

引用格式:李泽亚,刘泽响,王瑞晓. CAN FD 总线自动发送延迟补偿方法研究[J]. 微电子学与计算机,2020,37(11):61-65.
[LI Z Y,LIU Z X,WANG R X. Study of CAN FD bus automatic transmission delay compensation method[J]. Microelectronics & Computer,2020,37(11):61-65.]

CAN FD 总线自动发送延迟补偿方法研究

李泽亚,刘泽响,王瑞晓

(西安微电子技术研究所,陕西 西安 710054)

摘 要: 随着使用条件与工作环境的愈发严苛,传统 CAN 总线的速率与带宽不能满足使用要求,CAN FD 总线应运而生。但是 CAN FD 总线的发送速率却受到了自身延迟的影响,必须使用发送延迟补偿机制才可以突破发送速率的限制。本文分析了发送速率受限的原因,并提出了一种自动控制的发送延迟补偿方法,在自研控制器中进行了实现。控制器通过实时报文的发送情况灵活开启补偿机制,可以动态的定位补偿机制中二次采样点的位置,最终可以提高控制器整体的稳定性与灵活性。

关键词: CAN FD;位速率转换;发送速率受限;发送延迟补偿

中图分类号: TP311 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000—7180(2020)11—0061—05

Study of CAN FD bus automatic transmission delay compensation method

LI Ze-ya,LIU Ze-xiang,WANG Rui-xiao

(Xi'an Microelectronics Technology Institute, Xi'an 710054,China)

Abstract: With the using conditions and working environment become more and more severe, the rate and bandwidth do not meet the requirements of traditional CAN bus, CAN FD bus arises at the historic moment. But the sending rate of CAN FD bus influenced by its delay, must use the transmission delay compensation mechanism. The paper analyses the reasons of the limited transmission speed, and put forward a kind of automatic transmission delay compensation method,whichimplemented in independently developed controller. The controller can flexibly turns on the compensation mechanism through real-time message, which can dynamically locate the position of the secondary sample points and ultimately improve the stability and flexibility of the controller.

Key words: CAN FD;bit rate switch; limited transmission rate;transmission delay compensation

1 引言

CAN 总线是国际上应用最为广泛的开放式现场总线之一,但随着工作环境中使用条件的愈发严苛,应用需求的逐渐增加,对应用广泛的 CAN 总线带宽、速率的要求越来越高,传统的 CAN2.0 的 1 Mb/s 的波特率已经难以满足现有的要求^[1],为了满足高传输速率与高带宽的要求,BOSCH 公司从 2011 年开始研究可变速率 CAN(CAN with Flexi-

ble Data-Rate,简称 CAN FD),最新的 CAN FD 协议是 ISO11898-1:2015,协议中突破了经典 CAN 中 1Mb/s 的波特率,在数据段可以切换到更高的波特率,最高可达 10 Mb/s,并且通过支持高达 64 个字节的场,可以将带宽扩展到原先的 8 倍。但是在 CAN FD 报文中发送速率受到了控制器自身延迟的影响,延迟会限制发送器可以达到的最高速率,因此需要加入发送延迟补偿,本文提出了一种自动发送延迟补偿的方法。

2 发送速率受限原因与影响分析

2.1 基本帧结构

CAN FD 帧包括数据帧,错误帧,过载帧. 与经典的 CAN 帧相比,错误帧与过载帧没有变化,CAN FD 帧中没有远程帧,数据帧的结构发生了变化,如图 1,以扩展帧为例,数据帧中新加入了 RRS,BRS,ESI 位.

