



ĐẠI HỌC  
BÁCH KHOA HÀ NỘI  
HANOI UNIVERSITY  
OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

# KIẾN TRÚC MÁY TÍNH

## Computer Architecture

Course ID: IT3030, IT3034, IT3283

Version: CA.RISCV.2024.1



© Nguyễn Kim Khánh

# Thông tin liên hệ

- Nguyễn Kim Khánh, PhD.
  - Khoa Kỹ thuật máy tính
  - Department of Computer Engineering
- Office: 801-B1
- e-mail: [khanhmk@soict.hust.edu.vn](mailto:khanhmk@soict.hust.edu.vn)  
[khanh.nguyenkim@hust.edu.vn](mailto:khanh.nguyenkim@hust.edu.vn)
- Mobile: 0913.585533

# Mục tiêu học phần

- Sinh viên được trang bị các kiến thức cơ sở về **Kiến trúc tập lệnh** và **Tổ chức của máy tính**, cũng như những nguyên tắc cơ bản của thiết kế máy tính.
- Sau khi học xong học phần này, sinh viên có khả năng:
  - Tìm hiểu kiến trúc tập lệnh của các máy tính cụ thể và lập trình hợp ngữ
  - Đánh giá hiệu năng máy tính và cải thiện hiệu năng của chương trình
  - Khai thác và quản trị hiệu quả các hệ thống máy tính
  - Thiết kế máy tính

# Tài liệu học tập

- Bài giảng Kiến trúc máy tính (.pdf)
- Textbooks:
  - [1] Stallings W., *Computer Organization and Architecture*, 11<sup>th</sup> ed., Global Edition, Pearson 2022
  - [2] Patterson D., Hennessy J., *Computer Organization and Design*, RISC-V Edition 2<sup>nd</sup> ed., Morgan Kaufmann, 2021
- Phần mềm hỗ trợ học tập:
  - RARS (RISC-V Assembler and Runtime Simulator)
  - ripe

# Nội dung học phần

Chương 1. Giới thiệu chung

Chương 2. Hệ thống máy tính

Chương 3. Kiến trúc tập lệnh

Chương 4. Số học máy tính

Chương 5. Bộ xử lý

Chương 6. Bộ nhớ máy tính

Chương 7. Hệ thống vào-ra

Chương 8. Các kiến trúc song song

## Chương 1

# GIỚI THIỆU CHUNG

# Nội dung

- 1.1. Máy tính và phân loại máy tính
- 1.2. Kiến trúc máy tính
- 1.3. Sự tiến hóa của công nghệ máy tính
- 1.4. Hiệu năng máy tính

