

AzureMIPS——顺序双发射 11 级流水处理器

NSCSCC2022 决赛答辩

李睿潇、朱元依、张政镒、李少群

复旦大学

2022 年 8 月 20 日

① 工作介绍

② 处理器介绍

③ 外设

④ 系统设计



① 工作介绍

② 处理器介绍

③ 外设

④ 系统设计

开发语言



(a) Scala



(b) SpinalHDL

图 1: Scala 与 SpinalHDL

参数化、灵活、可读性高。

SpinalHDL 相比于 Chisel 更有独特的优势



① 工作介绍

② 处理器介绍

处理器整体架构
流水线设计
分支预测设计
高速缓存设计

③ 外设

④ 系统设计



① 工作介绍

② 处理器介绍

处理器整体架构

流水线设计

分支预测设计

高速缓存设计

③ 外设

④ 系统设计

前端架构

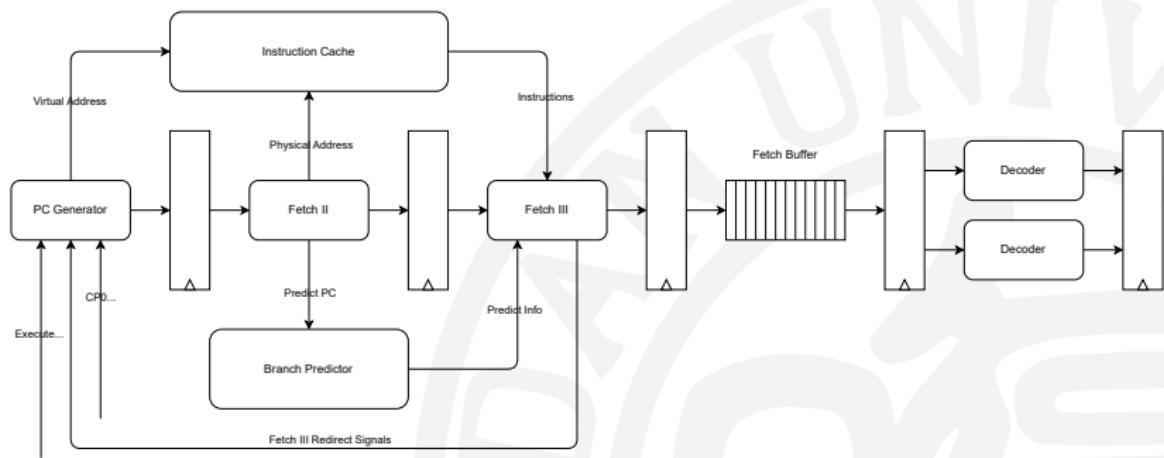


图 2: 前端架构设计简图

后端架构

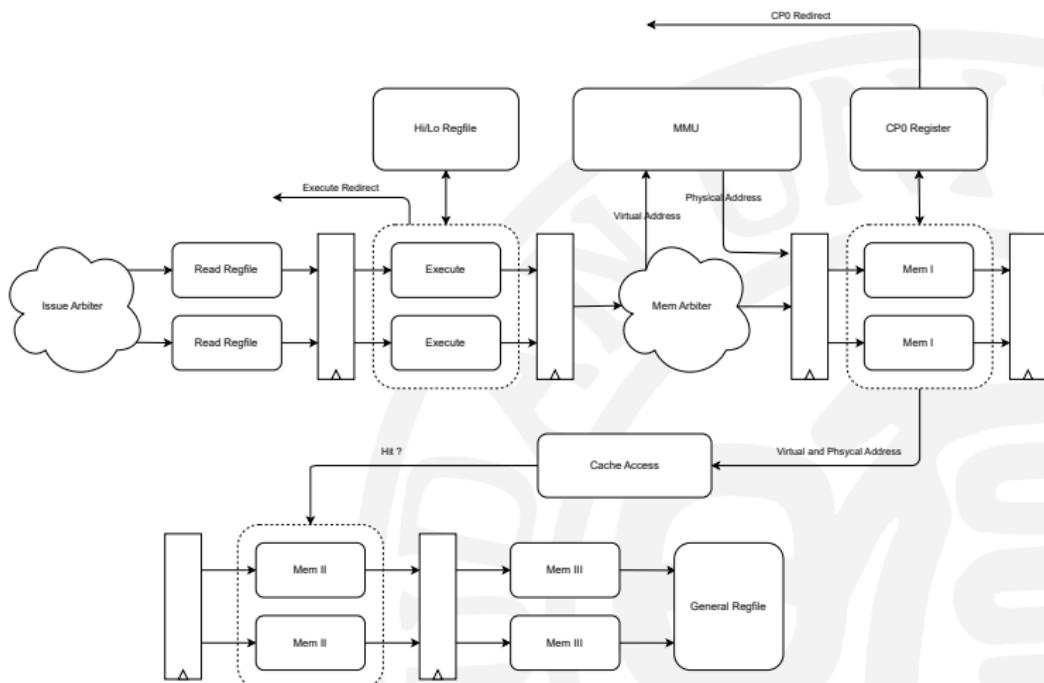


图 3: 后端架构设计简图



① 工作介绍

② 处理器介绍

处理器整体架构

流水线设计

分支预测设计

高速缓存设计

③ 外设

④ 系统设计

取指

- 取指流水线
 - Fetch 1: 仲裁 PC, 发送虚拟地址至 ICache
 - Fetch 2: 发送通过 MMU 获得的物理地址, 若有异常, 则作标记
 - Fetch 3: 对 ICache 返回的指令作**分支快速译码**, 判断出分支指令, 必要时进行 PC 重定向
- 取指缓冲
 - 16-Entries 指针 FIFO
 - 每周期最多 “4 进 2 出”
 - 跳过非分支延迟槽中的空指令
- 分支预测
 - RAS 分支预测
 - Bi-Mode 分支预测器
 - 256-Entries BTB

取指缓冲对双访存的优化

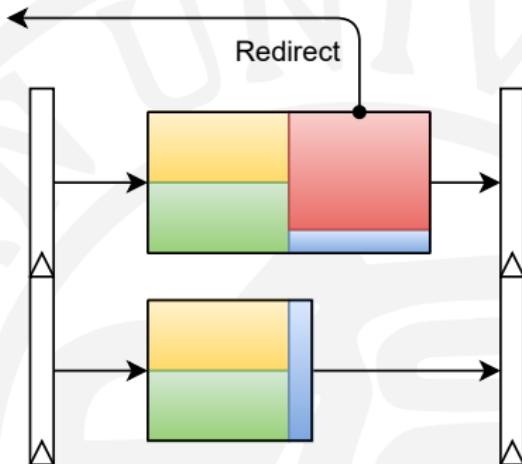
```
1 sw t8, 0(a3)
