

基于以太网的高速图像传输的研究与实现

孙海超,陈春宁,田 睿,邸 男,韩广良

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033)

摘 要:长期以来,人们对图像处理的需求越来越大,要求也越来越高,图像的高速传输又一直是图像处理中的瓶颈。与此同时,随着网络技术和 FPGA(可编程逻辑器件)的不断发展与进步,这为有效地解决图像的高速传输问题提供了新的方法和途径。因此文中针对此问题并结合实际的工程实践提出了基于以太网的图像传输系统。文中采用了以太网协议,在 FPGA 硬件上实现了高速图像的实时传输系统,并在上位机实现了图像的实时处理。实验结果表明该系统具有集成度高、可靠性高、传输速度快等优点,能够有效地解决图像传输中的速度限制。

关键词:以太网;可编程逻辑器件;图像传输

中图分类号:TP302.1

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2014)03-0187-03

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.03.046

Research and Implementation of High-speed Image Transmission Based on Ethernet

SUN Hai-chao, CHEN Chun-ning, TIAN Rui, DI Nan, HAN Guang-liang

(Institute of Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: For a long time, the demand for image processing is increasing and its requirements is also increasing. High-speed image transmission has been the bottleneck in image processing. At the same time, continuous development and progress of network technology and FPGA, provide a new method and way to solve the question of the high-speed transmission of images effectively. Consequently, propose Ethernet-based image transmission system combined with the actual engineering practice for this problem. Using the Ethernet protocol, implement the real-time transmission of high-speed image in FPGA hardware and the real-time image processing in the industrial computer. The experiments show that the system has advantages of high integration, high reliability, high speed transmission and so on, so it can effectively resolve the speed restriction in image transmission.

Key words: Ethernet; FPGA; image transmission

0 引言

随着网络技术的不断发展,以太网因其灵活度高、实现简单、适应范围广等优点,越来越受到人们的关注,应用范围也不断地在扩大。特别是其较好的稳定性、速度快、通用性高等优点,不仅在工业上有广泛的应用,而且在航天、航空等方面也有广泛的应用。

FPGA^[1]器件具有并行处理能力,灵活的编程方式,功能强大。采用 FPGA 实现以太网传输具有集成度高、可靠性高、低功耗、设计周期短、成本低等优点,在图像处理方面具有较好的优势。FPGA 与图像处理芯片 DSP 具有良好的兼容性,并且其强大、灵活的电

路设计可以很方便地扩展其他的功能器件。这样使得 FPGA 可以在处理速度、功能等方面都更好地应用到图像处理上,提高了系统的集成度和可靠性。

文中针对图像数据传输问题,提出了利用以太网进行图像数据设计的方案,并使用 Xilinx 的 FPGA 芯片实现了设计方案^[2-4]。

1 总体设计方案

以太网传输数据的主要协议包括两种,一种是 TCP/IP^[5-6],此协议主要应用于互联网传输,协议复杂,传输效率低。另一种是 UDP,协议简单,传输有效

收稿日期:2013-04-11

修回日期:2013-07-18

网络出版时间:2013-11-29

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61172111)

作者简介:孙海超(1986-),男,吉林长春人,硕士,实习研究员,研究方向为实时图像处理;陈春宁,博士,副研究员,研究方向为计算机图形学和实时图像处理。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20131129.1020.055.html>

数据率高,能够较好地满足图像数据性能要求。因此该设计采用了 UDP。

2 以太网的介绍

2.1 IEEE 802.3 标准

目前以太网传输采用 IEEE 802.3 标准,其主要分为以下五部分:

- 1)物理层。利用 PHY 芯片接收数据。
- 2)数据链路层。主要包括逻辑链路层控制(LLC)和媒体访问控制(MAC)。它的主要功能是数据帧的封装和解封。
- 3)网络层。主要功能是处理网络中的分组,例如分组选路。主要包括 IP、ICMP 等。
- 4)传输层。主要的功能是建立两台机器之间的逻辑连接,包括 TCP 和 UDP。
- 5)应用层。主要的功能是建立应用进程间的逻辑连接。包括 HTTP、FTP 等应用协议。

