

Họ tên: Dương Anh Khôi**MSSV: 22520696****Lớp: IT006.O14**

Bài Tập Chương 5: Pipeline

---oOo---

Các bài tập chương này được biên tập lại từ:

Computer Organization and Design: The Hardware/Software Interface, Patterson, D. A., and J. L. Hennessy, Morgan Kaufman, **Third Edition**, 2011.

Bài 1 (4.12 - sách tham khảo chính)

Giả sử có thiết kế mới như sau: mỗi lệnh chỉ sử dụng đúng các giai đoạn cần có của nó, có thể lấy nhiều chu kỳ để hoàn thành, nhưng một lệnh phải hoàn thành xong thì những lệnh khác mới được nạp vào. Thiết kế này tạm gọi là **thiết kế đa chu kỳ**. Theo kiểu này, mỗi lệnh chỉ đi qua những công đoạn mà nó thực sự cần (ví dụ, sw chỉ sử dụng 4 công đoạn, không có công đoạn WB). (Chú ý: lw: sử dụng 5 stages; sw: 4 stages (không WB); ALU: 4 stages (không MEM), beq 3 stages (không MEM và không WB))

Bảng sau liệt kê chi tiết lệnh nào thật sự cần và không cần công đoạn nào

	IF	ID	EX	MEM	WB
lw	x	x	x	x	x
sw	x	x	x	x	
ALU (add, sub, and, or, slt)	x	x	x		x
Branch (beq)	x	x	x		

Trong bài tập này, chúng ta khảo sát pipeline ảnh hưởng như thế nào tới chu kỳ xung clock (clock cycle time) và thời gian thực thi của 1 lệnh (hoặc đoạn chương trình nhiều lệnh) của processor. Giả sử rằng mỗi công đoạn (stage) trong pipeline có thời gian thực hiện

	IF	ID	EX	MEM	WB
a.	300ps	400ps	350ps	500ps	100ps

b.	200ps	150ps	120ps	190ps	140ps
----	-------	-------	-------	-------	-------

1. Chu kỳ xung clock cần cho processor là bao nhiêu nếu processor thiết kế có pipeline, không pipeline đa chu kỳ và không pipeline đơn chu kỳ.

Đáp án:

a. Processor có pipeline: 500ps (trong 5 công đoạn, nếu có pipeline thì công đoạn nào chiếm nhiều thời gian nhất là công đoạn đó).

Processor không pipeline: $300 + 400 + 350 + 500 + 100 = 1650\text{ps}$.

b. Processor có pipeline: 200ps,

Processor không có pipeline: $200 + 150 + 120 + 190 + 140 = 800\text{ps}$.

2. Thời gian cần thiết để thực hiện lệnh “lw” cho trường hợp processor thiết kế có pipeline, không pipeline đa chu kỳ và không pipeline đơn chu kỳ.

Đáp án:

a. Lệnh lw cần trải qua 5 công đoạn IF + ID + EX + MEM + WB. Vì có pipeline nên các công đoạn thực hiện bằng nhau nên thời gian sẽ là: $5 \times 500 = 2500\text{ps}$.

Khi không có pipeline $\Rightarrow 300 + 400 + 350 + 500 + 100 = 1650\text{ps}$.

b. Khi có pipeline: $5 \times 200 = 1000\text{ps}$.

Khi không có pipeline: 800ps.

3. Thời gian cần thiết để thực hiện lệnh “add” cho trường hợp processor thiết kế có pipeline, không pipeline đa chu kỳ và không pipeline đơn chu kỳ.

Đáp án:

- Tuy lệnh add chỉ thực hiện 4 công đoạn là IF, ID, EX, WB (không có MEM) Nhưng khi sử dụng thiết kế pipeline thì tất cả các lệnh đều phải trải qua 5 giai đoạn. Vậy nên mỗi đoạn tương ứng với 1 chu kỳ xung clock là 500ps. Dẫn đến thời gian thực hiện lệnh add là: lựa chu kỳ xung clock lớn nhất trong 5 giai đoạn

a) $5 \times 500 = 2500\text{ps}$

b) $5 \times 200 = 1000\text{ps}$

- Lệnh add khi thiết kế processor không pipeline đơn chu kỳ thì chúng sẽ thực hiện rằng

a) $300 + 400 + 350 + 500 + 100 = 1650\text{ps}$.

b) $200 + 150 + 120 + 190 + 140 = 800\text{ps}$.

