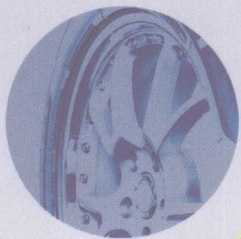


高等职业院校国家技能型紧缺人才培养培训工程规划教材
汽车运用与维修专业

车载网络系统 原理与检修

于万海 主编 吉庆山 刘建华 副主编



<http://www.phei.com.cn>



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

高等职业院校国家技能型紧缺人才培养培训工程规划教材·汽车运用与维修专业

车载网络系统原理与检修

于万海 主编

吉庆山 副主编
刘建华

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

责任编辑：曹建群
封面设计：曹建群
北京中安山印务有限公司

北京市海淀区长春路173号信箱 邮编 100036
开本：185×109.2 1/16 印张：12.25 字数：388千字
甲 2008年7月第1次印刷
甲 4.00册 定价：24.00元

北京中安山印务有限公司
(010) 88254888
北京中安山印务有限公司
(010) 88254888

内 容 简 介

本书以大众/奥迪车系为核心实例阐述了车载网络的基础知识、车载 CAN-Bus 网络传输系统、车载 MOST（多媒体）网络传输系统和车载 LIN 网络传输系统的原理与检修。重点介绍了车载网络故障的诊断与排除方法和检测仪器的使用和分析方法。在此基础上对宝马、通用、丰田、雪铁龙等车系的典型车型的车载网络系统进行了实例阐述；并且针对核心内容配有典型的实训项目。书中采用大量的图表以及各种车型的故障案例，使内容更加通俗易懂。

本书可作为各高职大专院校汽车相关专业车载网络原理与维修课程的通用教材，同时也可以作为广大汽车维修工的自学教程。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

车载网络系统原理与检修/于万海主编.—北京：电子工业出版社，2008.7
高等职业院校国家技能型紧缺人才培养培训工程规划教材·汽车运用与维修专业
ISBN 978-7-121-06482-1

I. 车… II. 于… III. 汽车—计算机网络—理论—高等学校：技术学校—教材 ②汽车—计算机网络—车辆修理—高等学校：技术学校—教材 IV. U463.67

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 096329 号

策划编辑：程超群

责任编辑：张帆

印 刷：北京市李史山胶印厂
装 订：

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1092 1/16 印张：15.25 字数：388.8 千字

印 次：2008 年 7 月第 1 次印刷

印 数：4 000 册 定价：24.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

前 言

目前,中国的汽车工业正以前所未有的速度迅速发展。汽车技术在环保、节能、安全三大前沿领域的科研成果,极大地提高了汽车产品的科技含量。各国汽车厂商为了在世界汽车市场上保持优势地位,都不惜以巨大的投入进行汽车的研发工作,同时又竞相将最新的科研技术应用在汽车上,以保持其技术上的领先性。

随着汽车工业的发展,现代汽车上使用了大量的电子控制装置,许多中高档轿车上采用了十几个甚至几十个电控单元,而每一个电控单元连接着多个传感器和执行器,并且各控制单元间也需要进行信息交换,如果每项信息都通过各自独立的数据线进行传输,这样会导致电控单元针脚数增加,整个电控系统的线束和插接件也会增加,最终导致故障率增加。

为了简化线路,提高各电控单元之间的通信速度,降低故障频率,车载网络传输系统应运而生。汽车车载网络成为汽车电子领域的最大热点,CAN、LIN、MOST、FlexRay、VAN、Byteflight 等网络传输协议已成为现代汽车网络传输的关键技术。

CAN 总线具有实用性强、传输距离较远、抗电磁干扰能力强的优点,在汽车动力传动系统和车身舒适系统中获得广泛应用,CAN 的传输速率可达到 1Mbps。但随着汽车电气设备和电子控制系统装备的不断扩充,CAN 总线已不能满足厂家基于成本和技术等要求,因此,车载网络得到了进一步细分。出现了面向低端系统的传输网络(如 LIN 总线)和面向媒体信息传输的网络标准(如 MOST 总线)等其他网络技术。

MOST 是采用塑料光缆的网络协议,数据传输速率达到 24.8Mbps。将音响装置、电视、全球定位系统及电话等设备相互连接起来,给用户带来了极大的便利。到 2000 年,已有奥迪、宝马、Chrysler、菲亚特、福特、Opel、Porsche、PSA、Saab、丰田、沃尔沃、大众等汽车公司和博世、德尔福、Fujitsu Ten、英飞凌、摩托罗拉、诺基亚、飞利浦、西门子等几十家汽车部件公司,加盟 1988 年建立的汽车推广使用 MOST 标准的合作机构。

以上可以看出,车载网络正在被广泛地应用到汽车中,车载网络系统出现故障可以导致汽车电控单元不能相互通信,从而引发故障。汽车车载网络系统故障有其自身的特点,网络线路隐藏在汽车的隐蔽位置,线路不易损坏,一旦系统工作不良就得借助诊断仪进行诊断,给故障排除带来了不便。随着电子技术在汽车上的不断普及,汽车维修技术已从传统的机械修理转变为现代电子诊断技术与机械修理相结合的修理方式。对于我国的汽车维修技术人员来说,要想尽快掌握当代汽车维修技术,必须要尽快掌握车载网络传输技术。

