

基于 SOPC 的嵌入式 Web 服务器系统设计与实现

陈川, 李雪梅, 郭勇

成都理工大学信息科学与技术学院, 成都 610059

摘要 以 Xilinx 公司的现场可编程门阵列 (FPGA) 作为硬件平台, 借助其 EDK 开发工具, 搭建 Web 服务器运行系统。基于 HTTP 协议, 采用 TCP/IP 套接字编程技术, 实现个人计算机与目标板的网络通信, 该系统应用在高速图像采集系统中, 经过设备的网口远程访问嵌入式 Web 服务器, 通过输入控制命令, 以及将系统相应的图像数据显示在上位机的 Web 监控页面上, 实现监控远端现场图像数据和设备工作状态。本文对系统功能, 系统的硬件设计、软件设计, 以及 Xilkernel 操作系统、LwIP 协议栈、XilMFS 文件系统, Socket 网络编程等进行了介绍。经过试验测试在主机端实现浏览存储在嵌入式 Web 服务器中的静态页面; 同时根据浏览器中输入参数, 控制指示灯的熄灭; 并浏览存储在 SDRAM 中的图像数据, 设计达到预期的效果。

关键词 现场可编程门阵列; 嵌入式 Web 服务器; Xilkernel 操作系统; LwIP 协议栈

中图分类号 TN91

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.23.008

Design and Implementation of Embedded Web Server System Based on SOPC

CHEN Chuan, LI Xuemei, GUO Yong

College of Information Science and Technology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

Abstract The embedded Web server system is built with the EDK development tools of the FPGA hardware platform of Xilinx company. Based on the HTTP protocol, the TCP/IP socket programming technology is adopted for network communications between PC computer and target. using a high-speed image acquisition system. The equipment's ethernet port is used for the Web server remote access. Through the control commands for input, the system displays the image data, to realize the monitoring and controlling of remote site image data and device activity. In this paper, the functions of the system, the hardware design and the software design based on the Xilkernel Operation System (OS), LwIP protocol stack, XilMFS File System (FS), and socket network programming are discussed. The host end is tested to achieve browsing stored in the embedded Web server in the static page, at the same time, according to the browser input parameters, the indicator's on and off are used to control functions according to the input data. The image data stored in SDRAM could be browsed and the control indicator lamp could be on and off, according to the design.

Keywords FPGA; embedded Web server; Xilkernel operating system; LwIP stack

0 引言

嵌入式 Web 服务器是嵌入式技术和网络技术结合的产物, 是嵌入式技术网络化的一项重要应用^[1]。由于嵌入式系统正变得越来越智能化并具有越来越多的网络友好特性, 将 Web 服务器移植到接入网络的嵌入式设备后, 客户端可借助浏览器对远端的嵌入式设备进行监测和控制^[2]。Web 技术的发展、通信协议的公开、HTML 语言的标准统一性, 这些都为

嵌入式 Web 服务器的实现提供了便利, 使得只要嵌入式设备中有一个微型服务器, 通过任意一种 Web 浏览器, 用户就可以监控现场数据和设备, 而且控制信息可以直接反映在网页上, 形式可以是数据、文字、图像、表格或语音, 实时数据可以自动更新, 客户能上网就能够操作。

近年来, 国内外多个组织都开展了对嵌入式 Web 服务器系统的研究。随着计算机技术、通信技术的发展而不断更新

收稿日期: 2011-05-31; 修回日期: 2011-07-26

作者简介: 陈川, 助教, 研究方向为通信与信息系统, 电子信箱: chenchuan718@163.com

换代,嵌入式 Web 服务器系统应该具备先进的网络结构和硬件设施,具有一定的技术先进性、成熟可靠性、开放性、兼容性、拓展升级的功能及合适的性价比等^[3]。而现有的嵌入式 Web 服务器系统仍然存在许多问题,已经严重阻碍了信息化和智能化发展,其主要障碍是基于嵌入式架构的 Web 服务器系统,在实用性、易用性和专业性方面有了很大程度的提高,适合比较简单的应用,但扩展性不强^[4];由于结构相对复杂,稳定性不强;直接对硬件编程,代码重用率低,处理能力不强,实时性不能满足某些特殊应用的要求。

本设计是应用在高速图像采集系统中,在基于现场可编程门阵列(FPGA)的图像数据采集卡中加入嵌入式 Web 服务器,用户、操作人员可直接使用个人计算机(PC 机)上 Web 浏览器通过设备的网口远程访问嵌入式 Web 服务器,通过输入命令实现远程控制、监测。设计采用 FPGA 实现采集卡的控制功能,因为 FPGA 有更强的灵活性,另外,FPGA 有大量接口信号,便于和数码相机连接。设计者可以将更多的精力放在系统的设计上,而主要功能可以通过硬件描述语言(VHDL 语言)较为轻松地实现。