2.2 以太帧的基本结构

在该设计中采用 UDP^[7]。以太帧的封装主要包括 IP 及 UDP 两部分。

1)以太网首部包括前导码,分隔符,目的 MAC 地址,源 MAC 地址。前导码的作用是同步接收端和发送端的时钟,前导码的值是 6 个 8'h55 和一个 8'hd5,共 7 个字节。分隔符的作用是分离前导码和以太帧数据,字节数为 1。目的 MAC 地址表示接收端的 MAC 地址,字节数为 6。源 MAC 地址表示发送端的 MAC 地址,字节数为 6。

2)IP 首部。普通的 IP 首部长度为 20 个字节,除非含有选项字段。目前的以太网协议版本号是 4,即 IPv4。首部长度字段的值为 5,表示首部长度为 20 字节,最长的为 60 字节。服务类型设定为一般服务,即 x00。16 位总长度针对 UDP 表示为 IP 首部长度,UDP 首部长度和有效数据的长度三者之和。16 位标识表示每发送一个 IP 协议帧数值加 1。3 位标志和 13 位片偏移与数据分片有关。8 位生存时间表示以太帧经过一次路由器,其值会减 1,当减到 0 时,以太帧不再传输。8 位协议表示 IP 的协议类型,主要包括 UDP, TCP,IGMP 等协议,其中 UDP 的值为 17。16 位首部校验和计算 IP 首部的校验和,计算过程是先将首部中的校验和设为 0,再将 IP 首部按 16 位进行反码求和,所得的结果就是首部校验和。

3)UDP 首部。UDP 首部包括 16 位源端口号,16 位目的端口号,16 位 UDP 长度和 16 位 UDP 校验和。UDP 长度指的是 UDP 首部和 UDP 数据的字节长度。UDP 校验和覆盖 UDP 首部和 UDP 数据,这样可以保证数据的可靠性。与 IP 首部校验和类似采用 16 bit

字的二进制反码求和。但是它们之间存在不同的地方。首先,UDP 数据报的长度可以为奇数字节,但是校验和算法是把若干个 16 bit 字相加。解决方法是必要时在最后增加填充字节 x00,这只是为了校验和的计算(也就是说,可能增加的填充字节不被传送)。另外,UDP 数据报都包含一个长度为 12 字节的伪首部。

2.3 分片实现

实现分片的原因是解决图像数据量大、接收端响应过于频繁的问题。如果传送图像数据的大小是 $1\,024 \times 1\,024$,每秒传 8 帧,其带宽是 80 Mbit/s。假设每帧数据传送 1 024 个字节(以太网协议中最大值是 1 500 字节),则需响应的中断频率接近 8 000 次/s。这将会对图像的接收,图像的处理和硬件设备等造成一定限制和影响。如果采用分片的协议,接收端会将多个分片的以太帧组合成为一个 UDP,响应一次中断。在分片的 UDP 中,涉及的字段主要是 16 位标识,3 位标志和 13 位片偏移。在文中将一个 UDP 以太帧分为 32 片。如果每片的有效数据是 1 024 字节,那么每帧的数据量是 32 k 字节,响应的中断减少为原来的 1/32。

具体流程:除了第一片的数据大小是 $1\,024+8$ 字节(UDP 首部的长度为 8 个字节),其他片的数据大小是 1 024。当发送第一个分片 IP 协议帧时,以太帧要有 UDP 首部及第一片的有效数据,其余的 IP 协议帧只发数据。只有在发送最后一块以太帧时 3 位标志是"001",其余的以太帧是"000","001"表示此帧不分片,"000"表示此帧分片。13 位的偏移量的计算方法是要将数据总字节数除以 8。第一个分片偏移量为 0,第二分片的偏移量是 $(1\,032/8+1)$ 字节,其他的分片都是 $1\,032/8$ 。其中 UDP 的校验和的计算内容是整个 UDP 包。