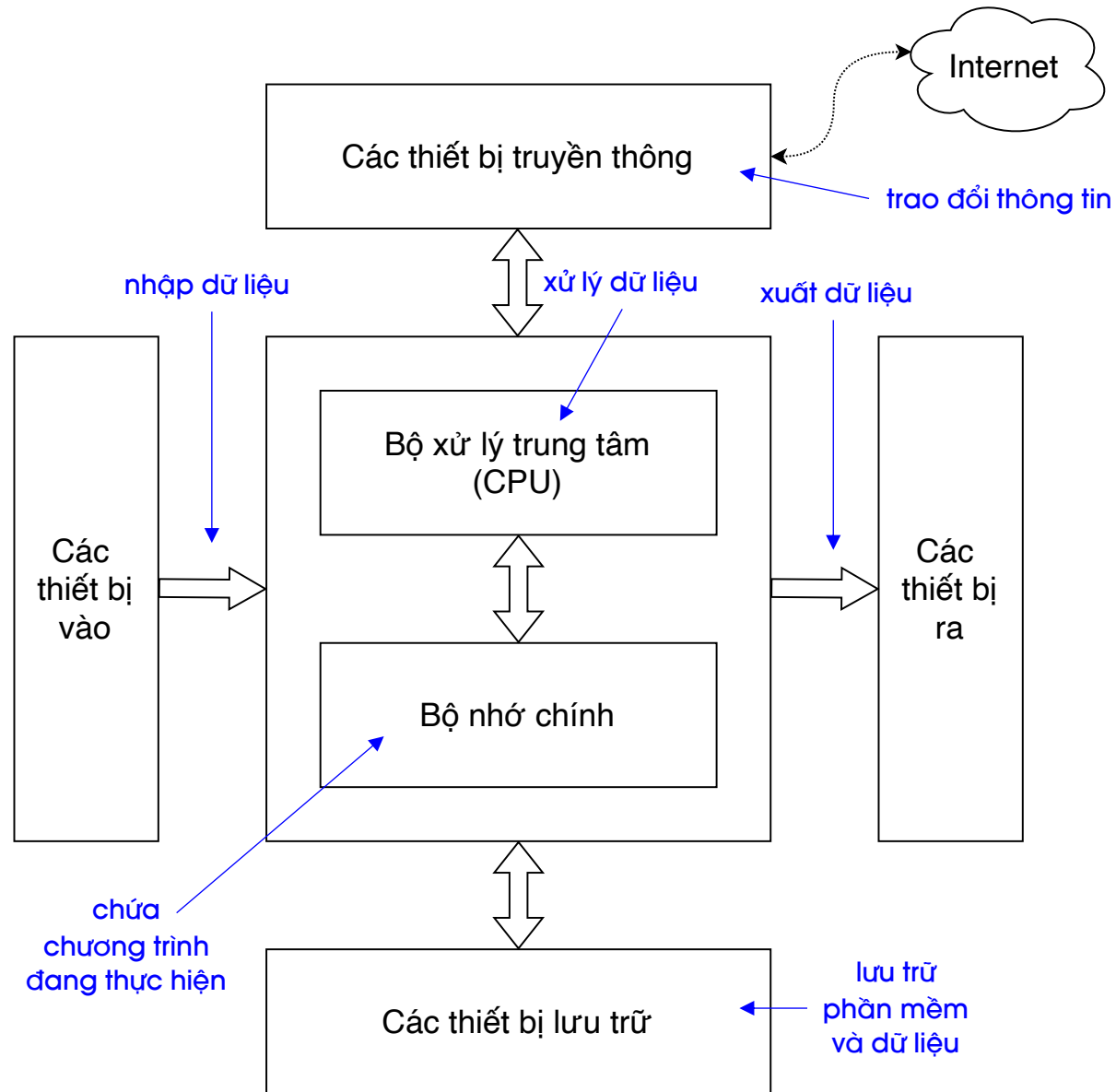
# 1.1. Máy tính và phân loại máy tính

- **Máy tính (Computer)** là thiết bị điện tử hoạt động theo chương trình, có thể nhập dữ liệu (data), lưu trữ dữ liệu, xử lý dữ liệu, và xuất ra thông tin (information).
- **Chương trình (Program)** là dãy các lệnh được lập trình sẵn và được lưu trong bộ nhớ để điều khiển máy tính thực hiện theo.

→ *Máy tính hoạt động theo chương trình*



# Sơ đồ đơn giản của máy tính



# Phân loại máy tính

- Máy tính cá nhân (PC - Personal Computers)
  - Desktop computers, Laptop computers
  - Máy tính đa dụng
- Thiết bị di động (PMD - Personal Mobile Devices)
  - Smartphones, Tablet Computers
- Máy tính nhúng/ IoT (Embedded Computers/ Internet of Things)
  - Máy tính được đặt ẩn trong thiết bị khác
  - Được thiết kế chuyên dụng
  - IoT – là máy tính nhúng có kết nối với Internet

# Phân loại máy tính (tiếp)

- Máy chủ (Servers)

- Thực chất là "Máy phục vụ"
- Dùng trong mạng để quản lý và cung cấp các dịch vụ
- Hiệu năng và độ tin cậy cao
- Hàng nghìn đến hàng triệu USD

- Máy tính lớn/ Siêu máy tính (Warehouse-Scale Computers/ Supercomputers)

- WSC còn gọi là Clusters: kết nối các máy chủ với nhau dùng cho các mục đích khác nhau
- **Supercomputers**: Một dạng WSC dùng cho siêu tính toán trong khoa học và kỹ thuật
- Hàng triệu đến hàng trăm triệu USD

## 1.2. Kiến trúc máy tính

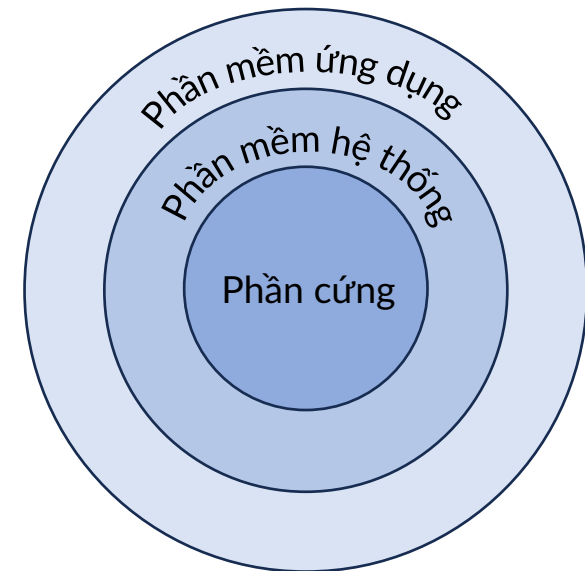
- Nghiên cứu máy tính theo ba khía cạnh:
  - **Kiến trúc tập lệnh** (Instruction Set Architecture): nghiên cứu máy tính theo cách nhìn của người lập trình, giao diện giữa phần cứng và phần mềm
  - **Tổ chức máy tính** (Computer Organization) hay **Vi kiến trúc** (Microarchitecture): nghiên cứu thiết kế máy tính ở mức cao (thiết kế CPU, hệ thống nhớ, cấu trúc bus, ...)
  - **Phần cứng** (Hardware): nghiên cứu thiết kế ở mức chi tiết và công nghệ đóng gói của máy tính.
- Cùng một kiến trúc tập lệnh có thể có nhiều sản phẩm (tổ chức, phần cứng) khác nhau
- Học phần tập trung vào **Kiến trúc tập lệnh** và **Tổ chức máy tính**

# Các kiến trúc tập lệnh thông dụng

- Kiến trúc Intel x86
  - Từ 1978
  - Sử dụng phổ biến trong Laptop, Desktop, Servers
- Kiến trúc ARM
  - Từ 1985
  - Sử dụng trong Smartphones, Tablets, ...
- Kiến trúc RISC-V : kiến trúc tập lệnh mở
  - Từ 2010 tại University of California, Berkeley
  - RISC-V Foundation (2015)
  - RISC-V International Association (2020) hiện tại đặt ở Thụy Sĩ
  - ~ 4000 thành viên từ 70 quốc gia
  - Miễn phí bản quyền
  - Kiến trúc cho tương lai ?

