

· 信号与信息处理 ·

## 基于HPI+EMAC的高速图像采集模块设计

张海斌, 张 华

(中国电子科技集团公司光电研究院, 天津 300308)

**摘要:** 随着红外探测器和图像处理技术的发展, 红外图像的分辨率和帧频越来越高, 红外图像的传输带宽越来越高。为了满足红外探测设备图像采集的需要, 设计了基于TI公司的DSP和Xilinx公司低成本FPGA开发的图像采集模块, FPGA通过HPI接口实现对DSP内存的访问, DSP通过EMAC接口配置管理以太网芯片, 实现千兆以太网传输功能。该模块具有高带宽、低成本、易于实现等特点, 满足当前红外探测设备图像采集的带宽要求。

**关键词:** DSP; FPGA; HPI; EMAC; 千兆以太网

中图分类号: TN216

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2017)-01-0035-05

## High-speed Image Acquisition Module Design Based on HPI and EMAC

ZHANG Hai-bin, ZHANG Hua

(Academy of Opto-Electronics, China Electronics Technology Group Corporation (AOE CETC), Tianjin 300308, China)

**Abstract:** With the development of infrared detector and image processing technology, the resolution and frame frequency of infrared images become higher and higher. Moreover, the transmission bandwidth of infrared images is increasing. In order to meet the needs for the image acquisition of infrared detection equipments, an image acquisition module based on the digital signal processing (DSP) of TI Inc. and the low-cost field programmable gate array (FPGA) of Xilinx is designed. In detail, FPGA achieves the access memory of DSP through the host port interface (HPI). The Ethernet chip is configured and managed by DSP through Ethernet media access controller (EMAC) interface to realize gigabit Ethernet transmission function. The module is characterized by high bandwidth but low cost and easy to implement, which can meet the bandwidth requirements of current infrared detection equipment image acquisition.

**Key words:** digital signal processing (DSP); field programmable gate array (FPGA); host port interface (HPI); Ethernet media access controller (EMAC); gigabit Ethernet

目前红外技术迅猛发展, 红外探测设备的分辨率逐渐增加, 图像帧频越来越高, 图像的传输带宽变得越来越高, 为了满足红外探测设备图像采集、分析的需要, 高带宽的图像采集设备成为红外探测设备必备的配套测试设备。目前嵌入式系统之间高速传输多采用RapidIO总线或者FC总线, 这些传输方案技术开发难度较大, 成本较高。提出了基于DSP+FPGA架构的以太网传输方案, 技术开发难度小、成本低, 为红外图像高速传输提供了一种高性价比解决方案。

### 1 硬件组成

图像采集模块的硬件架构如图1所示。

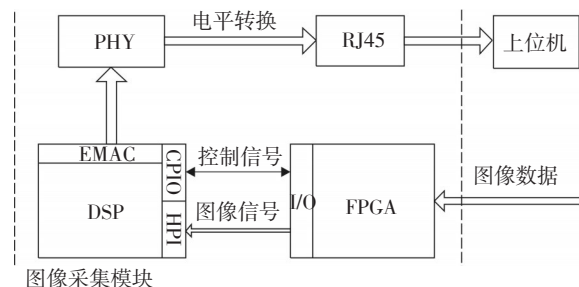


图1 图像采集模块组成框图

收稿日期: 2017-01-20

作者简介: 张海斌(1983-)男, 河北邯郸人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为光电工程; 张华(1983-), 工程师, 主要研究方向为光电工程。

硬件以 DSP+FPGA 为核心, DSP 器件选用 TI 公司的 TMS320C6455 芯片, 该芯片是 TI 公司推出的一款高性能单核定点 DSP, 具有丰富的外围总线, 并且集成了以太网控制接口 EMAC, 通过 EMAC 接口配置管理 PHY 芯片即可实现以太网连接。通过在 TI 公司的 DSP/BIOS 简易实时操作系统下调用 NDK (network develop kit) 套件, 实现 TCP/IP 数据传输协议<sup>[1]</sup>。FPGA 选用 Xilinx 公司低成本 Spartan- II 低成本器件, 通过 HPI 主机接口与 DSP 相连, 实现对 DSP 内部存储空间的访问, 与 DSP 组成主从式系统。

