

Kiến trúc và tổ chức máy tính

Giảng viên: Nguyễn Thanh Toàn

Bộ môn Mạng & Các HTTT

Email: nttoan06@gmail.com

Giới thiệu về môn học

- Cách thức làm việc:
 - + sinh viên tìm hiểu trước về bài học
 - + nghe giảng & trao đổi trên lớp
 - + có thể liên hệ trao đổi với giáo viên qua email.
- Khi có thắc mắc/câu hỏi:
 - + yêu cầu tìm kiếm câu trả lời trong các tài liệu tham khảo, Internet,
 - + trao đổi với các bạn cùng lớp (trực tiếp hoặc qua diễn đàn môn học)
 - + hoặc trao đổi với giáo viên (nếu thực hiện tất cả các khả năng nói trên mà vẫn chưa giải quyết được vấn đề)

Nội dung môn học

- Chương 1. Tổng quan về kiến trúc máy tính
- Chương 2. Biểu diễn thông tin trong máy tính
- Chương 3. Bộ xử lý trung tâm
- Chương 4. Bộ nhớ
- Chương 5. Các thiết bị điều khiển và giao diện dữ liệu
- Chương 6. Lập trình hợp ngữ

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Kiến trúc máy tính, Nguyễn Đình Việt
2. William Stallings - Computer Organization & Architecture - Design and Performance, Ninth Edition, PEARSON, 2013.
3. KT Vi xử lý, Văn Thế Minh, NXB Giáo dục
3. Cấu trúc máy vi tính và thiết bị ngoại vi, Nguyễn Nam Trung, NXBKHK
4. Nguyên lý phần cứng và kỹ thuật ghép nối máy vi tính, Trần Quang Vinh, NXB Giáo dục
5. Cấu tạo máy tính, Trần Quang Vinh
6. The 80x86 IBM PC & Compatible computer – Muhammad Ali Mazidi
7. Microprocessor and interfacing - programming and hardware - GLENCOE
8. Assembly Language - NetWilliam Stallings.
9. Cẩm nang lập trình hệ thống, Michael Tischer, NXB Giáo dục
10. Mostafa Adb-El-Barr & Hesham El-Rewini. Fundamentals of Computer Organization Architecture. Wiley Interscience, Inc publication, 2005

