

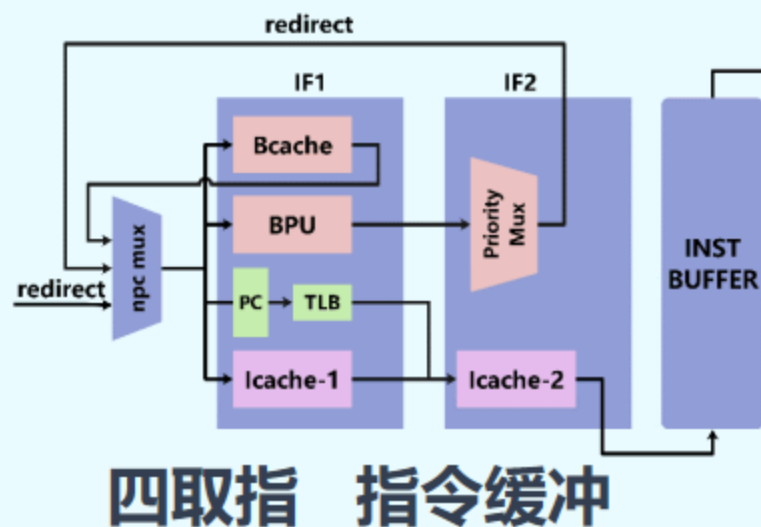
# HelloMIPS项目介绍

**“龙芯杯”第七届全国大学生计算机系统能力培养大赛**

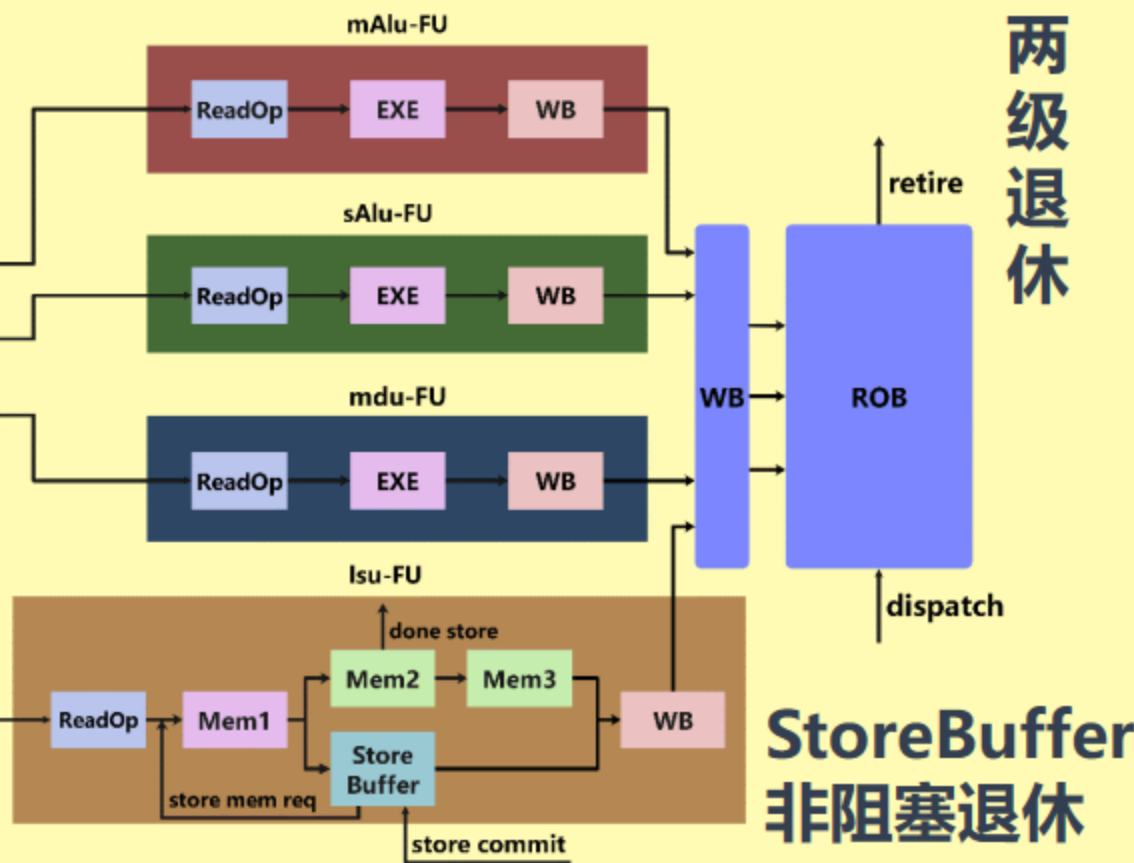
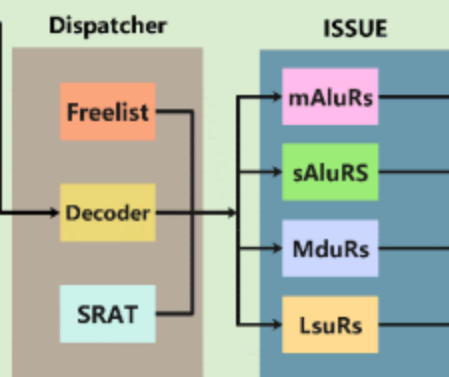
哈尔滨工业大学二队  
胡光辉 罗腾 史子琦 徐一夫

