

基于虚实融合的 FPGA 教学创新模式研究

张毛毛

阜阳师范大学 物理与电子工程学院, 安徽 阜阳 236037

DOI: 10.61369/ETR.2025350012

摘 要 : 本文通过“模拟-仿真-实体”三阶实验框架,探索高效 FPGA 教学模式,旨在提升学生系统设计能力和创新思维。针对传统实体实验的设备成本高、更新慢及场地受限等问题,研究整合虚拟仿真与实体实操优势,设计涵盖课前虚拟预习、课中实体实验分组实操及课后云平台提交报告的完整课程结构,并提出多维度评分机制。实证结果表明,该模式显著提高学生实验效率,降低设备故障率,增加创新提案数量,且在 HDL 编码效率、硬件调试速度和系统设计能力等方面表现优异,为 FPGA 教育提供创新有效方法。

关 键 词 : 虚实结合; FPGA 教育; 实验教学; 评价机制

Research on the Innovative Model of FPGA Engineering Education Based on Virtual-Reality Fusion

Zhang Maomao

School of Physics and Electronic Engineering, Fuyang Normal University, Fuyang Anhui 236037

Abstract : This paper explores an efficient FPGA teaching model through a three-stage experimental framework of "simulation - emulation - physical implementation," aiming to enhance students' system design capabilities and innovative thinking. Addressing the issues of high equipment costs, slow updates, and limited space in traditional physical experiments, the study integrates the advantages of virtual simulation and physical practice. It designs a comprehensive course structure that includes pre-class virtual preview, in-class group practical operation in the physical laboratory, and post-class report submission via cloud platform, and proposes a multi-dimensional evaluation mechanism. Empirical results show that this model significantly improves students' experimental efficiency, reduces equipment failure rates, increases the number of innovative proposals, and performs excellently in terms of HDL coding efficiency, hardware debugging speed, and system design ability, providing an innovative and effective method for FPGA education.

Keywords : combination of virtual and real; FPGA education; experimental teaching; evaluation mechanism

一、绪论

在现代工程教育中, FPGA (现场可编程门阵列) 技术的教学扮演着至关重要的角色^[1]。FPGA 作为一种高度灵活的硬件平台, 广泛应用于通信、消费电子、工业自动化等多个领域。然而, 传统的实体实验教学面临着诸多瓶颈, 例如设备成本高昂、更新速度缓慢以及实验场地受限等问题。这些问题极大地限制了 FPGA 教育的普及和教学质量的提升^[2]。

虚拟仿真技术在教育领域的应用日益广泛, 其高效、低成本且可重复利用的特性为解决传统实体实验的瓶颈问题提供了新思路^[3]。然而, 在 FPGA 教育中, 如何平衡虚拟仿真与实体实操成为亟待解决的核心问题^[4]。虚拟仿真虽高效, 但缺乏实际硬件特性, 难以培养学生解决实际问题的能力; 而纯实体实验虽真实, 但成本高且容错率低, 不利于初期快速学习。因此, 设计阶梯式实验任务以防止“虚-实脱节”, 兼顾两者特点, 逐步提升学生能力, 避免因难度不适而失去兴趣, 是重要的研究方向^[5]。

本文旨在构建“虚-实结合”教学框架, 整合两者优势, 提

升学生系统设计能力和创新思维。具体目标包括: 构建可复用的虚实结合框架, 实现有效结合^[6]; 通过阶梯式任务设计, 逐步提升学生能力; 优化教学资源, 降低成本, 提高利用率。该模式可解决传统教学问题, 为工程教育提供创新方法, 提高学习兴趣与效果, 培养适应行业需求的 FPGA 技术人才^[7]。

二、虚实结合的教学模式

在 FPGA 学习初期, 学生往往需要面对复杂的硬件设计和编程任务, 这可能导致认知负荷过高, 影响学习效果^[8]。虚拟仿真工具可以降低学生在初期学习阶段的认知负荷, 通过提供直观的图形化界面和自动化的错误检测功能, 帮助学生快速掌握基本概念和操作技能^[9,10]。随着学生对基础知识的逐步掌握, 再逐步引入实体实验, 使学生能够在实际硬件环境中应用所学知识, 进一步提升其系统设计能力和创新思维。

(一) 虚拟层工具

虚拟仿真工具在 FPGA 教育中发挥着重要作用, 虚拟仿真工

具在FPGA教育中至关重要，为学生提供了无需硬件的实验环境。常用工具包括：

IModelSim：强大的逻辑仿真工具，支持时序分析与功能验证，帮助学生在虚拟环境中测试HDL代码，及时发现并修正错误。其图形化界面和调试功能使学生能直观观察信号波形和变量变化，降低学习难度。

