

新工科背景下“数字逻辑与AI芯片设计” 教学改革探索

宋 敏

湖北大学微电子学院, 湖北 武汉

收稿日期: 2025年2月5日; 录用日期: 2025年3月6日; 发布日期: 2025年3月13日

摘 要

新工科教育强调学科间的交叉融合, 现有教育体系却仍然停留在传统的学科划分和教学模式上, 缺乏对学生创新思维和实践能力的培养。学科交叉融合的理念为教学改革提供了新的启示和可行路径。“数字逻辑与AI芯片设计”结合了传统数字逻辑设计的基础知识与现代人工智能(AI)芯片设计的前沿技术, 是一门面向新工科教育的课程。文章提出从课程体系、实验平台、赛课结合、评价体系、产教融合等方面进行教学改革, 促进学生个性化发展、培养实践能力。

关键词

新工科, 教学改革, 交叉融合, 数字逻辑, AI芯片

Exploration of Teaching Reform in “Digital Logic and AI Chip Design” under the Background of Emerging Engineering Education

Min Song

School of Microelectronic, Hubei University, Wuhan Hubei

Received: Feb. 5th, 2025; accepted: Mar. 6th, 2025; published: Mar. 13th, 2025

Abstract

Emerging engineering education emphasizes the integration and fusion of disciplines. However, the

existing educational system still remains within the traditional disciplinary divisions and teaching models, lacking the cultivation of students' innovative thinking and practical abilities. The concept of interdisciplinary integration provides new insights and feasible pathways for teaching reform. "Digital Logic and AI Chip Design" combines the fundamental knowledge of traditional digital logic design with the cutting-edge technology of modern AI chip design and is a course oriented towards New Engineering education. This paper proposes teaching reforms in aspects such as the curriculum system, experimental platforms, integration of competitions and courses, evaluation system and industry-education integration to promote students' individual development and cultivate their practical abilities.

Keywords

Emerging Engineering Education, Teaching Reform, Integration and Fusion, Digital Logic, AI Chips

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

新工科着重跨学科融合与产学研结合, 强调培养工程实践能力和创新精神, 是推动中国高等教育卓越拔尖人才自主培养的重要战略、关键举措和创新策略[1]。随着科技的飞速发展, 许多新兴领域和交叉学科正在崛起, 传统的以学科为中心的人才培养模式早已跟不上时代发展对技术的需求和对人才培养的要求。因此, 打破学科壁垒, 将多门课程深度融合, 整合成全新的专业核心课程, 是新工科建设背景下教学改革切实可行的重要路径。

“数字逻辑与 AI 芯片设计”是一门结合了传统数字逻辑设计与现代人工智能(AI)技术的交叉课程, 旨在教授学生如何将数字逻辑设计原则应用于 AI 芯片的开发中, 涵盖从基础理论到高级设计实践的广泛内容。该课程融合了“数字逻辑与 Verilog”与“AI 芯片设计”两门集成电路专业学生的必修课。在“数字逻辑与 Verilog”课程中, 学生主要学习数字电路的基本原理、逻辑表达式、组合与时序电路设计。进而通过硬件描述语言的方式进行逻辑电路的建模, 并使用集成电路计算机辅助工具进行电路的实现。“AI 芯片设计”课程中, 学生主要学习 AI 芯片算法, AI 芯片架构以及硬件加速技术。融合课程后, 涉及的教学内容较多, 不仅要求学生掌握数字逻辑的基本概念、原理和设计方法, 还需要具备设计 AI 芯片架构的能力, 包括处理器架构、内存层次结构、数据流与控制流设计等。但是由于课程的知识点繁多, 导致理论学习繁琐枯燥, 缺乏系统性。此外, 课时缩减导致教学课时减少, 动手实践时间压缩, 教学效果不理想。因此, 作者对通过“数字逻辑与 AI 芯片设计”课程教学改革的探索, 以提高教学质量和学生学习的积极性, 满足新工科背景下的教学要求。

2. 课程教学存在的问题

2.1. 课程内容陈旧, 与产业发展脱节

集成电路产业发展日新月异, 设计新技术如雨后春笋般涌现。然而, 目前“数字逻辑与 Verilog”教学内容仍然集中在传统的数字逻辑设计和基本电路分析, 未涵盖最新的设计方法、新型材料与器件、设计工具与 EDA、神经形态计算、安全与可靠性等。授课内容也较少更新, 仍采用多年以前编写的教材, 未能及时反映出集成电路技术的发展变化, 导致课程体系与产业发展需求脱节。

