

# 毕业设计： 基于RISC-V架构的32位处理器设计

ysyx\_23060015-叶永檬



从零开始  
创造属于你的  
**RISC-V<sup>®</sup>** 处理器

# 缘起

- 12底开始毕设选题
- 正好有RISC-V相关选题，进度基本一致

## 4、基于Risc-V架构的32位处理器设计（1人）

### Feature

- (1) 支持RV32IM，整数以及乘除法运算
- (2) 5级pipeline设计
- (3) 支持data forwarding
- (4) 支持动态分支预测（选做）
- (5) 支持write through和 non-write allocate 的2-way组相连Cache（选做）
- (6) 跑通官方的RV32 测试集



# 要点

- 主线内:
- 使用**Chisel**完整实现处理器的RTL设计
- 实现了**分支预测模拟器**进行设计空间探索
- 在仿真平台实现**Difftest框架**用于**功能验证**
- 在仿真平台实现处理器的**性能分析工具**
- 主线外:
- 实现了简单的**SoC系统**
- 实现**FPGA平台部署**
- 在FPGA平台实现了**中断睡眠模式**

不足:

- 尚未实现其他特权模式
- 尚未实现完整的中断架构
- Chisel代码仍有优化空间
- 尚不支持硬件调试



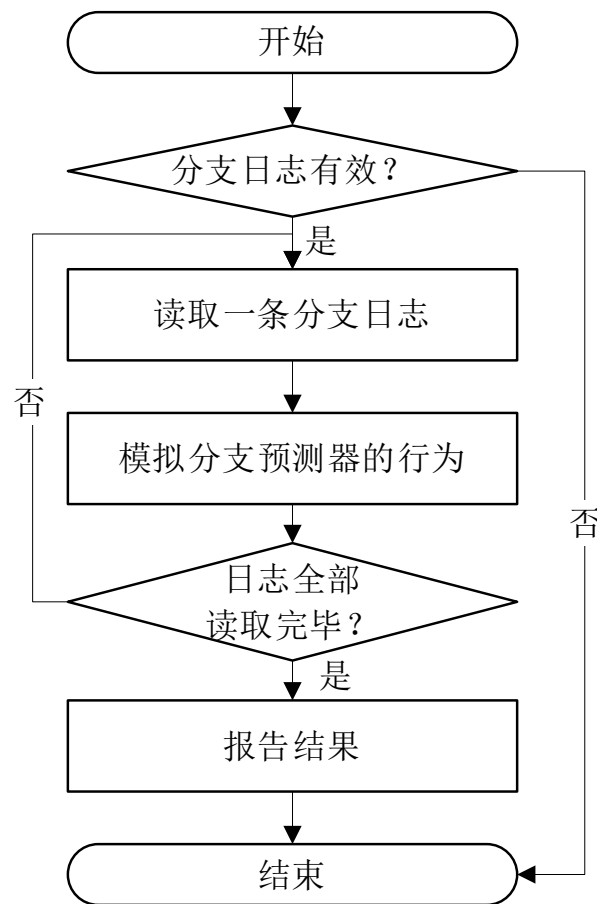
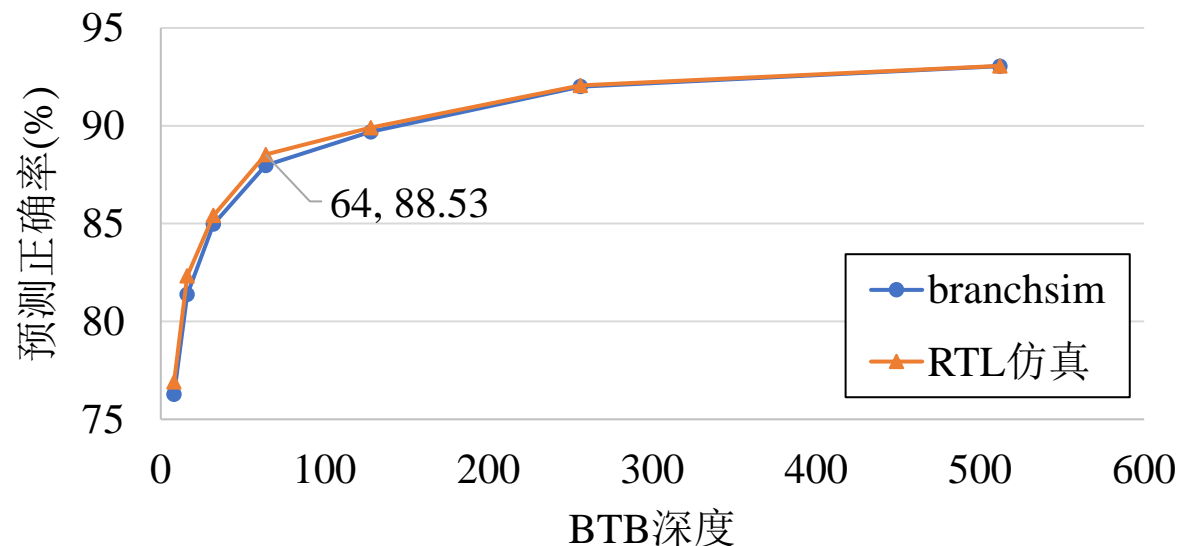
# vs ysyx主线