2 lw t7, 8(t0)
3 nop
4 sw t7, 8(a3)
5 lw t6, 12(a0)
6 nop
7 sw t6, 12(a3)
8 lw t5, 16(a0)
9 nop
10 sw t4, 20(a3)
11 lw t3, 24(t0)
12 nop
13 ...
```

```
1 sw t8, 0(a3)
2 lw t7, 8(t0)
3
4 sw t7, 8(a3)
5 lw t6, 12(a0)
6
7 sw t6, 12(a3)
8 lw t5, 16(a0)
9
10 sw t4, 20(a3)
11 lw t3, 24(t0)
12
13 ...
```

译码、发射与读寄存器

- **译码**
 - 译码模块单独占一个流水级
 - 将指令译成对应的 uOp，并译出必要信息
 - 判断是否为保留指令或会触发协处理器不可用的指令，并作标记
- **发射**
 - 组合逻辑，与读寄存器共占一级流水级
 - 进行单发射仲裁
- **读寄存器**
 - 后续流水级旁路和通用寄存器堆间的数据仲裁
 - 当所需数据在流水线中还没被计算出来时，暂停操作
 - **提前计算跳转地址**供执行阶段进行分支预测正确性检验

执行



执行

通过参数化标记,上下两个执行单元有着不一样的功能,但用着同一份代码。

只有上执行单元拥有处理分支指令的能力,去除了无用的冗余,也不引来额外的麻烦。

```
1 class SingleExecute(  
2     advanced : Boolean = true  
3 ) extends Component {  
4     ...  
5 }  
  
6 class Execute extends Component {  
7     ...  
8     val units = Seq(  
9         new SingleExecute(true),  
10        new SingleExecute(false)  
11    )  
12    ...  
13 }  
14 }
```