RRS(Remote Request Substitution): 远程请

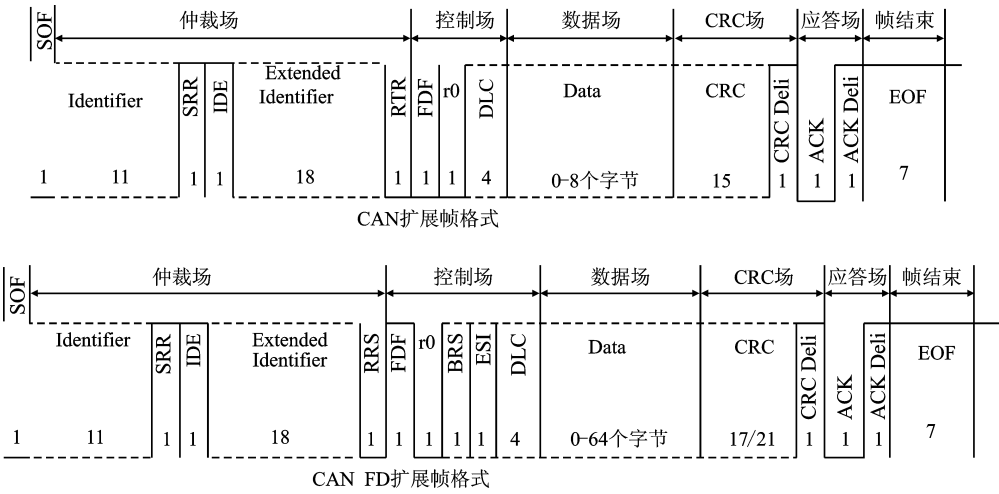


图 1 CAN 与 CAN FD 数据帧扩展帧格式

2.2 更高的传输速率与带宽

在 CAN FD 中可以在一帧报文的传输中使用两种位速率,一种标称位速率,一种数据位速率,如图 2,在 BRS 位的采样点后到 CRC 界定符的采样点之前是数据段,可以使用更高的波特率进行数据的通信. 在其他的位置使用标称位速率,这样可以根据实际使用时的传输数据的长度,传输带宽与传输速率的要求,选择适当的数据段波特率进行通信,提高效率.

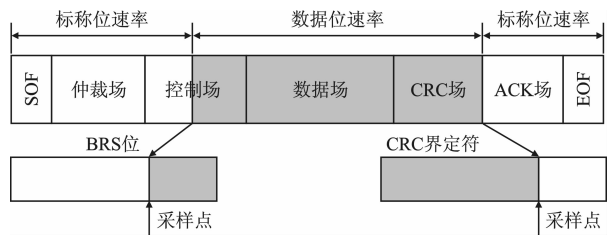


图 2 CAN FD 帧中位速率变化

更高的带宽是体现在 CAN FD 中控制场 DLC 编码的拓宽,在 CAN FD 控制场的 DLC (Data Length Control)中,可以将数据帧中的数据由 CAN 协议中的最高 8 个字节提高到 64 个字节. 如图 3 表

求取代位,只存在 CAN FD 帧中,是一个显性位,取代了 CAN 格式中 RTR(Remote Transmission Request)位;BRS(Bit Rate Switch):位速率转换位,只存在于 CAN FD 帧中,表示是否进行位速率的切换,在数据段以更短的位时间进行数据的传输,为隐性表示使用不同的位速率;ESI(Error State Indicator):错误状态标志位,用以标记目前发送节点的错误状态.

示 DLC 编码对应的数据场中的数据字节数,传统的 CAN 帧中 DLC 编码对应的值最多为 8 个字节,当超过 8 个字节时默认此时的数据段只含 8 字节的数据. 但是在 CAN FD 帧中 DLC 编码在超过 8 字节时不是一种线性变化,是呈阶梯状上升,一次携带最多 64 个字节的数据.

	Number of Data Bytes	Data Length			
		DLC3	DLC2	DLC1	DLC0
CAN FD And CAN	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	1
	2	0	0	1	0
	3	0	0	1	1
	4	0	1	0	0
	5	0	1	0	1
	6	0	1	1	0
Can Format	7	1	1	1	1
	8	1	0/1	0/1	0/1
CAN FD	8	1	0	0	0
	12	1	0	0	1
	16	1	0	1	0
	20	1	0	1	1
	24	1	1	0	0
	32	1	1	0	1
	48	1	1	1	0
	64	1	1	1	1

图 3 CAN 与 CAN FD 中 DLC 编码

通过 BRS 位与 DLC 位的控制,在不改变外部结构的前提下就会提高了总线的带宽与速度.

2.3 CAN FD 发送速率受限

在 CAN FD 帧中,若是使用到了数据位速率,在 BRS 位采样点后会切换到数据位速率,数据段的波特率最高可以到 10 Mb/s,在 CAN 或 CAN FD 中发送器会接受总线上的数据判断发送出去的位与接收到的位值是否一致,若不一致会触发位错误并中止正常报文的发送并开始发送错误帧.

