



基于MIPS指令集的单发射六级流水处理器设计

哈尔滨工业大学（深圳）3队 摸鱼专业户队



目录

CPU总体设计

流水线设计

设计亮点与调试体会

Cache设计

成果与展望

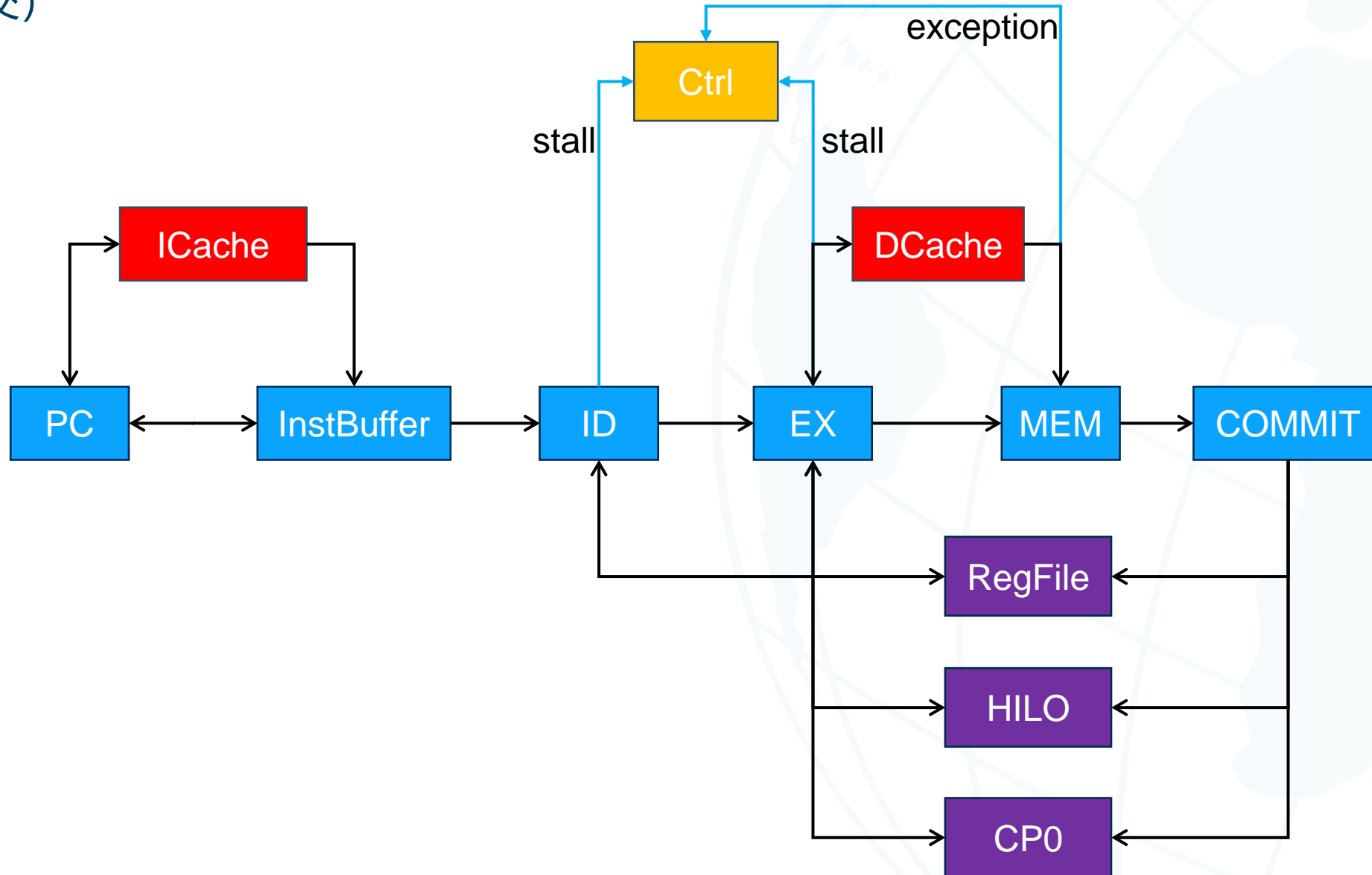


01



CPU总体设计

CPU总体结构：单发射六级流水（取指请求、取指缓存、译码、执行、访存、提交）





02

流水线设计

流水线结构

取指请求阶段

计算当前pc，发送读取指令请求

取指缓存阶段

读入来自ICache的指令，并向译码级发送数据

译码阶段

译码，取操作数

执行阶段

执行指令，计算结果，分支信息更新

访存阶段

取回来自DCache的数据，
异常判断

提交阶段

将指令实现的修改提交给各寄存器

译码模块设计

主要功能：确定操作数、操作类型、操作子类型，传递给执行级