Dù thật sự chỉ đi qua 4 tầng giai đoạn nhưng nếu thiết kế là đơn chu kỳ không pipeline thì vẫn phải chờ đúng một chu kỳ xung clock của processor mới được chuyển sang lệnh khác.

- Lệnh add khi thiết kế processor không pipeline đa chu kỳ thì chúng sẽ thực hiện những lệnh thật sự sử dụng: chúng có chu kỳ xung clock là 1650ps.

a) $300 + 400 + 350 + 100 = 1150\text{ps}$.

b) $200 + 150 + 120 + 140 = 610\text{ps}$.

4. Thời gian cần thiết để thực hiện một chương trình có 10 lệnh bao gồm 4 lệnh “*lw*” và 6 lệnh “*add*” cho trường hợp processor thiết kế có pipeline, không pipeline đa chu kỳ và không pipeline đơn chu kỳ.

Giả sử rằng các lệnh được thực thi trong processor được phân rã như sau (áp dụng cho câu 5 và 6)

	ALU	beq	lw	sw
a.	50%	25%	15%	10%
b.	30%	25%	30%	15%

5. Giả sử rằng không có khoảng thời gian rỗi (stalls) hoặc xung đột (hazards), phần truy xuất bộ nhớ (MEM) và phần truy xuất ghi trên tập thanh ghi (WB) sử dụng bao nhiêu % chu kỳ của toàn chương trình

Đáp án:

Phần truy xuất bộ nhớ dữ liệu (MEM)

Thao tác truy xuất bộ nhớ dữ liệu thật sự chỉ thực hiện trên 2 dạng lệnh: lw và sw.

Vì vậy % chu kỳ MEM có thao tác thật sự:

- a. $15\% + 10\% = 25\%$
b. $30\% + 15\% = 45\%$

Phần truy xuất ghi trên tập thanh ghi (WB)

Thao tác truy xuất ghi trên khối thanh ghi thật sự chỉ xuất hiện ở 2 loại lệnh: ALU và lw. Vì vậy % chu kỳ WB có thao tác thật sự:

- a. $50\% + 15\% = 65\%$
b. $30\% + 30\% = 60\%$

	IF	ID	EX	MEM	WB
lw	x	x	x	x	x
sw	x	x	x	x	
ALU (add, sub, AND, OR, slt)	x	x	x		x
Branch (beq)	x	x	x		

6. Thời gian cần thiết để thực hiện một chương trình có 100 lệnh được phân bố như bảng trên cho trường hợp processor thiết kế có pipeline, không pipeline đa chu kỳ và không pipeline đơn chu kỳ.

Đáp án:

Chu kỳ xung clock của thiết kế pipeline

- a. 500 ps
b. 200 ps

Chu kỳ xung clock của thiết kế đơn chu kỳ

a. 1650 ps

b. 800 ps

Chu kỳ xung clock của thiết kế đa chu kỳ : giống pipeline

a)

$$\begin{aligned}\text{Vậy thời gian thực thi 100 lệnh của thiết kế có pipeline} &= 5T + (n - 1) \cdot T \\ &= 5 \cdot 500 + (100 - 1) \cdot 500 \\ &= 52000 \text{ ps}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Vậy thời gian thực thi 100 lệnh của thiết kế đơn chu kỳ} &= n \cdot T \\ &= 100 \cdot 1650 \\ &= 165000 \text{ ps}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Vậy thời gian thực thi 100 lệnh của thiết kế đa chu kỳ} &= (0.15 \times 5 + 0.6 \times 4 + 0.25 \times 3) \cdot nT \\ &= 3.9 \times 100 \times 500 \\ &= 195000 \text{ ps}\end{aligned}$$

b)

$$\begin{aligned}\text{Vậy thời gian thực thi 100 lệnh của thiết kế có pipeline} &= 5T + (n - 1) \cdot T \\ &= 5 \cdot 200 + (100 - 1) \cdot 200 \\ &= 20800 \text{ ps}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Vậy thời gian thực thi 100 lệnh của thiết kế đơn chu kỳ} &= n \cdot T \\ &= 100 \cdot 800 \\ &= 80000 \text{ ps}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Vậy thời gian thực thi 100 lệnh của thiết kế đa chu kỳ} &= (0.15 \times 5 + 0.6 \times 4 + 0.25 \times 3) \cdot nT \\ &= 3.9 \times 100 \times 200 \\ &= 78000 \text{ ps}\end{aligned}$$

