

# 车载CAN网关实时性分析与改进\*

王渝卉<sup>1,2</sup>, 郝矿荣<sup>1\*</sup>, 丁永生<sup>1</sup>, 陈胜瑜<sup>2</sup>

(1. 东华大学 信息科学与技术学院, 上海 201620; 2. 上海华东汽车信息技术有限公司, 上海 200001)

**摘要:** 为改进车载网关在实际应用中的实时性能,减少网关延时,将主从节点调度方法引入车载CAN的网关调度中。分析了影响车载CAN网关实时性的因素,根据车载CAN网关的信号路由、报文调度方式和网络负载对网关传输延时的影响,设计了一种基于信号更新位的改进型CAN网络主从节点调度算法;通过使用实际网关硬件和TELLUS™汽车网络仿真工具构建了实验平台,并对该调度算法进行了评价。研究表明,采用该改进型主从节点调度算法的网关延时最多可以比传统调度方式减少4.6%,可提高车载CAN网关的实时性能。

**关键词:** 车载CAN网关;传输延时;信号更新位;改进型主从节点调度算法

中图分类号: TP336;U461 文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2012)08-0873-04

## Real-time analysis and optimization of vehicle CAN-CAN gateway

WANG Yu-hui<sup>1,2</sup>, HAO Kuang-rong<sup>1</sup>, DING Yong-sheng<sup>1</sup>, CHEN Sheng-yu<sup>2</sup>

(1. College of Information Sciences and Technology, Donghua University, Shanghai 201620, China;

2. Shanghai CETC-Motor Co., Ltd., Shanghai 200001, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of improving real-time characteristics of CAN-CAN gateway, the causes of transmission delay were investigated. After analyzing the influence of gateway routing time, frame transmission time and CAN network bus-load, an optimization design of improved master-slave node scheduling algorithm based on update bit of signal was introduced. The optimization design was evaluated on a simulation platform given by CAN-CAN gateway hardware and TELLUS™ tool of CETC-motor company. The experiment results show that the CAN-CAN gateway with improved master-slave node scheduling algorithm can decrease the transmission delay by about 4.6 percent and well meet the real-time characteristic of CAN gateway.

**Key words:** vehicle CAN-CAN gateway;transmission delay;signal update-bit;improved master-slave node scheduling algorithm

## 0 引 言

车载控制器局域网(controller area network, CAN)是20世纪80年代初德国Bosch公司为解决现代汽车中众多控制单元、测试仪器之间的实时数据交换而开发的一种串行通信协议。相较于其他车载总线, CAN总线具有高实时性、高可靠性、高灵活性、容易实现和低成本等特点,是目前应用最广泛的车载总线<sup>[1]</sup>。

车载CAN网关是车辆内部各种不同CAN网络系

统的接口,实现位于不同总线系统的控制单元之间的信息共享和交换。CAN网关作为整车网络信息交互的中心,其传输CAN信号的实时性成为影响整车网络实时性的重要因素之一。

文献[2]针对CAN网关的信号路由时间和路由调度等待时间给出了一种CAN网关延时的优化设计。但是由于控制器计算所造成的延时本身仅在微秒级别,该优化设计方法对实时性的优化作用较为有限。

为了改进车载网关的实时性能,本研究首先结合

收稿日期:2012-04-19

**基金项目:**国家自然科学基金重点资助项目(61134009);国家自然科学基金资助项目(60975059);教育部高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20090075110002);上海市优秀学术带头人计划资助项目(11XD1400100);上海领军人才专项资金资助项目(未提供);上海市科学技术委员会重点基础研究资助项目(11JC1400200,10JC1400200);上海市科学技术委员会技术标准专项资助项目(10DZ0506500)

**作者简介:**王渝卉(1988-),女,上海人,主要从事汽车网络控制以及智能控制等方面的研究。E-mail:2101194@mail.dhu.edu.cn

**通信联系人:**郝矿荣,女,教授,博士生导师,博士后。E-mail:krhao@dhu.edu.cn

CAN 网关工作方式和 CAN 整车网络性能进行实时性分析,根据影响网关实时性的因素设计 CAN 网关报文调度机制,然后基于实际网关和 CETC-Motor 公司的汽车网络系统设计、分析、开发、测试工具 TELLUS™ 构造实验系统,最后在该平台上完成网关实时性验证,给出测试结果和结论。