1 系统总体设计

本文所设计的嵌入式 Web 图像服务器,目的是为了显示相机通过 FPGA 采集卡传返回的图像数据,最终实现远程监测图像数据和远程控制相机参数的目的。该系统在 Xilinx 公司的 Virtex2Pro FPGA 上,采用 PowerPC 硬核处理器、Xilkernel 嵌入式操作系统、LwIP 协议栈、XilMFS 文件系统库,该 Web 服务器基于 HTTP 协议,采用 TCP/IP 套接字编程技术实现系统的设计。

2 系统硬件设计

2.1 系统的硬件

采用 Xilinx 的 Virtex2Pro FPGA,其含有丰富的硬件资源的外设接口,可借助 Xilinx 公司的 EDK 开发软件,搭建硬件系统^[5]。处理器选择 PowerPC405,总线选择 plb 总线;在通信方面,选择支持低速的 xps_uart16550 和支持高速的 xps_ll_temac(XPS LocalLink Tri-mode Ethernet MAC);在存储器方面,选择 SDRAM 和外部 Flash;还有中断、复位、JTAG 等功能的 IP 模块。本设计只选择需要的硬件资源,即构造最小硬件系统,所包含的硬件及接口如图 1 所示。

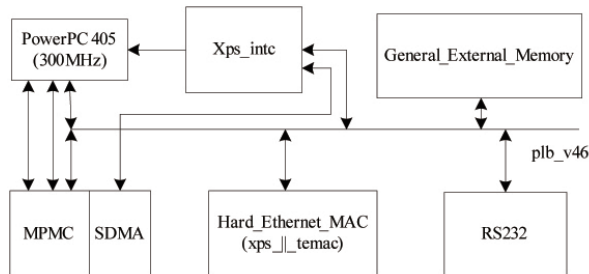


图 1 系统硬件结构

Fig. 1 System hardware architecture

2.2 主要 IP 核及其参数

(1) ppc405_virtex2pro:50MHz 输入时钟,300MHz CPU 频率。

(2) plb_v46 核:用于 PowerPC405 硬核与高性能设备的连接,直接与处理器相连,包括 IPLB 接口和 DPLB 接口两种。其中 IPLB 接口用于外设与 PowerPC405 指令缓冲的连接,DPLB 接口用于外设与 PowerPC405 数据缓冲的连接。

(3) SDRAM:SDRAM 容量 64MB。

3 系统软件开发

3.1 Xilkernel 嵌入式操作系统

Xilkernel 是 Xilinx 公司提供的用于 EDK 系统的小型、模块化的嵌入式操作系统内核,它支持 Microblaze 核与 PowerPC405 核^[6]。Xilkernel 与 EDK 形成的硬件系统紧密结合,具有高可定制的特点,并支持可移植操作系统界面 POSIX (Portable Operating System Interface)开放结构。Xilkernel 的结构如图 2 所示。Xilkernel 提供了一套符合 POSIX 的 API。具有嵌入式内核完整的功能,而且占用 CPU 资源较少,运行速度快,是中小型设计的理想操作系统。

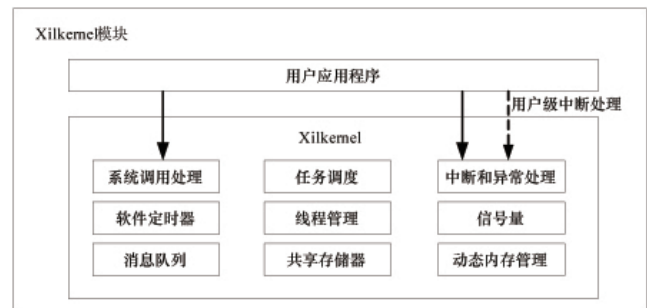


图 2 Xilkernel 结构图

Fig. 2 Xilkernel structure

3.2 嵌入式 Web 服务器的程序设计

整个程序的流程图如图 3 所示。

(1) 平台初始化:通过在 main 函数中调用 init_platform() 初始化平台,进行清屏操作,初始化串口通信。

(2) 启动 Xilkernel 内核:调用 xilkernel_main()函数启动 Xilkernel,这时程序会进入 Xilkernel 的静态启动线程 main_thread()。