数据冒险的处理方式：前递、暂停

对于read-after-write型冒险

- 根据从执行级、访存级前推过来的信息生成操作数，以确保使用的是寄存器堆的最新值。

对于load-use型冒险

- 向控制模块发送暂停请求，直至从DCache中取回所需数据。

执行模块读取CP0寄存器、HILO寄存器所产生的数据冒险，同样采用前递方式解决！

执行模块设计

主要功能：根据传递而来的操作数、运算类型、运算子类型计算出结果

对于多个周期才能得到结果的指令

- 暂停流水线的执行，向控制模块发送暂停请求，直到获得运算结果后撤销请求。
- 例如：访存、除法指令

如果产生异常，则不暂停

发送分支信息

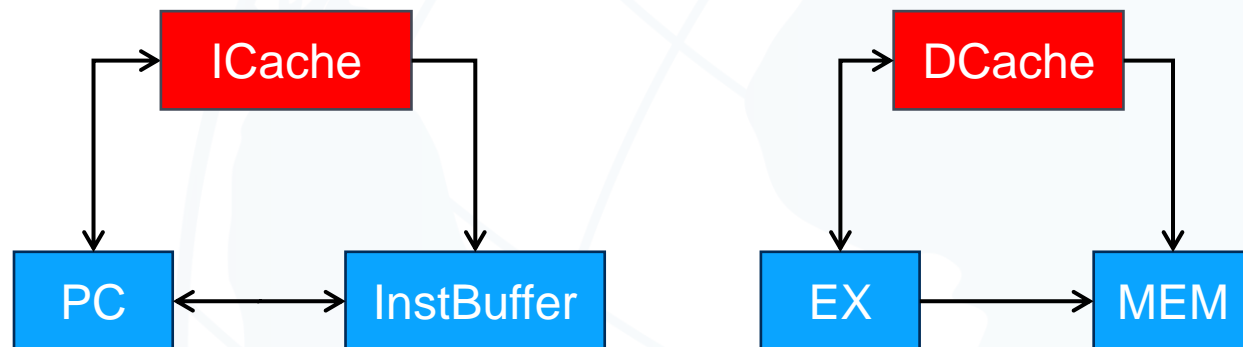
- 检测到分支结果为跳转时，向PC、InstBuffer发送跳转信息，通知它们改变取指地址或清除掉已经预取的错误指令。

