

Design and Simulation of Vehicle Network Based on SAEJ1939 Protocol

Rong Wang¹, An-yu Cheng², Xufang Wang³, Hu Zhang⁴

1. Automobile and Embedded System Engineering Reach Center & Laboratory of Network control & Intelligent Instrument ChongQing University of Posts and Telecommunications), Ministry of Education, ChongQing, China

2. Automobile and Embedded System Engineering Reach Center, ChongQing, China

3. Automobile and Embedded System Engineering Reach Center, ChongQing, China

4. Automobile and Embedded System Engineering Reach Center, ChongQing, China

1.e-mail daisydaisy@163.com, 2.e-mail caycat@163.com, 3. e-mail daisydaisy@163.com, 4. e-mail zh_tiger@126.com

Abstract: Increasing application of ECU in automobile leads to the automobile's decreasing reliability and increasing cost. CAN/LIN Bus technology has been widely used on vehicle network to solve the problem. Based on the analysis of functional requirements for a particular vehicle network model, the automobile network topology and application layer protocol which is based on SAE J1939 is designed. In designed application layer protocol, this article proposes signal definition, message sending mode, message sending cycle, message priority selecting, and message coding. The CAN/LIN Bus application protocol was simulated in the CANoe platform. The results show that the busload is less than 10%, and the application protocol is in good reliability and stability and can be widely used.

Keyword: can bus; canoe; design method; simulation

基于 SAE J1939 协议的车载网络的设计及仿真

王蓉¹, 程安宇², 王旭芳³, 张虎⁴

1. 重庆市汽车电子与嵌入式系统工程研究中心 & 网络化控制与智能仪器仪表教育部重点实验室, 重庆 400065

2. 重庆市汽车电子与嵌入式系统工程研究中心, 重庆 400065

3. 重庆市汽车电子与嵌入式系统工程研究中心, 重庆 400065

4. 重庆市汽车电子与嵌入式系统工程研究中心, 重庆 400065

1. E-mail daisydaisy@163.com, 2. E-mail daisydaisy@163.com, 3. E-mail daisydaisy@163.com, 4. E-mail zh_tiger@126.com

【摘要】 CAN/LIN 网络总线技术用于车载网络平台, 有利于解决随着汽车电子装置不断增加而导致汽车性价比及可靠性下降等问题。针对某整车厂商对某特定车型网络平台的功能需求, 给出了整车网络结构设计图。并基于 SAE J1939 协议, 开发了车载网络的应用层协议, 着重从信号的定义及报文发送方式的选择、报文信息发送周期及优先级的定义、报文编码和报文数据场定义等几个方面进行设计。同时, 利用 CANoe 搭建了网络仿真平台, 对该网络应用层协议进行了仿真, 仿真结果表明网络负载不超过 10%, 能保证整个网络性能的可靠性和稳定性, 具有较好推广应用价值。

【关键字】 CAN 总线; CANoe; 设计方法; 仿真

1 前言

随着汽车上的电子装置的不断增加, 在国外 CAN/LIN 总线技术已广泛用于车载网络平台。国内与国际先进水平差距正在逐渐缩小。但由于国内在

汽车电器、特别是在智能化零部件领域离国际先进水平相差太大, 总线应用概念、产品定义、研发、测试、认证、生产和维护方面都还处于起步阶段^[1]。

CAN/LIN 总线技术应用于车载网络平台是当前研究的重要问题。对车载网络协议应用层设计有一些代表性的研究。文献[2-3]介绍一个基于 CAN/LIN 总线控制的车身网络实例, 文献[2]阐述了

基金项目: 重庆市科技攻关项目 (CSTC, 2008AA6002); 重庆市教委科技计划项目 (KJ080501); 重庆市自然科学基金项目 (CSTC, 2008BB2407)。

系统的结构、功能、应用层信息编码及关键部分硬件的设计，并通过一系列试验验证了系统设计的正确性；文献[3]从 CAN 网络标识符的定义介绍了通信协议的制定，并介绍了软硬件设计，通过产品的开发设计证明其网络系统结构的有效性；文献[4-5]提出了一种基于 CAN/LIN 总线的低成本整车网络通信系统，给出了整车通信网络结构，并利用汽车电子相关芯片设计了中央控制器与 CAN/LIN 总线的接口及相关通信模块。以上文献在车载网络应用层协议的设计方面均比较简单的讨论了节点信号的定义，关于应用层协议的详细设计还未见报道。但整个应用层协议的设计对汽车厂商实现产业化和车载网络性能的研究都具有关键作用。

