Lab5.1 流水线CPU在线虚拟仿真实验 课堂练习

#### 1、实验目的

1. 理解流水线CPU指令执行过程。
2. 理解流水线冒险处理的概念。
3. 理解流水线硬件结构及对冒险处理方法的多样性。

#### 2、课堂练习

2.1练习一

在 RISC V仿真平台

<https://webriscv.dii.unisi.it/index.php>

或

<http://10.119.1.50:81/> （在校外连接时需要开启交大VPN）

选择 RV64IM，Forwarding activate，branch hazard handling Flush Instruction模式

输入代码段（参考课本习题 4.22）：

sd x29,1024(x16) //sw x29,1024(x16) 选择RV32IM时候可用sw替换

ld x29,1024(x16) //lw x29,1024(x16) 选择RV32IM时候可用lw替换

sub x17,x15,x14

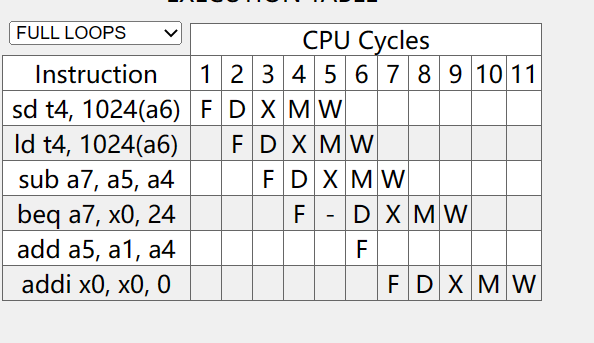
beq x17,x0,label

add x15,x11,x14

sub x15,x30,x14

label:nop

1. 单步执行仿真，给出execution table截图。从这个图可以看出倒数第3和2句（beq x17,x0,label和add x15,x11,x14）被执行了什么特殊处理？为什么？



被插入了气泡进行停顿，因为之前发生了冒险冲突（被

），需要把之前错误执行的指令全部清零。

2）在ripes仿真环境下做一次五级流水线CPU仿真，参照表1前三列的前三个时钟执行过程画出完整五级流水线（F、D、X、M、W）执行表。与上面的执行表截图作对比。分析有什么异同。

表1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Instruction\clock cycle | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| sd x29,1024(x16) | F | D | X | M | W |  |  |  |  |  |  |
| ld x29,1024(x16) |  | F | D | X | M | W |  |  |  |  |  |
| sub x17,x15,x14 |  |  | F | D | X | M | W |  |  |  |  |
| beq x17,x0,label |  |  |  | F | D | X | M | W |  |  |  |
| add x15,x11,x14 |  |  |  |  | F | D |  |  |  |  |  |
| sub x15,x30,x14 |  |  |  |  |  | F |  |  |  |  |  |
| label:nop |  |  |  |  |  |  | F | D | X | M | W |

由于流水线，之前冲突的情况消失，beq没有受阻挡直接执行，因为前一条sub在x17涉及到的是存数，而beq在x17也是存数。

2.2 练习二

在五段流水线体系中执行以下RISC-V程序指令段：

addi x6,x0,1024

addi x2,x2,18

add x2,x3,x4

sw x2,0(x6)

lw x7,4(x6)

add x1,x1,x7

add x3,x5,x7

sub x3,x3,x7

lw x4,8(x6)

