



HIỆU SUẤT MÁY TÍNH

Trần Duy Quang

Hiệu suất

- **Mục tiêu:**

Giới thiệu về các thông số liên quan và cách tính hiệu suất của một bộ xử lý.

- Sách tham khảo:

***Computer Organization and Design:
The Hardware/Software Interface,***

Patterson, D. A., and J. L. Hennessy,
Morgan Kaufman, Revised Fourth
Edition, 2011.

Hiệu suất

- **Thời gian đáp ứng (Response time):** Cũng gọi là thời gian thực thi (**execution time**), là tổng thời gian để máy tính hoàn thành một tác vụ nào đó, bao gồm thao tác truy cập ổ đĩa, truy cập bộ nhớ, hoạt động I/O, thời gian thực thi của hệ điều hành (operating system overhead), v.v...

Hiệu suất

- **Thông lượng / Hiệu suất (Throughput / Performance):** là số lượng tác vụ hoàn thành trong một đơn vị thời gian (thường là giây):

$$\text{Performance}_x = \frac{1}{\text{Execution time}_x}$$

$$\text{Performance}_x > \text{Performance}_y$$

$$\frac{1}{\text{Execution time}_x} > \frac{1}{\text{Execution time}_y}$$

$$\text{Execution time}_y > \text{Execution time}_x$$

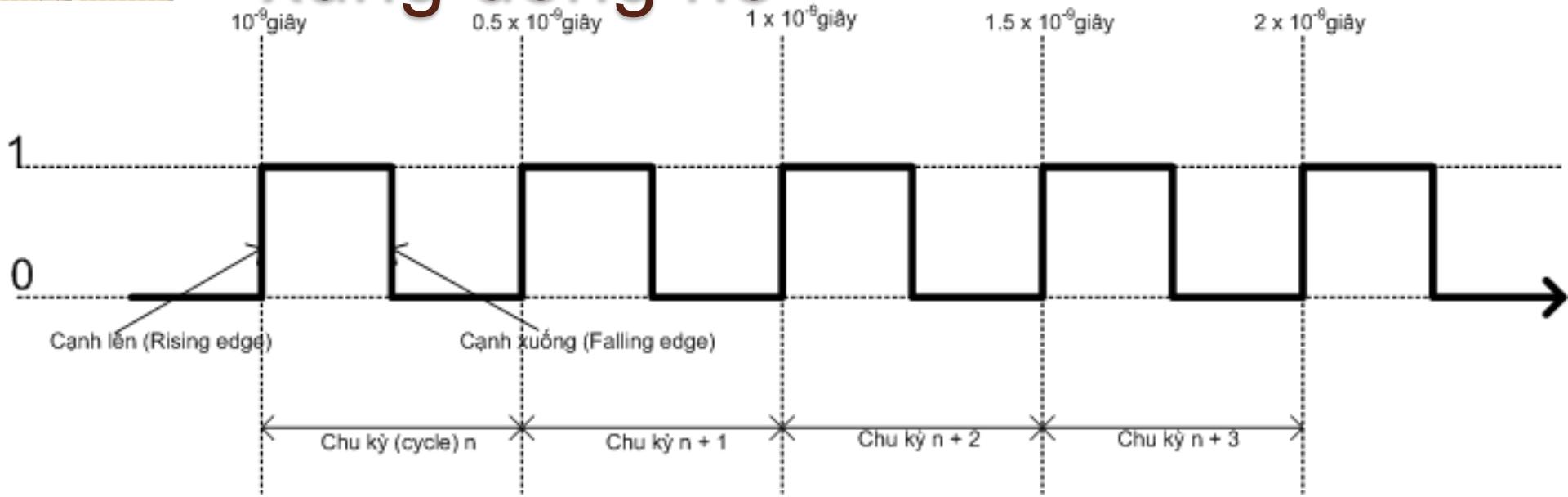
Hiệu suất

- Hầu hết tất cả các máy tính đều cần một “đồng hồ” để xác định khi nào một sự kiện/thao tác được thực hiện trong phần cứng. Khởi tạo ra các khoảng thời gian định thời cho máy tính làm việc này được gọi là khởi tạo xung đồng hồ hay khởi tạo xung clock.