本书旨在将典型的车载网络工作原理、车载网络的故障诊断与排除方法和检测仪器的使用和分析方法介绍给读者,让更多的维修技术人员掌握检修车载网络系统的方法。本书通过原理和典型车型实例的分析,使读者能够举一反三、触类旁通,切实掌握故障检修的思路、方法和步骤。

本书的编写以内容和结构的先进性和实用性为原则,内容翔实、图文并茂、通俗易懂。可作为高职高专院校汽车相关专业的教材,也可供汽车维修技术人员、汽车生产和科研人员阅读参考。

本书由邢台职业技术学院于万海担任主编,邢台职业技术学院的吉庆山和石家庄铁道学院的刘建华担任副主编,参加编写工作的还有邢台职业技术学院的申荣卫、赵飞、刘卫泽、

马金刚、陶炳全、曾宪钧、李祥峰、李晓伟等老师和承德石油高等专科学校的王俊杰老师。

本书在编写过程中，参考了国内外同行的著作和汽车厂家的技术资料，在此，谨向所有的作者和厂家表示衷心的感谢。由于编者水平有限及时间仓促，书中难免有错误或不当之处，敬请广大读者批评指正。

编者

2008年3月

目 录

第1章 车载网络系统简介	(1)
1.1 概述	(1)
1.1.1 车载网络的发展史	(1)
1.1.2 技术术语	(5)
1.2 车载网络分类和协议标准	(10)
1.2.1 A级总线协议标准	(11)
1.2.2 B级总线协议标准	(11)
1.2.3 C级总线协议标准	(12)
1.2.4 D级总线协议标准	(13)
1.3 汽车对通信网络的要求及应用	(14)
1.3.1 汽车对通信网络的要求	(14)
1.3.2 车载局域网系统的应用与形式	(14)
1.3.3 网关	(16)
第2章 CAN总线传输系统	(18)
2.1 CAN总线的传输原理	(18)
2.1.1 信息交换	(19)
2.1.2 功能元件	(20)
2.1.3 CAN总线的数据传输过程	(23)
2.2 CAN数据总线的应用实例	(27)
2.2.1 大众/奥迪车上的CAN数据总线简介	(27)
2.2.2 大众/奥迪车CAN总线的链路	(28)
2.2.3 动力CAN数据总线	(31)
2.2.4 舒适/信息CAN数据总线	(33)
2.2.5 CAN数据总线上的阻抗匹配	(35)
2.2.6 CAN总线的电磁兼容原理	(36)
2.3 宝来轿车车载网络系统实例	(37)
2.3.1 舒适CAN网络	(37)
2.3.2 动力CAN网络	(53)
第3章 其他总线传输系统	(59)
3.1 LIN总线	(59)
3.1.1 概述	(59)
3.1.2 LIN总线组成和工作原理	(61)
3.1.3 LIN总线在汽车上的应用	(66)
3.2 MOST总线	(67)
3.2.1 MOST总线简介	(67)
3.2.2 MOST总线组成和工作原理	(70)

3.2.3	MOST 总线的诊断	(78)
3.2.4	光导纤维的维修	(80)
3.3	Bluetooth™	(83)
3.3.1	Bluetooth™ 简介	(83)
3.3.2	Bluetooth™ 的来由	(84)
3.3.3	Bluetooth™ 的构造	(84)
3.3.4	Bluetooth™ 的性能	(85)
第4章	典型车型车载网络系统实例	(86)
4.1	BMW E65 网络控制	(86)
4.1.1	BMW E65 网络控制简介	(86)
4.1.2	车辆网关系统	(88)
4.1.3	宝马 E65 控制局域网络的实例	(90)
4.2	雪铁龙凯旋多路传输系统	(98)
4.2.1	雪铁龙凯旋多路传输系统的组成与原理	(98)
4.2.2	雪铁龙凯旋多路传输系统的实例	(104)
4.3	通用车系车载网络系统	(122)
4.3.1	UART 串行通信网络	(122)
4.3.2	Class-2 串行通信网络	(122)
4.3.3	LAN 串行通信网络	(123)
4.3.4	别克君威 Class-2 串行通信网络	(124)
4.3.5	别克荣御车载通信网络	(124)
4.4	大众波罗轿车 CAN-Bus 技术	(127)
4.4.1	车载网络系统	(127)
4.4.2	CAN 数据总线结构	(133)
4.5	丰田凯美瑞轿车多路传输系统	(136)
4.5.1	概述	(136)
4.5.2	主要组件分布	(139)
4.5.3	诊断	(141)
第5章	车载网络传输系统故障与检测	(142)
5.1	车载网络的故障类型与诊断方法	(142)
5.1.1	CAN-Bus 总线系统的故障类型	(142)
5.1.2	车载网络传输系统的基本诊断步骤和检测方法	(144)
5.2	车载网络的仪器检测	(145)
5.2.1	CAN 数据总线的万用表检测	(145)
5.2.2	CAN 数据总线的波形检测	(147)
5.2.3	总线传输系统自诊断	(159)
5.3	总线传输系统故障实例	(161)
5.3.1	帕萨特 B5 1.8T 舒适总线故障	(161)
5.3.2	2002 款上海波罗 (POLO) 轿车电动车窗不工作	(163)
5.3.3	高尔夫动力总线故障	(164)