访存

预访存流水级：该级为决赛提交中拥有的一级流水级，其主要功能如下

- 地址冲突检查
- 虚实地址转换

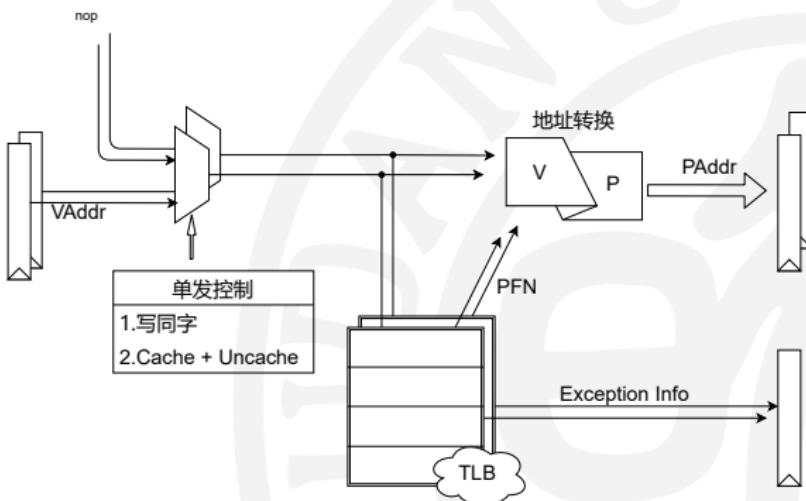


图 4: TLB 转换示意图

访存

- 访存第一阶段
 - 向 CacheAccess 发送虚拟地址与物理地址，拉起访存请求
 - 将指令的异常信息交付异常处理单元
- 访存第二阶段
 - 等待 CacheAccess 返回 Hit 信号
- 访存第三阶段
 - 收到返回的数据，写回通用寄存器堆



① 工作介绍

② 处理器介绍

处理器整体架构

流水线设计

分支预测设计

高速缓存设计

③ 外设

④ 系统设计



Bi-Mode 分支预测器

- 借鉴于玄铁 910 的分支预测设计
- 融全局与局部为一体
- 分表存储，降低混叠

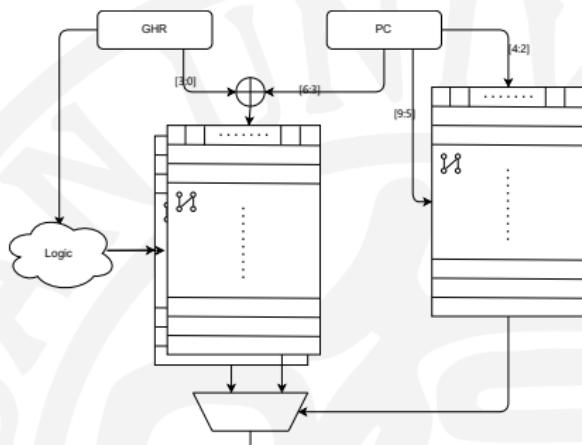


图 5: 分支预测图示

分支预测准确率

表 1: 性能测试中的分支预测表现

程序	准确率	程序	准确率
bubble sort	70.1%	coremark	77.3%
crc32	95.3%	dhrystone	96.0%
quick sort	75.5%	select sort	92.1%
sha	97.6%	stream copy	97.1%
stringsearch	88.4%		

① 工作介绍

② 处理器介绍

处理器整体架构

流水线设计

分支预测设计

高速缓存设计

指令高速缓存

数据高速缓存

③ 外设

④ 系统设计

指令高速缓存

- 4 路组相联, 4 Banks, 基于 xpm_memory
- 每周期可返回 128 bit 数据 (4 条指令)
- 取指合并
 - 所需的 4 条指令不在同一个缓存行中 → 1 次请求访问两条 Cache Line, 将访问结果合并后输出
- 支持 Cache 指令

