

课题的意义、国内外研究进展、应用前景等（列出主要参考文献）

1、课题的意义

时代的发展对当代计算机专业的大学生提出了新的要求，计算机专业学生除了具备基本的编写程序能力，更应注重系统能力的培育。但是教学中往往缺少综合性的实践环节。本项目立足于虚拟实验室，以教学为目的的一个软件平台进行相关的实验。对于传统的实验教学而言，需要大量的实验仪器和材料，且难以建模。信息时代，计算机虚拟化仿真技术蓬勃发展。出现 virtual-box、QEMU 等仿真软件。将仿真软件应用到计算机教学中可以解决这些难题，在科学研究和生产实践中也得到了广泛推广，节约了科研成本和风险。开展本课题有利于利用虚拟化技术展开实验。而 MIPS^[2] 指令集简洁优美，适合学生学习，本课题以 MIPS^[2] 指令集为基础展开虚拟实验系统。

2、国内外研究进展

国内现有的教学实验手段主要有：（1）围绕硬件实验箱展开的实验。（2）基于 FPGA 的处理器设计实验。其中，围绕硬件实验箱的系统具有可操作性，可以按照实验箱设计者构建的实验分课时展开，利于教学。但在实际开展过程中会有很多局限，如实验箱电路不通导致无法得到预期结果；实验箱所支持实验有限，功能单一^[3]；学生需要在实验室展开实验，时间地点受限。基于 FPGA 的处理器设计实验立足设计，能够让学生深刻理解掌握处理器设计实现的整个流程，将知识转化为能力^[4]，达到培养系统能力的要求。但它对实验者数字逻辑电路知识要求较高，学习成本较大，且 FPGA 开发板造价高昂，学校往往没有配套的基础设施^[5]，这使得基于 FPGA 的处理器设计实验在现实中不容易展开。

国外开源软件有 MIPS Assembler and Runtime Simulator (MARS)^[6]，该系统由 Java 写成，可以当做是 MIPS 汇编的集成开发环境，支持指令的单步调试和浮点运算。著名的 QEMU 模拟器也可以仿真 MIPS 指令集。

3、应用前景

可以用在教学之中，相对于国内外大而全的 MIPS 模拟器，本项目小巧简洁，可以被学生迅速理解。有助于学生自主参与到本系统的扩展中从而加深对理论知识的理解，达到教学目的。

4、参考文献

[1] D. A. Patterson and J. L. Hennessy, Computer Organization and Design- The Hardware/Software Interface, 3rd ed. Morgan Kaufmann, 2005

[2] See ee MIPS Run (The Morgan Kaufmann Series in Computer Architecture and Design) 2nd Edition, 2005

[3] 袁春风, 张泽生, 蔡晓燕. 计算机组成原理课程实践教学探索[J]. 计算机教育, 2011(17): 110-114.

[4] 袁春风, 陶先平, 汪亮, 顾荣, 李俊. 面向计算机系统能力培养的课程实验体系构建[J]. 实验技术与管理, 2018, 35(06): 12-16.

[5] 袁春风, 黄宜华, 武港山, 俞建新, 吴海军. “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.

[6] D. K. Vollmar and D. P. Sanderson, “MARS: An Education-Oriented MIPS Assembly Language Simulator,” March 2006, accessed on June 6, http://www.cs.missouristate.edu/_vollmar/MARS/fp288-vollmar.pdf

研究的目标、内容和拟解决的关键问题

1. 项目的研究目标:

本项目拟建立一个计算机虚拟实验系统,旨在为《计算机组成原理与体系结构》课程教学提供一个不受具体物理位置和时间限制、具有高度灵活性、可扩展性、可维护和低成本等特点的辅助教学实验手段。本项目研究目的在于让学习《计算机组成原理》变得更加有趣和易懂。

2. 项目的研究内容:

本项目分为核心层、接口层和应用层。

1) 核心层是 **mips** 指令集的模拟实现。系统在此层包括五个模块:

取指: 取出指令存储器中的指令, **PC** 值递增, 准备取下一条指令;

译码: 对指令进行译码, 根据译码结果, 选择从寄存器中或者直接由立即数得到操作数;

执行: 根据译码阶段送进的源操作数, 和操作码, 执行运算, 将结果传递至访存阶段;