在 CAN 中或者在 CAN FD 中以标称位速率进行通信时,内部延迟 Delay 的影响会通过同步方式(重同步与硬同步)来弥补相位的偏移,在接收到一帧报文的帧起始时引入硬同步机制,强行将节点的位时间调整到与接收到报文的位时间一致,在接收报文中每检测到一个下降沿且下降沿没有落入位时间的同步段时会启用重同步机制来保证在采样点采集到正确的位,在 CAN 中标称位速率下同步的机制足以满足节点自身的延迟所带来的影响.

但在 CAN FD 帧中以数据位速率进行通信时,当位时间缩短,内部延迟的时间权重会加大,当位速率超过一个阈值时,内部延迟过大,会使发送器出现发送到总线上的值与接收到总线上的值不同,这样会触发发送器的位错误判断,限制了发送器的速率.举例说明,如图 4 中,发送位流是发送器发送到总线上的位流,接收位流是发送器从总线上接收到的位流,在这种情况下,发送器在采样点无法采到正确的值,在图中 A 的值应在延迟 Delay 后才可以采集到正确的值,可以看到,在发送 B 的采样点处采样到的数据是 A,这种情况下发送器是无法在突破了阈值的位速率下工作的,也就相当于限制了 CAN FD 的速率.这种情况下需要采用发送延迟补偿机制.

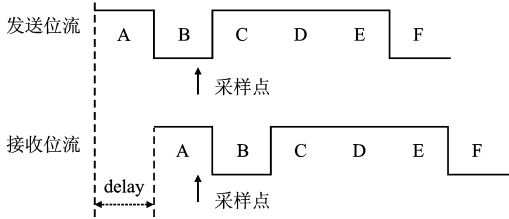


图 4 延迟引起的发送速率限制

3 自动发送延迟补偿方法

3.1 测量点选取与阈值计算

针对发送速率受限,提出了自动发送延迟补偿方法,关键点在于计算位速率的阈值与测量控制器

的固定延迟值.

首先是选取测量固定延迟的位置,如图 5,在 CAN FD 帧中 FDF 位若是 CAN 帧该位是“0”,若是 CAN FD 帧,该位是“1”,也就是说在位速率要切换到数据位速率之前,FDF 位到之后的保留位 res 位之间必然是一个下降沿,且在 CAN FD 中为了弥补延迟,在 FDF 位到 res 之间若是下降沿也会进行一次硬同步来调整进入数据段的位时间位置.一个 CAN FD 控制器在发送接收每一位时的延迟是在一个小范围内波动的,取 FDF 位到 res 位的下降沿作为延迟 Delay 测量的位置是可取的,Delay 的测量值就是发送下降沿到收到下降沿之间的时间间隔.

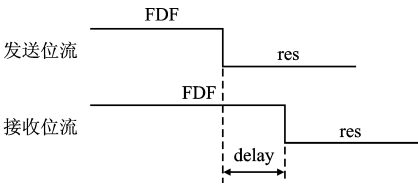


图 5 固定延迟测量

判断位速率阈值,如图 6 在 CAN FD 帧中每一个位时间被分为了 4 个部分,Sync_seg(同步段)、Prop_seg(传播段)、Phase_seg1(相位缓冲段 1)、Phase_seg2(相位缓冲段 2).采样点跟随在 Phase_seg1 之后,在图 6 中,若是延迟 Delay 的值高于 Sync_seg+ Prop_seg+ Phase_seg1 的时间长度那就必然采集不到正确的值,但是还需要对阈值做一个更加详细的考虑,在 CAN FD 中,若是考虑阈值设计为采样点之前的三段那么对于接近了极限阈值位置的位流,线上延迟一旦发生变化就会出现错误,因此将 Prop_seg+ Phase_seg1 的值作为位时间阈值,预留 sync_seg 的值做为容忍时间.最终计算的位时间阈值记做 BTTV (Bit TimeThresholdValue).

