

Processor Arch

13 元培数科 常欣海

Here we go! →



2024/10/16



ISA & Logic

RISC与CISC

- CISC: IA32, AMD64(x86-64)
- RISC: ARM64, RISC-V, MIPS

1. 下列描述更符合(早期)RISC还是CISC?

	描述	RISC	CISC
(1)	指令机器码长度固定	✓	
(2)	指令类型多、功能丰富		✓
(3)	不采用条件码	✓	
(4)	实现同一功能，需要的汇编代码较多	✓	
(5)	译码电路复杂		✓
(6)	访存模式多样		✓
(7)	参数、返回地址都使用寄存器进行保存	✓	
(8)	x86-64		✓
(9)	MIPS	✓	
(10)	广泛用于嵌入式系统	✓	
(11)	已知某个体系结构使用 add R1, R2, R3 来完成加法运算。当要将数据从寄存器 S 移动至寄存器 D 时，使用 add S, #ZR, D 进行操作 (#ZR 是一个恒为 0 的寄存器)，而没有类似于 mov 的指令。	✓	
(12)	已知某个体系结构提供了 xlat 指令，它以一个固定的寄存器 A 为基址，以另一个固定的寄存器 B 为偏移量，在 A 对应的数组中取出下标为 B 的项的内容，放回寄存器 A 中。		✓

RISC vs. CISC

	RISC	CISC
指令(CMD)	种类少，使用频率高 指令编码长度固定(常为4个字节)	种类多，使用频率低 指令编码长度不定(x86-64的指令编码长度为1~15不等)
状态单元(Status)	寄存器数量多(最多32个) 没有条件码	寄存器数量较少 有条件码
函数调用(Procedure)	优先使用寄存器传参(也拥有用栈传参的能力) 可能隐式进行栈操作	完全依靠栈传参 只能显式进行栈操作
内存访问(Memory)	只有读取和写入两条指令 可以访问内存 只支持基址和偏移量寻址	算数运算和逻辑运算指令 也可以访问内存 支持多种寻址方法
其他(Others)	可以更充分地激发硬件性能(用体积更小的芯片跑更高的性能) 更易于进行程序性能优化	抽象程度更高，拥有很多对应高级程序语言典型操作的指令

程序员可见状态

Figure 4.1

Y86-64 programmer-visible state. As with x86-64, programs for Y86-64 access and modify the program registers, the condition codes, the program counter (PC), and the memory. The status code indicates whether the program is running normally or some special event has occurred.

RF: Program registers

%rax	%rsp	%r8	%r12
%rcx	%rbp	%r9	%r13
%rdx	%rsi	%r10	%r14
%rbx	%rdi	%r11	

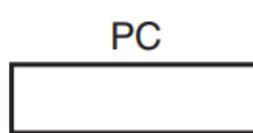
CC:
Condition
codes



Stat: Program status



DMEM: Memory



Y86-64 ISA

Byte	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
halt	0	0								
nop	1	0								
rrmovq rA, rB	2	0	rA	rB						
irmovq V, rB	3	0	F	rB			V			
rmmovq rA, D(rB)	4	0	rA	rB			D			
mrmovq D(rB), rA	5	0	rA	rB			D			
OPq rA, rB	6	fn	rA	rB						
jXX Dest	7	fn			Dest					
cmoveq rA, rB	2	fn	rA	rB						
call Dest	8	0			Dest					
ret	9	0								
pushq rA	A	0	rA	F						
popq rA	B	0	rA	F						

Y86-64 ISA

Operations

addq

6	0
---	---

subq

6	1
---	---

andq

6	2
---	---

xorq

6	3
---	---

Branches

jmp

7	0
---	---

jle

7	1
---	---

jl

7	2
---	---

je

7	3
---	---

Moves

rrmovq

2	0
---	---

cmovele

2	1
---	---

cmovl

2	2
---	---

cmove

2	3
---	---

cmovne

2	4
---	---

cmovge

2	5
---	---

cmovg

2	6
---	---

Y86-64 ISA

Name	Value (hex)	Meaning
IHALT	0	Code for halt instruction
INOP	1	Code for nop instruction
IRRMVQ	2	Code for <code>rrmovq</code> instruction
IIRMOVQ	3	Code for <code>irmovq</code> instruction
IRMMOVQ	4	Code for <code>rmmovq</code> instruction
IMRMOVQ	5	Code for <code>mrmovq</code> instruction
IOPL	6	Code for integer operation instructions
IJXX	7	Code for jump instructions
ICALL	8	Code for <code>call</code> instruction
IRET	9	Code for <code>ret</code> instruction
IPUSHQ	A	Code for <code>pushq</code> instruction
IPOPQ	B	Code for <code>popq</code> instruction
FNONE	0	Default function code
RESP	4	Register ID for <code>%rsp</code>
RNONE	F	Indicates no register file access
ALUADD	0	Function for addition operation
SAOK	1	Status code for normal operation
SADR	2	Status code for address exception
SINS	3	Status code for illegal instruction exception
SHLT	4	Status code for halt

Figure 4.26 Constant values used in HCL descriptions. These values represent the encodings of the instructions, function codes, register IDs, ALU operations, and status codes.

Number	Register name	Number	Register name
0	<code>%rax</code>	8	<code>%r8</code>
1	<code>%rcx</code>	9	<code>%r9</code>
2	<code>%rdx</code>	A	<code>%r10</code>
3	<code>%rbx</code>	B	<code>%r11</code>
4	<code>%rsp</code>	C	<code>%r12</code>
5	<code>%rbp</code>	D	<code>%r13</code>
6	<code>%rsi</code>	E	<code>%r14</code>
7	<code>%rdi</code>	F	No register

Figure 4.4 Y86-64 program register identifiers. Each of the 15 program registers has an associated identifier (ID) ranging from 0 to 0xE. ID 0xF in a register field of an instruction indicates the absence of a register operand.

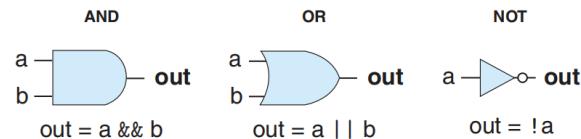
- IOPL改为IOPQ
- RESP改为RRSP

HCL

逻辑门

Figure 4.9

Logic gate types. Each gate generates output equal to some Boolean function of its inputs.



算术/逻辑单元ALU

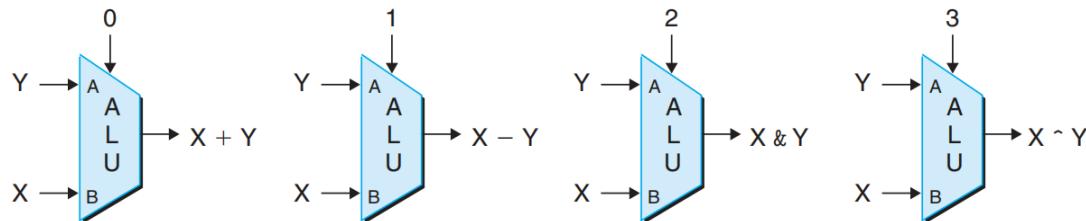


Figure 4.15 Arithmetic/logic unit (ALU). Depending on the setting of the function input, the circuit will perform one of four different arithmetic and logical operations.

Y86-64硬件结构

阶段

- 取址: Fetch
- 译码: Decode
- 执行: Execute
- 访存: Memory
- 写回: Write back
- 更新 PC: PC Update

W: 只能写入valE, valM

(rrmovq, irmovq, cmovXX 需要**+O**做ALU计算)

指令处理

Stage	
Fetch	icode:ifun rA:rB valC valP
Decode	$valA \leftarrow R[rA / \%rsp]$ $valB \leftarrow R[rB / \%rsp]$
Execute	$valE \leftarrow (valB / 0) (OP / +) (valA / valC / \pm 8)$ Set CC $Cnd \leftarrow Cond(CC, ifun)$
Memory	$(M_8[valE] \leftarrow valA / valP) / (valM \leftarrow M_8[valE / valA])$
Write back	$R[rB / \%rsp] \leftarrow (if (Cnd)) valE$ $R[rA] \leftarrow valM$
PC update	$PC \leftarrow valP / (Cnd ? valC : valP) / valC / valM$

指令处理

Stage	$OPq\ rA, rB$	$rrmovq\ rA, rB$	$irmovq\ V, rB$
Fetch	$icode:ifun \leftarrow M_1[PC]$ $rA:rB \leftarrow M_1[PC + 1]$ $valP \leftarrow PC + 2$	$icode:ifun \leftarrow M_1[PC]$ $rA:rB \leftarrow M_1[PC + 1]$ $valP \leftarrow PC + 2$	$icode:ifun \leftarrow M_1[PC]$ $rA:rB \leftarrow M_1[PC + 1]$ $valC \leftarrow M_8[PC + 2]$ $valP \leftarrow PC + 10$
Decode	$valA \leftarrow R[rA]$ $valB \leftarrow R[rB]$	$valA \leftarrow R[rA]$	
Execute	$valE \leftarrow valB\ OP\ valA$ Set CC	$valE \leftarrow 0 + valA$	$valE \leftarrow 0 + valC$
Memory			
Write back	$R[rB] \leftarrow valE$	$R[rB] \leftarrow valE$	$R[rB] \leftarrow valE$
PC update	$PC \leftarrow valP$	$PC \leftarrow valP$	$PC \leftarrow valP$

指令处理

Stage	rmmovq rA, D(rB)	mrmovq D(rB), rA
Fetch	$\text{icode:ifun} \leftarrow M_1[\text{PC}]$ $\text{rA:rB} \leftarrow M_1[\text{PC} + 1]$ $\text{valC} \leftarrow M_8[\text{PC} + 2]$ $\text{valP} \leftarrow \text{PC} + 10$	$\text{icode:ifun} \leftarrow M_1[\text{PC}]$ $\text{rA:rB} \leftarrow M_1[\text{PC} + 1]$ $\text{valC} \leftarrow M_8[\text{PC} + 2]$ $\text{valP} \leftarrow \text{PC} + 10$
Decode	$\text{valA} \leftarrow R[\text{rA}]$ $\text{valB} \leftarrow R[\text{rB}]$	$\text{valB} \leftarrow R[\text{rB}]$
Execute	$\text{valE} \leftarrow \text{valB} + \text{valC}$	$\text{valE} \leftarrow \text{valB} + \text{valC}$
Memory	$M_8[\text{valE}] \leftarrow \text{valA}$	$\text{valM} \leftarrow M_8[\text{valE}]$
Write back		$R[\text{rA}] \leftarrow \text{valM}$
PC update	$\text{PC} \leftarrow \text{valP}$	$\text{PC} \leftarrow \text{valP}$

指令处理

Stage	<code>cmoveXX rA, rB</code>
Fetch	$\text{icode:ifun} \leftarrow M_1[\text{PC}]$ $rA:rB \leftarrow M_1[\text{PC} + 1]$ $\text{valP} \leftarrow \text{PC} + 2$
Decode	$\text{valA} \leftarrow R[rA]$
Execute	$\text{valE} \leftarrow 0 + \text{valA}$ $\text{Cnd} \leftarrow \text{Cond(CC, ifun)}$
Memory	
Write back	$\text{if } (\text{Cnd}) R[rB] \leftarrow \text{valE}$
PC update	$\text{PC} \leftarrow \text{valP}$

