

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.

Answer:

a)

Chu kỳ xung clock của thiết kế :

- Có pipeline : 500ms

- Không pipeline đa chu kỳ : tùy vào từng lệnh mà nó có chu kỳ khác nhau.

- Không pipeline đơn chu kỳ : $300 + 400 + 350 + 500 + 100 = 1650 \text{ ms}$

b)

- Processor có pipeline: 200ps

- Processor không pipeline đơn chu kỳ: $200 + 150 + 120 + 190 + 140 = 800\text{ps}$

- Processor không pipeline đa chu kỳ: tùy vào từng lệnh mà nó có chu kỳ khác nhau.

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.

Answer:

a)

- Processor có pipeline: $5 \times 500 = 2500 \text{ ms}$

- Processor không pipeline đơn chu kỳ: 1650 ms

- Processor không pipeline đa chu kỳ: 1650 ms

b)

- Processor có pipeline: $5 \times 200 = 1000 \text{ ms}$

- Processor không pipeline đơn chu kỳ: 800 ms

- Processor không pipeline đa chu kỳ: 800 ms

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.

Answer

a)

- Processor có pipeline: $5 \times 500 = 2500 \text{ ms}$

- Processor không pipeline đơn chu kỳ: 1650 ms

- Processor không pipeline đa chu kỳ: $1650 - 500 = 1150 \text{ ms}$

b)

- Processor có pipeline: $5 \times 200 = 1000 \text{ ms}$

- Processor không pipeline đơn chu kỳ: 800 ms

- Processor không pipeline đa chu kỳ: $800 - 190 = 610 \text{ ms}$

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.

Answer:

a)

- Processor có pipeline (nếu không xảy ra xung đột): $(10 + 5 - 1) \times 500 = 7000 \text{ ms}$

- Processor không pipeline đơn chu kỳ : $10 \times 1650 = 16500 \text{ ms}$

- Processor không pipeline đa chu kỳ : $6 \times 1150 + 4 \times 1650 = 13500 \text{ ms}$

b)

- Processor có pipeline (nếu không xảy ra xung đột): $(10 + 5 - 1) \times 200 = 2800 \text{ ms}$

- Processor không pipeline đơn chu kỳ : $10 \times 800 = 8000 \text{ ms}$

- Processor không pipeline đa chu kỳ : $6 \times 610 + 4 \times 800 = 6860 \text{ ms}$

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

Answer:

a)

Truy xuất bộ nhớ (MEM) chỉ có ở 2 lệnh lw và sw: nên phần trăm chu kỳ MEM = 25%

Truy xuất ghi trên tập thanh ghi WB ở ALU và lw nên % = 65%

b)

Truy xuất bộ nhớ (MEM) chỉ có ở 2 lệnh lw và sw: nên phần trăm chu kỳ MEM = 45%

Truy xuất ghi trên tập thanh ghi WB ở ALU và lw nên % = 60%

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.

7. a)

	IF	ID	EX	MEM	WB
a.	300ps	400ps	350ps	500ps	100ps
b.	200ps	150ps	120ps	190ps	140ps

8. Có pipeline

	ALU	beq	lw	sw
--	-----	-----	----	----

Số lệnh	50	25	15	10
Chu kỳ(ps)	400	400	500	400

9. Thời gian thực thi: $(400*5) + 49*400 + (5*400) + 24*400 + (5*500) + 14*500 + (5*400) + 9*400 = 48300 \text{ ps}$

10. Không có pipeline đa chu kỳ

	ALU	beq	lw	sw
Số lệnh	50	25	15	10
Chu kỳ(ps)	400	400	500	400

11. Thời gian thực thi: $(50*4*400) + 25*3*400 + 15*5*500 + 10*4*400 = 163500 \text{ ps}$

12. Có pipeline đa chu kỳ

	ALU	beq	lw	sw
Số lệnh	50	25	15	10
Chu kỳ(ps)	1650	1650	1650	1650

13. Thời gian thực thi: $1650*(50+25+15+10) = 165000 \text{ ps}$

14. b)

