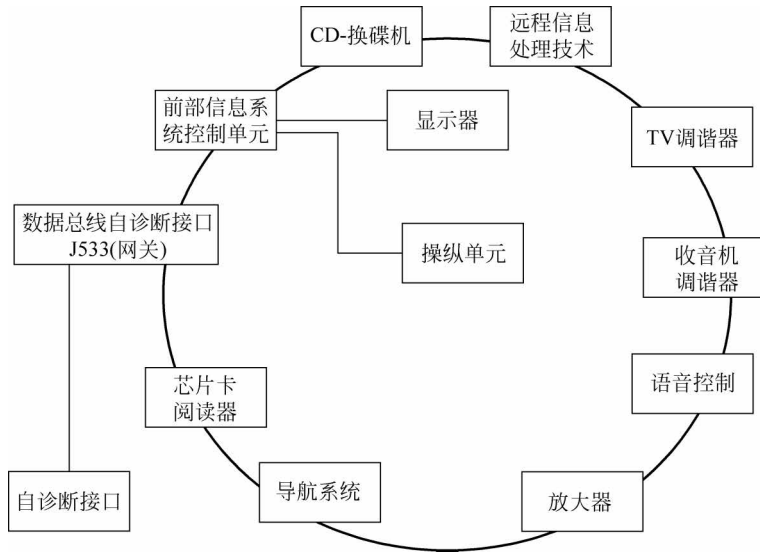
(2) 声音、图像的实时处理。

(3) 可以与多种网络连接。

(4) 在物理层上,传输介质本身是有塑料保护套、内芯为 1mm 的聚甲基丙烯酸甲酯光纤,允许采用多种拓扑结构,包括星状和环状,汽车基本都采用环状拓扑结构,如图 3.18 所示。一个 MOST 网络中最多可以有 64 个节点。

### 3) MOST 总线的应用

MOST 总线由于传输数据量大、损耗小、速度快、抗干扰性强,故可连接汽车音响系统、视频导航系统、车载电视、高保真音频放大器、车载电话、CD 播放器等模块。因此,目前高端汽车大多数采用 MOST 系统连接其车载影音娱乐系统。



■ 图 3.18 MOST 系统采用环状拓扑结构

### 3.3.2 汽车线控技术

传统汽车采用机械传动和液压传动控制车辆运动。传动效率低,机械连接方式复杂,很难适应自动驾驶技术电控需求。随着汽车电子化、智能化的不断发展,线控技术将颠覆传统传动机构,推动车辆智能化发展。线控技术的主要特征是执行机构与操纵机构没有直接的机械连接,驾驶意图将转换成对应的电信号驱动执行机构的精确运动。未来汽车将是一种轮式机器人。线控底盘是传统驾驶员手脚的延伸,由于其电信号传递特点,具有实时性好、精度高的特点,是智能车的灵活的“肌肉机器”。目前,线控技术主要是线控制动、线控转向和线控油门。线控技术难,主因是线控制动难。

#### 1. 汽车线控技术应用

##### 1) 线控油门

线控油门的主要功能是将驾驶行为中油门控制转换为成正比的电压信号,发送给发动机控制器,自动优化控制。线控油门技术较为简单,现在已经广泛应用。

##### 2) 线控转向

线控转向实现了转向盘与转向轮完全分开,将驾驶意图中的转向信号通过电信号形式发送到转向电机,由转向电机驱动转向轮。在线自适应控制算法、可靠性设计等提高了转向控制精度。线控转向也已经得到实际应用,目前电子助力转向(Electric Power Steering, EPS)已经非常接近线控转向了。

##### 3) 线控制动

线控制动是汽车线控技术中最关键的部分,也是最难的。目前主要有两条技术路线:液压式线控制动(Electronic Hydraulic Brake, EHB)和机械式线控制动(Electronic Mechanical Brake, EMB)。

传统汽车通常采用液压制动。EHB从真空助力器的替代技术开始,用一个电机来代替

真空助力器推动主缸活塞。驾驶员的制动动作被转换成电信号,发送到电控单元驱动电控电机动作,完成液压执行机构的制动动作。这种线控制动仍然需要液压系统放大制动能量。液压系统的重量受难以实现轻量化。另外,液压的电控化比较困难,不容易与其他电控系统集成。