	第三期	第四/五期	第六期(B阶段)	第六期(A阶段)	毕设分支
ISA	RV64I	RV64IM	RV32E	RV64IMAC	RV32IM
处理器	流水线	流水线	流水线	流水线	流水线
乘除法器	-	有	-	有	FPGA IP
异常	M模式ecall	M模式ecall	M模式ecall	M/S/U所有异常	M模式ecall
分页	-	-	-	有	-
中断	时钟	时钟	-	时钟, 软件, 外部	时钟
总线	AXI4	AXI4	AXI4	AXI4	AXI4
Cache	-	4KB指令+4KB数据	-	16KB指令+16KB数据	4KB指令+4KB数据
IPC	-	-	-	高于X	-
主频	-	-	-	高于Y	64MHz (xc7z020)
目标程序	RT-Thread	自制OS+仙剑	RT-Thread	Linux内核+发行版	RT-Thread
系统软件	-	模拟器, AM, 自制OS	模拟器, AM	模拟器, AM, 自制OS	AM
环境和工具	-	DiffTest, trace, 仿真环境.....	DiffTest, trace, 仿真环境.....	DiffTest, trace, 仿真环境.....	DiffTest, trace, 仿真环境.....



# 分支预测模拟

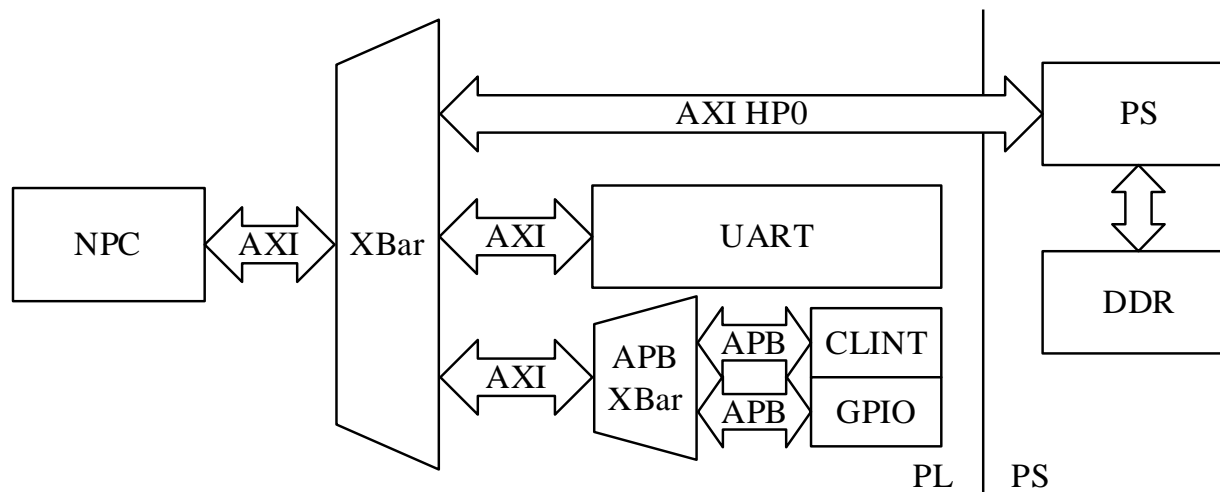
- 设计了分支预测模拟器，用于探索**BTB规格**对**预测正确率**的影响
- 以100次CoreMark迭代的分支记录为基准
- 当BTB深度超过64项时，预测正确率出现了明显的边际效应



