



华中科技大学
计算机科学与技术学院
School of Computer Science & Technology, HUST



硬件系统综合训练



秦磊华



胡迪青



谭志虎



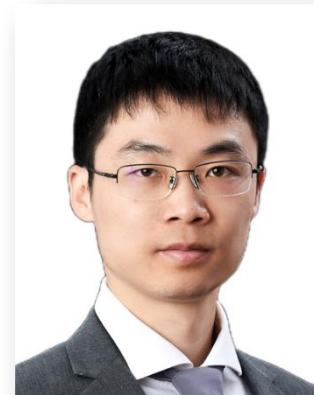
姚杰



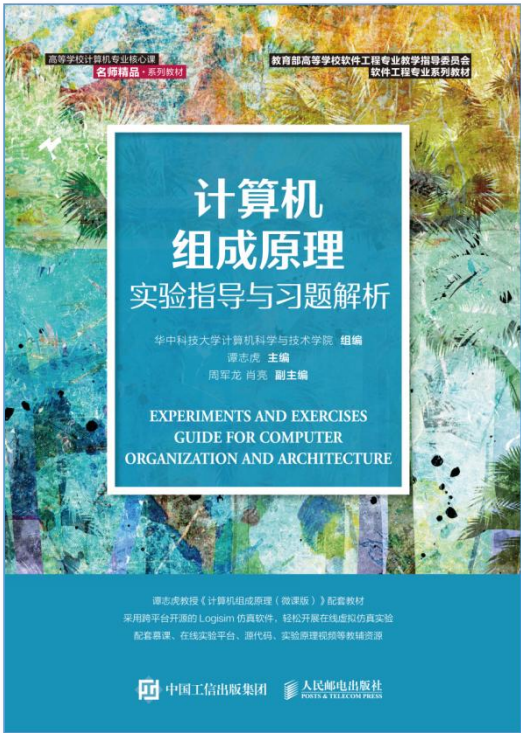
蒋文斌



周健



周游



- 掌握5段流水机制基本原理，能利用多门课程的专业知识解决RISC-V五段流水CPU设计的复杂工程问题，提升复杂工程问题分析解决能力；
- 能处理指令流水线的各类冲突冒险，能利用LOGSIM或FPGA平台完成最终的设计与实现，最终设计完成的流水CPU能执行标准测试程序，在此基础上，可进一步增加中断异常处理机制，动态分支预测等扩展功能；
- 部分同学可以团队合作在已设计的CPU上构建具有一定复杂性的交互演示系统。