因此，本文重点从报文发送周期和优先级的选择、节点地址定义、报文发送方式的选择以及报文的编码几个方面对应用层设计进行了深入研究。

2 整车网络拓扑结构设计

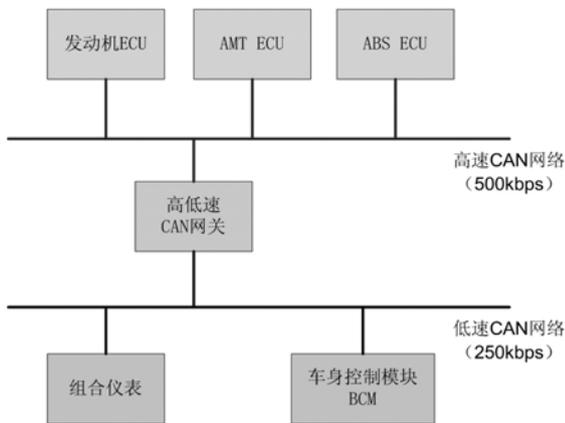


Figure 1. Vehicle CAN network topology

图 1. 整车 CAN 网络拓扑结构

根据整车厂商对车型的功能需求进行分析，实现整车的网络化控制，总线中包含部分动力系统控制模块，并且 BCM 车身控制低成本解决方案。其整车 CAN 网络拓扑结构图 1 所示。

该网络结构由波特率为 500kbps 高速 CAN 总线，波特率为 250kbps 的低速 CAN 总线，以及连接在 2 条总线之间的高低速 CAN 网关构成。其中，高速 CAN 总线只包含了发动机控制 ECU、自动变速器 AMT 控制 ECU 和防抱死系统 ABS 控制 ECU 三个 CAN 节点。而为了降低设计复杂度和产品成本，低速 CAN 总线由一个带有 CAN 接口的四合一组合仪表和一个带有 CAN 接口的

车身控制模块 BCM 构成。

3 基于 SAE J1939 协议的应用层设计

根据 ISO/OSI 模型，BOSCH 公司的 CAN 规范只制定了 MAC 层和小部分的逻辑链路控制子层，CAN 的 ISO 标准规定了总线及驱动器的电气特性。因此，需设计车载网络的应用层协议。

SAE J1939 协议是基于 CAN 总线的更加详细的专用协议。因此，基于 SAE J1939 协议进行网络应用层协议设计。

3.1 信号的定义及报文发送方式的选择

Table 1. Definition of the engine control module signal

表 1. 发动机控制模块信号定义

信号名称	发送方式	信号走向	信号类型
发动机转速	周期	来自发动机	CAN 广播
机油温度	周期	发动机→仪表	CAN 点对点
冷却水温	周期	发动机→仪表	CAN 点对点
水温报警	触发	发动机→仪表	CAN 点对点
油门踏板位置	周期	来自高低速网关	CAN 点对点

在确定 CAN 总线系统控制模块后，结合各个设备的信号需求，分析各模块所需的通信内容，确定信号流向，定义整车网络控制系统的信号。定义各控制系统模块的信号时，需区分个性和共性信息，对于个性信息由各个控制器独立采集信号，而对于共性信息则由一个控制器采集后在网络上共享，这样可以减少车辆控制中信号采集装置的数量。例如车速信息，在 AMT 采集后可以通过广播被 ABS 模块及仪表等控制器接收，实现共性信息的共享。表 1 说明了发动机控制模块信号的发送/接收方式、信号走向及信号类型。

3.2 报文信息发送周期及优先级的定义

根据报文内容的重要性和更新频率设计网络中信息帧的发送频率。基于 SAE J1939 协议中 PGN 的各信息帧的发送频率规则^[8]，设计了报文发送周期。如：发动机转速、车速等信息更新时间快且波动范围大，因此，该信息帧的频率高，一般在 10ms-50ms 之间；而含油量、冷却水温度等波动范围不大，则频率在 100ms 左右。此外，在确定发送频率时，要结合总线的位速率，要在满足系统控制的前提下尽量选择低频，以减少总线信息流量，防止总线的负载过高。