# 总线与SoC系统

```
class AddrSpace(base: UInt, size: UInt) {  
  val Base = base  
  val End = base + size  
  def check(Addr: UInt) = {  
    (Addr >= Base) & (Addr < (base + size))  
  }  
}  
  
class XBar(conf: List[AddrSpace]) extends Module {  
  
  val ports = conf.length  
  
  val Slave = IO(new AXI)  
  val Master = IO(Vec(ports, Flipped(new AXI)))  
  
  //...  
}
```

使用Chisel设计的  
参数化的AXI互联桥XBar

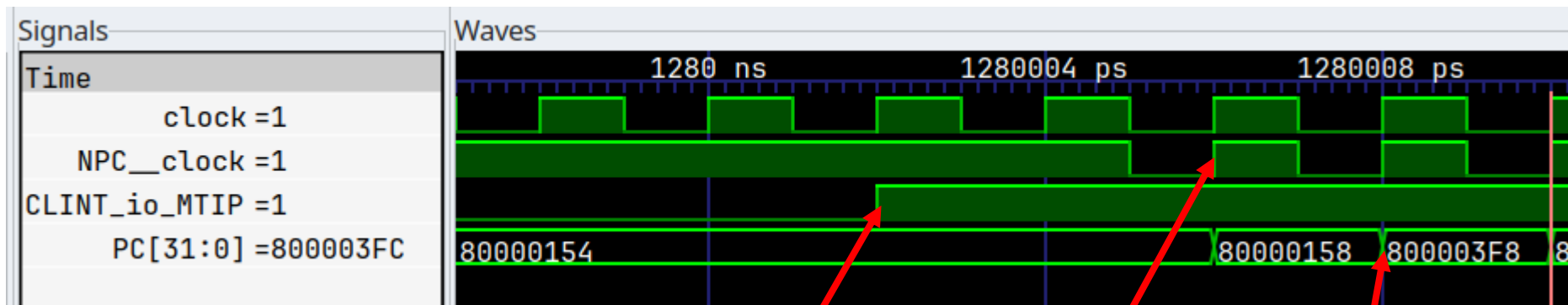
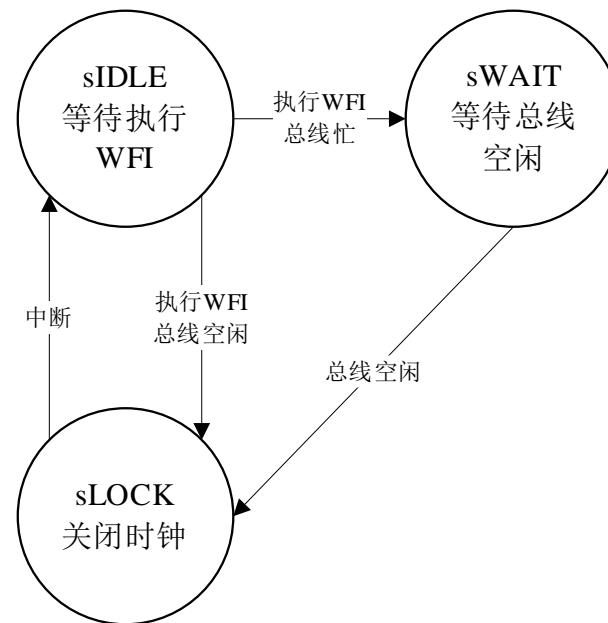


SoC系统



# 中断与异常

- 支持定时器中断
- 支持ECALL指令自陷异常
- 实现**中断睡眠模式** (WFI指令)
  - 执行WFI指令后, 关闭核心时钟, 等待中断
  - FPGA上使用BUFGCE\_1实现门控时钟