近年来,EMB 技术是个火热的研究领域。EMB 取消了液压系统,直接用电机驱动机械活塞制动,小巧紧凑。EMB 实现了完全电子化,容易与其他电控系统集成到自动驾驶系统。但是存在以下缺点:没有备份系统,对可靠性要求极高;电能消耗大;容易发生高温失效,对于行车安全是致命缺陷。

## 2. 汽车线控技术关键技术

汽车线控技术涉及的关键技术比较多,其中的传感器技术是比较重要的,是线控系统组成的基本单元。汽车电子控制系统应用效果的良好呈现,需要传感器进行信息采集以及反馈精度。传感器技术的应用质量性能的提高,要充分注重可靠性和测量精度的控制。关键技术中的容错控制技术也是比较重要的,这一技术的科学应用大大提高了转向系统可靠性,保障了车辆行驶的安全。容错技术设计方法中的解析冗余以及硬件冗余的方法是比较主要的,硬件冗余能对部件和容易发生故障的部分提供相应备份,这样就能大大提高系统的容错性能。而解析冗余方法的应用,对系统容错性能也能有效地改善。

另一项重要技术为总线技术,主要用于车辆功能统筹,要求信息通信和系统的调和能力比较强。随着技术水平的进一步提高,触发协议以及 FlexRay、Byteflight 等为代表的总线标准就成为比较权威的标准。触发协议的恢复以及再整合效果比较明显,能有效消除多种容错策略,是比较完整的通信协议;Byteflight 总线标准则能满足高优先级消息迟延要求,以及能够完成个别消息中断处理的目标;FlexRay 同样具有很好的容错能力。

## 3.4 V2X 技术

### 3.4.1 V2X 概述

车用无线通信技术(Vehicle-to-Everything, V2X)是将车辆与一切事物相连接的新一代信息通信技术,其中 V 代表车辆, X 代表任何与车交互信息的对象,主要包含车、交通路侧基础设施、人和网络,分别采用以下缩写表示: V、I、P 和 N。具体信息模式包括:车与车之间(Vehicle-to-Vehicle, V2V)、车与路侧基础设施(如红绿灯、交通摄像头和智能路牌等)之间(Vehicle-to-Infrastructure, V2I)、车与人之间(Vehicle-to-Pedestrian, V2P)、车与网络之间(Vehicle-to-Network, V2N)的交互, V2X 结构如图 3.19 所示<sup>[35]</sup>。

V2X 将“人”“车”“路”“云”等交通参与要素有机地联系在一起,不仅可以支撑车辆获得比单车感知更多的信息,促进自动驾驶技术创新和应用,还有利于构建一个智慧的交通体系,促进汽车和交通服务的新模式新业态发

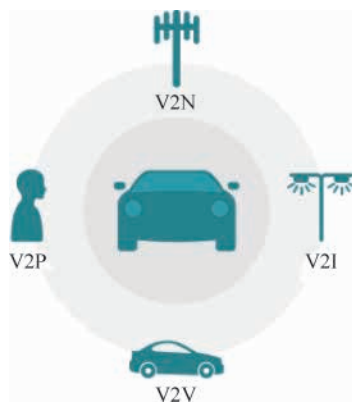
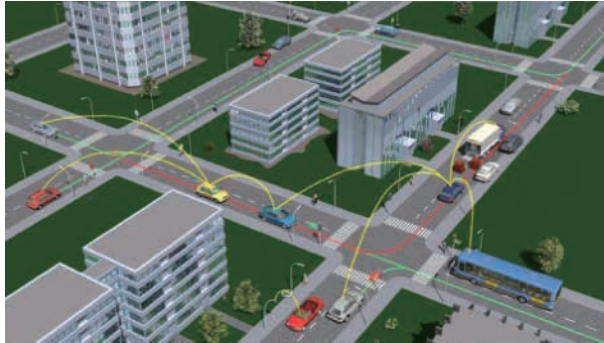


