

远程数字电路与系统实验平台的设计与实现^{*}

陈 宇, 李 宏^{*}

(宁波大学 信息科学与工程学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 为了实现数字电路与系统等课程的远程实验教学, 根据数字电路与系统的课程特点, 设计了一种基于网络的实验教学平台。该系统采用双 C/S 结构, 由数字电路与系统实验装置、实验客户端软件、服务器管理软件等 3 部分组成, 对平台的整体框架、控制功能和方案设计给予了说明, 阐述了系统客户端、服务器和实验硬件平台的设计要点和实现方法。用户通过客户端软件登入系统, 远程配置可编程器件, 操作远程实验平台并实时获取实验数据。研究表明, 该系统可以完成单元电路实验到综合数字系统实验, 系统性能稳定, 能满足数字电路与系统远程实验的要求。

关键词: 远程实验; 数字电路与系统实验; 可编程器件

中图分类号: TP302

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)11-1391-05

Design and implementation of remote digital circuits and systems experiment platform

CHEN Yu, LI Hong

(The Information Science and Engineering Institute, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: In order to realize remote experimental teaching of the digital circuit and system courses, according to the characteristics of those experimental courses, a kind of experimental teaching platform/system based on network was presented. The system consisted of digital circuit and system experiment devices, the client software, and the server management software three parts with the C/S structure. The system's overall framework, control function and design were explained. Furthermore the points and realization methods of the system client and server software and experimental hardware platform were expounded. The user logged in system through client software, configured programmable devices remotely, operated remote experimental platform and acquired real-time experimental data. Results show that this system can complete from unit circuit experiments to integrated digital system experiments, and satisfies the requirements of digital system design and other experiment courses with a stable performance.

Key words: remote experiment; digital circuits and system experiment; programmable devices

0 引 言

实验教学是大学理工科教学的一个重要环节, 是学生掌握理论知识的必要途径, 对培养学生的实际操作能力和解决问题的能力至关重要^[1]。然而, 随着我国高校教育体制改革的深化以及招生规模的不断扩大, 学校的教学资源(特别是实验设施)越来越难以满足学生规模急剧膨胀的客观需求; 教学重点向培养学生

的实践能力和创新能力的转变, 也使得传统的实验教学模式已经无法适应创新性教育的需求。随着现代通信、多媒体和计算机网络技术的发展, 网络实验的概念应运而生, 它使实验不再受时空限制, 充分利用有限教学资源, 提高设备利用率。所谓网络实验就是采用计算机技术和远程网络技术, 实验者可以像在本地真实环境中一样完成各类实验项目, 取得学习或训练效果等于或大于真实环境中的取得的效果^[2-3]。

收稿日期: 2011-05-23

基金项目: 浙江省新世纪教改资助项目(ZC2010015); 宁波市服务型重点专业建设资助项目(010-A00083094702)

作者简介: 陈 宇(1988-), 男, 浙江金华人, 主要从事嵌入式方面的研究。E-mail: chen_yu_19880229@163.com

通信联系人: 李 宏, 男, 副教授。E-mail: lihong2@nbu.edu.cn

基于远程控制技术的网络实验^[4]是目前最接近现场实验的网络实验模式,国内外许多高校都致力于该种模式网络实验的开发与应用。如美国德克萨斯州立大学 Nitin Swamy 等建立的控制倒立摆的远程实验室^[5],其通过 Matlab Simulink 远程控制倒立摆的运动并经视频(音频)观察实验结果;浙江大学建立的电工电子网络实验室^[6],利用虚拟仪器、网络和计算机实时控制等技术,可完成控制类、电路类、电力电子类、电机类及微处理器类等实验,所有实验都基于真实物理对象。这种网络实验模式的成功应用取得了一定的成效。

数字电路与系统是高校电子信息类专业非常重要的专业基础课程,其实验教学也存在着诸如时空限制、教学资源不足以及仪器设备更新率和利用率低等问题。本研究设计并实现一种满足相应教学需求的网络化数字电路与系统实验平台。

1 系统总体结构

1.1 远程实验平台结构

远程数字电路与系统实验平台主要包括 3 部分功能模块:可接入网络的数字电路与系统实验装置(以下简称实验平台)、基于 .Net 技术的实验平台客户端软件以及服务器管理软件,为了使实验更加直观,本研究提供了实时视频功能。

该系统采用“双 C/S 结构”^[7-8],即“客户端(浏览器)+服务器+实验平台”,客户端与服务器是第 1 层 C/S 结构,实验平台与服务器是第 2 层 C/S 结构。客户端和实验平台承担实验数据和命令的处理功能,服务器负责信息的存储和用户登录等功能。本研究采用这种模式,不但可以加强系统的安全性,而且可以让系统更易于扩展和维护。