中断到来

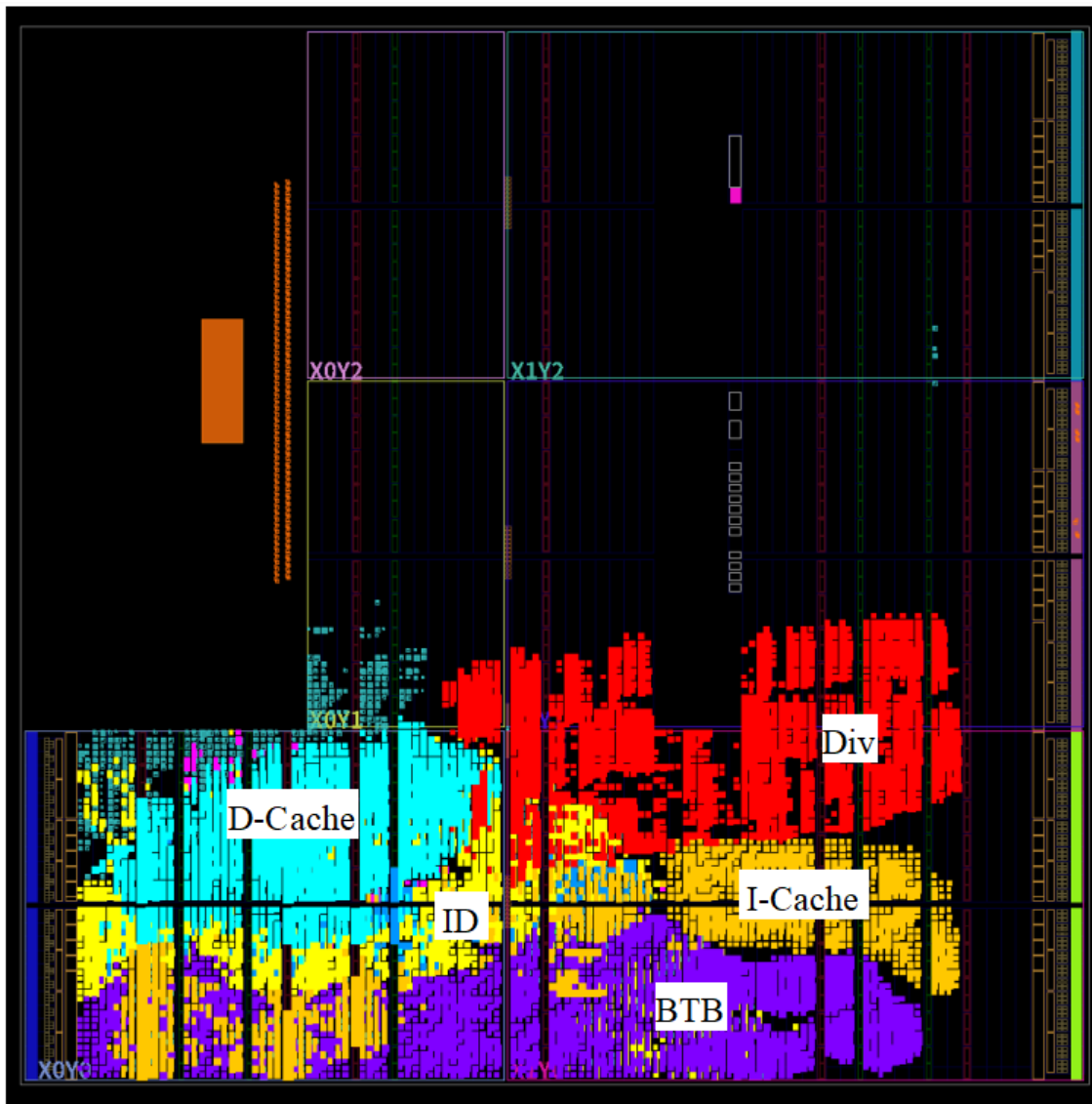
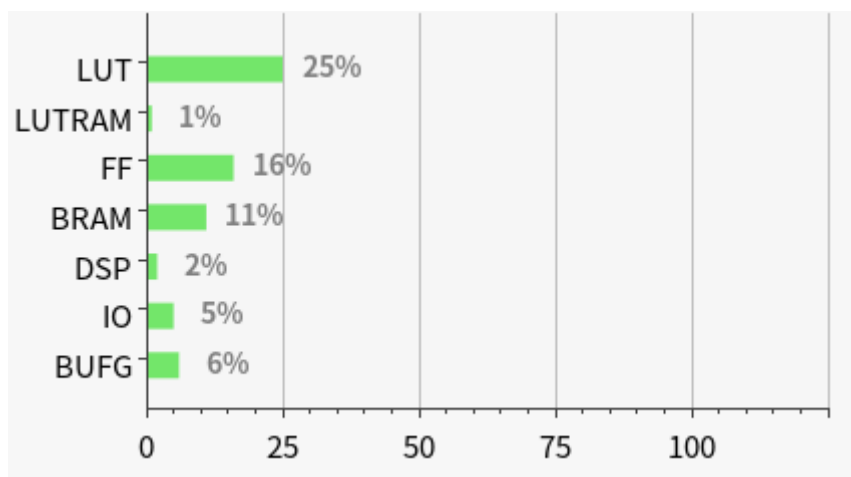
时钟开启

