

文章编号: 1672-5913(2011)17-0115-04

中图分类号: G642

文献标识码: A

美国一流大学计算机组成与系统结构实验课程研究

王 帅, 袁春风

(南京大学 计算机科学与技术系, 江苏 南京 210093)

摘 要: 文章针对美国一流大学的计算机组成与系统结构实验课程进行研究, 重点介绍 UC Berkeley, MIT, Stanford University, CMU 相关实验课程的内容和特色, 为我国大学计算机组成与系统结构实验课程今后的改革与发展提供参考。

关键词: 计算机组成; 计算机系统结构; 实验课程

1 美国大学计算机组成与系统结构实验课程概况

美国一流大学有着悠久的历史 and 长期的经验, 所以我们深入研究和分析他们近几年在计算机组成与系统结构实验课程上的内容设置与教学变革, 希望能够对我国大学的计算机组成与系统结构实验课程今后的改革和发展提供一些参考与启发。

由于院系设立的不同, 美国大学与计算机相关的院系一般可分为几类: 单独的“计算机科学系”(CS), 与工程相结合的“计算机科学与工程系”(CSE), 和电子工程联合的“电子工程与计算机科学系”(EECS)等。由于院系的类别不同, 他们对于计算机组成与系统结构等课程的实验内容和要求也不同, 这种不同也是由于师资力量不同造成的。例如计算机科学系对于计算机组成与系统主要是从整个计算机系统出发, 强调从高层(应用和软件)到底层(硬件)的掌握与了解, 实验手段一般也是采用高级语言来实现对硬件的模拟。有着工程背景的计算机科学与工程系和电子工程与计算机科学系, 一般比较强调对于硬件的深入了解和底层的实现, 要求学生采用 VHDL, Verilog 等硬件描述语言进行一些功能部件和小型系统的设计, 并在 FPGA 等硬件上进行测试验证; 有着师资条件的电子工程与计算机科学系还会开设大规模集成电路设计(VLSI)等课程, 以加深学生对于计算机系统的全面了解。

虽然学校之间要求不同, 但是作为计算机科学的一门核心课程, 计算机组成和系统结构在每个学校都有着很重要的地位, 而且都会配有相对应的实验课程, 使学生有更加直观的认知和实践经验。

2 美国大学计算机组成与系统结构实验课程内容与分析

2.1 UC Berkeley(University of California, Berkeley)

对于 UC Berkeley 关于计算机组成与系统结构的课程设置, 袁春风教授等^[1]在《计算机教育》杂志中已经作出深入而详细的总结。CS61C(Machine Structures)^[2]作为所有和计算机组成与系统结构相关课程的先修课程, 实验部分采用高级语言实现和软件模拟的方法。CS150(Components and Design Techniques for Digital System)^[3]的实验采用 FPGA 实现 MIPS 指令系统的方式, 并由一个游戏程序进行验证。由此可见对于电子工程与计算机科学系(EECS)的 UC Berkeley 采用了软件和硬件实验并重的方式, 使学生能够全面地了解计算机系统。

2.2 MIT(Massachusetts Institute of Technology)

作为又一个 EECS, MIT 的“电子工程与计算机科学系”也是注重学生对底层硬件的掌握与设计。和

作者简介: 王帅, 男, 讲师, 研究方向为计算机体系结构、嵌入式系统; 袁春风, 女, 教授, 研究方向为 Web 信息检索与本文挖掘、多媒体文档处理、计算机体系结构。

计算机组成与系统结构实验相关的课程主要是 6.004 (Computation Structures)^[4]。课程的内容从基本的信息系统和数字系统的概念,讲到电路中的时序逻辑、有限状态机(FSM),然后从计算机系统流水线、指令集,介绍到机器语言、编译等。后期课程根据计算机系统设计中常见的问题,讨论了例如中断、死锁、流水并行等。整个课程涵盖范围很广,很多地方已经涉及到了编译原理、操作系统等课程的内容,对学生的要求较高。