服务器主要负责用户以及实验平台的注册、实验资源的调度、用户登录的验证以及实验平台使用信息的保存等功能。

实验平台是整个系统的硬件核心,其主要功能有:① 监听客户端和服务器的命令,并作出相应的响应;② 接收用户程序,通过 PS 模式配置至可编程逻辑器件;③ 运行用户程序并对实验平台相关数据进行采集与处理;④ 将实验数据发给客户端,供用户分析观察使用。实验平台接入网络后首先向服务器申请注册,然后等待服务器分配给用户使用。

客户端作为直接面向用户的部分,主要功能是在用户的个人 PC 机上提供一个可交互的图形用户界面。利用其虚拟实验平台上相应的资源,可使用户直观地对实验平台进行远程控制并观察其返回的实验

结果,为使实验更加直观,为用户提供网络视频功能,实时观察真实的实验平台状态。

1.2 实验操作流程设计

传统的实验形式是学生在计算机上借助各种 EDA 工具完成实验项目方案确认、系统设计、仿真,再将程序下载至 FPGA/CPLD 实验系统中,调试、修改、验证直至最后完成。所以用户在登录实验之前,需要在 QuartusII 等 EDA 工具上完成实验项目的设计工作并生成可用于 PS 模式远程配置 FPGA 的配置文件(.rbf)。在登录实验后,用户在客户端图形界面上完成配置文件的远程下载,并可对图形界面上的按键等可控资源进行操作,客户端将以各种数据形式发送到实验平台,当实验平台将实验结果返回时,能够通过图形界面上的 LED 灯、波形图等方式动态显示结果;而实验平台在接收客户端发送过来的配置文件后,对可编程芯片进行配置,对不同的指令进行解析后,对实验平台实际的资源进行操作,最后采集实验平台上的状态信息返回至客户端。

实验操作流程如图 1 所示,图 1 同时也表示了系统的平台结构。

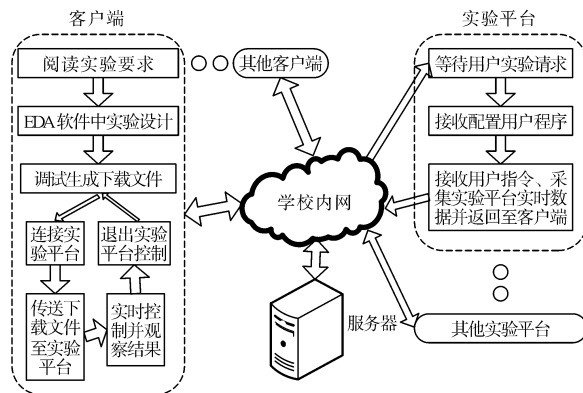


图 1 系统实验流程图及平台结构

2 实验平台硬件设计

2.1 实验平台硬件结构

实验平台主要功能包括实验资源控制、实验数据采集及数据基于 Internet 的远程传输 3 部分,同时需要管理包括以太网、DDS 信号发生器、可编程目标板下载电路、各类存储器等诸多外设。实验平台硬件结构如图 2 所示,其主要由控制器、实验主板与可编程目标板 3 部分组成。

控制器主要负责网络接入以及实验程序配置、实验操作指令的解析和实验结果的返回。控制器核心为 C8051F 单片机,通过外扩以太网芯片 RTL8019 来实现实验平台的网络接入。单片机通过嵌入 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$

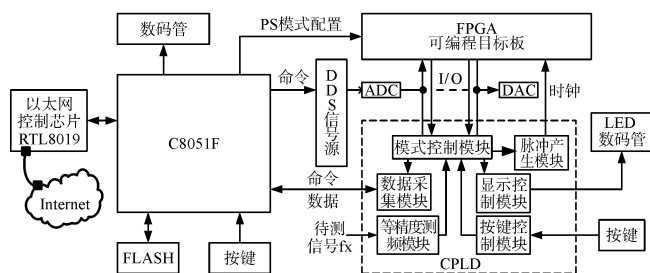


图2 实验平台硬件结构图

操作系统,使其能完成功能复杂的任务调度;通过嵌入 uIP 协议栈,使其能更方便地进行网络通信。

本研究利用 ALTERA 公司 CPLD 器件 MAXII EPM1270 作为实验主板的控制核心以完成对实验资源的控制以及实验结果的采集。实验平台设计充分考虑实验教学的需求,配合可编程目标板接口电路、复位电路、时钟源电路、LED 显示电路、数码管显示电路、A/D 和 D/A 转换电路等资源。除支持在系统可编程实验外,该平台还配有 DDS 函数信号发生器、等精度频率计、逻辑笔、脉冲信号源等模块,可完成小至单元电路大至数字系统的设计。用户只需将编译好的程序通过 PS 方式远程配置至可编程目标板器件中,通过实验主板上的可编程目标板接口电路即可控制实验主板上的实验资源,完成相关实验。