进入异常服务



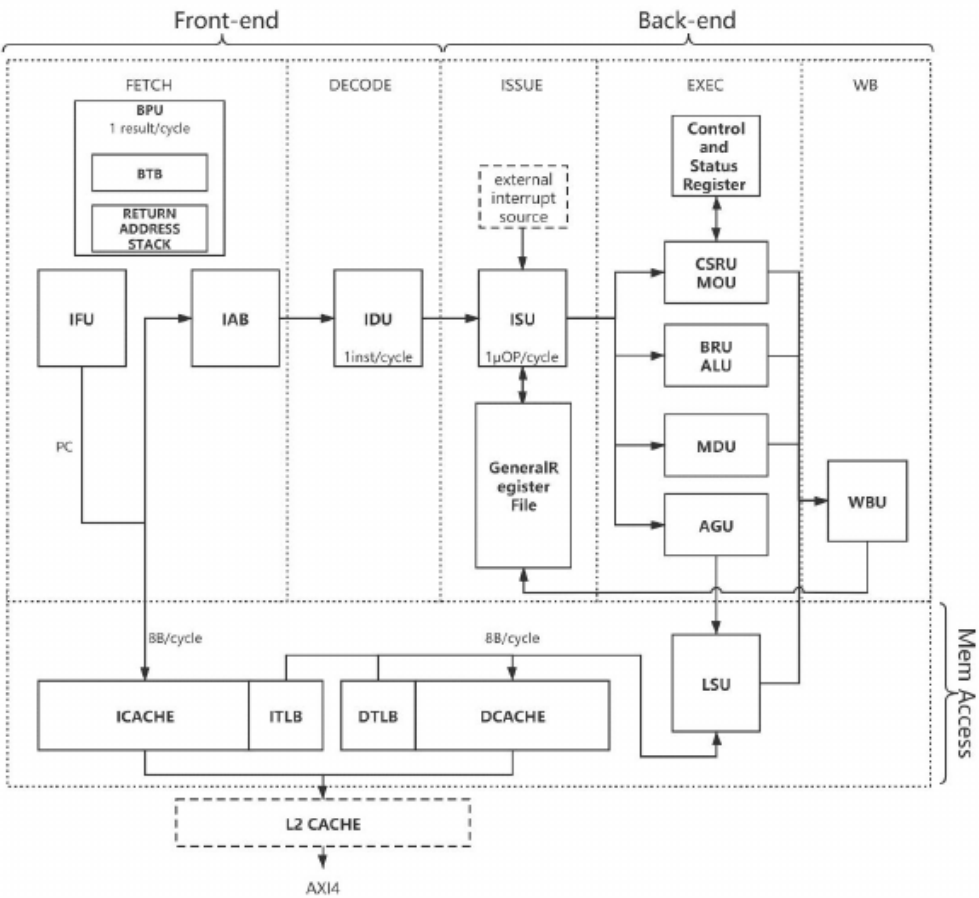
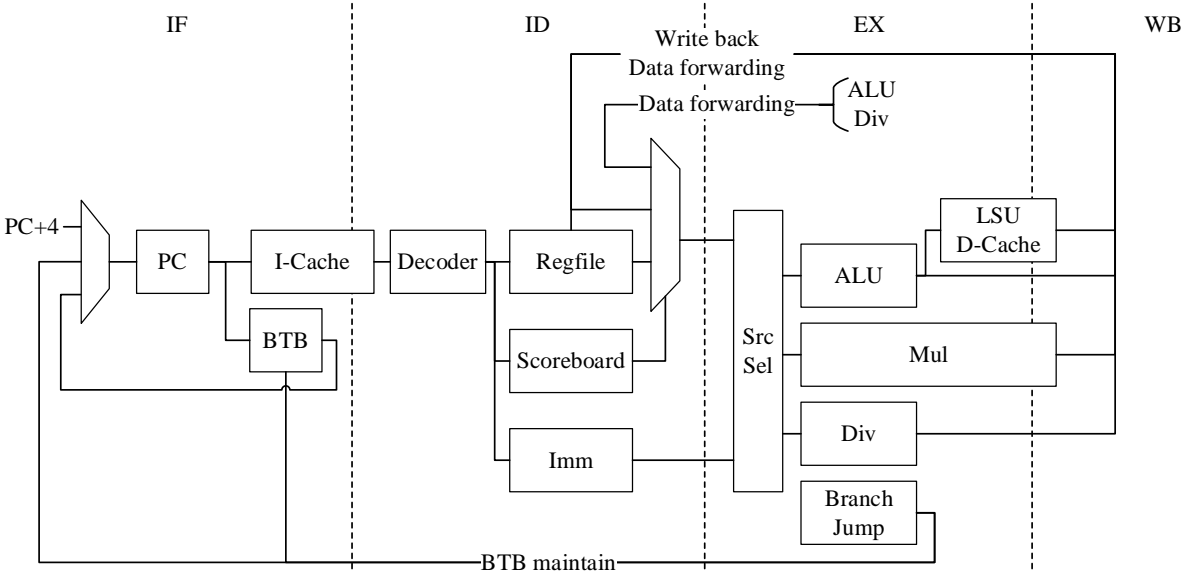
# FPGA部署