Bài 2 (4.13 – sách tham khảo chính)

Cho chuỗi lệnh như sau :

a.

```
lw $s1, 40($s6)
add $s6, $s2, $s2
sw $s6, 50($s1)
```

b.

```
lw $s5, -16($s5)
sw $s5, -16($s5)
add $s5, $s5, $s5
```

1. Trong trường hợp pipeline 5 tầng và không dùng kỹ thuật nhìn trước (no forwarding), sử dụng lệnh ‘nop’ để giải quyết xung đột xảy ra (nếu có) trong chuỗi lệnh trên.

Đáp án:

a.

```
lw $s1, 40($s6)
add $s6, $s2, $s2
nop
nop
sw $s6, 50($s1)
```

b.

```
lw $s5, -16($s5)
nop
nop
sw $s5, -16($s5)
add $s5, $s5, $s5
```

2. Trong trường hợp pipeline 5 tầng và có kỹ thuật nhìn trước (forwarding), sử dụng lệnh ‘nop’ để giải quyết xung đột xảy ra (nếu có) trong chuỗi lệnh trên.

Chú ý:

- Tất cả các thanh ghi cần thiết cho quá trình thực thi lệnh phải được load trong công đoạn ID khi lệnh được thực thi
- Vẽ rõ ràng hình ảnh các chu kỳ pipeline khi đoạn lệnh trên thực thi

Mẫu hình ảnh chu kỳ pipeline để giải quyết xung đột dữ liệu xảy ra với thanh ghi \$s3 khi không sử dụng kỹ thuật nhìn trước:

lw \$s0, 8(\$s3)	IF	ID	EX	MEM	WB				
add \$s3, \$s4, \$s5		IF	ID	EX	MEM	WB			
nop			o	o	o	o	o		
nop				o	o	o	o	o	
sw \$s7, 50(\$s3)					IF	ID	EX	MEM	WB

Đáp án:

a. Không có

b.

```
lw $s5, -16($s5)
```

nop
 sw \$s5, -16(\$s5)
 add \$s5, \$s5, \$s5

Cho bảng thể hiện chu kỳ xung clock như sau

	Không forwarding	Có forwarding đầy đủ (full-forwarding)	Chỉ có ALU-ALU forwarding, không có MEM-ALU forwarding
a.	300ps	330ps	315ps
b.	200ps	220ps	210ps

Chú ý : ALU-ALU forwarding cũng chính là EX-EX forwarding. MEM-ALU forwarding cũng chính là MEM-EX forwarding.

3. Tính thời gian thực thi của chuỗi lệnh trên trong trường hợp không forwarding và có full-forwarding? Sự tăng tốc đạt được bởi việc đưa kỹ thuật full-forwarding vào pipeline so với không forwarding là bao nhiêu?

Đáp án:

a. lw \$s1, 40(\$s6)
 add \$s6, \$s2, \$s2
 nop
 nop
 sw \$s6, 50(\$s1)
 -> cần 9 chu kì = $9 * 300 = 2700\text{ps}$
 lw \$s1, 40(\$s6)
 add \$s6, \$s2, \$s2
 sw \$s6, 50(\$s1)
 -> cần 7 chu kì = $7 * 330 = 2310\text{ps}$
 => Tăng tốc đạt = $2700/2310 = 1.169$

b. lw \$s5, -16(\$s5)
 nop
 nop
 sw \$s5, -16(\$s5)
 add \$s5, \$s5, \$s5
 -> 9 chu kì = $9 * 200 = 1800\text{ps}$
 lw \$s5, -16(\$s5)
 nop

sw \$s5, -16(\$s5)
 add \$s5, \$s5, \$s5
 -> 7 chu kì = $7 \cdot 220 = 1540\text{ps}$
 => Tăng tốc đạt = $1800/1540 = 1.169$

4. Giả sử processor chỉ có kỹ thuật ALU-ALU forwarding (không có MEM-ALU forwarding), sử dụng lệnh ‘nop’ để giải quyết xung đột dữ liệu

Đáp án:

a. lw \$s1, 40(\$s6)
 add \$s6, \$s2, \$s2
 nop
 sw \$s6, 50(\$s1) -> 8 chu kì = $8 \cdot 315 = 2520$

b. lw \$s5, -16(\$s5)
 nop
 nop
 sw \$s5, -16(\$s5)
 add \$s5, \$s5, \$s5 -> 9 chu kì = 1890

5. Tính thời gian thực thi của chuỗi lệnh trên khi áp dụng ALU-ALU forwarding? Sự tăng tốc đạt được của việc dùng ALU-ALU forwarding so với không forwarding là bao nhiêu?

