

基于 FPGA 的 IEEE 1394 链路层控制器的设计与实现

汪国有, 何晓翔, 王至勉

(华中科技大学 图像识别与人工智能研究所, 湖北 武汉 430074)

摘 要: 阐述了 IEEE 1394 总线的工作原理与链路层控制器的设计方案, 并以 Altera 公司的 Cyclone 系列 FPGA 为平台, 给出了 IEEE 1394 链路层控制器的逻辑设计、功能仿真和电路验证。实验表明, 该控制器芯片达到了 100 Mbit/s 的传输速度, 符合 IEEE 1394 规范。

关键词: IEEE 1394; 1394 串行总线; FPGA; 1394 链路层控制器

中图分类号: TN4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2004)05-0553-04

Design and implement of IEEE 1394 Link Layer Controller based on FPGA

WANG Guo-you, HE Xiao-xiang, WANG Zhi-mian

(Institute of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: This article illustrates the operation principle of IEEE 1394 Serial Bus and design architecture of IEEE 1394 Link Layer Controller, and gives a logic design of IEEE 1394 Link Layer Controller, function simulations in software and FPGA-based circuit verification. The experimental result has shown that the controller can transfer data at 100 Mbit/s and accord with IEEE 1394 specification.

Key words: IEEE 1394; 1394 Serial Bus; FPGA; 1394 Link Layer Controller

0 引 言

IEEE 1394 是 1986 年由美国 Apple 公司开始构思, 并于 1994 年提出的高速串行总线标准。1995 年经电气和电子工程师协会 (IEEE) 认证成为正式标准。IEEE 1394, Apple 称之为火线 (FireWire), Sony 称之为 i. Link, Texas Instruments 称之为 Lynx, 发展至今已有两个版本: IEEE 1394a 和 IEEE 1394b。

IEEE 1394 火线标准具有如下特点^[1,2]:

- (1) 高速的数据传输速率。IEEE 1394a 最大传输速率为 400 Mbit/s;
- (2) 支持热插拔, 即支持即插即用和带电插拔;
- (3) 支持各种速度, 可同时连接不同传输速度的外设, 使连接网具有很强的灵活性;
- (4) 具备点对点的传输模式, 即不通过计算机进行相互串接和传输资料;
- (5) 最多支持 63 个节点的串接;
- (6) 接口具有高速性和实时性, 可支持同步和异步数据传输;

收稿日期: 2003-11-10; 修订日期: 2003-12-20

作者简介: 汪国有 (1965-), 男, 安徽休宁县人, 教授, 主要从事成像目标自动检测识别、图像压缩、指纹图像识别、图像测量、VXI 虚拟测试以及高速信号处理等方面的科研与教学工作, 发表论文 60 余篇, 获国家教育部科技进步一等奖、二等奖各一次。

(7) IEEE 1394a 的规格,两节点间的最大距离为 4.5 m,而 IEEE 1394b 的规格,两节点间的最大距离可达 100 m。

1394 总线节点的分层拓扑模型如图 1 所示。将每一个 1394 节点作为一个子系统来看可以分成三个层次模型:传输层(Transfer layer)、链路层(LLC)和物理层(PHY)。

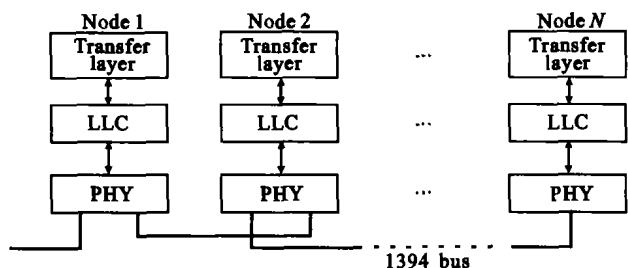


图 1 1394 总线分层模型
Fig. 1 1394 bus layer model

(1) 传输层:完成用户任务的事务分割、调度和应用。根据串行总线服务模式,传输层协议定义了一个完全的请求-响应(Request-response)协议来执行总线处理请求和支持 CSR 结构(Read, Write, Lock 操作)。

