

车载 CAN 和 FTTCAN 网络设计与调度策略^{*}

王书举 张天侠 张国胜

(东北大学机械工程与自动化学院, 沈阳 110004)

【摘要】 针对 CAN 总线不能有效处理时间触发的周期信息和事件触发信息共网实时性通信问题, 考虑网络设计、调度的灵活性, 将 FTTCAN (flexible time triggered CAN) 引入汽车动力控制系统, 与车身控制系统低速 CAN 互联组建车载网络, 给出了 FTTCAN 同步相调度中周期信息调度表 SchT 的制定方法, 通过分析车载网络系统实时性与确定性, 验证了该方案的可行性和优越性。

关键词: 车载网络 CAN 总线 柔性时间触发控制器局域网络 调度

中图分类号: U463.6; TP336 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)02-0014-04

Networks Design and Schedule Strategy of CAN and FTTCAN in Vehicle

Wang Shuju Zhang Tianxia Zhang Guosheng

(School of Mechanical Engineering and Automation, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract

Controller area network (CAN) can not deal with event-triggered traffic and time-triggered traffic simultaneously and efficiently in real time system. Considering the flexibility of design and schedule, flexible time triggered CAN (FTTCAN) was introduced to manage the power transmission system in vehicle and build up in-vehicle networks with CAN by linking with gateway. The method of allot messages in scheduling table (SchT) in synchronous phase was introduced. The analysis results of system such as real time performance and dependability verified the proposed scheme was feasible and showed perfect performance.

Key words In-vehicle networks, CAN bus, Flexible time triggered CAN, Schedule

引言

网络技术是汽车电子技术的关键部分,其通信和资源共享能力影响电子与计算机技术在车上的应用^[1]。车载网络系统应具有较好的时间特性、容错能力、支持诊断、同时支持时间触发与事件触发的共网通信和设计灵活等特点^[2]。由于性能需求及应用特征的不同,车载网络往往是多层互连的网络结构,汽车控制系统主要包括动力控制系统和车身电子控制系统^[3],通常动力控制系统采用高速 CAN 互连,车身电子控制系统采用低速 CAN 互连,高、低速 CAN 总线之间用网关互联组成网络。CAN 协议总线的突出优点在于灵活性好,缺点是不能保证信息发送时间的确定性,当存在冲突时低优先级的信息

发送成功所需要仲裁的次数是随机的,CAN 协议不能很好地保证系统时间触发信息的时间特性。TTCAN 协议^[4]在 CAN 的基础上增加了会话层,采用双相结构实现了时间触发和事件触发两种不同机制驱动的信息共网通信,但其基于静态调度机制,调度表不允许在线运行时实时更新,当新信息加入或调整调度策略时必须更改所有节点的调度表内容,故其配置灵活性较差^[5]。FTTCAN 采用双相结构,同时支持事件触发与时间触发机制,其时间触发调度集中在主节点,允许在线变换调度策略及新信息在网络运行时加入网络^[5],有效克服了 TTCAN 协议静态调度的缺点,可提供更完善的车载信息通信功能。因此,本文将 FTTCAN 引入汽车动力控制系统,与车身 CAN 组成整车网络,并研究 FTTCAN 信息调度策略。

收稿日期: 2010-02-22 修回日期: 2010-04-09

^{*} 国家自然科学基金资助项目(50875042)

作者简介: 王书举,博士生,主要从事基于 CAN 总线的汽车电子化与自动化研究,E-mail: wangshuju126@126.com

的比率分配优先级,事件产生的时间间隔越小即比率越大,则被分配的优先级越高,反之则越低^[7]。即分配车身 CAN 总线信息优先级时,信息连续两次申请发送之间的最小时间间隔越小,分配信息的优先级越高,信息的 ID 越小。

2.4.2 动力传动控制系统 FTTCAN 网络调度

动力传动控制系统 FTTCAN 网络的调度分为同步相调度和异步相调度,主要设计任务有:选择调度策略、规划同步相信息触发时间(即构建同步相信息调度表(SchT)),SchT 的每一行信息即为对应基本周期内要触发的周期信息。选择 RM 算法调度同步相与异步相内的信息,构建同步相调度表 SchT 的方法如下:

- (1)取基本周期 T_{BC} 为各周期值最大公约数,记 M 为周期个数,周期为 T_i 的信息 n_i 个, $i \in [1, M]$ 。
- (2)for($i = 1; i < M + 1; i++$)。
- (3)按优先级降序排列 T_i 组信息。
- (4)记 $M_{BC} = \lceil T_i / T_{BC} \rceil$,将 T_i 组的信息分成 M_{BC} 个组,每组最多分配 $\lceil n_i / M_{BC} \rceil$ 个信息,各信息按其周期分布于 SchT 的各基本周期中,第 n 基本周期中分配的信息记为集合 $S(n)$ 。
- (5)当基本周期的个数达到各个周期的最小公倍数后 SchT 完成一个调度循环,每个信息至少被触发一次。

按以上步骤得周期信息的 SchT 如表 2 所示。

表 2 同步相 SchT 信息分布
Tab.2 Messages distribution in SchT

基本周期	周期信息分布
$BC(n-1)$	$S(n-1) \{ S_1 \sim S_{18}, S_{28} \sim S_{29} \}$
$BC(n)$	$S(n) \{ S_1 \sim S_9, S_{19} \sim S_{27}, S_{30} \sim S_{31} \}$
$BC(n+1)$	$S(n+1) \{ S_1 \sim S_{18}, S_{32} \sim S_{33} \}$

3 车载网络性能分析

采用网络特性参数最坏响应时间和发送周期最糟抖动来分析网络实时性及确定性,并对分别采用 FTTCAN 和 CAN 时动力传动子网的网络特性进行

对比分析。
3.1 网络性能分析方法

3.1.1 网络实时性分析方法

信息 m 在最坏传输条件下从申请发送到发送成功所用的时间称为最坏响应时间,记为 t_{Rm} ,若信息最坏响应时间满足其截止期限,则该信息满足实时性要求^[7~8],即

$$t_{Rm} < t_{Dm} - t_{jm} \tag{1}$$

$$t_{Rm} = t_{Bm} + t_{Wm} + t_{Cm} \tag{2}$$

$$t_{Cm} = \left(8d_m + 47 + \left\lfloor \frac{33 + 8d_m}{4} \right\rfloor \right) \tau_{bit} \tag{3}$$

- 式中 t_{Dm} ——信息有效期限
 t_{jm} ——软件抖动时间
 t_{Bm} ——信息 m 被阻碍时间
 t_{Wm} ——信息 m 等待高优先级信息传输时间
 t_{Cm} ——信息 m 传输时间
 τ_{bit} ——位传输时间

车身 CAN 网络中信息可能被正在传输的低优先级信息所阻碍,采用 RM 调度时信息的 t_{Bm} 、 t_{Wm} ^[7] 为

$$\begin{cases} t_{Bm} = \max_{i \in l(m)} \{ t_{Ci} \} \\ t_{Wm}^{n+1} = \sum_{j \in h(m)} \left\lfloor \frac{t_{Wm}^n + \tau_{bit} + t_{Jj}}{T_j} \right\rfloor t_{Cj} \end{cases} \tag{4}$$

- 式中 $l(m)$ ——优先级小于 m 的信息集
 $h(m)$ ——优先级大于 m 的信息集
 T_j ——信息周期

FTTCAN 各节点根据主节点触发信息的指示申请发送周期信息,因此在同步相内传输的信息不受低优先级信息的阻碍,同步相周期信息 t_{Bm} 、 t_{Wm} 为

$$\begin{cases} t_{Bm} = 0 \\ t_{Wm} = \sum_{j \in h(m) \subset S(n)} t_{Cj} \end{cases} \tag{5}$$