3.2 补偿时间计算

在测量了固定延迟 Delay 的值与计算了位时间阈值 BTTV 后就完成了两个关键数据的测量,接下来就是确定补偿时间的计算方式,如图 7 在发送延迟补偿中引入了 SSP(Secondary Sample Point,第二采样点简称 SSP),当启动了发送延迟补偿后,不以 SP(Sample Point,采样点简称 SP)处采集到的值作为位错误的判断条件,以 SSP 处采样到的值作为判断条件,SSP 与 SP 之间的时间长度就是补偿时间 CT(Compensation Time,补偿时间简称 CT),用户可以预设一个偏移值 Offset,偏移值默认为 0,只

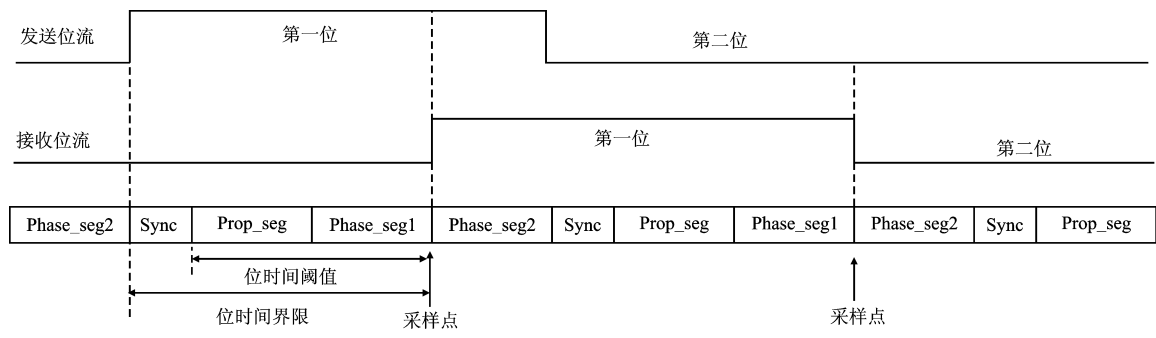


图 6 位时间阈值

有在实际使用时由于延迟引起了位错误,且补偿机制没有实现功能时,才会根据实际情况设置 Offset 的值,Offset 的设置应为 sync_seg 时间长度的整数倍,偏移值存在的意义是为了对补偿时间进行调整.为了防止总线上信号出现不稳定的情况,可以将偏移值设置为 0~64 之间,这样就会至少在确定了固定延迟之后预留出一个数据位时间的长度作为可以调整的区域,补偿时间的计算如下:

$$CT = Delay \pm Offset$$

最后得到的补偿时间应该是同步段 sync_seg 时间的整数倍,这样就可以确定 SSP 的位置.在使用发送延迟补偿机制时,位错误的判断就会忽略 SP 采样到的值,而使用 SSP 采样到的值作为判断依据.

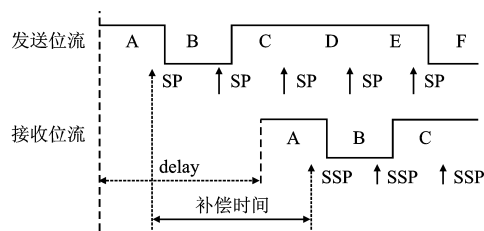


图 7 发送延迟补偿中 SSP 位置的确认

4 实现流程

确认了关键参数 Delay, BTTV, CT 的值就可以实现自动发送延迟补偿,补偿流程如图 8,在开始发送帧时,判断 FDF 位确认发送的帧是否为 CAN FD 帧,若是 CAN 帧则正常发送不启用补偿,若是 CAN FD 帧继续判断 BRS 位是否需要采用数据位速率传输数据,若只是用一种位速率,不开启补偿,使用两种位速率则继续判断位时间阈值 BTTV 与固定延时 Delay 的大小,当 Delay > BTTV 时,开启发送延迟补偿,使用自动发送延迟补偿就会忽略 SP 处采样值的值,以 SSP 处采集到的值为位错误判断

依据,当在 SP 处检测到 CRC 界定符,且判断已经接收完数据段位流,则自动发送延迟补偿结束,若在 SP 处检测到了 CRC 界定符时 SSP 并没有完成 CRC 序列的采样,则向后在 SSP 继续采样到 CRC 界定符后结束自动发送延迟补偿机制.这样就完成了控制器发送一帧 CAN FD 报文中自动发送延迟补偿的控制.