(3) 初始化 LwIP 协议栈和 XilMfs 文件系统:在 main_thread()中初始化 LwIP 协议栈和 XilMfs 文件系统,以便可以顺利使用协议栈和文件系统提供的功能函数。接着调用 sys_thread_new 函数生成并启动子线程 network_thread。同时 MFS_NUMBYTES,MFS_BASE_ADDRESS,MFS_INIT_TYPE 3 个参数分别对应设置 XilMfs 库时的 numbytes,base_address,init_type 3 个设置。

(4) 设置 MAC、IP 地址和网关信息:在 network_thread 线程中,设置目标板的 MAC 地址、网关、IP 地址和子网掩码等参数。其中调用 IP4_ADDR 函数将它们分散的地址组合为点

分十进制地址。

(5) 创建 Socket, 绑定端口: 初始化一个 Socket, 将它与 IP 地址和端口号绑定, 然后开始监听网络, 一旦监听到网络连接, 再进行处理。

(6) 处理请求: 在 process_http_request() 函数中, 将 http 请求消息读入 recv_buf, 并调用 generate_response 函数产生 http 响应消息, 发送或重构请求文档或者页面, 最后关闭连接。

(7) 生成响应消息: 首先调用 decode_http_request 函数来分析这次的 http 请求是 GET、POST 还是其他的请求, 本设计对 GET、POST 请求做了相应的处理。当请求类型未知时, 进行 do_404 处理, 向客户端发送页面。

(8) GET 请求的处理: 分析数据包中的命令, 判断应该从 MFS 文件系统中读取哪个网页文件, 通过 Socket 发给客户端。当发现接收的数据包含有命令时, 调度 do_command 函数解析并执行相应命令。当发现接收的数据包是为了获取网页文件, 先调用 mfs_exists_file 函数检查文件系统中是否存在该文件, 如果不存在该文件, 调用 do_404 函数通过 Socket 将未相应页面 404.html 文件发给客户端; 若文件存在, 则调用 mfs_file_open 函数打开相应文件, 使用 mfs_file_lseek 函数获得文件长度, 并封装成数据包通过 Socket 发给客户端。

(9) POST 请求的处理: 分析数据包中的命令, 根据不同的请求做出不同的处理。

(10) 未知请求的处理: 请求类型未知时会进入该处理, 即从 MFS 文件系统中读取 404.html 文件, 获得文件长度, 并根据 http 响应消息的格式, 封装成数据包, 通过 Socket 发给客户端。

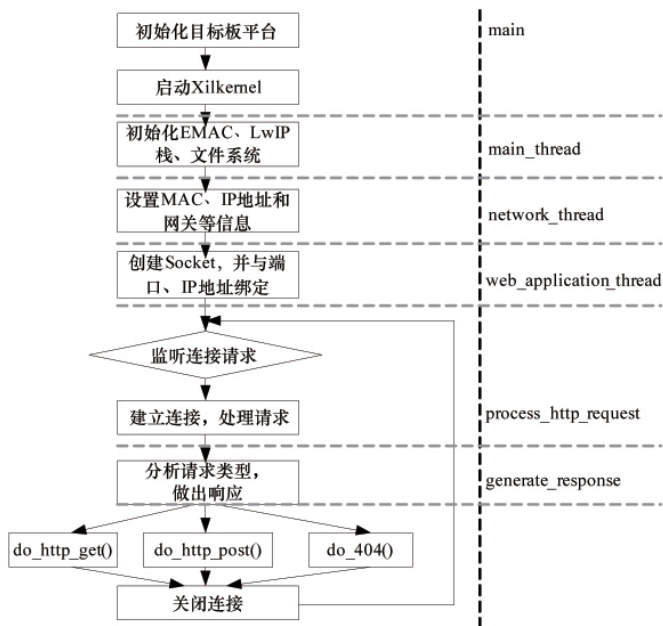


图3 Web 服务器流程

Fig. 3 Web server processes

3.3 嵌入式 Web 服务器的测试

(1) 使用 mfsngen 生成文件系统

使用 Xilinx 的 mfsngen 工具生成文件系统。打开 XMD 窗口, 通过命令 cd webpage 切换到当前工程目录的 webpage 子目录^[7]。在 webpage 子目录中包含 5 个文件和文件夹 images, 它们将构成系统需要的 Web 网页, 在命令行界面键入命令:

```
mfsngen -cvbfs ./testwebserver/image.mfs 700 default.css index.html 404.html logoV2005.gif BlueHills.bmp images
```