图 3.19 V2X 结构

展,对提高交通效率、节省资源、减少污染、降低事故发生率、改善交通管理具有重要意义。

图 3.20 所示为 V2X 效果示意图。



■ 图 3.20 V2X 效果示意图

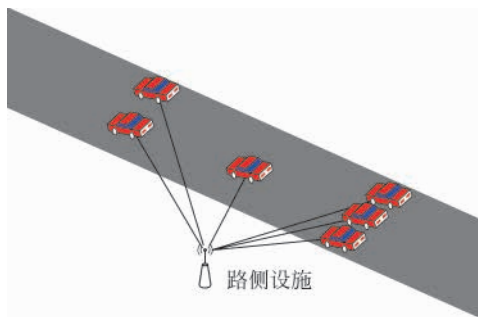
### 1. V2V 概述

V2V(Vehicle-to-Vehicle)是指通过车载终端进行车辆间的通信。车载终端可以实时获取周围车辆的车速、位置、行车情况等信息,车辆间也可以构成一个互动的平台,实时交换文字、图片和视频等信息。将 V2V 技术应用于交通安全领域,能够提高交通的安全系数,作用是减少交通事故,降低直接和非直接的经济损失,以及减少地面交通网络的拥塞。当前面车辆检测到障碍物或车祸等情况,它将向周围发送碰撞警告信息,提醒后面的车辆潜在的危险。

### 2. V2I 概述

V2I(Vehicle-to-Infrastructure)是指车载设备与路侧基础设施(如红绿灯、智能路牌等)进行通信,路侧基础设施也可以获取附近区域车辆的信息并发布各种实时信息。V2I 通信主要应用于道路危险状态提醒、限速提醒、信号灯提醒、滤波同行。

图 3.21 所示为 V2I 样例图。



■ 图 3.21 V2I 样例图

### 3. V2P 概述

V2P(Vehicle-to-Pedestrian)通过手机、智能穿戴设备(智能手表等)等实现车与行人信号交互,再根据车与人之间速度、位置等信号做出判断。有一定的碰撞隐患时,车辆通过仪



表及蜂鸣器,手机通过图像及声音提示前方车辆或行人。V2P 通信主要应用于避免或减少交通事故等。行人检测系统可以在车辆、基础设施中或与行人本身一起实现,以向驾驶员、行人或两者提供警告。当车内警报系统变得越来越普遍(例如盲点警告、前向碰撞警告)时,在车内警告路上有行人存在也是切实可行的。而对于路上的行人来说,最简单和最明显的行人警告系统则是手持设备,如手机、智能手表等。

现有的一些警告方式有:允许盲人或视力低下的行人的智能电话自动呼叫的应用程序;当信号交叉口的行人横道内的行人在公交车的预定路径中时,利用车内设施警告公交车驾驶员;当行人在红灯时横穿马路的警告,以及试图转弯的司机被警告在人行横道上有行人等。

#### 4. V2N 概述

V2N(Vehicle-to-Network)允许在车辆和 V2X 管理系统以及 V2X 应用服务器之间进行广播和单播通信,通过使用蜂窝网络来实现。车辆能够收到有关道路上发生的交通事故的广播警报,或原计划路线上的拥挤或排队警告等。V2V 和 V2I 都是代表近距离通信,而通过 V2N 技术实现远程数据传输。随着 5G 时代的到来,V2N 的能力会进一步加强,更有助于自动驾驶信息的获取与传输。

### 3.4.2 通信机制

V2X 通信技术目前有专用短程通信技术(Dedicated Short Range Communications, DSRC)与基于 LTE 车联网无线技术两大路线。DSRC 发展较早,目前已经非常成熟,不过随着 C-V2X 技术的应用推广,未来在汽车联网领域也将有广阔的市场空间。