add x4,x4, x4

add x4,x6,x7

填写表2.1回答：

1）哪几条标号指令存在数据冲突（hazard）？

2）哪几条标号指令数据冲突不能通过旁路技术（forward）解决？为什么？

3）如果流水线时钟周期为100ns，计算完成这些指令所需时间。

表2.1

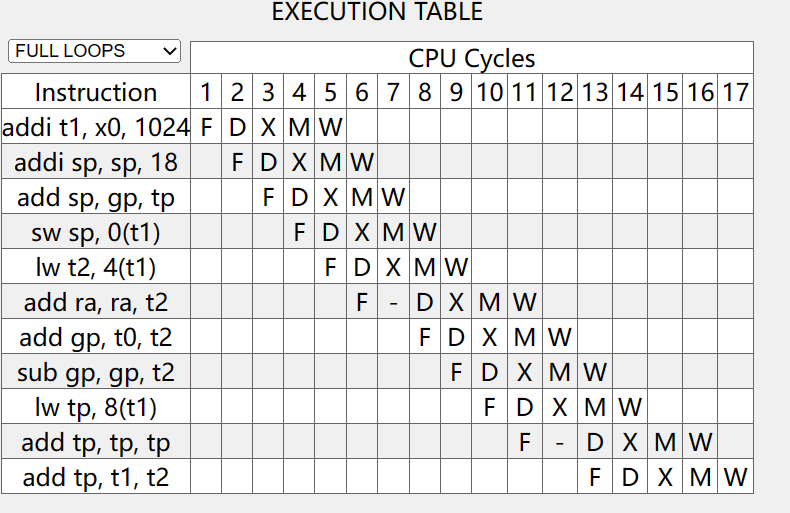
|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 程序段 | 是否有冲突 | 是否可通过旁路解决冲突，为什么 |
| 1 | addi x6,x0,1024 | 无 |  |
| 2 | addi x2,x2,18 | 无 |  |
| 3 | add x2,x3,x4 | 无 |  |
| 4 | sw x2,0(x6) | 有 | 能，x2在上一条ex阶段就计算好了，可以在本阶段mem写入之前旁路传递 |
| 5 | lw x7,4(x6) | 无 |  |
| 6 | add x1,x1,x7 | 有 | 不能，涉及前一条命令的结果，前一条mem后才能取x7 |
| 7 | add x3,x5,x7 | 无 |  |
| 8 | sub x3,x3,x7 | 有 | 因为上一条指令EX之后就计算出x3，可以通过旁路传递到本阶段的EX进行计算 |
| 9 | lw x4,8(x6) | 无 |  |
| 10 | add x4,x4, x4 | 有 | 不能，涉及前一条命令的结果吗，前一条mem后才能取到x4 |
| 11 | add x4,x6,x7 | 无 |  |

两次不能解决，总共要花17\*100ns=1.7μs

4）分析程序段，以表2.2为模板画出你认为可能的五段流水线执行表表2.2-1。并在ripes平台上完成仿真，以表2.2为模板画出实际仿真过程的执行表标为表2.2-2，再通过webrisc-v平台进行仿真，截图得到仿真过程的执行表标为表2.2-3，做对比分析。和你认为的执行过程是否一致？对比两个平台上的仿真执行表的异同，理解同样支持RISCV指令而以不同流水线硬件结构实现时其实际执行过程的区别。

表2.2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Instruction\clock cycle | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| addi x6,x0,1024 | F | D | E |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| addi x2,x2,18 |  | F | D | M | W |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| add x2,x3,x4 |  |  | F | E | M | W |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| sw x2,0(x6) |  |  |  | D | E | M | W |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| lw x7,4(x6) |  |  |  | F | D | E | M | W |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| add x1,x1,x7 |  |  |  |  | F | D | E | M | W | M | W |  |  |  |  |  |  |
| add x3,x5,x7 |  |  |  |  |  | F | D | D | M | E | M | W |  |  |  |  |  |
| sub x3,x3,x7 |  |  |  |  |  |  | F | F | D | D | E | M | W |  |  |  |  |
| lw x4,8(x6) |  |  |  |  |  |  |  |  | F | F | D | E | M | W |  |  |  |
| add x4,x4,x4 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | F | D | D | E | M | W |  |
| add x4,x6,x7 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | F | F | D | E | M | W |