图像采集模块上电后, DSP 通过 EMAC 接口管理配置 PHY (物理层芯片), 初始化 TCP/IP 协议栈, 完成网络连接。红外图像数据通过 FPGA 的 I/O 端口输入, 图像输入带宽为 200 Mbps, FPGA 通过 HPI 接口将图像数据写入到 DSP 内部存储空间, 当 DSP 接收完一帧图像后, 通过千兆以太网将图像数据传输至上位机。DSP 与 FPGA 通过 GPIO 与 I/O 之间的握手完成协同工作。

## 2 EMAC 网络接口

EMAC 即以太网媒体接入控制器, 主要负责控制与连接物理层的接口, 包括 EMAC 控制模块、EMAC 模块和 MDIO 模块 3 个部分<sup>[2-3]</sup>。(1) EMAC 控制模块: 负责 EMAC 模块和 MDIO 模块的管理, 是 DSP 内核与 EMAC 模块、MDIO 模块之间的接口, 实现网络复位、中断等功能。(2) EMAC 模块: DSP 内核与 PHY 之间的接口, 共支持 4 种接口模式, 分别是 MII、RMII、GMII 和 RGMII, 负责以太网数据包的发送和接收。(3) MDIO 模块: 通过满足 802.3 协议规定的串行通信接口, 实现对以 PHY 的配置和管理。

TMS320C6455 的 EMAC 接口组成框图见图 2。

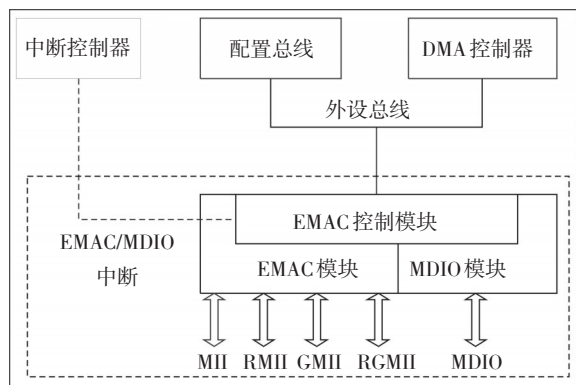


图2 EMAC接口组成框图

EMAC 接口对内通过外设总线与 DSP 内核连接, 完成对 EMAC 接口模块的配置和数据包的交换, 通过中断控制器将产生的中断事件发送至 DSP 内核, EMAC 接口对外支持 4 种与 PHY 的连接模式, 通过 MDIO 模块实现对网络物理层芯片的配置管理。

## 3 接口模式选择

TMS320C6455 的 EMAC 和 PHY 之间的接口模式有 4 种, 分别是 MII、RMII、GMII 和 RGMII<sup>[4]</sup>。

(1) MII 接口模式: 即 media independent interface, 媒体独立接口, 它包括两个接口, 分别是数据接口和 MAC 与 PHY 之间的管理接口。数据接口包括发送器和接收器两条独立通道, 每条通道都有独立的数据、时钟和控制信号。MII 接口通过 4 根线实现数据传输, 支持 10/100 两种数据传输率。

(2) RMII 接口模式: 即 Reduced MII, 简化媒体独立接口, 标准的以太网接口之一, 比 MII 有更少的 I/O 传输。通过 2 根线实现数据传输。MII/RMII 接口传输以太网数据包时, 是按照 4/2 bit 传输的, 需要在 PHY 里做串并转换、编解码等才能在双绞线和光纤上进行传输。

(3) GMII 接口模式: 即 Gigabit MII, 吉比特媒体独立接口, 是 8 bit 并行同步收发接口, 采用 8 位数据接口, 工作时钟 125 MHz, 因此传输速率可达 1 Gbps。同时兼容 MII 所规定的 10/100 Mbps 工作模式。

(4) RGMII 接口模式: 即 Reduced Gigabit MII, 简化吉比特媒体独立接口, 采用 RGMII 的目的是降低电路硬件资源消耗, PHY 引脚数从 25 个减小到 12 个。

设计采用 RGMII 接口, 工作时钟为 125 MHz, 理论传输速率可达 1 Gbps, PHY 选用 BROADCOM 公司网卡芯片 BCM5464, 该芯片完全支持 10/100/1000 M 三种带宽传输模式。EMAC 和 PHY 的 RGMII 接口连接框图见图 3。