图 3.22 所示为 V2X 通信机制。

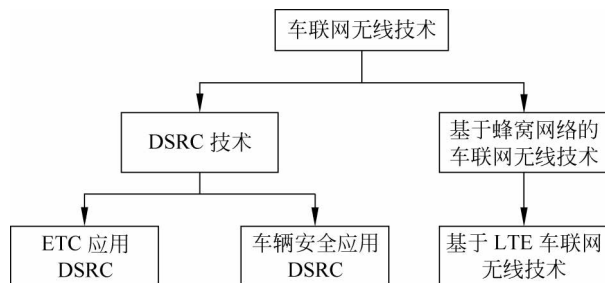


图 3.22 V2X 通信机制

#### 1. DSRC

专用短程通信(Dedicated Short Range Communications, DSRC)是一种高效的无线通信技术,它可以实现在特定区域内(通常为数十米)对高速运动下的移动目标的识别和双向通信,例如实时传输图像、语音和数据信息,将车辆和道路有机连接。它是针对智能交通系统领域(ITS)中,车辆和道路基础设施间的信息交换而开发的一种适用于短距离的快速移动的目标识别技术。它可以提供高速的无线通信服务,并且能保持传输延时短和系统的可靠性。其在延迟、移动性、通信距离方面有着无可替代的优势,特别适用于车辆安全应用。目前全球范围内的大多车路协同项目的研究,均采用 DSRC 技术建立车辆网络<sup>[36]</sup>。

DSRC 是基于 IEEE 制定和完善的 WAVE/802.11p 协议族。IEEE 802.11p 具有易部署、成本低、技术成熟及 Ad-hoc 模式下支持 V2V 通信的优势。其定义了汽车与其他实体进行无线通信的物理层与 MAC 层,在这个标准协议之上是 IEEE 1609,其定义了 MAC 层一直到应用层的通信协议栈。DSRC 可以在车辆数量不是很多的情况下,完成交通管理通信服务。DSRC 是国际上专门开发适用于车辆通信的技术,1992 年由美国材料与试验协会 (ASTM) 最早提出。

2014 年美国国会,美国交通部,IEEE 以及各个大的车企,都在积极地推荐 DSRC 的立法工作,未来车辆都需要以 DSRC 作为 V2V 车辆安全标准。车辆将会通过 DSRC 发送和接收基础安全信息(即 Basic Safety Messages,BSMs)。

DSRC 技术具有如下特点。

- (1) 通信距离一般在数十米(10~30m)。
- (2) 工作频段: ISM5.8GHz、915MHz、2.45GHz。
- (3) 通信速率: 500Kbps/250Kbps,能承载大宽带的车载应用信息。
- (4) 完善的加密通信机制: 支持 3DES、RSA 算法; 高安全性数据传输机制,支持双向认证及加/解密。
- (5) 应用领域宽广: 不停车收费、出入控制、车队管理、车辆识别、信息服务等。
- (6) 具备统一的国家标准,各种产品之间的互换性、兼容性强。
- (7) 具备丰富的技术支持,产品多样化、专业化。

DSRC 设备的研发是智能交通系统(ITS)研究中的一个重要课题,广泛地应用在不停车收费、出入控制、车队管理、信息服务等领域,并在区域分割功能即小区域内车辆识别、驾驶员识别、路网与车辆之间信息交互等方面具备得天独厚的优势。DSRC 技术在智能交通系统中的应用,不断改善和提高人们的交通出行效率。车-路之间的连接可以根据路况情况实时提供优化的驾驶路线,缓解交通压力;车-车之间的连接:提示车与车之间的安全距离,预警前方的事故,提高交通安全的系数。在 ETC 系统中,车载单元采用 DSRC 技术,建立与路侧单元之间的微波通信链路,在车辆行进途中,进行车辆身份识别、电子扣费,实现不停车、免取卡,建立无人值守车辆通道。在高速公路收费或者在车场管理中,都采用 DSRC 技术实现不停车快速车道。自 2013 年开始,所有的军车都安装车载终端,通过 DSRC 技术实现车辆身份识别。

## 2. LTE-V

大唐公司在国内外最早提出基于 LTE 系统的 LTE-V 技术,如图 3.23 所示,LTE-V 是基于第四代移动通信技术的扩展技术,它是专为车辆与车辆间通信协议设计的 V2X 标准,其网络架构如图 3.23 所示<sup>[37]</sup>。LTE V2X 针对车辆应用定义了两种通信方式:集中式(LTE-V-Cell)和分布式(LTE-V-Direct)。

