

面向赋能教育的计算机系统课程口袋实践体系建设

蔡朝晖 陈伟清 贺莲 黄建忠

武汉大学计算机学院, 武汉 430072

摘要 针对学生实践过程的训练规模和难度不够, 解决问题的专业能力欠缺, 以及学时和实验空间不足, 构建了基于项目的层递式口袋实践教学体系, 将赋能教育融入整个教学过程, 培养学生解决工程问题的能力、以及对未来技术发展的适应能力。

关键词 层递式口袋实践教学体系, 赋能教育, 分层次的评价体系

Construction of Computer System Course Pocket Practice System for Empowered Education

Cai Zhaohui Chen Weiqing He Lian Huang Jianzhong

School of Computer Science, Wuhan University
Wuhan 430072, China

Abstract—In view of the insufficient scale and difficulty of students' practical training, the lack of professional ability to solve problems, and the insufficient class hours and experimental space, a project-based layered pocket practice teaching system is constructed, which integrates empowerment education into the entire teaching process and cultivates students' ability to solve engineering problems and adapt to future technological development.

Keywords—Layered pocket practice teaching system; Empowerment education; Hierarchical evaluation system

1 引言

我国计算机产业的发展, 需要计算机类专业人才掌握解决复杂工程问题和进行软硬件协同设计的能力, 具有计算机系统能力的计算机类专业人才, 才能适应新工科背景下市场对人才需求的不断变化。在人才培养时, 需要全面落实“学生中心、产出导向、持续改进”的教育理念, 加强培养学生的创新设计、建造、运行和服务能力; 着力提升学生解决复杂工程问题的能力。大学计算机课程的重要性更加凸显, 是培养学生创新能力、跨界思维能力、对未来职业发展的适应能力、终身学习能力等的重要保障^{[1][2]}。

在计算机课程教学中, 培养和训练学生的动手实践能力是一个教学重点。为了解决新工科背景下计算机类专业人才培养方面提出的问题, 扎实提升学生实际能力、创新实践能力和核心竞争力, 提高解决软硬件协同复杂工程问题的能力^[3], 课程组尝试将赋能理论引入教学过程。

赋能理论研究起于 20 世纪 90 年代, 从心理学的角度来看, 赋能可以定义为使个体自我效能增加的一个主动行为改变的过程^[4]。赋能需要自我管理, 其授权的过程就是通过内源动力的激发, 调动自我管理水平的过程^[4]。所以, 赋能就是让主体具备能力^[5], 赋能教育有 3 个基本要素: 赋予能力的内容、赋予能力的对象和赋予能力的方式。以前教学比较强调学生对知识点理解, 而面向赋能教育的教学则更注重让学生将知识点串联起来, 并融会贯通, 引导学生用已知的知识点来解决新问题。这种教学思路指导教师构建新的实践教学体系, 改进教学方法和教学环境, 提高学生的创新实践能力, 为学生赋能, 为教学赋能。

2 构建基于项目的层递式口袋实践教学体系

学生一般把数字逻辑、计算机组成原理、微机系统与接口技术、计算机体系结构和嵌入式系统等课程称为硬件课程。学生学习这些硬件课程时感觉非常抽象, 无法理解硬件知识点的含义, 而且觉得学习硬件对于写程序没有任何帮助, 不愿意深入思考, 为了考试而学习。造成这样的主要原因是理解程硬件系统与软件系统之间关系、程序是如何在硬件上运行的;

*基金资助: 本文得到湖北省教改项目“基于 OBE 的计算机类专业毕业目标达成评价与持续改进机制研究与建设”(2022024) 和 2023 年武汉大学本科教育建设综合改革项目(武大本函(2022)169号)的支持。

没有将所学基础理论知识串联起立，建立完整的计算机系统概念。大部分学生动手实践能力比较欠缺，工程训练不足。针对这个问题，我们根据相关课程的教学内容，设计了一款口袋实验板，如图 1 所示，将硬件系列课程实验打通，全部都在该口袋板上完成。口袋板实验方案是给全年级 400 多位学生配备独立该 FPGA 开发板，让学生能够在实验室、教室和宿舍等任意地方随时开展自己的实验，增加学生对实验的兴趣，把口袋板当作自己“宠物”养起来。