分支信息必须在延迟槽指令进入译码级之后才能发送，否则可能导致延迟槽指令被错误清除

访存模块设计

主要功能：接受从DCache传递过来的数据，进行处理后送入到提交阶段，同时提交异常

EX 向 DCache 发送数据请求与请求的地址，当数据成功返回时，由 MEM 负责接收数据。



两者间存在高度相似的关系

异常处理

- 向控制模块和CP0寄存器发送异常信息，以便尽快清除流水线并进行异常处理。

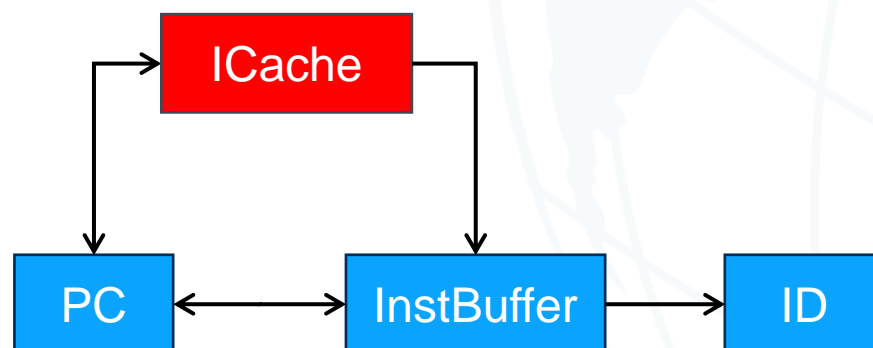


03

设计亮点与调试体会

设计亮点：取指拆分为两个阶段

我们将取指模块拆分为取指请求、取指缓存两个模块，以降低取指、执行操作之间的耦合度。当流水线不得不暂停时，取指模块仍然可以继续工作，充分预取指令。这样，当流水线结束暂停状态时，可以从InstBuffer中连续取回多条指令执行，不必耗费时间等待ICache返回数据。



设计亮点：取指请求模块设计

PC的更新逻辑，按照优先级排列，如下所示：

- (1) 复位，更新为0xbfc00000；
- (2) 异常产生、清除流水线，更新为控制模块所送来的epc；
- (3) 分支跳转信号有效时，更新为分支地址；
- (4) 指令队列满，保持原有pc值不变；
- (5) 上一时钟周期取指请求成功，更新为 $pc + 4$ ；
- (6) 其它情况下，均保持原有值不变。

inst_req的更新逻辑，按照优先级排列，如下所示：

- (1) 复位，不发送请求；
- (2) 异常产生、清除流水线，不发送请求；
- (3) 指令队列满，不发送请求；
- (4) 上一时钟周期取指请求成功，不发送请求；
- (5) inst_addr_ok信号有效，发送请求；
- (6) 其它情况下，均保持原有值不变。

设计亮点：取指缓存模块设计

数据结构：队列，FIFO原则

维护头、尾两个指针

同时存储指令、PC

队列大小为32（即最多预取32条指令）

取指缓存阶段对队列进行的操作，按照优先级排列，如下所示：

- （1）复位有效，清空队列；
- （2）由于需要进行异常处理，清空队列；
- （3）由于需要进行分支跳转，清空队列；
- （4）当流水线没有发生暂停且队列非空时，出队；当inst_data_ok信号有效时，入队（出队、入队可并发进行）。

测试驱动开发，逐步增量、迭代

- 一开始时，将没有功能的CPU顶层接入测试环境，故意使测试报错，知道为什么报错，完成对大赛测试框架的熟悉；
- 查看反汇编，针对测试的报错逐步增加功能，提高开发效率；
- Cache的开发未完成？提前协商接口，独立进行开发，减少相互等待

