

# CAN 总线控制器 IP 核设计实现

赵 强,田 泽,楼小强,马 超

(中国航空计算技术研究所,陕西 西安 710119)

**摘 要:** CAN 总线是一种成熟的串行通信总线,它具有可靠性高、稳定性好、抗干扰能力强、通信速率高、维护成本低、实时性强、很好的开放性 & 数据兼容性等优点。CAN 总线这些众多的优点使其广泛应用于工业自动化控制等领域。其应用的广泛性则进一步对 CAN 总线 IP 提出了需求。同时以 IP 实现的 CAN 总线控制器所具有的通用处理器访问接口,良好的可移植性等优点使其可以集成于各种嵌入式 SoC 设计中。文中从 CAN 总线的规范和特点出发,提出了 CAN 总线控制器 IP 核的特点并定义了其功能,采用 Verilog 语言设计实现了 CAN 总线控制器 IP 核的功能,最后通过仿真和 FPGA 原型验证,证明了设计实现的正确性。目前 CAN 总线控制器 IP 核已经应用于 SOPC 和 SoC 的嵌入式应用设计中。

**关键词:** CAN 总线;CAN 总线控制器;逻辑设计与验证

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)08-0230-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.08.059

## Design and Implementation of CAN Bus Controller IP

ZHAO Qiang, TIAN Ze, LOU Xiao-qiang, MA Chao

(Aeronautical Computing Technique Research Institute, Xi'an 710119, China)

**Abstract:** CAN Bus had been considered as a kind of mature serial communication bus because of its highly reliability, better stability, strong capacity of resisting disturbance, high communication rate, low costing of maintaining and also benefited in strong real-time, good opening data sharing and so on. Due to its wide application, the extended demands would be proposed either. The CAN bus controller could be implemented into various of embedded SoC system based on CAN bus controller IP's advantages in its general processor access interface, good transportability. Proposed the function and character of CAN bus controller IP core and achieved the function of CAN controller with help of Verilog language based on the features of CAN bus protocol. According to simulation and FPGA verification, the design had been proved as correct at last. Nowadays, CAN bus controller IP core had been widely used in SOPC and SoC embedded design and implementation.

**Key words:** CAN bus; CAN bus controller; logic design and verification

## 0 引 言

对系统可靠性和灵活性高要求的工业控制系统的发展主要表现为控制面向系统分散化和多元化,分散式工业控制为了适应这种要求得到了快速的发展,这种以微型机为核心将自动控制技术、通讯技术、计算机技术、转换技术和显示技术融合的控制技术具有适应范围广、可扩展性强、易维护及高可靠性等优势,典型的分散式控制系统包括现场设备、接口、计算设备、通讯设备以及将这些设备连接起来的现场总线<sup>[1]</sup>。在这种现代工业控制系统中现场总线是控制系统中最为核心的部分,它的出现为分布式系统实现各节点之间实时、可靠的数据通信提供了强有力的技术支持,被誉为

自动化领域的计算机局域网。当前现场总线的研究已经成为自动化工业控制领域的热点技术,经过多年的研究与应用实践一种高性价比的 CAN( Controller Area Network)现场总线控制器局部网总线已经成熟并在众多的工业控制系统中广泛采用。伴随着 CAN 总线应用范围的扩大和半导体集成度的提高,以 SOPC 或 SoC 设计的嵌入式应用中需要集成 CAN 总线控制器的要求也越来越高,虽然从 CAN 总线协议产生以来已经有超过 20 多家公司开发了超过 110 多种价格便宜的 CAN 总线控制器芯片,但是国外 CAN 总线控制器的 IP 价格很贵;相对于国外,国内 CAN 总线的 IP 相对较少,兼容性也不是很好,因此有必要开发一款兼容

收稿日期:2012-11-15

修回日期:2013-03-01

网络出版时间:2013-04-22

基金项目:“十二五”微电子预研(51308010601);总装预研基金(9140A08010712HK6101);中国航空工业集团公司创新基金(2010BD63111)

作者简介:赵 强(1970-),男,高级工程师,主要从事集成电路设计工作;田 泽,博士,研究员,研究方向为 SoC 设计方法学。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130422.1721.019.html>