指令处理

Stage	pushq rA	popq rA
Fetch	$\text{icode:ifun} \leftarrow M_1[\text{PC}]$ $rA:rB \leftarrow M_1[\text{PC} + 1]$ $\text{valP} \leftarrow \text{PC} + 2$	$\text{icode:ifun} \leftarrow M_1[\text{PC}]$ $rA:rB \leftarrow M_1[\text{PC} + 1]$ $\text{valP} \leftarrow \text{PC} + 2$
Decode	$\text{valA} \leftarrow R[rA]$ $\text{valB} \leftarrow R[%rsp]$	$\text{valA} \leftarrow R[%rsp]$ $\text{valB} \leftarrow R[%rsp]$
Execute	$\text{valE} \leftarrow \text{valB} + (-8)$	$\text{valE} \leftarrow \text{valB} + 8$
Memory	$M_8[\text{valE}] \leftarrow \text{valA}$	$\text{valM} \leftarrow M_8[\text{valA}]$
Write back	$R[%rsp] \leftarrow \text{valE}$ $R[rA] \leftarrow \text{valM}$	$R[%rsp] \leftarrow \text{valE}$ $R[rA] \leftarrow \text{valM}$
PC update	$\text{PC} \leftarrow \text{valP}$	$\text{PC} \leftarrow \text{valP}$

Overview

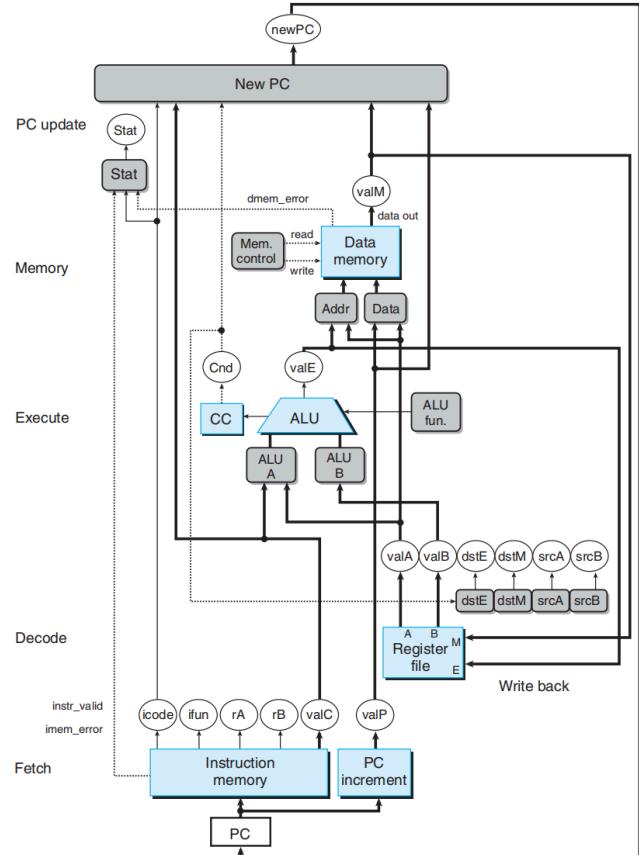


Figure 4.23 Hardware structure of SEQ, a sequential implementation. Some of the control signals, as well as the register and control word connections, are not shown.

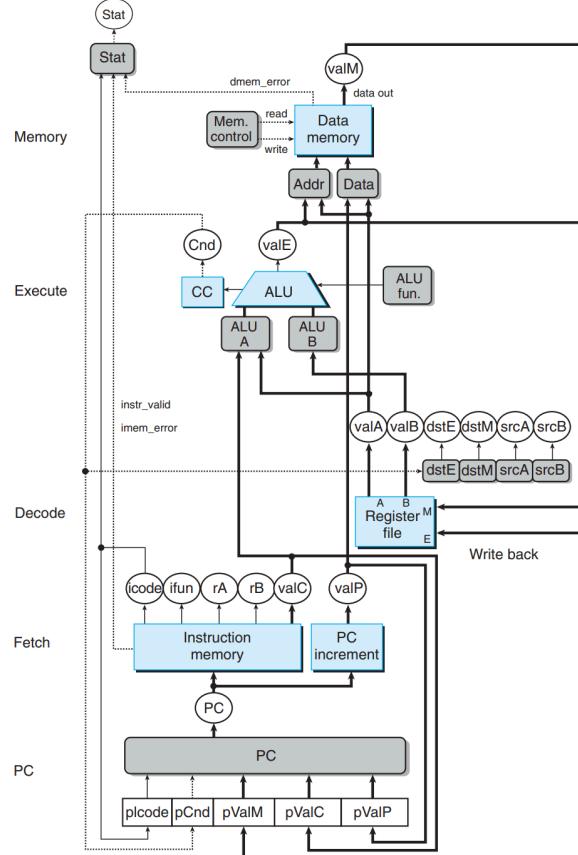


Figure 4.40 SEQ+ hardware structure. Shifting the PC computation from the end of the clock cycle to the beginning makes it more suitable for pipelining.

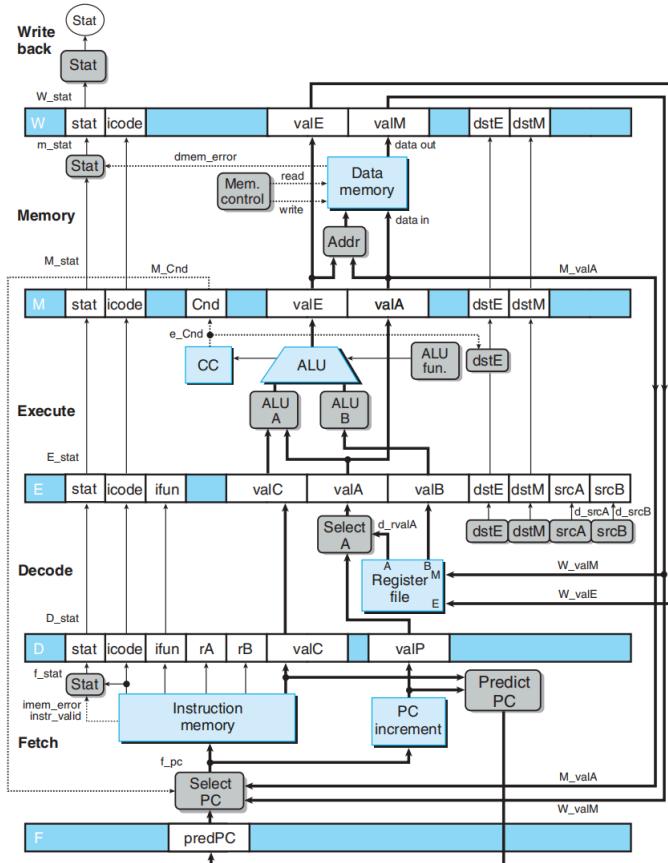


Figure 4.41 Hardware structure of PIPE-, an initial pipelined implementation. By inserting pipeline registers into SEQ+ (Figure 4.40), we create a five-stage pipeline. There are several shortcomings of this version that we will deal with shortly.

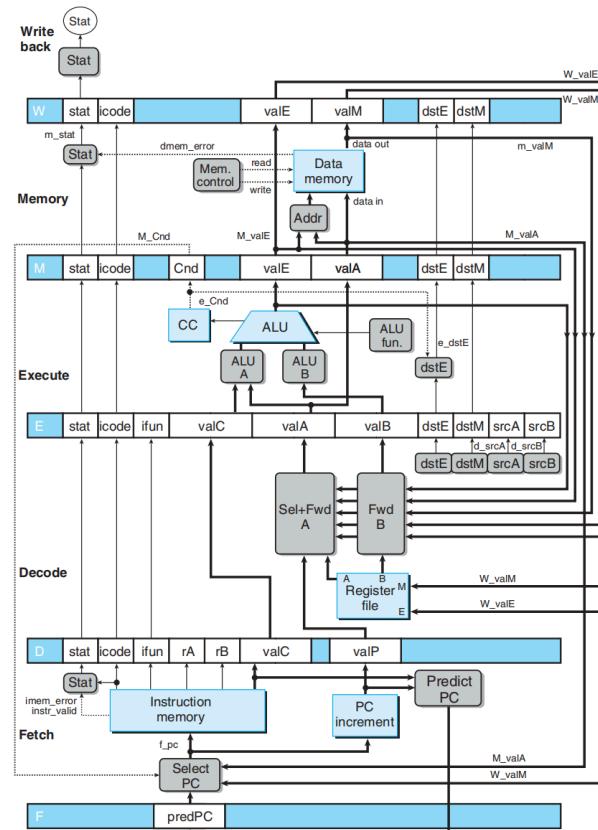


Figure 4.52 Hardware structure of PIPE, our final pipelined implementation. The additional bypassing paths enable forwarding the results from the three preceding instructions. This allows us to handle most forms of data hazards without stalling the pipeline.

Details

SEQ、PIPE的具体实现图、HCL代码都需要详细掌握

此处不再说明，详见【补充资料】部分

SEQ->SEQ+

前置PC

- 电路重定时：改变状态表示而不改变逻辑
- 目的：平衡一个流水线各个阶段之间的延迟
- 在 SEQ+ 的实现里，PC update 的时期从周期的最后被提到了最前，更加接近流水线的形态

SEQ+ -> PIPE-

阶段划分

在 Y86-64 的实现中：

- 正常指令指令默认预测 PC 为下一条指令的地址；
- call 指令和 jxx 指令默认预测 PC 为跳转后地址；
- ret 指令不进行任何预测，直到其对应的写回完成

插入流水线寄存器：分别插入了5个流水线寄存器用来保存后续阶段所需的信号，编号为 F、D、E、M 和 W

- **Fetch**: Select current PC; Read instruction; Compute incremented PC
- **Decode**: Read program registers
- **Execute**: Operate ALU
- **Memory**: Read or write data memory
- **Write Back**: Update register file

寄存器顺序：F—f—D—d—E—e—M—m—W

PIPE->PIPE

处理冒险

- 硬件：暂停和气泡
 - stall 能将指令阻塞在某个阶段
 - bubble 能使得流水线继续运行，但是不会改变当前阶段的寄存器、内存、条件码或程序状态
- 结构冒险
 - 计算的多时钟周期：采用独立于主流水线的特殊硬件功能单元来处理较为复杂的操作（一个功能单元执行整数乘法和除法，一个功能单元执行浮点操作）
 - 访存的多时钟周期：
 - 翻译后备缓冲器 (TLB) + 高速缓存 (Cache)：实现一个时钟周期内读指令并读或写数据
 - 缺页 (page fault) 异常信号：指令暂停+磁盘到主存传送+指令重新执行

