

Infra-estrutura de Hardware

Lista de Exercícios – Pipeline e Superescalar

1. Considere um sistema de computação que possui um CPU com palavras de 32 bits, cujo repertório é o do processador RISC V. Considere inicialmente que a CPU foi implementada com a técnica multi-ciclo e que a quantidade de ciclos de cada instrução é dada na tabela abaixo. Qual o tempo de execução e o CPI para uma implementação multi-ciclo executar o programa da Figura 1 abaixo? Suponha que o registrador x4 possui o valor 100 e os conteúdos das posições de memória 100 e 104 são respectivamente 10 e 10.

Tabela 1 – Ciclos por instrução para implementação multi-ciclo

Instrução	Nr. de ciclos
Aritméticas e deslocamento	4
Load double word – ld	5
Store double word - sd	4
Beq	4
Lui	3
Jal e Jalr	4

```
    Ld x8, 4(x4)
    Ld x9, 8(x4)
    Ld x10, 12(x4)
    Ld x7, 0(x4)
    Bne x7, x8, endX
    Sub x7, x7, x8
    Sub x9, x9, $t2
    addi x7, x7, 1
    addi x10, x10, x8
    sub x10, x10, $1
    sub x8, x8, x9
    beq x0,x0, endY
endX:  sub x9, x9, x10
      add x7, x7, x8
      addi x9, x9, -1
      addi x10, x10, -1
      add x10, x10, x8
      add x8, x8, x9
endY:  sd x7, 0(x4)
      sd x8, 4(x4)
      sd x10, 12(x4)
```

Figura 1 – Programa em linguagem de montagem

2. Considere agora que a CPU foi implementada com um pipeline de 5 estágios conforme mostrado na Figura 2 abaixo deve executar o mesmo programa da questão anterior.
 - a. Calcule o tempo de execução e o CPI no pipeline da Figura 2 considerando que NOP's são inseridos na ocorrência de conflito de dados e de controle. Assuma o tempo de execução das instruções nos estágios do pipeline

conforme dado na Figura2. Qual o speed-up da implementação em pipeline em comparação com uma implementação multi-ciclo?

- b. Aplique otimizações para resolver todos os conflitos de dados e de controle. Qual(is) a(s) otimização(ões) que você sugere para melhorar o desempenho do pipeline? Calcule o tempo de execução e o CPI com a(s) otimização(ões) sugerida(s). Qual o speed-up em comparação com a implementação multi-ciclo e com a implementação em pipeline sem otimizações?

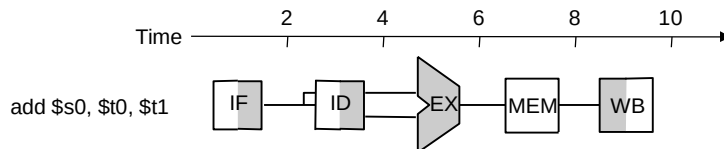


Figura2 - Pipeline de 5 estágios

3. Um problema sério na implementação em pipeline é a ocorrência de conflitos de dados. Descreva 1 técnica de software e 1 de hardware que resolvem este tipo de conflito detalhando se o desempenho é degradado ou não e se algum suporte adicional (arquitetura ou hardware) se faz necessário.
4. Considere agora o programa em linguagem de montagem do RISC V descrito a seguir. Os vetores A, B e C possuem dimensão igual a 2. A localização das variáveis na memória pode ser visualizada na figura abaixo, a qual contém os valores numéricos e simbólicos de cada endereço, bem como o correspondente conteúdo de memória. Por exemplo, a variável i possui o endereço numérico 128 e o seu valor inicial é 0. O vetor A possui o endereço inicial igual a 136 e o valor de A(0) é 5.

```

    lui x7, 128
    srli x7, x7, 12
    ld x8, 0(x7)
    lui x9, 1
    srli x9, x9, 12
    beq x9, x8, fim
loop: ld x8, 16(x7)
      ld x10, 48(x7)
      beq x8, x10, oper_b
      beq x0, x0, oper_c
oper_b: ld x10, 32(x7)
oper_c: jal x1, swap
        add x11, x11, x9
        addi x7, x7, 8
        slti x12, x11, 2
        bne x12, x0, loop
fim:    break
swap:  xor x8, x8, x10
        xor x8, x8, x10
        xor x10, x8, x10
        xor x10, x8, x10
        sd x8, 16(x7)
        jalr x0, 0(x1)

```

Figura 3 – Programa em linguagem de montagem

	Conteúdo memória	End.simbólico
End. numérico		
	...	
128	0	<i>i</i>
136		
144	5	A(0)
152	2	A(1)
160	1	B(0)
168	3	B(1)
176	-3	C(0)
184	2	C(1)
192		

Figura 4 – Localização e valores iniciais das variáveis na memória

- Calcule o tempo de execução e o CPI do programa da Figura 3 para uma implementação multi-ciclo da CPU
 - Calcule o tempo de execução e o CPI do programa da Figura 3 no pipeline da Figura 2. Para resolver os conflitos de dados e de controle insira NOP's. Qual o speed-up em comparação com a implementação multi-ciclo
 - O tempo calculado acima pode ser reduzido? Qual(is) a(s) técnicas de resolução de conflito que você sugere? Calcule o tempo de execução e o CPI com a(s) otimização(ões) sugerida(s). Qual o speed-up obtido com as otimizações?
5. Considere o programa em assembler do RISC V descrito abaixo o qual opera em um array de elementos inteiros (double word). O registrador x6 aponta para o início do array (da primeira posição) e o registrador x7 aponta para a última posição do array. O array possui 1000 elementos.
- ```

AND x8, x8, x0# x8 = 0
LOOP: LD x9, 0(x6)
 ADD x10, x8, x9
 SD x10, 0(R1)
 ADD x8, x9, x0
 ADDI x6, x6, 8
 BNE x6, x7, LOOP

```

**Figura 4 – Programa RISC V**

- Calcule o CPI considerando uma implementação em pipeline com adiantamento e antecipação de desvio.
  - Aplique agora a técnica de previsão dinâmica de desvio baseada em preditores de 2 bits no programa da Figura 4. Qual o novo CPI?
6. Considere uma implementação superscalar do RISC V que permite uma instrução aritmética e load OU branch e store serem executadas simultaneamente. Qual o CPI se executarmos o programa na Figura 4 na implementação superescalar?

7. Explique a técnica de loop-unrolling, esta técnica melhoraria o CPI da aplicação (figura 4) quando executada no RISC V superescalar?
8. Os processadores superescalares usam várias técnicas para explorar paralelismo de instrução ILP. Explique como funciona a técnica de escalonamento dinâmico. Quais as vantagens e desvantagens desta técnica em comparação às técnicas de escalonamento estático?
9. Explique como os conflitos do tipo RAW, WAR e WAW são resolvidos pelo algoritmo básico de escalonamento dinâmico (Tomasulo).
10. De que maneira o reorder buffer ajuda no escalonamento dinâmico com especulação?