15. Có pipeline

	ALU	beq	lw	sw
Số lệnh	30	25	30	15
Chu kỳ(ps)	200	200	200	200

16. Thời gian thực thi: $200*(5+29) + 200*(5+24) + 200*(5+29) + 200*(5+14) = 23200 \text{ ps}$

17. Không có pipeline đa chu kỳ

	ALU	beq	lw	sw
Số lệnh	30	25	30	15
Chu kỳ(ps)	200	200	200	200

18. Thời gian thực thi: $30*200*4 + 25*3*200 + 30*5*200 + 15*4*200 = 81000 \text{ ps}$

19. Có pipeline đa chu kỳ

	ALU	beq	lw	sw
Số lệnh	30	25	30	15
Chu kỳ(ps)	800	800	800	800

20. Thời gian thực thi: $800 \cdot (30 + 25 + 30 + 15) = 80000\text{ps}$

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

- 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.

a) Hình ảnh chu kỳ pipeline để giải quyết xung đột xảy ra :

<i>lw \$s1, 40(\$s6)</i>	IF	ID	EX	MEM	WB				
<i>add \$s6, \$s2, \$s2</i>		IF	ID	EX	MEM	WB			
<i>nop</i>			o	o	o	o	o		
<i>nop</i>				o	o	o	o	o	
<i>sw \$s6, 50(\$s1)</i>					IF	IF	EX	MEM	WB

b) Hình ảnh chu kỳ pipeline

<i>lw \$s5, -16(\$s5)</i>	IF	ID	EX	MEM	WB				
---------------------------	----	----	----	-----	----	--	--	--	--

nop		o	o	o	o	o			
nop			o	o	o	o	o		
sw \$s6, -15(\$s5)				IF	ID	EX	MEM	WB	
add \$s5, \$s5, \$s5					IF	ID	EX	MEM	WB

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

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.

Answer

a) Hình ảnh chu kỳ pipeline để giải quyết xung đột trường hợp có forwarding

lw \$s1, 40(\$s6)	IF	ID	EX	MEM	WB				
-------------------	----	----	----	-----	----	--	--	--	--

add \$s6, \$s2, \$s2		IF	ID	EX	MEM	WB			
sw \$s6, 50(\$s1)			IF	ID	EX	ME M	WB		

c) Hình ảnh chu kỳ pipe để giải quyết xung đột trường hợp có forwarding

lw \$s5, -16(\$s5)	IF	ID	EX	MEM	WB				
nop		o	o	o	o	o			
sw \$s5, -16(\$s5)			IF	ID	EX	ME M	WB		
add \$s5, \$s5, \$s5				IF	ID	EX	MEM	WB	

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?

Answer :

a1.

Chuỗi lệnh trong trường hợp không forwarding:

lw \$s1, 40(\$s6)

add \$s6, \$s2, \$s2

nop

nop

sw \$s6, 50(\$s1)

→ Chuỗi lệnh này mất 9 chu kỳ xung clock để thực hiện nên thời gian thực thi là: $9 \times 300 =$

2700 ps

a2. Chuỗi lệnh trong trường hợp full-forwarding:


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

```
add $s6, $s2, $s2
```

```
sw $s6, 50($s1)
```

→ Chuỗi lệnh này mất 7 chu kì xung clock để thực hiện nên thời gian thực thi là:

$$7 \times 330 = 2310 \text{ ps}$$

Sự tăng tốc đạt được là : $2700/2310 = 1.17$

b1.

Chuỗi lệnh trong trường hợp không forwarding:

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

```
nop
```

```
nop
```

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

```
add $s5, $s5, $s5
```

→ Chuỗi lệnh này mất 9 chu kì xung clock nên thời gian thực thi là: $200 \times 9 = 1800\text{ps}$

b2. Chuỗi lệnh trong trường hợp full-forwarding:

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

```
nop
```

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

```
add $s5, $s5, $s5
```

→ Chuỗi lệnh này mất 8 chu kì xung clock nên thời gian thực thi là: $220 \times 8 = 1760\text{ps}$

Sự tăng tốc đạt được là: $1800/1760 = 1.0227$

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

Answer :

a.

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

b.

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

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?

