

# Bài Tập (Hiệu Suất)

---oOo---

Các bài tập chương này được trích dẫn và dịch lại từ:

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

## Bài 1.

Cho 3 bộ xử lý P1, P2 và P3: cùng chạy một tập lệnh với các tần số xung clock và CPI được cho như bảng bên dưới.

Bộ xử lý	Clock Rate	CPI
P1	2 Ghz	1.5
P2	1.5 Ghz	1.0
P3	3 Ghz	2.5

**1.1** Bộ xử lý nào có hiệu suất cao nhất dựa theo tiêu chí số lệnh thực thi trong 1 giây (IPS) và số triệu lệnh thực thi trong một giây (MIPS)?

**Trả lời:**

$$\text{IPS(P1)} = 2\text{Ghz} / 1.5 = 1.33 \times 10^9$$

$$\text{MIPS(P1)} = 1.33 \times 10^3$$

$$\text{IPS(P2)} = 1.5\text{Ghz}/1.0 = 1.5 \times 10^9$$

$$\text{MIPS(P2)} = 1.5 \times 10^3$$

$$\text{IPS(P3)} = 3\text{Ghz}/2.5 = 1.2 \times 10^9$$

$$\text{MIPS(P3)} = 1.2 \times 10^3$$

**Bộ xử lý nào thực thi nhiều lệnh trong một giây nhất sẽ là bộ xử lý có hiệu suất cao nhất.**

⇒ **P2 có hiệu suất cao nhất**

**1.2** Nếu các bộ xử lý chạy 1 chương trình nào đó hết 10 giây, tìm tổng số chu kì và tổng số lượng lệnh tương ứng.

**Trả lời**

$$\text{Execution time} = \frac{\text{Number of cycles}}{\text{Clock rate}}$$

$$\text{Tổng số chu kì(P1)} = 10 \times 2 \times 10^9 = 20 \times 10^9 \text{ (chu kì)}$$

$$\text{Tổng số chu kì(P2)} = 10 \times 1.5 \times 10^9 = 15 \times 10^9 \text{ (chu kì)}$$

Tổng số chu kì(P3) =  $10 \times 3 \times 10^9 = 30 \times 10^9$  (chu kì)

Number of cycle = Number of instructions x CPI

$$\text{Number of instructions} = \frac{\text{Number of cycles}}{\text{CPI}}$$

Tổng số lệnh (P1) =  $20 \times 10^9 / 1.5 = 13.33 \times 10^9$  (lệnh)

Tổng số lệnh (P2) =  $15 \times 10^9 / 1 = 15 \times 10^9$  (lệnh)

Số lượng lệnh (P3) =  $30 \times 10^9 / 2.5 = 12 \times 10^9$  (lệnh)

**1.3** Nếu chúng ta cố giảm 30% thời gian thực thi sẽ dẫn tới việc tăng 20% CPI. Nếu vậy, tần số xung clock mới của từng bộ xử lý tương ứng phải là bao nhiêu?

*Lưu ý: sử dụng dữ liệu ở câu 3.2*

**Trả lời:**

Ta có: **(CPI mới) = (CPI cũ) x 1.2**

CPI mới của P1 =  $1.5 \times 1.2 = 1.8$

CPI mới của P2 =  $1 \times 1.2 = 1.2$

CPI mới của P3 =  $2.5 \times 1.2 = 3$

**Thời gian thực thi mới = (thời gian cũ) x 0.7 = 10 x 0.7 = 7 (giây)**

$$\text{Execution time} = \frac{\text{Number of instructions} \times \text{CPI}}{\text{Clock rate}}$$

$$\rightarrow \text{Clock rate} = \frac{\text{Number of instructions} \times \text{CPI}}{\text{Execution time}}$$

*(Number of instructions lấy ở câu 3.2)*

Thay số vào ta có tần số mới của các bộ xử lý:

Clock rate(P1) =  $13.33 \times 10^9 \times 1.8 / 7 = 3.43 \text{ GHz}$

Clock rate(P2) =  $15 \times 10^9 \times 1.2 / 7 = 2.57 \text{ GHz}$

Clock rate(P3) =  $12 \times 10^9 \times 3 / 7 = 5.14 \text{ GHz}$

**Chú ý:** Yêu cầu sinh viên dùng cách khác, đơn giản hơn và không cần dữ liệu của câu trước.

**Các câu bên dưới sử dụng dữ liệu ở bảng sau.**

Processor Rate	Clock	No. Instructions	Time
P1	2 GHz	$20 \cdot 10^9$	7s
P2	1.5 GHz	$30 \cdot 10^9$	10s
P3	3 GHz	$90 \cdot 10^9$	9s

**1.4** Tìm IPC (số lệnh được thực hiện trong một chu kì – instruction per cycle) cho mỗi bộ xử lý.

**Trả lời:**

$$IPC = 1/CPI = \text{Number of instructions} / (\text{Execution time} \times \text{clock rate})$$

$$IPC(P1) = 20 \cdot 10^9 / (7 \times 2\text{GHz}) = 1.42$$

$$IPC(P2) = 30 \cdot 10^9 / (10 \times 1.5\text{GHz}) = 2$$

$$IPC(P3) = 90 \cdot 10^9 / (9 \times 3\text{GHz}) = 3.33$$

**1.5** Tìm tần số xung clock mới cho P2 để P2 có thể giảm thời gian thực thi bằng P1.

**Trả lời:**

$$\text{Execution time} = \frac{\text{Number of instructions} \times \text{CPI}}{\text{Clock rate}}$$

$$\rightarrow \text{Clock rate} = \frac{\text{Number of instructions} \times \text{CPI}}{\text{Execution time}}$$

$$\text{Clock rate (new)} = \text{Number of instructions} \times \text{CPI} / \text{Execution time (new)}$$

$$\text{Clock rate (old)} = \text{Number of instructions} \times \text{CPI} / \text{Execution time (old)}$$

$$\text{Clock rate (new)} / \text{Clock rate (old)} = \text{Execution time (old)} / \text{Execution time (new)}$$

$$\Rightarrow \text{Clock rate (new)} = (\text{Clock rate (old)} \times 10/7) = 1.5 \text{ GHz} \times 10/7 = 2.14 \text{ GHz}$$

**1.6** Tìm số lượng lệnh cho P2 mà giảm thời gian thực thi của nó tới bằng của P3.

**Trả lời:**

$$\text{Number of instructions (new)} = (\text{clock rate} \times \text{execution time (new)}) / \text{CPI}$$

$$\text{Number of instructions (old)} = (\text{clock rate} \times \text{execution time (old)}) / \text{CPI}$$

$$\Rightarrow \text{Number of instructions (new)} / \text{Number of instructions (old)} = \text{execution time (new)} / \text{execution time (old)}$$

$$\Rightarrow \text{Number of instructions (new)} = \text{Number of instructions (old)} \times 9/10 = 30 \times 10^9 \times 9/10 = 27 \times 10^9$$

## Bài 2.

Xét 2 cách hiện thực khác nhau của cùng kiến trúc tập lệnh lên hai bộ xử lý P1 và P2. Có 4 lớp lệnh: A, B, C và D. Tần số xung clock và CPI của mỗi cách thiết kế được cho như bảng bên dưới.

Bộ xử lý	Clock rate	CPI Class A	CPI Class B	CPI Class C	CPI Class D
P1	1.5 GHz	1	2	3	4
P2	2 GHz	2	2	2	3

**2.1** Cho một chương trình với  $10^6$  lệnh được chia thành các lớp sau: 10% lớp A, 20% lớp B, 50% lớp C và 20% lớp D. Cách hiện thực nào sẽ chạy nhanh hơn (hay bộ xử lý nào sẽ chạy nhanh hơn) với chương trình này?