mfsngen 是命令 (也是一个可执行文件); -cvbfs 是 mfsngen 的参数, c 代表使用命令行中指定的文件创建文件系统, v 代表需要显示创建过程中的信息, b 代表命令中需要指定创建的文件系统使用的最大块数 (大小), f 代表命令中需要指明生成的文件系统名称, s 代表改变端模式。./testwebserver/image.mfs 指明最终生成的文件系统以 image.mfs 文件的形式保存在当前工程目录下的 testwebserver 子目录中; 700 指明生成的文件系统可使用的最大块数; 命令的最后列出构成文件系统的所有文件, 命令的运行结果如图 4 所示, 文件系统顺利地生成了。其中, 在生成信息中有一行 MFS block usage (used/free/total)=435/265/700 显示的是这个文件系统使用了 435 个块, 尚有 265 块未用, 这就是命令中指明使用 700 块的依据, 事实上只要大于 435 块即可。

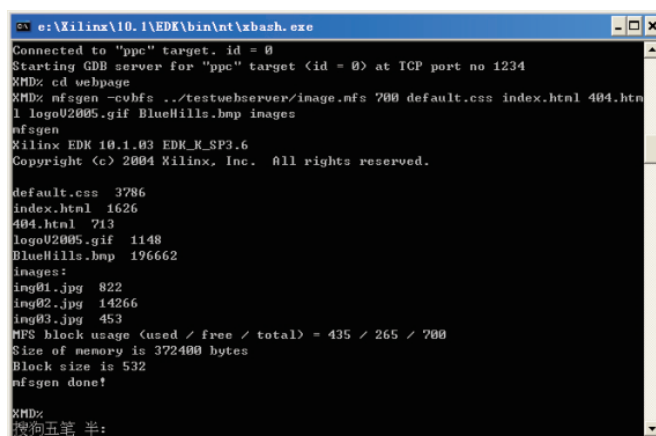


图4 mfsngen 生成文件系统

Fig. 4 mfsngen generation file system

(2) 使用 XMD 下载程序和文件系统镜像

使用 JTAG 下载电缆连接目标板和 PC 机, 使用交叉网络连接目标板和 PC 机, 使用交叉串口线连接目标板和 PC 机, 并启动超级终端, 设置串口模式为 9600, 8N1, 设置当前 PC 机的 IP 地址为 192.168.0.1, 掩码为 255.255.255.0。下载硬件 bit 文件, 启动 XMD 命令行调试界面, 输入命令:

```
cd ./testwebserver //切换工作目录
dow-data image.mfs 0x2000000 //下载文件系统到 0x2000000 地址
dow testwebserver.elf //下载应用程序二 进制文件, 默认地址为 0x0
```

文件系统是作为数据下载的, 下载应用程序二进制文件

成功后,XMD 界面会出现段信息。整体情况如图 5 所示,目标板输出信息 MAC 地址为 00-0A-35-00-01-02,IP 地址为 192.168.0.10,掩码为 255.255.255.0,网关为 192.168.0.1,目标板接受设置并显示 Web 服务器已经启动,已经成功创建套接字,绑定端口,目前正处于监听状态,如图 6 所示。

