

基于 SOPC 的 FC-2 层协议设计与实现

蔡叶芳,田 泽,杨海波,李 攀,赵 强,黎小玉

(中国航空计算技术研究所,陕西 西安 710068)

摘 要:在分析了光纤通道协议基本层次结构和拓扑结构的基础上,提出了一种面向机载应用、基于 SOPC 平台的 FC-2 层协议软硬件协同设计与实现的方法。对平台的构建、基于平台相应的驱动软件、FC2 层协议协同设计软件进行了详细论述,对基于 SOPC 的 FC-2 层协议的实现,通过自身板级互联、与商业板卡以及与商业交换机互联的三种方式进行了协议的全面测试,验证了 FC-2 层协议基于 SOPC 软硬件协同设计与实现的有效性。

关键词:光纤通道;SOPC;协议

中图分类号:TP311

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2009)08-0224-04

Design and Implementation of FC-2 Level Protocol Based on SOPC

CAI Ye-fang, TIAN Ze, YANG Hai-bo, LI Pan, ZHAO Qiang, LI Xiao-yu

(Aeronautics Computing Technique Research Institute, Xi'an 710068, China)

Abstract: Based on the analysis of basic hierarchy and topology of fibre channel protocol, aimed at the application in avionics system, a new method which uses software and hardware cooperating design on SOPC platform to achieve the FC-2 protocol is brought forward in this thesis. Ways to constructing the platform, the drive software design of the platform, software and hardware cooperate design to achieve the FC-2 Protocol are described in details. The FC-2 protocol realize on SOPC Platform are tested fully, there are three test forms: communication with another same function board, communication with other commercial boards and communication with switches. The tested result gives the validity of FC-2 Protocol realize using software and hardware cooperate design based on SOPC platforms.

Key words: fibre channel; SOPC; protocol

0 引 言

光纤通道(Fibre Channel,以下简称 FC)技术是一项新兴的网络存储交换技术,它的高带宽、低延迟、低位错率和灵活的拓扑结构使得它能够满足未来航空电子系统的互联要求。光纤通道技术作为一种开放的工业接口标准,用于在计算机和计算机子系统之间传递信息,它支持 Internet 协议、小型计算机系统接口协议和其他高级协议。光纤通道支持点对点、仲裁环和交换网拓扑结构,传输速率可以达到 1Gbps、2Gbps、4Gbps 或者更高。

光纤通道的技术特点使得它能够很好地满足未来航空电子系统互连的要求,成为未来航空电子系统互连的首选标准,并已经在美国多个飞机型号如 JSF 和

下一代主战飞机上使用,解决了航空电子高速通信的难题^[1]。

1 FC 协议

FC 采用了分层的协议模型,共分为 5 层。层的定义如图 1 所示,分别为:物理介质和传输码,编解码,帧协议和流控制,通用服务和上层协议(ULP)接口^[2]。

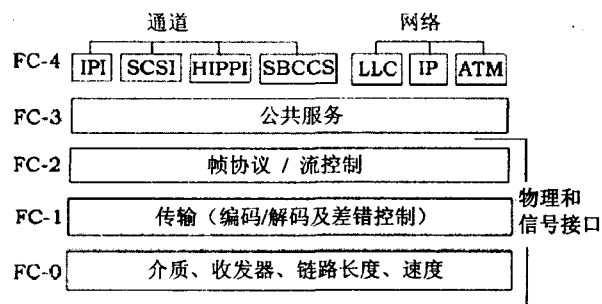


图 1 FC 协议的分层模型

FC-0,是介质接口层,定义了接口的物理特性。它包括收发器、传感器、连接器和其它发送和接收相关的电路。

FC-1 层定义了 8B/10B 数据的编解码方式、发送

收稿日期:2008-11-21;修回日期:2009-03-02

基金项目:国家“十一五”微电子预研项目(51308010511);某重点基金项目(9140A160107)

作者简介:蔡叶芳(1982-),男,陕西宝鸡人,助理工程师,研究方向为 SoC 设计、DFT 设计、FPGA 设计;田 泽,博士,研究员,研究方向为 SoC 设计、嵌入式系统设计、VLSI 设计。

