

# 基于 AS5643 协议的 Mil-1394 仿真卡设计与实现

张少锋,田 泽,杨 峰,赵 彬,王宣明

(中国航空计算技术研究所,陕西 西安 710119)

**摘 要:**仿真卡是现代地面仿真系统的重要组成部分,Mil-1394 仿真卡则在机载军用 1394 总线网络地面仿真系统中发挥着非常重要的作用。结合军用航空领域广泛应用的 SAE AS5643 协议,文中系统性地介绍了一种 Mil-1394 总线仿真卡的解决方案,叙述了其硬件和逻辑构架,详细阐述了仿真卡的软件设计,并进行了大量的仿真实验和数据分析。实验结果充分表明该仿真卡达到了较高的传输速率,功能完备,性能良好,全面满足地面仿真系统的应用需求。

**关键词:**AS5643 协议;IEEE 1394b;仿真卡

**中图分类号:**TP39

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2013)08-0168-04

**doi:**10.3969/j.issn.1673-629X.2013.08.043

## Design and Implementation of Mil-1394 Simulation Card Based on AS5643 Protocol

ZHANG Shao-feng, TIAN Ze, YANG Feng, ZHAO Bin, WANG Xuan-ming

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

**Abstracts:** The simulation card is an important part of modern ground simulation system, Mil-1394 simulation card plays an crucial role in the airborne military 1394 bus network ground simulation system. Combined with the SAE AS5643 protocol that has been widely used in military and aerospace field, systematically introduce a Mil-1394 bus simulation card solution, describe the hardware and logic structure of Mil-1394 simulation card, and also the software design in detail, and has made abundant experiments as well as data analysis. The result indicates that this card achieved a high speed and performance, can meet the application requirements of this simulation system.

**Key words:** AS5643 protocol; IEEE 1394b; simulation card

## 0 引 言

总线系统性能已成为当前计算机系统的重要性能指标之一。IEEE 1394b 总线具有可热插拔、高传输速率、高带宽、低延迟、点对点传输和传输距离长等优点,使其广泛用于提高整机性能<sup>[1]</sup>。为了满足军用航空领域应用的高可靠、低延迟、确定性要求,SAE 对 IEEE 1394b 协议局部进行了限定和约束形成了 SAE AS5643 协议,即 Mil-1394 总线协议,包括使用异步包和等时包外的异步流包、由帧开始的包同步的固定帧速率、附加纵向奇偶检查、静态通道号分配、带宽预分配以及匿名签署消息协议的使用<sup>[2]</sup>。AS5643 协议的这些特点使其首次成功应用于洛克希德·马丁公司的 JSF 项目。在国内,AS5643 总线作为航空安全关键系统总线,也将广泛应用在飞控、航电和机电等系统上。

在机载网络产品研制开发中,由于在机载环境下直接进行试验具有很大的局限性和风险,而在地面环境下进行仿真实验具有可重复、可控制、无破坏性和耗费小等优点,从而构建机载网络地面仿真系统进行大量的前期地面实验来测试样机的功能和性能成为必要<sup>[3]</sup>。所以构建 1394 总线网络地面仿真系统对于研制和开发 Mil-1394 新设备具有重要的意义。

Mil-1394 总线网络主要由机载网络接口子卡连接组成。为代替机载网络接口子卡构建 Mil-1394 总线网络地面仿真系统,需开发具有跟机载网络接口子卡相同功能和相当性能的 Mil-1394 仿真卡。仿真卡需具备网络管理、通信和时统等功能,并且能达到较高的传输速率和带宽。

Mil-1394 仿真卡提供 PCI 和 PCIe 两种主机接

收稿日期:2012-11-15

修回日期:2013-01-21

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:张少锋(1986-),男,陕西扶风人,硕士,助理工程师,研究方向为数字集成电路设计;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.20130422.1721.017.html>

口,插入 PC 机的 PCI/PCIe 接口插槽中后,PC 机便成为一个 1394 总线网络节点,从而通过 1394 线缆连接,PC 机就可与 PC 机进行 1394 通信<sup>[4]</sup>。在地面仿真环境下,多个仿真卡可搭建具有一定拓扑结构的 1394 总线网络进行仿真实验。下面就分别介绍 Mil-1394 仿真卡的硬件、逻辑和软件的设计和实现。