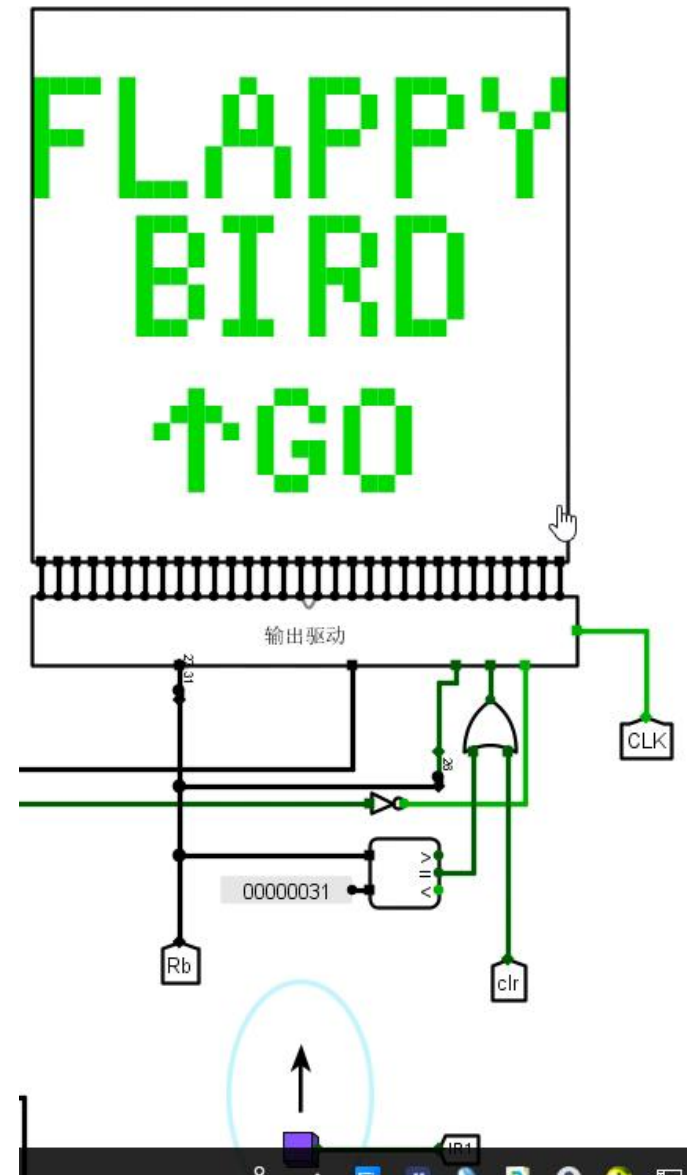
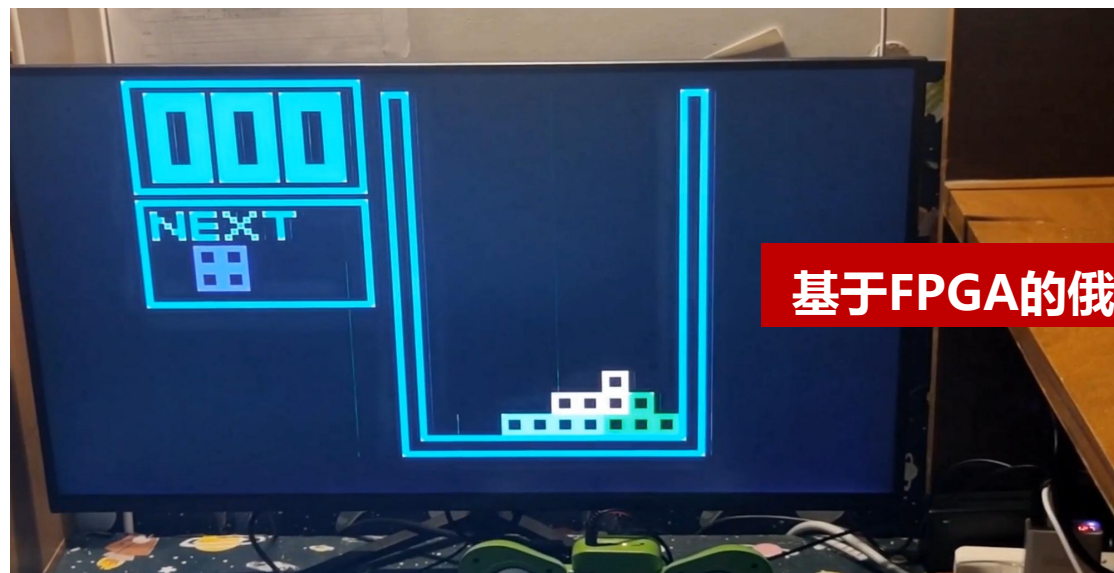
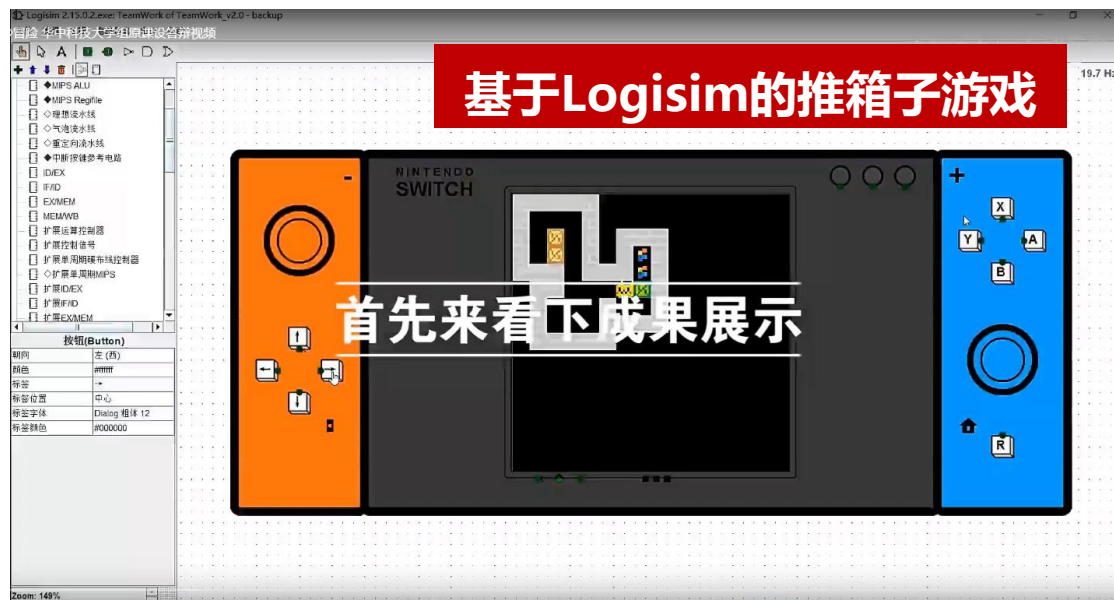
■ 个人设计完成5段流水CPU