# Phân lớp máy tính

- Phần mềm ứng dụng
  - Được viết theo ngôn ngữ bậc cao
- Phần mềm hệ thống
  - Hệ điều hành (Operating Systems)
    - Lập lịch cho các nhiệm vụ và chia sẻ tài nguyên
    - Quản lý bộ nhớ và lưu trữ
    - Điều khiển vào-ra
  - Chương trình dịch (Compilers): dịch mã ngôn ngữ bậc cao thành mã máy
- Phần cứng
  - Bộ xử lý, bộ nhớ, mô-đun vào-ra



# Các mức của mã chương trình

## ▪ Ngôn ngữ bậc cao

- High-level language – HLL
- Mức trừu tượng gần với vấn đề cần giải quyết
- Hiệu quả và linh động

## ▪ Hợp ngữ

- Assembly language
- Phụ thuộc kiến trúc tập lệnh cụ thể
- Mô tả lệnh dưới dạng text

## ▪ Ngôn ngữ máy

- Machine language
- Được mã hóa bằng số nhị phân

Ngôn ngữ  
bậc cao  
(C)

```
swap (int v[], int k)
{int temp;
  temp = v[k];
  v[k] = v[k+1];
  v[k+1] = temp;
}
```

Compiler

Hợp ngữ  
(RISC-V)

```
swap:
  slli t0, a1, 2
  add  t0, a0, t0
  lw   t1, 0(t0)
  lw   t2, 4(t0)
  sw   t2, 0(t0)
  sw   t1, 4(t0)
  jalr zero, 0(ra)
```

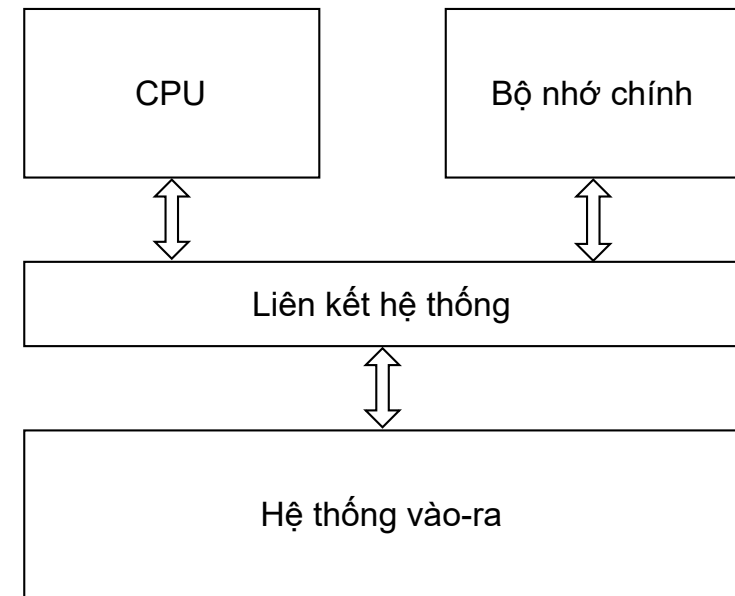
Assembler

Mã máy  
(RISC-V)

0000	0000	0010	0101	1001	0010	1001	0011
0000	0000	0101	0101	0000	0010	1011	0011
0000	0000	0000	0010	1010	0011	0000	0011
0000	0000	0100	0010	1010	0011	1000	0011
0000	0000	0111	0010	1010	0000	0010	0011
0000	0000	0110	0010	1010	0010	0010	0011
0000	0000	0000	0000	1000	0000	0110	0111

# Các thành phần cơ bản của máy tính

- Giống nhau với tất cả các loại máy tính
- **Bộ xử lý trung tâm**
  - Central Processing Unit – CPU
  - Điều khiển hoạt động của máy tính và xử lý dữ liệu
- **Bộ nhớ chính**
  - Main Memory
  - Chứa các chương trình đang thực hiện
- **Hệ thống vào-ra**
  - Input/Output
  - Trao đổi thông tin giữa máy tính với bên ngoài
- **Liên kết hệ thống**
  - System interconnection
  - Kết nối và vận chuyển thông tin