5.3.4	奥迪 A6 ABS 不起作用	(164)
5.3.5	奥迪 A6 防滑驱动控制系统警告灯亮, 行驶加速困难	(165)
5.3.6	宝来车仪表 ABS 故障灯常亮	(166)
5.3.7	宝来轿车 ABS 和 ASR 故障警告灯亮	(167)
5.3.8	宝来车电动玻璃升降及电动后视镜全部不起作用	(168)
5.3.9	宝来仪表损坏导致遥控器有时失效	(169)
5.3.10	上海波罗车速里程表突然停止的故障排除	(170)
第 6 章	实训项目	(172)
6.1	实训项目 1: CAN 总线系统的万用表检测	(172)
6.2	实训项目 2: 动力 CAN 总线系统的波形分析	(174)
6.3	实训项目 3: 舒适 CAN 总线系统的波形分析	(175)
6.4	实训项目 4: 舒适 CAN 总线系统的故障自诊断	(177)
6.5	实训项目 5: 终端电阻的检测与 CAN 导线维修	(188)
6.6	实训项目 6: LIN 总线系统的检测与维修	(190)
6.7	实训项目 7: 车载网络传输系统的故障诊断	(191)
附录 A:	宝来轿车舒适系统电路图	(193)
附录 B:	2004 款奥迪 A6 轿车 MMI 系统电路	(220)
参考文献	(235)

第 1 章 车载网络系统简介

1.1 概述

1.1.1 车载网络的发展史

1. 线束的变化

随着汽车三大系统（动力驱动系统、舒适系统、信息娱乐系统）中各种电控系统的不断增加，采用常规的布线方式，即电线一端与开关相接，另一端与用电设备相通，导致汽车上导线数目急剧增加，线束的变化如图 1-1 所示。导线数量的增加造成的影响如下：

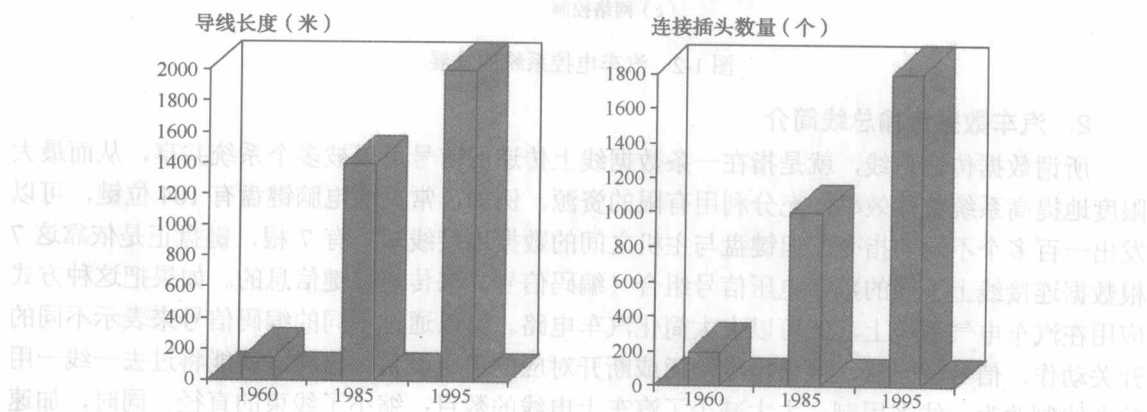


图 1-1 线束的变化

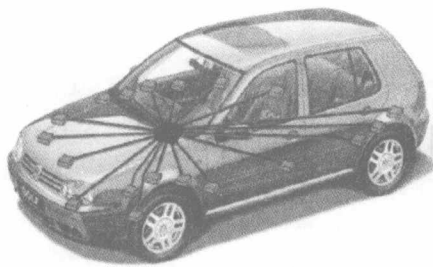
1) 整个汽车的布线将十分复杂，显得很凌乱，一根线束包裹着几十根导线的现象很普遍。

2) 占用空间更大，使得在有限的汽车空间内布线越来越困难，限制了功能的扩展。

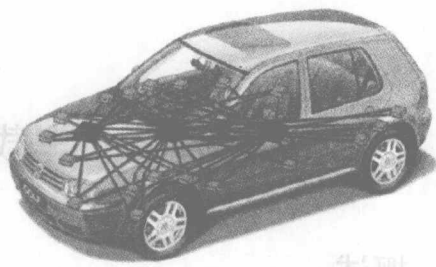
3) 增加的复杂电路也降低了汽车的可靠性，另外，一般情况下线束都装在纵梁下等看不到的地方，一旦线束中出了问题，查找相当麻烦，增加了维修的难度。

