

·光电系统·

利用系统级ASIC技术构建高可靠机载控制设备

刘 强, 银志军

(东北电子技术研究所, 辽宁 锦州 121000)

摘 要:描述了机载控制设备面临的问题,提出了一种新的采用系统级ASIC技术构建机载控制设备的方法。分析了机载控制设备的功能,对主要的系统级ASIC技术进行介绍和对比分析,提出采用基于FPGA的SOPC技术构建机载控制设备实施方案,并对软件和硬件设计进行了详细介绍。介绍了Xilinx的EDK设计工具设计SOPC系统的开发流程。最后在控制系统平台上进行了系统功能测试,证明了采用SOPC技术设计的机载控制设备的稳定性和可行性。

关键词: FPGA; SOPC; FC; 1553B

中图分类号: TN702

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255-(2012)02-0017-04

High Reliability Airborne Control System Based on System Level ASIC Technology

LIU Qiang, YIN Zhi-jun

(Northeast Research Institute of Electronics Technology, Jinzhou 121000, China)

Abstract: The question which the airborne control equipment faces is described, a new method of the airborne control equipment which is constructed with the system level ASIC technology is proposed. The function of the airborne control equipment is analyzed, and the main system level ASIC technology is also introduced and analyzed. The implement project of the airborne control equipment which is constructed with the SOPC technology based on the FPGA is proposed, the software and the hardware designs are introduced. The developing flow of the SOPC system designed by the Xilinx EDK design tool is described. The system function tests are performed on the control system platforms, the stability and feasibility of the airborne control equipment with the SOPC technology are proved.

Key words: FPGA; SOPC; FC; 1553B

民航飞机的机载控制设备,由于应用在特殊领域,其工作环境复杂、安装空间小、可靠性要求高。随着计算机技术、微电子技术以及机载电子设备各相关专业的不断发展,对机载控制设备在处理性能、通信带宽、设备体积等方面都提出了新的挑战。仅仅采用精减指令集计算技术(RISC)处理器^[1]、复杂可编程逻辑器件CPLD、中小规模集成电路和晶体管等方式构建控制设备^[2],已经满足不了机载控制设备当前和未来发展的需求。提出一种采用系统级ASIC(application specific integrated circuits)技术构建机载

控制系统的方案。具有体积小、性能高、可靠性高、功能可扩展等特点。

1 机载控制设备功能分析

对机载控制设备^[3]进行分析,其主要功能如下:

(1)实现满足FC-AE-ASM总线协议的FC(光线通道总线)通信功能^[4];

(2)实时满足MIL-STD-1553B总线协议的双余度总线通信功能;

(3)实现最小400 Mips综合处理功能,采用Vx-works实时操作系统;

(4)实现11路并行低压差分信号LVDS接口;

(5)实现1路千兆以太网接口,供设备调试和测试使用。

2 机载控制设备技术方案选择

目前主要的系统级ASIC技术有SOC技术、SOPC技术和SIP技术。

SOC技术: SOC (system on chip, 片上系统) 是ASIC设计方法学中的新技术^[5],是指以嵌入式系统为核心,以IP复用^[6]技术为基础,集软、硬件于一体,并追求产品系统最大包容的集成芯片。狭意理解,可以将它翻译为“系统集成芯片”,指在一个芯片上实现信号采集、转换、存储、处理和I/O等功能,包含嵌入软件及整个系统的全部内容;广义理解,可以将它翻译为“系统芯片集成”,指一种芯片设计技术,可以实现从确定系统功能开始,到软硬件划分,并完成设计的整个过程。

SOPC技术: SOPC是SOC技术和可编程逻辑技术结合的产物^[7],是一种特殊的嵌入式系统。首先它是SOC,即可以由单个芯片完成整个系统的主要逻辑功能;其次,它还是可编程系统,具有灵活的设计方式,可裁减、可扩充、可升级,并具备一定的系统可编程功能^[8]。