性高的CAN总线控制器IP核。文中介绍了使用Verilog语言进行CAN总线控制器IP核的设计实现方法<sup>[2,3]</sup>。

## 1 CAN总线发展及其特点

CAN总线是德国BOSCH公司从80年代初为解决现代汽车中众多的控制与测试仪器之间的数据交换而开发的一种串行数据通信协议,由于其卓越的性能现已广泛应用于工业自动化、家电控制、智能楼宇的安防系统和抄表系统以及多种控制设备、交通工具、医疗仪器以及建筑、环境控制等众多领域;1991年9月PHILIPS半导体公司为了将各种应用领域的通信报文标准化而制定并发布了CAN总线技术规范2.0版本,该技术规范包括A和B两部分,2.0A继承了原CAN1.2技术规范中定义的报文格式,2.0B定义了标准的和扩展的两种报文格式;1993年11月ISO正式颁布了CAN国际标准ISO11898,它的颁布使控制器局部网进入了标准化、规范化的阶段<sup>[4]</sup>。CAN总线的主要特点包括:

- (1) 灵活多选的通信介质,CAN的通信介质可为双绞线、同轴电缆或光纤;
- (2) 多主方式,CAN总线网络上的任意节点可在任意时刻主动地向网络上其他节点发送信息,而不分主从,通信方式灵活且无需站点地址等节点信息;
- (3) 通信距离长,在5kbps速率以下,CAN的通信距离可达10km,在最高1Mbps通信速率时,通信距离可达40m;
- (4) 通信节点采用优先级机制,可满足不同节点的实时性要求;
- (5) CAN总线只需通过报文滤波就可实现点对点、组播及广播等方式的通信,而无需专门的“调度”;
- (6) CAN总线协议采用短帧结构,每一帧最大为8个字节,保证了极低数据出错率;
- (7) CAN总线采用非破坏性的总线仲裁技术,当多个节点同时向总线发送信息时,优先级低的节点会主动退出发送,而高优先级的节点不受影响地继续发送数据,大大地节省了总线冲突仲裁时间;

(8) 自动故障隔离,CAN总线上的节点在错误严重的情况下,具有自动关闭总线的功能,保证总线上的其它节点的操作不受影响;

(9) CAN通信协议中数据链路层的MAC子层具有严格的错误检测功能,包括监测填充规则校验、帧校验、循环冗余校验和应答校验;

(10) 很好的开放性和数据兼容性。

CAN总线有一个公开的、全世界都遵从的国际标准,CAN总线系统中的一个节点不使用有关系统结构

的任何信息,并可在不要求所有节点及其应用层改变任何软件或硬件的情况下接于CAN总线网络。

## 2 CAN总线控制器IP核的设计实现

### 2.1 CAN总线控制器IP核的功能结构和特点

根据对CAN总线协议的理解和系统应用要求,CAN总线控制器IP核的设计主要划分为可读写寄存器组、接收FIFO、比特流处理、接收滤波器、错误管理和比特时序逻辑6部分功能;对外接口包括处理器读写访问接口,数据位宽为8位、中断输出、时钟与复位输入及CAN总线的发送和接收串行总线接口<sup>[5]</sup>。基于以上功能划分的CAN总线控制器IP核的主要特点为:

- (1) 64字节的接收FIFO;
- (2) 支持CAN2.0B协议;
- (3) 支持11位和29位的标识符,对应标准帧格式和扩展帧格式;
- (4) 比特率可高达1Mbit/s;
- (5) 可分为基本模式和扩展模式。扩展模式下包含以下特性:可读写访问的错误计数寄存器、可编程的错误警告限制、最后一次捕获的错误码、每个总线错误都可以引起相应的错误中断、单发发送、仅监听模式、支持热拔插功能(软件驱动的比特率检测)、扩展的接收滤波器、自测试模式;
- (6) 标准寄存器的接口。

具体的CAN总线控制器IP核的功能框图如图1所示。

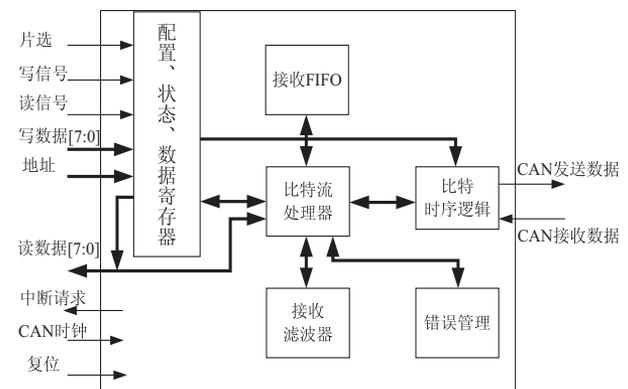


图1 CAN总线控制器IP核的功能框图

### 2.2 CAN总线控制器IP核功能设计

CAN总线控制器IP核中各部分功能设计:

- (1) 配置、状态及数据寄存器。这些寄存器实现处理器对CAN总线控制器的可编程控制、接收发送数据的读写以及处理器对CAN总线控制器的状态查询,CAN总线控制器的寄存器主要由控制寄存器、命令寄存器、状态寄存器、中断状态寄存器、中断使能寄存器、接收滤波寄存器、接收滤波屏蔽寄存器、总线时序配置

寄存器 0 到 1、发送标识寄存器、发送数据寄存器 0 到 7、接收标识寄存器和接收数据寄存器 0 到 7 等寄存器组成。

(2) 中断功能<sup>[6]</sup>。为了提高处理器的工作效率,避免处理器频繁查询 CAN 总线控制器的状态而影响处理器的工作,CAN 总线控制器提供了灵活的中断机制。CAN 总线控制器向处理器提供了数据溢出中断、发送中断、接收中断、错误中断、总线错误中断、仲裁丢失中断和错误被动中断等 7 种中断,可根据使用需求使能或屏蔽中断。

(3) 比特时序逻辑电路。比特时序逻辑电路监控串行 CAN 总线,并且处理总线相关的比特时序。当一条消息开始被接收时,CAN 总线的一次隐性到显性位转换,使比特时序逻辑与 CAN 总线上的比特流同步(硬同步),并且在信息进一步接收期间,总线上的转换使比特时序逻辑与 CAN 总线上的比特流再同步(重新同步)。比特时序逻辑还提供一个可编程的时序片段(segment)用以补偿传播延迟和相位偏移(例如振荡器漂移),并且确定了一个比特时间内的采样点位置和采样次数。

(4) 可配置的接收帧过滤。接收滤波器对比接收到的标识符和接收滤波器寄存器中的内容,以决定是否接收这条信息<sup>[7]</sup>。基本模式下仅有一对过滤寄存器;扩展模式下有四对过滤寄存器,而且存在单、双两种不同的过滤模式。

(5) 错误管理功能。CAN 总线控制器中实现了仲裁丢失捕获、错误捕获、过载错误处理等错误处理功能。当发生仲裁丢失或者错误时,控制器捕获丢失或错误的详细信息,并保持这些信息;在处理器读取仲裁丢失捕获寄存器或错误码捕获寄存器之前,控制器不会再次进行捕获,在处理器读取相应寄存器后,控制器再次启动捕获;在发送和接收信息的过程中,都有相应的逻辑来监控总线上的错误,包括:位错误、格式错误、填充错误、应答错误和 CRC 错误。一旦发现错误,则根据控制器的错误状态(错误主动或错误被动)发送相应的错误帧。同样的,一旦发现过载帧,控制器即开始发送过载帧。对发送和接收错误,有独立的错误计数寄存器。当发送错误或接收错误计数大于等于 128 时,控制器进入错误被动状态。当发送错误计数大于等于 256 时,控制器进入总线关闭状态<sup>[8]</sup>。

(6) 接收 FIFO。为了兼容商用的 CAN 总线控制器芯片,CAN 总线控制器的接收 FIFO 大小设计为 64 字节。

(7) 发送接收逻辑。发送信息时,将由发送标识寄存器和发送数据寄存器中的内容 Tx\_data\_n 组合成一个发送序列(不同的工作模式有不同格式的发送序

列)。发送序列由控制域、数据、CRC 等部分组成,并有一个序列指针来指示当前发送位置,根据序列指针来选择具体的某一位进行发送;接收消息时,根据接收的状态,将串行数据组织成处理器可读的字节数据。若接收过程没有发现错误,并且消息的标识(ID)通过接收过滤,则将此消息写入接收 FIFO<sup>[9]</sup>。