- 支持24+4条教师指定的指令（每人一个4位代号CCAB）
- 支持5段流水机制，可处理数据冒险，结构冒险，分支冒险
- 扩展功能（中断机制，动态分支预测）
- 能正确运行标准测试程序+CCAB测试程序
- 具有自动统计功能
 - ◆ 运行周期数、插入气泡数，Load Use冲突次数、无条件跳转次数，
 - ◆ 有条件成功跳转次数、分支预测成功，失败次数等（分支预测相关）

■ 团队开发一个具有展示度演示系统

- 可通过输入输出设备交互的完整软硬件系统
- 具体参考2021硬件综合训练团队视频登记表、学习通视频资源
- <https://docs.qq.com/sheet/DYmhjc0dXUEJNSndF>







- 设计过程和结果占 70%
- 团队设计与合作占 10% (互评)
 - 团队任务教师额外奖励加分 0-2分
- 课设报告占 20%
- 抄袭或被抄袭 0分，报告查重

- **课设讲解：** 计算机硬件系统设计MOOC， B站视频备用
- **在线测试：** 头哥课堂 邀请码NPRE9 (春季学期老课堂)
- **团队互评：** 学习通课程 w121554 (春季学期老课堂)
- **分组要求：**
 - 分组主要用于完成团队任务
 - 每组不超过4人，可跨班
 - 选秀组队，宿舍组队
 - 各小组必须有队名
 - 团队任务在学习通上传演示视频用于互评

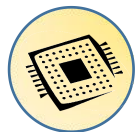
■ LOGISIM

- Logisim进行方案论证
- 跑通流水线重定向机制
- 头哥平台提供大部分在线测试

■ FPGA开发板（可选）

- 推荐选修过Verilog课程的同学选择
- 设计动态分支预测容易
- 设计特色演示系统容易
- 单周期上板、流水线上板
- 完成时序仿真后再开始领板子

课程设计路径及评分标准(百分制)



单周期 24条 50分

Educoder平台辅助测试
LOGISIM平台 (2-3天)



理想流水线 55分

设计流水段间接口部件
只能跑有限几条指令
Logisim平台 (0.5-1天)



气泡流水线 65分

数据冲突检测, 处理分支冲突
插入气泡解决数据冲突
Logisim平台 (1-2天)



重定向流水线 75分

重定向机制设计,
控制器改造 (自信心爆棚)
Logisim平台 (1-2天)



单级中断支持 +5

设计单周期CPU中断硬件
设计中断演示程序
Logisim/FPGA (1-2天)



多级嵌套中断 +5/10

单周期多级嵌套中断机制
软硬协同, 配合精密
Logisim/FPGA (+1天)



