

# “数字系统设计”课程实践型教学设计 设计与探索

贾小涛, 王雪岩, 杨建磊

(北京航空航天大学集成电路科学与工程学院, 北京 100191)

**【摘要】** “数字系统设计”是集成电路科学与工程、电子信息等专业的核心专业课,具有较强的实践性,对于提高学生动手操作能力具有重要意义。课题组结合教学实践,针对教学过程中存在的学生理论知识掌握不扎实、系统设计能力差、课程教学与行业前沿相脱节的问题,探索并设计了面向“数字系统设计”课程的实践型教学方案,详细探讨了基于在线自动评测平台的可视化理论教学方法,设计了基于FPGA教学开发板的模块化渐进式实训教学案例,开展了校企合作的育人项目,课程教学效果有了显著的提升。

**【关键词】** 数字系统设计; 实践型教学; FPGA; 教学改革探索

**【中图分类号】** G642    **【文献标识码】** A    **【文章编号】** 2095-5065 (2021) 12-0082-05

## 0 引言

随着工业技术与信息技术的快速发展,集成电路作为基础性、战略性和先导性产业,已经成为当前信息技术产业的核心支柱,是科技强国和

产业强国的重要标志之一。集成电路对于支撑国家经济社会的发展,保障国家信息技术的安全有着关键作用。为贯彻党中央、国务院关于发展集成电路产业的决策部署,快速构建支撑集成电路产业高速发展的人才培养体系,国务院学位委员会设立“集成电路科学与工程”一级学科<sup>[1]</sup>,为解决我国集成电路产业关键技术难题提供人才保障。“数字系统设计”课程是信息类专业(包括集成电路设计、电子信息、计算机等)核心专业课,旨在教授学生数字系统设计的原理与方法,培养学生数字系统设计的能力与技巧,提高学生对数字芯片设计的兴趣,对于培养学生完整的集成电路知识体系和熟练的实践技能具有重要意义。因此,“数字系统设计”课程教学需要兼顾理论与实践、软件与硬件、专业与趣味,具有很高的挑战性和研究价值。

收稿日期: 2021-9-1

作者简介: 贾小涛(1990—),男,山东济宁人,博士,助理教授,研究方向为集成电路设计自动化、贝叶斯深度学习加速器;

王雪岩(1992—),女,河南开封人,博士,助理教授,研究方向为存算一体架构、芯片安全;

杨建磊(1987—),男,河南正阳人,博士,副教授,研究方向为智能计算系统。

基金项目: 2020年教育部产学合作协同育人项目“基于若贝电子EDA软件与教学实验平台的教学内容与课程体系改革探索”(项目编号: 暂无)。

## 1 “新工科”建设对课程的要求

为应对新一轮科技革命带来的挑战,2017年2月,教育部发布了《教育部高等教育司关于开展“新工科”研究与实践的通知》,在国内高校开展关于“新工科”人才培养方式的研究与探索<sup>[1-2]</sup>。

“新工科”建设以继承与创新、交叉与融合、协调与共享为主要途径,培养多元化、创新型卓越工程人才,具有战略型、创新性、系统化、开放式的特征<sup>[3-4]</sup>。在“新工科”建设背景下,作为本科教育阶段“集成电路科学与工程”一级学科多个专业的核心专业课,“数字系统设计”课程也面临新的使命与挑战。在课程设计与教学过程中,教师需承担好知识内容传播者、学习方法引导者的角色,将学生作为教学活动和课程实践的主体,充分利用现有资源(如在线评测平台、数字资源、硬件平台等),对“数字电路设计”课程的教学内容、教学方法与教学模式进行改革与创新。通过理论授课与实践教学相结合的方式,提高学生课程参与度,引导学生认真学习、积极思考,提高学生实践能力和创新意识,培养面向国家战略需求的电子行业实践型人才。

## 2 课程特点和教学的不足

理论与实践紧密结合是“数字系统设计”课程的特点,理论知识的学习是实践能力培养与提高的基础,课堂实践的环节则在提高实践能力的

同时,不断巩固与加强学生对理论知识的理解与掌握。现有的课程教学通常会在完成理论知识的讲授后增加部分实训教学,相比于以往的纯理论教学,一定程度上提高了理论知识的教授效果。在教学过程中课题组发现,在现有的课程教学框架下,仍存在问题导致学生难以保持持续的学习热情并获得满意的教学效果。“数字系统设计”课程存在的问题及教改措施,如图1所示。