# 1 总体架构

主频:109MHz, IPC比值: **51.165**, 加速比: **111.541**



## O(n)解码器和CP0



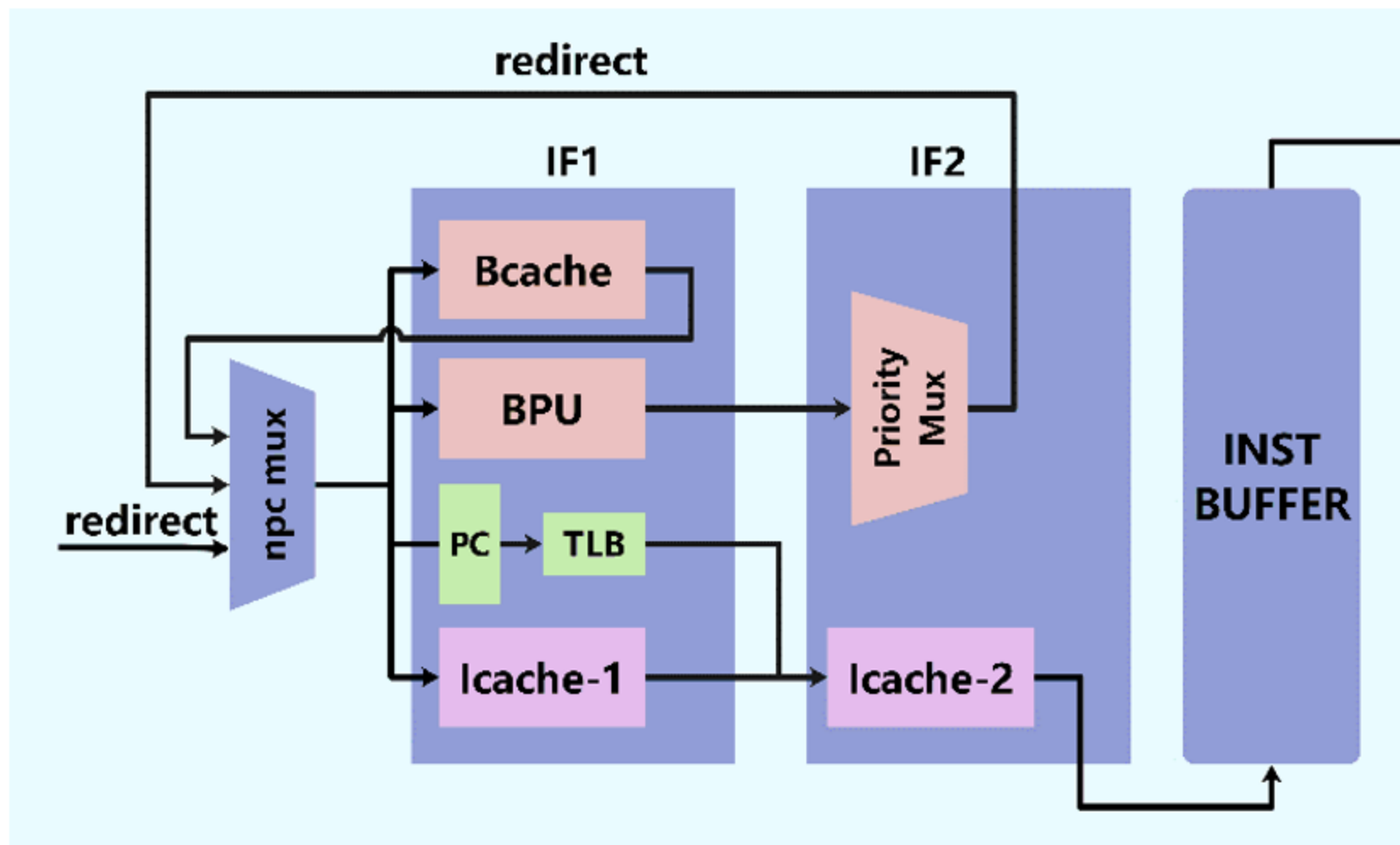
## 2 架构亮点

基于**竞争**的分支预测：