SIP技术: SIP(system in package)是一种被称为FCMs(few-chip-modules)的小的多芯片模块MCMs(multi-chip modules)也许是一个已知系统应用的功能-成本的优化解决方案。SIP技术允许将不同种类的器件集成在一个小的封装中,包括在基片上的嵌入式器件和三维芯片堆积方式。对于SIP结构,特殊的功能可以特殊设计,既能保持高带宽、低延时的特征优势,又能减小芯片到芯片之间的总线电容,从而达到大幅度地减小系统功率要求和热耗散的目的。

传统的SIP、SOC设计依赖于固定的ASIC。其设计方法通常采用全定制和半定制电路设计方法,设计完成后如果不能满足要求,经常需要重新设计再进行验证,这将导致开发周期变长,开发成本增加。另外,如果要对固定ASIC的设计进行修改、升级,也将花费昂贵的代价进行重复设计。

SOPC的设计要灵活得多,它不仅开发周期较短,而且规模效应应具有成本优势。

根据需求分析的描述,并综合权衡开发难度、经济性、开发周期等因素。采用SOPC技术实现机载控制设备,选择Xilinx先进的Virtex5器件^[9],充分利用其上的如PPC440硬核^[10]、高速RocketIO、硬EMAC GTP等资源,嵌入VxWorks操作系统,完成用户所需的LVDS接口、FC-AE-ASM协议、千兆以太网、1553B协议,以及LVDS到FC的数据转换传输。实现过程分为两部分:软件实现以及硬件实现。

3 软件技术方案

软件实现框图如图1所示,VxWorks是运行在PPC440上的操作系统,是软件实现中所需要做的第一项工作,也是最重要的工作,将利用VxWorks的实时性负责各功能块的管理、调度、内存分配等工作,还包括数据传输的接收、发送的准备工作。在VxWorks平台上由独立的协议3模块以及LVDS传输模块负责各接口事务。

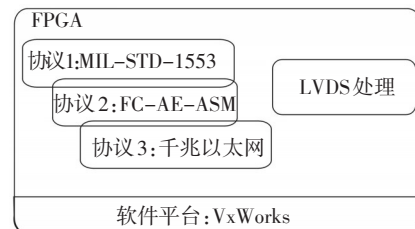


图1 软件实现方案

(1) VxWorks移植

实时嵌入式操作系统VxWorks将运行在PPC440内核上,这是一款32位的Book-E体系结构的CPU,具有分离的8~32 K(根据具体的实现而不同)数据缓存和指令缓存;64项MMU,提供64G物理地址的寻址访问;不含float processing unit,但是可以通过提供的auxiliary processing unit实现浮点功能的超标量处理器。PPC440可以在550 MHz的时钟源下工作,具有非常强的处理能力。在这里首先需要将VxWorks进行移植,使其可以在其上工作。

(2) 光纤FC-AE-ASM协议

光纤FC-AE-ASM协议独立出来,由专门的协议处理模块完成数据的发送/接收、时钟恢复、串行/并行转换、8B/10B编/解码,流量控制等功能。并为驱动和应用程序提供编程接口。如图2所示。

(a) 主要的固件和协议的初始化。

(b) 数据发送

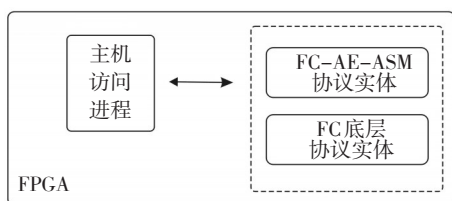


图2 FC总线协议实现方式

数据从系统内存空间,通过内部协议处理机到光收发器的过程如下:

处理机将数据封装成“消息”序列,放入发送缓冲并通过协议接口通知FC协议处理模块有新的数据请求;

FC协议处理模块根据要求,采用DMA方式将数据转移到通信接口的内存中,等待发送;

FC协议处理模块将数据从通信接口的内存读出上帧开始界定符、CRC校验、帧尾结束界定符;

将帧进行8B/10B编码,并进行并串转换;

通过光收发器将串行的电信号转换为光信号发网上。

(c) 数据接收

判断接收的数据是否为有效的光纤通道数据对有效的数据进行帧界定,去掉帧开始和帧结束界符;