机和接收机状态以及同步获取等,也称为传输协议层。

FC-2 层即帧协议层,是 FC 用来识别、解释和处理 FC 网络帧、序列和交换的核心层。FC-2 层规定信息单元的组成格式(包括帧、序列和交换)、原语序列协议、端口类型、服务类型、数据的分段与重组、流量控制、差错恢复策略、节点初始化以及节点的注册和注销等功能。

FC-3 层是 FC 的公共服务层,定义了一些通用服务功能,如带宽频率分片、搜索组和多播等。所有服务允许交换网的一个端口同时和多个 N 端口通信。

FC-4 层是 FC 中的最高层,提供一个和已经存在的协议的无缝连接。规定了 ULP 到低层协议的映射。FC-4 层包含了多种高层协议,例如 IP、FCP 等。

FC 协议定义了三种拓扑结构(如图 2 所示),分别为:点到点拓扑结构;交换拓扑结构;仲裁环拓扑结构。

* 点到点拓扑结构用一个双向的链路将两个 N-Port(或具备其功能的端口)连接起来构成通信网络,是 FC 拓扑结构中最简单的一种。该结构中两个端口独占发送和接收带宽,数据传输延迟低,确定性好。

* 交换结构是使用交换机将需要通信的 N-Port 连接起来构成的通信网络,结构中连接的设备数最多可达 1500 万个以上,而且允许多个设备在同一时刻进行高速通信。交换结构是 FC 拓扑结构中功能最具优势的拓扑结构,优点是通信带宽高、可靠性高、数据传输延迟小和扩展性好,但是,结构复杂,组网费用较高。

* 仲裁环结构是将支持仲裁环功能的 FC 端口,即 L-Port(或具备 L-Port 功能的端口)连接起来,组成的一个环状串行通信网络,并为任意两个端口提供逻辑上的双向点到点通信链路。

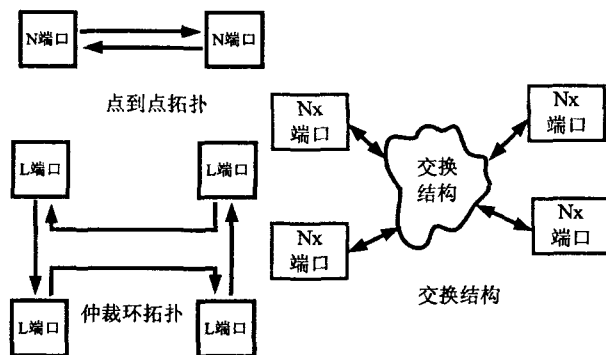


图 2 FC 协议的三种拓扑结构

2 FC-2 层协议基于 SOPC 的设计与实现

SOPC 设计集成平台是一种高效设计环境,其基本概念是设计一种稳定的框架,其中可以预置适于特定应用范围的、经过检验合格的 IP^[3,4]。使用 SOPC 技术有利于加速产品的开发和上市时间。本项目就是

基于 Xilinx 的 FPGA 芯片,内嵌 PowerPC405 处理器,集成 Xilinx 光纤通道 IP 核和其他模块(例如,中断控制器、串口等)的可重构、灵活高效的片上系统方案,使用软硬件协同的设计方法实现了光纤通道 2 层协议。

2.1 平台构建及资源

2.1.1 基于 SOPC 的 FC-2 层协议的硬件平台概述

基于 SOPC 的 FC-2 层协议的硬件平台在 Xilinx 公司的 FPGA 内部构建一个片上系统,集成了 PowerPC 405 处理器、FC-IP、RocketIO、SRAM、UART 等资源(如图 3 所示)。FC-IP、RocketIO 模块和客户端逻辑一起构成基于 SOPC 的 FC-2 层协议的硬件平台的主要部分——光纤通道接口,它完成 8b/10b 编解码、帧界定、控制以及收发等功能,其中包含独立的接收器和发送器,接收器负责接收帧,发送器负责将发送缓冲区帧发送到 FC 网络。