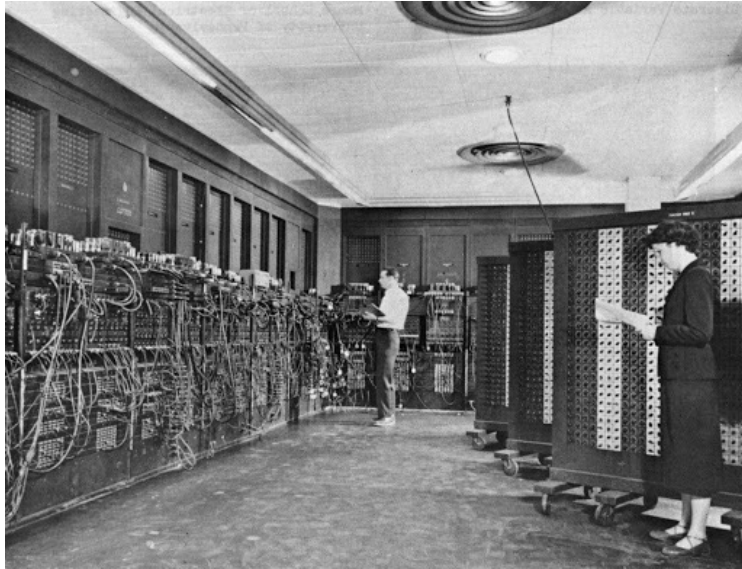




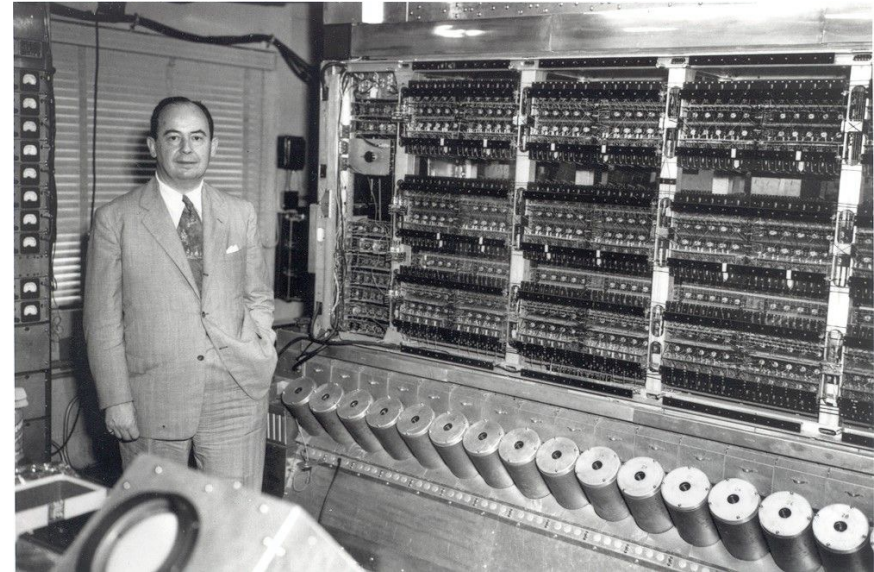
## 1.3. Sự tiến hóa của công nghệ máy tính

- Máy tính dùng đèn điện tử chân không (1950s)
  - Máy tính ENIAC: máy tính đầu tiên (1946)
  - Máy tính IAS: máy tính von Neumann (1952)
- Máy tính dùng transistors (1960s)
- Máy tính dùng IC (vi mạch) SSI, MSI và LSI (1970s)
  - SSI - Small Scale Integration
  - MSI - Medium Scale Integration
  - LSI - Large Scale Integration
- Máy tính dùng vi mạch VLSI (1980s)
  - VLSI - Very Large Scale Integration
- Máy tính dùng vi mạch ULSI (1990s-nay)
  - ULSI - Ultra Large Scale Integration

# Máy tính đầu tiên: ENIAC và IAS



- Electronic Numerical Interpolator and Computer
- Dự án của Bộ Quốc phòng Mỹ
- Do GS John Mauchly ở đại học Pennsylvania thiết kế
- 30 tấn
- Xử lý theo số thập phân



- Thực hiện tại Princeton Institute for Advanced Studies
- Do John von Neumann thiết kế theo ý tưởng “stored program”
- Xử lý theo số nhị phân
- Trở thành mô hình cơ bản của máy tính

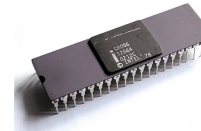
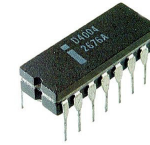
# Một số loại vi mạch số điển hình (IC- Integrated Circuits)

- Bộ vi xử lý (Microprocessors)
  - Một hoặc nhiều CPU được chế tạo trên một chip
- Vi mạch điều khiển tổng hợp (Chipset)
  - Vi mạch thực hiện các chức năng nối ghép các thành phần của máy tính với nhau
- Bộ nhớ bán dẫn (Semiconductor Memory)
  - ROM, RAM, Flash memory
- Hệ thống trên chip (SoC – System on Chip) hay Bộ vi điều khiển (Microcontrollers)
  - Tích hợp các thành phần chính của máy tính trên một chip vi mạch
- Bộ xử lý đồ họa (GPU - Graphic Processing Unit)