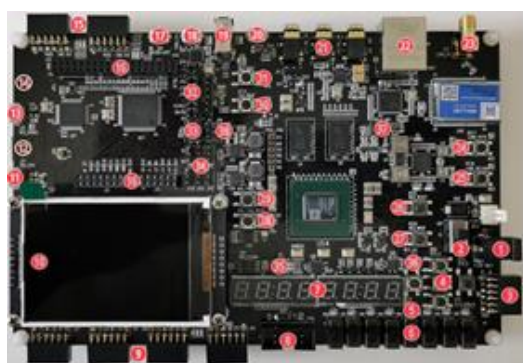


图 1 口袋实验板

我们整合了硬件系统课程的原来实验内容，联合操作系统和编译原理课程，依托口袋板构建了贯穿系统课程的计算机系统设计实践体系，整个体系是循序渐进的，注重系统能力培养，以产业热点为目标动态

数字逻辑设计、计算机系统基础、计算机组成与设计、微机系统与接口技术、嵌入式系统、操作系统、编译原理……



调整，如图 2 所示。

图 2 实践教学体系

2.1 实验层次架构

该实践教学体系是以几门课程为主线，针对设计计算机系统的项目采用分解-集成模式，从易到难逐级分解成多个课程实验，每个实验融入在到相应课程教学过程中，最后集成一个系统；所有实验统一在 FPGA 口袋实验平台上，以 Verilog 语言为设计语言，便于学生逐步设计实现一个简易但完整的计算机系统或 SOC。每个课程实验目标明确，规定标准的各模块输入输出接口信号和时序，层层递进，基础实验为功能实验提供模块，功能实验为系统实验提供符合要求的模块或子系统，系统实验将各模块或者子系统集成调试完成整体系统，综合实验在系统实验基础上优化提升

系统性能或者设计实现系统软件。

我们学院有拔尖人才班（弘毅班）、卓越工程师班和正常班三种类型，分计算机科学与技术、人工智能和软件工程三个专业，根据学生特点和专业要求设计了多层次的计算机系统设计要求和考核标准，但是每个层次存在相关性，都要求完成一个完整的计算机系统或某一领域计算机应用系统，同时保证实践教学方案可实施性。整个计算机系统设计实验分成基础实验、功能实验、系统实验和综合实验四个层级，如图 3 所示。



图 3 实验层次

(1) 基础实验

基础实验是完成基本功能部件设计，如：数字逻辑课程中的加法器设计、译码器和多路选择器设计等，计算机组成与设计课程中的 ALU 设计、双端口寄存器组设计等，微机系统与接口技术课程中的计数器设计、中断控制器设计、并行接口设计和串行接口设计等实验。这些实验涉及内容简单，易于实现，学生用较少时间就能够较好地完成。要求所有学生都必须完成基础实验的内容，为后续实验做好准备。

(2) 功能实验

功能实验包括：单周期 CPU 的设计、多周期 CPU 的设计、流水线 CPU 的设计、存储系统设计、外设接口的设计等，这些实验要求在计算机组成与设计、微机系统与接口技术等课程学习过程中完成。每个实验都由若干基础实验组成，在基础实验基础上才能完成这些实验。这个层次的实验有一定难度，学生完成设计花的时间比较多，而且要求学生对相关的原理理解清楚才能达到设计目标。学生完成功能实验后，能够比较深入的理解计算机系统的每个构成部分的工作原理，同时具备了较强的动手设计能力和实验仿真能力进入下一步实验。

(3) 系统实验

系统实验在基础实验和功能实验的基础上，完成总线设计，并将单周期 CPU 或者多周期 CPU、存储器、输入和输出部件模块互连集成起来，形成一个简易的计算机硬件系统。这个步骤内容相对简单，但是工作

量还是比较大, 让学生对计算机系统有具体的认知, 完成书本理论到实际, 同时学生具备初步的硬件调试能力。后续是优化系统的性能, 替换成流水线 CPU, 实现例外和中断设计, 形成一个满足基本性能要求的计算机硬件系统, 使学生的硬件设计能力和调试能力会得到极大提升。该层次实验是实现计算机硬件系统并且能够实际运行程序的关键阶段。

通过上述 3 个层次的实验, 学生已经深入理解了计算机硬件课程的理论知识并具备较好的动手实践能力。

(4) 综合实验

综合实验的内容分为四个部分:

(1) 在硬件系统中加载系统软件, 如 Bootloader 和嵌入式 OS;

(2) 进一步提高系统的性能, 如改进访存操作、实现双发射流水线处理器;

(3) 将自己编写的简单操作系统移植到自己设计的处理器上;

