

车载网络浅析

倪斌

比亚迪上海有限公司 上海 201600

摘要：综合介绍了CAN、CANFD、Eethernet等基础构造的汽车电子网络系统，并详细介绍了车载以太网的相關应用知识。同时，以项目实例的方式展开了对于网络带宽负载计算的解析。

关键词：CAN；CANFD；车载以太网；总线负载

车载网络简介

随着电控系统的日益复杂，以及对汽车内部控制功能电控单元相互之间通信能力要求的日益增长，采用点对点的链接会使得车内线束增多，由此对内部通信的可靠性、安全性以及质量方面都给汽车设计和制造带来了很大的困扰。因此，为了减少车内连线实现数据的共享和快速交换，同时提高产品可靠性等，在快速发展的计算机网络上，实现CAN、CANFD、Eethernet等基础构造的汽车电子网络系统，即车载网络。

1. CAN控制器局域网

CAN (ControllerAreaNetwork) 总线是德国BOSCH在公司20世纪80年代初，为解决现代汽车中众多的控制系统与测试仪器之间的数据交换，开发的一种串行数据通信协议。它是一种多主总线，通信介质可以是双绞线、同轴电缆或光导纤维。通信速率最高可达1Mbps。

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顺序来决定通信次序，高优先级节点信息在134ps通信。

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，在多主、多从或者各个节点平等的现场中使用。

2. CAN-FD

CAN-FD (FlexibleDatarate)，是一种增强版的CAN协议，具有更高的数据传输速率和更大的数据包大小。

CAN协议的传输速率通常被限制在1Mbps，数据包

大小为8字节。而CANFD协议可以支持更高的传输速率，可达到10Mbps，同时支持更大的数据包大小，可以达到64字节。

此外，CANFD协议还支持灵活的速率调整，可以在不同的数据传输速率之间进行动态切换，从而更好地满足不同应用的需求。然而，CANFD协议相对于CAN协议来说，需要更高的硬件和软件支持，因此在一些应用场景下可能不适用。

CAN-FD总线特点：

- 1) 采用与CAN通信相同的事件触发模式，软件容易开发和移植。
- 2) 最高数据传输速率达5Mbit/s，更好地满足要求高实时性高数据传输速率的应用。
- 3) 每帧报文有效数据场为64字节，占整帧报文信息超过70%。
- 4) 相比Ethernet等新兴总线成本更低。

3. Ethernet车载以太网

传统以太网协议由于采用的是载波监听多路访问及冲突检测技术，在数据包延时、排序和可靠性上达不到车载网络实时性要求，所以，常见的车载局域网仍是基于CAN的实时现场总线协议。但随着汽车电子技术的爆发式发展，ECU数量不断增长，影音娱乐信号也纳入车内通信，这使得高实时、低带宽的传统车载总线开始不适应汽车电子发展趋势。

国际电子电气工程师协会(IEEE)经过长期研究，在2016年批准了第一个车载以太网标准“100BASE-T1”。其基于博通公司的BroadR.Reach解决方案，在物理层用单对非屏蔽双绞线电缆，采用更加优化的扰码算法来减弱信号相关性并增加实时性，可在车内提供100Mbps高实时带宽。

高速以太网在汽车干扰环境下的通信质量也是需要重点考查的问题。在车辆上的复杂环境中，车载以太网需要考虑涉及电流浪涌、电磁干扰的影响，会导致网络性能不稳。

车载以太网

汽车行业正在迅速发展，新的车型具有无与伦比的创新特征，其需要和车辆、路边基础设施、互联网

以及高度先进的车载信息娱乐系统进行相互通信。汽车还配备了基于传感器的安全系统，可以通过传感器来消除碰撞，显著提高交通安全。

大多数的新功能和应用都需要依赖昂贵且复杂的布线和需要较大带宽的电子设备，同时，这些复杂电子设备之间需要完成大量而复杂的指令和数据传递。为了解决这个问题，新的汽车车载以太网规范和技术协议应运而生，基于以太网标准协议规范的车载通信网络将显著降低所需布线的成本和整备质量。

1. 以太网网络唤醒

以太网ECU通信唤醒需通过CAN来实现。所有以太网ECU在启动以太网通信前，必须先唤醒对应CAN接口通信，并满足特定通信条件（例如：诊断刷新条件和FOTA条件等）。