Chương 1: Tổng quan về kiến trúc và tổ chức máy tính

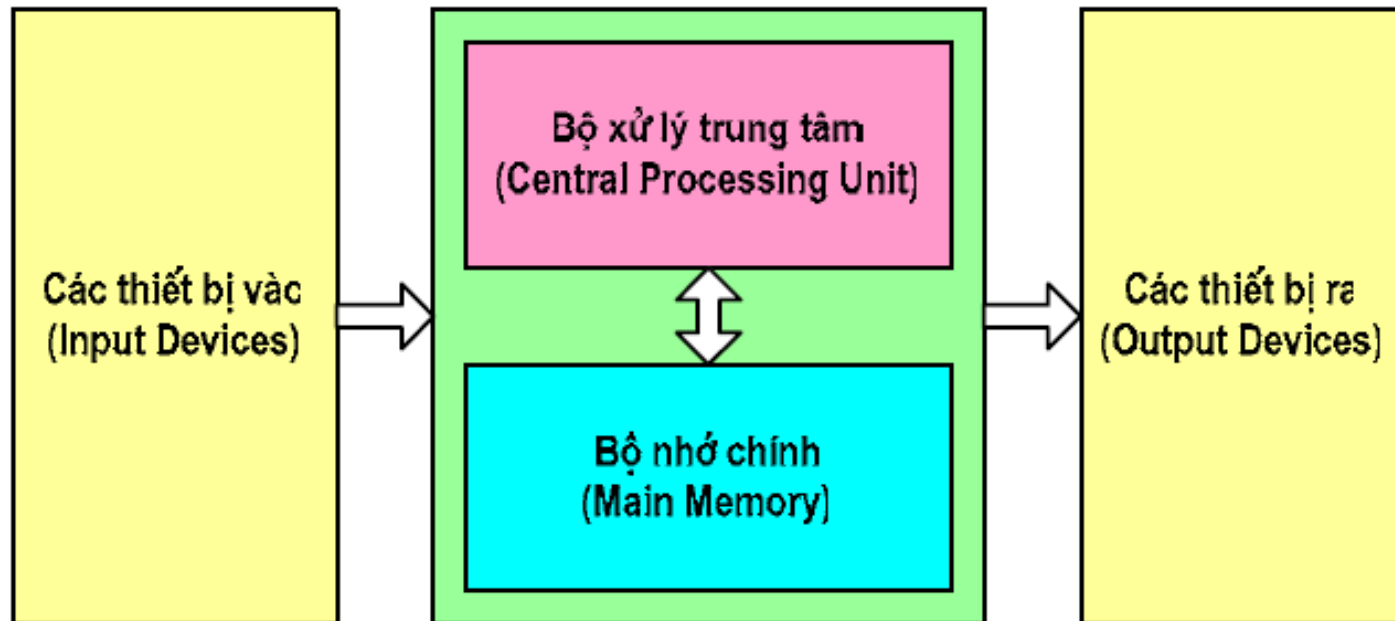
Nội dung

- Máy tính và phân loại
- Kiến trúc máy tính
- Lịch sử phát triển của máy tính
- Hiệu năng của máy tính

1. Máy tính và phân loại

- Máy tính (computer): Là thiết bị điện tử thực hiện các công việc sau
 - Nhận thông tin vào
 - Xử lý thông tin theo dãy các lệnh được nhớ sẵn trong máy tính
 - Đưa thông tin ra
 - Lưu giữ thông tin
- Dãy các lệnh nằm trong bộ nhớ để yêu cầu máy tính thực hiện công việc cụ thể gọi là chương trình (program)
- Như vậy máy tính hoạt động theo chương trình

Mô hình cơ bản của máy tính



Phân loại máy tính

- Phân loại truyền thống:
 - Máy vi tính (Microcomputers)
 - Máy tính nhỏ (Minicomputers)
 - Máy tính lớn (Mainframe Computers)
 - Siêu máy tính (Supercomputers)

Phân loại hiện đại

- Thiết bị di động cá nhân (Personal Mobile Device): Smartphone, Tablet,...
- Máy tính để bàn (Desktop Computers)
- Máy chủ (Server Computers)
 - Dùng trong mạng theo mô hình Client/Server
- Máy tính cụm/nhà kho (Clusters/Warehouse Scale Computers)
- Máy tính nhúng (Embedded Computers)
 - Đặt ẩn trong thiết bị khác
 - Thiết kế chuyên dụng

Máy tính để bàn

- Là loại máy tính phổ biến nhất
- Các loại máy tính để bàn:
 - Máy tính cá nhân (Personal Computers - PC)
 - Máy tính trạm làm việc (Workstations)
- 1981 → IBM giới thiệu máy tính IBM-PC sử dụng bộ xử lý Intel 8088
- 1984 → Apple đưa ra Macintosh sử dụng bộ xử lý Motorola 68000
- Giá thành: 500USD đến 10.000USD

Máy chủ

- Thực chất là máy phục vụ
- Dùng trong mạng theo mô hình Client/Server (Khách hàng/Người phục vụ)
- Tốc độ và hiệu năng tính toán cao
- Dung lượng bộ nhớ lớn
- Độ tin cậy cao
- Giá thành: hàng chục nghìn đến hàng chục triệu USD.

Máy tính nhúng

- Được đặt trong thiết bị khác để điều khiển thiết bị đó làm việc
- Được thiết kế chuyên dụng
- Ví dụ:
 - Điện thoại di động
 - Máy ảnh số
 - Bộ điều khiển trong máy giặt, điều hoà nhiệt độ
 - Router – bộ định tuyến trên mạng
- Giá thành: vài USD đến hàng trăm nghìn USD.

2. Kiến trúc cơ bản của máy tính

- Cấu trúc máy tính theo John Von Neumann
- [Huy chương IEEE John von Neumann được thưởng hàng năm bởi tổ chức IEEE "cho các kết quả xuất sắc đạt được trong khoa học và kỹ thuật có liên quan đến máy tính
- Một miêng hồ trên Mặt trăng được đặt theo tên John von Neumann]

- Định nghĩa trước đây về kiến trúc máy tính:
 - Cách nhìn logic của máy tính từ người lập trình (hardware/software interface)
 - Kiến trúc tập lệnh (Instruction Set Architecture – ISA)
- Là định nghĩa hẹp



Định nghĩa của Hennessy/ Patterson

- **Kiến trúc máy tính** bao gồm:
 - **Kiến trúc tập lệnh** (Instruction Set Architecture): nghiên cứu máy tính theo cách nhìn của người lập trình (hardware/software interface).
 - **Tổ chức máy tính** (Computer Organization): nghiên cứu thiết kế máy tính ở mức cao, chẳng hạn như hệ thống nhớ, cấu trúc bus, thiết kế bên trong CPU.
 - **Phần cứng** (Hardware): nghiên cứu thiết kế logic chi tiết và công nghệ đóng gói của máy tính.
- **Kiến trúc tập lệnh thay đổi chậm, tổ chức và phần cứng máy tính thay đổi rất nhanh.**