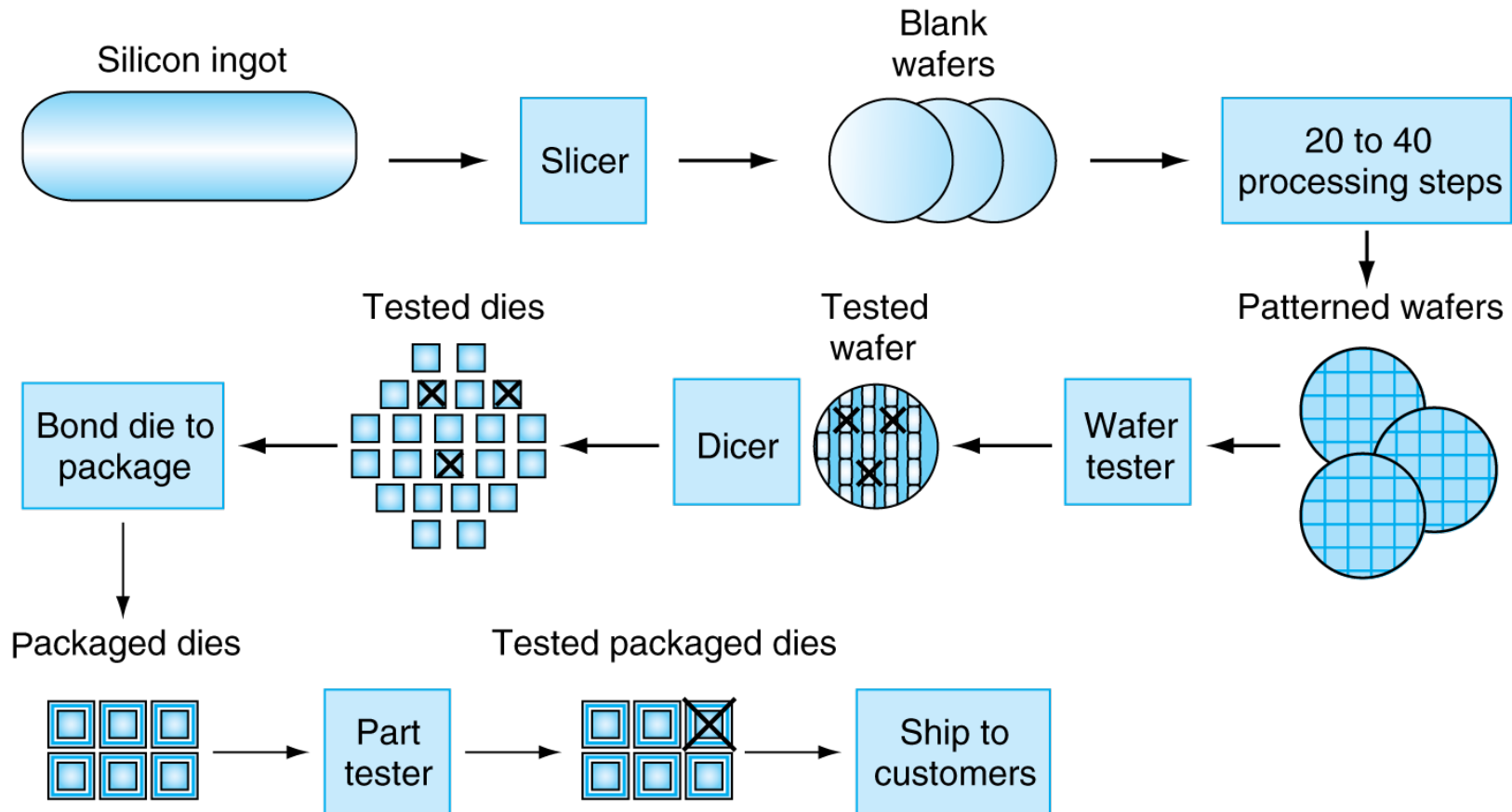


# Sự phát triển của bộ vi xử lý

- 1971: bộ vi xử lý 4-bit Intel 4004
- 1972: các bộ xử lý 8-bit
- 1978: các bộ xử lý 16-bit
  - Máy tính cá nhân IBM-PC ra đời năm 1981
- 1985: các bộ xử lý 32-bit
- 2001: các bộ xử lý 64-bit
- 2006: các bộ xử lý đa lõi (multicores)
  - Nhiều CPU trên 1 chip