2. 以太网网络协议架构

ECU以太网通信须支持图1所示网络协议架构，其中传输层及上层应用协议可根据实际功能需求来选择对应协议。

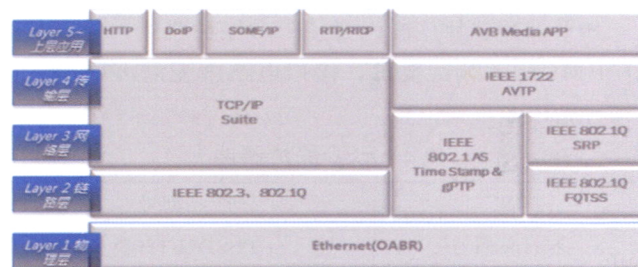


图1 以太网协议架构

3. 标准以太网接口设计

电路原理图必须包含以下器件及其详细信息：以太网收发器、低通滤波器（可选）、ESD、共模扼流圈和共模终端电路（可选）。

以上标准接口电路中相关元器件须满足OABR规范要求。

4. 以太网收发器

收发器及其专用集成电路必须符合IEEE802.3bw要求，只能使用表1中指定的收发器，其他型号的收发器

须在与主机厂沟通确认允许后方可使用。

表1 指定收发器

厂商	收发器类型
NXP	TJA1101
NXP	TJA1102
Marvell	88Q1010
TI	DP83TC811

5. 低通滤波

为了抑制内部脉冲，推荐在收发器输出端先布置低通滤波电路。如果收发器内部已集成该部分电路，接口电路中则不必含此部分。

为保证信号对称性，所有电阻元件公差为±1%，所有电容元件公差为±2%。

6. ESD

PCB设计时必须考虑ESD及过电压保护。

主机厂指定使用的ESD保护器件型号详见表2，其他型号的ESD保护器件须经过主机厂允许后方可使用。注意，必须对BR+和BR-进行双向保护。

如果部分芯片厂商内置了ESD保护器件，且符合主机厂EMC相关测试要求，接口电路中无需再增加，但必须预留ESD布置位置。

表2 ESD保护器件

厂商	产品型号
Nexperia	PESD2ETH-D
Nexperia	PESD2ETH-AD
Nexperia	PESD2ETH-X
Nexperia	PESD2ETH-AX
ONSemiconductor	SZESD7205

7. 以太网共模扼流圈

为增强EMC可靠性，降低噪声辐射，须在以太网双绞线上安装共模扼流圈（以太网线圈）。

以太网共模扼流圈需满足OABREMC Test Specification for Broad R-Reach™ Common Mode Chokes规范要求。

主机厂指定的以太网线圈列表详见表3，其他型号的以太网线圈须在主机厂允许后方可使用。

表3 CMC器件

厂商	产品序列号
TDK	ACT1210L-201-2P
Murata	DLW32MH201XK2
Murata	DLW43MH201XK

网络总线负载计算

通过以下通用计算方法可以得到总线负载的计算方法，并结合不同的通讯网络数据结构得到不同的总线带宽，这里将适配到新架构使用的CAN、CANFD和Ethernet。

不同的通讯网络都有固定的比特率BR（单位bps），根据波特率可计算该网络的位时间：

$$t=1/BR$$
 (1)

不同的通讯网络都有固定的数据格式，即可得到每一帧报文的位长度L，可计算得出每帧报文占用的位时间T

$$T=tL=L/BR$$
 (2)

通过结合报文的周期P（单位ms），即可得到1s内该帧报文发送的次数N

$$N=1 \times 1000/P$$
 (3)

1s内发送的该帧报文占用的总位时间Ta

$$Ta=TN=L/BR \times 1000/P=1000L/(PBR)$$
 (4)

因此，发送该报文占用的负载率

$$Busload=T_a/1s \times 100\%=1000L/(PBR)$$
 (5)

1. CAN总线负载计算方法

图2所示是CAN帧结构示意图。CAN帧结构分为8个场，分别为帧起始、仲裁场、控制场、数据场、CRC场、ACK场、帧结束和ITM场。

根据BOSCH制定的CAN2.0规范，CAN帧除了帧结束场和ITM场外，其余部分都需要满足位填充规则。该规则定义：如果连续出现5个显性位或者隐性位，则需要填充一个相反的bit。其中，所有除长度不固定的数据场外，其他满足位填充规则的场长度总和=1+12+6+16+2=37bit，位填充最大长度=37/5=7bit，所以这些场最大长度可达到37+7=44bit，加上帧结束和ITM场，帧长度最大为44+7+3=54bit。这里，位填充长度选取中间值3，除数据场外，总长度为50bit，所以帧总长度