(4) 编译系统设计。综合实验对学生系统硬件和软件知识掌握程度, 以及专业综合能力要求较高, 难度较大, 学生可以根据自己程度选择完成。

以上 4 个层次实验从部件到整体, 由简单到复杂, 渐进提升。在整个实验过程中, 学生由易到难, 动手实践能力一步一步得到提高, 对计算机基本原理的理解也逐步加深; 学生收获越来越多, 专业学习兴趣逐渐增强, 学生解决复杂工程问题的能力得到极大提升。实验体系环环相扣, 前面实验输出结果会影响后面的实验效果, 所以需要学生考虑问题周全, 尽量达到完美, 可以培育学生坚忍不拔、精益求精的工匠精神、践履笃行的实践精神和严谨细致的敬业精神。

2.2 线上仿真实验+线下板载实验双线实践教学, 充分发挥两种方式的优势

学生平时对软件使用很熟悉, 接触 FPGA 开发板的机会很少, 直接在口袋实验板上开展实验, 导致学生开始不知道如何下手; 当遇到问题学生没有经验, 不知道如何调试, 而且网上能找到的资料非常有限; 在硬件上调试也非常不方便, 会导致学生产生严重的挫败感, 让学生对后续的实验有畏惧心理。

建立一个在线实验仿真平台, 让学生先在仿真平台上完成初步实验, 软件平台易学易用, 调试方便, 容易找到问题, 调试通过后再下载到实验板上, 这样循序渐进的实验可以让学生从难到易, 逐步适应硬件实验调试环境。初始的数字逻辑设计实验在实验仿真平台上采用原理图方式进行硬件电路设计, 原理图构

建电路可有效提升学生的硬件思维, 掌握硬件的设计方法。从计算机组成原理实验开始采用硬件描述语言进行功能部件设计, 后面实验设计的部件越来越复杂, 学生有了底层电路的基础, 用软件来写硬件学生很快就能适应, 慢慢就可以独立完成复杂部件的代码设计。

在线深层次学习实验仿真平台能够及时对学习者的反馈, 当学生按照输入输出接口规范化提交实验代码、原理图或者代码后, 系统会及时给出是否正确, 如果有错误会指出错误的地方, 并给出提示和参考。及时反馈可以引导学习者深度反思自己的学习状况及时调整学习方式^[6]、实现实验技能的提高; 同时可以激励学生参与实验的积极性, 提高自我学习效率。

仿真正确后, 开始集中到实验室由老师指导进行下板实验, 学生掌握了口袋板的使用方法后, 就可以自己随时随地进行实验调试。因为采用模块化分解和自上向下设计, 教师提供了标准的 IP 部件(元件、器件), 学生逐个模块集成替换 IP 核, 方便学生调试找到问题所在, 从而帮忙学生在有限时间内更好完成整个项目实验。

在线仿真平台和线下板载验证紧密结合可以帮助学生尝试实验, 逐渐深入实验, 找到实验中可能遇到的问题, 帮助学生分析问题, 并能运用所学知识来解决问题, 最后归纳出解决问题的方法, 拓展学生的思维。

3 建立分层级的评价体系

该实践课程体系要求学生在 3 个学期逐步设计实现一个完整的计算机系统或 SOC, 用自己设计完成的计算机系统运行应用程序, 根据学生的能力设计了分层次的评价标准, 每位学生根据自己的能力可以选择不同目标。

阶段一: 支持 RISC-V 或 MIPS 基本整数指令和必要的系统指令的单周期/多周期 CPU, 支持键盘输入和数码管显示。

阶段二: 支持 RISC-V 或 MIPS 基本整数指令和必要的系统指令的流水线 CPU, 必须支持 PS2 和 VGA 显示。

阶段三: 设计内存控制器访问内存存储器, 添加 Flash 外存并选择合适的文件系统。

阶段四: 在自己设计的 CPU 上移植一个简单操作系统, 已有操作系统源代码, 经过简单修改, 编译、安装、启动。

阶段五: 在自己设计的 CPU 上实现一个简单操作系统, 在已有操作系统源代码基础上, 修改若干模块。

我们的实验教学体系是分层的,教师可以根据学生的情况选择不同的层次实验,可以要求很简单,只完成部分模块,如CPU设计替换集成,也可以选择高阶实验,然后按照学生整体水平选择不同评价标准。

表 1 问卷调查结果 (%)