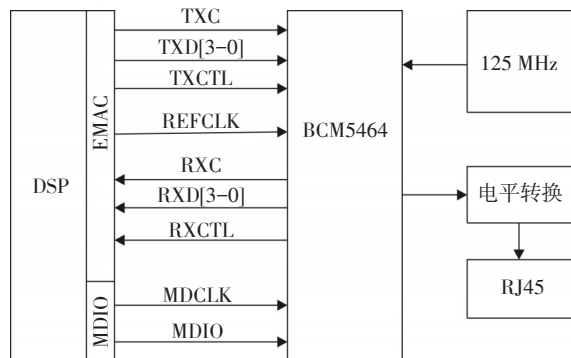


图3 RGMII接口连接框图

各信号参数功能见表1。

表1 各信号功能

序号	名称	功能
1	TXC/RXC	发送/接收时钟,传输速率10/100/1 000 Mbps对应的时钟分别为2.5 MHz,25 MHz和125 MHz
2	TXD/RXD[3-0]	4位发送/接收数据
3	TXCTL/RXCTL	发送数据使能/接收数据控制,发送数据使能表示TXD正在向PHY发送数据,接收数据控制主要用来对接收到的数据进行校验,判断数据帧是否存在错误
4	REFCLK	参考时钟,可以作为PHY的时钟输入
5	MDCLK	管理数据时钟,由MDIO模块产生
6	MDIO	管理数据输入输出,用于管理配置PHY芯片

### 4 网络协议实现

设计通过在TI公司的DSP/BIOS操作系统下调用NDK套件,实现了千兆网络传输。DSP/BIOS是TI公司为其DSP开发的简易嵌入式实时操作系统,具有任务调度,任务间的同步和通信,内存管理,时钟管理和中断服务管理等功能,提供了抢占式的多任务调度,对硬件的实时分析和配置工具等,同时还提供了标准的API接口,使用非常方便。NDK是TI公司结合C6000系列芯片推出了基于TCP/IP协议的网络开发套件,通过较少的硬件资源实现了TCP/IP协议,简化了以太网开发的软件设计难度<sup>[5-6]</sup>。

设计中,以NDK为基础,通过以下操作,实现了在嵌入式操作系统DSP/BIOS下的以太网功能:(1)通过DSP/BIOS API调用NETCTRL任务线程;(2)调用初始化函数,完成对协议及其所需内存的初始化;(3)创建系统配置,实现对协议栈的控制和管理;(4)利用NETCTRL函数启动网络功能。

### 5 HPI写时序实现

HPI即主机接口,是DSP与主机CPU相连接的一个并行通信口,支持32位和16位数据总线,在组成主从式系统实现主机与从机通信以及HPI引导等应用实例中是个不错的选择。

设计中选用FPGA作为主机CPU,与DSP组成主从式系统,FPGA和DSP通过HPI接口连接的框图见图4。HPI写时序见图5。通过FPGA有限状态机实现HPI写时序,HPIA为地址寄存器,HPID为数据寄存器。FPGA通过HPI接口将要传输的红外图像数据写入DSP的内部存储空间,DSP将图像传输