2.2 可动态重构实验平台的设计

由于实验平台的硬件是有限的,为向用户提供更多的实验资源,完成尽可能多的实验项目,该平台利用动态重构技术,分时复用系统资源。动态重构是指实验平台从物理结构上看是固定的,但在 CPLD (MAX II EPM1270) 的控制下,呈现不同的电路连接结构,以实现不同的硬件资源配置^[9]。这样,用户就可以根据不同实验需要切换各种实验电路结构,极大地增强了系统的扩展性,该功能由 CPLD 内部 3 个 VHDL 描述的模块构成,多模式配置原理如图 3 所示。

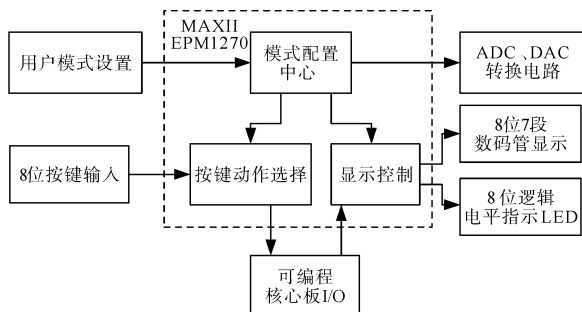


图3 多模式配置原理

模式配置中心根据用户选择的模式,分别控制按键动作选择模块和显示控制模块执行不同的动作,并控制 A/D 和 D/A 转换电路;同时,将按键等信号连接

至可编程目标板不同端口,并把可编程目标板上不同端口信号连接到显示控制模块。模式控制中心起到控制和数据交互的作用,使得在用户看来实验资源直接连接到可编程目标板,并在不同的模式下有着不同的连接方式。

2.3 FPGA 可编程目标板远程配置技术

FPGA 可编程目标板的远程配置是实现网络实验功能的基础环节,只有将用户在远程端 EDA 工具上生成的 FPGA 配置文件下载至实验平台,再由单片机通过 PS(passive serial)模式将配置文件配置到实验平台上的用户可编程目标板,才能完成用户实验的后续操作。

该实验平台上供用户使用的可编程目标板为 Altera CycloneII EP2C5T144 FPGA 芯片,其支持 3 种配置模式:主动串行(AS)配置模式、被动串行(PS)配置模式以及 JTAG 配置模式。其中 PS 模式具有配置电路简单、配置适中要求低等特点,适合用微处理器对芯片进行配置,故采用 PS 配置模式。

3 实验平台软件设计

3.1 远程实验平台软件设计

3.1.1 远程实验平台软件简介

实验平台稳定、高效地工作,需要软件的支持。远程实验平台软件设计主要包括系统初始化,在网络协议栈初始化完成后,本研究使用标准的套接字 API 创建新任务访问协议栈,发送和接收数据包,同时根据接收的命令完成用户可编程目标板的远程配置、控制其他实验资源(如按键、DDS 信号源、时钟模块等)。

3.1.2 uIP 协议栈的接口及应用

为使实验平台网络可接入,该系统采用性能稳定的开源的 TCP/IP 协议栈 uIP 来实现平台的网络功能。uIP 协议栈是瑞士计算机学院的 Adam Dunkels 等开发的一种免费开源代码的小型 TCP/IP 协议栈,它适用于 8 位和 16 位 MCU 代码占用量和对 RAM 资源的要求^[10]。uIP 协议栈通过接口与底层硬件和顶层应用“通信”。其接口关系如图 4 所示。

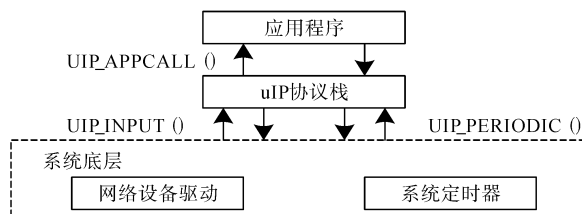


图4 uIP 协议栈接口关系

协议栈完成了大部分网络功能,一方面利用以太网芯片的收发函数做数据传递,另一方面为上层应用

程序提供简单易用的 API 接口。在主程序中,完成了协议栈的初始化之后,程序需要不停查询是否有数据包到来,如果有,则查看是 ARP 包、ICMP 包还是 TCP 包,由 `uip_input()` 进行数据处理;如果没有,则调用 `uip_periodic()` 处理定时事件。当底层有数据包传来需要处理时, `uIP` 将调用应用程序函数 `UIP_APPCALL()`,同时 `uIP` 也向应用程序提供接口函数,应用程序可以根据接口函数提供的信息,执行相应的操作。利用这种方式, `uIP` 具有极高的通用性与独立性,使得移植到该平台上变得很方便。