3 系统实现

3.1 实现的功能

网口设计采用百兆传输速度^[8],全双工模式,MAC 采用 MII 模式。具体实现了以下功能:

- a)实现百兆的网络传输,最高传输速度是 97 M/s;
- b)实现双全工模式;
- c)实现 MII 模式的 MAC;
- d)可实现分片的 UDP 传输。每个 UDP 数据包括 $1\,024(\text{字节}) \times 32$ 的有效数据;
- e)实现 ARP 和 PING 协议的收发。

3.2 基本结构及实现流程

该设计采用 FPGA 实现^[9-10],其主要功能是图像传输。整理信号流程图如图 1 所示。

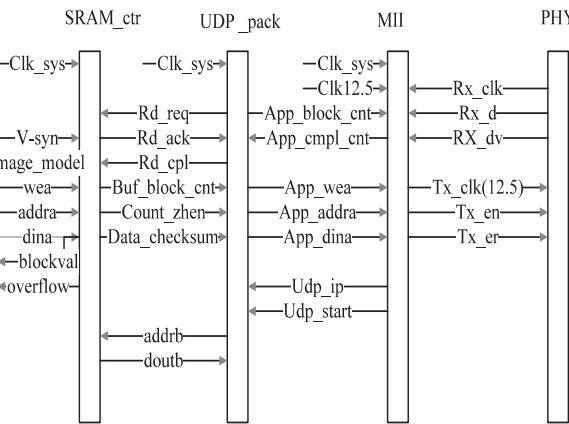


图1 整体信号流程图

基本结构包括以下几部分:

1)SRAM_ctrl 模块。

SRAM_ctrl 模块的主要功能是将输入的数据存入 FPGA 中的 RAM。写地址是由外部图像输入端控制。读地址由 UDP_pack 部分控制,读出的数据输出给 UDP_pack 部分。当 UDP_pack 空闲时,发送读请求。如果 SRAM 中有有效数据,回应请求。

2)UDP_pack 模块。根据 SRAM_ctrl 模块的开始脉冲和应答脉冲,计算偏移量、标识、UDP 长度等,并实现计算校验和,添加 UDP 首部等。根据应答信号及发送模块是否空闲,判断是否可以打包。若可以,则依据 UDP 进行打包,写入 TX_buffer 中。

3)MII 模块。MII 模块的信号流程图如图 2 所示。主要包括发送和接收两部分。接收部分又分为适配和解析两个模块。适配模块实际上就是判断前导码,将有效数据存入到 rx_buffer 中。解析模块的功能是分析接收的以太帧,并根据不同的类型获取不同的信息。解析的以太帧类型包括 ARP,PING 和 UDP 三种协议。发送模块包括三种类型的以太帧,包括 ARP 应答帧,PING 应答帧和 UDP 图像数据。根据不同的协议类型读取不同的 RAM 区。在发送模块中添加 UDP 中的以太帧首部和 IP 首部,并进行 CRC 校验。