**Trả lời:**

Số lượng các lệnh tương ứng với các lớp:

Class A:  $10^5$  lệnh

Class B:  $2 \times 10^5$  lệnh

Class C:  $5 \times 10^5$  lệnh

Class D:  $2 \times 10^5$  lệnh

$$\text{Execution time} = \frac{\text{Number of instructions} \times \text{CPI}}{\text{Clock rate}}$$

Với bộ xử lý P1:

Thời gian các lệnh thuộc nhóm A chạy =  $(10^5 / 1.5 \times 10^9) = 0.66 \times 10^{-4}$

Thời gian các lệnh thuộc nhóm B chạy =  $2.66 \times 10^{-4}$

Thời gian các lệnh thuộc nhóm C chạy =  $10 \times 10^{-4}$

Thời gian các lệnh thuộc nhóm D chạy =  $5.33 \times 10^{-4}$

Thời gian thực thi chương trình trên bộ xử lý P1 =  $18.65 \times 10^{-4}$

Với bộ xử lý P2:

Thời gian các lệnh thuộc nhóm A chạy =  $10^{-4}$

Thời gian các lệnh thuộc nhóm B chạy =  $2 \times 10^{-4}$

Thời gian các lệnh thuộc nhóm C chạy =  $5 \times 10^{-4}$

Thời gian các lệnh thuộc nhóm D chạy =  $3 \times 10^{-4}$

Thời gian thực thi chương trình trên bộ xử lý P2 =  $11 \times 10^{-4}$

**➔ P2 nhanh hơn**

**2.2** Tìm CPI chung/trung bình của mỗi bộ xử lý với chương trình trên?

**Trả lời:**

$$\text{CPI} = \frac{\text{Execution time} \times \text{Clock rate}}{\text{Number of instructions}}$$

$\text{CPI(P1)} = 18.65 \times 10^{-4} \times 1.5 \times 10^9 / 10^6 = 2.79$

$\text{CPI(P2)} = 11 \times 10^{-4} \times 2 \times 10^9 / 10^6 = 2.2$

**Chú ý:** Yêu cầu sinh viên dùng cách khác, đơn giản hơn và không cần dữ liệu của câu trước.

**2.3** Tìm tổng số chu kì xung clock của chương trình trên P1 và P2.

**Trả lời:**

$$\text{Number of clock cycles} = \text{Number of instructions} \times \text{CPI}$$

$$\begin{aligned} \text{Number of clock cycles(P1)} &= \text{Number of instructions}_A \times \text{CPI}_A + \text{Number of instructions}_B \times \text{CPI}_B \\ &+ \text{Number of instructions}_C \times \text{CPI}_C + \text{Number of instructions}_D \times \text{CPI}_D \\ &= 10^5 \times 1 + 2 \times 10^5 \times 2 + 5 \times 10^5 \times 3 + 2 \times 10^5 \times 4 = 28 \times 10^5 \end{aligned}$$

Number of clock cycles (P2): tương tự

**2.4** Giả sử rằng lệnh toán học (Arith) cần 1 chu kì; đọc dữ liệu từ bộ nhớ (Load) và ghi dữ liệu vào bộ nhớ (Store) trong 5 chu kì; các lệnh nhánh (Branch) trong 2 chu kì. Tìm thời gian thực thi của một chương trình chạy trên bộ xử lý 2 GHz? Biết số lệnh từng loại trong chương trình chạy như bảng:

Arith	Store	Load	Branch	Total
500	50	100	50	700

**Trả lời:**

$$\begin{aligned} \text{Execution time} &= \frac{\text{Number of instructions} \times \text{CPI}}{\text{Clock rate}} \\ &= (500 \times 1 + 50 \times 5 + 100 \times 5 + 50 \times 2) / (2 \times 10^9) \\ &= 675 \times 10^{-9} \text{ s} \\ &= 675 \text{ ns} \end{aligned}$$

**2.5** Tìm CPI cho chương trình trên.

**Trả lời:**

$$\text{CPI} = \frac{\text{Execution time} \times \text{Clock rate}}{\text{Number of instructions}}$$

$$\Rightarrow \text{CPI} = 675 \times 10^{-9} \times 2 \times 10^9 / 700 = 1.92$$

*Chú ý: Yêu cầu sinh viên dùng cách khác, đơn giản hơn và không cần dữ liệu của câu trước.*

**2.6** Nếu số lượng của các lệnh load có thể giảm một nửa, chương trình tăng tốc bao nhiêu lần (speedup) và CPI mới của chương trình là bao nhiêu?