PIPE->PIPE

处理冒险

■ 数据冒险

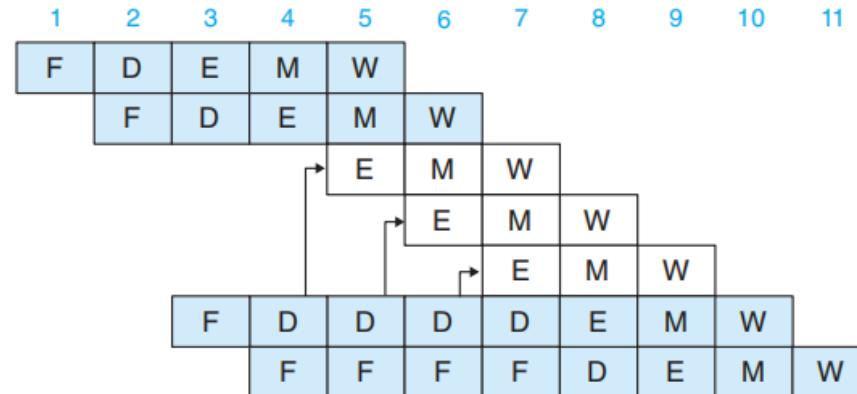
- **前后使用数据冒险**: 在处理器中, `valA` 和 `valB` 一共有5个转发源:
 - `e_valE` : 在执行阶段, ALU中计算得到的结果 `valE` , 通过 `E_dstE` 与 `d_srcA` 和 `d_src_B` 进行比较决定是否转发。
 - `M_valE` : 将ALU计算的结果 `valE` 保存到流水线寄存器M中, 通过 `M_dstE` 与 `d_srcA` 和 `d_src_B` 进行比较决定是否转发。
 - `m_valM` : 在访存阶段, 从内存中读取的值 `valM` , 通过 `M_dstM` 与 `d_srcA` 和 `d_src_B` 进行比较决定是否转发。
 - `W_valM` : 将内存中的值 `valM` 保存到流水线寄存器W中, 通过 `W_dstM` 与 `d_srcA` 和 `d_src_B` 进行比较决定是否转发。
 - `W_valE` : 将ALU计算的结果 `valE` 保存到流水线寄存器W中, 通过 `W_dstE` 与 `d_srcA` 和 `d_src_B` 进行比较决定是否转发。

PIPE->PIPE

处理冒险

- 数据冒险
 - 用暂停来避免数据冒险
 - 插入一段自动产生的 `nop` 指令
 - 该方法指令要停顿最少一个最多三个时钟周期，严重降低整体的吞吐量

```
# prog4  
0x000: irmovq $10,%rdx  
0x00a: irmovq $3,%rax  
        bubble  
        bubble  
        bubble  
0x014: addq %rdx,%rax  
0x016: halt
```



PIPE->PIPE

处理冒险

- 数据冒险
 - 加载/使用数据冒险

Condition	Trigger
Processing ret	$IRET \in \{D_icode, E_icode, M_icode\}$
Load/use hazard	$E_icode \in \{IMRMOVQ, IPOPQ\} \&& E_dstM \in \{d_srcA, d_srcB\}$
Mispredicted branch	$E_icode = IJXX \&& !e_Cnd$
Exception	$m_stat \in \{SADR, SINS, SHLT\} \mid\mid W_stat \in \{SADR, SINS, SHLT\}$

Condition	Pipeline register				
	F	D	E	M	W
Processing ret	stall	bubble	normal	normal	normal
Load/use hazard	stall	stall	bubble	normal	normal
Mispredicted branch	normal	bubble	bubble	normal	normal

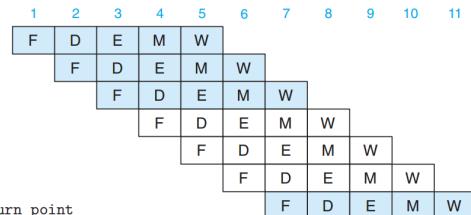
PIPE->PIPE

处理冒险

■ 控制冒险

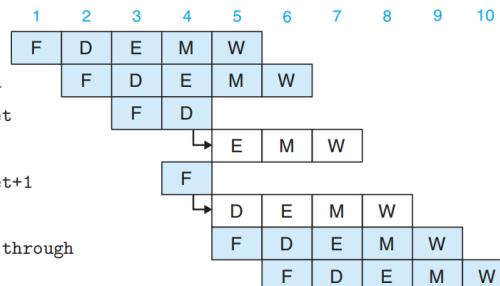
- ret指令(不预测)：删除后续操作——插入3个bubble

```
# prog7  
0x000: irmovq Stack,%edx  
0x00a: call proc  
0x020: ret  
  
        bubble  
        bubble  
        bubble  
  
0x013: irmovq $10,%edx # Return point
```



- 跳转指令（预测）：删除后续操作——插入2个bubble

```
# prog7  
1  
0x000: xorq %rax,%rax  
0x002: jne target # Not taken F  
0x016: irmovl $2,%rdx # Target  
        bubble  
0x020: irmovl $3,%rbx # Target+1  
        bubble  
0x00b: irmovq $1,%rax # Fall through  
0x015: halt
```

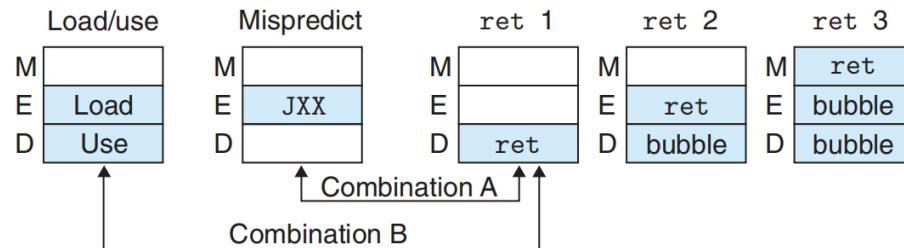


PIPE->PIPE

处理冒险

- 检验自洽

- 控制条件组合——有限性组合： **Combination A + B**
 - Combination A: **ret位于不选择分支** ——简单叠加
 - Combination B: **加载/使用+ret** ——取”**stall**”
 - 加载互锁核心思想：通过暂停+转发组合实现
 - 合理性： Install后，下一条指令无法进入寄存器，当前指令因为bubble并未成功下传
 - 有效性： Install后，当前指令ret依然存在于流水线中，加载/使用语句后可进一步执行



PIPE->PIPE

处理冒险

- 检验自治

Condition	Pipeline register				
	F	D	E	M	W
Processing ret	stall	bubble	normal	normal	normal
Mispredicted branch	normal	bubble	bubble	normal	normal
Combination	stall	bubble	bubble	normal	normal

Condition	Pipeline register				
	F	D	E	M	W
Processing ret	stall	bubble	normal	normal	normal
Load/use hazard	stall	stall	bubble	normal	normal
Combination	stall	bubble+stall	bubble	normal	normal
Desired	stall	stall	bubble	normal	normal

PIPE->PIPE

处理冒险

- 异常处理
 - 内部异常：
 - HLT：执行halt指令
 - ADR：从非法内存地址读或向非法内存地址写
 - INS：非法指令
 - 外部异常
 - 系统重启
 - I/O设备请求
 - 硬件故障
- 要求：异常指令之前的所有指令已经完成，后续的指令都不能修改条件码寄存器和内存。

PIPE->PIPE

处理冒险

- 异常处理

1. 当同时多条指令引起异常时，处理器应该向操作系统报告哪个异常？

基本原则：由流水线中最深的指令引起的异常，表示该指令越早执行，优先级最高。

2. 在分支预测中，当预测分支中出现了异常，而后由于预测错误而取消该指令时，需要取消异常。
3. 如何处理不同阶段更新系统状态不同部分的问题？

- 异常发生时，记录指令状态，继续取指、译码、执行
- 异常到达 **访存阶段**：
 1. 执行阶段，禁止设置条件码 ($set_cc \leftarrow m_stat, W_stat$)
 2. 访存阶段，插入气泡，禁止写入内存
 3. 写回阶段，暂停写回，即暂停流水线

Homework Review

Exercises

Processor Arch: ISA & Logic

E1

10. 下面有三组对于指令集的描述，它们分别符合 ①_____，②_____，③_____ 的特点。

- ① 某指令集中，只有两条指令能够访问内存。
- ② 某指令集中，指令的长度都是 4 字节。
- ③ 某指令集中，可以只利用一条指令完成字符串的复制，也可以只利用一条指令查找字符串中第一次出现字母 K 的位置。

- A. CISC, CISC, CISC
- B. RISC, RISC, CISC
- C. RISC, CISC, RISC
- D. CISC, RISC, RISC

E1

10. 下面有三组对于指令集的描述，它们分别符合 ①_____，②_____，③_____ 的特点。

- ① 某指令集中，只有两条指令能够访问内存。
- ② 某指令集中，指令的长度都是 4 字节。
- ③ 某指令集中，可以只利用一条指令完成字符串的复制，也可以只利用一条指令查找字符串中第一次出现字母 K 的位置。

- A. CISC, CISC, CISC
- B. RISC, RISC, CISC
- C. RISC, CISC, RISC
- D. CISC, RISC, RISC

【答】B。 ①的访存模式单一，更加符合 RISC 的特点；②的指令长度固定，更加符合 RISC 的特点；③的指令功能丰富而复杂，更加符合 CISC 的特点。

E2

9. 请比较 RISC 和 CISC 的特点，回答下述问题：

假设编译技术处于发展初期，程序员更愿意使用汇编语言编程来解决实际问题，那么程序员会更倾向于选用 _____ ISA。

假设你设计的处理器速度非常快，但存储系统设计使得取指令的速度非常慢（也许是处理单元的十分之一）。这时你会更倾向于选用 _____ ISA。

- A) RISC、RISC B) CISC、CISC C) RISC、CISC D) CISC、RISC

E2

9. 请比较 RISC 和 CISC 的特点，回答下述问题：

假设编译技术处于发展初期，程序员更愿意使用汇编语言编程来解决实际问题，那么程序员会更倾向于选用 _____ ISA。

假设你设计的处理器速度非常快，但存储系统设计使得取指令的速度非常慢（也许是处理单元的十分之一）。这时你会更倾向于选用 _____ ISA。

- A) RISC、RISC
- B) CISC、CISC
- C) RISC、CISC
- D) CISC、RISC

答案：B

//知识点 1：CISC 有更多的指令，有些更接近高级语言

//知识点 2：CISC 的指令功能更复杂，指令执行需要更多的周期，一定程度上可以平衡处理速度与指令访存的速度差异。不过，通常处理器设计中，主要通过多层次的存储体系结构来弥补两者之的速度差异。

E3

9. 下面关于 RISC 和 CISC 的描述中，正确的是：
- A. CISC 和早期 RISC 在寻址方式上相似，通常只有基址和偏移量寻址
 - B. CISC 指令集可以对内存和寄存器操作数进行算术和逻辑运算，而 RISC 只能对寄存器操作数进行算术和逻辑运算
 - C. CISC 和早期的 RISC 指令集都有条件码，用于条件分支检测
 - D. CISC 机器中的寄存器数目较少，函数参数必须通过栈来进行传递；RISC 机器中的寄存器数目较多，只需要通过寄存器来传递参数，避免了不必要的存储访问

E3

9. 下面关于 RISC 和 CISC 的描述中，正确的是：
- A. CISC 和早期 RISC 在寻址方式上相似，通常只有基址和偏移量寻址
 - B. CISC 指令集可以对内存和寄存器操作数进行算术和逻辑运算，而 RISC 只能对寄存器操作数进行算术和逻辑运算
 - C. CISC 和早期的 RISC 指令集都有条件码，用于条件分支检测
 - D. CISC 机器中的寄存器数目较少，函数参数必须通过栈来进行传递；RISC 机器中的寄存器数目较多，只需要通过寄存器来传递参数，避免了不必要的存储访问