`uIP` 协议栈提供了 `protosocket` 接口函数库,其类似于传统的 BCD Socket 接口,在网络通信过程中可以很方便地完成顺序方式通信,并具有很好的兼容性和移植性。应用程序部分代码如下:

```
void UIP_APPCALL(void)
{
    struct hello_my_connect *s = &(uip_conn->appstate);
    if(uip_connected()) {
        PSOCK_INIT(&s->p, s->inputbuffer, sizeof(s->inputbuffer));
        handle_connection(s);
    }
}

static int handle_connection(struct hello_world_state *s)
{
    PSOCK_BEGIN(&s->p);
    while(1)
    {PSOCK_READTO(&s->p, '\n');
    if(strcmp(s->inputbuffer, "file")==0)
    {.....
    PSOCK_SEND_STR(&s->p, "downloadok");
    page=Config();
    else if{.....}
    PSOCK_CLOSE(&s->p);
    PSOCK_END(&s->p);
    }
```

这段代码先是定义一个结构体,结构体包含了连接时接收到的数据等信息。当有客户端进行连接时,应用程序会对该连接进行初始化,并调用 `protosocket` 函数库里的函数对用户传送过来的信息进行读取,经过判断后进行相应操作。

3.2 服务器管理软件设计

服务器管理软件负责远程实验平台与用户的管理,本研究在 .Net Framework 平台上设计服务器管理软件,采用用户名/密码验证机制及线程池技术,有效管理服务器中的线程,保证服务器管理软件稳定、高效运行^[11]。

在服务器应用程序中,响应客户端、实验平台端和服务器是并列的 3 个最基本的主线程。用户在初次

使用平台时需先向服务器申请注册,注册成功后服务器在数据库中存档用户信息;用户登录时,客户端把用户名和密码发送到服务器,服务器在数据库中检索用户信息,检查该用户名和密码是否匹配,如果出现不匹配的情况,服务器就返回登录失败信息至客户端,否则返回成功信息,同时把用户的登录时间等信息记录到数据库中并为用户分配空闲实验资源,用户退出时,把用户的退出时间等信息记录到数据库中;实验平台在接入网络后向服务器注册,注册成功后在数据库中记录实验平台 IP 等信息,并且定时查询实验平台状态,更新数据库信息。

3.3 客户端软件设计

客户端软件是用户直接操作实验的部分,为用户提供了一个直观的操作的界面。在 Visual Studio .Net 环境下采用 Visual C# 编写基于 TCP 传输协议、对话框的远程客户端软件。本研究利用 Measurement Studio 所提供的科学用户界面控件,设计与真实实验平台相接近的人性化界面,方便用户操作及直观地观察实验结果。同时提供网络视频功能,以便实时观察到真实实验平台的状态。客户端运行界面如图 5 所示。

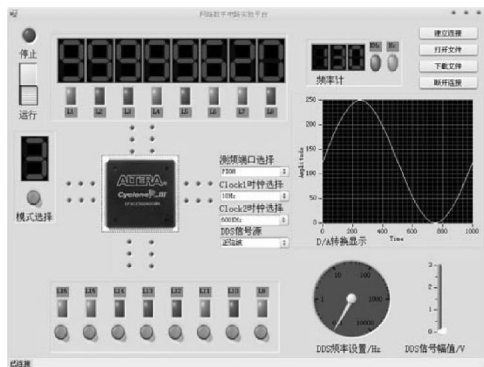


图 5 客户端运行界面

用户首先在个人 PC 机上利用 QuartusII 等设计软件完成数字电路系统设计,仿真编译通过之后利用设计软件生成配置文件(.rbf 文件),然后用户通过客户端软件登录系统,经服务器分配得到空闲实验资源之后与实验平台完成 TCP/IP 连接。通过客户端软件,本研究完成对可编程器件的远程下载配置,并对按键、时钟、信号发生器等实验资源进行远程操作,通过软件界面上的数码管、LED 灯、波形等实验平台返回的实时数据观察实验结果,实现实验平台与用户良好的信息交互。