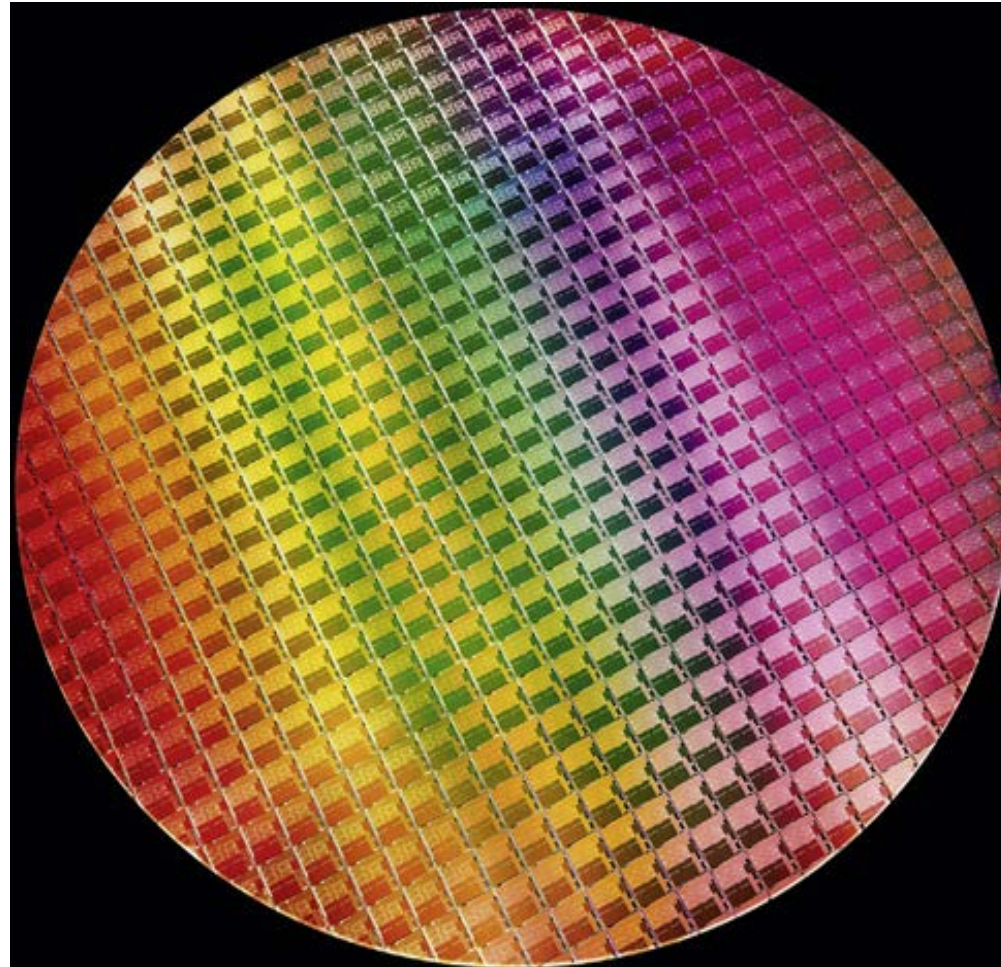
# Qui trình sản xuất chip



Từ cát thành chip



# 10th Gen Intel Core Wafer



- 300mm wafer, 506 chips, 10nm technology
- Each chip is 11.4 x 10.7 mm

## 1.4. Hiệu năng máy tính

- Định nghĩa hiệu năng P (Performance):

$$\text{Hiệu năng} = \frac{1}{\text{Thời gian thực hiện}}$$

hay là:  $P = \frac{1}{t}$

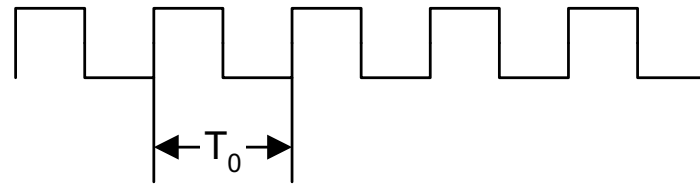
“Máy tính A nhanh hơn máy B k lần”

$$\frac{P_A}{P_B} = \frac{t_B}{t_A} = k$$

- Ví dụ: Thời gian chạy chương trình:
  - 10s trên máy A, 15s trên máy B
  - $t_B / t_A = 15s / 10s = 1.5$
  - Vậy máy A nhanh hơn máy B 1.5 lần

# Tần số xung nhịp của CPU

- Mỗi bộ xử lý hoạt động theo một xung nhịp (clock) có tần số xác định



- Chu kỳ xung nhịp  $T_0$  (Clock period): thời gian của một chu kỳ
- Tần số xung nhịp  $f_0$  (Clock rate)
  - Còn được gọi là **Tốc độ xung nhịp** (Clock speed)
  - Số xung trong 1s, đo bằng đơn vị Hz
  - $f_0 = 1/T_0$
- Ví dụ: Bộ xử lý có  $f_0 = 4\text{GHz} = 4 \times 10^9 \text{Hz}$ 
  - $T_0 = 1/(4 \times 10^9) = 0.25 \times 10^{-9} \text{s} = 0.25 \text{ns}$



# Thời gian thực hiện của CPU

- Để đơn giản, ta xét thời gian CPU thực hiện chương trình (CPU time):

Thời gian thực hiện của CPU =

Số chu kỳ xung nhịp x Thời gian một chu kỳ

$$t_{CPU} = n \times T_0 = \frac{n}{f_0}$$

trong đó:  $n$  là số chu kỳ xung nhịp

- Hiệu năng được tăng lên bằng cách:
  - Giảm số chu kỳ xung nhịp  $n$
  - Tăng tần số xung nhịp  $f_0$

# Ví dụ

- Hai máy tính A và B cùng chạy một chương trình
- Máy tính A:
  - Tần số xung nhịp của CPU:  $f_A = 2\text{GHz}$
  - Thời gian CPU thực hiện chương trình:  $t_A = 10\text{s}$
- Máy tính B:
  - Thời gian CPU thực hiện chương trình:  $t_B = 6\text{s}$
  - Số chu kỳ xung nhịp khi chạy chương trình trên máy B ( $n_B$ ) bằng 1.2 lần số chu kỳ xung nhịp khi chạy chương trình trên máy A ( $n_A$ )
- Hãy xác định tần số xung nhịp cần thiết cho máy B ( $f_B$ )?