**93.27%** 命中率

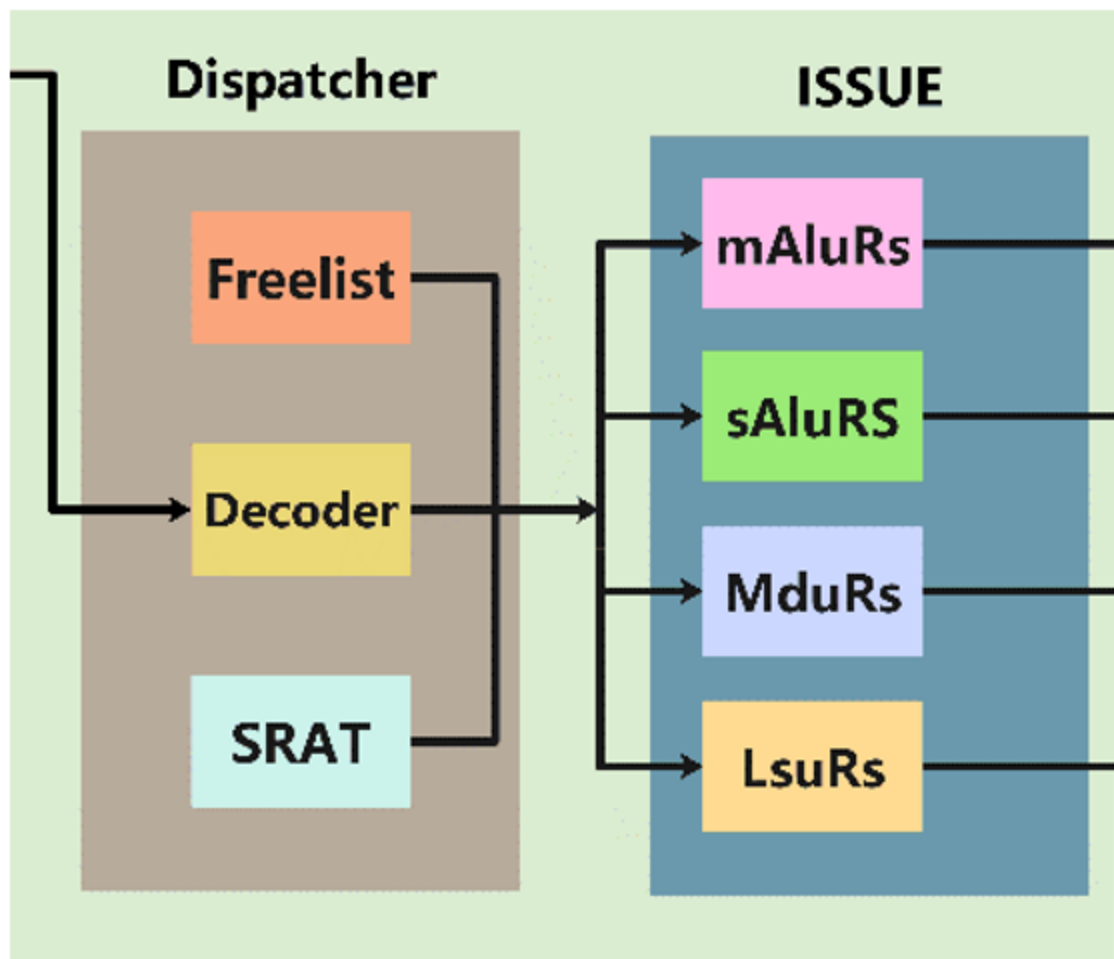
**多级**分支预测：

92.31% **背靠背**取指



2

## 架构亮点



# 提前唤醒

让 "load to Alu" 流动起来

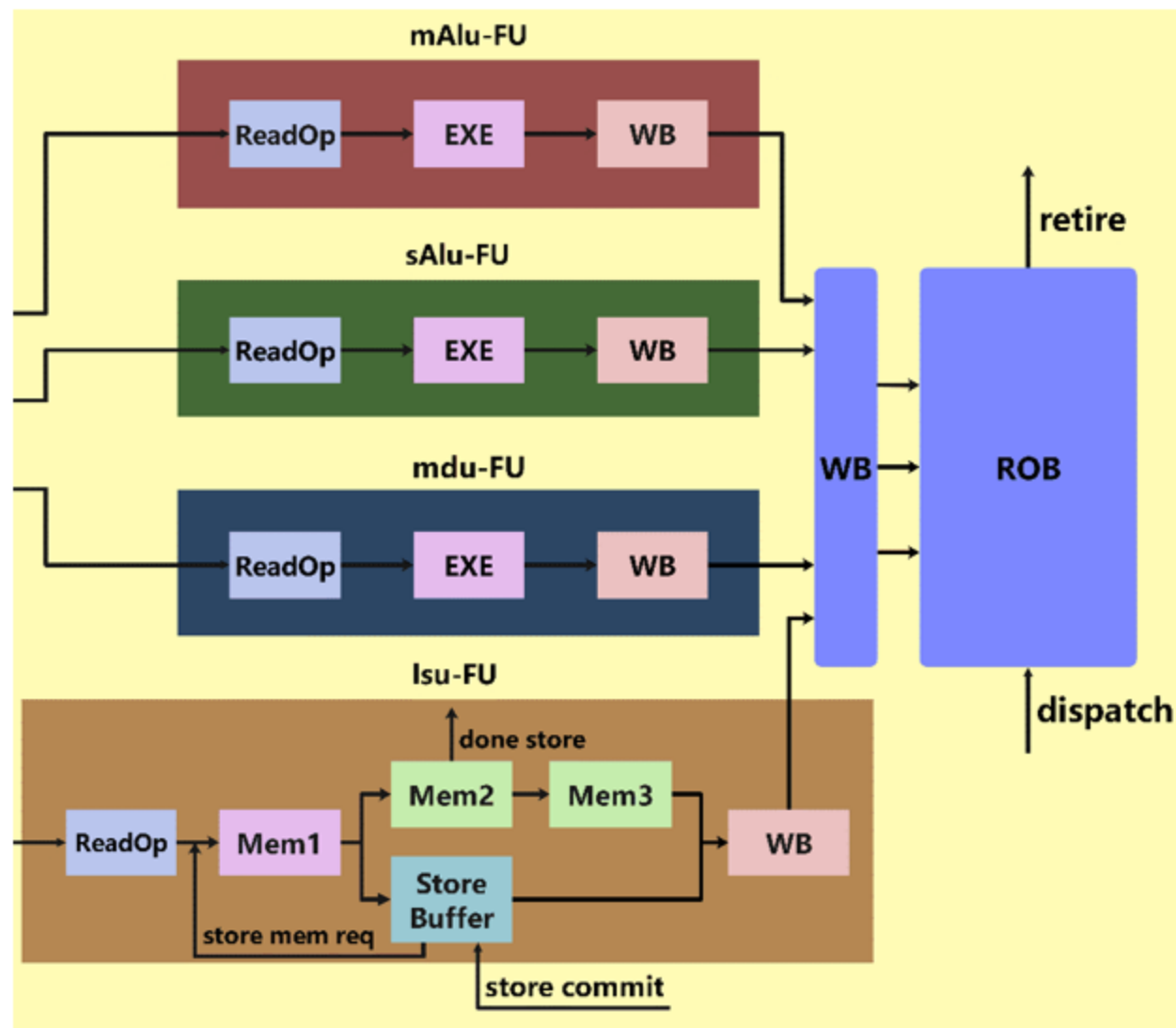
运行时间减少 **26.67%**

