

计算机专业硬件课程体系的改革*

唐志强, 朱子聪

(复旦大学计算机科学技术学院, 上海 200433)

摘要:数字逻辑、计算机组成原理和计算机体系结构是计算机专业的三门相关的主干硬件课程。现有的课程体系中这三门课程相对独立, 不符合当今技术的发展, 尤其不适合需掌握完整的计算机设计技术的计算机专业的学生需求。结合十二五国家级示范实验教学中心的建设, 复旦大学计算机学院对计算机专业的硬件类课程群进行重新规划, 以满足计算机学科发展的要求。

关键词:计算机专业; 数字逻辑; 课程群

中图分类号: G642.0

文献标志码: A

doi: 10.3969/j.issn.1007-130X.2014.A2.043

Reform and innovation of digital logic curriculum for computer science majors

TANG Zhiqiang, ZHU Zi-cong

(School of Computer Science, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: Digital logic, computer organization and computer architecture are three key hardware curriculums in computer science majors, which are relatively independent from the existing curriculum systems. This does not meet the needs of today's technical development, especially for those computer science students. In order to solve these problems and keep pace with new technologies, in combination with the construction of the Twelve—five Nation Demonstration Experiment Teaching Center, a new digital logic curriculum architecture for computer science majors is re-designed by School of Computer Science, Fudan University.

Key words: computer science major; digital logic; computer organization; computer architecture

1 引言

计算机专业的硬件类主干课程有: 数字逻辑、计算机组成原理、计算机体系结构。其中数字逻辑是这些课程的基础。国内高校广泛采用的以门电路及中小规模集成电路为基础的数字逻辑电路课程, 或者即使采用了硬件描述语言, 但所讲述的内容仍然以中小规模集成电路为主, 并不适合计算机专业使用。计算机组成主要讲述指令设计, CPU 部件、数据通路及控制的设计, 流水线的基础知识。计算机体系结构除了一部分和组成重复的内容外, 主要讲述流水线、指令级并行、存储层次、网络、多

处理机等内容。结合“十二五”国家级实验教学示范中心建设, 我们对计算机专业硬件类课程进行重新设计和规划^[1]; 参照美国加州大学伯克利分校的做法: 把传统的计算机专业的数字逻辑、计算机组成原理和计算机体系结构合并为数字逻辑与部件设计和计算机体系结构两门课程。数字逻辑与部件设计课程除了讲授传统的电路部分内容, 还增加了指令系统、数据通路和控制器的内容^[2]以及存储器和输入输出系统内容; 计算机体系结构的指令部分内容和数字逻辑与部件设计课程重叠, 然后讲述流水线、指令级并行、数据级并行、存储层次及网络、多处理机。设计了数字逻辑与部件设计和计算机体系结构一体化实验仪, 并为课程配套了全新的

* 收稿日期: 2014-07-10; 修回日期: 2014-08-23
通信地址: 200433 上海市邯郸路 220 号复旦大学计算机中心 A305 室
Address: Room A305, Computer Center, Fudan University, 220 Handan Rd, Shanghai 200433, P. R. China

实验内容,与课程内容紧密结合,取得了良好的教学效果。

2 现有课程体系编排上的不合理部分

目前国内高校的计算机专业硬件类主干课程从低到高分成数字逻辑、计算机组成原理和计算机体系结构。主要存在两个问题:一是教学内容相对老化:课程内容讲述以中小规模、集成电路设计数字系统,与当前大量使用大规模超大规模集成电路和 EDA 工具的大趋势不符合;二是各课程之间尤其是数字逻辑和计算机组成原理的各知识点关联性不强。计算机组成原理的控制器设计以微程序方法为主,与当今广泛采用的 RISC 处理器的硬接线法控制器技术不相适应。

传统课程体系中计算机组成原理和计算机体系结构中有相当内容的重叠,包括指令系统、流水线主要讲述计算机指令设计、CPU 组成、存储器及 I/O。计算机组成的实验内容是对设计好的部件进行连线,学生对各部件的具体实现并不是很清楚。我们希望通过教学内容的改革,使学生能深入了解计算机尤其是 CPU 部件的硬件实现细节,为后续的计算机体系结构的学习打下坚实基础。

3 数字逻辑与部件设计课程内容更新分

数字逻辑与部件设计课程把一部分计算机组成的知识合并进来,以 MIPS 处理器为主线。在传统的数字逻辑基础部分,突出了计算机部件相关组合电路部分,包括多路器、译码器、运算电路及 ALU 的设计,计数器、有限状态机和控制器的关系。在计算机部件部分主要增加了 MIPS 指令系统,数据通路和控制器的原理及实现,以及单周期 CPU 的设计,这里不涉及流水线及存储层次内容,这些内容放在计算机体系结构讲述。

3.1 数字逻辑电路基础内容

基础部分内容包括两大部分。第一部分是 VHDL 语言和 EDA 工具的使用。我们讲述的所有内容都要求学生能用 VHDL 语言描述,EDA 工具选择与实验配套的 Xilinx ISE,与实验的侧重点不同,课堂内容中主要使用仿真部分功能。第二部分是电路基础部分包括组合电路部分的基本的逻辑门,多路器和译码器,算术电路。时序电路部分的触发器、寄存器、计数器、有限状态机。有限状态