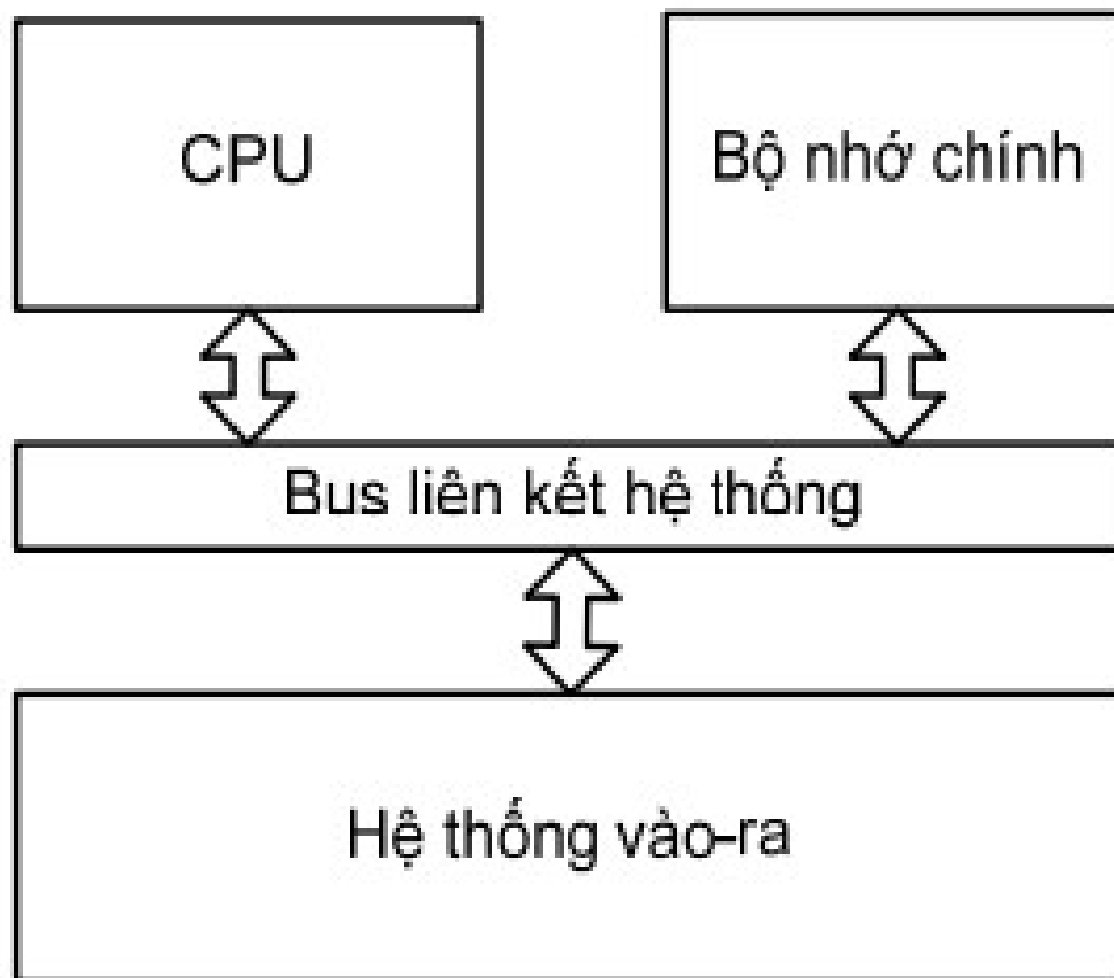
Kiến trúc tập lệnh

Kiến trúc tập lệnh của máy tính bao gồm:

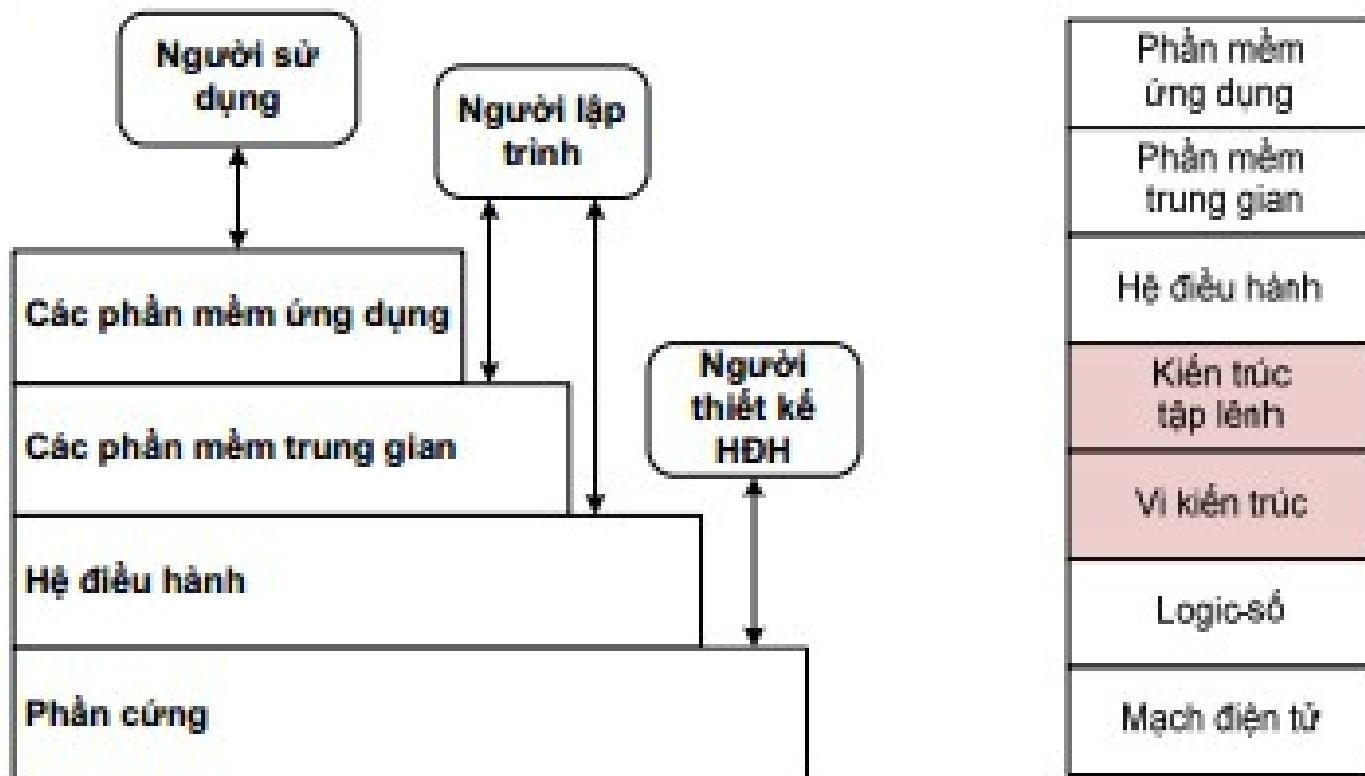
- **Tập lệnh**: tập hợp các chuỗi số nhị phân mã hoá cho các thao tác mà máy tính có thể thực hiện
- **Các kiểu dữ liệu**: các kiểu dữ liệu mà máy tính có thể xử lý

Các thành phần cơ bản của máy tính

- **Bộ xử lý trung tâm** (Central Processing Unit): Điều khiển hoạt động của máy tính và xử lý dữ liệu.
- **Bộ nhớ chính** (Main Memory): Chứa các chương trình và dữ liệu đang được sử dụng.
- **Hệ thống vào ra** (Input/Output System): Trao đổi thông tin giữa máy tính với bên ngoài.
- **Liên kết hệ thống** (System Interconnection): Kết nối và vận chuyển thông tin giữa các thành phần với nhau.



Mô hình phân lớp của máy tính



- **Phần cứng (Hardware):** hệ thống vật lý của máy tính.
- **Phần mềm (Software):** các chương trình và dữ liệu.

3. Sự tiến hoá của máy tính

- Thế hệ thứ nhất: Máy tính dùng **đèn điện tử** chân không (1946-1955)
- Thế hệ thứ hai: Máy tính dùng **transistor** (1956-1965)
- Thế hệ thứ ba: Máy tính dùng **vi mạch SSI, MSI và LSI** (1966-1980)
- Thế hệ thứ tư: Máy tính dùng **vi mạch VLSI** (1981 - nay)