对界定后的数据进行10B/8B解码,将4个1的传输符转换为4个8位字节的有效数据;

对解码后的有效数据进行CRC校验,并保存中间结果;

根据帧头信息判断该帧是否发往本机,若是将数据写入接收FIFO缓存,否则将该帧继续传给一节点;

将该帧转移到通信模块的内存;

在DMA控制下,将接收到的数据写主机内存,并通过中断方式通知主机。

(3) MIL-STD-1553B实现方法

采用先进的FPGA技术实现MIL-STD-1553B协议内核。如图3所示。

4 硬件技术方案

硬件平台主要由FPGA、MILSTD-1553B通信物理接口、光纤通信物理接口、LVDS物理接口、千兆以太网物理接口以及工作必须的存储器、电源等模块组成,如图4所示。FPGA是硬件平台的主要器件,将负责系统的控制算法以及控制逻辑的执行。1553B、

光纤、LVDS、千兆以太网口都必须安装相应的通信适配器,通过相应的电缆进行对外连接。

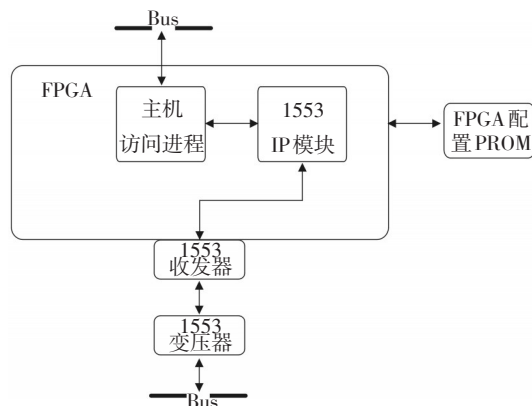


图3 1553B总线协议实现方式

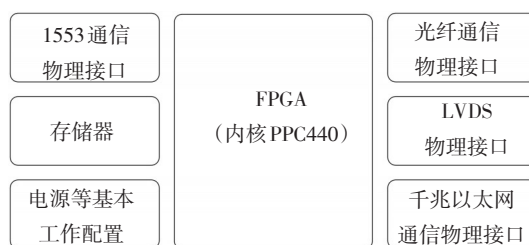


图4 硬件组成框图

5 开发流程

Xilinx提供了完整SOPC设计工具EDK^[11],可以利用EDK工具完成一个完整的设计流程。包括硬件设计与调试,软件设计与调试,项目仿真等步骤,各步骤相辅相成^[12],又各自独立。各个步骤关系如图5所示。

(1)创建硬件平台,是设计的第一步,EDK工具提供了BSB Wizard帮助用户较快的构建硬件平台;

(2)定制IP核^[12],设计符合需求的专用设备,包括UART、以太网等;

(3)设置工程属性,设置不同硬件之间的连接关系,以及外部端口特性;

(4)生成硬件流文件,生成网表和比特流文件,这个步骤类似传统的FPGA设计的综合、布局布线、生成编程文件这3个步骤;

(5)下载硬件流文件,使用JTAG编程电缆或编程器烧录FPGA、FLASH、CF卡;

(6)使用ChipScope调试,使用JTAG编程电缆在线调试FPGA内部逻辑;

(7)生成仿真文件,生成仿真用的相关文件,可选择行为级、结构级、时序级仿真方式;

(8)使用 bfm_simulation 仿真,需要额外的软件包,这里选择使用 Nodelsim 仿真;

(9)设置软件库属性,使用 EDK 工具确定软件操作系统、库、外设驱动等属性;

(10)设置编译和连接属性,针对每个应用软件工程,设置编译器、优化级别、使用的连接文件等信息;

(11)生成可执行软件代码,编译并生成 elf 格式的可执行代码;

(12)生成 BSP 和库文件(如果需要第三方操作系统支持,通过 Xilinx 驱动和库文件生成目标操作系统可识别的 BSP 和库文件);

(13)生成操作系统内核,这个步骤一般在目标操作系统提供的交叉编译环境中完成;