Hiệu suất

- Hai khái niệm liên quan đến xung đồng hồ:
 - **Chu kỳ xung đồng hồ/xung clock** (Clock cycle time/clock cycle/cycle time)
 - **Tần số xung đồng hồ/xung clock** (Clock rate/Clock frequency)

Chu kỳ xung đồng hồ và tần số xung đồng hồ



$$\text{Chu kỳ xung clock} = 0.5 \times 10^{-9} \text{ giây}$$

(Clock cycle time/clock cycle/ cycle time)

$$\text{Tần số xung clock} = \frac{1}{\text{Chu kỳ xung clock}} = \frac{1}{0.5 \times 10^{-9}} = 2 \times 10^9 \text{ Hz} = 2 \text{ GHz}$$

(Clock rate)

Tính hiệu suất dựa trên chu kỳ và tần số xung đồng hồ

- Dựa trên chu kỳ xung đồng hồ (*Clock cycle/Clock cycle time/cycle time*):

Thời gian thực thi một chương trình
(CPU execution time for a program/Execution time)

$$\text{Thời gian thực thi một chương trình} = \frac{\text{Tổng số chu kỳ xung clock chương trình cần}}{\text{Chu kỳ xung clock}} \times (\text{Clock cycle})$$

(CPU execution time for a program) = $\frac{(\text{CPU clock cycles for a program})}{(\text{Number of clock cycles})}$ \times (Clock cycle)

Tính hiệu suất dựa trên chu kỳ và tần số xung đồng hồ

Gọi:

- ET: Execution time
 - NC: Number of clock cycles
 - T: Clock cycle
 - f: Clock rate/Clock frequency
- $ET = NC \cdot T = \frac{NC}{f}$ (với $T=1/f$)

CPI (clock cycle per instruction): Số chu kỳ xung clock (trung bình) cần để thực thi một lệnh

Hiệu suất

Tổng số chu kỳ xung
clock chương trình cần

(CPU clock cycles for a program/
Number of clock cycles/Number of
cycles/No. cycles)

=

Tổng số lệnh chương
trình

(Instructions for a program/
Instruction count/Number of
Instructions/No. Instructions)

x CPI



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

→ Execution time = Number of instructions x CPI x Clock cycle

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

Hiệu suất

Gọi:

- NI: Number of instruction (tổng số lệnh cho một chương trình)

Ta có: **NC** = NI * CPI

Do đó: **ET** = **NC** * T = NI * CPI * T

Hoặc **ET** = NI * CPI / f

Hiệu suất

- **MIPS (Million instructions per second)**: Một cách đo tốc độ thực thi của chương trình dựa trên số lượng triệu lệnh trên giây. MIPS được tính bằng số lượng lệnh chia cho tích của thời gian thực thi và giá trị 10^6 .

Hiệu suất

$$\text{MIPS} = \frac{\text{Number of instructions}}{\text{Execution time} \times 10^6}$$

$$\text{MIPS} = \frac{\frac{\text{Number of instructions}}{\text{Number of instructions} \times \text{CPI}} \times 10^6}{\text{Clock rate}} = \frac{\text{Clock rate}}{\text{CPI} \times 10^6}$$

Hiệu suất

- **IPS (Instructions per second):** Số lệnh trên giây.
 - Nếu ta chỉ cần tính IPS thì không cần chia cho 10^6 .

Hiệu suất

Ví dụ 1. Một chương trình máy tính chạy trong 10 giây trên máy tính A có tần số xung clock 2GHz. Một nhà thiết kế mong muốn xây dựng máy tính B chạy chương trình này chỉ trong 6 giây. Nhà thiết kế quyết định tăng tần số xung clock cho máy tính B, nhưng việc tăng giá trị này ảnh hưởng đến những phần thiết kế khác của CPU, khiến máy tính B yêu cầu nhiều chu kỳ clock hơn máy tính A 1.2 lần để chạy chương trình. Hỏi tần số xung clock nhà thiết kế dùng cho B là bao nhiêu?

$$\text{Thời gian thực}_{\text{chương trình}_{(\text{máy A})}} = \frac{\text{Số chu kỳ xung clock}_{\text{chương trình cần}_{(\text{máy A})}}}{\text{Tần số xung clock}_{(\text{máy A})}}$$

$$10 = \frac{\text{Số chu kỳ xung clock}_{\text{chương trình cần}_{(\text{máy A})}}}{2 \times 10^9}$$