在确定信息帧的优先权时，首先要分析报文帧

需求的紧急性。实时传输的控制信息和报警信息采用高优先级，如发动机的控制信息；实时性要求不高的信息采用低优先级，如状态显示信息。

Table 2. Definition of each module signal cycle and priority

表 2. 各模块信号周期和优先级定义

信号名称	发送模块	发送周期	优先级
发动机转速	发动机	20ms	2
发动机机油温度	发动机	100ms	2
发动机冷却水温	发动机	100ms	2
当前档位	自动变速器	50ms	5
目标档位	自动变速器	50ms	5
车速	高低速 CAN 网关	20ms	2
油门踏板位置	高低速 CAN 网关	20ms	3

信号名称	发送模块	发送周期	优先级
剩余油量	高低速 CAN 网关	200ms	4
行驶里程	高低速 CAN 网关	200ms	4
车灯状态	BCM 模块	500ms	6
车门状态	BCM 模块	500ms	6

表 2 说明了各模块信号的周期及优先级的定义。由表 2 可知发动机模块动力系统的重要组成部分，它在车辆控制中要发送大量的信息，而且这些信息的更新变化频率较快，所以需要较高的实时性。因此，发动机相关的信息的发送周期以 20ms 为主。优先级也高于其他模块的报文信息。

Table 3. Definition of engine speed message

表 3. 发动机转速报文定义

报文名称	发送周期	数据长度	数据页	PDU 格式 (PF)	特定 PDU (PS)	默认优先级	源地址	参数群编码 (PGN)
发动机转速	20ms	2 字节	0	241 (0xF1)	0x00	2	0x32	PGN= PF×256+PS 61696

Table 4. Coding method of Engine message

表 4. 发动机报文编码方法

J1939 帧格式	优先级			R	DP	PDU 格式 (PF)								特定 PDU(PS)								源地址 (SA)								
	3	2	1			8	7	6	5	4	3	2	1	8	7	6	5	4	3	2	1	8	7	6	5	4	3	2	1	
J1939 比特位置	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
发动机转速 ID	0	8			F				1				0				0				3				2					

3.3 报文编码

SAE J1939 协议是基于 CAN 总线的更加专用的协议。它将 CAN2.0B 总线协议中的 29 为标识符重新分组定义，从而使 29 位标识符的不同组合具有固定含义。在确认报文相关信息后，可根据 SAE J1939 的帧格式对这些信息帧进行编码^[8]。

表 3 说明了发动机转速的优先级、源地址、协议数据单元格式、PDU 特定域(可作为目标地址、组扩展或者专用)等相关信息。

表 4 说明了 SAE J1939 帧报文编码格式，根据表 3 中的定义可得到该报文 SAE J1939 比特位置的值，从而可得到发动机转速 ID 为 0x08F10032。

3.4 报文数据场定义

在对各信号的 CAN 报文 ID 按照 SAE J1939 协议要求完成编码后，需定义报文帧的数据场，包含信号

位置和信号格式。在本应用层协议中一个信号数据的排列顺序是低字节在前，高字节在后，同一字节则高位在前，低位在后。在网络传输的时候，数据都以无符号整型的格式传输。因此传输信号的实际参数值 V_f 需要转换后再在网络上传输，它和在网络上传输的值 V_n 之间的关系如式 1 所示。

$$V_f = V_n \times Factor + Offset \quad (1)$$

式中 $Offset$ 是信号的偏移量， $Factor$ 是信号的分辨率，它表示数据场中参数所在的字节数值每增加 1 参数值所变化的多少。各信号发送控制模块须参照协议规定封装报文；接收的控制模块接收到此报文信号后，按同样的位置提取信号数据，并按照协议要求还原信号。协议中保留的字节均为 0xFF。根据公式 1 可得出应用层协议中所涉及参数，如表 5 所示。

Table 5. CAN bus application layer protocol
表 5. CAN 总线应用层协议内容

CAN ID	字节	BIT 位	参数名	参数范围	分辨率	偏移量
0x08F10032	8、7	每字节第 1~8 位	发动机转速	0-8031.875rpm	0.125rpm/位	0
	1~6	保留	保留	——	——	——
0x08E63532	8	第 1~8 位	发动机机油温度	-40~210℃	1℃/位	-40℃
	7	第 1~8 位	发动机冷却水温	-40~210℃	1℃/位	-40℃
	1~6	保留	保留	——	——	——