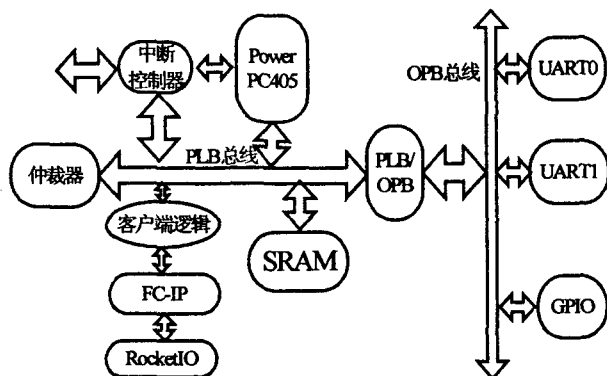


图 3 基于 SOPC 的 FC-2 层协议的硬件平台原理框图

基于 SOPC 的 FC-2 层协议的硬件平台内嵌 PowerPC 405 处理器,该处理器可寻址 4GB 空间,在 SOPC 平台中地址空间分配,如表 1 所示。

表 1 地址空间分配表

| 序号 | 定义 | 地址空间 | 大小 |
|----|---------------|-------------------------|-------|
| 1 | SRAM | 0xFFFE0000H~0xFFFFFFFH | 128kB |
| 2 | FC-IP BackEnd | 0x90000000H~0x90007FFF | 64kB |
| 3 | FC-IP 寄存器 | 0x90008000H~0x9000FFFF | 32kB |
| 4 | 中断控制器 | 0x | |
| 5 | 串口 | 0x40600000H~0x4060FFFFH | 8B |
| 6 | GPIO | 0x40000000H~0x4000FFFFH | 8B |

2.1.2 基于 SOPC 的 FC-2 层协议的硬件平台工作原理

基于 SOPC 的 FC-2 层协议的硬件平台最主要的部分是光纤接口,它由 FC-IP、FC-IP Backend 和 RocketIO 构成。

FC-IP 实现了 FC-0、FC-1 和 FC-2 层的部分内容,主要包括 FC 端口状态机、缓冲区到缓冲区信用管理等功能。

FC-IP Backend 分为发送控制逻辑和接收控制逻辑。

辑及其到 PLB 总线的接口逻辑三部分。发送控制逻辑支持四个发送帧缓冲器。

接收控制逻辑可以自动完成一帧数据的接收。CPU 可以控制接收控制逻辑启动或停止数据接收。

到 PLB 总线的接口逻辑实现 FC-IP 收发控制到 PLB 总线的接口控制,实现处理器对于 FC-IP 的控制和数据收发。

Xilinx RocketIO 主要实现 8B/10B 编解码和高速串并转换功能^[5]。

发送数据时,CPU 通过 CPU 接口将 SOF、帧头数据和 EOF 写入控制逻辑中的寄存器,并修改指针寄存器数据。发送控制逻辑按 FC-IP 的时序要求,发送 SOF、帧头,读取发送帧缓冲器中的数据并发送到 FC-IP,最后送出 EOF。发送状态保存在发送状态寄存器中,CPU 可以访问这个寄存器。RocketIO 经过对接收到的数据进行 8B/10B 编码后送到 FIFO 里面,最后经过串并转换变成串行数据送到 FSP 模块。发送完成后,可以通知中断方式通知 CPU。

接收数据时,首先来自 FSP 模块的数据经过串并转换变成 10 位并行数据,进行 8B/10B 解码后送到接受 FIFO^[6]。接收控制逻辑对于接收到的数据进行分析 and 识别,接收到的 SOF、帧头及 EOF 保存在接收控制逻辑中的相关寄存器中,CPU 可以通过 CPU 接口进行访问。接收到 payload 数据保存到接收帧缓冲器中。控制逻辑支持 8 个接收帧缓冲器。

2.2 FC-IP

Xilinx 光纤通道 IP 核(以下简称 FC-IP)是一个面向 S 网络应用的光纤通道协议处理 IP 核,是 FC 架构的一部分。它完成 FC-0、FC-1 所规定的功能以及 FC-2 层的部分功能。能够支持 FC 通信协议下的点到点和交换结构,并可以支持 1 类、2 类、3 类、6 类服务,可自动的完成全部通信过程^[7]。