到上位机<sup>[7-8]</sup>。

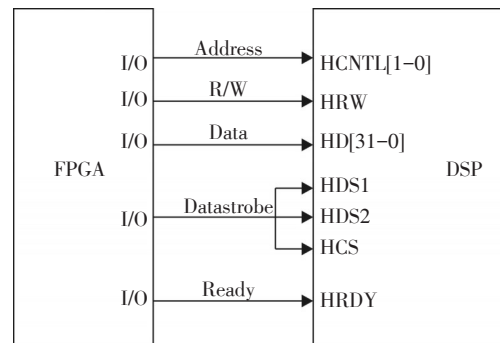


图4 FPGA和DSP进行HPI连接框图

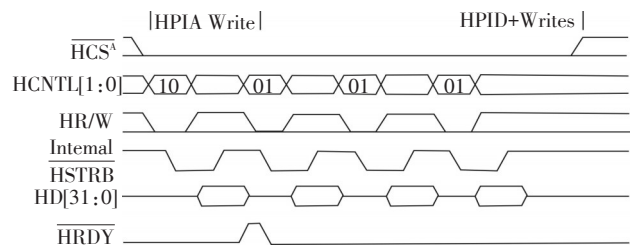


图5 HPI写时序

通过FPGA的I/O和DSP的GPIO之间的握手,实现两者的协同工作,如图6所示。

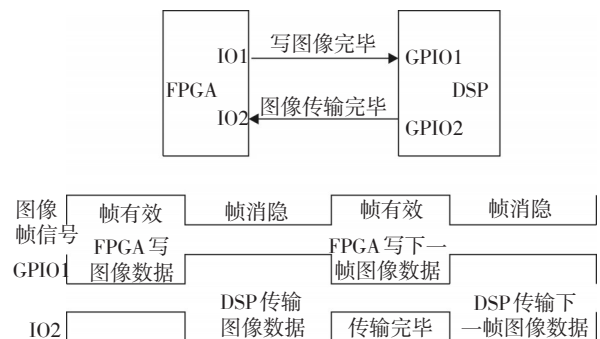


图6 DSP与FPGA协同工作原理图

FPGA通过HPI接口将图像写入DSP内部存储空间,图像写入完毕后,将GPIO1电平拉高,DSP接收到高电平信号后,启动网络传输,图像数据通过EMAC接口传至网络PHY芯片,再通过RJ45网线插座将图像传至上位机。传输完成后,DSP将FPGA的I/O2电平拉高,FPGA接收到高电平信号后,将GPIO1置低,开始新的图像写入操作,如此反复,实现了DSP与FPGA之间的协同工作。

## 6 程序设计

模块程序设计包括两部分,程序组成框图见图7。

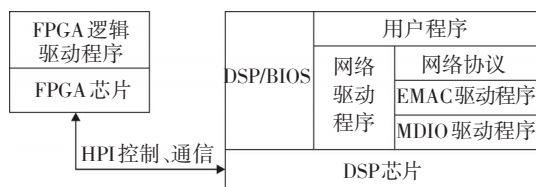


图7 程序组成框图

分别是FPGA逻辑驱动程序和DSP网络传输程序,FPGA逻辑驱动程序实现对HPI接口的时序控制,从而实现对DSP内存的访问,将红外图像写入DSP内部存储空间。DSP网络传输程序是建立在DSP/BIOS操作系统之上,包括网络驱动程序和用户程序<sup>[9]</sup>,网络驱动程序包括EMAC驱动程序、MDIO驱动程序和网络协议实现,用户程序完成HPI接口的初始化,DSP和FPGA之间的交互握手以及和上位机之间的通信等功能。

程序流程图见图8所示。

## 7 硬件实现与验证

通过选用集成EMAC接口的DSP和Xilinx低端系列FPGA以及PHY芯片,实现硬件平台的搭建,该模块经过红外探测设备图像采集测试,可以满足使用要求,可实时将红外探测设备输出的图像数据传输到上位机保存。经实测,该模块数据速率达到了480 Mb/s。图像采集模块实物图见图9。

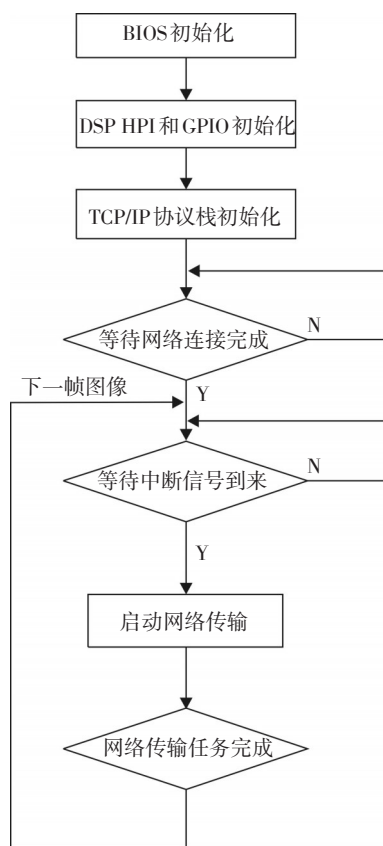


图8 程序流程图

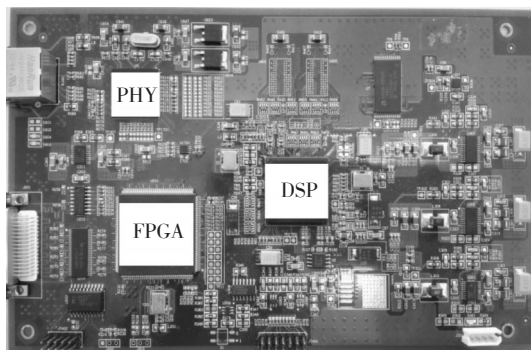


图9 图像采集模块实物图

## 8 结论

设计以FPGA+DSP为核心,FPGA通过HPI接口实现了DSP内存的访问,DSP通过EMAC外设控制PHY芯片,实现了千兆以太网传输。该模块具有成本低廉、结构简单和易于实现等特点。

目前,该模块作为配套测试设备,在各类红外

探测设备的图像采集中都得到了应用,证明该设计达到了预期设计,满足了当前条件下,红外探测设备图像采集的应用要求。

### 参考文献

- [1] 左景睿,张启衡,徐勇,等.基于DSP的千兆以太网接口设计[J].通信技术,2010,43(8):1-3.
- [2] 何宇,郭建明.基于TMS320DM642单芯片的网络接入系统研究与实现[J].武汉理工大学学报,2005,29(5):770-773.
- [3] 赵金保,徐枫.基于TMS320C6455的千兆以太网设计[J].微计算机信息,2009,25(1-2):137-138.