4) 电控单元并不是仅仅与负载设备简单地连接，更多的是与外围设备及其他电控单元进行信息交流，并经过复杂的控制运算，发出控制指令，按传统的连接方式，线束成本较高。

综上所述，随着车用电气设备越来越多，从发动机控制到传动系统控制，从行驶、制动、转向系统控制到安全保证系统及仪表报警系统，从电源管理到为提高舒适性，使汽车电气系统形成一个复杂的系统，并且都集中在驾驶室控制，也使得汽车新技术的发展应用与汽车线束根数及线径急剧增加的矛盾相当突出。为解决以上问题，车载网络（也称数据传输总线）应运而生，使得汽车电控系统发生了巨大的变化。至此，车载电控系统经历了中央电脑集中控制、多电脑分散控制和网络控制三个阶段，如图 1-2 所示。



(a) 中央电脑集中控制



(b) 多电脑分散控制



(c) 网络控制

图 1-2 汽车电控系统的发展

2. 汽车数据传输总线简介

所谓数据传输总线，就是指在一条数据线上传递的信号可以被多个系统共享，从而最大限度地提高系统整体效率，充分利用有限的资源。例如，常见的电脑键盘有 104 位键，可以发出一百多个不同的指令，但键盘与主机之间的数据连接线却只有 7 根，键盘正是依靠这 7 根数据连接线上不同的数字电压信号组合（编码信号）来传递按键信息的。如果把这种方式应用在汽车电气系统上，就可以大大简化汽车电路。可以通过不同的编码信号来表示不同的开关动作，信号解码后，根据指令接通或断开对应的用电设备。这样，就能将过去一线一用的专线制改为一线多用制，大大减少了汽车上电线的数目，缩小了线束的直径。同时，加速了汽车智能化的发展。

在汽车上传统的信息传递方式采用并行数据传输方式，每项信息需独立的数据线完成，即有几个信号就要有几条信号传输线。例如，宝来轿车发动机电控单元 J220 与自动变速器电控单元 J217 之间就需要 5 条信号传输线，如图 1-3 所示。如果传递的信号项目越多，则需要更多的信号传输线。采用传输总线后，只需要 1 根或 2 根传输线即可，如图 1-4 所示。

总线系统上并联有多个元件。这就要求整个系统满足以下要求。

- 1) 可靠性高：传输故障（无论是由内部还是外部引起的）应能准确识别出来。
- 2) 使用方便：如果某一控制单元出现故障，其余系统应尽可能保持原有功能，以便进行信息交换。
- 3) 数据密度大：所有控制单元在任一瞬时的信息状态均相同，这样就使得两控制单元之间不会有数据偏差。如果系统的某一处有故障，那么总线上所有连接的元件都会得到通知。