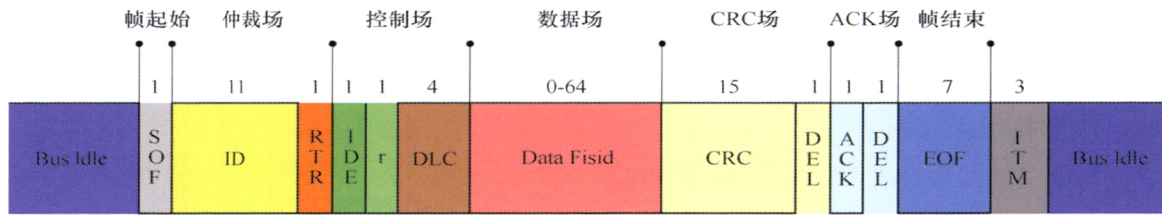


图2 CAN帧结构

$$L=50+8DLC+(8DLC/5) \quad (6)$$

所以

$$\text{Busload}=[50+8DLC+(8DLC/5)]/(\text{PBR}) \quad (7)$$

对于单条CAN传输的帧，目前主机厂定义的典型单帧周期所占负载见表4。

表4 单帧周期帧所占负载

周期/ms	DLC/Bytes	Busload (%)
10	8	2.44
20	8	1.22
40	8	0.61
50	8	0.49
100	8	0.24
200	8	0.12
500	8	0.04
1000	8	0.02

以上计算均为单帧，对于计算多帧周期，直接乘以对应帧数量即得出所占负载。需要注意的是：这里计算中的CAN的标准波特率（传输速率）为500kbps。

2. CANFD总线负载计算方法

图3所示为CANFD帧结构，CANFD帧分为仲裁场、控制场、数据场、CRC校验场、ACK应答场和帧结束场。一帧CANFD报文可以进行两种传输速率切换，其中仲裁场和ACK场速率（BR1）和传统CAN相同，数据场的传输速率（BR2）最高可达8Mbps（车内

一般使用2M，OBD一般使用5Mbps）。

BR1为除BRS位到CRCDEL位以外的传输速率，BR2为BRS位到CRCDEL位，同CAN总线一样，CANFD除帧结束场外也需要满足位填充规则。除帧结束场外，BR1固定长度为18bit，填充位长度=18/5=3，所以传输速率BR1的长度=18+3+7+3=31bit。

$$\text{Busload}(\text{BR1})=31/(\text{PBR1}) \quad (8)$$

除帧结束场外，传输速率为BR2的固定长度=1+1+4+8DLC+4+17+1=28bit，位填充长度=28/5=5，所以传输速率为

$$\text{BR2的长度}=28+5+8DLC+8DLC/5=33+8DLC+(8DLC/5) \quad (9)$$

$$\text{Busload}(\text{BR2})=[33+8DLC+(8DLC/5)]/(\text{PBR2}) \quad (10)$$

$$\text{Busload}=\text{Busload}(\text{BR1})+\text{Busload}(\text{BR2}) \quad (11)$$

表5为计算的单条CANFD传输的典型周期帧所占负载，其中，BR1=500kbps，BR2=2Mbps。

表5 单帧10msCANFD周期帧所占负载

周期/ms	DLC/Bytes	Busload(%)
10	12	1.37
10	16	1.57
10	24	1.79
10	32	2.2
10	48	3.17
10	64	3.97