答案： B

E4

8. 下面对指令系统的描述中，错误的是：（ ）

- A. CISC 指令系统中的指令数目较多，有些指令的执行周期很长；而 RISC 指令系统中通常指令数目较少，指令的执行周期都较短。
- B. CISC 指令系统中的指令编码长度不固定；RISC 指令系统中的指令编码长度固定，这样使得 CISC 机器可以获得了更短的代码长度。
- C. CISC 指令系统支持多种寻址方式，RISC 指令系统支持的寻址方式较少。
- D. CISC 机器中的寄存器数目较少，函数参数必须通过栈来进行传递；RISC 机器中的寄存器数目较多，只需要通过寄存器来传递参数，避免了不必要的存储访问。

E4

8. 下面对指令系统的描述中，错误的是：（ ）

- A. CISC 指令系统中的指令数目较多，有些指令的执行周期很长；而 RISC 指令系统中通常指令数目较少，指令的执行周期都较短。
- B. CISC 指令系统中的指令编码长度不固定；RISC 指令系统中的指令编码长度固定，这样使得 CISC 机器可以获得了更短的代码长度。
- C. CISC 指令系统支持多种寻址方式，RISC 指令系统支持的寻址方式较少。
- D. CISC 机器中的寄存器数目较少，函数参数必须通过栈来进行传递；RISC 机器中的寄存器数目较多，只需要通过寄存器来传递参数，避免了不必要的存储访问。

答案： D

E5

11. 下面有关指令系统设计的描述正确的是：

- A. 采用 CISC 指令比 RISC 指令代码更长。
- B. 采用 CISC 指令比 RISC 指令运行时间更短
- C. 采用 CISC 指令比 RISC 指令译码电路更加复杂
- D. 采用 CISC 指令比 RISC 指令的流水线吞吐更高

E5

11. 下面有关指令系统设计的描述正确的是：

- A. 采用 CISC 指令比 RISC 指令代码更长。
- B. 采用 CISC 指令比 RISC 指令运行时间更短
- C. 采用 CISC 指令比 RISC 指令译码电路更加复杂
- D. 采用 CISC 指令比 RISC 指令的流水线吞吐更高

答案：C，CISC 的比 RISC 代码复杂（如不定长），因此译码也更复杂，优点是代码更短。运行时间和吞吐都谁更高要依据实际应用。

E6

11、关于 RISC 和 CISC 的描述，正确的是：

- A. CISC 指令系统的指令编码可以很短，例如最短的指令可能只有一个字节，因此 CISC 的取指部件设计会比 RISC 更为简单。
- B. CISC 指令系统中的指令数目较多，因此程序代码通常会比较长；而 RISC 指令系统中通常指令数目较少，因此程序代码通常会比较短。
- C. CISC 指令系统支持的寻址方式较多，RISC 指令系统支持的寻址方式较少，因此用 CISC 在程序中实现访存的功能更容易。
- D. CISC 机器中的寄存器数目较少，函数参数必须通过栈来进行传递；RISC 机器中的寄存器数目较多，只需要通过寄存器来传递参数。

E6

11、关于 RISC 和 CISC 的描述，正确的是：

- A. CISC 指令系统的指令编码可以很短，例如最短的指令可能只有一个字节，因此 CISC 的取指部件设计会比 RISC 更为简单。
- B. CISC 指令系统中的指令数目较多，因此程序代码通常会比较长；而 RISC 指令系统中通常指令数目较少，因此程序代码通常会比较短。
- C. CISC 指令系统支持的寻址方式较多，RISC 指令系统支持的寻址方式较少，因此用 CISC 在程序中实现访存的功能更容易。
- D. CISC 机器中的寄存器数目较少，函数参数必须通过栈来进行传递；RISC 机器中的寄存器数目较多，只需要通过寄存器来传递参数。

答案：C

考查对 CISC 和 RISC 基本特点的描述，A 和 B 都是描述反了，D 则是太绝对，RISC 也有可能用栈来传递参数。

E7

4. 下述关于 RISC 和 CISC 的讨论，哪个是错误的
- A. RISC 指令集包含的指令数量通常比 CISC 的少
 - B. RISC 的寻址方式通常比 CISC 的寻址方式少
 - C. RISC 的指令长度通常短于 CISC 的指令长度
 - D. 手机处理器通常采用 RISC，而 PC 采用 CISC

E7

4. 下述关于 RISC 和 CISC 的讨论，哪个是错误的
- A. RISC 指令集包含的指令数量通常比 CISC 的少
 - B. RISC 的寻址方式通常比 CISC 的寻址方式少
 - C. RISC 的指令长度通常短于 CISC 的指令长度
 - D. 手机处理器通常采用 RISC，而 PC 采用 CISC
4. C。CISC 变长指令，有不少指令的长度是要比 RISC 短的。当代手机常常采用 ARM 架构，这是 RISC；实际上对能耗要求高或者结构简单的设备一般都用 RISC。

E8

5. 下面对指令系统的描述中，错误的是：()
- A. 通常 CISC 指令集中的指令数目较多，有些指令的执行周期很长；而 RISC 指令集中指令数目较少，指令的执行周期较短。
 - B. 通常 CISC 指令集中的指令长度不固定；RISC 指令集中的指令长度固定。
 - C. 通常 CISC 指令集支持多种寻址方式，RISC 指令集支持的寻址方式较少。
 - D. 通常 CISC 指令集处理器的寄存器数目较多，RISC 指令集处理器的寄存器数目较少。

E8

5. 下面对指令系统的描述中，错误的是：（ ）
- A. 通常 CISC 指令集中的指令数目较多，有些指令的执行周期很长；而 RISC 指令集中指令数目较少，指令的执行周期较短。
 - B. 通常 CISC 指令集中的指令长度不固定；RISC 指令集中的指令长度固定。
 - C. 通常 CISC 指令集支持多种寻址方式，RISC 指令集支持的寻址方式较少。
 - D. 通常 CISC 指令集处理器的寄存器数目较多，RISC 指令集处理器的寄存器数目较少。
5. D。送分题，RISC 中寄存器一般更多。

E9

1. 下列描述更符合（早期）RISC 还是 CISC？

	描述
(1)	指令机器码长度固定
(2)	指令类型多、功能丰富
(3)	不采用条件码
(4)	实现同一功能，需要的汇编代码较多
(5)	译码电路复杂
(6)	访存模式多样
(7)	参数、返回地址都使用寄存器进行保存
(8)	x86-64
(9)	MIPS
(10)	广泛用于嵌入式系统
(11)	已知某个体系结构使用 add R1,R2,R3 来完成加法运算。当要将数据从寄存器 S 移动至寄存器 D 时，使用 add S,#ZR,D 进行操作（#ZR 是一个恒为 0 的寄存器），而没有类似于 mov 的指令。
(12)	已知某个体系结构提供了 xlat 指令，它以一个固定的寄存器 A 为基址，以另一个固定的寄存器 B 为偏移量，在 A 对应的数组中取出下标为 B 的项的内容，放回寄存器 A 中。

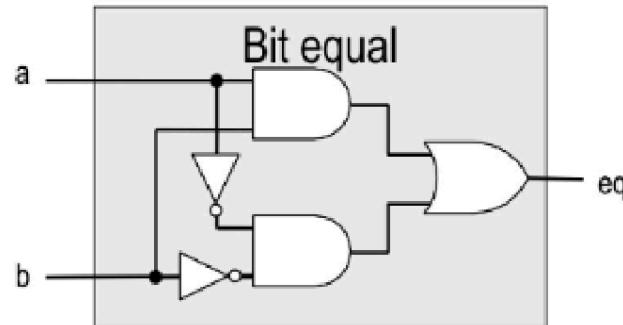
E9

1. 下列描述更符合（早期）RISC 还是 CISC？

	描述	RISC	CISC
(1)	指令机器码长度固定	✓	
(2)	指令类型多、功能丰富		✓
(3)	不采用条件码	✓	
(4)	实现同一功能，需要的汇编代码较多	✓	
(5)	译码电路复杂		✓
(6)	访存模式多样		✓
(7)	参数、返回地址都使用寄存器进行保存	✓	
(8)	x86-64		✓
(9)	MIPS	✓	
(10)	广泛用于嵌入式系统	✓	
(11)	已知某个体系结构使用 add R1, R2, R3 来完成加法运算。当要将数据从寄存器 S 移动至寄存器 D 时，使用 add S, #ZR, D 进行操作（#ZR 是一个恒为 0 的寄存器），而没有类似于 mov 的指令。	✓	
(12)	已知某个体系结构提供了 xlat 指令，它以一个固定的寄存器 A 为基址，以另一个固定的寄存器 B 为偏移量，在 A 对应的数组中取出下标为 B 的项的内容，放回寄存器 A 中。		✓

E10

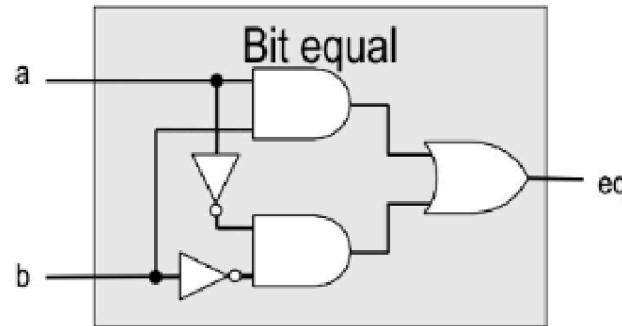
10. 对应下述组合电路的正确 HCL 表达式为：



- A. Bool *eq* = (*a* or *b*) and (!*a* or !*b*)
- B. Bool *eq* = (*a* and *b*) or (!*a* and !*b*)
- C. Bool *eq* = (*a* or !*b*) and (!*a* or *b*)
- D. Bool *eq* = (*a* and !*b*) or (!*a* and *b*)

E10

10. 对应下述组合电路的正确 HCL 表达式为：

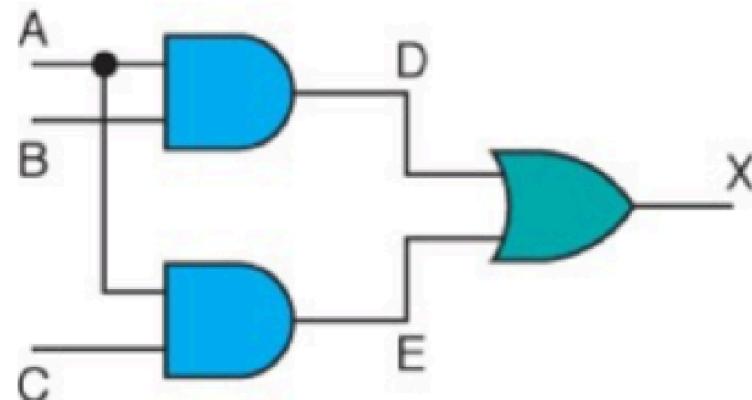


- A. Bool eq = (a or b) and (!a or !b)
- B. Bool eq = (a and b) or (!a and !b)
- C. Bool eq = (a or !b) and (!a or b)
- D. Bool eq = (a and !b) or (!a and b)