→ $\text{Số chu kỳ xung clock}_{\text{chương trình cần}_{(\text{máy A})}} = 20 \times 10^9$ chu kỳ

$$\text{Thời gian thực}_{\text{chương trình}_{(\text{máy B})}} = \frac{\text{Số chu kỳ xung clock}_{\text{chương trình cần}_{(\text{máy B})}}}{\text{Tần số xung clock}_{(\text{máy B})}} = \frac{1.2 \times \text{Số chu kỳ xung clock}_{\text{chương trình cần}_{(\text{máy A})}}}{\text{Tần số xung clock}_{(\text{máy B})}}$$

$$6 = \frac{1.2 \times 20 \times 10^9}{\text{Tần số xung clock}_{(\text{máy B})}}$$

→ $\text{Tần số xung clock}_{(\text{máy B})} = \frac{1.2 \times 20 \times 10^9}{6} = 4 \times 10^9 \text{ Hz} = 4 \text{ GHz}$

Vậy để chạy chương trình trong 6s, xung clock của máy B phải có tần số gấp đôi của A

Tóm tắt:

Gọi ET_A , NC_A , f_A lần lượt là thời gian thực thi, tổng số chu kỳ xung clock chương trình cần, tần số xung clock của máy tính A (ký hiệu tương tự cho máy tính B)

- Ta có: $ET_A = NC_A / f_A$

$$\rightarrow NC_A = ET_A * f_A = 10 * 2 * 10^9 = 20 * 10^9$$

($2\text{GHz} = 2 * 10^9 \text{ Hz}$)

Mà: $NC_B = 1.2 * NC_A = 1.2 * 20 * 10^9 = 24 * 10^9$

$$\rightarrow f_B = NC_B / ET_B = 24 * 10^9 / 6 = 4 * 10^9 \text{ Hz} = 4\text{GHz}$$

Tóm tắt:

Vậy để chạy chương trình trong 6s, tần số xung clock của máy tính B phải gấp đôi máy tính A ($=4$ GHz)

Hiệu suất

- **Ví dụ 2.** Giả sử ta có hai hiện thực của cùng một kiến trúc tập lệnh trên máy tính A và máy tính B. Máy tính A có chu kỳ clock 250ps và CPI là 2.0 khi chạy một chương trình và máy tính B có chu kỳ clock 500ps và CPI 1.2 khi chạy cùng chương trình trên. Máy tính nào chạy chương trình trên nhanh hơn và nhanh hơn bao nhiêu?

Hiệu suất

Do hai máy tính có cùng tập lệnh nên khi cùng chạy một chương trình, số lệnh cần chạy cho hai máy tính là như nhau, tạm gọi là NI

Và gọi P_A , ET_A , T_A lần lượt là hiệu suất, thời gian thực thi, chu kỳ clock của máy tính A (ký hiệu tương tự cho máy tính B)

- Ta có:
- $\frac{P_A}{P_B} = \frac{ET_B}{ET_A} = \frac{NI * CPI_B * T_B}{NI * CPI_A * T_A} = \frac{1.2 * 500(ps)}{2 * 250(ps)} = 1.2$

Hiệu suất

Vậy máy tính A nhanh hơn máy tính B
1.2 lần

$$P_A = 1.2 P_B$$

- *Lưu ý: Thời gian chạy máy A nhỏ hơn máy B thì máy A chạy nhanh hơn.*

Hiệu suất

- **Ví dụ 3.** So sánh hiệu suất thực thi của đoạn mã chương trình:
- Một người viết trình biên dịch (compiler) có hai đoạn/chuỗi code và đang cần so sánh hai đoạn này với các thông tin như sau:

Hiệu suất

- Tập lệnh máy tính chia làm ba nhóm lệnh và CPI của mỗi nhóm được nhà thiết kế phần cứng của máy tính cung cấp:

CPI for each instruction class			
	A	B	C
CPI	1	2	3

Hiệu suất

- Và hai đoạn code (đang cần so sánh) có số lượng lệnh tương ứng với mỗi nhóm như sau:

Code sequence	Instruction counts for each instruction class		
	A	B	C
1	2	1	2
2	4	1	1

Hiệu suất

- Hỏi đoạn code nào tốn nhiều lệnh hơn? Đoạn code nào thực thi nhanh hơn? CPI (trung bình) của mỗi đoạn?

1. Đoạn code nào tốn nhiều lệnh hơn?

Đoạn code 1 thực thi: $2 + 1 + 2 = 5$ lệnh

Đoạn code 2 thực thi: $4 + 1 + 1 = 6$ lệnh

→ Đoạn code 1 thực thi ít lệnh hơn

Hiệu suất

2. Đoạn code nào thực thi nhanh hơn?