访存: 访问存储器, 读写存储器;

回写: 将运算结果写回寄存器。

在核心层中, 将会实现 **MIPS** 的指令集的一个子集。具体实现多少条, 需要在仔细学习 **MIPS** 指令集之后作出慎重决定。选择时, 注重系统的全面性, 抓住重点, 要覆盖到指令集系统的各个方面, 对于非重点浮点运算指令等, 将在权衡后决定要不要实现。

参考 **MIPS CPU** 的指令集设计原则, 本系统所有指令的执行都在寄存器中完成, 如果要和存储器交换数据只能使用 **Load** 和 **Store** 指令。按照功能划分, 核心的指令 (61 条) 被分成以下几类:

- (1) 算术指令—**add, addu, addi, addiu, sub, subu, div, divu, mult, multu**
- (2) 逻辑指令—**and, andi, nor, or, ori, xor, xori, sll, sllv, sra, srav**
- (3) 数据传送指令—**load, store, lui, mov**
- (4) 无条件转移指令—**j, jr, jal**

从指令格式上分, 本系统指令被分为三类, **R-类型**、**I-类型**和 **J-类型**, 分别对应

寄存器操作数、含立即数操作数和含偏移地址的三种类型指令。考虑到系统的全面性，三类指令必然都要在实现中体现到。

在接口层中，在虚拟机之上，将系统功能封装成一组可以被调用的函数或接口，一方面对用户屏蔽虚拟机的具体操作细节，另一方面为应用提供必要的支撑。

在应用层中，包括本项目要完成的各类验证型实验程序，该层所需要的底层功能均需要通过调用接口实现。在应用层中，可以展示一些直观的东西。

3、拟解决的关键问题：

- 1) 选取 **MIPS** 指令集的哪一子集进行实现。
- 2) 如何模拟出 **MIPS** 的流水线运行过程。
- 3) 如何在宿主机模拟出客户机的必要功能。
- 4) 如何在 **x86** 的机器上交叉编译 **MIPS** 代码，并实现必要的接口层。
- 5) 应用层面如何展开。

研究方法、技术路线、实验方案及可行性分析

1、研究方法

- 1) 通过研读《计算机组成与设计》这本书，结合网上资料。分析 mips 指令系统，考虑并选择要实现其中的指令子集。
- 2) 阅读相关的开源代码，理解硬件抽象的过程。
- 3) 可以先用脚本语言开发出原型的系统，理解所要开发的整个系统，积累开发经验，之后进行产品迭代更新。
- 4) 开发时注意分层次分模块地分析和实现系统，理解 MIPS32 的架构。

2、技术路线

本项目分为核心层、接口层和应用层。

1) 本项目拟以核心层的 **MIPS** 虚拟机作为底层核心，以 **Linux** 操作系统作为宿主机，以 **MIPS32** 体系结构为目标机器。虚拟机采用模块设计的方法，包括运算器、控制器、存储器、I/O 接口部件等，可以供设计型实验替换。

2) 接口层：抽象一些系统必要的接口。

3) 应用层：包括本实验要完成的各类验证型实验程序，该层所需要用到的底层功能均需要通过调用接口实现。

在工具使用上：

本系统宿主机为 **x86** 的 **Linux**，目标虚拟机采用 **MIPS** 指令集。目前考虑使用 **C** 语言完成采用 **MIPS** 指令集的虚拟机核心层，至于选取何种方式做软件界面，这里暂时可以在 **Qt**、**Java**、**Python** 中考虑。

3、实验方案

首先研读《计算机组成与设计》等书，分析 MIPS32 的指令系统，选择要实现的指令子集。根据指令集，设计一个原型系统以摸索设计方案和实现的技术。

可以考虑使用 python 等高级语言来完成原型系统的快速开发。设计完成主处理器的内部数据通路，并仿真实现，

4、可行性分析

- 1) 《计算机组成原理》课程与相关教材为本系统的实现提供坚实的理论基础
- 2) 虚拟化技术运用广泛，虚拟实验系统手段日渐成熟。
- 3) 参与过相关小项目的设计开发过程，对实验开展的方法有一定程度的理解。
- 4) 作为学生也处于不断学习的过程，可以方便地接触到系统的最终用户，并结合自身学习经历作出合理的分析。
- 5) 初步学习过 Java、C、Python, 有一定的编程经验和编程能力。