答案： B

E11

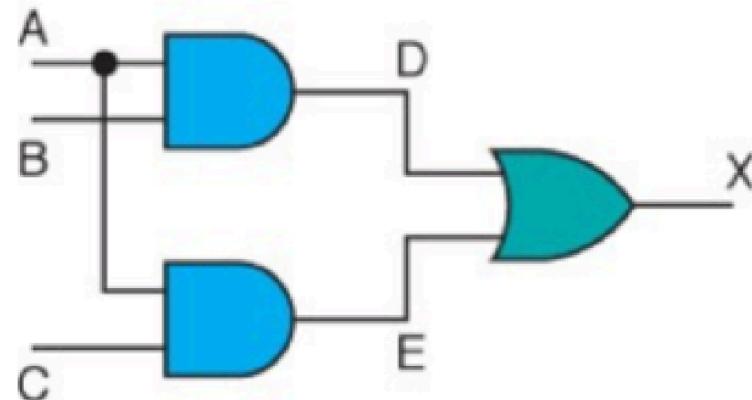
9、对应下述组合电路的正确 HCL 表达式为



- A. Bool X = (A || B) && (A || C)
- B. Bool X = A || (B && C)
- C. Bool X = A && (B || C)
- D. Bool X = A || B || C

E11

9、对应下述组合电路的正确 HCL 表达式为

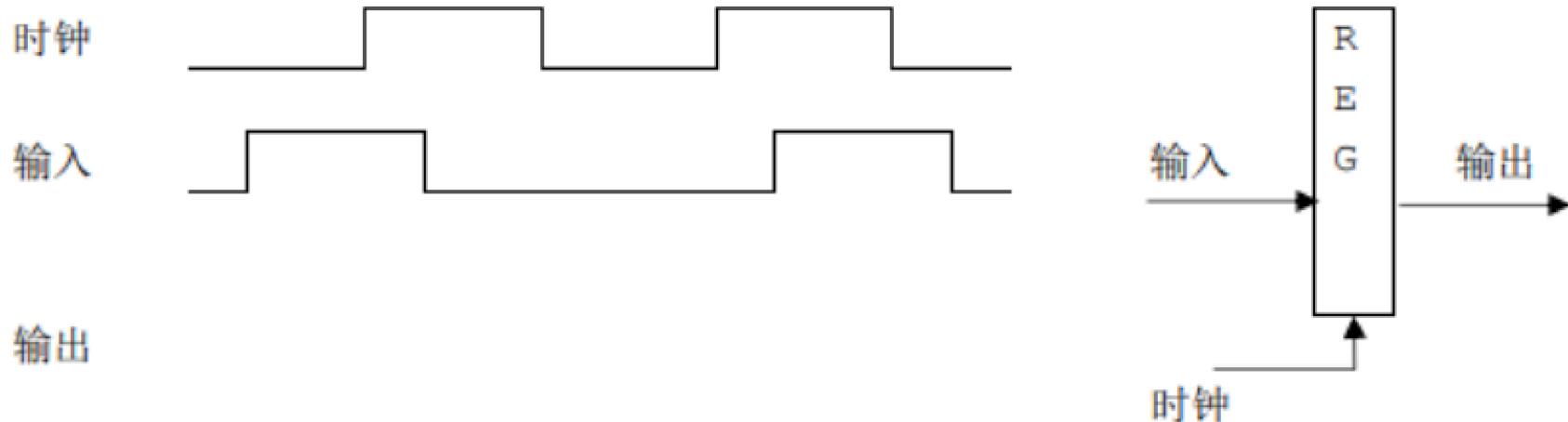


- A. Bool X = (A || B) && (A || C)
- B. Bool X = A || (B && C)
- C. Bool X = A && (B || C)
- D. Bool X = A || B || C

答案: C

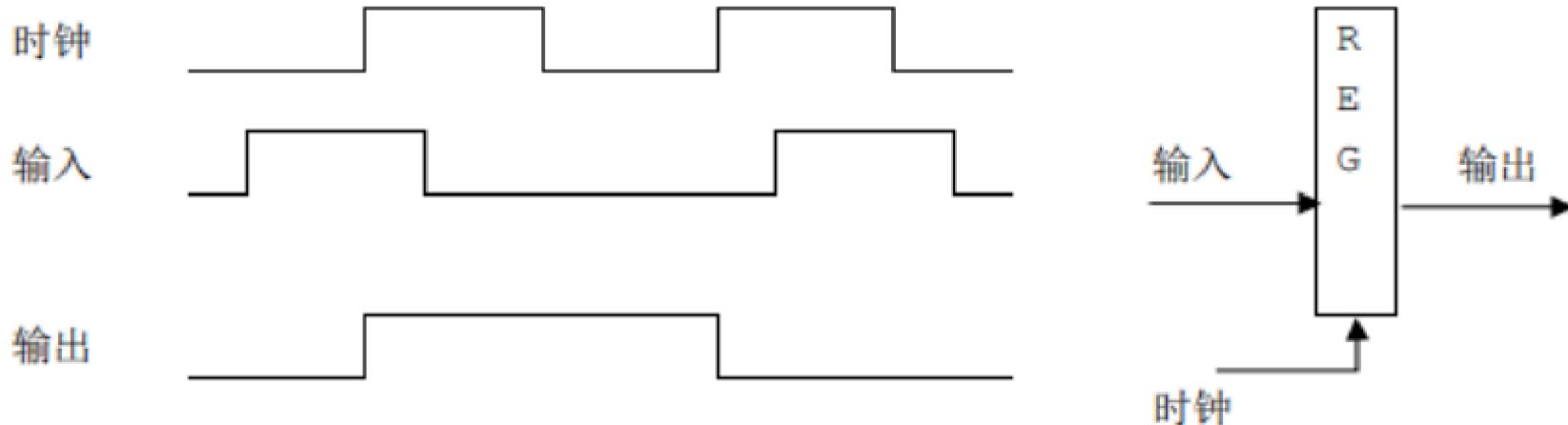
E12

3. 下列寄存器在时钟上升沿锁存数据，画出输出的电平（忽略建立/保持时间）



E12

3. 下列寄存器在时钟上升沿锁存数据，画出输出的电平（忽略建立/保持时间）



E13

第二题 (20 分)

1. 在 64 位机器上，判断下列等式是否恒成立

```
/* random_int() 函数返回一个随机的 int 类型值 */
int x = random_int();
int y = random_int();
int z = random_int();
unsigned ux = (unsigned)x;
long lx = (long)x; /* long 为 64 位 */
long ly = (long)y;
double dx = (double)x;
double dy = (double)y;
double dz = (double)z;
```

Expression	Always True?
$(x \geq 0) \ \ (3*x < 0)$	Y N
$(x \geq 0) \ \ (x < ux)$	Y N
$((x \gg 1) \ll 1) \leq x$	Y N
$((x-y)<3) + (x>>1) - y == 8*x - 9*y + x/2$	Y N
$(x - y > 0) == ((y+x+1)>>31 == 1)$	Y N
$dx + dy == (double)(y+x)$	Y N
$dx + dy + dz == dz + dy + dx$	Y N
$(int)((lx+ly)>>1) == ((x&y) + ((x^y)>>1))$	Y N

2. 假设 C 语言中新定义了一种数据类型 T，该类型为 12-bit 长的浮点数，此浮点数遵循 IEEE 浮点数格式，其字段划分如下：

符号位 (s): 1-bit; 阶码字段 (exp): 6-bit; 小数字段 (frac): 5-bit。

- 1) 若将该格式下能表示的所有正规格数从小到大依次排列，则
相邻两数之间差值的最小值为 _____，最大值为 _____

- 2) 现定义了如下变量：

```
T a = -15.875;
T b = (1<<28) + (1<<24) + (1<<22);
T c = a*b;
```

请写出各变量的二进制表示：

变量	二进制表示
a	
b	
c	

E13

第二题 (20 分)

1. 在 64 位机器上，判断下列等式是否恒成立

```
/* random_int() 函数返回一个随机的 int 类型值 */
int x = random_int();
int y = random_int();
int z = random_int();
unsigned ux = (unsigned)x;
long lx = (long)x; /* long 为 64 位 */
long ly = (long)y;
double dx = (double)x;
double dy = (double)y;
double dz = (double)z;
```

Expression	Always True?
(x >= 0) (3*x < 0)	Y N
(x >= 0) (x < ux)	Y N
((x >> 1) << 1) <= x	Y N
((x-y)<<3) + (x>>1) - y == 8*x - 9*y + x/2	Y N
(x - y > 0) == ((y+x+1)>>31 == 1)	Y N
dx + dy == (double)(y+x)	Y N
dx + dy + dz == dz + dy + dx	Y N
(int)((lx+ly)>>1) == ((x&y) + ((x^y)>>1))	Y N

2. 假设 C 语言中新定义了一种数据类型 T，该类型为 12-bit 长的浮点数，此浮点数遵循 IEEE 浮点数格式，其字段划分如下：

符号位 (s): 1-bit; 阶码字段 (exp): 6-bit; 小数字段 (frac): 5-bit。

- 1) 若将该格式下能表示的所有正规格数从小到大依次排列，则
相邻两数之间差值的最小值为 _____，最大值为 _____

- 2) 现定义了如下变量：

```
T a = -15.875;
T b = (1<<28) + (1<<24) + (1<<22);
T c = a*b;
```

请写出各变量的二进制表示：

变量	二进制表示
a	
b	
c	

答案

N 考虑 $x = (1<<31)>>1$

N 考虑 $x = -1$

Y

N 考虑 $x = -1 \ y = 0$

N 考虑 $x-y = T_{min}$

N 考虑 $x+y$ 溢出

Y 恒成立，每一个 int 型都可以由一个 double 型精确表示

Y 恒成立

答案：

1)

2^{-35}

2^{26}

2)

1 100011 00000 (发生进位)

0 111011 00010 (发生舍入)

1 111111 00000 (溢出, $+\infty$)

E14

第三题 (20 分)

(1) 观察下面C语言函数和它相应的x86-64汇编代码

```
int foo(int x, int i)
{
    switch(i)
    {
        case 1:
            x -= 10;
        case 2:
            x *= 8;
            break;
        case 3:
            x += 5;
        case 5:
            x /= 2;
            break;
        case 0:
            x *= 1;
            default:
                x += i;
    }
    return x;
}

00000000004004a8 <foo>:
4004a8: mov %edi,%edx
4004aa: cmp $0x5,%esi
4004ad: ja 4004d4 <foo+0x2c>
4004af: mov %esi,%eax
4004b1: jmpq *0x400690(%rax,8)
4004b8: sub $0xa,%edx
4004bb: shr $0x3,%edx
4004be: jmp 4004d6 <foo+0xe>
4004c0: add $0x5,%edx
4004c3: mov %edx,%eax
4004c5: shr $0x1f,%eax
4004c8: lea (%rdx,%rax,1),%eax
4004cb: mov %eax,%edx
4004cd: sar %edx
4004cf: jmp 4004d6 <foo+0xe>
4004d1: and $0x1,%edx
4004d4: add %esi,%edx
4004d6: mov %edx,%eax
4004d8: retq
```