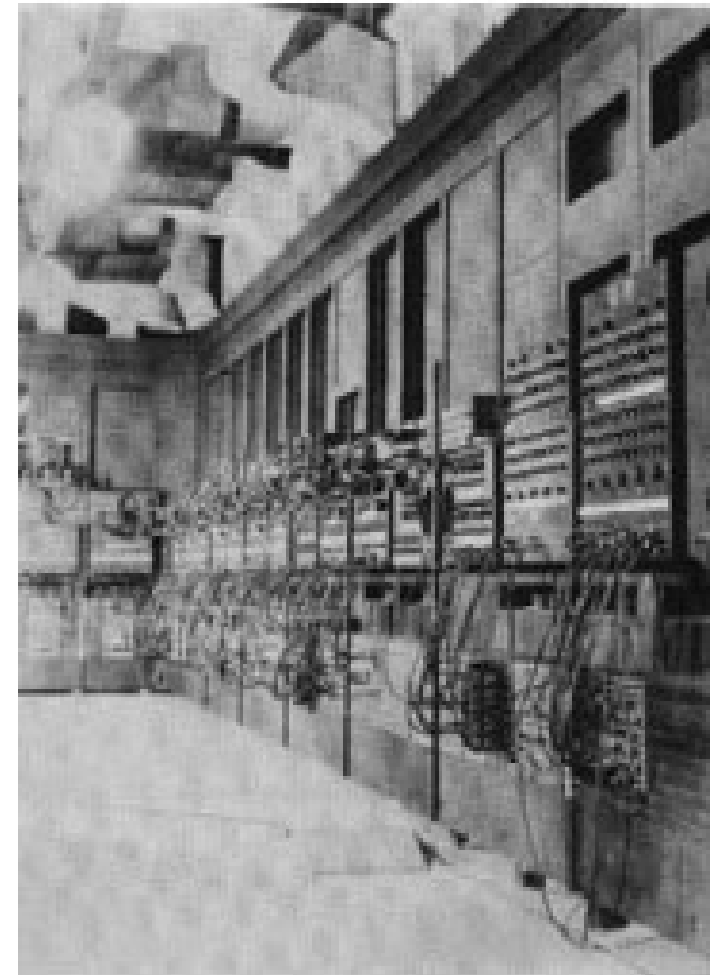
3. Sự tiến hoá của máy tính

Các thế hệ máy tính

- Thế hệ thứ nhất: Máy tính dùng đèn điện tử chân không (1950s)
- Thế hệ thứ hai: Máy tính dùng transistor (1960s)
- Thế hệ thứ ba: Máy tính dùng vi mạch SSI, MSI và LSI (1970s)
- Thế hệ thứ tư: Máy tính dùng vi mạch VLSI (1980s)

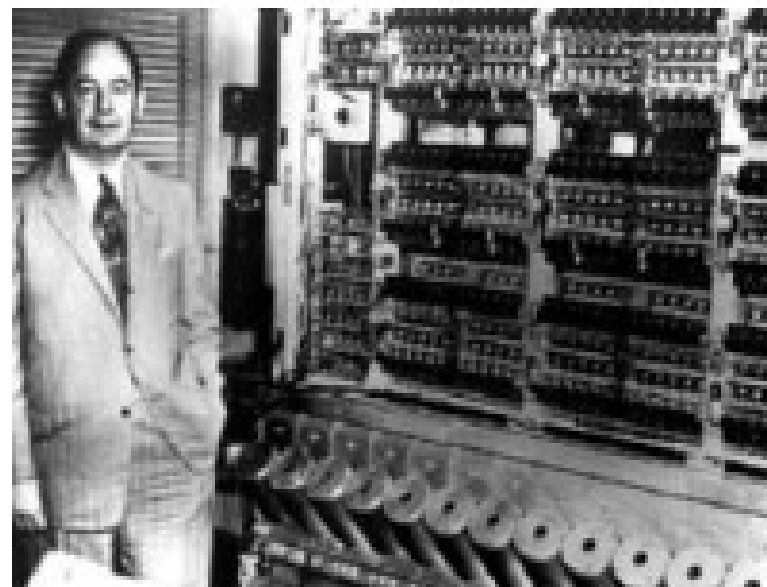
Máy tính dùng đèn điện tử

- **ENIAC**- Máy tính điện tử đầu tiên
 - Electronic Numerical Intergator And Computer
 - Dự án của Bộ Quốc phòng Mỹ
 - Do John Mauchly và John Presper Eckert ở Đại học Pennsylvania thiết kế.
 - Bắt đầu từ 1943, hoàn thành 1946
 - Nặng 30 tấn
 - 18000 đèn điện tử và 1500 role
 - 5000 phép cộng/giây
 - Xử lý theo số thập phân
 - Bộ nhớ chỉ lưu trữ dữ liệu
 - Lập trình bằng cách thiết lập vị trí của các chuyển mạch và các cáp nối.