# Ví dụ

- Ta có:  $t = \frac{n}{f_0}$
- Số chu kỳ xung nhịp khi chạy chương trình trên máy A:

$$n_A = t_A \times f_A = 10s \times 2GHz = 20 \times 10^9$$

- Số chu kỳ xung nhịp khi chạy chương trình trên máy B:

$$n_B = t_B \times f_B = 1.2 \times n_A = 24 \times 10^9$$

- Tần số xung nhịp cần thiết cho máy B:

$$f_B = \frac{n_B}{t_B} = \frac{24 \times 10^9}{6} = 4 \times 10^9 \text{Hz} = 4 \text{ GHz}$$

# Số lệnh và số chu kỳ trên một lệnh

- Số chu kỳ xung nhịp của chương trình:

Số chu kỳ = Số lệnh của chương trình x Số chu kỳ trên một lệnh

$$n = IC \times CPI$$

- n - số chu kỳ xung nhịp
  - IC - số lệnh của chương trình (Instruction Count)
  - CPI - số chu kỳ trên một lệnh (Cycles per Instruction)
- Vậy thời gian thực hiện của CPU:

$$t_{CPU} = IC \times CPI \times T_0 = \frac{IC \times CPI}{f_0}$$

- Trong trường hợp các lệnh khác nhau có CPI khác nhau, cần tính CPI trung bình

# Ví dụ

- Hai máy tính A và B có cùng kiến trúc tập lệnh
- Máy tính A có:
  - Chu kỳ xung nhịp:  $T_A = 250\text{ps}$
  - Số chu kỳ/ lệnh trung bình:  $\text{CPI}_A = 2.0$
- Máy tính B:
  - Chu kỳ xung nhịp:  $T_B = 500\text{ps}$
  - Số chu kỳ/ lệnh trung bình:  $\text{CPI}_B = 1.2$
- Hãy xác định máy nào nhanh hơn và nhanh hơn bao nhiêu ?

## Ví dụ (tiếp)

- Ta có:  $t_{CPU} = IC \times CPI_{TB} \times T_0$
- Hai máy cùng kiến trúc tập lệnh, vì vậy số lệnh của cùng một chương trình trên hai máy là bằng nhau:

$$IC_A = IC_B = IC$$

- Thời gian thực hiện chương trình đó trên máy A và máy B:

$$t_A = IC_A \times CPI_A \times T_A = IC \times 2.0 \times 250ps = IC \times 500ps$$

$$t_B = IC_B \times CPI_B \times T_B = IC \times 1.2 \times 500ps = IC \times 600ps$$

- Từ đó ta có:

$$\frac{t_B}{t_A} = \frac{IC \times 600ps}{IC \times 500ps} = 1.2$$

- Kết luận: máy A nhanh hơn máy B 1.2 lần

# CPI trung bình

- Nếu các loại lệnh khác nhau có số chu kỳ khác nhau, ta có tổng số chu kỳ:

$$n = \sum_{i=1}^K (CPI_i \times IC_i)$$

- Vậy CPI trung bình:

$$CPI_{TB} = \frac{n}{IC} = \frac{1}{IC} \sum_{i=1}^K (CPI_i \times IC_i)$$

# Ví dụ

Cho bảng chỉ ra các dãy lệnh sử dụng các lệnh thuộc các loại A, B, C. Tính CPI trung bình?

Loại lệnh	A	B	C
CPI theo loại lệnh	1	2	3
IC trong dãy lệnh 1	20	10	20
IC trong dãy lệnh 2	40	10	10

- Dãy lệnh 1: Số lệnh = 50
  - Số chu kỳ =  
 $= 1 \times 20 + 2 \times 10 + 3 \times 20 = 100$
  - $CPI_{TB} = 100/50 = 2.0$
- Dãy lệnh 2: Số lệnh = 60
  - Số chu kỳ =  
 $= 1 \times 40 + 2 \times 10 + 3 \times 10 = 90$
  - $CPI_{TB} = 90/60 = 1.5$



# Tóm tắt về Hiệu năng

$$CPUtime = \frac{Instructions}{Program} \times \frac{Clock\ cycles}{Instruction} \times \frac{Seconds}{Clock\ Cycle}$$

Thời gian thực hiện chương trình của CPU =  
= Số lệnh của chương trình x Số chu kỳ/lệnh x Số giây của một chu kỳ

$$t_{CPU} = IC \times CPI \times T_0 = \frac{IC \times CPI}{f_0}$$

- Hiệu năng phụ thuộc vào:
  - Thuật giải
  - Ngôn ngữ lập trình
  - Chương trình dịch
  - Kiến trúc tập lệnh
  - Phần cứng