CAN 总线发送电路功能框图如图 2 所示,接收状态机示意图如图 3 所示。

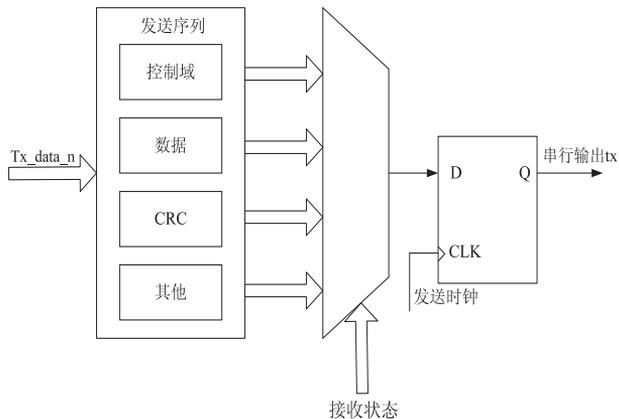


图 2 CAN 总线发送电路功能框图

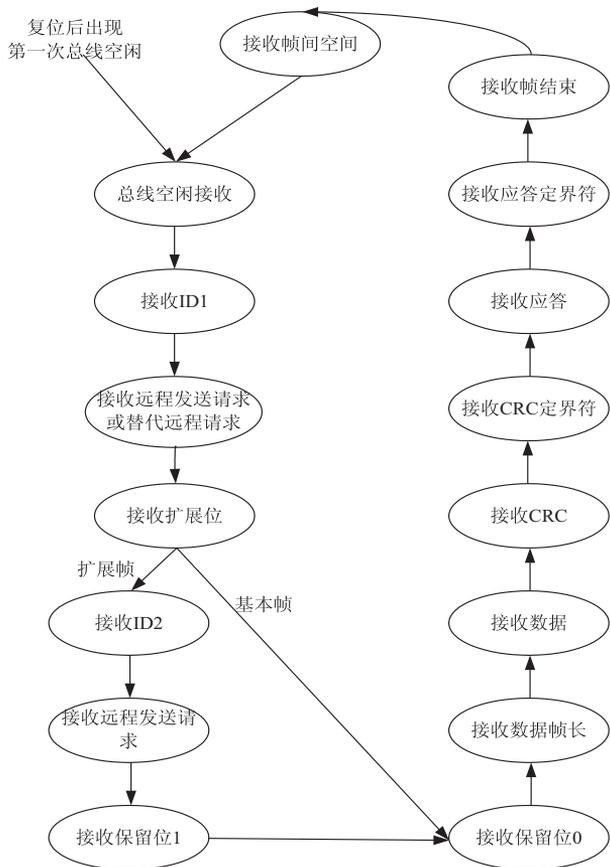


图 3 接收状态机示意图

### 2.3 CAN 总线控制器 IP 核逻辑设计与验证

CAN 总线控制器 IP 核采用同步设计,使用 Verilog 语言描述其功能。CAN 总线控制器 IP 核的验证包括虚拟仿真环境的验证和 FPGA 验证。虚拟仿真验证是

在Cadence的NC-Sim环境下开发了CAN总线功能模型,通过CAN总线功能模型对CAN总线控制器内部寄存器进行读写,向CAN总线控制器发送不同的信息,同时接收来自CAN总线控制器的信息并进行判断验证其各种功能的正确性<sup>[10]</sup>。FPGA验证是通过选用Xilinx公司的Virtex5器件,在ISE环境下综合实现后,在验证板上通过DSP的外部总线控制CAN总线控制器并与CAN总线的商用成熟芯片通讯验证其功能的<sup>[11]</sup>。

### 3 结束语

文中设计实现的CAN总线控制器IP核经过充分的验证,结果表明其功能正确,满足CAN总线协议2.0B的要求,能够在1Mbps的速率下可靠地与商用成熟芯片进行通信<sup>[12,13]</sup>。同时在设计时,充分考虑了IP的可重用性,使得本CAN控制器IP具备高度的可移植性,可以复用于SOPC设计或SoC设计,具有良好的应用前景。

#### 参考文献:

- [1] 郭海峰. 浅谈CAN总线在智能仪表中的应用[J]. 科技资讯, 2010(22):5-5.