Máy tính von Neumann

- Đó là máy tính IAS: Princeton Institute for Advanced Studies
- Được bắt đầu từ 1947, hoàn thành 1952
- Do John von Neumann thiết kế
- Được xây dựng theo ý tưởng “chương trình được lưu trữ” (*stored-program concept*) của von Neumann/Turing (1945)



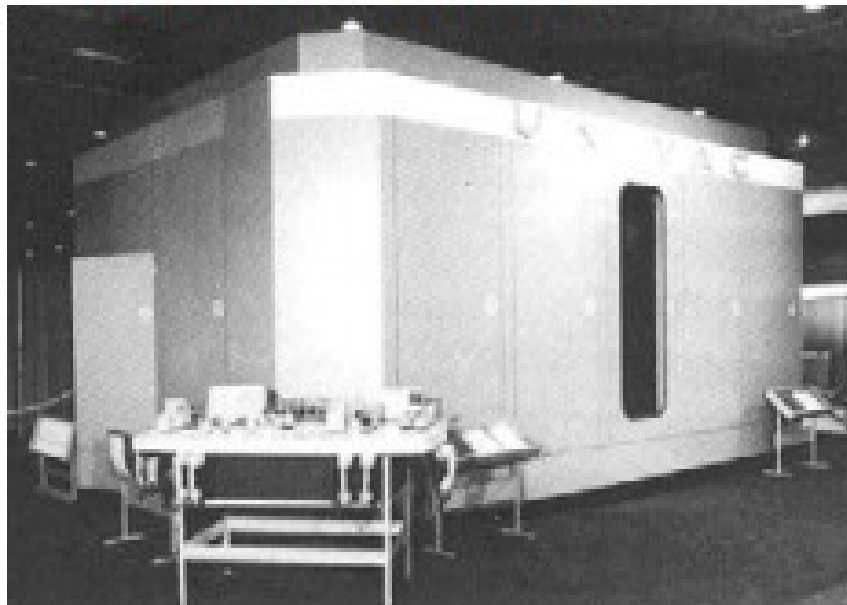


Đặc điểm chính của máy tính IAS

- Bao gồm các thành phần: đơn vị điều khiển, đơn vị số học và logic (ALU), bộ nhớ chính và các thiết bị vào-ra.
- Bộ nhớ chính chứa chương trình và dữ liệu
- Bộ nhớ chính được đánh địa chỉ theo từng ngăn nhớ, không phụ thuộc vào nội dung của nó.
- ALU thực hiện các phép toán với số nhị phân
- Đơn vị điều khiển nhận lệnh từ bộ nhớ, giải mã và thực hiện lệnh một cách tuần tự.
- Đơn vị điều khiển điều khiển hoạt động của các thiết bị vào-ra
- Trở thành mô hình cơ bản của máy tính

Các máy tính thương mại

- 1947 - Eckert-Mauchly Computer Corporation
- UNIVAC I (Universal Automatic Computer)
- 1950s - UNIVAC II
 - Nhanh hơn
 - Bộ nhớ lớn hơn



Hãng IBM

- IBM - International Business Machine
- 1953 - IBM 701
 - Máy tính lưu trữ chương trình đầu tiên của IBM
 - Sử dụng cho tính toán khoa học
- 1955 – IBM 702
 - Các ứng dụng thương mại



- Máy tính PDP-1 của DEC (Digital Equipment Corporation): *máy tính mini* đầu tiên
- IBM 7000
- Hàng trăm nghìn phép cộng trong một giây.
- Các *ngôn ngữ lập trình* *bậc cao* ra đời.



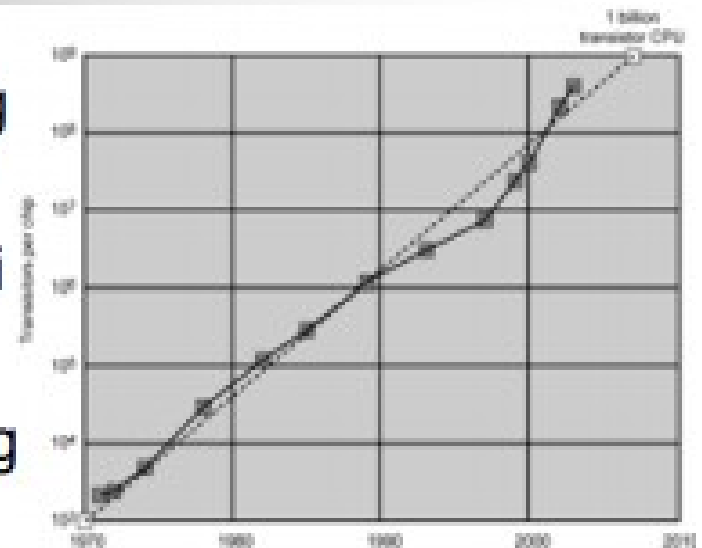


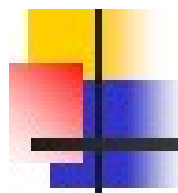
Máy tính dùng vi mạch SSI, MSI và LSI

- Vi mạch (Integrated Circuit - IC): nhiều transistor và các phần tử khác được tích hợp trên một chip bán dẫn.
 - SSI (Small Scale Integration)
 - MSI (Medium Scale Integration)
 - LSI (Large Scale Integration)
 - VLSI (Very Large Scale Integration) (thế hệ thứ tư)
 - ULSI (Ultra Large Scale Integration) (thế hệ thứ năm)
 - SoC (System on Chip)
- Siêu máy tính xuất hiện: CRAY-1, VAX
- Bộ vi xử lý (microprocessor) ra đời
 - Bộ vi xử lý đầu tiên → Intel 4004 (1971).