## 1 硬件设计与实现

Mil-1394 仿真卡硬件采用 PCI/PCIe 转接板加 Mil-1394 标准子卡的方式,转接板的功能主要有两方面:一是将标准子卡上的 1394 电气信号转接到外部连接器上,用于和其他 1394 总线节点进行连接;二是将标准子卡上的主机接口信号转接到 PC 机的 PCI/PCIe 插槽上,以使 PC 机通过局部总线接口对 1394 总线设备进行访问和控制。

Mil-1394 标准子卡采用 CC( Control Computer, 控制计算机)/RN( Remote Node, 远程节点)一体化设计, 因此每个仿真卡都可设置为 CC 或 RN。标准子卡主要硬件电路功能框图如图 1 所示。

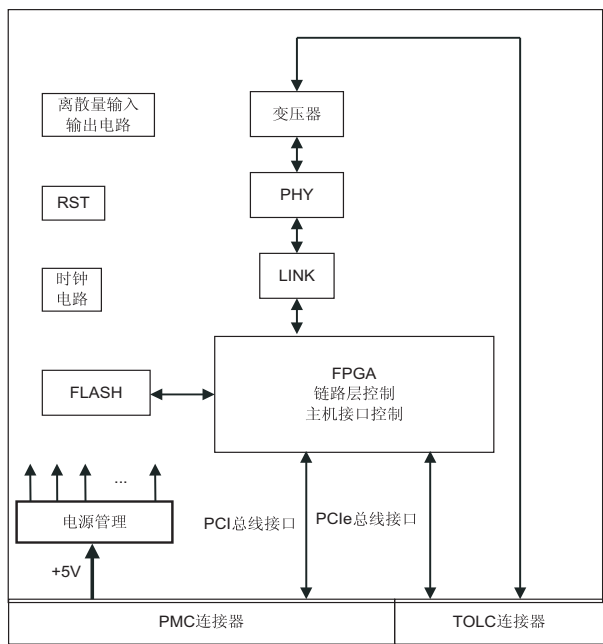


图 1 Mil-1394 标准子卡硬件功能框图

Mil-1394 标准子卡提供 PCI 主机接口, 可以支持 3.3V TTL 电平, 32bit/66/33MHz 工作方式; 提供兼容 PCIe1.1 的 1x 2.5G 接口。主机通过 PCI/PCIe 接口访问子卡资源并与子卡进行数据交互, 完成 FPGA 与主机的通信。链路层采用 TI 公司提供的 TSB12LV32-EP, 物理层芯片选用 TI 公司提供的 TSB41BA3B-EP 芯片。FPGA 主要实现 PCI 和 PCIe 总线接口控制、SAE AS5643 协议和数据传输等功能。1394 总线信号采用变压器耦合方式, 提供 Bilingual 或 Beta 端口, 且工作模式配置引脚接入 FPGA 实现模式在线配置。

Mil-1394 标准子卡还配置了 1 片 FLASH 存储器,并实现了 4 路离散量输出信号和 4 路离散量输入信号以供争用网络控制权。

## 2 逻辑设计与实现

AS5643 协议可以通过软件或硬件方式实现,但由于软件精度低、速度慢等缺点,使得硬件 FPGA 实现协议更具有优势,文中是以 FPGA 为实现载体,软硬件相结合的方式实现 AS5643 协议的,既能满足性能要求,又能够发挥软件的灵活性。

AS5643 协议处理模块实现了主机和链路层接口芯片之间的通信,通过主机接口为主机处理器与 1394 网络提供数据和控制接口<sup>[5]</sup>。其功能框图如图 2 所示。