## 2 架构亮点

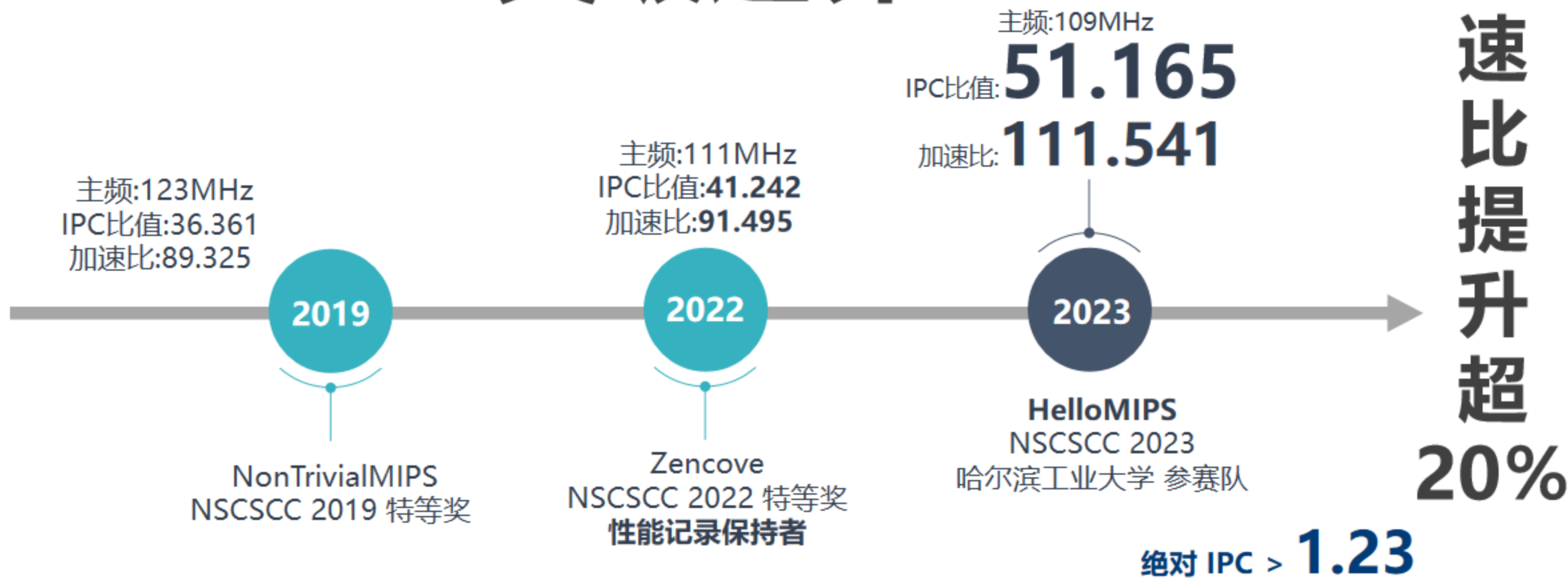
trace-off

访存 Index 竞争预测器

预测准确率90.57%



# 突破边界



### HIT-DiffTest: 支持NSCSCC的MIPS32差分测试

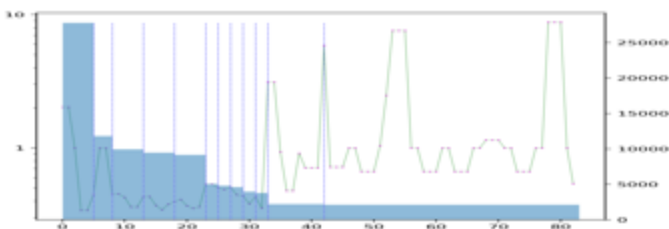
哈尔滨工业大学(本部)开发, 用于测试verilog/systemverilog编写的MIPS32-Release1处理器的差分测试环境, 可仿真NSCSCC大赛官方提供的SoC, 需使用verilator编译V代码。借鉴了南京大学的模拟器框架Nemu、重庆大学的模拟器cemu和soc-simulator。