Luật Moore

- Gordon Moore – người đồng sáng lập Intel
- Số transistors trên chip sẽ gấp đôi sau 18 tháng
- Giá thành của chip hầu như không thay đổi
- Mật độ cao hơn, do vậy đường dẫn ngắn hơn
- Kích thước nhỏ hơn dẫn tới độ phức tạp tăng lên
- Điện năng tiêu thụ ít hơn
- Hệ thống có ít các chip liên kết với nhau, do đó tăng độ tin cậy

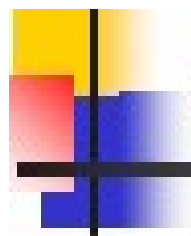




Máy tính dùng vi mạch VLSI/ULSI

Các sản phẩm chính của công nghệ VLSI/ULSI:

- **Bộ vi xử lý (Microprocessor): CPU** được chế tạo trên một chip.
- **Vi mạch điều khiển tổng hợp (Chipset):** một hoặc một vài vi mạch thực hiện được nhiều chức năng điều khiển và nối ghép.
- **Bộ nhớ bán dẫn (Semiconductor Memory):** ROM, RAM, Flash
- **Các bộ vi điều khiển (Microcontroller):** máy tính chuyên dụng được chế tạo trên 1 chip.



Sự phát triển của bộ vi xử lý

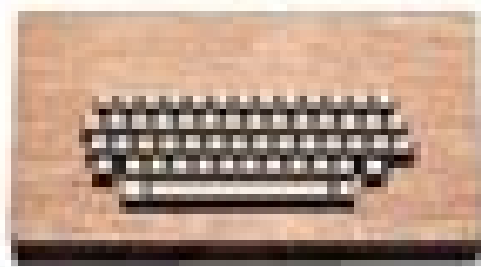
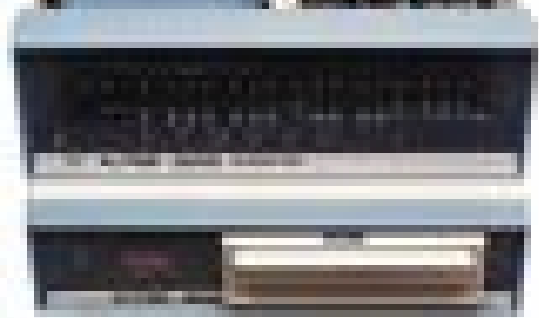
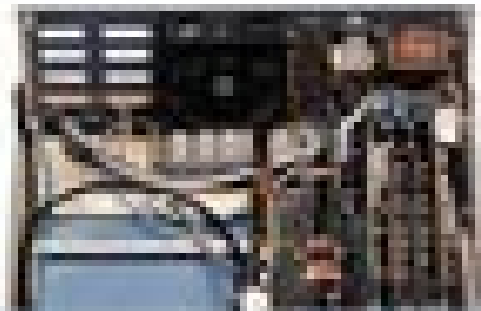
- 1971: bộ vi xử lý 4-bit Intel 4004
- 1972-1977: các bộ xử lý 8-bit
- 1978-1984: các bộ xử lý 16-bit
- Khoảng từ 1985: các bộ xử lý 32-bit
- Khoảng từ 2000: các bộ xử lý 64-bit
- Từ 2006: các bộ xử lý đa lõi (multicores)

Máy tính ngày nay



Một số dòng máy tính

- 1972 - Intel 8008
8008 có tốc độ 200 KHz với 3.500 bóng bán dẫn
- 1974 - Intel 8080
 - Thiết bị xử lý 8080 đã trở thành bộ não của hệ thống máy tính cá nhân đầu tiên Altair
 - 8080 có tốc độ 2 MHz với 6.000 bóng bán dẫn.



- 1978: Intel 8086 16 bit microprocessor
- 1979: 8088
- Intel giới thiệu bộ vi xử lý 8088, có đặc điểm kiến trúc bên trong 16-bit và một bus ngoài 8-bit.
- Motorola giới thiệu chip 68000, được sử dụng trong các máy tính Macintosh đầu tiên



- 1980
- IBM chọn Microsoft (đồng sáng lập là Bill Gates và Paul Allen) cung cấp hệ điều hành cho các máy tính PC sắp ra đời
- Microsoft mua một chương trình được Seattle Computer Products phát triển gọi là Q-DOS (for Quick and Disk Operating System), và sửa đổi nó để chạy trên phần cứng IBM.