(2) 链路层:提供应用层的运行支撑环境和数据包传送服务。链路层为传输层提供了一个应答的数据包(一个单向的请求证实的数据传送)服务,为数据包的发送和接收提供了寻址、数据校验和数据成帧服务,此外,也为应用直接提供等时数据传送服务,它包括产生用于同步和定时的 Cycle 周期信号。

(3) 物理层:1394 总线的初始化、申请和仲裁,数据比特流的传送、控制。物理层将链路层数据的逻辑符号转换为串行总线媒介上的电信号;通过仲裁服务保证一次只可能有一个节点发送数据;为串行总线定义电气机械接口。

1 系统设计

下面描述的是链路层部分:1394LLC 接口芯片作为单片机和 1394PHY(物理层)之间的接口部件,一方面为 1394PHY 提供链路层服务,另一方面还为本地单片机提供总线接口。

1394LLC 接口芯片内部的逻辑结构包括:主机

总线接口(Host interface)、发送和接收数据缓冲区(FIFO)、内部寄存器块(Internal registers)、发送数据编码器(Transmitter)、接收数据解码器(Receiver)、周期时钟(Cycle timer)、时钟监视器(Cycle monitor)、CRC 数据校验(CRC)、PHY 层接口(PHY interface),如图 2 所示^[3,4]。

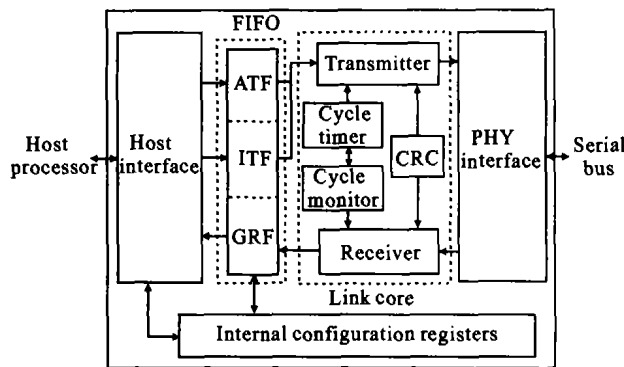


图 2 1394LLC 逻辑结构
Fig. 2 1394LLC logic architecture

从图 2 可以看出,IEEE 1394 链路层控制器大致分为以下几个部分:

(1) 对外接口部分 包括主机总线接口和 PHY 层接口,完成对上层主机的数据服务和下层 1394PHY 的交互。

(2) 数据处理部分 包括发送数据编码器和接收数据解码器,负责发送数据包的成帧和接收数据包的解包。周期时钟和时钟监视器用来检测、监视 IEEE 1394 总线上的同步总线周期开始包,保持本节点和总线上所有其他节点同步。

(3) 内部寄存器和数据缓冲区 提供给上层的控制寄存器、状态寄存器,以及发送和接收数据过程中所必需的数据缓冲。

1.1 接口部分

主机总线接口:负责对外部总线传来的地址信号进行译码,对数据信号缓冲锁存。LLC 芯片可以很容易地通过主机总线接口和主机 CPU 相连。该接口包括 32-bit 数据总线、8-bit 地址总线。

PHY 层接口:给发送数据编码器和接收数据解码器提供 PHY 层访问服务支持。包括申请获得总线的访问使用权、发送接收数据、发送接收 ACK 和读写 PHY 寄存器。

1.2 内部寄存器和数据缓冲区

内部寄存器块:本地主机通过设置内部寄存器块来控制 LLC 的操作模式,并且通过读取内部寄存器块获得 LLC 的当前工作状态。

发送和接收数据缓冲区:LLC 有三个数据缓冲区,即两个发送缓冲区(ATF 和 ITF)、一个接收缓冲区(GRF)。三个缓冲区的总和是 512 字节,大小可以通过设置相应的 Internal FIFO registers 来确定。