其它调试手段：增加复杂逻辑条件的仿真波形，回溯错误源头；FPGA在线调试



04

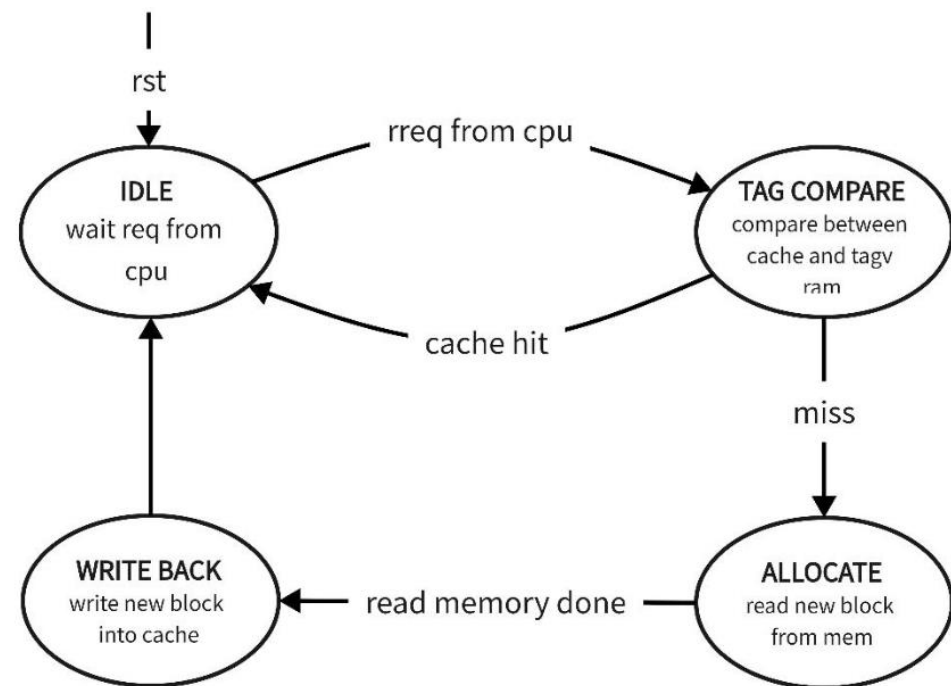
Cache设计

Cache设计

ICache与DCache均实现为二路组相联，每路大小为 8KB，使用伪LRU替换策略，Cache行大小为32字节。

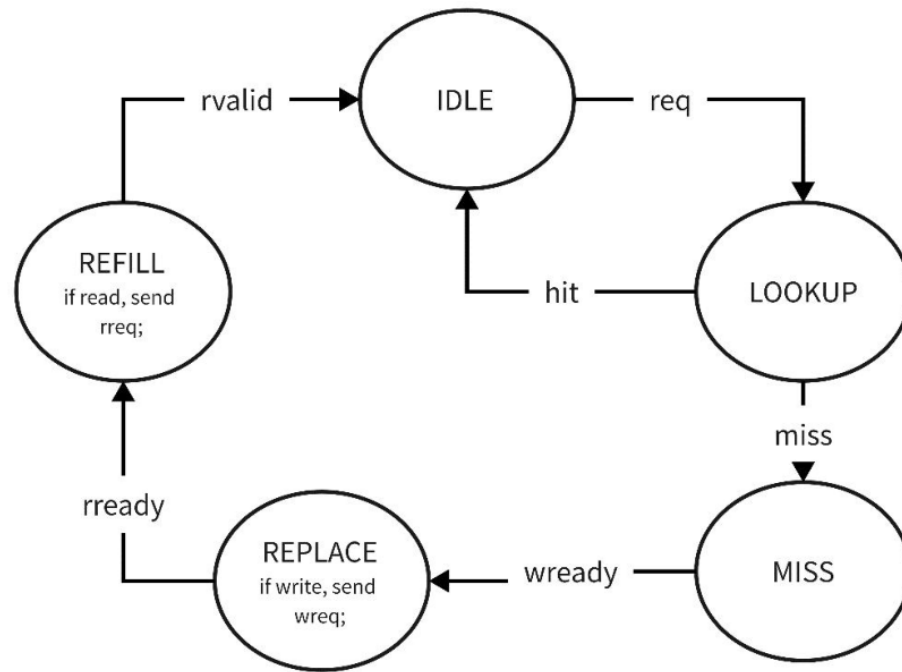
ICache设计

ICache状态机有4个状态，分别是等待请求状态(IDLE)、标志判断状态(TAG COMPARE)、分配状态(ALLOCATE)、写回状态(WRITE BACK)，转换关系如右图所示。



DCache设计

DCache状态机有5个状态，分别是等待请求状态(IDLE)、标志判断状态(LOOK UP)、缺失状态(MISS)、替换状态(REPLACE)、写回状态(REFILL)，转换关系如下图所示。