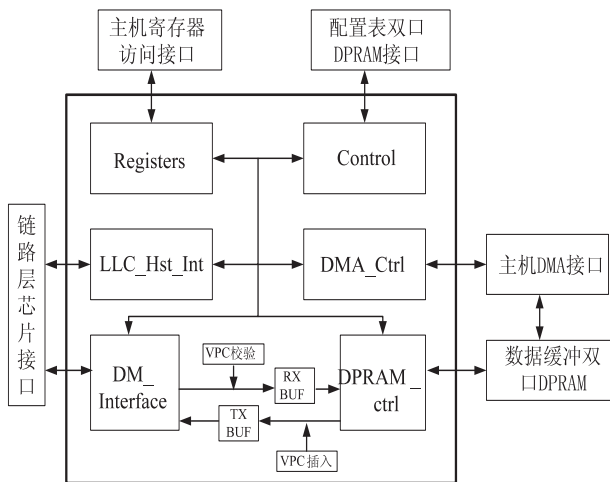


图 2 AS5643 协议处理模块功能框图

控制逻辑单元模块( Control),根据配置表和相应寄存器的配置信息,产生相应的控制信号。

Link 层芯片主机接口单元(LLC\_Hst\_Int),根据通讯需要,将 Link 层芯片配置为接收或者发送模式;提供主机对 Link 层芯片寄存器读写访问接口。

Link 层芯片 DM 接口单元模块(DM\_Interface), 在发送消息状态下, 将发送缓冲中的数据信息发送给 Link 层芯片; 在接收消息状态下, 将从 Link 层芯片 DM 接口收到的数据包转换格式, 传递给 DMA\_Ctrl 模块, 并判断接收数据包的状态信息(数据长度、消息 ID、接收类型、接收时间等), 将判断结果存储到相应位置, 或报告给控制逻辑单元处理。

DPRAM 访问控制模块(DPRAM\_ctrl),在节点发送消息时,从 DPRAM 中读取发送数据并提交 DM\_Interface 模块准备发送;在节点接收消息时,将从 DM\_Interface 模块收到的数据保存到 DPRAM 中。

DMA 控制单元模块(DMA\_Ctrl),在发送数据时,负责通知 DMA 通道相关信息,请求将要发送的数据包从主存相应位置中取出,传递给发送缓冲;在接收数

据时,负责通知 DMA 通道,请求将 DM 接口单元收到的数据包,通过接收缓冲,存放到主存相应位置中。

Tx Buf 和 Rx Buf 模块分别保存当前将要发送和接收到的数据。VPC 插入模块为要发送的数据插入 VPC。VPC 校验模块校验当前收到数据的 VPC 是否正确。

3 软件设计与实现

驱动程序是连接硬件、应用软件及操作系统之间的桥梁。仿真卡软件在 Windows 操作系统下运行,而执行于用户态的应用程序是不能直接访问硬件的,需要通过调用运行于核心态的设备驱动程序接口来间接地访问硬件资源,从而有利于维护系统的稳定。Microsoft 推出的 WDM (Windows Driver Model) 驱动程序模型属于典型的分层驱动模型,基于 WDM 驱动程序模型的 Mil-1394 仿真卡驱动软件主要分为 WDM 驱动和 1394API 接口驱动库,其整体构架如图 3 所示。

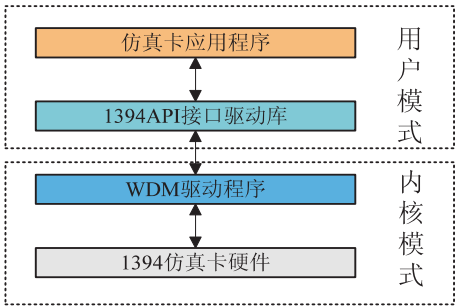


图 3 仿真卡软件构架图

3.1 WDM 驱动的开发

WDM 驱动运行于内核层,直接控制硬件设备,提供设备的注册、硬件资源的控制和访问接口<sup>[6]</sup>。WDM 驱动软件作为 API 驱动库和系统硬件资源的中间层,为 API 驱动库提供了访问系统硬件资源的抽象接口。主要包括以下功能:

- a. 基本资源访问接口,读写 Bar1、Bar2 和 Bar3。
- b. 中断控制接口,挂接和响应中断事件、使能或禁止中断、获取中断参数等。

当硬件产生中断时,在 WDM 驱动程序的中断服务程序中,首先判断是否是自己的设备产生的,若不是,则直接返回,否则,保存中断相关状态信息,迅速退出中断服务程序,避免中断的丢失和中断响应的实时性。保存的中断信息传递给 1394 驱动,1394 驱动启动中断处理线程对中断信息进行处理,之后 1394 驱动再将应用关心的中断信息传递给用户以供应用程序处理,这就是整个中断响应过程。

