

## ◆ 实验实训与实践教学

文章编号：1672-5913(2013)18-0103-03

中图分类号：G642

# 微型计算机系统接口技术课程实验探索

董代洁，全成斌，田淑珍，赵有健

(清华大学 计算机科学与技术系，北京 100084)

**摘要：**针对面向全校研究生开设的微型计算机系统接口技术课程，研究如何根据研究生与本科生的不同学习特点以及如何面向不同专业 and 不同起点的学生开设实验课程，以便课程的实验设置能够满足学生的学习需求并达到更好的教学效果。

**关键词：**微型计算机系统接口技术；实验课程；研究生选修课；接口设计；FPGA

微机接口技术在本科生的教学中一般叫做微机原理与接口技术，是一门计算机专业技术课程。计算机专业一般在计算机组成原理及汇编语言课程之后开设这门课，课程内容偏重 CPU、总线、存储器以及各种输入输出设备之间的接口关系。通常电类专业将其设置为必修课程，非电类专业的工科系从计算机应用的角度出发，一般也要学习这类课程，只是学习的深度不等<sup>[1]</sup>。面向研究生的微机接口技术课程是作为全校性选修课程开设的，那么如何开设这门课程，怎样从计算机应用的角度满足学生的求知需求，使教学能够适应现代技术的发展就需要认真研究了。

## 1 课程定位

计算机的应用涉及各个行业，特别是工科行业，其应用都会涉及计算机接口及其控制等。即使有很多学生在本科时学习过微机原理与接口技术这类课程，但对于从事计算机硬件及接口技术相关研究的学生来说，这方面的知识往往需要进一步加强；因此各高校在为研究生开设这门课程时，定位要更高一些，教学内容要比本科生学习的内容更加深入，应用面更广，并最终将这门课

的名称定为微型计算机系统接口技术。

针对全校选修计算机系统接口技术课程的学生，该门课教学主要立足于计算机 CPU 与外部设备之间的软硬件接口设计，面向各个专业和领域的应用而展开，将实验的内容同时向纵深和广度扩展。

(1)纵向角度：让学生将设计的内容与计算机系统相关联，以便深入学习与接口有关联的计算机系统及结构方面的知识以及现代计算机各种接口的相关协议等。

(2)横向角度：让学生将学习的内容与自己所从事的科研结合起来，以使实验变得更加生动和有意义，提高学生学习的积极性，同时令学生在教学过程中感受到教学内容的实用性。

## 2 实验内容

实验内容的确定有两个方面因素，一是必须能够将微型计算机系统接口技术的基本原理体现在实验中，让学生通过实验体验到计算机系统内部各部件包括 CPU、存储器、各种总线以及输入输出之间的接口关系、软件与硬件接口的关系，掌握计算机系统接口底层软硬件设计并学会编写

第一作者简介：董代洁，女，高级实验师，研究方向为计算机系统接口技术、基于 FPGA 的可编程片上系统设计等硬件课程实验教学，dongdj@tsinghua.edu.cn。

简单应用层程序；二是要根据学生的来源情况设计出不同难度及实用性强的实验。依据课程的推进及学习层面，我们将实验分成3个阶段：简单接口设计及工具使用学习阶段、提高阶段、创新阶段。第1个阶段要求教师指导学生统一完成；第2个阶段是实验的主要阶段，需要提供不同的实验供学生选择；第3个阶段是让学生在第2个阶段的基础上进行创新。

#### 1) 简单接口设计及工具使用学习阶段。

教师在教学实验中，一般是在讲解实验软硬件平台的使用时将几个基础实验同时结合在一起。实验工具的学习包括在 ISE Design Tools 开发平台下，用 HDL 语言设计简单的接口以及进行简单的 SOPC 设计<sup>[2]</sup>。通过这一阶段的学习，学生能够掌握各种工具的使用，设计基本的输入输出接口，了解一般总线的工作时序、寄存器及存储器的读写控制等。

教学内容可以选择以下几个方面：用彩灯及七段代码显示计数、RS232 串口通信、SRAM 存储器读写、LCD 显示等。这几个实验内容既可以用 HDL 设计，又可以用 SOPC 的方法设计。

#### 2) 提高阶段。

这个阶段是实验的主体部分，需要将理论课的知识与实验紧密结合起来，使学生进一步了解现代计算机系统及接口技术的知识，内容涉及现代计算机系统接口的基本原理以及针对一些接口的深入学习，其中包括 USB 接口的原理及基本协议，网络、音视频接口的基本原理及基本协议等。实验内容需要跟上当前计算机系统及接口技术，包括音视频接口、嵌入式主/从 USB 接口(2.0)、网络接口、PCIe 接口的设计等。学生可以2~3个人为一组，根据自己的情况和需求选择1~2个合适的实验，实验指导书则为学生提供接口电路连接图和参考设计方案，学生需要实现完整的接口应用。