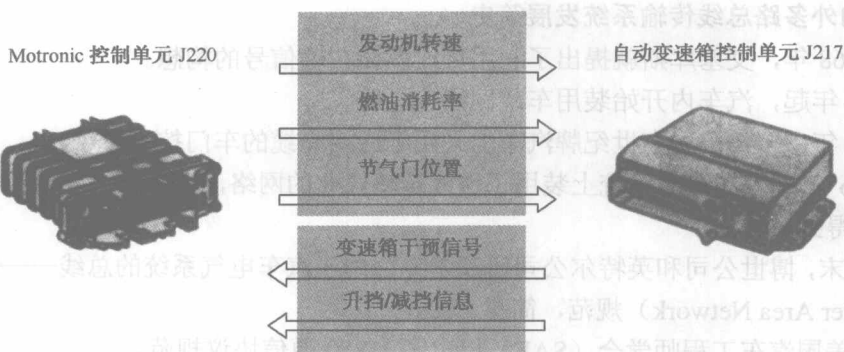


图 1-3 传统信号传递方式

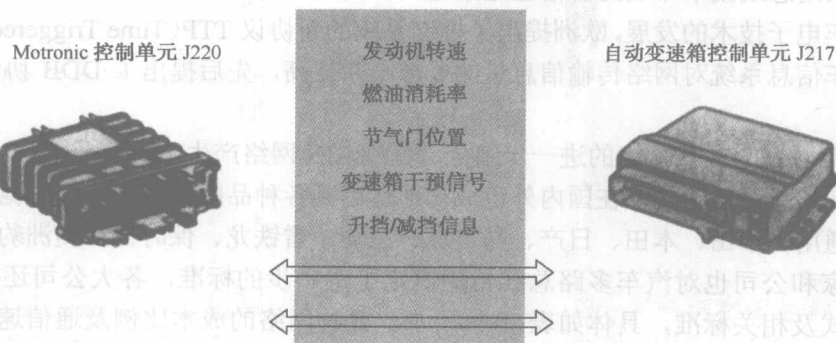


图 1-4 数字总线信号传递方式

4) 数据传输快: 连成网络的各元件之间的数据交换速率必须很快, 这样才能满足实时要求。

采用总线传输(多路传输)的优点。

1) 简化线束: 减少重量, 减少成本, 减少尺寸, 减少连接器的数量, 如图 1-5 所示, 同一款车同等配置下, 可以看出采用车载网络可以大大简化汽车线束。

2) 可以进行设备之间的通信, 丰富了功能。

3) 通过信息共享减少传感器信号的重复数量。

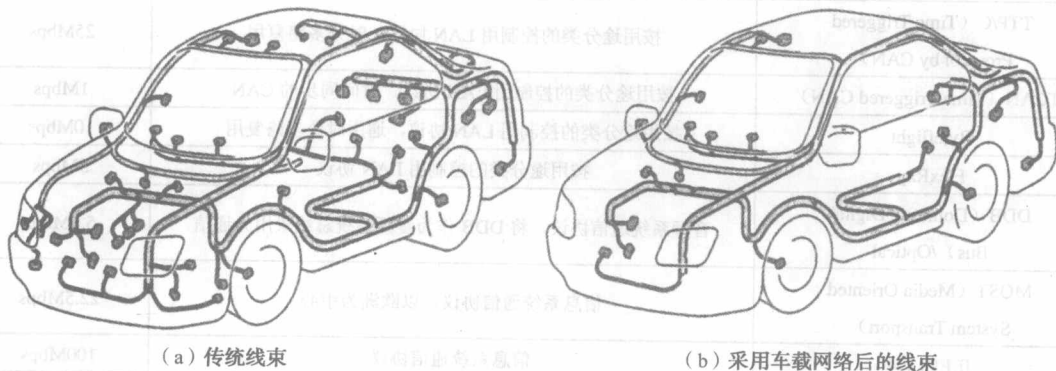


图 1-5 线束对比

3. 国内外多路总线传输系统发展简史

早在 1968 年, 艾塞库斯就提出了利用单线多路传输信号的构想。

从 1980 年起, 汽车内开始装用车载网络。

在 1983 年, 丰田公司在世纪牌汽车上采用了应用光缆的车门控制系统。

从 1986 年起, 在车身系统上装用了铜线传输媒介的网络, 并在日产和通用公司汽车的控制系统中得到应用。

80 年代末, 博世公司和英特尔公司研制了专门用于汽车电气系统的总线——控制器局域网 (Controller Area Network) 规范, 简称 CAN。

接着, 美国汽车工程师学会 (SAE) 提出了 J1850 通信协议规范。

90 年代, 由于集成电路技术和电子器件制造技术的迅速发展, 用廉价的单片机作为总线的接口端, 采用总线技术布线价格也逐渐进入了实用化阶段。

随着汽车电子技术的发展, 欧洲提出了控制系统的新协议 TTP (Time Triggered Protocol)。

随着汽车信息系统对网络传输信息量的要求不断提高, 先后提出了 DDB 协议和 MOST 协议。

2000 年后, 随着车载网络的进一步细分, 低端 LIN 网络产生。

目前, 多路总线传输技术在国内外已成功地运用到各种品牌汽车上, 如奔驰、宝马、大众、奥迪、通用、丰田、本田、日产、马自达、三菱、雪铁龙、保时捷、美洲豹等。

一些厂家和公司也对汽车多路总线传输制定了进一步的标准, 各大公司还在不断推出新的总线形式及相关标准, 具体如表 1-1 所示。几种网络的成本比例及通信速度如图 1-6 所示。

表 1-1 主要车载网络的基本情况

车载网络的名称	概要	通信速度
CAN (Controller Area Network)	车身/动力传动系统控制用 LAN 协议, 可能成为世界标准	1Mbps
VAN (Vehicle Area Network)	车身系统控制用 LAN 协议, 以法国为中心	1Mbps
J1850	车身系统控制用 LAN 协议, 以美国为中心	41.6Kbps
LIN (Local Interconnect Network)	车身系统控制用 LAN 协议, 低端子系统专用	20Kbps
TTP/C (Time Triggered Protocol by CAN)	按用途分类的控制用 LAN 协议, 时分多路复用	25Mbps
TTCAN (Time Triggered CAN)	按用途分类的控制用 LAN 协议, 时间同步的 CAN	1Mbps
Byteflight	按用途分类的控制用 LAN 协议, 通用时分多路复用	10Mbps
FlexRay	按用途分类的控制用 LAN 协议	5Mbps
DDB (Domestic Digital Bus) /Optical	音频系统通信协议, 将 DDB 作为音频系统总线采用光通信	5.6Mbps
MOST (Media Oriented System Transport)	信息系统通信协议, 以欧洲为中心	22.5Mbps
IEEE1394	信息系统通信协议	100Mbps

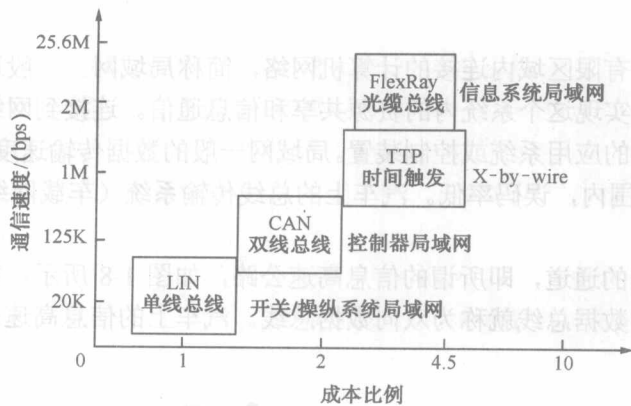


图 1-6 几种网络的成本比例及通信速度

1.1.2 技术术语

1. 多路传输

在同一通道或线路上同时传输多条信息，这听起来好像不可能，但在某种意义上讲是可能的。事实上数据是依次传输的，但速度非常之快，似乎就像是同时传输的。你从手表上看十分之一秒算是非常快了，但对单片机来说，这十分之一秒也已经很长了。如果将十分之一秒分成段，许多单个的数据都能被传输，这就叫做分时多路传输。