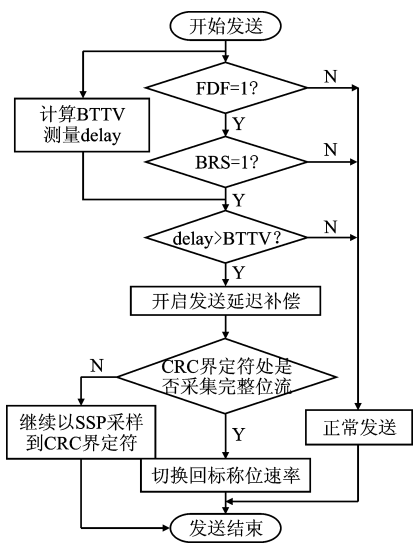


图 8 自动发送延迟补偿流程

5 结束语

本文研究了 CAN FD 协议 ISO11898-1:2015, 分析了 CAN FD 使用发送延迟的原因,提出了一种自动发送延迟补偿方法,用户不需要专注于是否开启发送延迟补偿模式,只需要根据实际使用时的情况设置一个偏移值就可以完成发送延迟补偿的控制,CAN FD 控制器可通过该方法自动计算是否进入发送补偿模式,规避了延迟引起的位错误对发送速率的限制,同时也避免了发送中需要根据接收到的帧重新进行配置而可能出现的丢帧情况.

参考文献:

- [1] 郭创建,王琳煜. 基于 MCP2517FD 的 CAN FD 通信实现[J]. 现代信息科技, 2019, 3(16): 67-68. DOI: 10.3969/j.issn.2096-4706.2019.16.025.
- GUO C J, WANG L Y. Implementation of CAN FD communication based on MCP2517FD[J]. Modern Information Technology, 2019, 3(16): 67-68. DOI: 10.3969/j.issn.2096-4706.2019.16.025.
- [2] 彭国文,陈剑栋,张林. 基于 Linux 平台的 CAN-FD 技术探索[J]. 现代信息科技, 2019, 3(16): 59-61. DOI:10.3969/j.issn.2096-4706.2019.16.022.
- PENG G W, CHEN J D, ZHANG L. Exploration of CAN-FD technology based on Linux platform[J]. Modern Information Technology, 2019, 3(16): 59-61. DOI:10.3969/j.issn.2096-4706.2019.16.022.
- [3] 罗峰,胡强,刘宇. 基于 CAN-FD 总线的车载网络安全通信[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2019, 47(3): 386-391. DOI: 10.11908/j.issn.0253-374x.2019.03.012.
- LUO F, HU Q, LIU Y. Secure communication method for in-vehicle network based on CAN-FD bus[J]. Journal of Tongji University(Natural Science), 2019, 47(3): 386-391. DOI: 10.11908/j.issn.0253-374x.2019.03.012.
- [4] 杨福宇. CAN FD 的一种协议缺陷[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2019, 19(1): 7-11.
- YANG F Y. Protocol flaw in CAN FD[J]. Microcontrollers & Embedded Systems, 2019, 19(1): 7-11.
- [5] 关键斌,吴志红,朱元,等. 基于 AUTOSAR 标准的 CAN FD 通信实现[J]. 信息通信, 2020(3): 5-8.
- GUAN J B, WU Z H, ZHU Y, et al. An implementation of CAN FD communication based on AUTOSAR[J]. Information & Communications, 2020(3): 5-8.
- [6] 刘乐乐. 基于 CAN FD 的车载 Bootloader 研究与实现[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2017.
- LIU L L. Research and implement of vehicle Bootloader based on CAN FD[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2017.
- [7] 王璐杰,张凤登,刘鲁平,等. CAN FD 总线报文响应时间研究[J]. 软件导刊, 2020, 19(1): 256-261.
- WANG L J, ZHANG F D, LIU L P, et al. Research on message response time of CAN FD bus[J]. Software Guide, 2020, 19(1): 256-261.
- [8] XIE Y, ZENG G, RYO K, et al. An optimized design of CAN FD for automotive cyber-physical systems[J]. Journal of Systems Architecture, 2017(81): 101-111. DOI:10.1016/j.sysarc.2017.10.008.

作者简介:

李泽亚 男,(1993-),硕士研究生.研究方向为嵌入式系统. E-mail:18392600309@163.com.

刘泽响 男,(1978-),研究员,硕士生导师.研究方向为嵌入式系统.

王瑞晓 女,(1983-),硕士,高级工程师.研究方向为计算机应用技术.