机是 CPU 控制器的基础,除了要求掌握用触发器和逻辑门实现外,还要学生掌握用计数器和多路器实现有限状态机。讲述密码锁实现的两种方法:一种实现方法是传统的作为一个整体的有限状态机来实现。第二种方法是把整个有限状态机分成两部分:数据通路由数据寄存器、多路选择器和比较器构成;控制器的有限状态机根据数据通道的状态对数据通道进行控制。在有限状态机中引入数据通道和控制单元的概念,加深学生对计算机部件及其相互关系的理解。

3.2 计算机部件相关内容

这部分内容主要讲述三大部分内容:一是指令系统,以 RISC 架构的 MIPS 指令系统为主线;二是在讲述了密码锁的基础上引入 CPU 的数据通路及控制器的实现,控制器讲述微程序及硬接线法,并以 RISC 处理器中常用的硬接线法为重点;第三部分内容是综合前面学的知识,讲述实现一个单周期简单 CPU 的过程。简单计算机的状态单元有程序计数器 PC、程序存储器 IM、数据存储器 DM 和寄存器文件 RF。程序计数器是一个 32 位的寄存器;寄存器的输出值指向当前指令,输入 PC'指向下一条指令。程序存储器只有一个读口,它有一个 32 位的地址输入 A,32 位的数据读输出(指令)RD。寄存器文件包含 32 个 32 位寄存器,包含两个读口和一个写口。每个读口对应 5 位地址输入, A1 和 A2,对应的数据口为 RD1 和 RD2,一个写口 WD3 对应的 5 位地址 A3。数据存储器可读写,如果写信号 WE 有效,数据从 WD 口写入存储器,否则数据从 RD 口读出。除此之外,还有加法单元计算地址及跳转。所有部件用 VHDL 语言描述,配合实验课程在实验仪上完成一个十多条指令的 RISC CPU 的设计。

4 计算机体系结构课程内容及实验设置

去除重复的 MIPS 指令系统,增加新的数据级并行内容,增加硬件具体实现的实验,分两步实现:第一步,在数字逻辑与部件设计的单周期 CPU 的基础上实现一个 5 级流水线(取指、译码/读寄存器、执行/有效地址计算和写回)的定长指令,硬接线控制器的 32 位 RISC 处理器;第二步,实现一个直接印象或二路组相联的 Cache。指令级并行部分包括动态调度,前瞻执行等不适合硬件实现的实验采用软件模拟。

5 结束语

本文介绍了复旦大学计算机学院对计算机专业的硬件课程进行的重新设计,把原来的数字逻辑、计算机组成原理及计算机体系结构合并为数字逻辑与部件设计和计算机体系结构两门课程。从数字逻辑与部件设计课程开始增加了计算部件设计的内容,并以 MIPS 处理器的指令系统及 RISC 处理器为基础,逐步深入。设计了新的一体化实验仪及新的实验内容,经过四年多的实践,取得了良好的教学效果。

参考文献:

- [1] Ye Xue-jun. Experimental group of computer hardware courses teaching reform[J]. Computer Education, 2011(9):82-84. (in Chinese)
- [2] Katz R H. Contemporary logic design[M]. Menlo Park: The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc.
- [3] Harris D M, Harris S L. Digital design and computer architecture(Second Edition) [M]. Beijing: China Machine Press.
- [4] Chen Li-wen, Bai Shui. Train capabilities on digital system experiment originates basis [J]. Experimental Technology and Management, 2007(3):119-121. (in Chinese)
- [5] Wang Yong. Desing and development of digital logic circuit experimental systems[J]. Research and Exploration Laboratory, 2008(12):42-44. (in Chinese)
- [6] Zhan Jin-yu, Liao Jian-ming. Research and exploration of the teaching method of digital logic[J]. Computer Education,

2011(2):91-94.

附中文参考文献:

- [1] 叶雪军. 计算机硬件类课程群实验教学改革[J]. 计算机教育, 2011(9):82-84.
- [4] 陈丽文, 白水. 数字系统实验课的能力培养应从基础入手[J]. 实验技术与管理, 2007(3):119-121.
- [5] 王勇. 数字逻辑电路实验系统设计与开发[J]. 实验室研究与探索, 2008(12):42-44.
- [6] 方瑾瑜, 廖建明. 数字逻辑课程教学方法探究与探讨[J]. 计算机教育, 2011(2):91-94.

作者简介:



唐志强(1966-),男,上海人,博士,高级实验师,研究方向为计算机体系结构和嵌入式系统。E-mail: zqtang@fudan.edu.cn

TANG Zhiqiang, born in 1966, PhD,

senior experimentalist, his research interests include computer system architecture, and embedded system.



朱子聪(1956-),男,上海人,工程师,研究方向为计算机系统结构和嵌入式系统。E-mail: zzcfd@fudan.edu.cn

ZHU Zi-cong, born in 1956, engineer,

his research interests include computer system architecture, and embedded system.