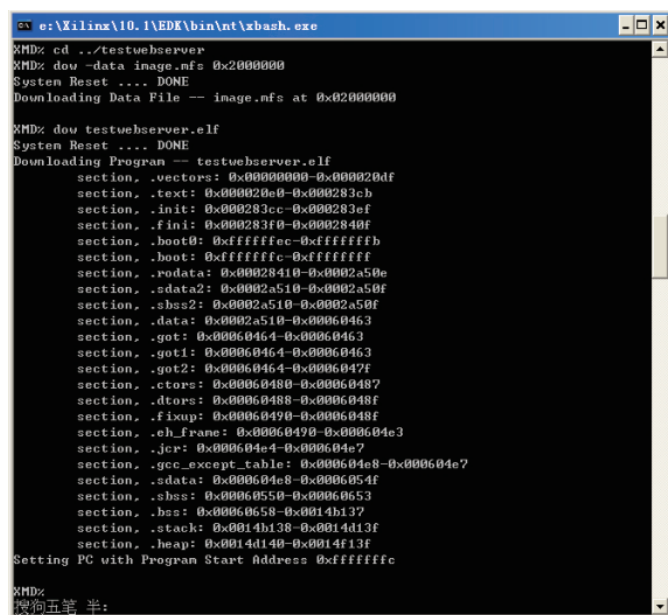


图 5 XMD 下载界面

Fig. 5 XMD download interface

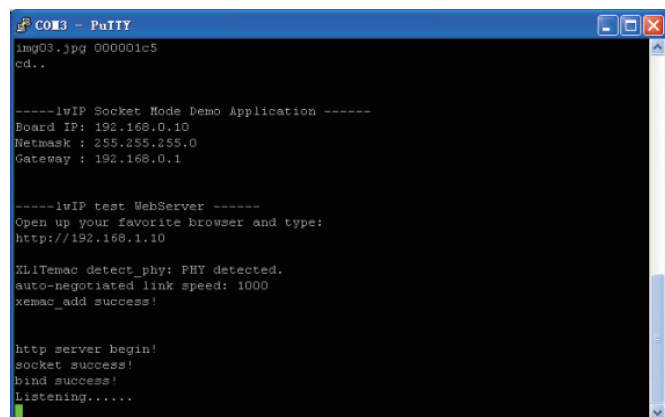


图 6 串口输出信息

Fig. 6 Serial output

4 结论及展望

本设计基于 Xilinx VirtexII Pro FPGA 平台,实现了嵌入式 Web 服务器。以 PowerPC 硬核处理器为核心,实现了 Xilkernel 嵌入式操作系统、LwIP 协议栈、Xilnfs 文件系统库;在深入研究 Socket 网络编程和 HTTP 协议的基础上,对基于 FPGA 的嵌入式 Web 服务器的设计中的一些关键技术进行了研究,在 Xilinx 公司的 EDK 开发环境中,成功实现了网络通信程序的基本设计,实现 PC 机与目标板建立连接,建立了小型的嵌入式 Web 服务器。

随着嵌入式系统与网络技术的结合日益紧密,嵌入式系

统设备的网络互连已经成为发展的必然趋势,这也促成了近年来嵌入式 Web 技术的飞速发展^[9]。今后将对系统的实时性、可靠性及稳定性对嵌入式系统提出更高的要求。今后可以考虑移植广泛使用的嵌入式 Linux,并在 Linux 操作系统移植 boa、httpd、thttp、appweb 等轻量级的 Web 服务器,实现同样的嵌入式 Web 服务器的功能,这样更具有通用性。从国内外的发展趋势来看,嵌入式电子产品的网络通信功能将进一步加强。为此,必须更加深入地进行嵌入式实时操作系统和嵌入式网络的研究。

参考文献 (References)

- [1] 杨浩强. 基于 EDK 的 FPGA 嵌入式系统开发[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
Yang Haoqiang. FPGA embedded system development based on EDK[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2008.
- [2] 张晓亮. 基于 SOPC 以太网技术的研究与实现 [D]. 大连: 大连理工大学, 2007.
Zhang Xiaoliang. Research and implementation of ethernet technique based on SOPC[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2007.
- [3] 田耘, 徐文波. Xilinx FPGA 开发实用教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
Tian Yun, Xu Wenbo. Xilinx FPGA Development of practical tutorials [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2008.
- [4] 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, 30(17): 29-31.
Gao Yiyuan, Huang Chuanhui. Modern Electronic Technology, 2007, 30 (17): 29-31.
- [5] 李宁, 汪骏发. 基于 Camera Link 的高速数据采集系统 [J]. 红外, 2005 (7): 31-37.
Li Ning, Wang Junfa. Infrared, 2005(7): 31-37.
- [6] 宋凯, 严丽平, 甘岚. 嵌入式 Web 服务器的设计与实现[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(4): 808-810.
Song Kai, Yan Liping, Gan lan. Computer Engineering and Design, 2009, 30(4): 808-810.
- [7] 邓耀华, 吴黎明. 数据采集终端 Web 通信服务器嵌入式设计 [J]. 计算机与现代化, 2010(5): 103-105.
Deng Yaohua, Wu Liming. Computer and Modernization, 2010(5): 103-105.
- [8] 潘琢金, 王秋实. 嵌入式 Web 服务器中动态 Web 技术的研究[J]. 计算机工程与设计, 2010, 31(18): 3975-3978.
Pan Zujin, Wang Qiushi. Computer Engineering and Design, 2010, 31 (18): 3975-3978.

(责任编辑 代丽)

《科技导报》“研究论文”栏目征稿

“研究论文”栏目专门发表自然科学、工程技术领域具有创新性的研究论文,要求学术价值显著、实验数据完整、具有原始性和创造性,同时应重点突出、文字精炼、引证及数据准确、图表清晰,并附中、英文摘要以及作者姓名、所在单位、通信地址、关键词等信息。在线投稿:www.kjdb.org。