#### 3) 创新阶段。

第3个阶段可以在第2个阶段设计的基础上进行创新，如在完成了音视频接口的设计后，教

师可以根据学生的学科背景加上图像处理的内容，而核能系的学生就可以将接收到的图片按他们的方式进行处理等。另外，学生也可以将两种以上的接口综合起来，如将网络和 USB、USB 和图像显示结合起来设计，还可以在嵌入式主 USB 接口设计完成后，再对 FPGA 片外的嵌入式 USB 接口器件进行功能扩展，使 USB 传输方式随之变化。

此外，该阶段也可以跳过第2阶段直接进行创新性设计，主要面向一些新的接口技术。硬件实验平台上有预留的扩展接口，可以为学生提供实验平台上所没有的接口实验，学生可以通过外接其他子模块实现接口设计。学生也可以自己设计一个硬件模块加在实验平台上，以此增加实验的多样性，如增加蓝牙无线接口方面的设计；还有一些学生利用所在课题的经费购买设备并进行与课题相关的接口设计等。教师将在实验教学中给予学生更多技术支持。

### 3 实验平台和实验方法

#### 1) 实验平台。

目前的实验硬件平台是以 Xilinx 公司生产的超大规模 FPGA 可编程器件 XC6SLX45T 为主芯片，结合各种接口的外围芯片自行设计的多功能计算机接口实验平台 EDK—SP6ADSP—TSMFI00<sup>[2]</sup>。硬件实验平台的功能框图如图1所示。

主芯片 FPGA 系统时钟可达 1GHz，有 43 661 个逻辑 Cells，片内存储器 BRAM 最高为 2.088kb，内含一个 PCI Express 硬核以及足够的硬 DSP 处理片，集成有 DDR，DDR2，DDR3，and LPDDR



图1 硬件实验平台的功能框图

存储器控制模块<sup>[3]</sup>。每一种接口的设计主要在 FPGA 片内进行,并配合外部接口器件完成一个完整的接口功能。

## 2) 实验方法。

FPGA 片内设计软件采用 Xilinx 公司提供的 Xilinx ISE Design Suite 12,它支持 3 种设计方式:第一种是用 HDL 硬件描述语言设计硬件;第二种是支持片上系统设计;第三种是支持 DSP 开发,采用 System Generator 工具与 Matlab 工具绑定。另外,设计软件还集成了仿真工具 ModelSim、在线逻辑分析仪 ChipsCope、FPGA 片内 CPU 固件代码调试工具 SDK 等<sup>[2]</sup>。

采用什么实验方法主要由接口的特点决定,如果接口适合用逻辑控制,则用 HDL 语言实现;如果接口适合用 CPU 控制,就采用 SOPC 的方式,采用这种方式还需要编写 CPU 的执行代码;如果有数据信号处理的要求,则可以用 DSP 开发子平台。

驱动程序和软件应用程序通常在 Windows 下编写。另外,嵌入式主/从 USB 接口采用的 FPGA 外部器件是嵌入式 USB 芯片 Cy7c67300,这个接口的设计还需要在 Cy7c67300 内部编写嵌入式应用程序,采用 Cypress 公司提供的开发编译工具完成。

## 4 教学实验的改进

实验课程教学必须紧随计算机技术的发展进程,实验的内容和方法必须随着技术的发展而不断更新和改进。教学实验的改进包括实验内容、实验测试方法、实验软硬件平台的更新和改进等。

### 1) 实验内容的改进。

实验内容的改进分为小的调整和大的改进。

教师在每一期的实验课程结束后都需要听取学生的反馈意见并进行认真总结,分析实验教学是否达到预期效果,有哪些不足和有待改进的地方。根据总结和分析,实验内容基本上每年都会

调整,每一期实验都需要根据实验准备条件和当届学生的情况安排合适的实验内容。实验教学经验的不断积累使得教师在制订后一年的实验目标时,会比前一年要求更高一些。

大的调整是淘汰一些比较过时或不适合的内容,增加新的设计内容。这通常需要配合实验平台的更新,如嵌入式主/从 USB 接口和 PCIe 接口就是目前使用的实验平台才增加的内容。教师指导学生所做的创新实验也是新实验内容的备用资源。

另外,为了让学生对实验课程有更深的体验,同时作为一门课程,特别是选修课,占用学生的时间又不能过多,因此我们就要在有限的课程时间里让学生学到更多知识,接触更多新技术。教师事先将一些与计算机系统接口应用相关联的、其他领域的数据处理及控制模块作为一个 IP Core 存放在系统里,学生在设计接口时,还是将重点放在接口的设计上,同时还可以调用这些资源。这样学生不仅可以接触到与接口相关的其他知识和技术,而且不用占用过多的时间也能够让实验的内容更丰富。