Đáp án:

- a. $2700/2520 = 1.0714$
 b. $1800/1890 = 0.9524$ => Giảm tốc

Bài 3 Cho đoạn lệnh sau:

Chú ý:

- *Tất cả các thanh ghi cần thiết cho quá trình thực thi lệnh phải được load trong công đoạn ID khi lệnh được thực thi*
- *Vẽ rõ ràng hình ảnh các chu kỳ pipeline khi đoạn lệnh trên thực thi*

a.

```
lw $s1, 40($s2)
add $s2, $s3, $s3
add $s1, $s1, $s2
sw $s1, 20($s2)
```

b.

```
add $s1, $s2, $s3
sw $s2, 0($s1)
lw $s1, 4($s2)
add $s2, $s2, $s1
```

c.

```
lw $s1, 40($s6)
add $s2, $s3, $s1
add $s1, $s6, $s4
sw $s2, 20($s4)
add $s1, $s1, $s4
```

d.

```
add $s1, $s5, $s3
sw $s1, 0($s2)
lw $s1, 4($s2)
add $s5, $s5, $s1
sw $s1, 0($s2)
```

1. Trong trường hợp pipeline 5 tầng, không nhìn trước (no forwarding), sử dụng lệnh nop để giải quyết nếu có xung đột xảy ra trong chuỗi lệnh trên. Tính thời gian thực thi đoạn lệnh khi chu kỳ là 200ps

Đáp án:

a.

```
lw $s1, 40($s2)
add $s2, $s3, $s3
nop
nop
add $s1, $s1, $s2
nop
nop
sw $s1, 20($s2) -> 12 chu kì = 12*200= 2400ps
```

b.

```
add $s1, $s2, $s3
nop
nop
sw $s2, 0($s1)
lw $s1, 4($s2)
nop
nop
add $s2, $s2, $s1 -> 12 chu kì = 12*200= 2400ps
```

c.

```
lw $s1, 40($s6)
nop
```



```
nop
add $s2, $s3, $s1
add $s1, $s6, $s4
nop
sw $s2, 20($s4)
add $s1, $s1, $s4 -> 12 chu kì = 12*200= 2400ps
```

```
d.
add $s1, $s5, $s3
nop
nop
sw $s1, 0($s2)
lw $s1, 4($s2)
nop
nop
add $s5, $s5, $s1
sw $s1, 0($s2) -> 13 chu kì = 13*200= 2600ps
```

2. Trong trường hợp pipeline 5 tầng, có nhìn trước (full-forwarding), sử dụng lệnh nop để giải quyết nếu có xung đột xảy ra trong chuỗi lệnh trên. Tính thời gian thực thi đoạn lệnh khi chu kỳ là 220ps

Đáp án:

```
a.
lw $s1, 40($s2)
add $s2, $s3, $s3
add $s1, $s1, $s2
sw $s1, 20($s2) -> 8 chu kì = 8*220= 1760ps
```

```
b.
add $s1, $s2, $s3
sw $s2, 0($s1)
lw $s1, 4($s2)
```

nop

add \$s2, \$s2, \$s1 -> 9 chu kì = $9 \times 220 = 1980\text{ps}$

c.

lw \$s1, 40(\$s6)

nop

add \$s2, \$s3, \$s1

add \$s1, \$s6, \$s4

sw \$s2, 20(\$s4)

add \$s1, \$s1, \$s4 -> 10 chu kì = $10 \times 220 = 2200\text{ps}$

d.

add \$s1, \$s5, \$s3

sw \$s1, 0(\$s2)

lw \$s1, 4(\$s2)

nop

add \$s5, \$s5, \$s1

sw \$s1, 0(\$s2) -> 10 chu kì = $10 \times 220 = 2200\text{ps}$