#### 3、附录 流水线冒险处理概念回顾

1. **暂停流水线 stall**

用于控制暂停PC值的更新，PC值维持上一个时钟状态，波形上可见pc信号出现持续2个时钟周期的bubble。参见图1 。

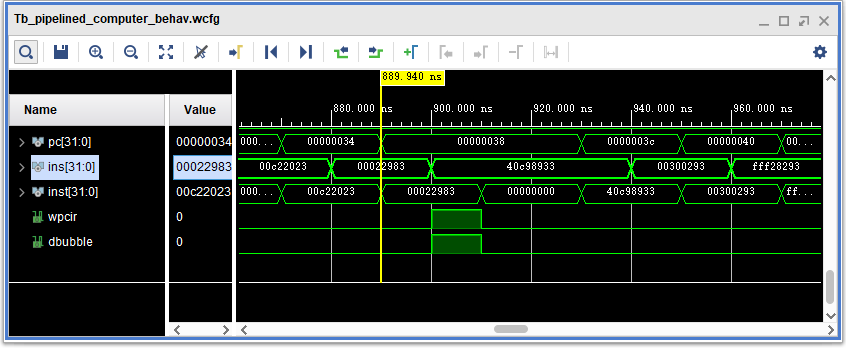


图1 pc出现持续2个时钟的bubble

1. **刷新流水线 flush**

清除已经从指令存储器读取到的指令，不执行指令操作，清零指令数据，或者指令译码产生的控制信号全部清0。参见图2。

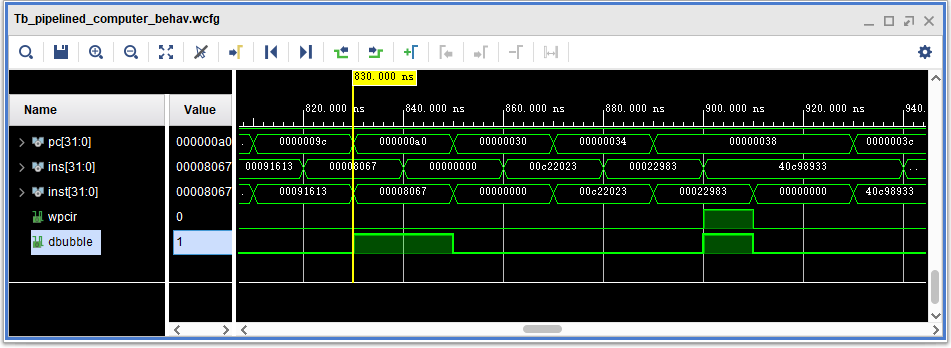


图2从指令寄存器读出的 ins 被flush操作设置为0

1. **前推 forward**

提前将本条指令经过ALU运算得到的数据，或者从数据存储器读出来的数据，不经过写入寄存器堆，就直接送到ALU输入端，提供给下一条或两条指令用于该指令的执行过程。

图3所示为ripes软件中实现的一种结构的示意图。图4为另一种实现结构中具体的控制信号波形示意。该结构将紫色框的逻辑前移至ID阶段，可理解为fwda、fwdb信号就是用于控制类似图3 紫色框中的多路选择器。fwda信号的值为0，1，2，3分别对应了多路选择器选取的数据来源如图3中红、蓝、黄、绿四条彩色数据通路所示。

由此也可理解实现的具体结构可以是有多种不同的形式的。但都能够完成对RISC-V架构的支持。体现在实现细节的复杂性以及效率等方面上有所差别。例如同样程序段执行所用的时钟数可能不一样。

也可查看本次练习要用到的另一个仿真平台所示的结构框图对比思考，加深对以上概念的理解。

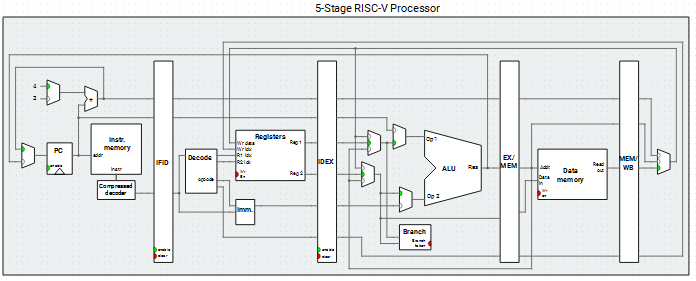


图3 一种五级流水线结构中的forward功能模块示意

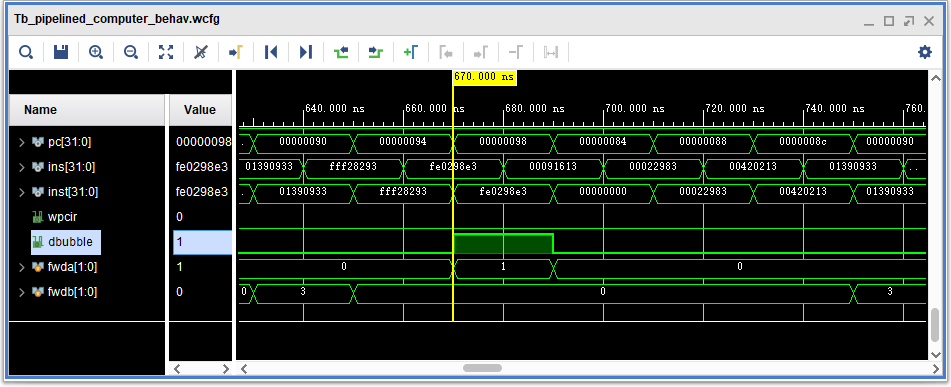


图4 另一种五级流水线结构中的forward功能实现中的控制信号示意