4 网络总线吞吐量和网络负载的估算

在设计整车网络拓扑结构和应用层协议过程中应考虑网络的性能指标，包括总线吞吐量和网络负载。总线吞吐量又称为网络传输速率，在数值上等于网络在单位时间内成功传送的总消息量，单位是 bps。对于标准帧，其长度为 $44+8 \times \text{DLC}$ ，考虑到间歇场 3 位，发送一帧数据总共要发送 $47+8 \times \text{DLC}$ 位，数据在一帧中所占比率为 $(8 \times \text{DLC}) / (47+8 \times \text{DLC})$ ，则在 1Mbps 位速率时，总线的吞吐量为 $(8 \times \text{DLC}) / (47+8 \times \text{DLC}) \times 1\text{Mbps}$ 。对于发送扩展格式帧时，总线吞吐量为 $(8 \times \text{DLC}) / (67+8 \times \text{DLC}) \times 1\text{Mbps}$ 。

网络负载率是指在网络上单位时间内实际传送的位数和可以传送的位数之比。它可以用式 2 表示^[9]：

$$B_{load} = \frac{S_c}{S_a} = \frac{S_{std}(n_{period} + n_{event})}{S_a} \quad (2)$$

其中： S_c 和 S_a 分别表示单位实际网络上实际传送的位数和可以传送的位数， n_{period} 和 n_{event} 分别表示单位时间内周期型和事件型传送的个数， S_{std} 为标准信息帧一帧的位数。如果单位时间为 1s，则 S_a 就是网络的波特率。

本设计中绝大部分报文以定周期发送，所以总线理论负载率可通过公式 2 的进行估算。

首先，总线上的报文只有数据帧一种类型，不存在远程帧、错误帧和过载帧这三种类型。因此每帧报文包括：帧起始 (1bit)、仲裁域 (29bit)、控制域 (6bit)、数据域 ($8 \times 8\text{bit}$)、循环冗余码域 (15bit)、应答域 (2bit) 和帧结尾 (7bit)，共 124 位。

其次，每秒传送的数据帧也可通过信息的接发周

期估算出，各报文的周期如表 2 所示，可计算得出高速 CAN 总线 (500kbps) 上每秒发送的数据帧数为 185 帧；低速 CAN 总线 (250kbps) 上每秒发送的数据帧数为 187 帧。

根据式 2 可计算得出：

$$\text{高速CAN总线的负载率} = \frac{185 \times 124}{500 \times 1000} \times 100\% = 4.58\%$$

$$\text{低速CAN总线的负载率} = \frac{187 \times 124}{250 \times 1000} \times 100\% = 9.27\%$$

5 用 CANOE 对车载网络进行仿真

Vector Informatik 是德国一家专门从事现场总线特别是 CAN 总线的研究、开发和应用的高科技公司，它在 CAN 总线应用领域内提供了一系列、强有力的软硬件工具。CANoe 是 Vector Informatik 完整的 CAN 分析开发的工具系列中最重要的工具之一^[6-7]。

5.1 数据库建立

在完成网络拓扑结构的设计后，在数据库中对报文和信号进行定义。本车身网络中的参数是按照“SLOT”原则^[8] (Scaling, Limit, Offset and Transfer function) 对参数进行定义的，即定义了参数的数据长度 (以字节或者位为单位)、物理偏离量及其精度、有效范围、传输功能等。采用 CANOE (CAN Open Environment) 软件建立网络拓扑节点图，并根据每个节点的功能特点，采用数据库编辑工具 CANdb++ 中创建好高速 CAN 总线 (HS_CAN.dbc) 和低速 CAN 总线 (LS_CAN.dbc) 两个数据库文件，并定义好 CAN 应用层协议中规定的相关信息。如表 6 所示：