- c. DMA 控制接口,申请 DMA 内存、释放 DMA 内存等,实现设备和内存之间直接的数据快速传输。

WDM 驱动最终生成 sys 文件和 INF 文件供驱动

安装,当 Mil-1394 仿真卡插入 PC 时,sys 文件会枚举新设备,并提供一个与具体设备相关的硬件 ID 或兼容 ID,然后通过 INF 文件将设备与其对应的驱动程序关联起来<sup>[7]</sup>。

3.2 1394API 驱动库的设计

1394API 驱动软件采用 CC 和 RN 一体化设计,驱动软件内部根据子系统应用所设置的工作模式来执行 CC 功能或 RN 功能<sup>[8]</sup>。驱动软件以标准 C 下的静态库的形式向子系统主机应用软件提供一组标准 API,分为设备管理接口、消息管理接口、时钟服务接口、网络管理接口和中断服务接口五大类。驱动软件包含的 API 如图 4 所示。

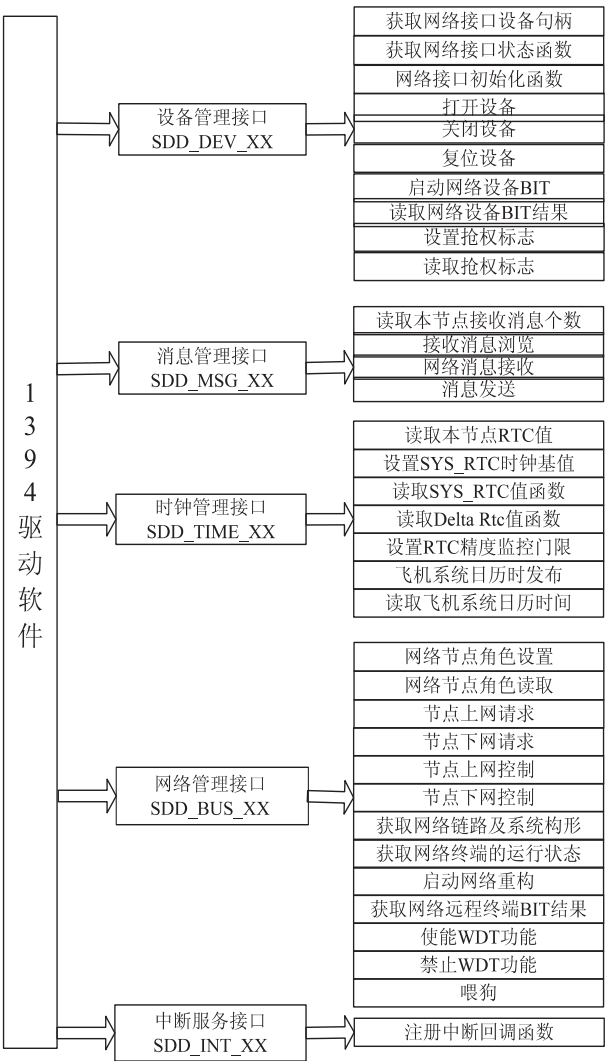


图 4 1394API 接口组成图

主机接口初始化完成后,应用调用网络接口初始化函数初始化网络设备,其流程为首先软复位设备和加载缺省通信配置表,然后通过网络控制权的争用来确定节点的网络角色(CC 或 RN),之后设置 CC 和 RN 分别为上网和下网模式,此时 Mil-1394 总线节点已能进行正常的网络管理,即 CC 发送和 RN 接收 STOF 包和网络管理消息,包括 WDT 加载消息、节点生命消息





基于AS5643协议的Mi1-1394仿真卡设计与实现

作者：[张少锋](#)，[田泽](#)，[杨峰](#)，[赵彬](#)，[王宣明](#)，[ZHANG Shao-feng](#)，[TIAN Ze](#)，[YANG Feng](#)，[ZHAO Bin](#)，[WANG Xuan-ming](#)

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\\_wjfz201308043.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201308043.aspx)