### 1) 集中式

利用基站作为集中式的控制中心和数据信息转发中心,由基站完成集中式调度、拥塞控制和干扰协调等,可以显著提高 LTE-V2X 的接入和组网效率,保证业务的连续性和可靠性。

### 2) 直通方式

车与车直接通信,针对道路安全业务的低时延高可靠的传输要求,节点高速运动、隐

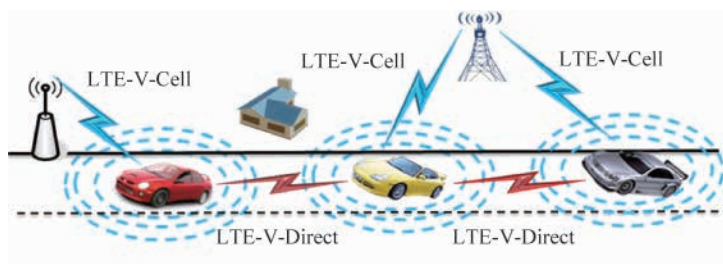


图 3.23 LTE-V 通信形式

藏终端等挑战,进行了资源分配机制增强。

在实际应用中,LTE-V-Cell 技术可以为车辆提供高速数据的连续性传输,LTE-V-Direct 技术可以实现车与车之间的信息交互,避免车辆碰撞发生事故。图 3.24 为 LTE-V 技术的典型工作场景。图(a)中,车辆通过基站或路侧设备获得与远端 ITS(Intelligent Transportation System,智能交通系统)服务器的 IP 地址接入;图(b)中,车辆通过不同的基站或路侧设备,进而通过云平台,获得分发的远距离车辆的信息;图(c)中,车辆间直接交互与道路安全相关的低时延安全业务信息;图(d)为非视距(Not Line of Sight,NLOS)场景,车辆在十字路口由于建筑物的遮挡不能直接交互低时延安全业务,此时可以通过基站或路侧设备的转发,获得车辆间的道路安全信息。在上述场景中,图(c)可采用 LTE-V-direct 模式进行通信,其他场景可采用 LTE-V-Cell 模式进行通信。

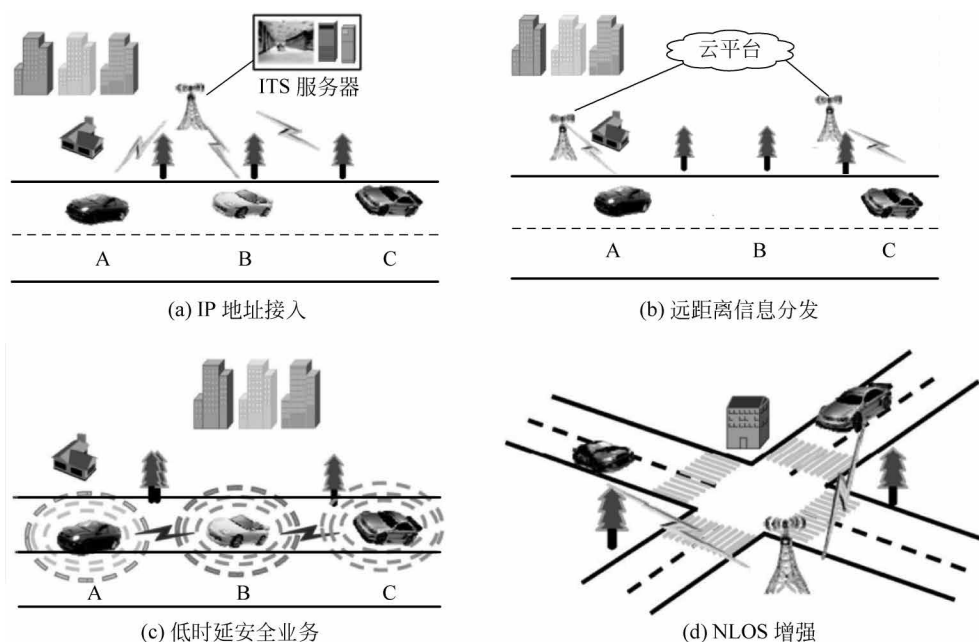


图 3.24 LTE-V 工作场景

3GPP 的 LTE-V2X 标准化过程中,为了加快进程,确定基于 LTE-D2D(Device-to-Device)通信的物理层和高层进行增强,以支持多种 V2X 业务。LTE-D2D 系统主要为满足