调用gdb命令`x/kg $rsp`将会检查从`rsp`中的地址开始的k个8字节字，请填写下面gdb命令的输出（每空一分）。

>(gdb) x/6g 0x400690

0x400690: 0x_____ 0x_____
0x4006a0: 0x_____ 0x_____
0x4006b0: 0x_____ 0x_____

(2) 右边的汇编代码是由左边程序中的`m`函数编译而成。回答如下问题。

<pre>typedef struct _list { struct _list* next; int value; } list; int m(list* p) { int r = 100; while (_①_) { r = __②__; p = __③__; } if (p != 0) r = __④__; return r; }</pre>	<pre>m: testq %rdi, %rdi je .L6 movq (%rdi), %rdx movl \$100, %eax testq %rdx, %rdx jne .L4 jmp .L3 .L14: movq (%rdi), %rdx testq %rdx, %rdx je .L3 movl 8(%rdx), %r8d __⑤__ 8(%rdi), %r8d __⑥__ %r8d, %eax movq (%rdi), %rdi testq %rdi, %rdi jne .L14 ret .L3: __⑦__ 8(%rdi), %eax ret .L6: movl \$100, %eax ret</pre>
--	---

已知访存延迟 1 个指令周期。不访存的时候 `addl` 延迟 4 个指令周期，`imull` 延迟 8 个指令周期，其他指令延迟 1 个指令周期。指令访存时延迟的执行周期为不访存的时候延迟的指令周期和访存延迟的周期之和。函数`m`中的循环在处理链表`p`的时候 CPE 为 4 个指令周期。⑤处的指令为`movl`, `addl`, `imull`中的一个。请填写①-⑦处的代码。

① _____

② _____

③ _____

④ _____

⑤ _____

E14

答案：

(1) 每空 1 分

0x400690:	0x00000000004004d1	0x00000000004004b8
0x4006a0:	0x00000000004004bb	0x00000000004004c0
0x4006b0:	0x00000000004004d4	0x00000000004004c3

(2) ⑤空 2 分, 其他 3 分

① $p \neq 0 \ \&\ p->next \neq 0$

② $r * (p->value * p->next->value)$ 注意：答案中运算可以交换，但不可结合

③ $p->next->next$

④ $r * p->value$

⑤ imull (因为每次处理两个元素, 所以关键路径的时间周期为 8。关键路径要么为两次访存和两次 mov, 要么为⑤处的运算。前者不可能达到 8, 所以只能是 imull。)

给分说明：如果②④的答案和⑤一致，但是⑤答错了就②④各给 2 分。

E15

第三题 (15 分)

分析下面C语言程序和相应的x86-64汇编程序。其中缺失部分代码（被遮挡），请在对应的横线上填写缺失的内容。

```
#include <stdio.h>
#include "string.h"

void myprint(char *str)
{
    char buffer[16];
    [REDACTED](buffer,str);
    printf("%s \n",buffer);
}

void alert(void)
{
    printf("[REDACTED] \n");
}

int main(int argc,char *argv[])
{
    myprint("123456712345671234567\xaa\x84\x04\x08");
    return 0;
}
*****.section .rodata
.LCO:
    .string "[REDACTED]"
    .text
    .globl myprint
    .type myprint, @function
myprint:
.LFBO:
    .cfi_startproc
    pushq %rbp
    .cfi_def_cfa_offset 16
    .cfi_offset %rbp, -16
    movq %rsp, %rbp
    .cfi_def_cfa_register 6
    subq $48,[REDACTED]
    movq %rdi, -40(%rbp)
    movq %fs:40,[REDACTED]
    movq %rax, -8(%rbp)
    xorl %eax, %eax
    movq [REDACTED], %rdx
    leaq -32(%rbp), %rax
    movq %rdx,[REDACTED]
    [REDACTED]
    call strcpy
    [REDACTED] -32(%rbp), %rax
    movq %rax, %rsi
    movi $LCO, %edi
    movi $0, %eax
    call printf
```

```
nop [REDACTED], %rax
    [REDACTED]
    xorq [REDACTED]
    je [REDACTED]
    call _stack_chk_fail
.L2:
    leave
    .cfi_def_cfa 7, 8
    ret
    .cfi_endproc
.LFBO:
    .size myprint, .-myprint
    .section .rodata
.LC1:
    .string "Where am I?"
    .text
    .globl alert
    .type alert, @function
alert:
.LFBI:
    .cfi_startproc
    pushq %rbp
    .cfi_def_cfa_offset 16
    .cfi_offset %rbp, -16
    movq %rsi, %rbp
    .cfi_def_cfa_register 6
    movl $.LC1, %edi
    call puts
    nop
    popq %rbp
    .cfi_def_cfa 7, 8
    [REDACTED]
    .cfi_endproc
.LFE1:
    .size alert, .-alert
    .section .rodata
    .align 8
.LC2:
    .string "1234567123456712345671234567\252[REDACTED]\004\b"
    .text
    .globl main
    .type main, @function
main:
.LFBS2:
    .cfi_startproc
    pushq %rbp
    .cfi_def_cfa_offset 16
    .cfi_offset %rbp, -16
    movq %rbp, %rbp
    .cfi_def_cfa_register 6
    subq $16,%rsp
    movl %edi, -4(%rbp)
    movq %rsi, -16(%rbp)
    movl $.LC2, %edi
    [REDACTED]
    movl $0, %eax
    leave
    .cfi_def_cfa 7, 8
    ret
    .cfi_endproc
.LFE2:
    .size main, .-main
```

E15

Processor Arch: SEQ/PIPE

E1

10. Y86 指令 `popl rA` 的 SEQ 实现如下图所示，其中①和②分别为：

Fetch	$\text{icode:ifun} \leftarrow M_1[\text{PC}]$ $\text{ra:rb} \leftarrow M_1[\text{PC}+1]$ $\text{valP} \leftarrow \textcircled{1}$
Decode	$\text{valA} \leftarrow R[\%esp]$ $\text{valB} \leftarrow R[\%esp]$
Execute	$\text{valE} \leftarrow \textcircled{2}$
Memory	$\text{valM} \leftarrow M_4[\text{valA}]$
Write Back	$R[\%esp] \leftarrow \text{valE}$ $R[\text{ra}] \leftarrow \text{valM}$
PC Update	$\text{PC} \leftarrow \text{valP}$

- A) $\text{PC} + 4 \quad \text{valA} + 4$
- B) $\text{PC} + 4 \quad \text{valA} + (-4)$
- C) $\text{PC} + 2 \quad \text{valB} + 4$
- D) $\text{PC} + 2 \quad \text{valB} + (-4)$

E1

答案: C

//知识点: popl 弹栈指令, 栈结构

- 1) popl 是双字节指令, 下一条指令位置 PC+2
- 2) Y86 是 32 位体系结构, popl 弹出 4 字节, 弹栈栈指针增加, valA + 4

E2

10. 在 Y86 的 SEQ 实现中，对仅考虑 IRMMOVQ, ICALL, IPOPQ, IRET 指令，对 mem_addr 的 HCL 描述正确的是：

```
word mem_addr = [
    icode in { (1), (2) } : valE;
    icode in { (3), (4) } : valA;
];
```

- A. (1) IRMMOVQ (2) IPOPQ (3) IRET (4) ICALL
- B. (1) IRMMOVQ (2) IRET (3) IPOPQ (4) ICALL
- C. (1) ICALL (2) IPOPQ (3) IRMMOVQ (4) IRET
- D. (1) IRMMOVQ (2) ICALL (3) IPOPQ (4) IRET

E2

10. 在 Y86 的 SEQ 实现中，对仅考虑 IRMMOVQ, ICALL, IPOPQ, IRET 指令，对 mem_addr 的 HCL 描述正确的是：

```
word mem_addr = [
    icode in { (1), (2) } : valE;
    icode in { (3), (4) } : valA;
];
```

- A. (1) IRMMOVQ (2) IPOPQ (3) IRET (4) ICALL
- B. (1) IRMMOVQ (2) IRET (3) IPOPQ (4) ICALL
- C. (1) ICALL (2) IPOPQ (3) IRMMOVQ (4) IRET
- D. (1) IRMMOVQ (2) ICALL (3) IPOPQ (4) IRET

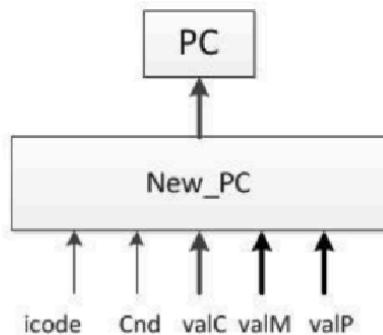
答案： D

E3

14. 在 Y86 的 SEQ 实现中，PC（Program Counter，程序计数器）更新的逻辑

结构如下图所示，请根据 HCL 描述为①②③④选择正确的数据来源。

```
Int new_pc = [
    # Call.
    Icode = ICALL : ①;
    # Taken branch.
    Icode = IJXX && Cnd : ②;
    # Completion of RET instruction.
    Icode = IRET : ③;
    # Default.
    1 : ④;
```



其中：Icode 为指令类型，Cnd 为条件是否成立，valC 表示指令中的常数值，
valM 表示来自返回栈的数据，valP 表示 PC 自增。

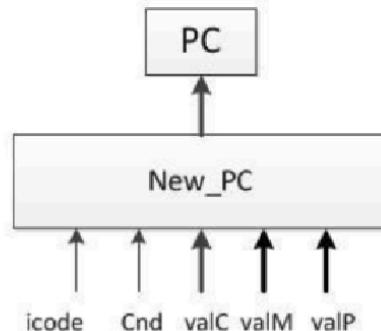
- A. valC, valM, valP, valP
- B. valC, valC, valP, valP
- C. valC, valC, valM, valP
- D. valM, valC, valC, valP

E3

14. 在 Y86 的 SEQ 实现中，PC（Program Counter，程序计数器）更新的逻辑

结构如下图所示，请根据 HCL 描述为①②③④选择正确的数据来源。

```
Int new_pc = [
    # Call.
    Icode = ICALL : ①;
    # Taken branch.
    Icode = IJXX && Cnd : ②;
    # Completion of RET instruction.
    Icode = IRET : ③;
    # Default.
    1 : ④;
```



其中：Icode 为指令类型，Cnd 为条件是否成立，valC 表示指令中的常数值，
valM 表示来自返回栈的数据，valP 表示 PC 自增。

- A. valC, valM, valP, valP
- B. valC, valC, valP, valP
- C. valC, valC, valM, valP
- D. valM, valC, valC, valP

答：C

E4

11. 关于流水线技术的描述，错误的是：

- A. 流水线技术能够提高执行指令的吞吐率，但也同时增加单条指令的执行时间
- B. 增加流水线级数，不一定能获得总体性能的提升
- C. 指令间数据相关引发的数据冒险，不一定可以通过暂停流水线来解决。
- D. 流水级划分应尽量均衡，吞吐率会受到最慢的流水级影响，均衡的流水线能提高吞吐量。