可仿真如下测试:

- ☒ NSCSCC功能测试
- ☒ NSCSCC性能测试
- ☐ NSCSCC系统测试(待完善)
- ☒ uboot仿真至进入shell
- ☒ linux仿真至进入shell

可支持如下功能

- ☒ 比对通用寄存器
- ☒ 比对HILO寄存器
- ☒ 比对CPO寄存器
- ☒ 比对内存数据
- ☒ 生成波形文件, 支持fstq和vcd格式
- ☒ 生成log文件, 自动分析AXI协议
- ☐ 性能测试的数据统计(待完善)
- ☐ 死循环检测(待完善)
- ☐ linux内核源码的C调试器(待完善)



```
2023-08-17 17:02:22,814 INFO [default] Init logger with name:NJemu
2023-08-17 17:02:22,814 INFO [default] Init logger with name:MyCPU
[NJemu][2424][0xbfc006d8][I]:LED_RG1 write 0x02
[MyCPU][2441][0xbfc006dc][I]:LED_RG1 write 0x02
[NJemu][2486][0xbfc006dc][I]:LED_RG0 write 0x01
[MyCPU][2503][0xbfc006ec][I]:LED_RG0 write 0x01
[MyCPU][2618][0xbfc00700][E]:phy alloc total is not 32 but 30
now tick is 2618, print help for more
[NJemu][2558][0xbfc006f8][T]:[M] read [0x1fc006fc] = 0x08 0x00 0x20 0x03
[NJemu][2558][0xbfc006fc][T]:[I] 03 20 00 00 jr $25
[MyCPU][2601][0xbfc006fc][T]:[T] read data 00000000 0ff01440 00000000 0ff00153 id=2
[MyCPU][2607][0xbfc006fc][T]:[T] read req [0x1fc00710], size=4, len=4, burst=INCR, id=2
[NJemu][2616][0xbfc006fc][T]:[M] read [0x1fc00700] = 0x00 0x00 0x00 0x00
[NJemu][2616][0xbfc00700][T]:[I] 00 00 00 00 nop
[MyCPU][2618][0xbfc00700][E]:phy alloc total is not 32 but 30
[MyCPU][2618][0xbfc00700][T]:[P] retire clean prf 48 from rob
[MyCPU][2618][0xbfc00700][T]:[P] retire clean prf 49 from rob
```