商业应用和公共安全的设备间通信,支持基站集中调度和分布式调度两种方式。LTE-V2X 由于要支持道路安全应用,资源分配机制应满足低时延、高可靠、更高效等需求。与 LTE-D2D 类似,LTE-V2X 也支持集中式调度(mode 3)和分布式调度(mode 4)。其中 mode 3 方式基于 LTE-Uu 接口进行集中调度,mode 4 方式基于 PC5 接口直通方式进行分布式调度。

### 3) LTE-V 与 DSRC 的比较

作为车联网的 V2X 无线通信技术,虽然 DSRC 有先发优势,但是 LTE-V2X 与 DSRC 相比,具有以下技术优势。

(1) 更好的远距离数据传输可达性。DSRC 网络采用多跳中继进行远距离数据传输,可能会受中继节点的影响,可靠性不高。而 LTE-V2X 可利用 LTE 基站与云端服务器连接,进行如高清影音等类型的高数据速率传输,具有更好的信息可达性。

(2) 更高的非视距(NLOS)传输可靠性。LTE-V2X 可利用蜂窝基站转发的方式支持 NLOS 场景,由于基站可高架,天线高度更高,可提高 NLOS 场景的信息传输可靠性。

(3) 网络建设和维护的优势。尽管 DSRC 可利用现有的 WiFi 基础进行产业布局,由于 WiFi 接入点未达到蜂窝网络的广覆盖和高业务质量,不仅 DSRC 的新建路侧设备需要大量投资进行部署,而且 DSRC 的 V2X 通信安全相关设备、安全机制维护需要新投入资金。而 LTE-V2X 可以利用现有 LTE 网络中的基站设备和安全设备等进行升级扩展,支持 LTE-V2X 实现车路通信和安全机制,可以利用已有 LTE 商用网络,支持安全证书的更新以及路侧设备的日常维护。

另外,LTE-V2X 更有利于我国独立知识产权的自主创新。目前国内在 DSRC 系列技术和产业方面缺乏核心知识产权、产业基础及优势。基于我国自主研发的 4G 移动通信标准 TD-LTE 技术,进行了自主创新,LTE-V2X 技术拥有核心自主知识产权,可打破国外产业在 V2X 通信技术的垄断,减少在知识产权方面的限制。

## 3.4.3 我国 V2X 发展基础与现状

近年来,我国在汽车制造、通信与信息以及道路基础设施建设等方面均取得了长足的进步。汽车产业整体规模保持世界领先,自主品牌市场份额逐步提高,核心技术不断取得突破。信息通信领域则涌现一批世界级领军企业,通信设备制造商已进入世界第一阵营,在国际 V2X、5G 等新一代通信标准的制定中也发挥了越来越重要的作用。在国家基础设施建设方面,宽带网络和高速公路网快速发展、规模位居世界首位,北斗卫星导航系统可面向全国提供高精度时空服务。我国具备推动 V2X 产业发展的基础环境,能够进一步推动 V2X 技术产业化发展和应用推广<sup>[38]</sup>。

### 1. V2X 业务应用发展路线

V2X 应用涉及汽车、交通等多个行业领域,不同的业务应用提出了不同的业务需求和通信需求。汽车行业、交通行业、通信行业以及跨行业产业联盟纷纷开展业务应用以及需求的研究。国内以中国汽车工程学会、中国通信标准化协会、车载信息服务联盟、未来移动通信论坛为主要的研究平台,国际则以 ETSI、SAE、3GPP、5GAA 为主要的研究组织。需求研究主要集中于安全类、效率类以及信息服务类应用。随着 5G 技术的发展,更高级自动驾驶以及更智能化交通系统的业务应用和需求研究已经开始。3GPP 针对性地研究了 eV2X 应