Tổng số chu kỳ thực thi (đoạn code 1) =
 $2*1 + 1*2 + 2* 3 = 2 + 2 + 6 = 10$ chu kỳ
clock

Tổng số chu kỳ thực thi (đoạn code 2) =
 $4*1 + 1*2 + 1* 3 = 4 + 2 + 3 = 9$ chu kỳ
clock

→ Đoạn code 2 nhanh hơn dù phải thực
thi nhiều lệnh hơn

Hiệu suất

3. CPI (trung bình) của mỗi đoạn?

Gọi NC, NI lần lượt là tổng số chu kỳ xung clock chương trình cần, tổng số lệnh cho chương trình

$$NC = NI * CPI \Rightarrow CPI = NC / NI$$

$$CPI(\text{đoạn code 1}) = 10/5 = 2$$

$$CPI(\text{đoạn code 2}) = 9/6 = 3/2 = 1.5$$

Hiệu suất

- Tóm lại, những yếu tố cơ bản để quyết định hiệu suất máy tính gồm:

Yếu tố	Đơn vị đo
Thời gian CPU thực thi một chương trình (CPU execution time)	Giây (Seconds)

Hiệu suất

Yếu tố	Đơn vị đo / ghi chú
Số lượng lệnh (Instruction count)	Số lượng lệnh được thực thi cho một chương trình
CPI (Clock cycles per instruction)	Số lượng chu kỳ clock (trung bình) để thực thi một lệnh
Thời gian một chu kỳ clock (Clock cycle time)	Giây

Hiệu suất

- Hiệu suất của chương trình phụ thuộc vào thuật toán, ngôn ngữ, trình biên dịch, kiến trúc và phần cứng máy tính. Bảng sau đây tóm tắt sự ảnh hưởng của những yếu tố này lên hiệu suất của CPU.

Hiệu suất

Yếu tố phần cứng/phần mềm

Tác động vào gì?

Như thế nào?

Thuật toán

Số lượng lệnh, có thể cả CPI

Thuật toán sẽ quyết định có bao nhiêu lệnh trong chương trình nguồn và theo đó là số lượng lệnh mà CPU phải thực thi.

Yếu tố phần cứng/phần mềm	Tác động vào gì?	Như thế nào?
Thuật toán	Số lượng lệnh, có thể cả CPI	Thuật toán cũng có thể ảnh hưởng đến CPI về khía cạnh lệnh chạy nhanh hay chậm, ví dụ, nếu thuật toán có nhiều phép tính trên số thực dấu chấm động (floating-point), khả năng sẽ có CPI cao hơn.

Yếu tố phần cứng/phần mềm	Tác động vào gì?	Như thế nào?
Ngôn ngữ lập trình	Số lượng lệnh, CPI	Ngôn ngữ lập trình chắc chắn ảnh hưởng đến số lượng lệnh, vì các chương trình viết bằng ngôn ngữ lập trình sẽ được chuyển thành lệnh cho bộ xử lý.

Yếu tố phần cứng/phần mềm	Tác động vào gì?	Như thế nào?
Ngôn ngữ lập trình	Số lượng lệnh, CPI	Ngoài ra, CPI cũng có thể bị ảnh hưởng, ví dụ, một ngôn ngữ có tính năng hỗ trợ mạnh về trừu tượng hóa dữ liệu (như Java) sẽ có nhiều lời gọi lệnh không trực tiếp, do đó sẽ sử dụng nhiều lệnh có CPI cao.

Yếu tố phần cứng/phần mềm	Tác động vào gì?	Như thế nào?
Trình biên dịch	Số lượng lệnh, CPI	Vì trình biên dịch thực hiện việc chuyển các lệnh từ ngôn ngữ cấp cao sang ngôn ngữ máy nên chắc chắn tác động đến số lượng lệnh và CPI. Vai trò của trình biên dịch rất phức tạp và ảnh hưởng đến CPI theo một cách phức tạp. <small>Trần Duy Quang</small>

Yếu tố phần cứng/phần mềm	Tác động vào gì?	Như thế nào?
Kiến trúc tập lệnh	Số lượng lệnh, CPI, tần số xung clock	Kiến trúc tập lệnh tác động đến cả 3 yếu tố của hiệu suất CPU, vì nó quyết định các lệnh cần để thực hiện một chức năng, số lượng chu kỳ cho một lệnh và tần số clock tổng quan của bộ xử lý