(14)使用 XMD 调试工具,通过 JTAG 编程电缆在线调试,下载可执行软件代码,控制执行,并监控相关信息。

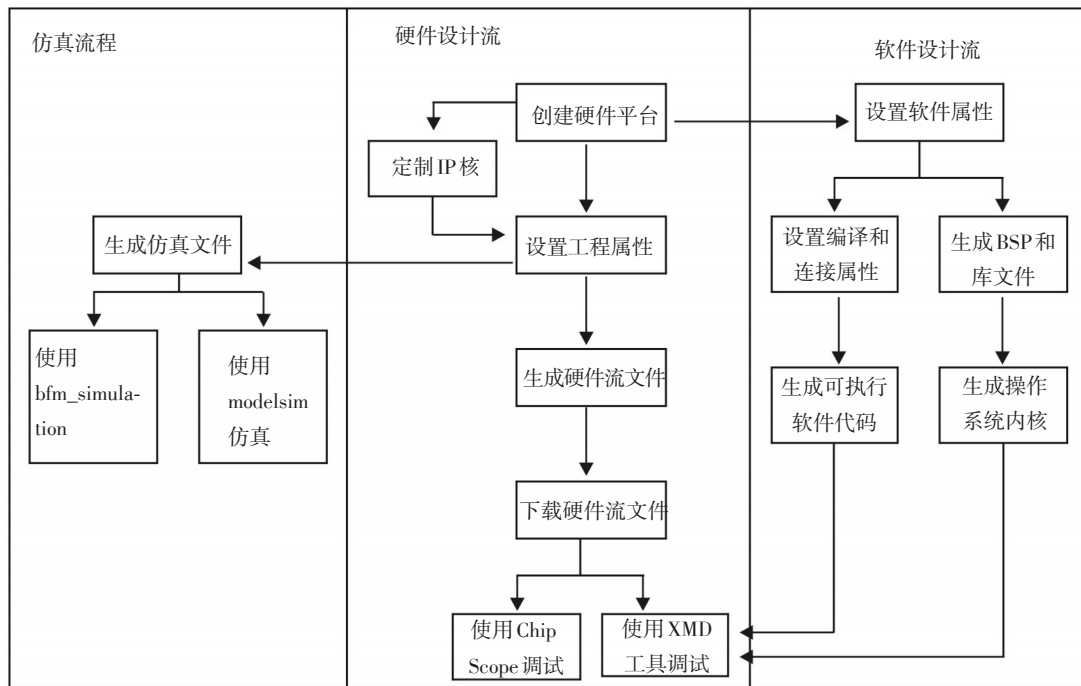


图5 SOPC开发流程

6 结 论

在系统上对机载控制设备进行了测试验证,采用系统级 ASIC 和定制专用 ASIC 设计的机载控制设备,经功能验证满足机载控制设备功能和各项技术指标要求,设备体积减少了 50%,功耗减少了 50%,可靠性提高了 3 倍,测试维护简单、方便。

针对系统级 ASIC 技术-SOPC 开发进行相关研究,并应用到基于 Xilinx FPGA 的 PowerPC 架构的 SOPC 系统设计这个项目中。采用 SOPC 技术,将外设以 IP 核形式集成入 FPGA 中,降低了设计风险和设计成本,提高了系统的灵活性、可靠性、减小了设备体积,为机载控制设备应用提供一个完整的解决方案。

参考文献

- [1] 陈启美,吴守兵,周洋,等.微机原理.外设.接口[M].北京:清华大学出版社,2002.
- [2] 蒋明礼,杨嘉辉,贾年.微型计算机硬件组成[M].北京:机械工业出版社,2000.
- [3] 宋东,李红娟.航空计算机系统[M].西安:西北工业大学出版社,2002.
- [4] 史洁琴.光总线在组合导航系统中的应用分析[J].光电与控制,2006,13(1):60-62.
- [5] 郭兵,沈艳,林永宏,等. SOC 技术原理与应用[M].北京:清华大学出版社,2006.
- [6] 张春生.面向 SOC 的 IP 核设计与 IP 复用技术研究[D].长沙:国防科技大学,2006:5-6.
- [7] 赵泽才.基于 FPGA 的 SOC 设计技术研究[D].长沙:国防科技大学,2006:9-10.