Q (问题)	A1 (非常不同意)	A1 (不同意)	A1 (不确定)	A1 (同意)	A1 (非常同意)
Q1: 课程的教学方法提高了我提出问题的能力	0	5	17.5	27.5	50
Q2: 课程的教学方法提高了我分析问题的能力	0	2.5	7.5	27.5	62.5
Q3: 课程的教学方法提高了我解决问题的能力	0	2.5	2.5	32.5	62.5
Q4: 课程的教学方法激发了我自主学习能力	0	5	2.5	30	62.5
Q5: 对课程的学习体验和学习效果感到满意	2.5	2.5	5	27.5	62.5

4 教学实践效果

计算机系统贯穿式实验体系已经在计算机弘毅班和卓工班开展了四届学生,学生兴趣非常浓厚,积极完成每步的实验,最后学生收获丰厚,95%以上学生达到阶段一和二的目标,50%同学达到阶段三的目标,30%同学达到阶段四目标,10%同学可以实现阶段五的目标,所以后面我们还需要继续努力。弘毅班和卓工班同学的反馈给了我们团队很大的鼓励,在计算机科学与技术专业已经逐步推行了三届学生,效果也不错,得到学生一致的高评价,80%以上同学可以达到阶段一和二的目标,10%达到阶段三,2020级有20多位同学完成了阶段四,个别同学完成阶段五。后续通过奖励创新学分或者参加系统能力系列竞赛,引导更多学生去完成高阶实验。

2022年课程结束后对2020级计科弘毅班发布了一份问卷调查表,收集全班对课程的反馈。结果表明,77.5%的学生认为该实验教学体系可以培养提出问题的能力;90%的学生认为提高了分析问题的能力;95%的学生认为提高了解决问题的能力;92.5%的学生认为激发了自主学习能力;90%的学生对课程的学习体验和效果总体感到满意,见表1。

通过计算机系统贯穿式实践教学的训练,近几年我院很多学生都积极报名参加全国大学生物联网设计竞赛、中国大学生计算机设计大赛和“龙芯杯”全国大学生计算机系统能力培养大赛,全国大学生物联网设计竞赛和中国大学生计算机设计大赛每年都有几十支队伍参赛。2022年获全国大学生物联网设计竞赛全国总决赛7项一等奖,“龙芯杯”全国大学生计算机系统能力培养大赛二等奖和三等奖各1项,中国大学生计算机设计大赛全国总决赛一等奖4项、二等奖1项和三等奖10项。

5 结束语

在新工科建设的影响下,重新构造计算机的专业教育体系和施教细节,强化学生在实践能力上的深度培养,打造以学生综合素质培养为核心、专业知识和实践能力共同发展的多方位人才培养体系是人才培养模式改进的重点^[7]。计算机系统课程团队为了解决学生难以建立完整的计算机系统观念,对计算机核心理论深入理解不够,缺乏系统级工程训练,解决复杂工程问题的专业能力欠缺等问题;面向赋能教育,设计了融合贯通计算机系统课程知识体系、层次化的实践教学体系;采用分解-集成的模式,将线上仿真实验和线下板载实验紧密结合,在有限课时内更好完成整个项目实验,赋予学生系统能力、交流合作能力、勇于探索以及创新实践能力。

通过贯穿式实践教学改革,培养了学生坚忍不拔、精益求精的精神,提升了学生的自主学习、创新能力和以计算机系统观解决实际问题的能力。

参考文献

- [1] 唐德凯,夏新文,桂小林.新工科背景下面向赋能教育的大学生计算机课程改革探索[J].计算机教育,2020(9):178-182.
- [2] 桂小林.面向赋能教育的大学生计算机基础课程体系改革与实践[R].西安:首届计算思维与赋能教育改革发展论坛,2019.
- [3] 王彤,陈景柱等.面向新工科的计算机类专业软硬件协同创新实践教学模式探索[J].计算机技术与教育学报,2022年11月第10卷第5期,p102-109.
- [4] 管慧.赋能教育及其在健康教育中的应用研究[J].护理学杂志,2016(12):111-113.
- [5] 艾明晶,孙青,万寒,等.面向赋能教育的大学生计算机个性化教学研究[J].计算机教育,2022(5):7.
- [6] 穆肃,王孝金.在线学习中深层次学习发生策略的研究[J].中国远程教育,2019(10):12.
- [7] 李鑫,齐红,张馨予等.工程教育认证背景下计算机一流专业建设的路径研究[J].计算机技术与教育学报,2022年08月第10卷第2期,p62-65.