用场景,主要分为车辆编队行驶(Vehicles Platooning)、高级驾驶(Advanced Driving)、传感器信息交互(Extended Sensors)、远程遥控驾驶(Remote Driving)。这4类增强的V2X演进的通信技术提出了更高的要求,即不仅仅是时延,还包括可靠性、吞吐量、车联网用户密度、安全等方面。5GAA也已经启动第二阶段V2X业务应用的研究,进一步推动5G系统支持车联网服务。

## 2. 我国V2X标准

国内各行业协会和标准化组织高度重视我国V2X标准的推进工作,包括中国通信标准化协会(CCSA)、全国智能运输系统标准化技术委员会(TC/ITS)、中国智能交通产业联盟(C-ITS)、车载信息服务产业应用联盟(TIAA)、中国汽车工程学会(SAE-China)及中国智能网联汽车产业创新联盟(CAICV)等都已积极开展V2X相关研究及标准化工作。初步形成了覆盖V2X标准协议栈各层次、各层面的标准体系<sup>[39]</sup>。

国内各标准组织的相关标准化工作已支持形成我国V2X标准体系,包括应用定义及需求、总体技术要求、关键技术、信息安全等多方面。但是,大部分标准是分散在不同的团体组织或行业标准化委员会内来开展研究制定的,仍然需要相互之间的统筹协调,加快推进形成体系完整统一的国家标准。

## 3. V2X在自动驾驶领域应用前景

近年来,自动驾驶领域发展迅速。但随着对自动驾驶研究的深入,单车智能自动驾驶的局限性也凸显出来。例如,传感器探测距离有限,并且容易受到遮挡;单车智能对于无信号交叉口通行等需要群体决策的场景无能为力。同时,考虑到车端传感器的安全冗余、传感器成本等因素,车路协同又一次被提及。车路协同是指,基于无线通信、传感探测等技术获取车辆和道路信息,通过车-车、车-路通信进行交互和共享,实现车辆和基础设施之间智能协同与配合,以达到优化利用系统资源、提高道路交通安全、缓解交通拥堵的目标。车路协同目前成为自动驾驶落地的重要手段<sup>[40]</sup>。

V2X是实现车路协同的重要技术。路侧传感器得到的感知信息可以通过V2I通信传输给自动驾驶车辆,自动驾驶车辆可以根据通过V2I通信获得的感知信息实现自动驾驶功能。路侧计算设备可以作为控制中心,自动驾驶车辆通过V2I通信将自身的运行状态、驾驶意图等信息上报到路侧计算设备,路侧计算设备可以综合所有车辆的信息,指导车辆协同通行。

车路协同可以首先在限定场景下实现。例如在高速公路部署车路协同设备,低级别(L2、L3)自动驾驶车辆可以根据路侧感知实现高级别(L4及以上)自动驾驶。又如在停车场,车辆可以根据部署在停车场内的摄像头、雷达等传感器,实现自主泊车。

## 参考文献

- [1] 汽车电子控制技术的应用与发展趋势[J]. 汽车电子, [2011]. <http://www.ic37.com/>.
- [2] 朱俊. 现代汽车的电子控制技术[J]. 电力电子, 2013-04.
- [3] 李定川. 汽车电子控制技术的应用与发展趋势[J]. 智慧工厂, 2017-07.
- [4] 萧襄宏. 汽车电控[EB/OL]. [2017-10-24]. <https://baike.baidu.com/item/汽车电控/11053682?fr=>

Aladdin.