1.3 数据处理部分

数据处理的主要任务是发送数据包的成帧和接收数据包的解包,但是每个 1394 节点都不是孤立的,而是串联在总线上的一系列节点中的一环,所以要配合总线上面所有的节点共同工作,就需要一些辅助的总线信息管理,周期时钟和时钟监视器就是完成这部分工作的。IEEE 1394 总线以 125 μ s 为周期,每 125 μ s 就同步一次所有的节点,周期时钟和时钟监视器用来监视这个总线周期。

周期时钟:用于支持同步传送的节点,是一个 32-bit 的寄存器。其寄存器包括三个部分:cycle offset、cycle count 和 second count。低 12 bit 是 cycle offset 部分,由一个 24.576 MHz 的时钟驱动。中间 13 bit 是 cycle count 部分,每当 cycle count 加 1,就代表一个总线周期结束,这时就会产生一个 CYCOUT 信号,控制器就知道一个新的总线周期开始了。

时钟监视器:仅用于支持同步传送的节点,它观察控制器的活动状态并处理同步事务。每当收到一个 cycle-start 信息的时候,时钟监视器就设置 cycle-started 中断位,这样上层的用户就知道总线上的等时周期开始了。每当等时周期结束的时候,时钟监视器就会设置 cycle-done 中断位,这样上层用户的等时事务就只能等待下一个等时周期到来的时候再执行了。

图 3、图 4 示出的两个模块都是用来辅助数据的发送和接收的,保证数据包的传送满足 IEEE 1394 总线协议规范。但是归根到底数据处理部分最重要的工作还是发送数据包的成帧和接收数据包的解包,所以下面简单介绍一下 IEEE 1394 总线协议规范中各种数据包的格式。IEEE 1394 总线上主要有两种事务:等时事务和异步事务,对应着两种主要的数据包格式:等时数据包和异步数据包。

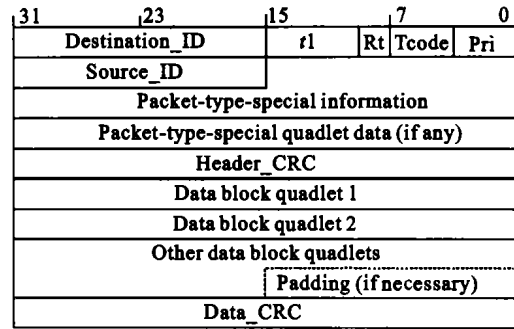


图 3 异步数据包

Fig. 3 Asynchronous packet

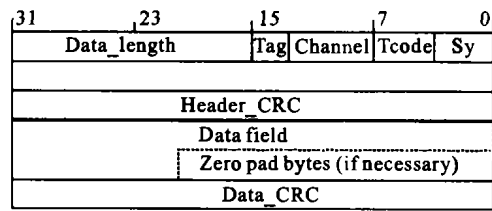


图 4 等时数据包

Fig. 4 Isochronous packet

从图中的表格可以看出,这些数据包是在总线中传送数据,还包含了 CRC 数据校验码。但实际上数据校验码的产生是在链路层内部完成的,上层用户应该看不到这些校验信息。所以上层用户写入给链路层控制器的数据包和链路层数据成帧以后发送给物理层的数据包在内容、格式上稍有不同,发送数据编码器和接收数据解码器要完成相应数据格式转换的工作。

由上层用户写入给链路层控制器的数据包和链路层数据成帧以后发送给物理层的数据包的格式对比可以看出,发送数据编码器主要完成的功能为:

- (1) 读数据包的第一个 Quadlet,并且把其中的前 16 位替换为 Destination_ID;
- (2) 读数据包的第二个 Quadlet,把 Destination_ID 替换为 Source_ID;
- (3) 计算 CRC,并把 CRC 附在数据包最后。

接收数据解码器主要完成的功能为:

- (1) 对物理层的数据计算 CRC。如果包头 CRC 校验错误,丢弃数据包;
- (2) 判断数据包的类型、计算数据包长度,生成对应的数据包头;
- (3) 计算 CRC,如果包体 CRC 校验错误,生成相应的错误码。

(4) 把正确的数据包写入接收数据缓冲区。

2 仿真与验证

为了保证逻辑设计的正确性,在实际项目中采用了一套验证方案,如图5所示。

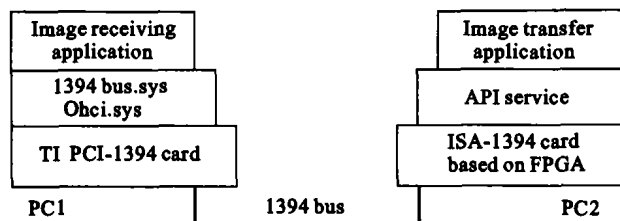


图5 验证方案

Fig. 5 Emulation scheme

在PC1上使用TI公司的PCI-1394卡,配合PCI-1394的驱动程序,编写一个动态图像发送软件;在PC2上使用自行设计的基于FPGA芯片的ISA-1394卡,通过ISA驱动程序编写一个动态图像显示软件。

在实验中,从PC1发送一幅图片,并设定PCI-1394卡的发送速率为100 Mbit/s,在PC2端可以正确地接收并显示发送的图片。因为TI的PCI-1394卡是市场上成熟的商品,可以肯定它是完全符合IEEE 1394规范的,现在自行设计的ISA-1394卡可以与之保持正常通信,自然说明了基于FPGA设计的1394控制器的正确性。

3 结束语

给出了IEEE 1394总线链路层控制器的设计方案,如果与IEEE 1394总线物理层控制器结合使用就可以构成一个完整的IEEE 1394节点控制器。由于FPGA是可重复编程升级的器件,本项目采用的Cyclone系列的FPGA支持在线可编程(In System Programming,ISP)和上万次的编程次数,所以可以直接通过软件编程完成产品升级和完善,满足用户不断提出的新要求。

随着集成电路的发展,可以利用FPGA把链路层控制器和物理层控制器集成到一块芯片上,实现所谓的片上可编程系统(System On a Programmable Chip,SOPC),而且也将来定制自己的专用IC提供了逻辑设计的蓝本。

参考文献:

- [1] IEEE Std 1394-1995,IEEE 1394 高速串行总线标准[S].
- [2] Don Anderson 著;姜汉龙译. FireWire 系统体系[M]. 北京:中国电力出版社,2001.
- [3] Texas Instruments. TSB12LV01B IEEE1394 Link-Layer Controller data manual[Z]. Texas:Texas Instruments,2000.
- [4] Texas Instruments. TSB41AB3 IEEE1394a THREE-PORT CABLE TRANSCEIVER/ARBITER Data Sheet [Z]. Texas:Texas Instruments,2000.

《红外与激光工程》中文文摘编写要求

本刊中文文摘按GB6447-86《文摘编写规则》编写,编写文摘应注意:

1. 文摘应包含目的、方法、结果和结论四要素。目的是指主题范围;方法是指所用的原理、工艺、材料、手段、装备等;结果是指实验研究的分析、评价、建议等。篇幅为200~300字。
2. 结构严谨,表达简明,语义确切。一般不分段落。
3. 文摘一律用第三人称,应采用“介绍了…”,“对…进行了研究”,不必使用“本文”“作者”等作为主语。
4. 文摘应具有独立性、自含性,不标注图、表、公式和参考文献的序号。
5. 要采用规范化的名词术语,第一次出现非公知的术语时应标注说明。
6. 缩略语、略称、代号除读者能清楚的以外,首次出现时必须加以说明。
7. 应采用国家颁布的法定计量单位。
8. 要注意正确使用简化字和标点符号。
9. 中文摘要前加“摘要”作为标识。