FTTCAN 异步相内传输的随机信息无法事先规划,分析时要考虑最坏情况^[9],异步相信息除了被低优先级信息阻碍,还可能被触发信息和同步相阻碍,异步相信息的 t_{Bm} 、 t_{Wm} ^[5] 为

$$\begin{cases} t_{Bm} = \max_{j \in l(m) \subset A} \{ t_{Cj} \} + T_{\alpha} + T_s + T_{TM} \\ t_{Wm}^{m+1} = t_{Wm}^m + A(t_{Wm}^m) - H_i(t_{Wm}^m), t^1 = H_i(0) \\ H_i(t) = \sum_{j \in h(i)} \left\lceil \frac{t + t_{Bi}}{\text{mit}(j)} \right\rceil t_{Cj} \\ A(t) = \begin{cases} \sum_{j=1}^n T_{Aj} + t - nT_{BC} & (nT_{BC} < t < nT_{BC} + T_{Aj}) \\ \sum_{j=1}^{n+1} T_{Aj} & (nT_{BC} + T_{Aj} < t < (n+1)T_{BC}) \end{cases} \quad \left(n = \left\lfloor \frac{t}{T_{BC}} \right\rfloor \right) \end{cases} \tag{6}$$

式中 T_s ——最大同步相长度
 T_α ——两相之间最大间隔
 $\text{mit}()$ ——最小时间间隔
 A ——FTTCAN 随机信息集合

3.1.2 周期信息传输确定性分析

系统确定性参数最糟糕抖动 J_{pm} 为

$$J_{pm} = \frac{t_{wm} + t_{Bm} + t_{Jm}}{T_m} \times 100\% \tag{7}$$

3.2 车载网络性能分析

采用 CAN 标准信息帧格式,取车身 CAN 网络波特率为 125 Kb/s,动力传动系统 FTTCAN 网络波特率为 1 Mb/s,考虑现场因素取软件抖动时间为 1 ms。

车身控制信息 m 产生的最小时间间隔一般不小于 100 ms,即车身网络的信息传输期限应不大于 100 ms。根据上述分析,车身各控制信息的最坏响应时间为 1.2 ~ 20.4 ms,满足实时要求。

根据 3.1 节分析,动力传动子网分别采用 CAN 和 FTTCAN 时,周期信息、随机信息的最坏响应时间分析结果如图 4、5 所示,周期信息传输确定性分析结果如图 6 所示。

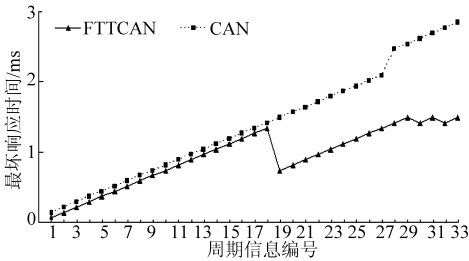


图4 动力传动子网周期信息最坏响应时间
Fig.4 Worst response time of periodic messages

由图 4、6 可见,与采用 CAN 相比,FTTCAN 中周期信息最坏响应时间明显缩短,发送最糟糕抖动明显改善,从而确保了周期性信息的时间特性,系统实时性、稳定性增强;图 5 中 FTTCAN 的部分随机信息最坏响应时间略有增加,但增量的最大值 2.475 ms 远小于其截止期 100 ms,信息实时性得到保证。

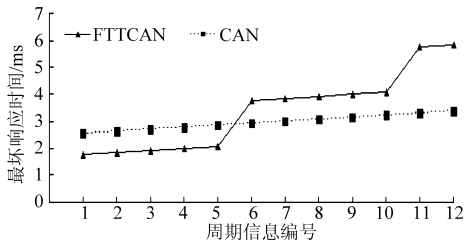


图5 动力传动子网随机信息最坏响应时间
Fig.5 Worst response time of sporadic messages

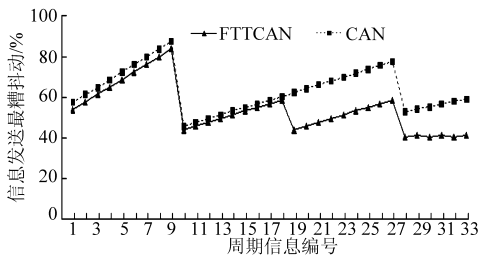


图6 动力传动子网周期信息发送最糟糕抖动
Fig.6 Worst transmitting jitters of periodic messages

4 结束语

将 FTTCAN 协议应用于汽车动力传动控制系统,与车身 CAN 子网一起组建车载网络,研究了 FTTCAN 同步相周期信息的调度方法。网络性能分析说明,引入 FTTCAN 提高了系统的实时性、确定性及配置灵活性。

参 考 文 献

1 秦贵和, 葛安林, 李柱张, 等. 汽车网络技术[J]. 汽车工程, 2003, 25(2):151 ~ 155.
Qin Guihe, Ge Anlin, Lee Jujang, et al. In-vehicle networks[J]. Automotive Engineering, 2003, 25(2):151 ~ 155. (in Chinese)

2 Nolte T, Hansson H, Bello L. Automotive communications past, current and future [C] // Proceedings of 10th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, Catania, Italy, 2005, 1: 992 ~ 999.