- Xilinx ZYNQ 7020 (xc7z020clg400-2)
- 时钟频率64MHz
- 处理器核消耗12666个Slice LUT资源
  - 16个Block RAM用于Cache
  - 4个DSP48用于乘法器





# vs 果壳



# vs 果壳

NPC	Nutshell
顺序单发射	顺序单发射
RV32IM, M特权级	RV64IMAC, M/S/U特权级
64项BTB, 16项RAS	512项BTB, 16项RAS
-	支持Sv39分页机制, 支持硬件TLB填充
支持L1 指令/数据cache, 一致性管理	支持L1指令/数据cache, 一致性管理
-	128K L2 cache, 支持next line预取
支持UART等外设	支持SDRAM、SPI flash、UART等外设
RT-Thread	Debian 11
64MHz (xc7z020clg400-2)	60MHz (xc7z020clg400-1)



# 运行CoreMark

- 184.37 CoreMark, 2.88 CoreMark/MHz
- 相比规格接近的开源处理器, **同频性能更高**

处理器	CoreMark/MHz
NPC	2.88
Rocket	2.32
Nutshell	1.49
蜂鸟E203	2.14

2K performance run parameters for coremark.

CoreMark Size : 666

Total ticks : 10847534

Total time (secs): 10

Iterations/Sec : 200

Iterations : 2000

Compiler version : GCC13.2.0

Compiler flags : -O3

Memory location : STACK

seedcrc : 0xe9f5

[0]crclist : 0xe714

[0]crcmatrix : 0x1fd7

[0]crcstate : 0x8e3a

[0]crcfinal : 0x4983

Correct operation validated. See README.md for run and reporting rules.



