

基于CANoe总线系统实时调度的仿真

Real-time scheduling simulation of bus system based on CANoe

石培科, 邓相红

SHI Pei-ke, DENG Xiang-hong

(三一重工股份有限公司, 长沙 410100)

摘要: 针对工程车辆CAN总线系统由于消息传输时间的不确定性造成的数据传输延时或丢包, 构建了一种主从结构的时分调度策略, 采用改进的均匀装载算法优化调度表设计, 保证工程车辆消息的实时传输。利用CANoe软件构建了工程车辆系统的仿真平台, 仿真结果表明, 主从时分调度策略能降低系统丢包率, 减少错误帧, 系统实时性和可靠性得到有效提高。

关键词: 工程车辆; Can总线; 调度; 均匀装载; CANoe仿真

中图分类号: TP399

文献标识码: A

文章编号: 1009-0134(2013)04(上)-0033-03

Doi: 10.3969/j.issn.1009-0134.2013.04(上).11

0 引言

目前在工程车辆中, 广泛使用CAN总线将车辆上的ABS、变速箱、发动机、总线仪表等部件连接起来, 实现工程车辆行驶、转向及加速过程中的通信。CAN总线通信中具有很强的抗干扰能力和容错能力, 当总线上某个节点发生故障时, 能脱离总线并关闭其数据传输, 保证单个节点故障不影响系统其他节点的正常通信。采用CAN总线的工程车辆存在优先级反转和消息发送时间的不确定性^[2]的问题, 特别是当系统中通信报文越来越多, 负载率越来越大时, CAN总线的这一缺陷将表现得越来越明显。国内外学者已经认识到了CAN总线的这一不足, 并对如何解决这一问题做了相关研究。意大利学者G. Cena和A. Valenzano综合采用TDMA和CSMA技术对CAN总线进行改进^[3], 文献[4]在保持原来CAN通信方式的基础上, 将数据分为硬实时、软实时和非实时三类进行调度, 提高了数据的发送效率, 文献[5]提出动态优先级调度的算法对CAN报文进行调度, 文献[6]引入TTCAN协议, 采用“时间触发机制”来解决CAN实时性问题。如何解决CAN总线通信中的实时性问题是目前国内外研究的一个热点。

1 基于主从结构的时分调度原理

在传统采用CAN总线的工程车辆系统中, 各节点是不分主从的, 只要节点的地址被激活, 任何节点均可在任意时刻主动向总线发送消息。另

外, 传统CAN总线通信系统是基于事件触发的, 没有全局时钟的概念。在主从时分调度中, 首先要在系统中进行两大改变: 一是在网络结构上, 将原来的多主结构变为主从结构; 二是在触发方式上, 将原来的事件触发变为时间触发。

主从式分时调度策略的原理如图1所示。主节点负责控制总线上所有报文的发送时间。首先分析系统通信需求, 确定系统中各节点相互通信的报文信息(报文类型、发送周期等), 预先生成一个调度信息表。时间被分为系统周期、基本周期和最小时窗, 在一个最小时窗内, 可以完成以下动作: 1) 主节点发送一个数据报文到总线上; 2) 主节点向某个从节点发送请求报文, 从节点立即将对应数据报文发送到总线上。主节点在每一个最小时窗的开始时刻都会检查调度信息表, 根据表的信息完成决定报文的发送情况, 若是需要发送自身报文, 则直接将报文发送到总线上; 若是从节点中的报文需要发送, 则首先向该从节点发送请求报文, 此从节点接收到报文后立即将相应报文发送到总线上。

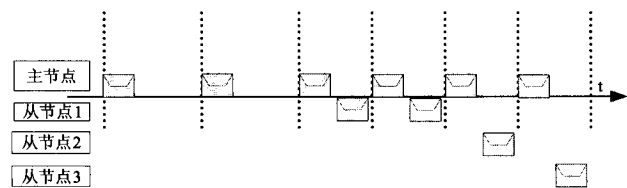


图1 主从式分时调度原理

收稿日期: 2013-01-04

作者简介: 石培科(1973-), 男, 高级工程师, 工学硕士, 研究方向为工程机械及底盘的智能控制研究。

2 改进均匀装载算法进行调度表的设计

在主从结构时分调度中，系统调度表是根据系统实际需求预先生成的。而采用何种方法预先生成调度表就成为系统设计的关键^[8]。改进的均匀装载算法来进行调度表的设计，使得网络中所有报文都按照调度表的时刻准时发送，每一个报文在其时间窗口内独占总线，避免了不同报文发送到总线上的冲突。改进型均匀装载算法进行表的设计步骤为：