①课程内容晦涩难懂导致学生理论知识掌握不扎实:“数字系统设计”课程要求学生掌握先进的数字系统设计方法,并能够使用硬件描述语言(Hardware Description Language, HDL)和电子设计自动化(Electronic Design Automation, EDA)工具进行数字系统设计,设计方法与HDL语法教学模式比较单一,多以课程讲授为主,学生学习的过程较为枯燥,知识点琐碎不易掌握,学生学习兴趣较低,教学效果一般;②实训教学中实验设计不合理导致学生系统设计能力不足:现有的教学模式中,实训课程多是针对理论教学中的基本方法设计实训题目,然而,当学生面对一个稍复杂的完整的数字系统时,往往无法合理地进行系统架构的设计;③课程教学内容与行业前沿技术存在脱钩现象:现有课程教学内容和能力培养方案尚未与产业技术应用、产业技术创新等相互结合,人才培养与企业人才需求不匹配。因此,有必要在现有教学框架下对“数字系统设计”课程的教学理念、教学方式、实训内容等进行改革与创新,加强学生对理论知识的掌握程度,培养学生发现问题、分析问题、解决问题的能力。



图1 “数字系统设计”课程存在的问题及教改措施

### 3 基于在线自动评测平台的理论教学方法

硬件编程语言（如Verilog HDL、VHDL语言等）的学习是“数字系统设计”课堂的基础内容，也是设计现代数字系统必不可少的知识。然而，编程语言的语法知识点琐碎，学习过程较为枯燥，学生在学习无法保证足够的注意力和兴趣，课堂授课效果差，并严重影响后续实践训练的效率与效果。在调研中笔者发现，部分学生反映虽然硬件编程语言模块的课程非常详细且有条理，语法案例非常丰富，但课堂学习效果不佳。基于此，课题组探索了将理论教学与在线自动评测（Online Judge, OJ）平台（以下简称“OJ平台”）进行融合的教学方式。

当前，为了激发学生的学习积极性，提高教师的工作效率，软件类课程实验（如C++、Java）中已经广泛采用OJ平台。基于OJ平台，学生可以随时提交程序源代码，代码的编译和执行由OJ平台处理，预先给定的测试集会用来自动检验程序源码的正确性，同时返回评测结果。例如，针对“数字系统设计”课程（或“数字逻辑设计”课程），北京航空航天大学（以下简称“北航”）开发的希冀教学平台、北京科技大学开发的USTB-VOJ平台等均为面向Verilog HDL语言的OJ平台<sup>[5]</sup>，支持在线提交、自动评测和实时返回评测结果等功能。

在教学过程中，课题组采用线上线下相结合、课内课外协同的教学方式，结合北航的希冀教学平台，采用“课前预习知识点+课上讲解重点难点+随堂上机实验”的方式进行理论课程教学。

①课前，授课教师提前1周发布课件供学生自主预习，提前了解与学习课程理论知识；为提升课前预习的效果，课题组要求学生课前2天反馈课件中的难点问题，并采取一定的鼓励措施提高学生的反馈积极性。②课上，授课教师主要讲解课程中的重点知识和学生反馈的难点问题，并解答学生提出的疑问；除了课件预习，互联网上也有丰富的在线课程学习资源，将课前的学习与课堂教学相结合，能够充分发挥现代信息技术的优势，使教师能够更加专

注在重点与难点知识上，有更多的时间与学生进行交流讨论，这也是“翻转课堂”的一个重要优势。

③学生在希冀教学平台完成教师提前设置的与本堂课程有关的在线编程题目，并由平台自动完成编译和评测。值得注意的是，相比较于软件编程语言，测试用例/代码的编写是电子相关专业人才需要掌握的实践技能之一。因此，具体实施中在希冀教学平台上设置最多3次的提交机会，学生需要在线下完成功能代码和测试代码的编写并调试验证。

通过这种教学方法，学生可以在完成理论知识学习后，及时进行实训课程的学习，既可以巩固理论知识，又能够提高实践能力，及时反馈的实验结果，同时有助于提高学生的学习兴趣与成就感。OJ平台的使用降低了现有教学方法对设备、场地和时间的依赖，可以大幅度提高课程效果。

### 4 基于FPGA的模块化渐进式实训教学方法

培养具有一定实践能力的电子类专业人才是“数字系统设计”课程最重要的教学目标。在教学过程中课题组发现，学生能够独立且正确地使用Verilog HDL语言、设计常用的组合逻辑电路、时序逻辑电路、使用有限状态机实现简易电路功能。然而当学生独立设计简易且功能完整的数字系统时，却通常会出现系统功能错误、缺失等现象，学生的完成效率低，自信心和对数字系统设计的兴趣降低。为此，课题组探索了模块化实训教学方法。在实验课程设计时，将整个系统分解成多个子功能模块，根据各模块所涉及的知识点，安排学生在前期的学习与实训中完成子模块的设计与实现，在学期末的实训实验中将多个子模块通过控制模块整合成一个具有完成功能的数字系统。通过这种设计，使整个过程循序渐进。此外，实验设计由局部到整体、自下而上，不仅可以帮助学生更深入地了解数字系统设计的层次，也有助于培养学生的系统设计观。