E4

11. 关于流水线技术的描述，错误的是：

- A. 流水线技术能够提高执行指令的吞吐率，但也同时增加单条指令的执行时间
- B. 增加流水线级数，不一定能获得总体性能的提升
- C. 指令间数据相关引发的数据冒险，不一定可以通过暂停流水线来解决。
- D. 流水级划分应尽量均衡，吞吐率会受到最慢的流水级影响，均衡的流水线能提高吞吐量。

答案：C

E5

13. 关于流水线技术的描述，错误的是：

- A. 流水线技术能够提高执行指令的吞吐率，但也同时增加单条指令的执行时间。
- B. 减少流水线的级数，能够减少数据冒险发生的几率。
- C. 指令间数据相关引发的数据冒险，都可以通过 data forwarding 来解决。
- D. 现代处理器支持一个时钟内取指、执行多条指令，会增加控制冒险的开销。

E5

13. 关于流水线技术的描述，错误的是：

- A. 流水线技术能够提高执行指令的吞吐率，但也同时增加单条指令的执行时间。
- B. 减少流水线的级数，能够减少数据冒险发生的几率。
- C. 指令间数据相关引发的数据冒险，都可以通过 data forwarding 来解决。
- D. 现代处理器支持一个时钟内取指、执行多条指令，会增加控制冒险的开销。

答：C，load-use 冒险 不能通过 data forwarding 来解决

E6

12、关于流水线技术的描述，正确的是：

- A. 指令间数据相关引发的数据冒险，一定可以通过暂停流水线来解决。
- B. 流水线技术不仅能够提高执行指令的吞吐率，还能减少单条指令的执行时间。
- C. 增加流水线的级数，一定能获得性能上的提升。
- D. 流水级划分应尽量均衡，不均衡的流水线会增加控制冒险。

答：()

E6

12、关于流水线技术的描述，正确的是：

- A. 指令间数据相关引发的数据冒险，一定可以通过暂停流水线来解决。
- B. 流水线技术不仅能够提高执行指令的吞吐率，还能减少单条指令的执行时间。
- C. 增加流水线的级数，一定能获得性能上的提升。
- D. 流水级划分应尽量均衡，不均衡的流水线会增加控制冒险。

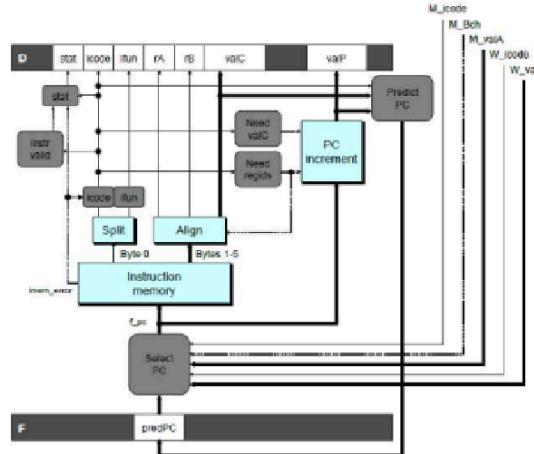
答：()

答案：A

说明：B 会增加单条指令的执行时间，C 可能会降低性能，D 和控制冒险没有关系

E7

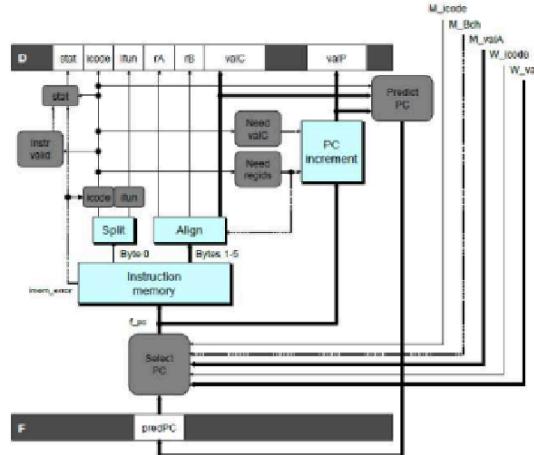
11. 流水线数据通路中的转移预测策略为总是预测跳转。如果转移预测错误，需要恢复流水线，并从正确的目标地址开始取值。其中，用来判断转移预测是否正确的信号是_①_和_②_，用来获得正确的目标地址的信号是_③_。



- A. ① M_icode ② M_Bch ③ M_valA
- B. ① W_icode ② M_Bch ③ M_valA
- C. ① W_icode ② M_Bch ③ W_valM
- D. ① M_icode ② M_Bch ③ W_valM

E7

11. 流水线数据通路中的转移预测策略为总是预测跳转。如果转移预测错误，需要恢复流水线，并从正确的目标地址开始取值。其中，用来判断转移预测是否正确的信号是_①_和_②_，用来获得正确的目标地址的信号是_③_。



- A. ① M_icode ② M_Bch ③ M_valA
- B. ① W_icode ② M_Bch ③ M_valA
- C. ① W_icode ② M_Bch ③ W_valM
- D. ① M_icode ② M_Bch ③ W_valM

E8

第二题 (20 分)

1. 在 64 位机器上，判断下列等式是否恒成立

```
/* random_int() 函数返回一个随机的 int 类型值 */
int x = random_int();
int y = random_int();
int z = random_int();
unsigned ux = (unsigned)x;
long lx = (long)x; /* long 为 64 位 */
long ly = (long)y;
double dx = (double)x;
double dy = (double)y;
double dz = (double)z;
```

Expression	Always True?
$(x \geq 0) \ \ (3*x < 0)$	Y N
$(x \geq 0) \ \ (x < ux)$	Y N
$((x \gg 1) \ll 1) \leq x$	Y N
$((x-y)<3) + (x>>1) - y == 8*x - 9*y + x/2$	Y N
$(x - y > 0) == ((y+x+1)>>31 == 1)$	Y N
$dx + dy == (double)(y+x)$	Y N
$dx + dy + dz == dz + dy + dx$	Y N
$(int)((lx+ly)>>1) == ((x&y) + ((x^y)>>1))$	Y N

2. 假设 C 语言中新定义了一种数据类型 T，该类型为 12-bit 长的浮点数，此浮点数遵循 IEEE 浮点数格式，其字段划分如下：

符号位 (s): 1-bit; 阶码字段 (exp): 6-bit; 小数字段 (frac): 5-bit。

- 1) 若将该格式下能表示的所有正规格数从小到大依次排列，则
相邻两数之间差值的最小值为 _____，最大值为 _____

- 2) 现定义了如下变量：

```
T a = -15.875;
T b = (1<<28) + (1<<24) + (1<<22);
T c = a*b;
```

请写出各变量的二进制表示：

变量	二进制表示
a	
b	
c	

E8

第二题 (20 分)

1. 在 64 位机器上，判断下列等式是否恒成立

```
/* random_int() 函数返回一个随机的 int 类型值 */
int x = random_int();
int y = random_int();
int z = random_int();
unsigned ux = (unsigned)x;
long lx = (long)x; /* long 为 64 位 */
long ly = (long)y;
double dx = (double)x;
double dy = (double)y;
double dz = (double)z;
```

Expression	Always True?
$(x \geq 0) \ \ (3*x < 0)$	Y N
$(x \geq 0) \ \ (x < ux)$	Y N
$((x \gg 1) \ll 1) \leq x$	Y N
$((x-y)<3) + (x>>1) - y == 8*x - 9*y + x/2$	Y N
$(x - y > 0) == ((y+x+1)>>31 == 1)$	Y N
$dx + dy == (double)(y+x)$	Y N
$dx + dy + dz == dz + dy + dx$	Y N
$(int)((lx+ly)>>1) == ((x&y) + ((x^y)>>1))$	Y N

2. 假设 C 语言中新定义了一种数据类型 T，该类型为 12-bit 长的浮点数，此浮点数遵循 IEEE 浮点数格式，其字段划分如下：

符号位 (s): 1-bit; 阶码字段 (exp): 6-bit; 小数字段 (frac): 5-bit。

1) 若将该格式下能表示的所有正规格数从小到大依次排列，则

相邻两数之间差值的最小值为 _____，最大值为 _____

2) 现定义了如下变量：

```
T a = -15.875;
T b = (1<<28) + (1<<24) + (1<<22);
T c = a*b;
```

请写出各变量的二进制表示：

变量	二进制表示
a	
b	
c	

答案： A, B, B, B

答案: A,A,A,B

答案: A,A,B,C

E9

12. 若处理器实现了三级流水线，每一级流水线实际需要的运行时间为 1ns、2ns 和 3ns，则此处理器不停顿地执行完毕 10 条指令需要的时间为：
A. 21 ns B. 12 ns C. 24 ns D. 36 ns

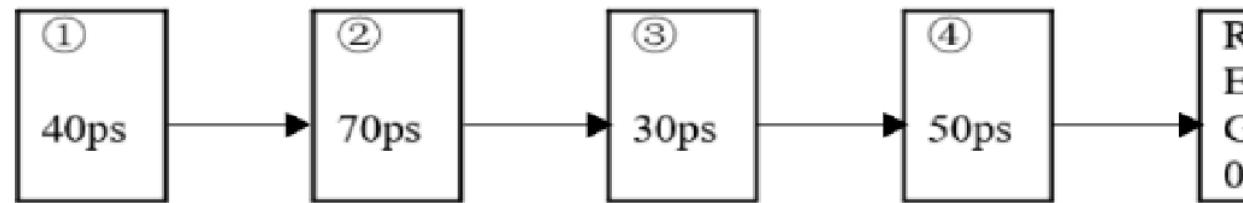
E9

12. 若处理器实现了三级流水线，每一级流水线实际需要的运行时间为 1ns、2ns 和 3ns，则此处理器不停顿地执行完毕 10 条指令需要的时间为：
A. 21 ns B. 12 ns C. 24 ns D. 36 ns

答案 D $3+3+10*3=36\text{ns}$

E10

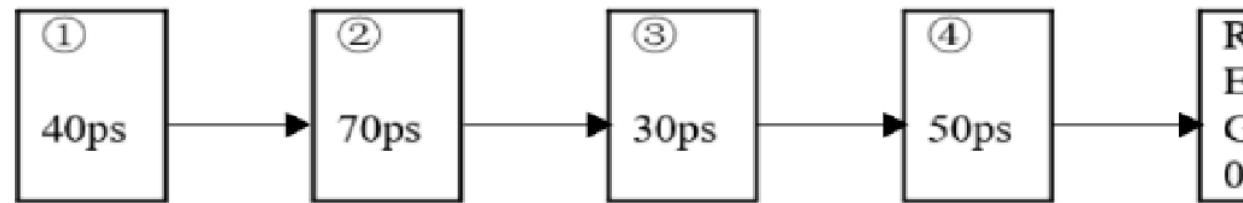
11. 如下图所示，①~④为四个组合逻辑单元，对应的延迟已在图上标出，REG0 为一寄存器，延迟为 20ps。通过插入额外的 2 个流水线寄存器 REG1、REG2（延迟均为 20ps），可以对其进行流水化改造。改造后的流水线的吞吐率最大为 _____ GIPS。



- A. 7.69 B. 8.33 C. 10.00 D. 11.11

E10

11. 如下图所示，①~④为四个组合逻辑单元，对应的延迟已在图上标出，REG0 为一寄存器，延迟为 20ps。通过插入额外的 2 个流水线寄存器 REG1、REG2（延迟均为 20ps），可以对其进行流水化改造。改造后的流水线的吞吐率最大为 _____ GIPS。