流水线中断 +5

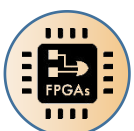
流水线中断机制实现
单级嵌套方案均可
Logisim/FPGA平台 (+1天)

扩展模块
任意组合



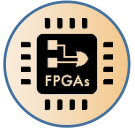
扩展: 分支预测 +10

动态分支预测机制
相联存储器设计, LRU算法
(Logisim2天 FPGA 1天)



单周期上开发板 +5

后利用工具自动实现
参考相关文档 (1天)



流水线上开发板 +5/10

重定向流水线
FPGA实现
抓狂, 抓狂, 抓狂 (2-3天)

封顶105*0.70



顺利通关

奋战一两周，造块 C P U

调试两三晚，玩转开发板

虐我千百遍，搞定流水线

■ 通过头哥在线检查后，任务完成后还需要进行线下检查

- 能运行Benchmark-CCAB程序，内存数据排序正确
- Benchmark执行完毕后暂停，按Go按钮继续运行，每一段差异化测试程序暂停一次

■ FPGA上板检查

- FPGA开发板应绑定开关用于功能切换
 - ◆ 可切换频率，可复位，可切换显示区域功能（程序正常输出，输出时钟，PC，内存值等）

■ 中断检查

- 单级中断依次点击1,2,3号中断源按键，能正常响应中断
- 多重嵌套中断依次点击1,2,3号中断按键
 - ◆ 应先后进入1→2→3→2→1→CPU
- 多重嵌套中断依次点击2,3,1号中断按键
 - ◆ 应先后进入2→3→2→1→CPU

■ 理想流水线

- 能运行理想流水线测试程序，周期数21，内存数据写入正常

■ 气泡流水线

- 正确运行benchmark+CCAB指令（CCAB测试程序加载在benchmark之后，ecall停机解释为暂停）
- 能统计气泡数目，分支跳转次数
- 总周期数=1546+4+气泡数目+分支误取深度*分支数-1

■ 重定向流水线

- 正确运行benchmark+CCAB指令（CCAB测试程序加载在benchmark之后，ecall停机解释为暂停）
- 能统计Load-Use次数，分支数
- 总周期数=1546+4+分支误取深度*分支数+load-Use次数
- 参考答案（1984，2298，3612），其他答案说明理由

- 头哥错误提示信息很长，有隐藏滚动条，请完整复制出来看



CLKs	IFPC	IDPC	EXPC	MPC	WBPC	PcErr
0000	00000	0000	0000	0000	0000	11111

- 单周期调试方法（两个时钟只能用1个，否则电路不工作）

- 如果PC没错，利用可计数时钟运行至出错时钟，观察原因
- 如果PC出错，利用可计数时钟运行至出错时钟前一拍，是否分支指令跑飞

- 流水调试方法

- 利用可计数时钟运行至出错时钟，观察冲突冒险情况
- 单步运行一拍，观察流水线运行行为，根据实际值和标准制定的差异分析原因

■ 多讨论，多讨论，多讨论

- 没有愚蠢的问题，不要闭门造车、方案不是唯一的，但一定要想清楚！

■ 多存盘，存网盘，别存U盘

- 注意版本管理

■ 要通关，要通关，要通关

- 取乎其上，得乎其中、取乎其中，得乎其下、取乎其下，则无所得矣

■ 边实验，边写报告

- 及时记录故障，解决方法，否则后面报告都不知道写什么

■ 严禁做全指令集版本

- 课程设计的总体时间为2周，具体安排如下：
 - 第1天：布置任务和集中讲解；
 - 第1~3天：完成单周期24+4条指令；
 - ◆ 除理想流水外，其他版本均应支持4条CCAB指令（编号见任务分配文件和任务书）
 - ◆ CCAB测试程序放在benchmark后面
 - ◆ 除显示功能外，所有ecall功能实现暂停功能，方便检查
 - 第10天：最终结果验收
- 报告不得超过40页，暂定**第9周**周一交报告，提交团队任务互评
- 按班为单位提交电子版和纸质版，具体规范见任务书



华中科技大学
计算机科学与技术学院
School of Computer Science & Technology, HUST

THANKS

硬件系统综合训练