以多功能数字时钟系统为例，多功能数字时钟系统实训的目的是锻炼学生的系统设计思维与

能力，同时检验学生的课程学习效果。其任务是设计一个具有时间显示功能、闹钟功能及秒表功能的数字时钟，要求学生能够对时间进行设置，且能利用数码管显示当前功能和信息。数字时钟模块划分图如图2所示，多功能数字时钟系统可以分为控制模块、分频模块、时间模块、显示模块、闹钟模块、秒表模块和设置模块。

对于第一次接触数字系统设计的学生来说，数字时钟设计具有一定的难度。为帮助学生完成作业，预先将部分子模块作为前期实训作业要求学生独立完成。在组合逻辑电路章节，要求学生完成简易数字运算电路、多路选择器电路、BCD码转换电路、七段管显示电路等作业。其中，数字运算电路可用于时间设置模块，多路选择器和BCD码转换电路可用于数据选择和显示模块。在时序逻辑电路章节，要求学生完成分频电路、模M计数器、秒表等作业。其中，分频器电路可为时钟系统提供布线的时钟信号及控制信号，模M计数器可用于时钟系统的数字进位电路。在有限状态机章节，要求学生完成按键消抖、序列检测电路设计等作业，其中按键消抖电路可直接用于系统、序列检测等作业，可为学生完成控制模块提供思路。在设计多功能数字时钟系统时，学生具备了一定的功能模块设计基础，可以将更多的时间与精力放在系统顶层架构设计和功能调试上。此外，为了增加实训的真实性和趣味性，课

题组为学生提供了FPGA教学开发板，将学生设计的Verilog HDL语言代码转化为真实的电路，进行功能的验证和展示。

## 5 产学合作、协同育人

产学合作是“新工科”教育模式的重要举措之一，旨在结合学校人才培养与企业研发优势，培养新时代实践型人才。课题组基于教育部产学合作协同育人项目，与青岛若贝电子有限公司展开合作，将数字电路仿真工具应用于实训课程中。青岛若贝电子有限公司自主开发的Robei EDA工具是一种全新的面向对象的可视化芯片设计软件，可以支持基于Verilog语言的集成电路前端设计与仿真。Robei EDA工具具有可视化架构设计、算法编程、结构层自动代码生成、语法检查、编译仿真与波形查看等功能，可视化分层设计架构可以让工程师边搭建边编程，具备例化直观减少错误、节约手写代码量等优势。借助Robei EDA工具，数字系统设计变得简单直观有趣。针对国内关键技术之一的EDA软件，课题组提前在课程教学中规划，具有较强的前瞻性。此外，课题组也积极邀请相关企业的人员进行企业专家授课，向学生介绍公司产品、产品的核心算法与研发过程等。

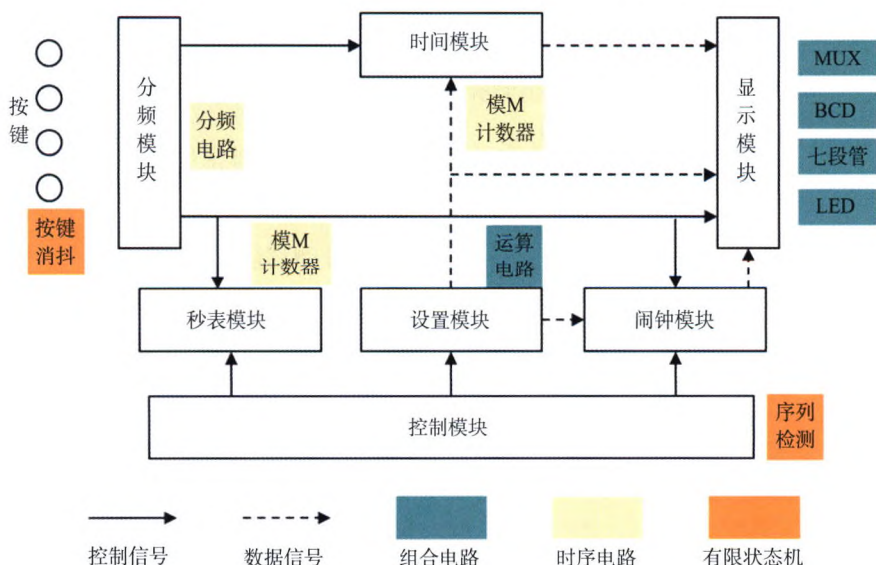


图2 数字时钟模块划分图

(下接第94页)