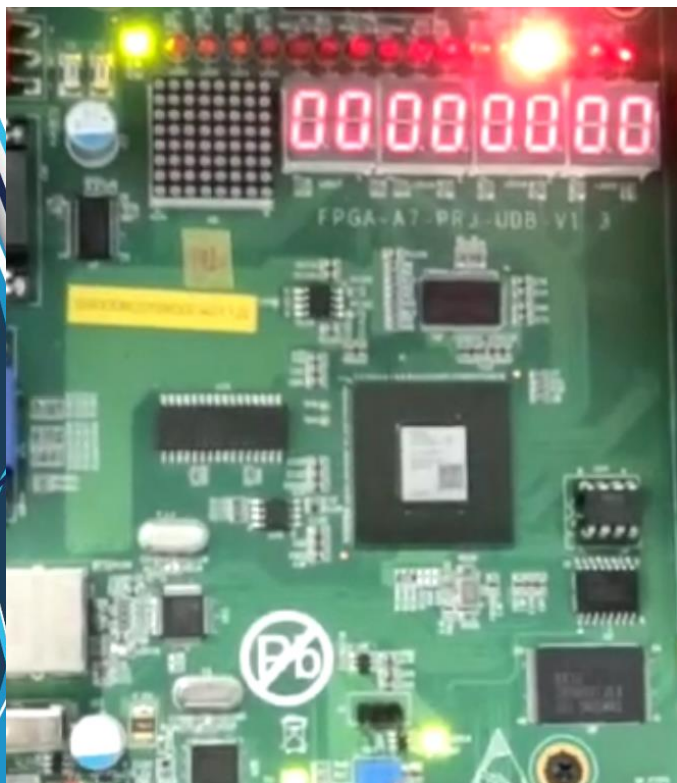


05

成果和展望

成果

- 功能测试（封装为AXI接口）的89个测试点全部通过；
- 记忆游戏通过；
- 性能测试通过；
- 系统测试通过；
- 性能分5.32，频率60MHZ，IPC比值3.368；
- 决赛指令集答题测试通过；



```
管理员: C:\Windows\system32\cmd.exe - python term.py -s com4 -b 57600
MONITOR for MIPS32 - initialized.
>> g
>>addr: 0x8000300c
elapsed time: 2.240s
>> g
>>addr: 0x8000303c
elapsed time: 3.216s
>> g
>>addr: 0x800030c4
elapsed time: 6.464s
>> g
>>addr: 0x8000315c
OK
elapsed time: 0.000s
>> g
>>addr: 0x80003180
elapsed time: 76.176s
>> g
>>addr: 0x800031b4
elapsed time: 35.376s
>> g
>>addr: 0x800031fc
elapsed time: 54.416s
>> g
>>addr: 0x80003228
elapsed time: 160.864s
>> _
```

```
管理员: C:\Windows\system32\cmd.exe - python term.py -s com4 -b 57600
MONITOR for MIPS32 - initialized.
>> r
R1 (AT) = 0x00000000
R2 (v0) = 0x00000000
R3 (v1) = 0x00000000
R4 (a0) = 0x00000000
R5 (a1) = 0x00000000
R6 (a2) = 0x00000000
R7 (a3) = 0x00000000
R8 (t0) = 0x00000000
R9 (t1) = 0x00000000
R10 (t2) = 0x00000000
R11 (t3) = 0x00000000
R12 (t4) = 0x00000000
R13 (t5) = 0x00000000
R14 (t6) = 0x00000000
R15 (t7) = 0x00000000
R16 (s0) = 0x00000000
R17 (s1) = 0x00000000
R18 (s2) = 0x00000000
R19 (s3) = 0x00000000
R20 (s4) = 0x00000000
R21 (s5) = 0x00000000
R22 (s6) = 0x00000000
R23 (s7) = 0x00000000
R24 (t8) = 0x00000000
R25 (t9/jp) = 0x00000000
R26 (k0) = 0x00000000
R27 (k1) = 0x00000000
R28 (gp) = 0x00000000
R29 (sp) = 0x807f0000
R30 (fp/s8) = 0x807f0000
>> d
>>addr: 0xbfc00000
>>num: 16
0xbfc00000: 0x3c088000
0xbfc00004: 0x25081000
0xbfc00008: 0x3c098000
0xbfc0000c: 0x25291190
>> _
```

展望——改进方向

- 尝试更多的性能优化措施：如超标量、多发射、分支预测、流水Cache；
- 尝试优化关键路径，充分提升频率；
- 尝试TLB的实现；
- 乘法器、除法器模块的改进；
- 尝试更多外设的开发：如LCD屏幕；
- 尝试系统移植：如pmon、ucore、Linux；
-



The background of the slide features a photograph of a university campus. In the foreground, there is a large, light-colored sculpture of the Chinese characters '大学' (University) on a grassy lawn. To the left of the sculpture is a large, red, circular sculpture. In the background, a tall, multi-story university building with many windows is visible under a clear blue sky. The entire image is overlaid with a decorative graphic of flowing blue and white waves at the top.

请各位专家批评指正，
谢谢！