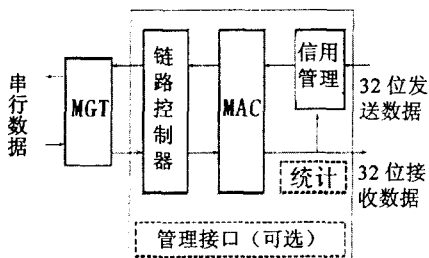


图 4 光纤通道 IP 核功能框图

图 4 所示即为设计的光纤通道 IP 核的功能框图。主要功能模块有:链路控制、MAC、信用管理、统计和管理接口。

可选的管理接口是一个 32 位的数据通路,独立于 FC 核的数据通路,用来对核进行配置和访问统计块。

当没有选择管理接口时,仍然可以使用配置向量对核进行配置,统计也可以使用核外的统计向量进行收集。信用管理模块提供简单的缓冲区到缓冲区信用管理,跟踪接收到和发送的 R_RDY 和 SOF 原语,支持基于 BB_SCx 的信用恢复。MAC 块提供核的主要功能,由 PSM(端口状态机)以及帧控和数据校验组成。链路块提供输入数据的字对齐和同步,以及输出数据的 CRC 的产生和校验。可选的统计块收集和存储核内存储器的统计信息。这些位需要周期性的测验以避免计数溢出。当核中没有包括可选的统计块时,仍然可以使用统计向量在核外对统计量进行收集。可选的速度协商块提供用于双速率核的能力。

2.3 FC-2 层软件实现

基于 SOPC 的 FC-2 层协议的硬件平台实现了 FC-FS 协议的 1 层和 2 层部分功能,在实际应用中必须开发相应的协议软件来满足系统的要求。为了测试基于 SOPC 的 FC-2 层协议的硬件平台对于协议软件的支持,必须在设计阶段就开发 2 层协议软件做软硬件协同设计。2 层协议的开发主要包括两个部分:驱动层软件和 FC-2 层协议软件。

FC 驱动软件为上层用户提供一组通用的设备管理和通信函数。驱动层软件主要包括初始化软件和接口函数。初始化软件包括上电初始化、通信协议初始化、DMA 初始化配置、FC 协议初始化配置和中断初始化等初始化过程。

在 FC-2 层协议软件的协同设计中主要做了 FLOGI/PLOGI、数据帧收发、相应的信用管理等内容。

主要的协议软件流程是:

首先,是基于 SOPC 的 FC-2 层协议的硬件平台资源的初始化配置,包括端口号的分配、端口属性设置、端口状态机控制、端口、流控方式的选择、服务类型的选择等以及其它硬件资源的初始化工作。完成初始化配置之后,基于 SOPC 的 FC-2 层协议的硬件平台可以正常运行,正常启动端口状态机,使得端口状态机跳转到 AC(Active)状态。

第二步,端口注册过程。这个过程中涉及到链路服务功能,交换序列的管理,帧的管理和解析等,不管是哪种拓扑结构,注册过程都必须是先进行交换结构注册,然后执行节点注册,完成整个注册过程。

下面给出交换结构注册的参考程序:

```
void FLOGI(void)
{
    FLOGI_Send_Flag = 1;
    if(FLOGI_Send_Flag == 0) /* 作为被注册方 */
    {
        ...
    }
}
```

```

    ACC_FLOGI();
}
if(FLOGI_Send_Flag == 1) /* 作为主动注册方 */
{
    Launch_FLOGI();
}
}

```

下面给出节点注册的参考程序:

```

void PLOGI(void)
{
    if(PLOGI_Start_Flag == 0) /* 作为被接收方 */
    {
        ACC_PLOGI();
    }
    if(PLOGI_Start_Flag == 1) /* 作为主动 */
    {
        Launch_PLOGI();
    }
}