## 4 结语

为了推进及加快人工智能在各领域的应用,需要不断推动人工智能与教育深度融合。高校必须加强高等教育在人工智能方面的投入与改革,涵盖关键算法、硬件和系统、机器学习、深度学习、神经网络等核心关键技术,以应对新一代人工智能的复杂性。以认知人工智能及掌握人工智能芯片设计方法为目标,以本科三年级学生为授课对象,提出了软硬协同的“人工智能芯片”实验教学平台及实验课程改革方案,采用智能测评、阶梯式实践教学、开放式考核等手段,提升学生对人工智能领域的理解与工程实践能力,为构建智能社会输出专业型创新人才。

### 【参考文献】

- [1] 朱玉莲,刘佳,江爱华.人工智能问题求解与计算思维教学初探:以南京航空航天大学为例[J].工业和信息化教育,2018(9):57-60.
- [2] 赵巍胜,尉国栋,潘彪,等.集成电路科学与工程导

(上接第85页)

## 6 结语

“数字系统设计”课程是学生系统学习数字系统设计、掌握现代数字系统设计思想和方法的重要教学与实践环节,为学生从事数字系统设计提供理论基础与应用技术。不断创新实践教学方法,可有效地提高课堂教学效果,有助于提高学生的数字系统设计能力,培养符合国家战略需求的人才。

### 【参考文献】

- [1] 国务院学位委员会,教育部.国务院学位委员会 教育部关于“交叉学科”门类、“集成电路科学与工程”和“国家安全学”一级学科的通知[EB/OL].(2020-12-30)[2021-9-1].[http://www.moe.gov.cn/srcsite/A22/yjss\\_xwgl/xwgl\\_xwsy/202101/](http://www.moe.gov.cn/srcsite/A22/yjss_xwgl/xwgl_xwsy/202101/)

论[M].北京:人民邮电出版社,2021:1-3.

- [3] 陶晓明,段一平,徐迈.人工智能环境下的“无线多媒体通信”课程教学改革研究[J].工业和信息化教育,2020(2):5-8.
  - [4] 姜洋,衡红军,李俊生.基于计算思维层次化认知的大学计算机教学改革实践[J].中国大学教学,2020(11):59-63.
  - [5] 谭志虎,秦磊华,胡迪青.面向系统能力培养的计算机专业实践教学模式[J].中国大学教学,2017(9):80-84.
  - [6] 徐晓飞,沈毅,钟诗胜,等.“新工科”模式和创新人才培养探索与实践:哈尔滨工业大学“新工科II型方案”[J].高等工程教育研究,2020(2):18-24.
  - [7] 潘竟峰,唐志凯,毛耿,等.基于VirtualBox虚拟机技术的信息化教学平台构建与应用[J].工业和信息化教育,2019(8):69-72.
  - [8] 沈君凤,潘永才,杨维明.信号与系统课程群实验平台建设与研究[J].工业和信息化教育,2015(5):31-34.
  - [9] 李廉.计算思维:概念与挑战[J].中国大学教学,2012(1):7-12.
- t20210113\_509633.html.
- [2] 教育部高教司.“新工科”建设复旦共识[EB/OL].(2017-7-23)[2021-9-1].[http://www.moe.gov.cn/s78/A08/moe\\_745/201702/t20170223\\_297122.html](http://www.moe.gov.cn/s78/A08/moe_745/201702/t20170223_297122.html).
  - [3] 教育部高教司.“新工科”建设行动路线(“天大行动”)[EB/OL].(2017-4-12)[2021-9-1].[http://www.moe.gov.cn/s78/A08/moe\\_745/201704/t20170412\\_302427.html](http://www.moe.gov.cn/s78/A08/moe_745/201704/t20170412_302427.html).
  - [4] 新华网.“新工科”建设指南(“北京指南”)[EB/OL].(2017-6-13)[2021-9-1].[http://education.news.cn/2017-06/13/c\\_129631611.htm](http://education.news.cn/2017-06/13/c_129631611.htm).
  - [5] 钟登华.“新工科”建设的内涵与行动[J].高等工程教育研究,2017(3):1-6.
  - [6] 张磊,齐悦,何杰,等.工程教育认证背景下的数字逻辑在线自动评测实验系统[J].教育现代化,2020,7(36):1-4.