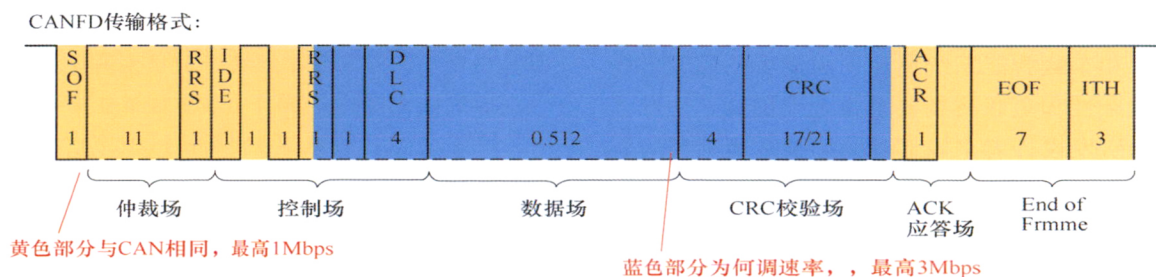


图3 CANFD帧结构

以上计算的均为单帧，对于计算多帧周期，直接乘以对应帧数量即得出所占负载。

3. Ethernet负载计算方法

对于以太网的负载计算方法，目前针对新架构会使用到基于服务访问的传输方式，应用功能如FOTA/SOTA和诊断，类似于CAN/CANFD的周期性传输方式暂无法确定是否会使用，这里提供这两种传输方式的以太网帧负载计算方法。

(1) 基于服务访问的传输方式 此类特点为按需传输，可通过计算最大数据传输所占带宽的方式。需通过最快数据传输间隔 P 、最大数据传输速度 BR 、数据长度 L ，得到 $Busload=L \times 8/(PBR)$ ，其中数据长度 $L=14+8+20+DLC+5=63+DLC$ ，DLC为应用层协议数据长度，需结合不同应用层协议。

(2) 周期性传输方式 此类计算方法同CAN/CANFD，通过计算周期帧的带宽总和。

先计算单帧 $Busload=L \times 8/(PBR)$ ，再通过帧累加得到整条以太网的负载。

4. 乘用车项目中的网络总线负载计算实例

在计算表6的整条PT-CAN的总线负载时，需参考对于项目的架构图进行分析。这里以某乘用车项目的架构为例，来计算PT-CAN上的节点发送的帧，并使用上述方式相加得到PT-CAN的总负载。

结语

车载网络伴随着智能网联和智能驾驶等新兴技术，目前已经取得了飞速的发展，可以预见，随着相关技术及其衍生功能的发展，车载网络的推广必定越来越快。

同时，车载网络对信息处理的实时性和承载量必将不断加大，因此，对于新型的车载网络技术（如时间敏感网络等）的发展需要密切跟踪和研究。承载着车联网技术和车载智能系统迅速发展需要的高速车载网络，其复杂性和负载裕度要求将大大提高，这对于车载网络的研发设计者来说都是必须要认真对待的全新课题。

参考文献：

[1] 马剑，张炳力，黄振峰，等.基于车载以太网的专用

表6 某乘用车项目PT-CAN负载

节点	周期	DLC/ Bytes	帧数量/个	所占负载 (%)	单节点负载 (%)	总负载 (%)
EMS	10	8	3	7.32	16.14	66.18
		3	1	1.58		
	25	8	4	3.92		
		7	2	1.82		
	50	8	1	0.49		
	100	8	3	0.72		
	250	8	1	0.1		
	500	8	3	0.15		
	1000	8	2	0.04		
TCU	10	8	2	4.88	12.8	
		4	1	1.74		
	25	8	3	2.94		
		7	1	0.91		
		4	1	0.7		
		3	1	0.63		
	250	7	1	0.9		
	500	8	1	0.05		
		7	1	0.05		
SDD	20	8	1	1.22	1.22	
GW	10	8	8	19.52	36.02	
		4	1	1.74		
	20	8	4	4.88		
		6	1	1.04		
		4	1	0.87		
		2	2	1.42		
	30	8	1	0.81		
		7	1	0.76		
	50	8	5	2.45		
	100	8	8	1.92		
		7	1	0.23		
	200	8	2	0.24		
	250	8	1	0.1		
	1000	8	2	0.04		

车架构设计[J].汽车实用技术，2023，48（4）：60-64.

[2] 嵇春凡，刘家洪，糜斌.车载以太网技术应用[C]//中国智能交通协会.第十七届中国智能交通年会科技论文集.北京：机械工业出版社，2022.

[3] 肖飏.车载以太网线的设计与制造[J].电线电缆，2022（5）：1-6.

[4] 肖文平，何敎东.智能网联浪潮中车载以太网的发展契机[J].上海汽车，2023（4）：1-3. **AUTO1950**