- A. 7.69 B. 8.33 C. 10.00 D. 11.11

【答】C。 额外的 2 个寄存器应当插入①②之间、②③之间，最慢的一级延迟为 $30+50+20=100\text{ps}$ ，吞吐率为 $1000/100=10\text{GIPS}$

E11

12. 一个功能模块包含组合逻辑和寄存器，组合逻辑单元的总延迟是 100ps，单个寄存器的延时是 20ps，该功能模块执行一次并保存执行结果，理论上能达到的最短延时和最大吞吐分别是多少？
- A. 20ns, 50GIPS
 - B. 120ns, 50GIPS
 - C. 120ns, 10GIPS
 - D. 20ps, 10GIPS

E11

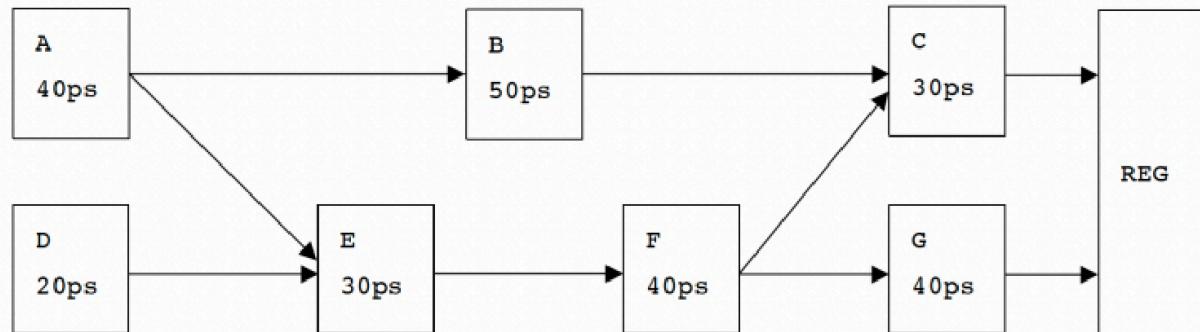
12. 一个功能模块包含组合逻辑和寄存器，组合逻辑单元的总延迟是 100ps，单个寄存器的延时是 20ps，该功能模块执行一次并保存执行结果，理论上能达到的最短延时和最大吞吐分别是多少？

- A. 20ns, 50GIPS
- B. 120ns, 50GIPS
- C. 120ns, 10GIPS
- D. 20ps, 10GIPS

答案：B，主要考察延时和吞吐的区别，延时最小是 logic + 1 个 register，吞吐最高时是把 logic 划分成无穷多份，每一级需要 20ps， $1000/20ps = 50GIPS$

E12

8. A-G 为 7 个基本逻辑单元，下图中标出了每个单元的延迟，以及用箭头标出了单元之间所有的依赖关系。寄存器的延迟均为 20ps，在图中以 REG 符号表示。假设流水线寄存器只能添加在有直接依赖关系的基本逻辑单元之间，而不能在 C 或 G 与 REG 之间。以下说法正确的是：



- A. 原电路的吞吐量 (throughput) 舍入后大约是 $1000/150=6.667$ GIPS。
- B. 将该电路改造成 2 级流水线有 8 种方法
- C. 如果将该电路改造成 3 级流水线，延迟最小可以到 80 ps。
- D. 不论实现该电路时遇到怎样的数据冒险和控制冒险，一定可以对流水线寄存器使用暂停 (stalling) 解决。

E12

- A. 错。 $1000/170 = 5.882$ 而非 $1000/150 = 6.667$ 。不要漏掉寄存器。
- B. 错。考虑 D-E-F-G 这条路，要么插 D-E，要么 E-F，要么 F-G。如果是 D-E，那么为了使每条极大路径上都恰有一个新插入的寄存器，考虑 D-E-F-C，那么 F-C 之间也不能插入了。但是 A-E-F-G 上又必须有一个，所以只能插 A-E。这样之后不管是插在 A-B 还是 B-C 所得方案都是合法的。对称地，如果是 F-G，结果也是如此。最后考虑 E-F 的情况，此时 A-E，D-E，F-C，F-G 之间均不能再插入，但 A-B 和 B-C 任选一个插入得到的方案都合法。因此一共有 $2+2+2=6$ 种。
- C. 错。3 阶段里的最优为 90ps。
- D. 对。最朴素的情况每条指令 stall 足够多次，电路回到 SEQ 的状态。

E13

第四题 (15 分)

请分析 Y86-64 ISA 中加入的一族间接跳转指令: `jxx *rB`, 其格式如下:

C	Fn	F	rB
---	----	---	----

该指令的功能是跳转到寄存器 `R[rB]` 所存放的地址。类似于直接跳转指令，间接跳转指令也包括无条件跳转和条件跳转，通过不同的功能码 Fn 来指示。为了和直接跳转区别，icode 为 IJREGXX。时钟周期适当进行延长，在不修改原有的硬件线路和信号设置的前提下，只增加和新指令有关的逻辑，回答以下问题。

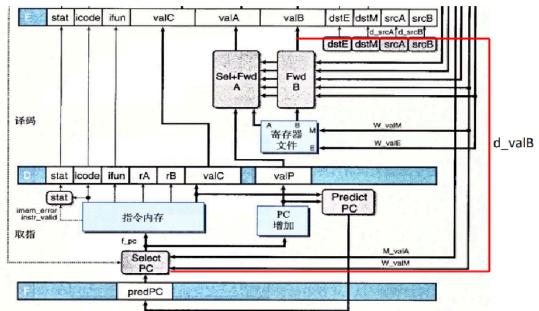
1. 在教材中的 SEQ 处理器上实现该指令，请补全下表中每个阶段的操作。需要说明的信号可能有: icode, ifun, rA, rB, valA, valB, valC, valE, valP, Cnd, R[], M[], PC, CC

Stage	<code>jxx *rB</code>
Fetch	<code>icode : ifun ← M1[PC]</code>
Decode	
Execute	
Memory	
Write Back	
Update PC	<code>PC ← Cnd ? valE : valP</code>

在 foo 函数运行过程中，计算以下情况 foo 函数的执行周期数。（周期数计算从执行 foo 第一条指令开始，直到其返回指令 ret 完全通过流水线为止。另外假设 foo 函数开始的若干条指令不会和 foo 函数体外的指令形成冒险。）

`n=-1: _____; n=0: _____; n=2: _____`

2. 考虑在教材中的 Pipeline 处理器上实现该指令，采用总是选择分支（预测下一条指令时使用跳转地址 `R[rB]`）的预测策略。



由于 `R[rB]` 需要到译码阶段才能得到，需要增加一条从 `Fwd B` 输出信号 `d_valB` 到 `Select PC` 的旁路通路，增加线路如图所示。增加旁路后，为了预测 `jxx *rB` 的下一条 PC，_____（需要/不需要）在该指令和下一条指令间插入气泡。

`Select PC` 的 HCL 代码如下图所示：

```
word f_pc = [
    ①
    (M_icode == IJXX || M_icode == IJREGXX) && !M_cnd : M_valA;
    ②
    W_icode == IRET : W_valM;
    ③
    1 : F_predPC;
    ④
]
```

为了预测下一条 PC，需要修改 `Select PC` 的 HCL 代码，增加一行 _____，增加的位置可以是 _____（写出所有可能的位置，错填不得分，漏填可得部分分）

3. 请将该指令预测错误的触发条件，以及此时流水线的控制逻辑补充完整。

触发条件：（如果有多种可能请任写一种）

== IJREGXX &&

控制逻辑：（如果有多种可能请任写一种）

F	D	E	M	W

4. 基于改造后的 Y86-64 PIPE 考虑如下代码片段，回答问题。

```
# Array of 3 elements
array:
.quad return
.quad L1
.quad L2

# void foo(long n, long *arr)
# n in %rdi, arr in %rsi
foo:
    rmovq %rdi, %rdx          # line 1
    addq %rdx, %rdx            # line 2
    addq %rdx, %rdx            # line 3
    addq %rdx, %rdx            # line 4
    irmovq array, %rcx         # line 5
    addq %rcx, %rcx             # line 6
    andq %rdi, %rdi            # line 7
    jge *%rcx                  # line 8
    return:                   #
    ret                         # line 9
L2: #
    rmovq 16(%rsi), %rcx      # line 10
    rmovq %rcx, 8(%rsi)        # line 11
L1: #
    rmovq 8(%rsi), %rcx        # line 12
    rmovq %rcx, (%rsi)         # line 13
    jmp return                 # line 14
```

E13

1.

Stage	jxx *rB
Fetch	icode : ifun $\leftarrow M_1[PC]$ xA : rB $\leftarrow M_1[PC+1]$ valP $\leftarrow PC+2$
Decode	valB $\leftarrow R[rB]$
Execute	valE $\leftarrow valB + 0$ Cnd = Cond(CC, ifun)
Memory	/
Write Back	/
Update PC	PC $\leftarrow Cnd ? valE : valP$

2. 不需要。间接跳转在 decode 阶段时 SelectPC 正好利用最新转发的 valB 的值作为预测地址访问指令内存。

1 2 3 处都可以插入。插入的内容见下。④是无效的插入位置。注意，原来的 M_XXX 条件和 W_XXX 条件互斥，所以其顺序任意，但它们都不会和新加入的条件冲突。例如 mispredict 发生时，Decode 阶段的指令已经被清空，所以最终不会导致多个条件成立。

```
word f_pc = [
    // D_icode == IREGXX: d_valB;
    (M_icode == IJXX || M_icode == IREGXX) && !M_cnd : M_valA;
    // D_icode == IREGXX: d_valB;
    W_icode == IRET : W_valM;
    D_icode == IREGXX: d_valB;
    1 : F_predPC;
    ④
]
```

3. E_icode == IJREGXX && !e_Cnd

F	D	E	M	W
normal/stall	bubble	bubble	normal	normal

分析方法同 IJXX。注意，触发条件是在 E 阶段，因为 E 阶段结束、M 阶段开始时就要控制流水线寄存器。

4. 15 13 20

n == -1: line 8 分支预测错误，惩罚 2 个周期。一共 9 + 2 + 4 (trailing cycles for ret) = 15。
n == 0: 一共 9 + 4 (trailing cycles for ret) = 13。
n == 1: line 12 和 13 发生 load/use hazard (不考虑加载转发)，惩罚 1 个周期。一共 12 + 1 + 4 (trailing cycles for ret) = 17。
n == 2: line 12 和 line 13, 以及 line 10 和 line 11 各发生一次 load/use hazard, 共惩罚 2 个周期。一共 14 + 2 + 4 (trailing cycles for ret) = 20。

Notices

补充资料

- HCL语言: [HCL Descriptions of Y86-64 Processors.pdf](#)

CS:APP3e Web Aside ARCH:HCL: HCL Descriptions of Y86-64 Processors*

Randal E. Bryant
David R. O'Hallaron

December 29, 2014

- 我的Y86-64学习笔记: [Y86-64 Note.html](#)

THANKS

Made by WalkerCH

changxinhai@stu.pku.edu.cn

Reference: [Weicheng Lin]'s presentation.