1) 将消息按周期大小从小到大进行排列，周期集合表示为 $T=\{T_1, T_2, \dots, T_N\}$ 。

2) 按顺序将每个周期性消息安排到不同的时间窗口中。周期不同的消息安排在时间窗口的不同列，其中对于 n_i 个周期为 T_i 的消息，其安排的时间窗口的最少个数由上面所示的 N_i 决定，按原则先排时间窗口中的同一列，当同一列排满后，再启用一个时间窗口排剩余未安排时刻的信息。这样可以使系统在每个基本周期内，消息负载是基本均匀的。

3) 对于周期性消息来说，一旦消息的起始时刻确定，那么其后面的消息的传输时刻就是确定的。

按照调度表的排列规则，如果所需的时间窗口个数小于基本周期内可以传输的最大信号个数，则可以实现N个周期性消息调度。

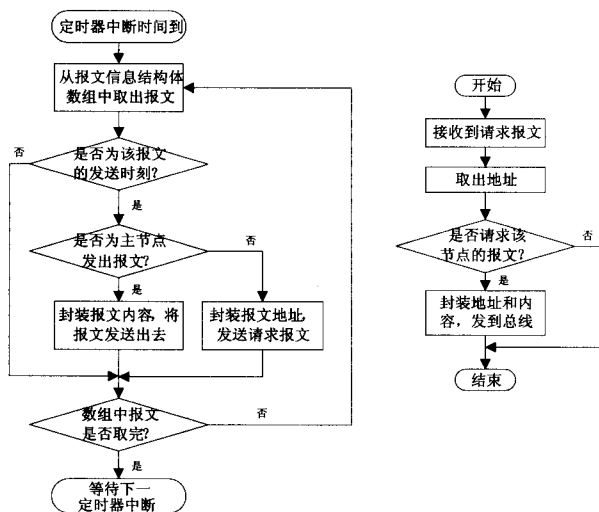
3 主从时分调度节点处理流程

主从时分调度策略中，主节点和从节点的地位是不同的，主节点内进行整个网络的全局调度，决定每个报文的收发时刻，而从节点响应主节点的请求，当接收到主节点发送的请求报文时，才将自己的报文发送出去。主节点的调度是在定时中断中处理的，而从节点的响应是在接收中断中处理的，主从节点调度流程如图2所示。

4 CAN总线系统实时调度的仿真

4.1 CANoe下工程车辆系统设计

CANoe是德国Vector公司开发的网络和ECU开发、测试与分析的专业工具，广泛应用于汽车总线模型的仿真与设计^[9]。工程车辆车身子系统包括以下四个节点：总线仪表、音响视频设备、行驶记录仪CCM以及车身控制器BCM。其中BCM为整个网络的网关，在进行主从结构的网络搭建时，



(a) 主节点调度流程 (b) 从节点调度流程

图2 主从节点调度流程图

将BCM设为主节点，其他三个设备为从节点。网络结构如图3所示，CANoe仿真环境下，工程车辆车身系统仿真界面如图4所示。

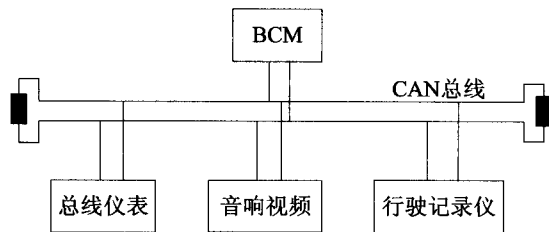


图3 工程车辆车身系统网络结构图

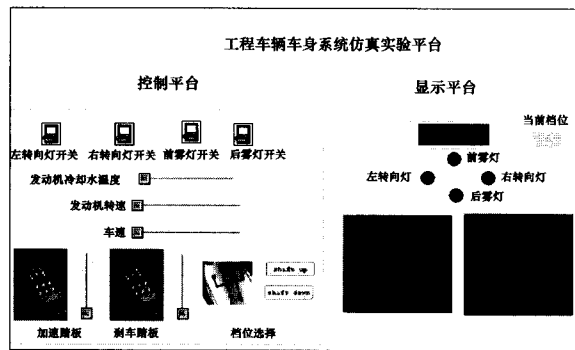
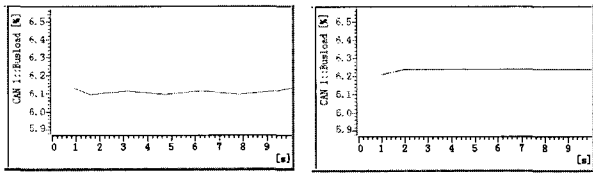


图4 工程车辆车身系统仿真平台界面

4.2 仿真结果分析

在主节点BCM内部进行CAPL编程，实现本文提出的主从时分调度。当在CANoe上将工程车辆车身系统仿真平台建立起来后，对系统编译并运行该系统，借助CANoe的各功能窗口，仿真结果如图5和图6所示。