`picocom -b 115200 /d ~`



# 运行中断测试、RT-Thread



中断睡眠模式节约0.28W  
有效节约处理器功耗

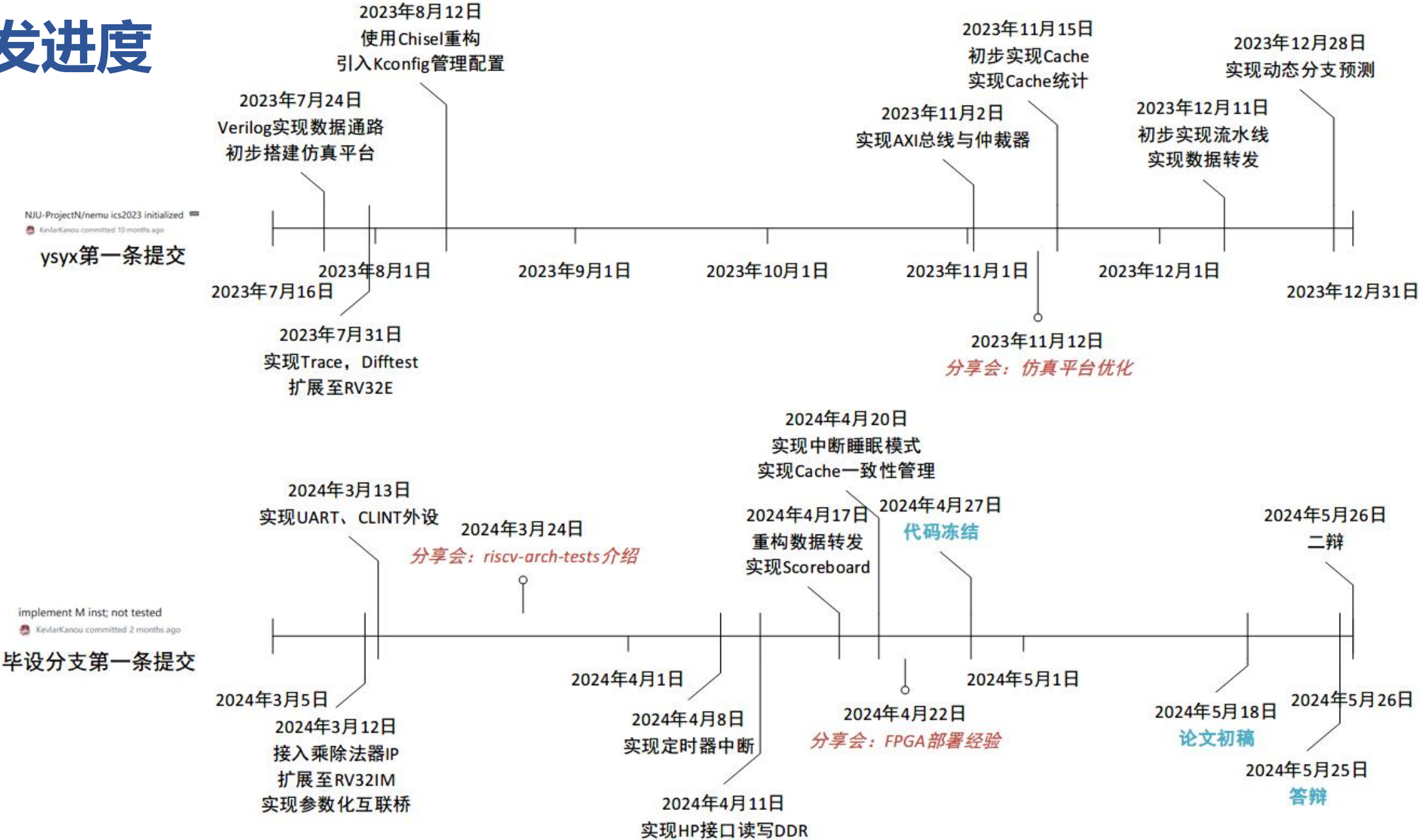
```
msh />version

\ | /
- RT -      Thread Operating System
/ | \      5.0.1 build Apr 21 2024 16:06:00
2006 - 2022 Copyright by RT-Thread team
msh />date
[W/time] Cannot find a RTC device!
local time: Thu Jan  1 08:00:00 1970
timestamps: 0
timezone: UTC+8
msh />ps
thread                                pri  status      sp      stack size max used left tick  error
-----
tshell                                20  running  0x00000094  0x00001000    21%  0x0000000a OK
sys workq                             23  ready   0x00000094  0x00002000    01%  0x0000000a OK
tidle0                                 31  ready   0x00000094  0x00004000    00%  0x00000020 OK
timer                                  4   suspend 0xffdf7840  0x00004000    01%  0x0000000a OK
main                                   10  close   0xffffdab0  0x00000800    16%  0x00000014 OK
msh />help
RT-Thread shell commands:
date          - get date and time or set (local timezone) [year month day hour min sec]
list          - list objects
picocom -b 115200 /d ~
```