2.2. 课程重理论，工程训练力度不够

教学内容依然偏重于基础理论，教学主要依赖课堂讲授和书面作业，缺乏互动性和实践性。在实际课程安排上，理论课时的占比远大于实验课时；实验项目仍然是简单的数字电路设计，如加法器、计数器、VGA 显示实验等，设计性不足，学生对理论知识无法通过实验深入理解和应用。课程中缺乏贯穿整个学期或学年的综合性项目，学生难以体验从需求分析到系统设计、实现和测试的完整过程，没有涉及更复杂的系统级设计，无法让学生体验到实际工作中遇到的问题和挑战。此外，课程中缺少专门的 EDA 工具培训，且工具版本老旧，导致学生对现代设计工具的使用不熟悉。

2.3. 实验环节薄弱，形式单一

实验环节通常采用“教师演示 - 学生操作 - 现象观察 - 实验报告”的模式进行，实验内容相对固定、简单，缺乏综合性，具体实验教学往往照本宣科，导致学生的思维容易被束缚，难以锻炼学生定位问题、思考问题、解决问题的能力。另外，通常在实验室内进行数字逻辑课程实验，大大限制了学生实习的地点和时间，因为实验室管理具有封闭性和时效性。实验室配备的实验箱体积庞大且价格昂贵，学生需要分组进行操作，动手能力难以得到充分的训练。

2.4. 以学生为中心的理念没有实际深入落实，没有充分调动学生的主观能动性

传统的教学模式以教师为中心，实验课程安排的实验多以验证、巩固理论知识点为主。学生只能被动地按照实验步骤接受实验技能的训练，发挥主观能动性的空间小，不利于培养学生自主探索的能力[2]。以学生为中心的教学模式更加注重学生的主动学习和自主探究。通过设计综合性的项目，对真实案例进行分析和讨论，帮助学生将理论知识与实际应用相结合。探索新的教学方法，如翻转课堂、任务驱动教学法等，提高教学效果、增强学生参与度和培养学生的综合能力。除了课堂内的实践活动，还应当鼓励学生参与课外实践，以此激发他们的创造力，并引导他们扩展与课程相关知识的学习。

3. 为什么要实施课程融合

3.1. 整合知识体系

首先，根据融合课程内容，制定详细的课程大纲，明确每个模块的教学目标和教学安排。通过将相关科目的知识点结合起来，学生可以在一个综合的框架中理解知识点之间的联系，从系统层面学习数字电路与人工智能芯片技术[3]。其次，梳理数字逻辑与 AI 芯片知识，强调基本概念和整体思路，通过布尔函数与组合逻辑、组合与时序逻辑、神经网络加速器等核心线索，讲述数字电路如何在不同层面完成计算任务。数字逻辑可以为“AI 芯片设计”提供理论支持与基础电路设计的支撑；AI 芯片设计可以为“数字逻辑与 Verilog”提供构建复杂架构所需要的知识体系。

3.2. 提升学习的深度

随着人工智能技术的发展，专门用于加速 AI 算法的硬件(如 GPU、TPU 等)变得越来越重要。而 AI 芯片的设计则是一个高度实践性的过程，专用硬件的设计往往基于先进的数字逻辑原理。课程融合可以让学生接触前沿技术，深入理解如何在电路层面设计 AI 芯片，学习更高级的数字逻辑设计概念，如状态机设计、流水线设计、多周期处理器设计。掌握 AI 硬件加速器的设计方法，如张量处理单元、图形处理单元、等。课程融合还可以设计实践项目，让学生从需求分析到系统设计、实现和测试，全程参与，从而打破传统的思维定势，提高解决实际问题的能力。

3.3. 扩展实验项目的层次

“数字逻辑与 Verilog”实验主要利用 EDA 工具(如 Xilinx Vivado, ModelSim)设计并仿真简单的数字电路,如 4 位加法器、数字钟等。课程融合可以扩展实验项目的层次,将简单的 AI 算法映射到硬件上,设计和实现新的硬件架构,比较不同机器学习算法对硬件性能的影响,比如常见的卷积神经网络(CNN)、循环神经网络(RNN)等。交叉融合实验采取分级实验,即采取“基础实验-高级实验-综合项目”的模式。基础实验,确保学生掌握基本概念和操作技能;高级实验,培养学生综合应用知识解决复杂问题的能力;综合项目,让学生通过解决实际问题,融会贯通,全面提升综合能力。