### 2) 实验测试方法的改进。

利用 ModelSim 进行仿真已经比较普遍,但仿真并不代表最后真实的结果;利用软件逻辑在线分析仪进行测试是有效的在线测试方法。Xilinx 开发工具里有一个子平台叫 ChipsCope,它是一个软体逻辑在线分析仪工具。学生在 FPGA 片内设计硬件时加上 ChipsCope 的 IP Cope,编译并下载到 FPGA 后,打开 ChipsCope 分析界面并运行,可以看到 FPGA 内部任何一个节点信号的实时波形。这个工具适用于 ISE Design Tools 的 HDL 设计和 EDK 的 SOPC 设计。学生在实验中使用了这个工具后,极大地方便了调试过程并节省了查错时间。

### 3) 实验软硬件平台的更新和改进。

微型计算机系统接口技术这门课程已开设 20 多年,最初的实验是用面包板及一些分立器

(下转第 117 页)

### 3 结 语

通过实训环节的实践,能够取得良好的教学效果,使学生摆脱死记硬背的学习方法,学习起来轻松、主动。实训环节的实施过程中,互动性好,促使许多学生主动利用大量的休息时间,投入到实训中去,不仅可以提高学生解决实际问题的能力,还可以培养学生的团队合作能力和创新精神。

参考文献:

- [1] 郝晓玲. 信息系统开发:方法、案例与实验[M]. 清华大学出版社, 2012: 40-46.
- [2] 盛敏. 普通本科院校信息与计算科学专业实习实训方案设计[J]. 计算机教育, 2011(5): 1-4.
- [3] Silberschatz A, Korth H F, Sudarshan S. 数据库系统概念[M]. 杨冬青, 李红燕, 唐世谓, 等, 译. 机械工业出版社, 2009: 100-103.

( 见习编辑: 刘丽丽 )

( 上接第105页 )

件搭建一个软磁盘接口,而且所有学生只做这一种接口设计,后来实验平台经过多次更新换代。用 EDA 方式进行设计从 90 年代中期开始,现在则采用以超大规模可编程器件 FPGA 为主芯片的计算机系统接口实验平台。这样历时大约 5~6 年时间,无论是软件平台还是硬件实验平台,都需要一次大的更新。

目前的软硬件开发平台已使用了 2 年,而 Xilinx 公司开发的 FPGA 现在已经到 Artix7——基于 ARM 内核的 FPGA,软件开发平台也换成了 Vivado Design Suite。新的 FPGA 和开发软件具有更丰富的资源,提供 ARM CPU 核,设计者在应用嵌入式设计时能与更流行的嵌入式 CPU 结合起来。目前,计算机系统及接口技术也有了新的发展,如 USB 总线已经更新到 USB3.0 等,然而教学实验内容和实验平台的更新不一定要跟随技术发展,而是一般需要在实验技术和接口概

学生在今后的实践应用中会不断遇到新技术、新方法、新软件,在教学中注重培养学生解决问题的能力 and 创造性,多提供运用知识的机会,教会学生怎样学习就显得特别重要。只有努力培养学生的动手能力、自学能力和解决问题的能力,让他们思考、实践、主动摸索,学生毕业后才能尽早地适应工作需要,成为实践能力强的信息化人才。

念上有一个比较大的跨越。

### 5 结 语

笔者中的第一作者基于在微型计算机系统机接口技术课程上的 16 年工作积累,不断探索和改革实验平台及实验内容,根据经验发现学生经过这门课程的学习后确实受益匪浅。不同的学生在学完课程后都有不同的收获点,之前有的学生对 FPGA 和 VHDL 没有过多接触,有的学生对 SOPC 没什么概念,大多数学生对 USB、网络等比较复杂的接口原理了解不深,而在学完这门课程并进行实验后,至少实现了一种接口的完整设计并凭借自主创造能力和想象力实现了设计接口的不同应用,提高了对计算机系统及接口的整体认识以及理论与实践结合的能力,也培养了同学之间的协调工作能力。

参考文献:

- [1] 杨文显. 现代微型计算机原理与接口技术教程 [M]. 2版. 北京: 清华大学出版社, 2011: V-VI.
- [2] 周悦芝, 董代洁. 微型计算机系统接口技术实验教程: 基于FPGA设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011: 58.
- [3] Xilinx. Spartan-6 family overview[EB/OL].( 2011-10-25)[2013-05-29].[http://www.xilinx.com/support/documentation/data\\_sheets/ds160.pdf](http://www.xilinx.com/support/documentation/data_sheets/ds160.pdf).

( 编辑: 宋文婷 )