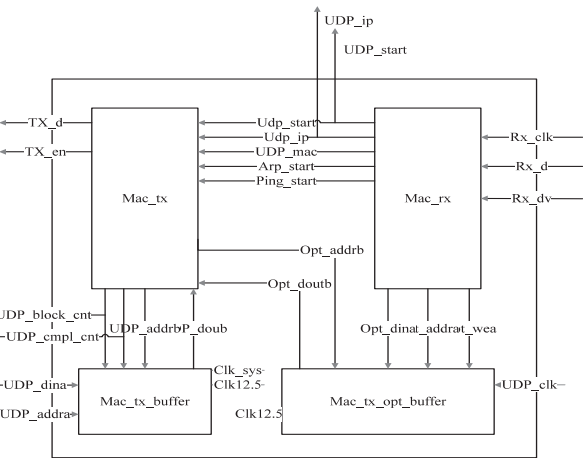


图2 MII 模块信号流程图

4 仿真实验

该设计采用了 VHDL,在 Xilinx 的 V5 器件上进行了实现,并利用 Isim 进行了软件仿真和测试。

在仿真实验中,系统可以正确地输出前导码,分隔符,目的 MAC,源 MAC 等协议数据,实现 IP 和 UDP。结果表明该设计完成了以太网传输的硬件实现,利用以太网传输图像。通过实际的工程应用表明发送和接收图像数据结果正确,传输过程可靠稳定,能够满足实际的应用要求。硬件使用 FPGA(XC5VLX50)芯片和 PHY 接口芯片 88e1111,并利用网络接口接收来自上位机的网络数据及发送 FPGA 接收到的图像数据。系统在设计和实现中考虑到了千兆网的使用情况,所以采用了千兆网的 PHY 芯片,FPGA 的硬件程序也采用了兼容千兆网的结构,只需根据千兆网的协议做部分更改。系统的网络传输速度接近 80 Mbit/s,最高传输速度达到 97 Mbit/s,并在工控机上利用 VC 编程实现了图像的实时接收和实时处理^[11-12]。FPGA 资源使用情况如表 1 所示。

表1 FPGA 资源使用情况

	所用资源	利用率/%
Slice	2 409/49 152	4
RAM	30/320	9.3

5 结束语

文中采用 VHDL 完成了以太网协议、MAC 控制器等硬件设计和实现。并利用 IP 中的分片功能实现了 UDP 传输高速的图像数据,提高了利用网络传输数据量大的图像的应用范围,具有较高的工程应用价值。同时利用 FPGA 实现该设计,提高了系统的集成度、可靠性和可移植性。

参考文献:

[1] 田 耘,胡 彬,徐文波. Xilinx Ise Design Suite 10. xFPGA 开发指南[M]. 北京:人民邮电出版社,2008.

[2] 陆建德. 千兆以太网 1000BASE-X 体系结构实现分析[J]. 小型微型计算机系统,1999,20(12):912-923.

[3] 高一沅,黄春晖. 基于 MicroBlaze 的以太网通信系统平台设计的研究[J]. 现代电子技术,2007(17):29-31.

[4] 高 建,陈 安,侯鸿斌,等. 基于 FPGA 和 LWIP 协议的嵌入式以太网通信平台的设计[J]. 技术与市场,2008(11):6-7.

[5] 802.3 IEEE standard for information technology—Telecommunications and information exchange between systems—local and metropolitan area networks—Specific requirements[S]. IEEE Std 802.3,2002.

[6] Intel440 Multiport 10/100 Mb/s Ethernet Controller[M].

统计查询数据等,该系统中将部分访问要求高、访问频繁的数据直接存储在云中心了,而部分访问不频繁、没有涉密等等的数据存储在客户端。所以系统实现的动态云数据存储只是部分数据动态,读者可以根据实际问题,考虑自己的系统架构。

二级地县级农业部门管理的数据有农业“四情”监管数据,以及对企业级各环节的监管数据、报表数据等。系统处理中对这些数据的处理和企业级的数据处理一样,进行分类,加密,部分存储在云中心,而部分存储在地县级农业部门本身设备中。对数据的访问按照动态和虚拟化规则,对数据采用通用接口访问,只是地县级本身管理的数据部分来自农业企业,所以地县级部门相当于一个小的云计算中心。可以从农业企业访问数据,又可以提供数据给省级云计算中心平台。

三级省级农业部门作为真正的云数据中心,处理来源于企业级的数据、地县级的数据,以及对这些数据汇总统计等管理,还要存储和处理例如气象数据、灾情预测诊断及应急响应、农业资源的评估与管理、作物长势预测与估产等数据。而由于部分数据存储在一级和二级终端,大大减少了三级云数据中心的软硬件配置和网络配置成本。