3.4. 促进跨学科交流

数字逻辑和 AI 芯片是两个紧密相关但又各自独立的领域。数字逻辑是现代电子系统的基础,而 AI 芯片则是近年来随着深度学习和机器学习技术的发展而迅速崛起的一个新兴领域。这两个领域的跨学科交流不仅有助于推动技术创新,还能拓展其应用领域。学生在本科阶段的学习理应尽可能地与产业主流相衔接,因此对“数字逻辑与 Verilog”课程内容进行调整,将 AI 芯片设计纳入到本科教学中是必要的。

4. 课程教学改革探索

4.1. 优化课程体系

首先,更新课程具体内容,确保课程内容可以与时俱进,能够帮助学生接触到最前沿的相关技术。“数字逻辑与 AI 芯片设计”是本科生“数字逻辑与 Verilog”和“AI 芯片设计”两门课程的有机融合,课程的内容不仅涵盖数值与编码,组合逻辑电路分析与设计,时序逻辑电路分析与设计等数字逻辑基础知识,也包括算术逻辑,卷积、神经网络加速设计等数字逻辑上层应用。课程的设计目标是在数字逻辑设计基础所包含的知识点上结合 AI 芯片设计,使以神经网络加速器为核心的数字系统设计浑然一体。学生通过学习本课程,可以深刻地理解数字逻辑基础知识和 AI 芯片设计,以及由其形成的应用系统之间的内在联系。

其次,优化实验安排,尽可能地增强学生的创新能力、实践能力。凝练以往基于实验箱的实验教学内容,强化以可编程逻辑阵列(FPGA)开发板为设计平台和以硬件描述语言(Verilog)为主要设计手段的实验教学方式,循序渐进,由浅入深,根据学生实际情况重新设计实验内容[4]。将乘累加运算、卷积核计算、流水线、并行处理架构等设计添加到实验项中,最终设计一款应用于语音处理或者图像识别的 AI 加速器。

4.2. 引进口袋实验室,打造自主学习平台

随着学校招生规模的扩大,实验空间日趋紧张,仪器设备存在数量不足的问题,难以达到理想的教学效果[2]。基于“口袋实验室”的“数字逻辑 AI 芯片设计”课程教学改革,将实验从传统实验室搬出教学楼,搬至学生“口袋”。口袋开发板体积小巧、价格低廉,便携性强,还具备多种先进的功能和丰富的教学资源,让学生随时随地进行实验,不受地点限制,不仅可以增强学生自主探索的欲望,还可以发展学生自主学习的能力。口袋开发板以借用的形式让学生在课程学习期间使用,记录学生学号与开发板编号的对应关系并留存备案,课程结束后统一归还。

本课程采用基于 Altera 公司 FPGA 的自主研发口袋开发板,设计一个综合 AI 加速器实验,完整构建了一个手势识别的项目开发流程。该项目采用 OV7725 摄像头模块实现图像的实时捕捉,并通过 FPGA 对摄像头寄存器进行配置以确保图像的顺利读取。随后,实时获取的图像数据会被送入图像预处理算法模块进行处理,处理完成后的图像数据会存入 FIFO 模块中。后借助 SDRAM 控制器, FIFO 模块中的图

像数据将被保存至外部 SDRAM 存储器中。然后将分割后的图像输入神经网络模块进行手势分类识别, 利用 Verilog 描述 CNN 模块进行硬件加速, 最后将识别结果输出。