(下转第 82 页)

[4] 姚禄玖. 烟幕理论与测试技术[M]. 北京:国防工业出版社.

(上接第16页)

信号经过NI USB-6361的采集后,由Labview处理,图6所示即为参考信号与探测信号的比值随光纤光栅波长变化的关系,这两路信号是由耦合器等功率分成,一路经过滤波器后被探测电路探测放大,作为探测信号,另一路直接经过探测电路,作为参考信号,而如图6所示,光纤光栅波长的变化是随着温度的变化而变化的,因此可以由其对应关系得出所测环境温度。

4 结束语

FBG解调方案各有其优缺点,可根据场合的不同需要选择使用。在基于边缘滤波的FBG解调系统中,光源本身的强度波动及所处环境温度的变化会给系统测量带来不必要的影响,系统中通过引入参考光路消除了这种影响,同时系统体积可以做得很小。但它的分辨率不高,而且滤波曲线的线性近似会造成一定的误差,同时系统及实验过程中其他器件也会造成一定的影响,从而导致所得结果精度不高。文中所介绍的解调方案还需要在实验中不断改进和完善,以达到最优解调效果。

参考文献

[1] MOREY W W. Fiber optic Bragg grating sensors [C]//Proc SPIE, 1989, 1169:98-107.

(上接第20页)

- [8] 徐光辉. 基于FPGA的嵌入式开发与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2006.
- [9] 田耕,徐文波. Xilinx FPGA开发实用教程[M]. 北京:清华大学出版社,2008.
- [10] Xilinx 文档. 用户指南《UG018 (VxWorks2.1),PowerPC 440 Processor Block Reference Guide,Embedded Development Kit》,2005.

[5] 刘国生. 微米铜粉对红外、10.6 μm激光的衰减性能研究[J]. 激光与红外,2009,39(6).

- [2] KERSEY A D, DAVIS M A. Progress towards the development of practical fiber Bragg grating instrumentation systems[C]//SPIE, 1996, 2839:40-63.
- [3] 王云新,刘铁根,江俊峰. 便携式光纤Bragg光栅波长解调仪的研制[J]. 仪器仪表学报,2007,28(6):1104-1107.
- [4] 胡勇勤. 光纤光栅传感器的解调方法的研究[J]. 自动化与仪器仪表,2004,(5):11-14.
- [5] 李宏男,李东升,赵柏东. 光纤健康监测方法在土木工程中的研究与应用发展[J]. 地震工程与工程震动,2002,22(6):76-83.
- [6] 刘杰,于海鹰,霍佃恒,等. 基于光纤光栅的加速度传感系统研究[J]. 山东建筑大学学报,2009,24(3):203-207.
- [7] 赵勇. 光纤光栅及其传感技术[M]. 北京:国防工业出版社,2007.
- [8] 康彦深,王友波,张栋,等. 基于WPM的高精度光纤Bragg温度传感系统研究与设计[J]. 仪表技术与传感器,2010,(6):12-15.
- [9] 周倩,宁提纲. 光纤光栅传感器信号解调方法的研究[J]. 光通信技术,2010,(8):8-12.
- [10] 杜佳楠,刘泊. 基于MSP430单片机的光纤光栅匹配解调系统[J]. 哈尔滨理工大学学报,2009,14(增刊1):16-19.
- [11] 杨素行. 模拟电子技术基础简明教程[M]. 3版. 北京:高等教育出版社,2006.
- [12] 童诗白,华成英. 模拟电子技术基础[M]. 3版. 北京:高等教育出版社,2001.
- [13] 孙玲. 基于USB-6281的高速数据采集系统的设计[J]. 电子设计工程,2010,18(11):169-172.
- [11] 杨强浩. 基于嵌入式EDK的FPGA嵌入式系统开发[M]. 北京:机械工业出版社,2007:47-50.
- [12] 王静,刘蒙. 基于FPGA的高可靠接口模块设计[J]. 光电技术应用,2009,24(1):58-61.