IProteus：电路模拟工具，可虚拟建模和仿真电子电路。在FPGA教育中，用于模拟FPGA与外围电路的连接和交互，帮助学生理解电路逻辑和硬件接口，为实体实验奠定基础。

IEDA Playground：在线HDL验证平台，支持多种HDL语言（如Verilog和VHDL），提供丰富的仿真库和示例代码。学生可随时随地进行FPGA设计和仿真，平台还支持多人协作，提升团队合作能力。

（二）实体层工具

实体实验是FPGA教育的重要环节，通过实际操作硬件设备，学生能够将所学知识应用到实际场景中，培养其系统设计能力和问题解决能力。以下是几种常用的实体层工具：

FPGA开发板：作为实体实验的核心，开发板提供硬件平台，支持FPGA设计烧录与测试，满足不同层次的实验需求。

示波器和逻辑分析仪：用于观察和分析电路信号，帮助学生诊断硬件故障，优化电路设计，提升系统可靠性和性能。

虚实结合模式融合了虚拟与实体实验的优势，克服了单一模式的局限。通过虚拟仿真，学生可多次尝试与纠错，提前发现逻辑错误，降低实体实验风险。虚拟工具的可重复性降低了教学成本，同时优化了实体设备的利用率。分层次任务设计逐步提升学生能力，符合认知发展规律，实现能力进阶。这种模式不仅提高了教学效率，还显著增强了学生的学习效果 and 实践能力。

三、“模拟－仿真－实体”三阶实验框架设计

（一）分层目标设计

为了实现虚实结合的教学目标，本文设计了一个分层次的实验框架，将实验任务分为模拟层、仿真层和实体层。每个层次都有明确的目标和对应的工具，逐步提升学生的能力。

本文提出的“模拟－仿真－实体”三阶实验框架旨在通过分层次的任务设计，逐步提升学生在FPGA技术方面的理解和应用能力。该框架分为三个阶段：模拟层、仿真层和实体层，每个阶段都有明确的工具和能力培养目标。在模拟层，学生使用Proteus进行电路建模，直观搭建电路并观察运行状态，掌握基础电路逻辑和硬件接口知识，为后续实验奠定基础。仿真层中，学生利用ModelSim和Quartus进行HDL代码开发与验证，通过时序分析和代码优化，培养复杂时序控制和代码调试能力，为实体实验做好准备。实体层则要求学生将验证后的代码烧录至FPGA开发板，使用示波器和逻辑分析仪进行硬件测试与问题诊断，提升实际硬件环境下的系统设计和问题解决能力。

通过“模拟－仿真－实体”三阶实验框架的设计，学生能够在不同阶段逐步提升其FPGA技术能力，从基础电路逻辑理解，

到HDL代码调试与优化，再到硬件部署与问题诊断，最终实现系统设计能力的全面提升。

（二）实验案例设计

为了更好地实现分层目标，本文设计了一系列实验案例，涵盖从初级到高级的不同难度层次。这些案例通过虚拟工具和实体工具的结合，引导学生逐步掌握FPGA技术。实验案例的设计旨在通过逐步增加任务的复杂性，帮助学生在不同阶段逐步提升其FPGA技术能力，从基础电路逻辑设计到复杂的系统设计与优化。

初级案例中，学生设计4位加法器，使用Proteus建模，ModelSim仿真验证，最终烧录至FPGA开发板测试。此案例旨在教授基础电路设计与HDL代码调试，同时了解硬件部署的基本流程。中级案例要求学生设计UART通信协议，使用ModelSim和Quartus仿真，再在FPGA开发板上调试，抓取通信波形。此案例聚焦于复杂时序控制与协议设计，提升硬件调试能力。高级案例则要求学生用HLS工具设计图像边缘检测算法，ModelSim仿真验证后部署至FPGA开发板，分析资源消耗。此案例旨在提高算法设计与FPGA资源优化能力，增强系统设计水平。通过设计涵盖初级到高级的实验案例，结合虚拟与实体工具，本文逐步引导学生从基础电路设计迈向复杂系统优化，系统掌握FPGA技术，提升实践与创新能力。

（三）课程结构设计

为了实现“模拟－仿真－实体”三阶实验框架的教学目标，本文设计了一套完整的课程结构，涵盖课前、课中和课后三个阶段，以确保学生能够在不同阶段获得充分的学习支持和实践机会。