- [4] 刘鑫,宋光磊,温靖,等.用于星载图像高速传输的千兆以太网接口设计[J].电视技术,2013,37(10):67-69.
- [5] 徐贵州,庄东曙,韩叶冰.TMS320C6455中NDK应用研究[J].无线互联科技,2015(10):42-43.
- [6] 王聪.基于NDK的网络开发研究[J].舰船电子对抗,2012,35(4):86-88.
- [7] 刘向宇.DSP嵌入式常用模块与综合系统设计[M].北京:电子工业出版社,2009:155.
- [8] 鲍超,王丽华,张磊,等.基于HPI互联的双DSP高速信息处理系统的设计[J].科学技术与工程,2010,10(33):8287-8391.
- [9] 邓伟,王文菊.基于TMS320C6455的以太网通信程序设计[J].电子设计工程,2013,21(7):165-168.

(上接第5页)

该光纤的波束整形,输出的HB光束参数可达到最佳化。将这种HB光束注入纤芯环状分布的多芯TDF时,可使多个掺杂纤芯中的铥离子有效吸收泵浦光,提高泵浦效率和多芯TDFL的输出激光功率。

### 参考文献

- [1] Gutty F, Grisard A, Joly A, et al. Multi-k W peak power acousto-optically tunable thulium-doped fiber laser system [J]. Optics Express, 2015, 23(5):6754-62.
- [2] Fried N M. Thulium fiber laser lithotripsy: an in vitro analysis of stone fragmentation using a modulated 110-watt Thulium fiber laser at 1.94 microm[J]. Lasers in Surgery and Medicine, 2005, 37(1):53-58.
- [3] Simakov N, Hemming A, Bennetts S, et al. Efficient, polarised, gain-switched operation of a Tm-doped fibre laser[J]. Optics Express, 2011, 19(16):14949-54.
- [4] Creeden D, Budni P A, Ketteridge P A. Pulsed Tm-doped fiber lasers for mid-IR frequency conversion[C]// SPIE LASE: Lasers and Applications in Science and Engineering. International Society for Optics and Photonics, 2009.
- [5] 王飞.高功率掺铥光纤激光器及其在共振泵浦激光技术中的应用[D].湖南:国防科学技术大学,2010.
- [6] Mead R D, Minelly J D, Honea E C. High-power laser using thulium-doped fiber amplifier and frequency quadrupling for blue output: US, US 8953647 B1[P]. 2015.

- [7] Sakaguchi J, Klaus W, Puttnam B J, et al. 19-core MCF transmission system using EDFA with shared core pumping coupled via free-space optics [J]. Optics Express, 2014, 22(1): 90-95.
- [8] Mohammed Z, Saghafifar H, Soltanolkotabi M. An approximate analytical model for temperature and power distribution in high-power Yb-doped double-clad fiber lasers[J]. Laser Physics, 2014, 24(11): 115107.
- [9] Yan X, Zhang P F, Zhang J H. et al. Quantum polarization fluctuations of partially coherent dark hollow beams in non-Kolmogorov turbulence atmosphere[J]. Chinese Physics B, 2016, 25(8): 084204
- [10] Dai Z P, Yang Z J, Zhang S M, et al. Transversal reverse transformation of anomalous hollow beams in strongly isotropic nonlocal media[J]. Chinese Physics B, 2014, 23(7): 452-458.
- [11] Zeng X M. Focusing properties of partially coherent controllable dark-Hollow beams through a thin lens[J]. Chinese Physics Letters, 2015, 32(7):71-75.
- [12] Zhang Y, Liu Z H, Yang J, et al. An optical power coupling ratio control approach among multi cores in a multi-core fiber [J]. Chinese Journal of Lasers, 2011, 38 (12): 1205002.
- [13] 李丽君.双包层光纤激光器及放大器研究[D].天津:南开大学,2005.