## 差分测试 + 性能导向优化

仿真操作系统  
告别上版调试

仿真统计运行时间  
方便测试各种体系结构

自定义断言不变量  
快速定位实现错误

分析基本块和CPI  
快速找出性能瓶颈

文本Log查错  
告别又臭又长的波形

实现量化分析  
使用统计数据指导优化



## 5 自主研发基础设施HITD——差分测试

功能 性能 系统测试  
**Uboot Linux仿真**  
**进入Shell**

- 生成波形文件、记录文件
- 比对通用寄存器和CP0寄存器
- 长时间无指令提交自动报错

**基本  
功能**

**进阶  
内容**

物理寄存器数目守恒检查  
分支预测的模块差分测试  
**自动分析AXI事务**  
**Cache访问Log打印**

- 适配于乱序处理器
- 支持快照 加速仿真时间
- 预测模块不正确自动报错

使用**HITD**，快速通过测试，在**乱序处理器**上启动**Linux**

告别上版调试，减少波形阅读



## 6 自主研发基础设施HITD——性能导向优化

### 仿真统计运行时间

- 用总运行时间衡量架构优劣
- 不同架构对比方便

### 分析基本块和CPI

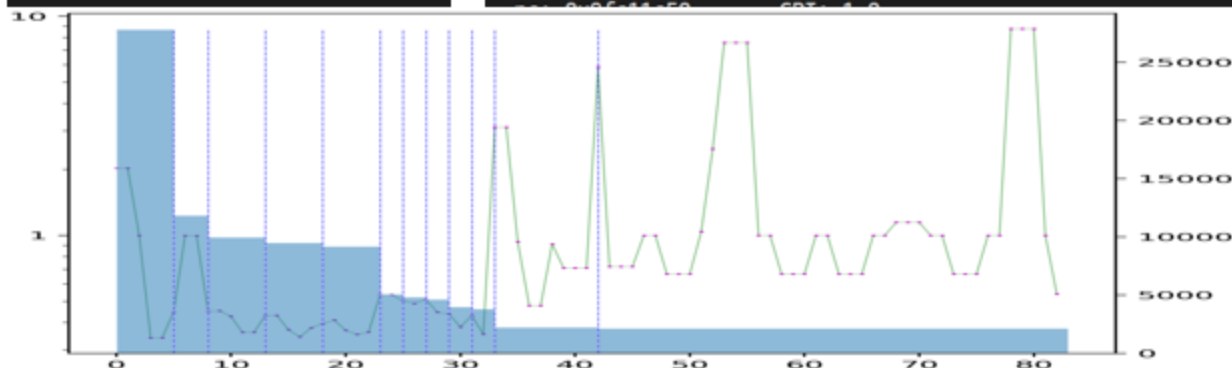
- 优化运行时间长的基本块
- 快速定位性能瓶颈

### 体系结构量化分析

- 让实际CPI逼近理想CPI
- 精准分析优化目标和效果

```
python ./tools/perf_all.py
20747.333491653204
125209.00086179376
381145.50192677975
137764.00141465664
38978.33358809352
175681.0009483099
104955.00085619092
113250.00097313523
17117.00006839633
92029.00059947371
1206876.174728483
```

```
blk: 0
total time: 12868.000007390976    prop: 0.7517672463616788
start time: 19884 32450 19472 12880 12674
instNum is 26
pc: 0x9fc11c28      CPI: 19.318548387096776
pc: 0x9fc11c2c      CPI: 19.318548387096776
pc: 0x9fc11c30      CPI: 2.0
pc: 0x9fc11c34      CPI: 1.0
pc: 0x9fc11c38      CPI: 1.0
pc: 0x9fc11c3c      CPI: 2.0
pc: 0x9fc11c40      CPI: 1.0
pc: 0x9fc11c44      CPI: 1.0
pc: 0x9fc11c48      CPI: 2.0
pc: 0x9fc11c4c      CPI: 1.0
```



使用HITD 19天内IPC由16.2增至**51.1**

## 6 自主研发基础设施HITD——性能导向优化

基本分支预测

访存唤醒Alu

多级竞争预测

串口突发写  
Cache块调整

FreeList快速恢复  
派发逻辑优化  
提前唤醒

35.5

41.8

44.2

49.3

51.1

## 7 SoC与系统软件

- 实现除PS2外全部硬件接口
  - GPIO 数字驱动
  - DRAM 板载内存
  - 串口 交互窗口
  - LCD 图像输出&触摸交互
  - 网口 网络传输
  - IIC 电压控制
  - USB 设备识别
  - SPI FLASH 芯片识别
  - VGA 文本输出