Table 6. Parameter definition of Vector CANdb++ Editor

表 6. Vector CANdb++ Editor 中的部分参数定义

CAN 报文 ID	CANdb++中报文名称	所含信号	CANdb++中信号名称
0x08F10032	Engine_Message1	发动机转速	Rotational
0x08E63532	Engine_Message2	发动机机油温度	Engine_oil_Temperature
		发动机冷却水温	Water_Temperature
0x14F10033	AMT_Message1	当前档位	Present_Gear
		目标档位	Target_Gear
0x08F10031	GW_Message1	车速	Speed
0x08E63431	GW_Message2	制动信号	Break
0x0CF10031	GW_Message3	油门踏板位置	Oil_position

5.2 仿真系统构建

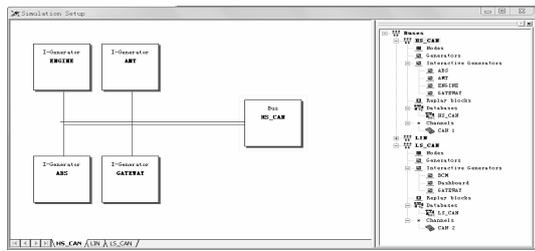


Figure 2. Simulation setup of High speed CAN bus

图 2 高速 CAN 总线的 Simulation Bus 布局图

使用 CANoe 仿真配置(simulation setup) 构建模拟网络, 包括模拟的各个节点。通过 Simulation Setup 窗口工具进行仿真实验, 即 CAN 总线系统虚拟的离线仿真来检验总线功能的设计以及网络应用层协议的合理性。利用 CANoe 可构建的高速 CAN 总线和低速 CAN 总线的 Simulation Bus 的仿真布局图。两层网络分别选择 CAN CardXL 卡的两个通道 CH1 和 CH2 进行仿真, 它们之间通过共同的网关节点 GATEWAY 相连接。图 2 说明了高速 CAN 总线的仿真布局图, 包含了发动机控制 ECU、自动变速器 AMT 控制 ECU、防抱死系统 ABS 控制 ECU 和高低速网关。

5.3 系统仿真程序构建

为了精确研究网络节点的模型, 通过 CANoe 建立整个系统的动态功能模型。建立模型时, 可利用 CAPL 语言的基于事件来描述行为的原理, 模仿某一节点收到报文是利用程序进行处理并且结果作为一个控制变量输出。

利用 CAPL 语言模仿右转弯灯的功能:

```
//通过环境变量转弯灯的控制开关来控制转弯灯的状态
on envVar EnvTurnLightSwitch_RL
{
    int msgFRLM;
    msgFRLM=getvalue(EnvTurnLightSwitch_RL);
    if (msgFRLM)
        { gFlashToggle = 1;
        Flag=1;
        settimer( tFlashTimer, gFlashCycle);
//设置定时器的周期, tFlashTimer 实现了转弯灯的闪烁功能
        }
    else
        { putvalue(EnvTurnLightState_RL,0);
        canceltimer(tFlashTimer);
        }
}
```

5.4 仿真结果分析

在仿真过程中利用 CANoe 观察和测量总线上的数据通信统计情况、动态跟踪总线上数据的内容、显示的消息频率等相关信息。通过观察 Bus Statistics 窗口和 Trace 窗口中数据, 可判断网络负载情况以及网络布局的合理性。

图 4 中的 Trace 窗口监控了 CAN 网络上传输的 CAN 报文和各信号的详细信息, 根据 3.4 节中的公式 1 可得到各报文 ID 和各信号的值, 如标识符 ID 为 0x08F10031 的报文中的车速 (Speed) 信号的数值被定义为 119 公里/小时,标识符 ID 为 0x08E63431 的报文中的发动机冷却水温度 (Water_Temperature) 信号的数值被定义为 48℃等。因此, 验证了通信内容正确可靠。