```

第三步,通信过程。该过程主要包括交换序列管理、帧的管理和收发,流控管理和信用管理以及可能的差错处理。

第四步,注销过程,在完成通信后,如果端口不需要进行通信并准备退出,则执行注销过程,从所有的通信端口注销出,以完成相关资源的释放做准备。

此外,在整个通信过程中还进行差错控制和处理。针对不同的错误类型,FC-2 中给出了相应的错误检测与恢复方法,以保证链路和数据通信的可靠性。

2.4 基于 SOPC 的 FC-2 层协议实现的测试

在基于 SOPC 的 FC-2 层协议的硬件平台上做了如下测试,在这些平台上通过运行 FC2 层协议软件,进一步测试 SOPC 系统的整体性能和软件兼容性。

(1) 两块基于 SOPC 的 FC-2 层协议的硬件平台的点对点测试;

(2) 基于 SOPC 的 FC-2 层协议的硬件平台与商业板卡的互联点对点测试;

(3) 基于 SOPC 的 FC-2 层协议的硬件平台与交换机的互联通信测试。

在此基础上,使用了一块商业板卡、一块 SOPC 系统原型板,两者都连接到 FC 交换机, SOPC 系统原型

板发送 FLOGI,等待商业板卡回送 FLOGI-ACC 并发送 PLOGI, SOPC 系统原型板回送 PLOGI-ACC,等待商业板卡发送 PRLI, SoC1 回送 PRLI-ACC,注册完成,进入逻辑环回通信模式。

3 结束语

通过对于光纤通道协议的介绍和分析,介绍了基于 SOPC 的 FC-2 层协议的硬件平台的实现和工作原理,重点介绍了光纤通道 IP 核。在此基础上开发了 FC-2 层协议,并对基于 SOPC 的 FC-2 层协议的硬件平台进行了软硬件协同测试。

通过上述测试表明,所设计的基于 SOPC 的 FC-2 层协议的硬件平台可以与板卡和商业交换机互相通信,符合 FC-PH 和 FC-FS 规范要求,具备点对点和交换结构条件下的 1 类、2 类、3 类、6 类服务的全双工通信能力,支持速度协商功能,传输速度 1.0625Gbit/s、2.125Gbit/s 可选择。通过对两个 FC 节点的点对点测试,进程间的 FC 有效带宽可以达到 400Mb/s。

通过基于 SOPC 的 FC-2 层协议的硬件平台及其协议软件,实现了光纤通道 2 层协议,通过测试表明此系统满足应用需求。

参考文献:

- [1] Heath J R, Yakutis P J. High Speed Storage Area Networks Using a Fibre Channel Arbitrated Loop Interconnect[J]. Network, IEEE, 2000, 14(2): 2-3.
- [2] ANSI. X3T9.3 Task Group. FIBRE CHANNEL FRAMING AND SIGNALING (FC-FS) REV 1.80 with revision bars [M]. US: ANSI, 2003.
- [3] 王田苗. 嵌入式系统设计与实例开发[M]. 北京:清华大学出版社, 2002.
- [4] 齐利芳, 贺占庄. SOPC 设计中的两种片上总线分析[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(1): 180-181.
- [5] Xilinx Inc. RocketIO Transceiver User Guide[Z]. Xilinx Inc, 2004.
- [6] 张维旭, 贺占庄. 基于 FPGA 的异步 FIFO 设计[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(7): 168-169.
- [7] Xilinx Inc. Logic CORE Fibre Channel User Guide[Z]. Xilinx Inc, 2004.

(上接第 223 页)

- [6] 逯绍锋, 罗永龙, 石磊. 基于 ArcIMS 的数字校园信息系统设计及实现[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(7): 146-148.
- [7] 王京卫, 郝光荣, 王金辉. 基于 WebGIS/GPRS/GPS 的车辆监控调度系统研究[J]. 计算机与数字工程, 2008, 36(3):

131-133.

- [8] 葛晓锋, 曹斌. GPS 与 GIS 结合的高速公路实时路况分析系统设计及实现[J]. 电子技术, 2007(7/8): 155-157.
- [9] 林学玮, 王明亮. 地理信息技术在高速公路管理系统中的应用研究[J]. 北方交通, 2007(8): 85-88.