(a) 未调度前系统负载率变化 (b) 调度后系统负载率变化

图5 系统负载率变化

Time	Can	Name	Dir	MLC	Data
0.402596	1	B4	Tx	8	00 00 00 00 00 00 00 00
0.404440	1	B1	Tx	4	00 00 00 00
0.406440	1	B2	Tx	4	00 00 00 00
0.408592	1	B3	Tx	8	00 00 00 00 00 00 00 00
0.410320	1	QP	Tx	1	04
0.410716	1	C1	Tx	3	FF 07 03
0.412320	1	QP	Tx	1	05
0.412716	1	C2	Tx	3	7F FF 07
0.414320	1	QP	Tx	1	06
0.414784	1	C3	Tx	5	20 20 20 20 20
0.416316	1	QP	Tx	1	0A
0.416636	1	Z1	Tx	1	58
0.418592	1	B10	Tx	8	00 00 00 00 00 00 00 00
0.420320	1	QP	Tx	1	10
0.420648	1	S1	Tx	1	01
0.452596	1	B4	Tx	8	00 00 00 00 00 00 00 00
0.502596	1	B4	Tx	8	00 00 00 00 00 00 00 00
0.504440	1	B1	Tx	4	00 00 00 00
0.506440	1	B2	Tx	4	00 00 00 00
0.508592	1	B3	Tx	8	00 00 00 00 00 00 00 00
0.510320	1	QP	Tx	1	04
0.510716	1	C1	Tx	3	FF 07 03
0.512320	1	QP	Tx	1	05
0.512716	1	C2	Tx	3	7F FF 07
0.514320	1	QP	Tx	1	06
0.514784	1	C3	Tx	5	20 20 20 20 20
0.516316	1	QP	Tx	1	0A
0.516636	1	Z1	Tx	1	58
0.518592	1	B10	Tx	8	00 00 00 00 00 00 00 00

图6 系统报文发送顺序窗口

图5为系统负载率变化图，调度后工程车辆车身系统总线负载率由6.11%变为6.24%，没有错误帧。图6为系统总线上的报文发送顺序图，由图可看出总线上所有报文的发送顺序和发送时刻。B4为周期50ms的报文，其周期最小，因而最先发送。QP为系统中主节点BCM发出的请求报文，当从节点行驶记录仪、总线仪表、视频机等要发送报文时，先由主节点BCM发出请求报文QP，从节点再发送报文，如报文C1的发送。各报文发送顺序与预先生成调度表中报文排列顺序一致，且未出现发送延时。

未采用调度前，工程车辆车身系统负载率为6.11%，但是系统中有错误帧，出现错误帧概率为0.5%。由以上运行结果可知，采用本文提出的主从结构的时分调度策略后，虽然总线负载率有所增加，变为6.24%，但是网络中未出现错误帧，各报文发送未出现延时，均按照调度表的时刻准时发送。因此，相对于传统的基于CAN的工程车辆控制系统，采用主从时分调度策略能，防止报文发生冲突，保证网络上所有报文的可靠传输。

5 结论

工程车辆上的电子控制单元会越来越多，而传统的多主发送的CAN网络结构将会越来越不适应工程车辆实时性和可靠性的需求。采用主从结构的时分调度策略和改进均匀装载算法设计调度表，通过在主节点内对全网调度，能够使系统中所有报文按调度时刻发送，解决了网络上的报文冲突，提高了工程车辆系统的实时性和可靠性。

参考文献:

- [1] 熊福昌.汽车CAN总线通信技术研究[D].武汉科技大学, 2009.
- [2] 杨福宇.CAN总线的局限[J].电子设计应用.2006(11): 32-34.
- [3] Cena G,Valenzano A.A multistage hierarchical distributed arbitration technique for priority-based real-time communication systems[J].Industrial Electronics, IEEE Transactions on.2002,49(6):1227-1239.
- [4] Pengliu T,Hai J,Minghu Z.A hybrid scheduling scheme for hard, soft and non-real-time tasks[Z].20067.
- [5] 巴巍.实时系统动态优先级任务调度算法的研究[D].大连理工大学,2010.
- [6] 廖晓文.一种改进的时间触发CAN总线技术及实现[J].组合机床与自动化加工技术.2009(9):19-21.
- [7] 杜微.混合动力电动汽车TTCAN网络研究[D].北京交通大学,2008.
- [8] 曹万科,张天侠,刘应吉,等.基于TTCAN的汽车控制系统信息调度设计与分析[J].农业机械学报.2007(12):41-44.
- [9] Development Method of Simulation and Test System for Vehicle Body CAN Bus Based on CANoe[Z].重庆:2008.