如图 1-7 所示，常规线路要比多路传输线路简单得多，然而多路传输系统 ECU 之间所用电线比常规线路系统所用导线少得多。

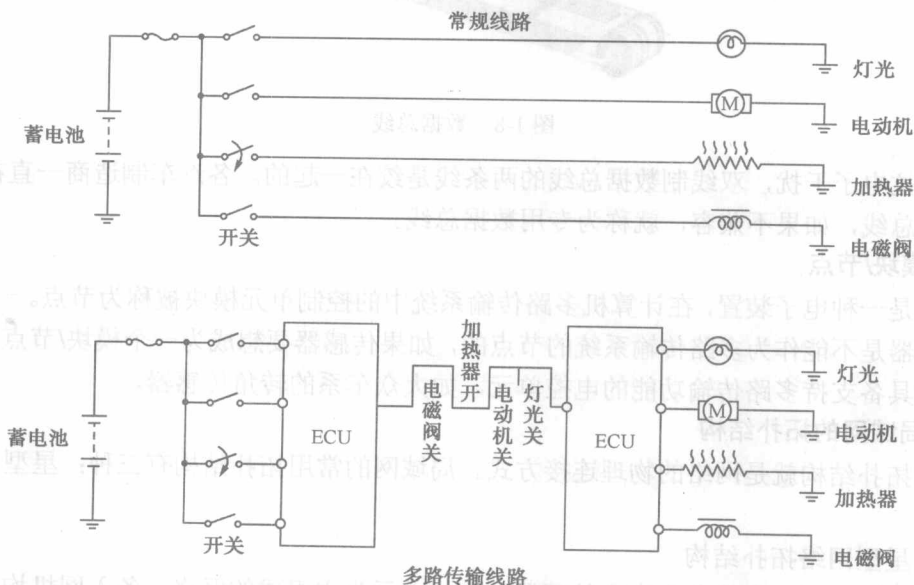


图 1-7 常规线路和多路传输线路的简单对比

正如可把无线电广播和移动电话的电波分为不同的频率，我们也可以同时传输不同的数据流。随着现在和未来的汽车装备无线多路传输装置的增加，基于频率、幅值或其他方法的同時数据传输也成为可能。汽车上用的是单线或双线分时多路传输系统。

2. 局域网

局域网是在一个有限区域内连接的计算机网络，简称局域网。一般这个区域具有特定的职能，通过这个网络实现这个系统内的资源共享和信息通信。连接到网络上的节点可以是计算机或基于微处理器的应用系统或控制装置。局域网一般的数据传输速度在 105Kbps 范围内，传输距离在 250m 范围内，误码率低。汽车上的总线传输系统（车载网络）是一种局域网。

3. 数据总线

模块间运行数据的通道，即所谓的信息高速公路，如图 1-8 所示。如果模块可以发送和接收数据，则这样的数据总线就称为双向数据总线。汽车上的信息高速公路实际是一条或两条导线。

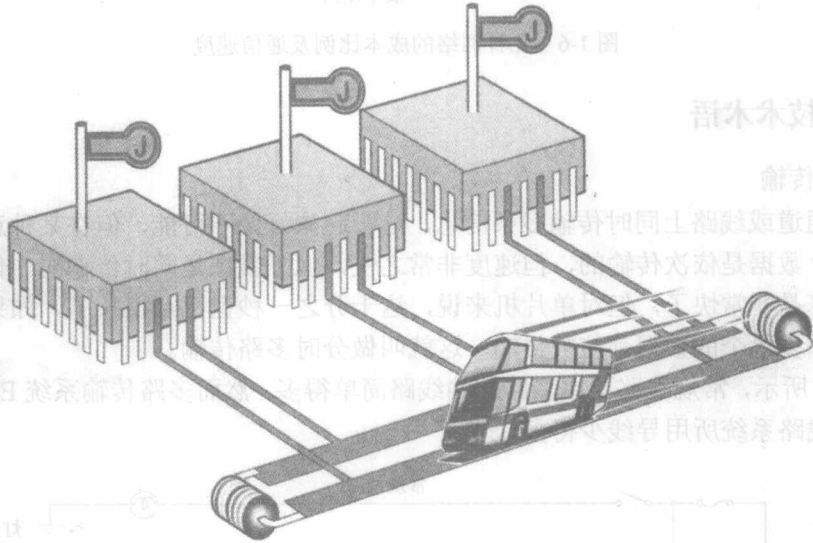


图 1-8 数据总线

为了抗电子干扰，双线制数据总线的两条线是绞在一起的。各汽车制造商一直在设计各自的数据总线，如果不兼容，就称为专用数据总线。

4. 模块/节点

模块是一种电子装置，在计算机多路传输系统中的控制单元模块被称为节点。一般来说，普通传感器是不能作为多路传输系统的节点的，如果传感器要想成为一个模块/节点，则该传感器必须具备支持多路传输功能的电控单元，如大众车系的转角传感器。