4 结束语

基于远程控制技术的网络实验作为目前最接近现场实验的网络实验模式,是网络实验与真实实验模式的真正结合,这也是远程实验发展的必然趋势。

数字电路与系统实验平台的设计采用了“双 C/S 结构”,由客户端、服务器及实验平台 3 部分组成,很好地保证了系统的稳定性和可扩展性。远程实验的操作方式与传统的数字系统实验操作相类似,可以完成单元电路到具有一定使用价值的小型综合数字系统实验。由于本研究利用网络技术实现了实验设备的共享,只需少数几个实验平台,就可以分时为多个用户提供服务,充分利用了教学资源,节约大量基础设施建设;突破时间和空间的束缚,为学生提供一个开放、直观的实验环境,使学生获得更能充分发挥自主性、创造性的空间,从而更好地培养学生的实践能力和创新能力。

参考文献(References):

- [1] 屈泳. 基于校园网络的虚拟实验室的研究[J]. 现代教育技术, 2010, 5(20): 133-135.
- [2] AKTAN B, BOHUS C A, CROWL L A, et al. Distance learning applied to control engineering laboratories[J]. **IEEE Transaction on Education**, 1996, 39(3): 320-326.
- [3] HOYER H, JOEHHEIM A, RHRIG C. A multiuser virtual-reality environment for a tele-operated laboratory[J]. **IEEE Transaction on Education**, 2004, 47(1): 121-126.
- [4] 孙莹, 姚俊, 高建宝. 远程模拟实验的探索与研究[J]. 现代教育技术, 2010, 20(2): 127-130.
- [5] SWAMY N, KULJACA O, LEWIS F L. Internet-based educational control systems lab using NetMeeting[J]. **IEEE Transaction on Education**, 2002, 45(2): 145-151.
- [6] 陆晶晶, 朱善安, 叶旭东. 基于 TCP/IP 协议的电工电子网络实验室[J]. 机电工程, 2007, 27(4): 70-72.
- [7] 胡裕峰, 孙志海, 朱善安. 基于 Internet 的电工电子网络实验系统[J]. 教育理论与实践, 2007, 27(2): 258-260.
- [8] 黄琰, 张扬, 朱善安. 基于 Internet 的 PLC 实验系统[J]. 机电工程, 2009, 26(1): 25-28.
- [9] 文雯, 李宏. 基于 CPLD 数字系统实验平台的设计与实现[J]. 宁波大学学报, 2008, 21(4): 505-509.
- [10] DUNKELS A. uIP-A Free Small TCP/IP Stack[Z]. [s.l.]: [s.n.], 2004.
- [11] 宋少群, 徐和平, 班福厚, 等. 远程电能表校准系统服务器端管理软件的设计与实现[J]. 电路系统自动化, 2005, 29(14): 83-87. [编辑: 李辉]

(上接第 1376 页)

在建立起与收发端的 TCP 链接后, 服务器已为收发端的数据交换做好所有准备。

5 结束语

本研究针对分布式探测节点组网通信要求, 构建了一套由收发终端及中间服务器构成的通信系统, 该通信系统可满足分布式探测节点组网的灵巧、智能化和可任意配置于各种地理环境的要求, 试验结果表明该系统使用简便, 工作稳定可靠, 为整个分布式无源探测信息融合系统的可靠运作打下坚实的基础。

参考文献(References):

- [1] SIEMENS MC55/56 Hardware interface Description [EB/OL]. [2004-10-29]. http://www.wlt.net.cn/index0/mc55/pdf/mc55_rm_0250.pdf.
- [2] WIZnet. W5100_Datasheet_v1.2.3 [EB/OL]. [2011-02-16]. http://www.wiznet.co.kr/include_Files/Just_Download.asp?PK_NUM=82&file_local_path=ReferenceFiles&file_local_name=W5100_Datasheet_v1.2.3.pdf.
- [3] 周立功. ARM 嵌入式系统基础教程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.
- [4] Texas Instruments. TL16C752B 3.3-V DUAL UART WITH 64-BYTE FIFO [EB/OL]. [2000-08-01]. <http://www.ti.com/lit/gpn/tl16c752b>.
- [5] LABROSSE J J. 嵌入式实时操作系统 UC / OS-II[M]. 邵贝贝. 译. 2 版. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003.
- [6] 谢希仁. 计算机网络[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [7] HUAWEI Inc. EM200 无线模块 AT 命令手册[EB/OL]. [2009-06-03]. http://www.letswireless.com.cn/asp_bin/downfile/20096415168541.pdf.
- [8] 仲维俊. Visual Basic 6.0 完全自学手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006. [编辑: 李辉]