对于 MIT 课程 6.004 配套的实验,开始部分采用了类似于 HSPICE 的模拟器 JSim 对基本电路和部件的特性进行模拟和了解,设计了如基本的加法器、算

术逻辑单元(ALU)、有限状态机等。然后他们采用了根据课程配套开发的 BSim 模拟器,来提供对于课程中用到作为实例的 Beta 处理器结构(图 1)的支持。Bsim 可以提供高级语言程序的输入,编译和二进制代码转换,载入代码和模拟执行,并显示结果。学生要求实现手动的编译程序(写出高级语言对应的汇编程序),用 JSim 实现对应的 Beta Architecture,在原有的指令系统中加入新的指令,最后实现并验证整个系统。由此可见,MIT 的实验课程也是强调硬件模拟(JSim)和软件模拟(Bsim)的结合,通过从高级语言到机器执行的整个过程的介绍,让学生有一个全面的了解。

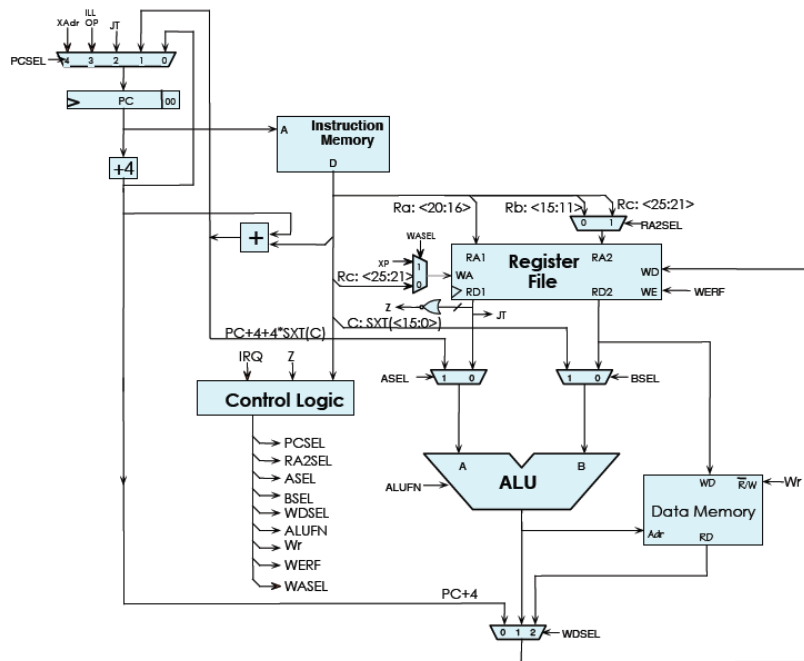


图 1 MIT 课程 6.004 Computation Structures 中的 Beta 处理器结构^[4]

2.3 Stanford University

Stanford 的计算机科学(CS)与电子工程(EE)是两个独立的系,因此他们之间的课程也相对独立。目前和计算机组成与系统结构相关的课程主要有:CS 的 CS107(Computer Organization and Systems)^[5],EE 的 EE108a(Digital Systems I)^[6]和 EE108b(Digital Systems II)^[7]。

CS107(Computer Organization and Systems)由于是设立在计算机系(CS),课程强调从 C 语言编程的角

度出发,由上至下逐步深入到处理器,从而向学生揭秘整个计算机系统的工作原理。Stanford University 重在强调理解程序如何在复杂的系统中执行,从而培养一个编程人员如何有效的编写和优化程序,以及保证程序的可靠性等。因为课程是从编程的角度出发,所以配套的实验也是以编程模拟(C 语言)为主,例如数组指针的实现、关于基本数据“位”(Bit)和“字节”(byte)的操作、浮点数的操作、汇编程序中的源码转化、堆栈实现、生成可执行程