# MIPS như là thước đo hiệu năng

- MIPS: Millions of Instructions Per Second  
Số triệu lệnh trên 1 giây

$$\text{MIPS} = \frac{\text{Instruction Count}}{\text{Execution Time} \times 10^6} = \frac{\text{Instruction Count}}{\frac{\text{Instruction Count} \times \text{CPI}}{\text{Clock rate}} \times 10^6} = \frac{\text{Clock rate}}{\text{CPI} \times 10^6}$$

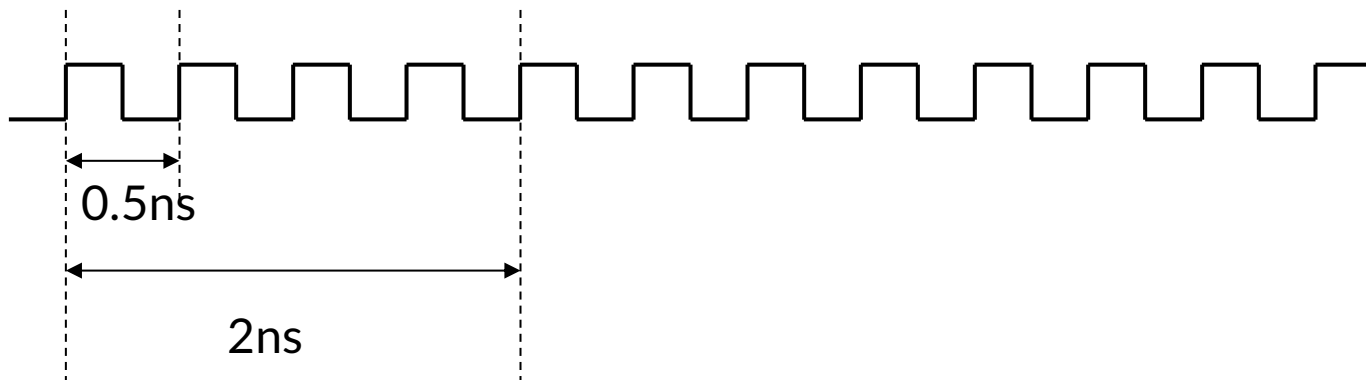
$$\text{MIPS} = \frac{f_0}{\text{CPI} \times 10^6}$$

$$\text{CPI} = \frac{f_0}{\text{MIPS} \times 10^6}$$

# Ví dụ

Tính MIPS của bộ xử lý với:

$$f_0 = 2\text{GHz và CPI} = 4$$

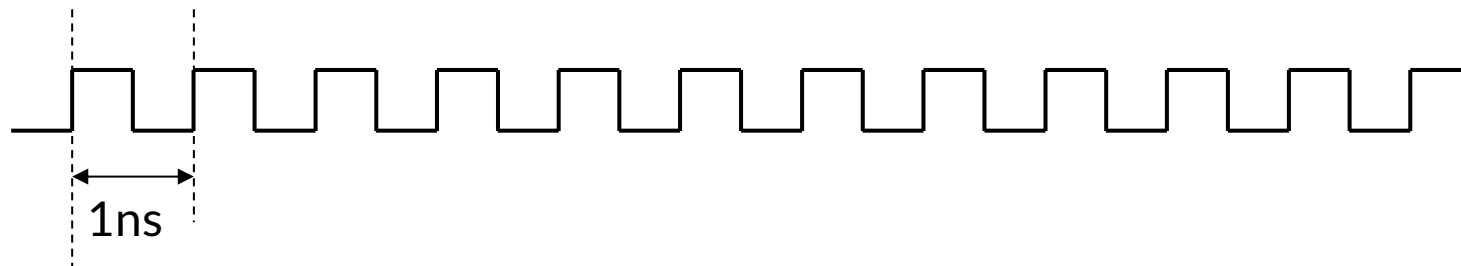


- Chu kỳ  $T_0 = 1/(2 \times 10^9) = 0.5\text{ns}$
- $\text{CPI} = 4 \rightarrow$  thời gian thực hiện 1 lệnh  $= 4 \times 0.5\text{ns} = 2\text{ns}$
- Số lệnh thực hiện trong  $1\text{s} = (10^9\text{ns})/(2\text{ns}) = 5 \times 10^8$  lệnh
- Vậy bộ xử lý thực hiện được 500 MIPS

# Ví dụ

Tính CPI của bộ xử lý với:

$$f_0 = 1\text{GHz và } 400\text{ MIPS}$$



- Chu kỳ  $T_0 = 1/10^9 = 1\text{ns}$
- Số lệnh thực hiện trong 1 s là  $400\text{MIPS} = 4 \times 10^8$  lệnh
- Thời gian thực hiện 1 lệnh  $= 1/(4 \times 10^8)\text{s} = 2.5\text{ns}$
- Vậy ta có:  $\text{CPI} = 2.5/1 = 2.5$

# MFLOPS

- Sử dụng cho các hệ thống tính toán lớn
- Millions of Floating Point Operations per Second
- Số triệu phép toán số dấu phẩy động trên một giây

$$\text{MFLOPS} = \frac{\text{Executed floating point operations}}{\text{Execution time} \times 10^6}$$

- GFLOPS ( $10^9$ )
- TFLOPS ( $10^{12}$ )
- PFLOPS ( $10^{15}$ )



Hết chương 1