# 1 CAN 网关实时性分析

## 1.1 CAN 网关模型

CAN 网关模型如图 1 所示<sup>[3]</sup>。网关工作过程基于接收-缓存-转换-发送机制,包含接收滤波、接收队列、网关服务器和发送队列。

图 1 中,参数  $n$  表示网关连接的子网数目。滤波器通过查询路由表,对接收报文进行过滤。接收处理任务由调度器负责调度。报文分发器将转换后的报文按照优先级插入相应的目的发送队列,等待传输。

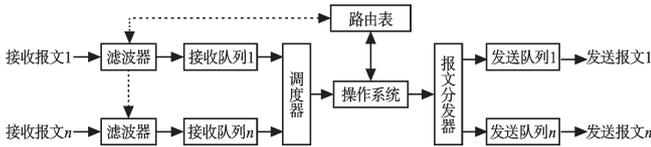


图 1 CAN 网关模型

## 1.2 网关传输延时分析

车载 CAN 网关延时  $T_{delay}$  指报文从发送节点到接收节点之间的时间间隔,包括报文在总线上的发送、接收时间,以及网关内部延时。用式(1)<sup>[4-5]</sup>表示:

$$T_{delay} = T_{receive} + T_{gateway} + T_{send} \quad (1)$$

式中:  $T_{receive}$  — 报文自源节点发送到获得网关处理的时间,  $T_{send}$  — 网关将报文组装完成发送至目标节点的时间,  $T_{gateway}$  — 网关处理报文的时间。

具体分析如下:

(1) CAN 总线网络 MAC 层协议采用非抢占式逐位仲裁 CSMA/CA 技术<sup>[6]</sup>。节点发送报文之前,需等待总线空闲并竞争优先级。因此,  $T_{receive}$  包含报文在发送节点内的接收调度等待时间  $T_{receive-wait}$ , 另外,还包括报文总线传输时间  $\tau$  和报文发送至网关节点后的调度等待时间  $T_{GW-wait}$ 。用式(2)表示:

$$T_{receive} = T_{receive-wait} + \tau + T_{GW-wait} \quad (2)$$

其中:  $T_{receive-wait}$  取决于报文优先级;  $T_{GW-wait}$  取决于网关任务调度机制,与网关设计有关。报文传输时间  $\tau$  与报文长度成正比,与总线传输速率成反比。

(2)  $T_{send}$  包括报文在网关节点内的优先级排序时间  $T_{queue}$ , 总线空闲等待时间  $T_{network}$  和报文传输时间  $\tau$ 。用式(3)表示:

$$T_{send} = T_{queue} + T_{network} + \tau \quad (3)$$

其中:  $T_{queue}$  取决于网关发送队列缓冲机制,与网

关设计有关;  $T_{network}$  取决于报文优先级。

由上述分析可知:网关内部路由时间  $T_{gateway}$ 、网关调度等待时间  $T_{GW-wait}$  和发送队列等待时间  $T_{queue}$  是网关调度延时的主要组成部分,与网关设计有关,网关软件算法的调度、运算效率会对这两个参数产生影响。

## 1.3 报文周期调度延时分析

本研究假设网关接收到的都是发送节点周期发送的数据帧。网关在发送端看作一个普通的 CAN 节点,将报文周期转发到另一总线上。网关节点的路由处理采用时间触发方式。

报文周期调度延时与报文丢失示意图如图 2 所示。

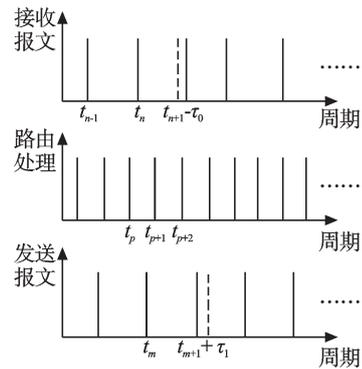


图 2 报文周期调度延时与报文丢失

如图 2 中实线所示,本研究令某报文在发送端  $t_n$  时刻发出,忽略报文发送时间  $\tau$ ,则网关节点理论上于  $t_p$  时刻收到报文。发送触发时刻  $t_m$  到达时,报文还没有处理完成,因此该报文最快在  $t_{m+1}$  时刻发送。这样,基于报文接收周期、路由处理周期以及报文发送周期,从网关接收报文到处理完成后发送的延迟时间为  $|t_{m+1} - t_n|$  (单位:ms)。