5. 局域网的拓扑结构

所谓拓扑结构就是网络的物理连接方式。局域网的常用拓扑结构有三种：星型、环型、总线型。

(1) 星型网络拓扑结构

星型网络即以一台称之为中央处理器的电控单元为主组成的网络，各入网机均与该中央处理器由物理链路直接相连，因此，所有的网上传输信息均需通过该主机转发，其结构如图 1-9 所示。

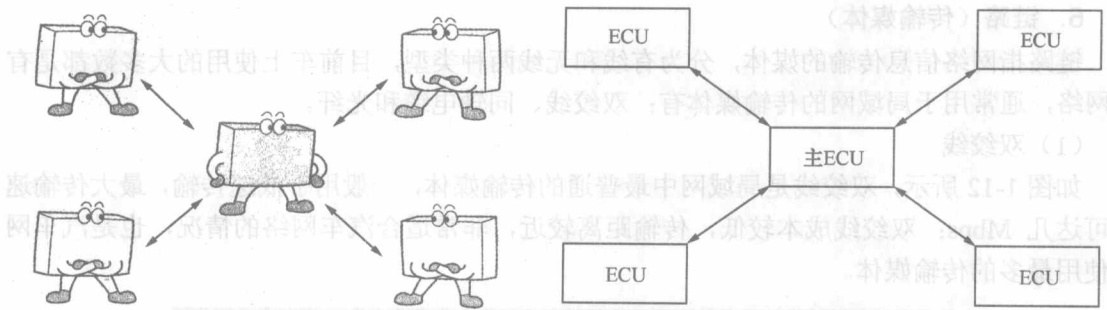


图 1-9 星型网络拓扑结构

(2) 环型网络拓扑结构

环型网络即通过转发器将每台入网计算机接入网络，每个转发器与相邻两台转发器用物理链路相连，所有转发器组成一个拓扑为环的网络系统，如图 1-10 所示。

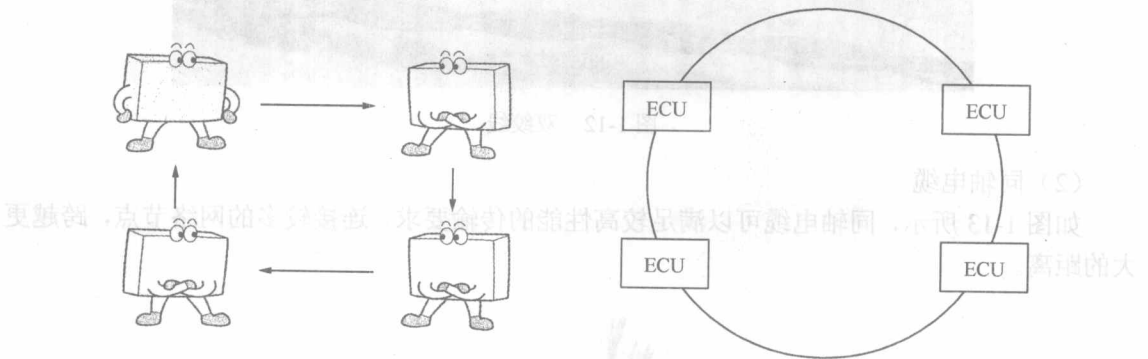


图 1-10 环型网络拓扑结构

环型网络拓扑结构的特点：实时性较高，传输控制机制较为简单，一个节点出故障可能会终止全网运行，可靠性较差，网络扩充调整较为复杂。

(3) 总线型网络拓扑结构

总线型网络即所有入网计算机通过分接头接入一条载波传输线上，如图 1-11 所示。

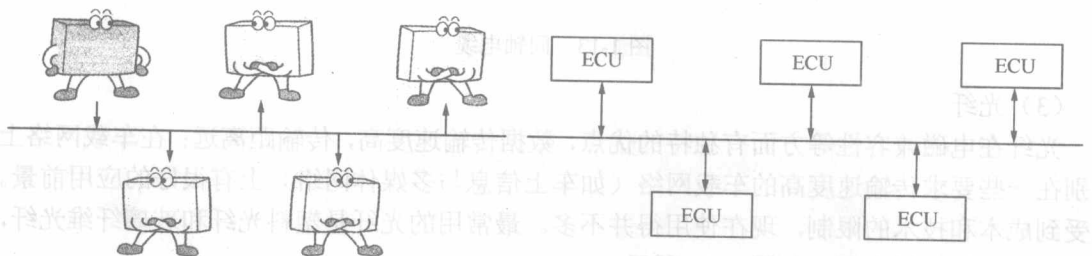


图 1-11 总线型网络拓扑结构

总线型网络拓扑结构的特点：信道利用率较高，但网络延伸距离有限，网络容纳节点数有限（受信道访问机制影响）。它适用于传输距离较短、地域有限的组网环境，目前，车载局域网多采用此种方式。