### • 引导程序 U-Boot

- 操作系统 Linux 6.3.0

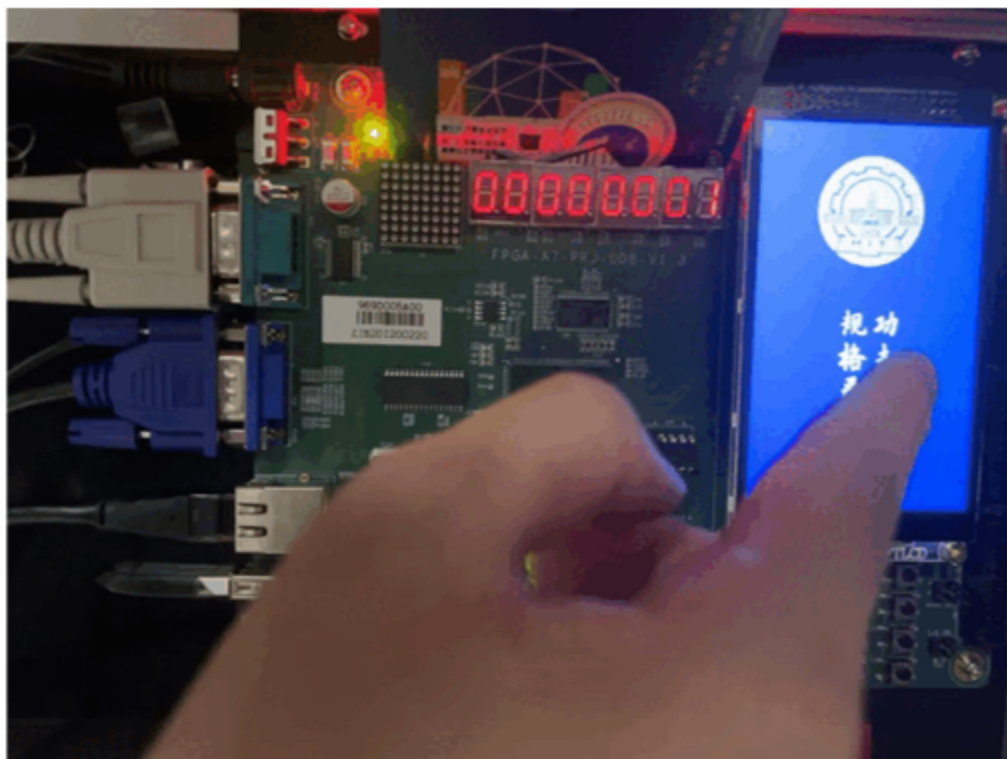
### • 根文件系统

- nfs远程挂载
- 路径显示&U盘自动挂载
- 丰富用户态程序与指令
  - micropython
  - mtdinfo、mtd\_debug
  - i2cset、i2cdump...
  - mkfs

8

## 展示应用

### 幻灯片播放



```
[root@HIT-Csystem]:/usb>ls  
caculate.py  hello.py      lost+found  
[root@HIT-Csystem]:/usb>micropython caculate.py  
Select operation:  
1. Add  
2. Subtract  
3. Multiply  
4. Divide  
Enter choice (1/2/3/4): 3  
Enter first number: 4  
Enter second number: 5  
4.0 * 5.0 = 20.0  
[root@HIT-Csystem]:/usb>cd ../lcd  
[root@HIT-Csystem]:/lcd>./tslcd
```

运行python程序

目录路径显示

```
11.403583] This architecture does not have kernel memory protection.  
11.448221] Run /sbin/init as init process  
11.671616] usb-storage 1-1:1.0: USB Mass Storage device detected  
11.881227] scsi host0: usb-storage 1-1:1.0  
13.098804] scsi 0:0:0:0: Direct-Access      USB      SanDisk  
3.2Gen1 1.00 PQ: 0 ANSI: 6  
13.210820] sd 0:0:0:0: [sda] 120176640 512-byte logical blocks: (61.5 GB/57.3 GiB)  
13.363916] sd 0:0:0:0: [sda] Write Protect is off  
13.477431] sd 0:0:0:0: [sda] Write cache: disabled, read cache: enabled, doesn't support DPO or FUA  
13.686245] sda: sda1  
13.723620] sd 0:0:0:0: [sda] Attached SCSI removable disk  
17.535365] EXT4-fs (sda1): recovery complete  
17.566294] EXT4-fs (sda1): mounted filesystem 1b6cc506-ea6b-4090-a6e7-f57508456649 with ordered data mode. Quota mode: disabled.  
25.455822] random: crng init done  
54.315936] process '/lcd/tslcd' started with executable stack  
hellomips!_
```

VGA显示

加速比  
突破三位数  
 $IPC > 51.1$

读取USB

启动Linux

点亮VGA

运行Python

**乱序三发射**

挑战复杂架构，乱而快

**Chisel语言**

敏捷开发，减少死代码

**自主研发HITD，现已开源**

筑牢CPU调试基础设施——差分测试 + 性能导向优化

- **01.** 创新的调试优化工具HITD  
保障正确性和高性能
- **02.** 硬件敏捷开发语言Chisel  
乱序三发射的复杂架构
- **03.** 实现了除PS2的所有外设  
启动了最新的Linux
- **04.** IPC突破50的边界  
达到了111的加速比