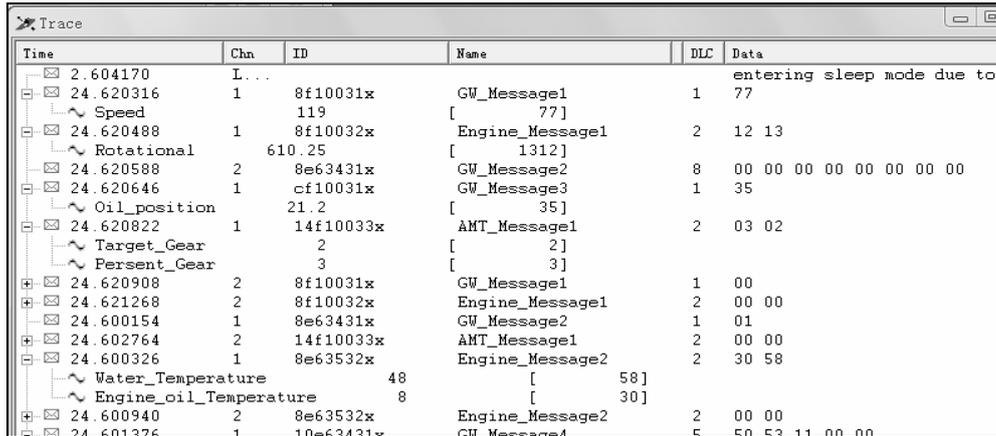


Figure 4. Trace information of CANoe

图 4. CANoe 的 Trace 窗口信息

图 5 和表 7 中表明两条 CAN 总线平均负载率和峰值负载率都较低，均小于 30%，其仿真实验中高速 CAN 总线的平均负载率 4.58%，其扩展帧数据为 185fr/s；低速 CAN 总线的平均负载率为 9.27%，其扩展帧数据为 187fr/s，与第 4 节中网络总线吞吐量和网络负载的估算一致。说明该整车网络系统满足汽车网络通信的实时性和可靠性要求，具有很好的稳定性和可靠性。

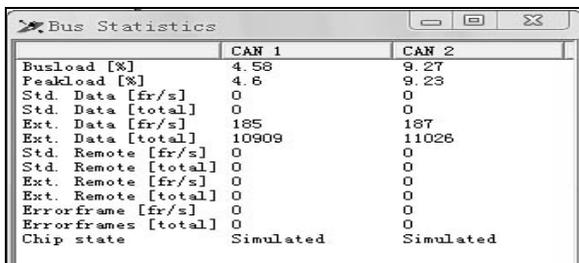


Figure 5. Bus statistics of CANoe

图 5. 仿真结果统计窗口示意图

Table 7. Results of bus statistics

表 7 仿真结果统计表

CAN 通道	负载率 (%)	峰值负载 (%)	扩展帧 (frame/s)	错误帧 (frame/s)
CAN1	4.58%	4.6	185	0
CAN2	9.27%	9.3	187	0

7 结论

本文根据整车厂商对某车型的功能需求，给出

了车载的网络总体结构设计图，基于 SAE J1939 协议规范设计了该车载网络平台的应用层协议。同时，利用 CANoe 搭建了网络仿真平台，对该网络应用层协议进行了仿真，其仿真数据与该网络平台运行的网络总线吞吐量和网络负载情况的理论值一致，其网络峰值负载仅为 9.3%，从而说明本车载网络平台总体结构设计和应用层协议的制定是合理有效的，并能很好的保证整个网络性能的可靠性和稳定性，具有较好的推广应用价值。

References(参考文献)

- [1] 唐晓泉. 总线技术国内研发之路不平坦. 电子工程专 辑.2008.07
- [2] 龚进峰 曹健. 基于 CAN/LIN 总线的智能车身网络研发.汽车 电器[J].2006(5):4-6
- [3] 崔胜民 熊杰 王大方.汽车车身 C A N 网络系统的设计. 机械 设 计 与制造.2009(1):32-34
- [4] 刘晓明 高青春 熊东. 基于 CAN/LIN 总线的汽车通信网络设计.微机发展.2005(8):78-80
- [5] 韦伦文 龚元明.基于 CAN / LIN 车身总线的设计.机电一体化.2006(1):26-28
- [6] 恒润科技. 汽车网络的优点及其解决方案.今日电子. 2004 年 第 7 期. 72
- [7] Vector Informatik GmbH. CANoe User Guide. Eberdingen: Satzteam Fotosatz & Neue Medien GmbH. 2003
- [8] The Truck & Bm 'Control and Commullicatiolls Network Subcommittee Of the Track & Bus Electrical Committee [S],SAE J1939—71, AppOrtion Layer, 1997.
- [9] Tindell K W, Hansson H, Wellings A J. Analyzing real-time communication: Controller Area Network (CAN) [A].Real-Time Systems Symposium[C]. 1994:259~263