序, 以及内存和代码的优化技术等。由此可见 Stanford University 的 CS107 更加强调从软件角度认识硬件, 是为软件和编程服务的一门课程。这样的课程对于我国一些专业培养软件人才的院校, 如软件学院等, 提供了很好的参考。

EE108a(Digital Systems I)和 EE108b(Digital Systems II)是电子工程系开设的两门偏向硬件设计的课程。EE108a 主要介绍基本的数字电路, 如组合逻辑, 有限状态机, 时序和同步等问题。实验部分采用硬件描述语言 Verilog, 在 FPGA 上实现数字电路。EE108b 作为 EE108a 的后续课程, 强调系统的设计和实现, 要求学生实现一个 MIPS 的微处理器系统, 并在上面编写汇编程序, 完成一个乒乓球的游戏, 用 FPGA 实现。实验开始给出一些例如 Instruction Fetch, Decode, ALU, Register File, VGA 等基本模块, 要求学生在这些模块上实现一个单周期的处理器。然后要求加入五段流水线处理器设计, 实现冲突检测和转发(forwarding)等功能。最后要求学生加入高速缓存(Cache)模块, 以实现一个直写方式(write-through)的数据 Cache(Data Cache)并能统计 Cache 性能的模块。对于整个处理器系统的测试, 实验要求学生编写一个乒乓球游戏的 MIPS 汇编程序, 最终在 FPGA 实现的处理器系统上运行测试这个游戏。整个 Stanford University 的数字系统实验(Digital Systems)实验(即 EE108a 和 EE108b 课程)采用由浅入深的方式, 从基本的数字电路设计开始, 逐渐构建整个处理器系统。而在构建过程中, 为简化学生的入门难度, 开始的实验还提供了已经实现的模块, 只要求学生理解和应用, 然后再逐渐加入复杂模块的设计。这样的方式也是值得我们借鉴的。

2.4 CMU(Carnegie Mellon University)

在 CMU, 计算机组成与系统结构相关的基础课程也分布在两个不同的院系中。“计算机科学学院”(School of Computer Science)开设的 15-213(Introduction to Computer Systems)^[8], 以及“电子和计算机工程系”(ECE)开设的 18-447(Introduction to

Computer Architecture)^[9]。但是他们鼓励院系间的课程互选, 例如 CS 的学生在学完 15-213 之后, 如果对系统感兴趣的学生就会被建议一些后续课程, 其中就包括 ECE 的 18-447。这样跨系的互选课, 既符合不同院系的教学要求, 又提供了深入学习的空间。

CS 开设的 15-213(Introduction to Computer Systems)也是强调从程序员的角度出发, 认识理解计算机系统如何执行程序, 如何进行信息存储和通信。CMU 将这门课程定位为编译、操作系统、计算机体系结构, 以及网络等课程的基础课程。由于课程的定位比较特殊, 所以涵盖的内容也比较广, 其中包括了编译优化、性能评估和网络协议等一般涵盖在其他课程中的内容。课程的实验主要用 C 语言实现, 包括一些数据操作、异常处理、性能评估和内存管理, 还包括了如网络方面的 Web Proxy 实现等。实验内容也是比较广泛, 为的是让学生对于整个计算机系统从程序员的角度进行全面的了解。

ECE 开设的 18-447(Introduction to Computer Architecture)则是从硬件的角度出发, 介绍如何设计一个现代的处理系统。课程强调现代处理器中实用技术的实现, 如控制与数据通路的实现、流水线的并行、超标量(SuperScalar)架构以及快速存储架构的实现等。课程实验则要求学生用 Verilog 实现一个类似 MIPS 的超标量流水线处理器系统。实验过程也是采用循序渐进的方式, 先实现单周期的处理器, 然后一步步加入流水线、控制流、异常处理、Cache 和 TLB 等。18-447 作为一门许多课程的后续课程, 要求学生将前面课程中所学到的知识, 如电路设计、分级存储器体系等, 都应用到整个处理器系统的设计和实现中, 从而达到知识的融会贯通。