4.3. 赛课结合, 探索教学新模式

以各类专业相关的学科竞赛为载体, 积极促进学生参加到大学生创新实践系列项目和相关学科竞赛项目中, 以此培养和提升学生的创新实践能力。以全国大学生集成电路创新创业大赛为例, 业内知名企业参与竞赛命题, 紧跟行业的最新技术和前沿研究, 涉及到数模集成电路设计、物联网以及人工智能等方面的知识点。教师可提前了解竞赛相关的主题和要求, 围绕竞赛项目展开教学, 分解竞赛题目作为课程模块, 将课程内容与竞赛要求紧密结合。指导学生进行竞赛和项目分析, 锻炼学生分析问题的能力, 思考问题的能力, 解决问题的能力, 激发学生学习的主动性和创造性。赛课结合能够形成一个良性循环, 将往届优秀参赛作品以案例形式融入课程, 提升课程质量; 同时, 课程逐年积累更新, 进一步促进参赛作品质量的提升[5]。

4.4. 构建课程、项目, 竞赛与论文的多维评价体系

“数字逻辑与 AI 芯片设计”课程突破传统书面考试为主的评价模式, 采用多样化的成绩评定方式, 以全面、客观地评估学生的学习效果和课程教学质量。除了书面考试, 还可以采用以下手段: 1) 实验考试。通过实验操作、代码实现和仿真测试来考察学生对数字逻辑的相关知识点的理解和应用能力, 要求学生独立完成部分基础实验的逻辑设计、仿真、综合等任务, 且必须在规定的时间内完成。2) 创新项目设计。鼓励学生设计与 AI 芯片相关的创新项目, 通过项目的完成情况评估学生的创新能力。3) 竞赛与成果展示。组织学生参加电子设计竞赛或者在高水平杂志中发表论文, 通过竞赛成绩和论文成果来评价学生的能力。4) 学习过程记录。利用学习管理系统记录学生的学习过程, 包括在线学习时间、作业提交情况、讨论区活跃度等。

4.5. 建设产教融合实践教学

首先, 组建校企联合指导导师队伍、完善学校加企业的“双导师”制度。聘请企业导师走进课堂, 使原本理论化的教学能联系企业实际应用需求[6]。在课堂教学中, 企业导师结合自身工作中的真实案例, 介绍行业最新发展技术与行业发展前景。其次, 积极利用企业资源参与实验平台建设。与企业共建教学资源库, 共享课程资料、实验案例、教学视频等资源。利用在线学习平台, 提供企业所需的技能培训课程, 方便学生自主学习。收集和整理企业实际案例, 建立案例库, 用于课堂教学和学生自学。例如, 高云半导体科技、龙芯中科等企业在捐赠实验设备的同时, 提供设备培训和入门实验的简单资料, 企业工程师参与课程实验和实践项目指导, 在教学实践基础上共同完善实验平台建设和课程实验内容。除此以外, 鼓励学生团队申报企业创新项目, 开展科研合作, 共同解决行业难题, 推动科研成果的高效转化。

5. 结论

“新工科”强调打破传统学科界限, 促进多学科交叉融合, 旨在培养学生的跨学科思维能力和解决复杂问题的能力。文章提出融合“数字逻辑与 Verilog”和“AI 芯片设计”两门课程的核心知识, 整合形成全新的“数字逻辑与 AI 芯片设计”课程, 强化学生“逻辑电路 - 计算模块 - 智能系统”的设计和创新能力。在保证数字逻辑设计基本理念和技术方法的基础上, 创新知识图谱与课程体系, 建立完成复杂数字系统优化设计的信心, 为后续进入系统性的专业课奠定坚实基础。

基金项目

2023 年度教育部产学合作协同育人项目(23080438214123)。

参考文献

- [1] 黄沁元, 熊兴中, 曹立佳. 新工科背景下电气信息类专业教学改革路径探索[J]. 科教导刊, 2024(25): 30-32.
- [2] 张涛, 王鸿鹏, 包秀娟, 等. 基于口袋实验室的电子技术实验教学改革[J]. 实验室科学, 2023, 26(5): 105-109.
- [3] 王文钊. 基于核心素养导向下的高中化学单元教学研究——以“原子结构”为例[J]. 数理化解题研究, 2024(21): 109-111.
- [4] 赵泰, 凌睿. 基于 FPGA 的“数字电路实验”教学改革[J]. 电气电子教学学报, 2024, 46(3): 215-217.
- [5] 胡靖. 新工科背景下集成电路设计与集成系统专业赛课融通体系模式探索[J]. 黑龙江教育(理论与实践), 2024(10): 8-10.
- [6] 韩宋佳, 刘洪山. 数字集成电路课程教学改革探索[J]. 科教导刊, 2023(30): 89-91.