- [5] 现代汽车电子控制技术的应用与发展趋势[J]. 汽车电子, [2009]. <http://www.elecfans>.
- [6] 刘沛峰. 汽车电控技术解读[J]. 黑龙江交通科技, 2010-10.
- [7] 高焕吉. 汽车电子电气架构设计与优化[J]. 汽车电器, 2011-06.
- [8] 刘宇. 浅析现代电子技术的特点及应用[J]. 科技创业家, 2014-02-01.
- [9] 周羽. 电子技术在汽车上的应用及未来发展趋向分析[J]. 现代信息科技, 2018-02-12.
- [10] 马远辉. 基于汽车电控技术发展的现代汽车维修策略[J]. 汽车实用技术, 2018-04.
- [11] 伍天海. 汽车电子技术的应用及发展趋势[J]. 科技资讯, 2018-03.
- [12] 周嫣. 浅谈汽车电子技术的发展趋势[J]. 无锡南洋职业技术学院论丛, 2009-11.
- [13] 浅谈电子技术在汽车上的应用[J]. 百度文库, [2012]. <http://wenku.baidu.com>.
- [14] 刘伟. 汽车电子电气构架的开发[J]. 智能城市, 2017-03.
- [15] 安长俊. 汽车电子电气架构的设计与优化[J]. 电子世界, 2017-10.
- [16] 2015-2020年中国汽车电控系统行业市场分析与发展前景预测报告[J]. [2016]. <http://wenku.baidu.com>.
- [17] 屈凤祯. 浅析目前汽车电子控制技术的应用现状及其发展趋势[J]. 电源技术应用, 2013-05.
- [18] 贾承前. 汽车电子电气架构开发[J]. 汽车电器, 2011-12.
- [19] 李巍, 张丽静, 王燕芳. 车载以太网技术及标准化[J]. 电信网技术, 2016-06.
- [20] 李志涛. 车载以太网的研究与分析[J]. 汽车电器, 2018-03.
- [21] 郑子健, 张殿明, 丁光林, 崔根群. 浅析基于车载以太网的总线拓扑结构[J]. 汽车电器, 2016-12.
- [22] 赵刚. 基于车载以太网的协议研究[J]. 河北工业大学, 2015.
- [23] 智能汽车网联化[M]. 2018-06-15.
- [24] 孔凡忠, 徐小娟, 褚景尧. 智能汽车计算平台的关键技术与核心器件[J]. 中国工业和信息化, 2018.
- [25] 百度自动驾驶部王石峰. 详解自动驾驶大脑、传感器、硬件架构及汽车线控系统[J]. [2018]. <http://www.elecfans>.
- [26] 李德毅, 赵菲, 刘萌, 等. 自动驾驶量产的难点分析及展望. 武汉大学学报·信息科学版, 2018, 43(12): 1775-1779.
- [27] 陈卓, 车云, 等. 智能汽车: 决战 2020[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2018. 4.
- [28] Maxim 串行器和解串器技术满足未来 ADAS 和信息娱乐系统要求[J]. [2017]. <http://www.elecfans>.
- [29] 浅谈双绞线及其应用[EB/OL]. [2017]. <http://wenku.baidu.com>.
- [30] 韦志魁, 韩小伟. 汽车总线技术分析[J]. 内燃机与配件, 2018-05.
- [31] 基于 CAN 总线的故障诊断系统研究[EB/OL]. [2016]. <http://wenku.baidu.com>.
- [32] 骆孟波. 汽车总线控制技术与检修[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011-07.
- [33] 胡为东. CAN FD 总线介绍及力科的测试解决方案[J]. 中国集成电路, 2015-08.
- [34] 张霞. 线控技术在汽车电子应用中的实现[J]. 南方农机, 2017-12.
- [35] 于润东, 余冰雁, 李新洲, 期治博, 时晓光. C-V2X 标准化进展与测试验证[J]. 信息通信技术与政策, 2018-07.
- [36] 林玮平. 自动驾驶及关键技术 V2X[J]. 研究广东通信技术, 2018-11.
- [37] 陈山枝, 胡金玲, 时岩, 赵丽. LTE-V2X 车联网技术、标准与应用[J]. 电信科学, 2018, 34(04): 1-11.
- [38] 吕玉琦, 丁启枫, 杜昊, 刘瑞婷. 汽车自动驾驶和 V2X 标准进展现状[J]. 数字通信世界, 2019-03.
- [39] 李智. 高速公路车路协同应用场景研究[J]. 市政技术, 2019-03.