Answer :a. Thời gian thực thi với ALU-ALU forwarding: $8 \times 315 = 2520$ psSự tăng tốc đạt được là: $2700/2520 = 1.0714$ b. Thời gian thực thi với ALU-ALU forwarding: $8 \times 210 = 1680$ psSự tăng tốc đạt được là: $1800/1680 = 1.0714$ **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

a. Thời gian thực thi đoạn chương trình trên là : $12 \times 200 = 2400$ ps

lw \$s1, 40(\$s2)	IF	ID	EX	MEM	WB								
add \$s2, \$s3, \$s3		IF	ID	EX	MEM	WB							
nop			o	o	o	o	o						
nop				o	o	o	o	o					
add \$s1, \$s1, \$s2					IF	ID	EX	MEM	WB				
nop						o	o	o	o	o			
nop							o	o	o	o	o		
sw \$s1, 20(\$s2)								IF	ID	EX	MEM	WB	

b. Thời gian thực thi đoạn chương trình trên là: $12 \times 200 = 2400$ ps

add \$s1, \$s2, \$s3	IF	ID	EX	MEM	WB								
nop		o	o	o	o	o							
nop			o	o	o	o	o						
sw \$s2, 0(\$s1)				IF	ID	EX	MEM	WB					

add \$s1, 4(\$s2)					IF	ID	EX	MEM	WB			
nop						o	o	o	o	o		
nop							o	o	o	o	o	
add \$s2, \$s2, \$s1								IF	ID	EX	MEM	WB

c. Thời gian thực thi đoạn chương trình trên là : $12 \times 200 = 2400$ ps

lw \$s1, 40(\$s6)	IF	ID	EX	MEM	WB							
nop		o	o	o	o	o						
nop			o	o	o	o	o					
add \$s2, \$s3, \$s1				IF	ID	EX	MEM	WB				
add \$s1, \$s6, \$s4					IF	ID	EX	MEM	WB			
nop						o	o	o	o	o		
sw \$s2, 20(\$s4)							IF	ID	EX	MEM	WB	
add \$s1, \$s1, \$s4								IF	ID	EX	MEM	WB

d. Thời gian thực thi đoạn chương trình trên là : $13 \times 200 = 2600$ ps

nop	o	o	o	o	o							
nop		o	o	o	o	o						
sw \$s1, 0(\$s2)			IF	ID	EX	MEM	WB					
lw \$s1, 4(\$s2)				IF	ID	EX	MEM	WB				
nop					o	o	o	o	o			
nop						o	o	o	o	o		
add \$s5, \$s5, \$s1							IF	ID	EX	MEM	WB	
sw \$s1, 0(\$s2)								IF	ID	EX	MEM	WB

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

a. Thời gian thực thi đoạn chương trình trên là : $8 \times 220 = 1760$ ps

lw \$s1, 40(\$s2)	IF	ID	EX	MEM	WB			
add \$s2, \$s3, \$s3		IF	ID	EX	MEM	WB		
add \$s1, \$s1, \$s2			IF	ID	EX	MEM	WB	
sw \$s1, 20(\$s2)				IF	ID	EX	MEM	WB

b. Thời gian thực thi đoạn chương trình trên là : $9 \times 220 = 1980$ ps

add \$s1, \$s2, \$s3	IF	ID	EX	MEM	WB				
sw \$s2, 0(\$s1)		IF	ID	EX	MEM	WB			
lw \$s1, 4(\$s2)			IF	ID	EX	MEM	WB		
Nop				o	o	o	o	o	
add \$s2, \$s2, \$s1					IF	ID	EX	MEM	WB

c. Thời gian thực thi đoạn chương trình trên là : $10 \times 220 = 2200$ ps

lw \$s1, 40(\$s6)	IF	ID	EX	MEM	WB					
nop		o	o	o	o	o				
add \$s2, \$s3, \$s1			IF	ID	EX	MEM	WB			
add \$s1, \$s6,				IF	ID	EX	MEM	WB		

\$s4										
sw \$s2, 20(\$s4)					IF	ID	EX	MEM	WB	
add \$s1, \$s1, \$s4						IF	ID	EX	MEM	WB

d. Thời gian thực thi đoạn chương trình trên là : $10 \times 220 = 2200$ ps

add \$s1, \$s5, \$s3	IF	ID	EX	MEM	WB					
sw \$s1, 0(\$s2)		IF	ID	EX	MEM	WB				
lw \$s1, 4(\$s2)			IF	ID	EX	MEM	WB			
nop				o	o	o	o	o		
add \$s5, \$s5, \$s1					IF	ID	EX	MEM	WB	
sw \$s1, 0(\$s2)						IF	ID	EX	MEM	WB