成功启动RT-Thread  
可在Shell输入命令

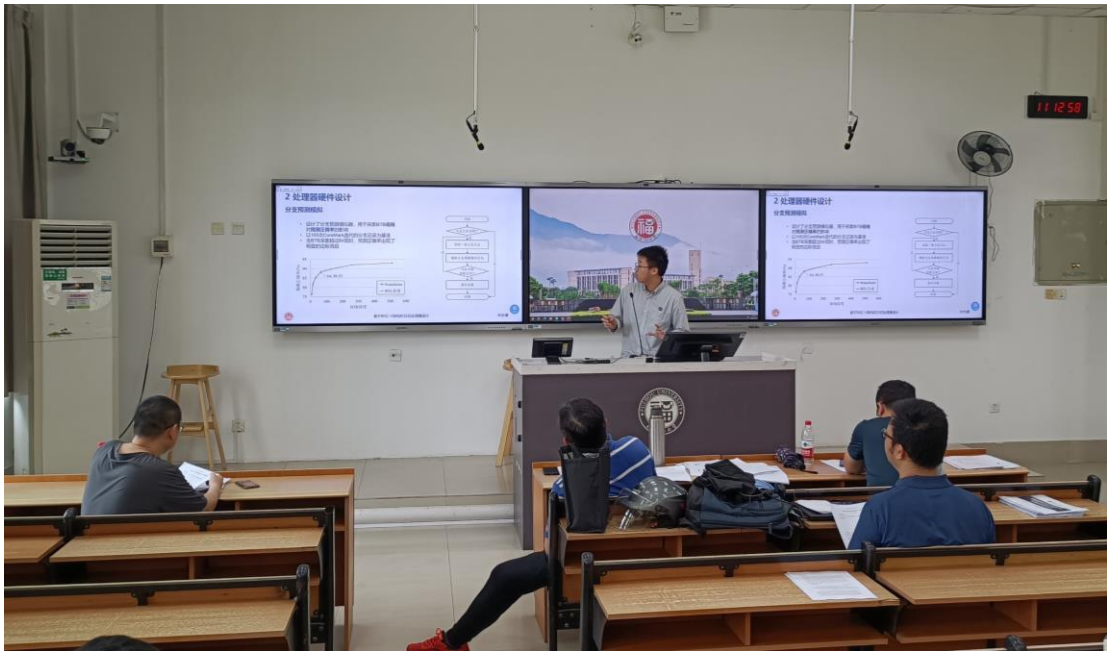


# 开发进度





答辩



福州大学

本科生毕业设计（论文）

题 目： 基于 RISC-V 架构的  
32 位处理器设计

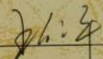
姓 名： 叶永檬

学 号： 112001032

学 院： 物理与信息工程学院

专 业： 集成电路设计与集成系统

年 级： 2020 级

校内指导教师：  （签名）

校外指导教师： \_\_\_\_\_ （签名）

2024 年 5 月 31 日



# 总结

- [riscv-arch-test-am](#)
- 3次公开分享会
  - 2023/11/12 - 仿真平台优化
  - 2024/03/34 - riscv-arch-test介绍
  - 2024/04/22 - FPGA部署经验
  - <https://space.bilibili.com/238318574>



# 致谢

特别感谢：“一生一芯”计划第六期 (ysyx\_23060015)