6. 链路（传输媒体）

链路指网络信息传输的媒体，分为有线和无线两种类型，目前车上使用的大多数都是有线网络，通常用于局域网的传输媒体有：双绞线、同轴电缆和光纤。

(1) 双绞线

如图 1-12 所示，双绞线是局域网中最普通的传输媒体，一般用于低速传输，最大传输速率可达几 Mbps；双绞线成本较低，传输距离较近，非常适合汽车网络的情况，也是汽车网络使用最多的传输媒体。

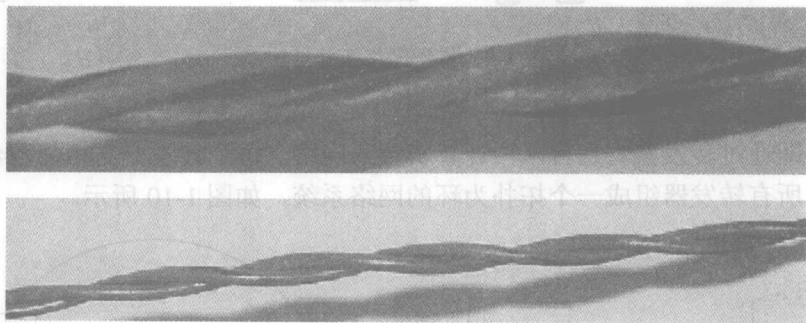


图 1-12 双绞线

(2) 同轴电缆

如图 1-13 所示，同轴电缆可以满足较高性能的传输要求，连接较多的网络节点，跨越更大的距离。



图 1-13 同轴电缆

(3) 光纤

光纤在电磁兼容性等方面有独特的优点，数据传输速度快，传输距离远；在车载网络上，特别在一些要求传输速度高的车载网络（如车上信息与多媒体网络）上有很好的应用前景。但受到成本和技术的限制，现在使用得并不多。最常用的光纤是塑料光纤和玻璃纤维光纤，在汽车上多用塑料光纤，如图 1-14 所示。

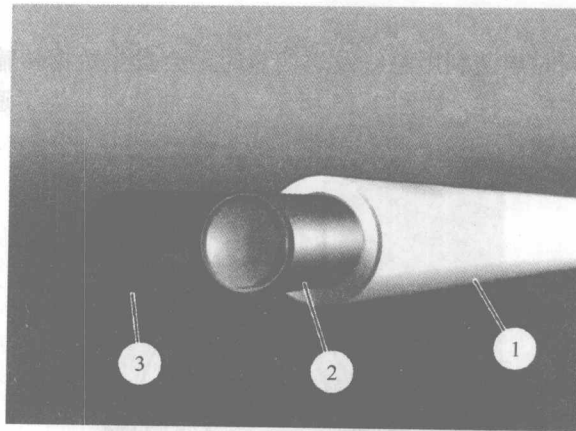
与玻璃纤维光缆相比，塑料光缆具有以下优点：

① 光纤横断面较大。

因为光纤横断面较大，所以生产时光纤的定位没有太大的技术问题。

② 对灰尘不是很敏感。

即使非常小心，灰尘也可能落到光纤表面上并由此改变光束的入射/发射功率。对于塑料光纤，细微的污物不一定会导致传输距离故障。



1—包装层；2—黏合层（外壳/包层）；3—光纤

图 1-14 塑料光缆

③ 操作简单。

例如，约 1mm 厚的光纤芯操作起来比约 $62.5\mu\text{m}$ 厚的玻璃纤维光纤芯要容易一些。与玻璃纤维光缆相比，其操作处理要简单得多。注意：玻璃纤维易折断，塑料纤维则不易折断。

④ 加工制作。

与玻璃纤维光缆相比，BMW 使用的甲基丙烯酸甲酯 PMMA 切割、打磨或熔化相对简单，这样在导线束制造以及进行售后服务维修时具有较大的优势。

7. 数据帧

为了可靠地传输数据，通常将原始数据分割成一定长度的数据单元，数据单元即称为数据帧。一帧数据内应包括同步信号（起始与终止）、错误控制、流量控制、控制信息、数据信息、寻址信息等。

8. 传输协议

传输协议也称通信协议，是控制通信实体间有效完成信息交换的一组约定和规则。换句话说，要想交流成功，通信双方必须“说同样的语言”（如相同的语法规则和语速等）。

(1) 协议的三要素

- 1) 语法：确定通信双方之间“如何讲”，即通信信息帧的格式。
- 2) 语义：确定通信双方之间“讲什么”，即通信信息帧的数据和控制信息。
- 3) 定时规则：确定事件传输的顺序以及速度匹配。

(2) 协议的功能

1) 差错监测和纠正：面向通信传输的协议常使用“应答—重发”和通信校验进行差错的检测和纠正工作。一般来说，协议中对异常情况的处理说明要占很大的比重。

2) 分块和重装：为符合协议的格式要求，需要对数据进行加工处理。分块操作将大的数据划分成若干小块，如将报文划分成几个子报文组；重装操作则是将划分的小块数据重新组合复原，如将几个子报文组还原成报文。

3) 排序：对发送的数据进行编号以标识它们的顺序，通过排序，可以达到按序传递、信息流控制和差错控制等目的。

4) 流量控制：通过限制发送的数据量或速率，以防止在信道中出现堵塞现象。