



COMPUTER ENGINEERING

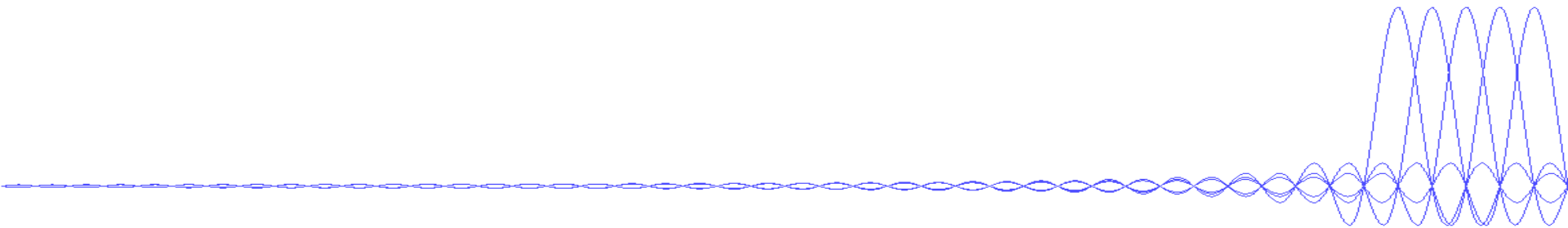
# KIẾN TRÚC MÁY TÍNH



**UIT**  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC  
CÔNG NGHỆ THÔNG TIN

## Tuần 2

# HIỆU SUẤT MÁY TÍNH





## Mục tiêu:

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

Slide được dịch và các hình được lấy từ 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...

**Thông năng/Hiệu suất (Throughput/Performance):** Cũng gọi là **bandwidth**, là số lượng tác vụ hoàn thành trong một đơn vị thời gian:

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

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

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

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

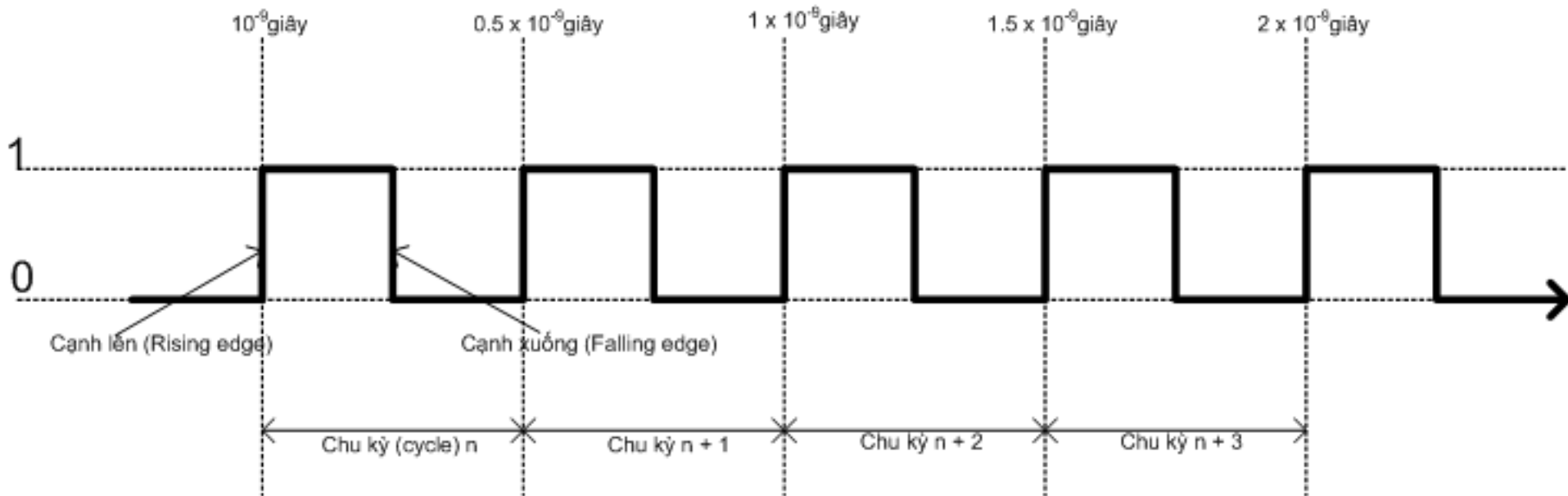


# Hiệu suất

- 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. Khối tạo ra các khoảng thời gian định thời cho máy tính làm việc này được gọi là khối tạo xung đồng hồ hay khối tạo xung clock.
  