以上分析基于理想情况,即收到的报文能及时得到处理并发送。以下本研究结合实际网络,考虑一种较差的情况,如图 2 中虚线所示。

发送节点由于优先级调度或数据未更新,节点可能存在消息到达抖动时间,此时  $[t_n, t_{n+1}]$  周期缩短  $\tau_0$ , 则下一帧报文的发送时刻为  $t_{n+1} - \tau_0$ 。网关在  $t_{p+1}$  时刻处理  $t_n$  时刻接收的报文,由于发送周期缩短,到  $t_{p+2}$  时刻正好来得及处理  $t_{n+1} - \tau_0$  时刻接收的报文。但是  $t_m$  发送时刻,  $t_n$  时刻接收的报文还未处理完,因此  $t_m$  时刻发送的是  $t_{n-1}$  时刻接收的报文。而发送端由于优先级排序和等待总线空闲,  $[t_m, t_{m+1}]$  周期延迟  $\tau_1$ , 则当  $t_{m+1} + \tau_1$  发送时刻到达,  $t_{n+1} - \tau_0$  时刻接收的报文处理完成并发送。于是,在  $t_n$  时刻接收到的报文被覆盖了。从整体网络角度来看,发生了报文丢失。

综合上述分析和影响网关实时性的参数,在实际设计中,为避免报文丢失,网关节点的处理报文的总体时间必须小于接收端报文的最短周期。而在整体

CAN网络设计中,接收、网关处理、发送周期应合理设置,避免总线延时增加、报文丢失,损害CAN网络整体的实时性能。

## 2 CAN网络网关优化设计

本研究中仿真测试的网关软件架构符合OSEK(open systems and their interfaces for the electronics in motor vehicles)系统规范,通过采用嵌入式操作系统,可实现网关任务调度时间最优化,通过应用层调度通信模块(communication module, COM),实现CAN信号收发、转换等路由功能。本研究结合网关信号路由和报文调度两方面提出网关实时性的优化。

### 2.1 网关信号路由优化

信号在CAN网关中的路由过程如下:系统将待转换的报文从接收缓存区取出,解析并复制到发送报文中,并根据路由表将源ID转换成目标ID,打包成完整报文存入发送缓存队列。

该过程中的延迟时间 $T_{CW}$ 包括网关查询ID的时间 $T_{IDSearch}$ 和信号复制时间 $T_{SigCopy}$ ,用式(4)<sup>[7]</sup>表示:

$$T_{CW} = T_{IDSearch} + T_{SigCopy} \quad (4)$$

为提高网关路由效率,本研究在网关报文中安排一个信号更新位。该更新位可任意安排在剩余的帧空间。如图3所示的帧,us11、us14、us15分别为信号s11、s14、s15的更新位。信号及其更新位在网络配置数据库文件\*.dbc中具体定义。

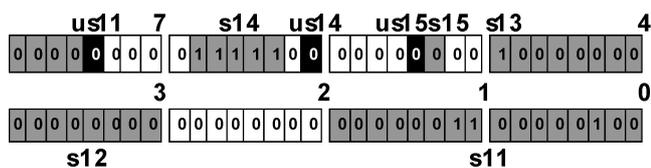


图3 信号与更新位

当信号存在更新位时:更新位为“0”,代表该信号未更新,信号无效;更新位为“1”,执行信号的更新。于是在处理每个帧之前增加了判断更新位的时间 $T_{UD-bit}$ :

$$T_{CW} = T_{IDSearch} + T_{SigCopy} + T_{UD-bit} \quad (5)$$

表面上看,增加了判断更新位的时间 $T_{UD-bit}$ 后路由时间变长了,但是在网络中信号更新不频繁的情况下,只需判断一次 $T_{UD-bit}$ 就不需查询网关ID和复制信号,公式(5)变为在总体上缩短了网络运行过程中的 $T_{CW}$ 时间。