- [2] 陈春艳. 基于CAN的某实时系统的控制与通信技术研究[D]. 绵阳:中国工程物理研究院, 2006.
- [3] 王雁平, 张永春. 基于CAN总线的现场总线仪表设计[J]. 常州工学院学报, 2009, 22(1/2):27-30.
- [4] 朴正哲, 宋晓燕. 智能测控仪表系统的CAN总线及接口研究[J]. 中国新技术新产品, 2009(17):145-145.
- [5] 邵旻. CAN总线综述[D]. 上海:同济大学, 2002.
- [6] 阳宪惠. 现场总线及其应用[M]. 北京:清华大学出版社, 1999.
- [7] 杜尚丰, 曹晓钟, 徐津, 等. CAN总线测控技术及其应用[M]. 北京:电子工业出版社, 2007.
- [8] 刘泽祥. 现场总线技术[M]. 北京:机械工业出版社, 2005.
- [9] CAN-bus规范V2.0版本[M]. 广州:广州周立功单片机发展有限公司, 2002.
- [10] SJA1000 Stand-alone CANController Product Specification[S]. [s.l.]: Philips Semiconductors, 2000.
- [11] CAN Specification, Version 2.0[S]. [s.l.]: Robert Bosch GmbH, 1991.
- [12] 王大静, 孙湖, 郑琼林. 基于CAN总线的双逆变器—电机交流传动互馈试验台数据采集系统[J]. 自动化技术与应用, 2004(11):41-43.
- [13] Stand-Alone CAN Controller With SPI Interface(MCP2515)[M]. [s.l.]: Microchip Technology Inc., 2005.

(上接第229页)

深记忆,有助于阅读内容的理解和记忆<sup>[12]</sup>。在互联网快速发展的今天,网络媒体以其极强的时效性,广泛的传播面,多媒体化的信息,不断增强的互动性,使得纸质媒体逐渐显现劣势。但对于目前的纸质媒体也是无可替代的,因为网络媒体受到诸多因素的限制。纸质媒体不必担心停电、断网,而且技术要求低。如今大多数纸质媒体逐渐向网络媒体转型。移动设备增强现实与书本交互的开发与实现,可以为纸质媒体在转型的阶段,提供更好的过渡。不仅如此,移动设备增强现实与书本交互的开发与实现还可以广泛应用到日常生活之中,为生活增添更多便利。

#### 参考文献:

- [1] Caudell T P, Mizell D W. Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes[C]//Proc. of the 25th Hawaii International Conference on System Science. [s.l.]: [s.n.], 1992:659-669.
- [2] Paucher R, Turk M. Location-based augmented reality on mobile phones[C]//Proc. of 2010 IEEE Computer Society Conference on CVPRW. [s.l.]: [s.n.], 2010:9-16.
- [3] DENTSU. iButterfly[EB/OL]. 2011. <http://www.ibutterfly.hk/chi/index.html>.

- hk/chi/index.html.
- [4] Beier D, Billert R, Bruderlin B, et al. Marker-less vision based tracking for mobile augmented reality[C]//Proc. of the Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality. [s.l.]: [s.n.], 2003:258-259.
- [5] QUALCOMM. QCAR[EB/OL]. 2011. [https://ar.qualcomm.at/developer\\_guide](https://ar.qualcomm.at/developer_guide).
- [6] 时亦芃, 王利明, 陈章龙, 等. 嵌入式Java的Mobile 3D实现[J]. 计算机工程, 2007, 33(10):184-186.
- [7] 李利军, 杨西平. 基于标识与自然纹理特征的三维注册方法研究[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(7):77-79.
- [8] 胡孝鹏, 董强, 于忠清. 基于图像处理的QR码识别[J]. 航空计算技术, 2007, 37(2):99-102.
- [9] 朱蔚恒, 周伟, 龙舜. 开放平台解决方案及其安全策略研究[J]. 计算机工程, 2012, 38(12):265-267.
- [10] 孙超, 张明敏, 李扬, 等. 增强现实环境下的人手自然交互[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2011, 23(4):697-704.
- [11] 朱淼良, 姚远, 蒋云良. 增强现实综述[J]. 中国图象图形学报A辑, 2004(9):767-774.
- [12] 程志, 金义富. 智能手机增强现实系统的架构及教育应用研究[J]. 中国电化教育, 2012(8):134-138.

# CAN总线控制器IP核设计实现

作者: [赵强](#), [田泽](#), [楼小强](#), [马超](#), [ZHAO Qiang](#), [TIAN Ze](#), [LOU Xiao-qiang](#), [MA Chao](#)  
作者单位: [中国航空计算技术研究所, 陕西 西安, 710119](#)  
刊名: [计算机技术与发展](#)

---

ISTIC

英文刊名: [Computer Technology and Development](#)

---

年, 卷(期): 2013(8)

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjfz201308059.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201308059.aspx)