- 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)



## ■ Chu kỳ xung đồng hồ và tần số xung đồng hồ



**Chu kỳ xung clock** =  $0.5 \times 10^{-9}$  giây  
(Clock cycle time/clock cycle/ cycle time)

**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)

❖ *Clock rate và Clock cycle time là nghịch đảo của nhau*



# Hiệu suất

- **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*):**

$$\begin{array}{l} \text{Thời gian thực thi một} \\ \text{chương trình} \\ \text{(CPU execution time for a} \\ \text{program/Execution time)} \end{array} = \frac{\begin{array}{l} \text{Tổng số chu kỳ xung} \\ \text{clock chương trình cần} \\ \text{(CPU clock cycles for a} \\ \text{program/Number of clock} \\ \text{cycles/No. cycles)} \end{array}}{\begin{array}{l} \text{Chu kỳ xung clock} \\ \text{(Clock cycle)} \end{array}}$$

- **Dựa trên tần số xung đồng hồ (*Clock rate*):**

$$\begin{array}{l} \text{Thời gian thực thi một} \\ \text{chương trình} \\ \text{(CPU execution time for a} \\ \text{program/Execution time)} \end{array} = \frac{\begin{array}{l} \text{Tổng số chu kỳ xung} \\ \text{clock chương trình cần} \\ \text{(CPU clock cycles for a program/} \\ \text{Number of clock cycles/No. cycles)} \end{array}}{\begin{array}{l} \text{Tần số xung clock} \\ \text{(Clock rate)} \end{array}}$$



# Hiệu suất

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

$$\begin{array}{lcl} \text{Tổng số chu kỳ xung} & & \text{Tổng số lệnh chương} \\ \text{clock chương trình cần} & = & \text{trình} \\ \text{(CPU clock cycles for a program/} & & \text{(Instructions for a program/} \\ \text{Number of clock cycles/Number of} & & \text{Instruction count/Number of} \\ \text{cycles/No. cycles)} & & \text{Instructions/No. Instructions)} \end{array} \times \text{CPI}$$

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

$$\begin{aligned} \rightarrow \text{Execution time} &= \text{Number of instructions} \times \text{CPI} \times \text{Clock cycle} \\ &= \frac{\text{Number of instructions} \times \text{CPI}}{\text{Clock rate}} \end{aligned}$$



# 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  $10^6$ .

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

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

**IPS (Instructions per second):** Số lệnh trên giây. Nếu đề bài chỉ yêu cầu tính IPS thì không cần chia cho  $10^6$





## 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?



# Hiệu suất

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

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

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

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

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

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



## Ví dụ 2.

Giả sử có hai cách hiện thực cho 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 chạy cùng một chương trình, số lệnh cần chạy trên hai máy là như nhau, tạm gọi là  $I$

<p>Tổng số chu kỳ xung clock chương trình cần (CPU clock cycles for a program/Number of clock cycles/No. cycles)</p>	=	<p>Tổng số lệnh chương trình (Instructions for a program/ Instruction count/Number of Instructions/No. Instructions)</p>	x	CPI
--	---	--	---	-----

→ Tổng số chu kỳ xung clock  
chương trình cần (máy A) =  $I \times 2.0$

→ Tổng số chu kỳ xung clock  
chương trình cần (máy B) =  $I \times 1.2$

$$\begin{aligned} \text{Thời gian thực thi} &= \text{Số chu kỳ xung clock} \times \text{Chu kỳ xung clock}_{(\text{máy A})} \\ \text{chương trình}_{(\text{máy A})} &= \text{chương trình cần}_{(\text{máy A})} \\ &= I \times 2.0 \times 250 \text{ (ps)} = 500 \times I \text{ (ps)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Thời gian thực thi} &= \text{Số chu kỳ xung clock} \times \text{Chu kỳ xung clock}_{(\text{máy B})} \\ \text{chương trình}_{(\text{máy B})} &= \text{chương trình cần}_{(\text{máy B})} \\ &= I \times 1.2 \times 500 \text{ (ps)} = 600 \times I \text{ (ps)} \end{aligned}$$