### 2.2 改进型主从节点报文调度

传统CAN网络的所有的节点平等占有总线资源,因此在以周期性报文为主的网络中,当大量报文同时发送时,会造成网络负载瞬间增加,给系统造成较大的抖动,从而产生较大的时间延迟<sup>[8]</sup>。

在这种情况下,本研究提出改进型主从节点调度

方式,由主节点调度报文控制网络中节点是否参与发送。与传统主从方式不同,改进型主从节点调度方式中从节点可以主动发帧,但需得到主节点的允许。

本研究以网关节点作为主节点,网络中其他节点作为从节点,当从节点想要发送帧时,可以先发送一帧网络唤醒信号,再周期性发送唤醒保持信号,保持唤醒状态。并且,从节点发送网络保持信号时,应该同时发送位更新信号。当主节点收到更新信号,以此来判断该信号是否有效。如果有效,则主节点发送信号进行确认;若无效,则不确认,此时从节点应该停止发帧并进入休眠状态。

网络负载定义为<sup>[9]</sup>:

$$U = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{T_i} \quad (6)$$

式中: $n$ —报文的数目; $C_i, T_i$ —报文的传输时间和周期。

本研究采用以上调度方式,通过主节点灵活地调度报文,减少了特定时刻总线发送的报文数目,有效地降低网络负载或峰值负载,从而减少了可能因总线负载率过大而造成的网络延时。

## 3 网关实时性仿真测试

### 3.1 仿真测试环境

为研究以上改进型主从节点调度方式的网关实时性能,本研究参考实车CAN网络系统结构设计的实时性仿真测试网络模型如图4所示。

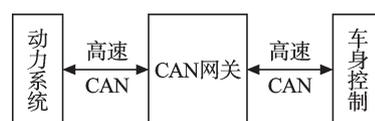


图4 实时性仿真测试网络模型

网关硬件基于S912XET256CAL微处理器系统,支持2路CAN网络接口;软件架构符合OSEK标准,可通过FBL(Flash Boot Loader)软件刷新调度机制更新到系统应用层中。网关内部路由表中的报文按ID递增,网络内部所有网关路由信号都配置更新位。网关软件程序采用C语言编写。

CAN网络及其电控单元采用CETC-Motor公司的总线系统开发工具TELLUS™建模。该工具支持2路CAN总线。

动力网络包括发动机控制单元、ABS(Antilock Braking System)等9个节点,车身网络包括车门控制、空调控制等4个节点。本研究在实验平台中验证网关实时性分析结果和优化调度算法的性能,实验平台如图5所示。

### 3.2 仿真测试结果与分析

本研究根据以上模型测试网关延迟时间。对于单个报文,其路由过程相对独立,因此本研究挑选若

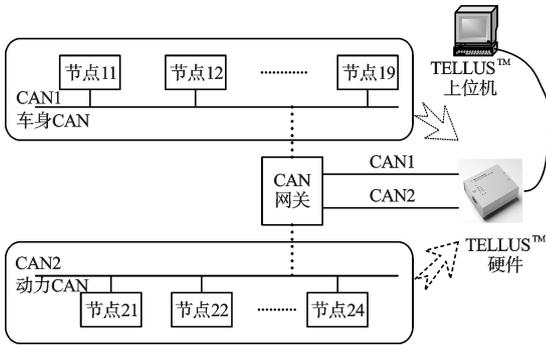


图5 CAN网关实验平台

干网关信号进行测试,采用非抢占式多主节点调度方式和改进型主从节点调度方式的信号网关延迟时间对比如表1所示。表1中,传输方向列下的“1”表示CAN1,即动力CAN;“2”表示CAN2,即车身CAN。