3 Schöner H P. Automotive mechatronics[J]. Control Engineering Practice, 2004, 12(11): 1 343 ~ 1 351.

4 Leen G, Heffernan D. TTCAN: a new time-triggered controller area network[J]. Microprocessors and Microsystems, 2002, 26(2):77 ~ 94.

5 Almeida L, Pedreiras P, Alberto J G. The FTT-CAN protocol: why and how [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2002, 49(6):1 189 ~ 1 201.

6 Caval S, Stefano A D, Mirabella O. Mapping automotive process control on IEC/ISA field bus functionalities [J]. Computers in Industry, 1996, 28(3):233 ~ 250.

7 Tindell K, Burns A, Wellings A J. Calculating controller area network (CAN) message response times [J]. Software Engineering Journal, 1995, 21(3): 15 ~ 19.

参 考 文 献

1 Willy Klier, Martin Kieren, Wolfgang Schröder. Integrated safety concept and design of a vehicle dynamics management system[C]. SAE Paper 2007-01-0842, 2007.

2 Holger Duda, Stefan Berkner. Integrated chassis control using active suspension and braking[C]. AVEC04.

3 Hwang T H, Park K, Heo S J. Design of integrated chassis control logics for AFS and ESP[J]. International Journal of Automotive Technology, 2008, 9(1): 17 ~ 27.

4 李道飞, 喻凡. 基于最优轮胎力分配的车辆动力学集成控制[J]. 上海交通大学学报, 2008, 42(6): 887 ~ 891.
Li Daofei, Yu Fan. Integrated vehicle dynamics controller design based on optimum tire force distribution[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2008, 42(6): 887 ~ 891. (in Chinese)

5 Yang Xiujian, Wang Zengcai, Peng Weili. Coordinated control of AFS and DYC for vehicle handling and stability based on optimal guaranteed cost theory[J]. Vehicle System Dynamics, 2009, 47(1): 57 ~ 79.

6 朱冰, 李幼德, 赵健, 等. 基于多变量频域控制方法的车辆底盘集成控制[J]. 农业机械学报, 2010, 41(1): 14 ~ 17.
Zhu Bing, Li Youde, Zhao Jian, et al. Integrated chassis control based on multivariable frequency domain control methods [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(1): 14 ~ 17. (in Chinese)

7 宗长富, 胡丹, 杨肖, 等. 基于扩展 Kalman 滤波的汽车行驶状态估计[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2009, 39(1): 7 ~ 11.
Zong Changfu, Hu Dan, Yang Xiao, et al. Vehicle driving state estimation based on extended Kalman filter[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2009, 39(1): 7 ~ 11. (in Chinese)

8 Wang Liuping. Model predictive control system design and implementation using MATLAB[M]. London: Springer-Verlag London Limited, 2009.

9 席裕庚. 预测控制[M]. 北京: 国防工业出版社, 1993.

10 余志生. 汽车理论[M]. 4 版. 北京: 机械工业出版社, 2006.

11 Forkenbrock G J, Garrott W R. An experimental examination of J-Turn and fishhook maneuvers that may induce on-road, untripped, light vehicle rollover[C]. SAE Paper 2003-01-1008, 2003.

(上接第 17 页)

8 Nolte T, Hansson H, Norstr M C. Probabilistic worst-case response-time analysis for the controller area network[C] // Proceeding of the 9th IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium, 2003.

9 曹万科, 张天侠, 闻邦椿, 等. 柔性时间触发控制器局域网络(CAN)控制系统动态规划应用与性能分析[J]. 机械工程学报, 2008, 44(5): 142 ~ 146.
Cao Wanke, Zhang Tianxia, Wen Bangchun, et al. Application and performance analysis of dynamic-planning-based flexible time triggered controller area network [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2008, 44(5): 142 ~ 146. (in Chinese)