Rõ ràng rằng, máy tính A nhanh hơn, với tỉ số:

$$\frac{\text{Hiệu suất máy A}}{\text{Hiệu suất máy B}} = \frac{\text{Thời gian thực thi máy A}}{\text{Thời gian thực thi máy B}} = \frac{500 \times I \text{ (ps)}}{600 \times I \text{ (ps)}} = 1.2$$

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:

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

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

Hỏi đoạn code nào tốn nhiều lệnh hơn? Đoạn code nào thực thi nhanh hơn? CPI của mỗi đoạn?



# Hiệu suất

## 1. Đoạn code nào tốn nhiều lệnh hơn?

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

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

→ Do đó, đoạn 1 thực thi ít lệnh hơn đoạn 2

## 2. Đoạn code nào thực thi nhanh hơn?

Gọi  $C_i$  là tổng số lệnh của nhóm lệnh loại  $i$

$$\text{Tổng số chu kỳ thực thi} = \sum_{i=1}^n C_i \times CPI_i$$

$$\begin{aligned} \text{Tổng số chu kỳ thực thi} \\ \text{(đoạn code 1)} \end{aligned} = (2 \times 1) + (1 \times 2) + (2 \times 3) = 10 \text{ chu kỳ}$$

$$\begin{aligned} \text{Tổng số chu kỳ thực thi} \\ \text{(đoạn code 2)} \end{aligned} = (4 \times 1) + (1 \times 2) + (1 \times 3) = 9 \text{ chu kỳ}$$

Đoạn code 2 chỉ mất 9 chu kỳ xung clock, trong khi đoạn code 1 mất 10 chu kỳ xung clock để hoàn thành → đoạn 2 thực thi nhanh hơn đoạn 1 (dù đoạn 2 có nhiều lệnh hơn)



## 3. Tính CPI trung bình của mỗi đoạn

$$\begin{array}{lcl} \text{Tổng số chu kỳ xung} & & \text{Tổng số lệnh chương} \\ \text{clock chương trình cần} & = & \text{trình} \\ \text{(CPU clock cycles for a program/} & & \text{(Instructions for a program/} \\ \text{Number of clock cycles/No.} & & \text{Instruction count/Number of} \\ \text{cycles)} & & \text{Instructions/No. Instructions)} \end{array} \times \text{CPI}$$

$$\rightarrow \text{CPI} = \frac{\text{Tổng số chu kỳ xung clock chương trình cần}}{\text{Tổng số lệnh chương trình}}$$

$$\text{CPI}_{(\text{đoạn code 1})} = \frac{\text{Tổng số chu kỳ thực thi (đoạn code 1)}}{\text{Tổng số lệnh (đoạn code 1)}} = \frac{10}{5} = 2.0$$

$$\text{CPI}_{(\text{đoạn code 2})} = \frac{\text{Tổng số chu kỳ thực thi (đoạn code 2)}}{\text{Tổng số lệnh (đoạn code 2)}} = \frac{9}{6} = 1.5$$



# 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)
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 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 bên dưới tóm tắt sự ảnh hưởng của những yếu tố này lên hiệu suất của CPU.

Yếu tố phần cứng/phần mềm	Tác động vào gì?	Như thế nào?
Thuật toán	Số lượng lệnh, và 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. 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.
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. 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.
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.
Kiến trúc tập lệnh	Số lượng lệnh, tần số xung clock, CPI	Kiến trúc tập lệnh tác động đến cả 3 yếu tố của hiệu năng 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.



## Tổng kết:

Các khái niệm cơ bản liên quan đến hiệu suất của máy tính đã được trình bày:

- Chu kỳ/Tần số xung clock
- Thời gian thực thi, hiệu suất
- CPI
- MIPS/IPS



## ❖ Lý thuyết: Đọc sách tham khảo

- Mục 1.4
- Sách: *Computer Organization and Design: The Hardware/Software Interface*, Patterson, D. A., and J. L. Hennessy, Morgan Kaufman, Revised Fourth Edition, 2011.

## ❖ Bài tập: file đính kèm