表1 信号的网关延迟时间对比

序号	传输方向	源报文ID (HEX)	周期 /ms	信号长度 /bit	目标报文ID (HEX)	不同调度方式的平均延时/ms	
						非抢占式多主节点调度	改进型主从节点调度
1	1至2	0A7	10	1	0B6	7.068	6.813
2	1至2	092	10	2	0B6	7.465	7.349
3	1至2	09B	10	8	0B8	6.921	6.691
4	1至2	094	10	16	0B8	7.047	6.737
5	2至1	3AB	100	8	38C	50.132	48.297
6	2至1	39A	100	1	38C	49.968	48.129
7	2至1	3A9	100	3	38E	44.227	42.934

由表1可知,采用改进型主从节点调度时信号的网关延时小;且信号数目越多、组成报文信号越长则相应的网关延迟时间越大。减少延迟时间的比例最多达4.6%。在改进型主从节点调度下,报文ID对于网关延迟时间基本没有影响。

本研究采用两种调度方式下动力CAN报文的平均延时和总线负载的关系如图6所示。

从图6中可以看出,随着网络负载增加,网关的延迟时间也增加,但是采用改进型主从节点调度方式的

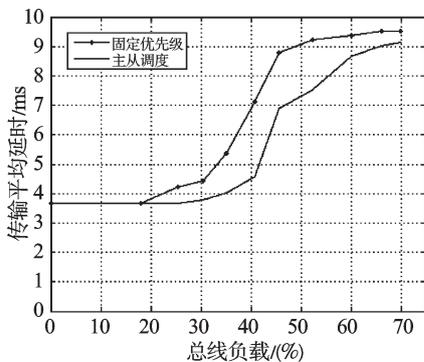


图6 传输延时随总线负载变化曲线

延迟时间要少于传统调度方式,从而验证了改进型主从节点调度方式的优越性。

### 4 结束语

本研究针对车载网关设计的实时性能要求,在车载CAN网关模型的基础上,对网关信号的路由过程和CAN网络调度方式进行了深入分析,研究了各参数对于延时性能的影响情况;并以该实时性分析结论为指导,提出了一种基于CAN主从节点调度方式的改进型算法。本研究根据该算法设计了网关硬件的嵌入式程序,通过搭建测试平台完成了两种调度方式下的CAN网关延时测试。结果表明,采用改进型主从节点调度算法最多可减少CAN网关延时约达4.6%,改进了实时性能。该方法适用于符合CAN 2.0协议的网关设备,为CAN网关报文的实时性调度提供了一种可行的设计实施方案。

该算法的主要不足在于仅考虑了两个CAN网络互联的网关,对于两个以上网络互联的情况并未涉及。在未来,笔者将进一步针对多条网络交互的CAN网关的实时性能进行改进研究。

### 参考文献 (References):

- [1] 张培仁. CAN现场总线监控系统原理和应用设计[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,2011.
- [2] 孔令伟. 车载CAN网络的网关设计方法研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学控制科学与工程系,2008.
- [3] SOMMER J, BLIND R. Optimized Resource Dimensioning in Embedded CAN-CAN Gateway [C]//International Symposium on Industrial Embedded Systems: [s.n.], 2007:55-62.
- [4] SOMMER J, BURGSTAHLER L, FEIL V. An Analysis of Automotive Multi-Domain CAN systems[C]// The 12th EU-NICE Open European Summer School, Stuttgart: [s.n.], 2006.
- [5] NOLTE T, HANSSON H, NORSTROM C. Probabilistic Worst-Case Response-Time Analysis for the Controller Area Network [C]// The 9th IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications. Symposium: [s.n.], 2003: 200-207.
- [6] Bosch Controller Area Network Version 2.0 Protocol Standard[S]. Chicago: Motorola, Inc, 1998.
- [7] 孔令伟,刘志远. 基于时滞特性的车载CAN网关分析与设计[J]. 装备制造技术, 2008(6): 1-5.
- [8] 王俊波,胥布工. CAN报文实时性分析及在线评估[J]. 控制与决策, 2007, 22(4): 448-452.
- [9] PINHO L P, VASQUES F. Integrating Inaccessibility in Response Time Analysis of CAN Networks [C]//Proceeding of the IEEE Int. Workshop on Factory Communication Systems. Porto: [s.n.], 2000: 77-84.

[编辑:罗向阳]