3 美国大学计算机组成与系统结构实验课程总结

表 1 对前面介绍的美国几所一流大学(UC Berkeley, MIT, Stanford University, CMU)的计算机组成与系统结构实验课程进行了一个比较和总结。从中可以看出, 对于计算机组成与系统结构实验课程的开展, 一

般分为两个不同的角度: 偏重软件的程序员角度和偏重硬件的硬件设计人员角度。作为计算机科学(CS)专业开设的相关实验课程, 一般偏重软件, 强调从程序员的角度去了解整个计算机系统如何运行, 从而为程序的优化, 可靠性的保证等提供了基础知识。而作为电子工程(EE)或计算机工程(CE)专业开设的

实验课程, 一般偏重硬件, 强调从硬件设计人员的角度如何设计和实现整个处理器系统。偏重软件的实验课程一般用高级编程语言和模拟器实现, 而偏重硬件的实验课程则会要求用相关硬件描述语言实现系统, 会涉及到数字电路设计的相关知识, 而且一般会在FPGA 上测试验证。

表1 UC Berkeley, MIT, Stanford, CMU 计算机组成与系统结构相关实验课程对比

课程	开设院系	课程偏重/出发角度	实验平台/实现语言
UC Berkeley CS61C	EECS	软件/程序员	C, Java, Logsim
UC Berkeley CS150	EECS	硬件/硬件设计人员	Verilog (FPGA)
MIT 6.004	EECS	软件+硬件/系统人员	JSim, BSim
Stanford CS107	CS	软件/程序员	C
Stanford EE108a&b	EE	硬件/硬件设计人员	Verilog (FPGA)
CMU 15-231	CS	软件/程序员	C
CMU 18-447	ECE	硬件/硬件设计人员	Verilog (FPGA)

对这些美国一流大学在计算机组成与系统结构实验课程的探索与总结, 将会为我国大学的计算机

组成与系统结构实验课程的改革和发展提供借鉴和参考。

参考文献:

- [1] 袁春风, 黄宜华, 武港山, 等. “计算机组成与体系结构”课程群建设实践[J]. 计算机教育, 2010(13): 80-83.
- [2] UC Berkeley. Machine Structures[EB/OL]. [Spring 2011]. <http://inst.eecs.berkeley.edu/~cs61c/sp11/>.
- [3] UC Berkeley. Components and Design Techniques for Digital System[EB/OL]. [Spring 2011]. <http://inst.eecs.berkeley.edu/~cs150/sp11/>.
- [4] MIT. Computation Structures [EB/OL]. [Spring 2011]. <http://6004.csail.mit.edu/>.
- [5] Stanford University. Computer Organization and Systems[EB/OL]. [Spring 2011]. <http://www.stanford.edu/class/cs107/>.
- [6] Stanford University. Digital Systems I[EB/OL]. [Spring 2011]. <https://ccnet.stanford.edu/ee108a/>.
- [7] Stanford University. Digital Systems II[EB/OL]. [Winter 2010]. <http://www.stanford.edu/class/ee108b/>.
- [8] CMU. Introduction to Computer Systems[EB/OL]. [Summer 2011]. <http://www.cs.cmu.edu/~213/>.
- [9] CMU. Introduction to Computer Architecture[EB/OL]. [Spring 2011]. <http://www.ece.cmu.edu/~ece447/>.

Study of the Computer Organization and Architecture Lab Courses at Top Universities in United States

WANG Shuai, YUAN Chunfeng

(Department of Computer Science and Technology, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: This paper conducted a detailed study on computer organization and architecture lab courses at top universities in United States. It covered the lab courses in the areas of computer organization and architecture at UC Berkeley, MIT, Stanford University, and CMU. The work can provide the insightful guidance for future course innovation at universities in China.

Key words: computer organization; computer architecture; lab courses

(编辑: 姚彦如) 