在课前阶段，学生通过在线微课与仿真平台预习，掌握FPGA原理、HDL语言及仿真工具使用，在线仿真任务则设计为引导性实验，帮助学生熟悉虚拟仿真环境，掌握基本操作技能。为实体实验筑牢基础。课中，学生分组在实体实验室操作，每组配备FPGA开发板及外设，教师现场指导。学生将仿真验证的代码烧录至开发板，开展硬件测试与问题诊断，强化系统设计与问题解决能力。课后，学生利用云平台提交含代码、波形截图、功耗分析的实验报告。教师通过平台反馈评价，助力学生总结实验，优化后续教学。

四、评价机制创新

为了全面评估学生的学习效果，本文设计了一套三维度评分机制，涵盖虚拟任务完成度、实体调试效率和创新设计。全面评估学生的学习效果，确保其在虚拟仿真与实体实验中均衡发展。

虚拟任务完成度聚焦于学生在虚拟仿真阶段的代码编写与仿真验证，通过检查仿真报告和代码，衡量学生对FPGA技术的掌握程度，旨在鼓励学生扎实完成虚拟任务，为实体实验筑牢基础，提升学习效率。实体调试效率着重评估学生在实体实验中的操作、调试及问题解决能力，通过观察实验过程和时间，衡量其实际操作与系统设计水平，旨在激励学生积极思考，快速解决硬

件问题，增强实践能力。创新设计则鼓励学生在完成基础任务后提出创新方案，通过审查创新报告和作品，评估其创新与实践能力，旨在激发学生兴趣与创新思维，培养独立思考和综合应用能力。本文的三维度评分机制全面衡量学生在虚拟仿真与实体实验中的学习效果，旨在提升其 FPGA 技术掌握程度、实践能力和创新思维。

五、总结

本文构建了“模拟－仿真－实体”三阶实验框架，设计了一套完整的 FPGA 教学模式，涵盖课前虚拟预习、课中实体实验分组实

操及课后云平台提交实验报告，为学生提供全面学习支持与实践机会。通过三维度评分机制，全面评估学生在虚拟任务、实体调试和创新设计方面的能力。实证研究显示，该模式显著提高了学生实验效率、降低了设备故障率、增加了创新提案数量，并在 HDL 编码效率、硬件调试速度和系统设计能力等方面取得显著提升。结果表明，虚实结合教学模式优化了教学资源利用，契合学生认知发展规律，为 FPGA 教育提供了创新且有效的教学方法。

参考文献

- [1] 王华东, 晏中华. 面向“新工科”建设的 FPGA 课程教学模式及方法研究 [J]. 工业和信息化教育, 2025, (03): 1-5+16.
- [2] 陈昱均, 周国琼. FPGA 应用技术课程教学案例设计 [J]. 中国教育技术装备, 2025, (04): 79-82.
- [3] 黎海涛. “数字电路与 FPGA”实验课程教学改革探索 [J]. 工业和信息化教育, 2025, (02): 68-71.
- [4] 霍甜甜, 白荣雪. 软硬协同的计算机课程教学辅助系统设计 [J]. 办公自动化, 2024, 29(22): 38-40.
- [5] 闭吕庆, 黄艳虎, 肖良树, 等. 通信电子电路课程的实践教学案例分析 [J]. 电子技术, 2024, 53(08): 148-149.
- [6] 韩德强, 杨皓琪, 郑鑫鹏, 等. 基于 FPGA 的远程实验系统软件平台的设计与实现 [J]. 电子技术应用, 2023, 49(07): 99-104.
- [7] 徐锋, 龙惠民, 刘桂华, 等. 基于学习共同体模式的 FPGA 技术课程教学改革 [J]. 大学教育, 2024, (11): 64-67.
- [8] 徐海涛, 陈盛德, 邓小玲. FPGA 技术实践课程各环节融汇课程思政教育的探索 [J]. 中国现代教育装备, 2024, (01): 151-153.
- [9] 李双喜, 张玉山, 张永锋, 等. 工程教育认证背景下课程案例教学改革实践——以《CPLD/FPGA 及其应用》为例 [J]. 山西电子技术, 2022, (06): 5-8.
- [10] 魏安静, 凤权, 张明艳. 基于 OBE 理念的 FPGA 课程实验教学改革与实践 [J]. 教育教学论坛, 2022, (47): 57-60.