5 结束语

运用动态云,将农业企业终端是否纳入云中心,来实现云中心的动态扩展和收缩,实现数据的动态存储、处理和资源虚拟化。通过南京和安徽等地某智慧农业的部分功能的实际运用,证明该架构能够减少硬件成本,降低网络性能要求,达到数据追溯有效性的目的。但是否需要将系统中所有终端以及产生的数据都进行动态云架构,是值得考虑的问题,建议按照需要设计。另外系统基于动态云架构,无疑增加了客户端的压力,合理地分配这种压力也是值得考虑的问题。部

分数据是存储在客户端的,只是虚拟成了服务端,那么由其他终端对数据的访问,无疑延长了访问时间,如何提高访问的速度和效率也是该系统要考虑的问题。另外,各农业企业间的资源数据的共享等,可以考虑增加基于企业的小的数据中心的架构。

参考文献:

[1] Liu J F, Liu P. Status and key techniques in cloud computing [C]//Proc of 3rd international conference on advanced computer theory and engineering. [s. l.]:[s. n.],2010:285-288.

[2] Chen K,Zhen W M. Cloud computing: System instances and current research[J]. Journal of software,2009,20(5):1337-1348.

[3] IBM blue cloud [EB/OL]. 2008-02-02. <https://www.ibm.com/developerworks/cloud/>.

[4] 杨 玲,李仁发,唐 卓. 基于 MapReduce 的单源最短路径算法研究[J]. 微计算机信息,2011,27(12):97-99.

[5] 陈丹伟,黄秀丽,任勋益. 云计算及安全分析[J]. 计算机技术与发展,2010,20(2):99-102.

[6] 余欣荣. 物联网-改变农业、农民、农村的新力量[M]. 合肥:安徽科学技术出版社,2012.

[7] 张小庆,贺忠堂,李春林,等. 云计算系统中数据中心的节能算法研究[J]. 计算机应用研究,2013,30(4):961-964.

[8] 翟岩龙,罗 壮,杨 凯,等. 基于 Hadoop 的高性能海量数据处理平台研究[J]. 计算机科学,2013,40(3):100-103.

[9] Google app engine [EB/OL]. 2012-04-25. <http://appengine.google.com>.

[10] 曾智斌,许 力. 云计算中高效能的虚拟资源分配策略[J]. 计算机系统应用,2011,20(12):55-59.

[11] 刘 赛,李绪蓉,万麟瑞,等. 云环境下资源调度模型研究[J]. 计算机工程与科学,2013,35(3):48-51.

[12] Foster I,Zhao Yong. Cloud computing and grid computing 360-degree compared [C]//Proc of 2008 grid computing environments workshop. Austin,Texas:IEEE,2008.

(上接第 189 页)

USA: Intel440 Datasheet Order Number,2001.

[7] 郭晓宇. 基于 IEEE802.3 标准的以太网数据帧格式的封装实现[D]. 北京:北京交通大学,2008.

[8] Single-chip/Single-port 10/100 fast ether net phyceiver (with auto crossover) datasheet [M]. USA: Realtek Corporation,2003.

[9] IEEE standard hardware description language based on the

verilog hardware description language[S]. IEEE Std 1364, 1995.

[10] 徐 欣,于红旗,易 凡. 基于 FPGA 的嵌入式系统设计[M]. 北京:机械工业出版社,2005.

[11] 陈春宁,王延杰. 基于 TMS320DM642 BAYER 格式图像色彩复原的实现[J]. 微计算机信息,2007,23(20):145-147.

[12] 王宇庆. 基于梯度复数矩阵的图像质量客观评价方法[J]. 计算机技术与发展,2013,23(1):63-66.

基于以太网的高速图像传输的研究与实现

作者：[孙海超](#)，[陈春宁](#)，[田睿](#)，[邸男](#)，[韩广良](#)，[SUN Hai-chao](#)，[CHEN Chun-ning](#)，[TIAN Rui](#)，[DI Nan](#)，[HAN Guang-liang](#)

作者单位：[中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所](#), 吉林 长春, 130033

刊名：[计算机技术与发展](#)

ISTIC

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

年，卷(期)：2014(3)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjz201403046.aspx