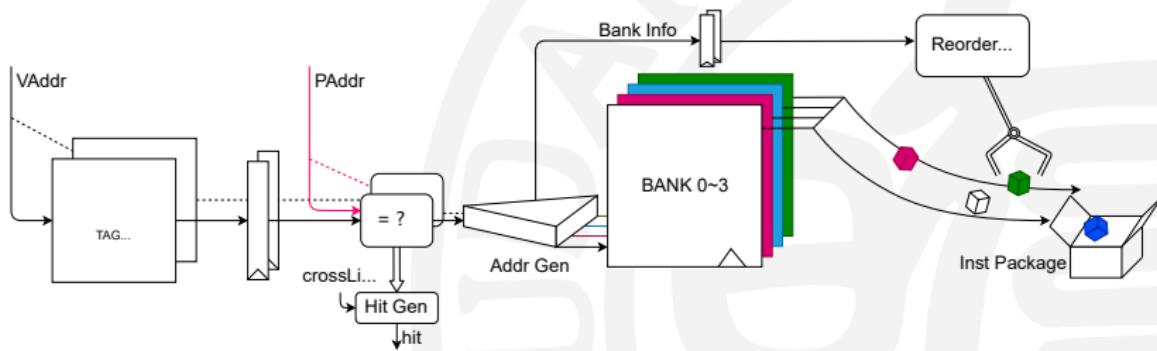


图 6: 指令高速缓存结构示意图

数据高速缓存

- 4 路组相联
- 基于 xpm_memory
- 真双端口，一周期两条访存指令，收益 \gg 成本！
- 支持 Cache 指令

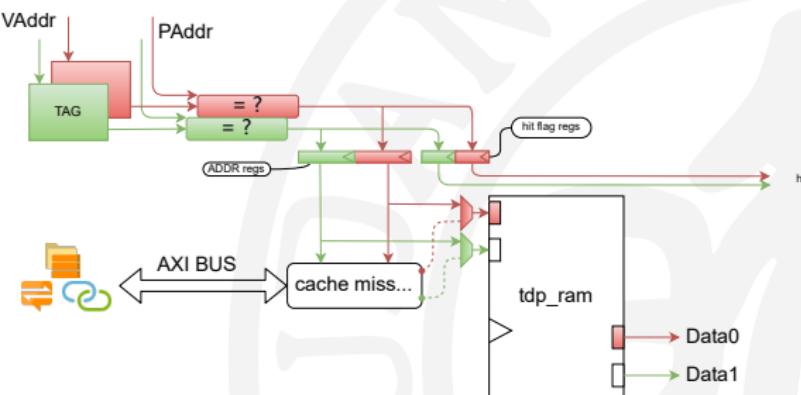


图 7: 数据高速缓存结构示意图

① 工作介绍

② 处理器介绍

③ 外设

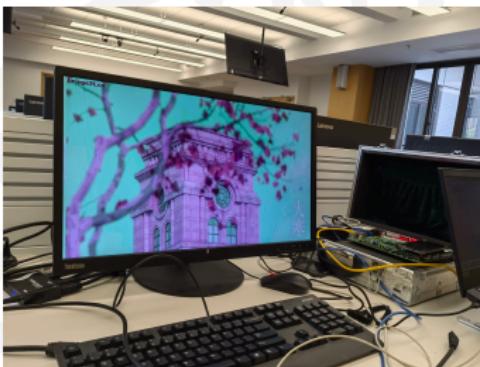
④ 系统设计



VGA



(a) VGA：显示条形图



(b) VGA：显示图片

飞机大战游戏演示

① 工作介绍

② 处理器介绍

③ 外设

④ 系统设计

PMON

uCore

Linux



① 工作介绍

② 处理器介绍

③ 外设

④ 系统设计

PMON

uCore

Linux



PMON

- 成功启动 PMON
- 正确运行 PMON 的全部指令

PMON2000 MIPS Initializing, Standby...
 Processor: PMON2000 CPU: 330MHz, Cache: 8MB
 PSEL=0x00180000
 Cache size: 8MB, Cycles: 1000000000000000000
 Bus clock: 330MHz, Cache: 8MB
 Bus cache found
 Init cache done, cfg = 80000082
 Copy romc/romc2 execute location...
 romc = 0xbff7900000
 s0 = 0xc183000000
 _start = 0xbff793100010
 _end = 0xbff793102B
 armv7m
 copy text section done.
 Copy romc/romc2 execute location done.
 romc = 0xbff7900000
 romc2 = 0xbff7900000
 Uncompressing file...
 ...existing files
 PRNG
 RTC time invalid, reset to epoch.
 RTC time: 0
 DONE
 CPUID
 ENV
 PMON
 On envinit
 envfile = 0xbff7900000
 envfile is invalid!
 Newenvfile=0xbff7900000
 80000000: memory between 82fff800-83000000 is already been allocated, heap is at
 83000000
 83000000: memory above this point
 84000000: memory above this point
 85000000: gptk status 0
 86000000: RTC
 ATCL
 Before config
 On config
 memalloc_free
 Localhost: root@localhost:
 defined at localhost: address 00:98:76:64:32:19
 booted at wanibus0:0 config
 wanibus0:0 pps/2 kbd
 devconfig done.
 devinit done.
 domaininit done.
 domproc...
 INIT
 SHM
 PMON
 PMON2000 Professional
 Configuration [/FCR-EL-M7] #428 Sat Aug 13 07:54:26 UTC 2022 commit 43e6479ed
 8f7fd4d3be0d51a0202bd407d617 author: Zengyzy <1162851439@qq.com> date: Sat
 Aug 13 07:54:26 2022
 Supported loaders [src, elf, bin]
 Copyright 2000-2002 Zengyzy <zengyzy@zengyzy.com>
 This software may be redistributed under the GNU copyright.
 Copyright 2000-2002 Zengyzy AB, Sweden.
 CPU unidentified @ 99.99 MHz / bus @ 99.99 MHz
 Primary instruction cache size 16kB (84 Time, 4 way)
 Primary data cache size 16kB (64 Time, 4 way)
 REV
 REV2
 REV3
 REV
 REV in SR set to zero.
 memsize = 1G
 mem = 1G _text _etext start
 PRNG