**Trả lời:**

$$\text{Execution time} = \frac{\text{Number of instructions} \times \text{CPI}}{\text{Clock rate}}$$

$$\text{Execution Time} = (500 \times 1 + 50 \times 5 + 50 \times 5 + 50 \times 2) \times 0.5 \times 10^{-9} = 550 \text{ ns}$$

$$\text{Speed-up} = 675 \text{ ns} / 550 \text{ ns} = 1.23$$

$$\text{CPI} = 550 \times 10^{-9} \times 2 \times 10^9 / 650 = 1.69$$

**Bài 3.**

Xét 2 cách thiết kế và hiện thực khác nhau (bộ xử lý P1 và P2) của cùng một tập lệnh. Có 5 lớp lệnh (A, B, C, D và E) trong tập lệnh. Tần số xung clock và CPI của mỗi lớp được cho như bảng dưới.

		Clock Rate	CPI Class A	CPI Class B	CPI Class C	CPI Class D	CPI Class E
Câu a	P1	1.0 GHz	1	2	3	4	3
	P2	1.5 Ghz	2	2	2	4	4
Câu b	P1	1.0 GHz	1	1	2	3	2
	P2	1.5 Ghz	1	2	3	4	3

**3.1** Khi một máy tính thực thi bất kỳ chuỗi lệnh nào, nếu nó đạt một tốc độ nhanh nhất thì máy tính được xem là đạt hiệu suất đỉnh điểm (peak performance)

Tính số lượng lệnh thực thi trong 1 giây khi P1 và P2 đạt hiệu suất đỉnh điểm.

**Trả lời:**

a.

Hiệu suất đỉnh điểm của P1 xảy ra chỉ khi P1 chạy một đoạn lệnh mà tất cả các lệnh đều nằm trong lớp lệnh A (vì A có CPI nhỏ nhất).

Khi đó:

$$\begin{aligned}
 \text{Số lượng lệnh thực thi trong 1 giây(P1)} &= \text{number of instructions/execution time} \\
 &= \text{clock rate(P1)/CPI(A)} \\
 &= 10^9/1 \\
 &= 10^9 \text{ lệnh/giây} = 1 \text{ G lệnh/giây}
 \end{aligned}$$

Tương tự, hiệu suất cao nhất của P2 xảy ra chỉ khi P2 chạy một đoạn lệnh mà tất cả các lệnh đều nằm trong lớp lệnh A hoặc lớp lệnh B hoặc lớp lệnh C, vì chúng có CPI nhỏ nhất.

$$\begin{aligned}
 \text{Số lượng lệnh thực thi trong 1 giây(P2)} &= \text{number of instructions/execution time} \\
 &= \text{clock rate(P2)/CPI(A)} \\
 &= 0.75\text{G lệnh/giây}
 \end{aligned}$$

b.

$$\text{Số lượng lệnh thực thi trong 1 giây(P1)} = 1\text{G inst/sec}$$

$$\text{Số lượng lệnh thực thi trong 1 giây(P2)} = 1.5\text{G inst/sec}$$

**3.2** Nếu số lệnh cần thực thi của một chương trình được chia đều cho các lớp lệnh, ngoại trừ lớp lệnh A có số lệnh gấp đôi các lớp lệnh khác. Máy tính nào chạy nhanh hơn và nhanh hơn bao nhiêu lần?

**Trả lời:**

a. Gọi I là tổng số lệnh của chương trình.

$$\text{Số lệnh cho mỗi lớp lệnh B, C, D, E: } I/6 = 0.167I$$

$$\text{Số lệnh cho lớp A: } 0.333I \text{ số lệnh}$$

Class	Number of Instructions	P1		P2	
		CPI	Number of Instructions x CPI	CPI	Number of Instructions x CPI
A	0.333I	1	0.333I	2	0.666I
B	0.167I	2	0.334I	2	0.334I

C	0.167I	3	0.501I	2	0.334I
D	0.167I	4	0.668I	4	0.668I
E	0.167I	3	0.501I	4	0.668I
Total			2.337I		2.67I

Ta có:

$$\text{Execution time} = \frac{\text{Number of instructions} \times \text{CPI}}{\text{Clock rate}}$$