5、特色或创新之处

- 1) 既能辅助日常教学，用于加深对理论知识的理解，让课本中的原理更加直观。
- 2) 又能提供设计的空间，培养学生的系统能力和结构性思维能力。
- 3) 本项目开发过程将坚持 KISS 原则，保持系统的结构和功能上的完整性，同时尽量保持系统的简洁性，让学生可以通过源码剖析原理，或者自己手动编码，为该系统加入更多功能。
- 4) 本项目具有不受具体物理位置、时间和人数的限制；即学即用、实验设置灵活、实验代码开源、可扩展性强、使用成本低、方便维护等特点。

研究计划及预期进展

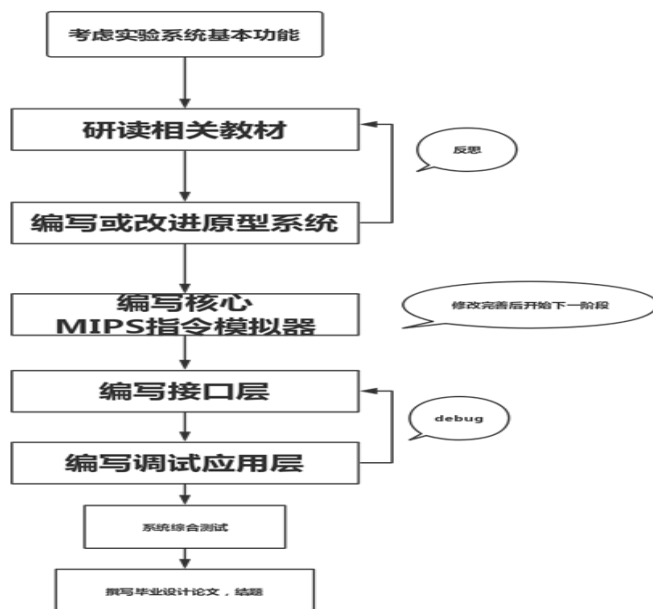
2019.01-2019.02: 阅读相关书籍资料, 打好知识储备。

2019.02.01-2019.02.15: 着手编写原型系统, 与理论知识相结合。

2019.02.16-2019.02.28: 完成产品的迭代。重点实现系统的核心层, 即 MIPS 指令集编写基于 MIPS 的计算机组成原理虚拟实验系统的各部分代码。

2019.03-2019.04: 虚拟实验系统的可视化界面, 最终可以在宿主机中看到系统的运行。实现可优化和改进的模块化组成, 系统中部件可以被替换与完善。

2019.04-2019.05: 完成实验配套的完善报告和使用说明, 撰写毕业论文与研究报告。



已具备的条件、尚缺少的条件和拟解决的途径（包括利用实验教学中心、科研实验室、实习基地、校外企事业单位等条件的计划与落实情况）

1、已具备的条件：

- 1) 在毕业设计导师顾老师的耐心指导下，本人已经初步掌握了 Python 语言和 Linux 的基本使用，有一定的项目开发经验。
- 2) 已经学习过 Qt、Java 的界面开发（仍需继续提高）。
- 3) 对 MIPS 指令集有一定的了解，进行过简单的逻辑仿真设计。

2、尚缺少的条件：

- 1) 缺少可以验证设计正确性的 FPGA 开发版。
- 2) 知识储备不充分，对 MIPS 指令集流水线的执行过程等认识不够全面。
- 3) 独立开发复杂系统尚没有充足的经验。

4、拟解决的途径：

1) 研读相关教材和文献，查阅网上资料。重点结合《计算机组成与设计》，研究 MIPS 官方文档和《see MIPS run》。在看书过程中动手实践。

2) 在软硬件等价的思想指导下，采用虚拟化方法，虚拟出各项部件，免去使用 FPGA 高昂的费用。

3) 选择性地阅读一些关于模拟器的开源代码。在 Github 网站上寻找简单的模拟器实现，加以剖析。

4) 采用 git 进行版本控制，阶段性地对已写代码进行整理、总结，一段时期内对系统进行迭代更新。