Ready Serial: COM3, 57600 78, 7 78 Rows, 80 Cols

① 工作介绍

② 处理器介绍

③ 外设

④ 系统设计

PMON

uCore

Linux



uCore

- 成功启动 uCore
- 能正确运行 uCore 的指令
- 实现了自定义算法指令

The terminal window shows the following output:

```
File Edit View Options Transfer Script Tools Window Help
serial-console (T) X
=====
l4 l3 l2 l1 l0 x3 x2 x1 x0 x4 x5 x6 x7 x8
=====
14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29
=====
LISI=Initial
LIP=Initial
+stop timer interrupt
+start timer interrupt
+start timer interrupt
+stop timer interrupt, size: memsize4, magic: exphash32
(FWLCT) on ls loading ...
Special kernel symbols:
  start kernel symbols
    start bootsector (phys)
    start kernel (phys)
    end bootsector (phys)
    end kernel (phys)
  kernel symbol: _start at 0x0000000000000000
  memory management: buddy_arena_manager
    [00000000, 10000000]
Free pages at 0x0000000000000000
# free pages 40
alloc_pages(40) successful
check_allocation successful
check_paddrC successful
check_paddrD successful
-----
[0000000000000000, 0000000000000000] ----- 0000000000000000
check_low0 successful
check_low1 successful
check_low2 successful
check_low3 successful
check_low4 successful
check_low5 successful
  ramdisk_init(): block found, begin: 0x00000000, 0x00000000
  phys: 0x00000000 virt: 0x00000000
  vfat mount done.
  user ok in ramdisk!!!
[0000000000000000, 0000000000000000] ----- 0000000000000000
Select the scrollback buffer and current sizes
Serial COM0: 57600 40 3 -40 Rows, 192 Columns VT100
CAP-MEM
```

① 工作介绍

② 处理器介绍

③ 外设

④ 系统设计

PMON

uCore

Linux



Linux

- 完成 Linux 的内核启动流程，进入 kernel_init 函数

```
serial-console - Second CRT
File Edit View Options Script Tools Window Help
serial-console 2
Linux version 2.6.32.13 (cgruixiao@sixstars) (gcc version 4.4.0 (GCC) ) #50 Sat Aug 20 02:20:37 UTC 2022
busclock=99999999, cpuclock=33333333, memsize=128, highmemsize=0
bootconsole [early0] enabled
cpu: MT3625 CPU rev 0, core 0, 1GHz, 1024Kbytes L1 cache, 4Kc
Determined physical RAM map:
    memory: 08000000 0 00000000 (usable)
Initrd not found or empty - disabling initrd
20MB of ramdisk
    Normal 0x00000000 -> 0x00008000
Movable zone start PFN for each node
early0: 0x00000000 -> 0x00000000
    0: 0x00000000 -> 0x00000000
Built 1 zonelists in ZONE order, mobility grouping on. Total pages: 32512
Kernel command line:
console=ttyS0,115200 rtdns=/sbin/init root=/dev/hd1a rdparts=nand-flash:10M00(kernel)ro,-(rootfs)

PID hash table entries: 512 (order: -1, 2048 bytes)
Dentry cache hash table entries: 16384 (order: 4, 65536 bytes)
Inode-cache hash table entries: 8192 (order: 3, 32768 bytes)
Primary memory cache: 0 pages, 0 pages, 0 pages, 0 pages, 0 bytes,
Primary data cache 16kB, 4-way, VIP, no aliases, linesize= 64 bytes
Micro-assembled Field overflow
Memory: 131072K available (3116k kernel code, 9576k reserved, 842k data, 1316k init, 0k highmem)
Hierarchical RCU implementation.
NR_IRQS:256
early_irq_init pass!
init_IRQ done.
prior tree done.
init_IPI done.
init_timers done
hrtimer init...
softirq init done!!!
timekeeping will be done
done.
TIME INIT...
=====
time init pass!
profile init...
early boot irq's on...
=====
kmem cache init late...
kmem cache init late done.
- CONSOLE INIT -
Console: colour dummy device 80x25
```

致谢

谢谢！



我们的代码已经开源

<https://github.com/0xtaruhi/AzureMIPS>