Execution time (P1) =  $2.337 \text{ I} / 1 \text{ GHz} = 2.337 \times 10^{-9} \times \text{I} \text{ (s)}$

Execution time (P2) =  $2.67 \text{ I} / 1.5\text{GHz} = 1.78 \times 10^{-9} \times \text{I} \text{ (s)}$

⇒ Máy P2 chạy nhanh hơn P1 và nhanh hơn  $2.337/1.78 = 1.3$  lần

b. P1 nhanh hơn P2 1.03 lần (SV tự tính)

**3.3** Nếu số lượng lệnh cần thực thi của một chương trình được chia đều cho các lớp lệnh, ngoại trừ lớp E có số lệnh gấp đôi các lớp lệnh khác. Máy tính nào chạy nhanh hơn và nhanh hơn bao nhiêu lần?

**Trả lời:**

Giống câu 3.2

a. P2 is 1.31 times faster than P1

b. P1 is 1.00 times faster than P2

Bảng dưới cho biết sự phân chia số lượng lệnh theo nhóm lệnh của 2 chương trình khác nhau. Sinh viên sử dụng dữ liệu này cho các câu bên dưới để tìm hiểu sự ảnh hưởng đến hiệu năng của một bộ xử lý MIPS.

*(MIPS ở đây là tên một bộ xử lý mà sinh viên sẽ học trong chương 2 của môn này, không phải là IPS hay MIPS, tức triện lệnh trên giấy)*

	Số lệnh				
	Compute	Load	Store	Branch	total
Program 1	1000	400	100	50	15500
Program 2	1500	300	100	100	1750

**3.4** Giả sử rằng lệnh tính toán (Compute) mất 1 chu kỳ, lệnh đọc dữ liệu từ bộ nhớ (Load) và ghi dữ liệu vào bộ nhớ (Store) mất 10 chu kỳ và lệnh rẽ nhánh (Branch) mất 3 chu kỳ. Dựa vào bảng dữ liệu trên hãy tính thời gian thực thi của một bộ xử lý MIPS 3 GHz.

**Trả lời:**

Loại lệnh	CPI	P1		P2	
		Số lệnh từng nhóm (Program 1)	Số chu kỳ xung clock tương ứng từng nhóm Number of instructions x CPI	Số lệnh từng nhóm (Program 2)	Số chu kỳ xung clock tương ứng từng nhóm Number of instructions x CPI
Compute	1	1000	1000	1500	1500
Load	10	400	4000	300	3000
Store	10	100	1000	100	1000
Branch	3	50	150	100	300

<b>Tổng:</b>			<b>6150</b>		<b>5800</b>
--------------	--	--	-------------	--	-------------

$$\text{Execution time} = \frac{\text{Number of cycles}}{\text{Clock rate}}$$

$$\text{Execution time (P1)} = 6150/3 \text{ Ghz} = 2.05 \times 10^6 \text{s} = 2.05 \mu\text{s}$$

$$\text{Execution time (P2)} = 5800/3 \text{ Ghz} = 1.93 \mu\text{s}$$

**3.5** Giả sử rằng lệnh tính toán (Compute) mất 1 chu kì, lệnh đọc dữ liệu từ bộ nhớ (Load) và ghi vào bộ nhớ (Store) mất 2 chu kì và lệnh rẽ nhánh (Branch) mất 3 chu kì. Dựa vào bảng dữ liệu trên hãy tính thời gian thực thi của một bộ xử lý MIPS 3GHz.

**Trả lời:**

Loại lệnh	CPI	P1		P2	
		Number of instructions <sub>1</sub>	CPI x Number of instruction <sub>1</sub>	Number of instruction <sub>2</sub>	CPI x Number of instruction <sub>2</sub>
Compute	1	1000	1000	1500	1500
Load	2	400	800	300	600
Store	2	100	200	100	200
Branch	3	50	150	100	300
<b>Tổng</b>			<b>2150</b>		<b>2600</b>

$$\text{Execution time (P1)} = 2150/3 \text{ Ghz} = 716 \times 10^6 \text{s} = 0.71 \mu\text{s}$$

$$\text{Execution time (P2)} = 2600/3 \text{ Ghz} = 0.86 \mu\text{s}$$