- 1981
- IBM giới thiệu IBM-PC, với một CPU Intel 8088 tốc độ 4.77 MHz, 16 KB bộ nhớ, một bàn phím, một màn hình, một hoặc hai ổ đĩa mềm 5 25-inch và bán với giá \$2,495.



- 1982
- Intel cho ra 80286, một bộ vi xử lý 16-bit.
- AutoCAD, một chương trình thiết kế các đối tượng 2-D và 3-D, được phát hành. AutoCAD sẽ trở thành một cuộc cách mạng hoá trong công nghiệp kiến trúc và xây dựng

- 1984
- Adobe Systems phát hành hệ thống PostScript, cho phép các máy in chế tạo ra các bản in diêm dúa trong một số các kiểu chữ cũng như các ảnh đồ hoạ phức tạp - Apple giới thiệu máy vi tính “thân thiện người dùng” Macintosh.
- - IBM đưa ra IBM-PC AT, một máy tính 6 MHz sử dụng bộ xử lý Intel 80286, đưa ra tập các chuẩn cho các máy tính cá nhân chạy DOS

- **Pentium (1993)**

- Pentium cho phép máy tính dễ dàng tích hợp những dữ liệu "thế giới thực" như giọng nói, âm thanh, ký tự viết tay và ảnh đồ họa. Tên gọi Pentium được nhắc nhiều trong các vở kịch, chương trình truyền hình và nhanh chóng trở thành một từ quen thuộc trong các gia đình.

- Pentium có tốc độ 60 MHz và 66 MHz với 3,1 triệu bóng bán dẫn

- **Pentium IV (2000)**

- Pentium IV có tốc độ 1,3 GHz, 1,4 GHz, 1,5 GHz, 1,7 GHz và 1,8 GHz với 42 triệu bóng bán dẫn.
- Tháng 8/2001, Pentium IV đạt mốc 2 GHz. Đến tháng 11/2002, chip này được trang bị công nghệ siêu phân luồng và có tốc độ 3,06 GHz, sau tăng lên 3,2 GHz vào năm 2003 và 3,4 GHz trong tháng 6/2003.



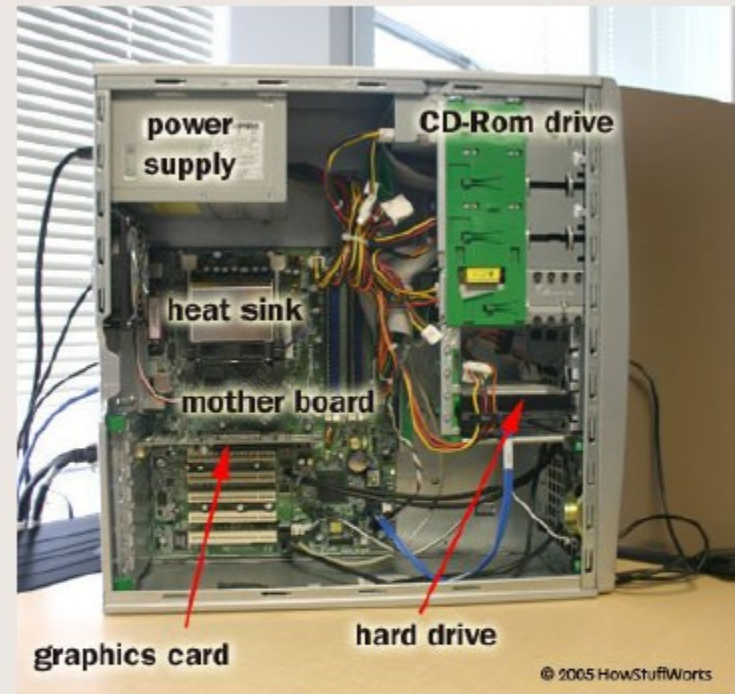
Chip lõi kép

- Tháng 4/2005, Intel giới thiệu nền tảng sử dụng bộ vi xử lý lõi kép đầu tiên gồm chip Pentium Extreme Edition 840, xung nhịp 3,2 GHz, và chipset 955X Express. Kết hợp với công nghệ siêu phân luồng, hệ thống có thể khai thác hiệu quả hơn những tài nguyên chưa được sử dụng hết.
- Tháng 5/2005, chip Intel Pentium D lõi kép ra đời cùng chipset 945 Express, hỗ trợ những tính năng của các thiết bị điện tử tiêu dùng như âm thanh vòm, video độ phân giải cao và xử lý đồ họa tăng cường
-Cache 1M

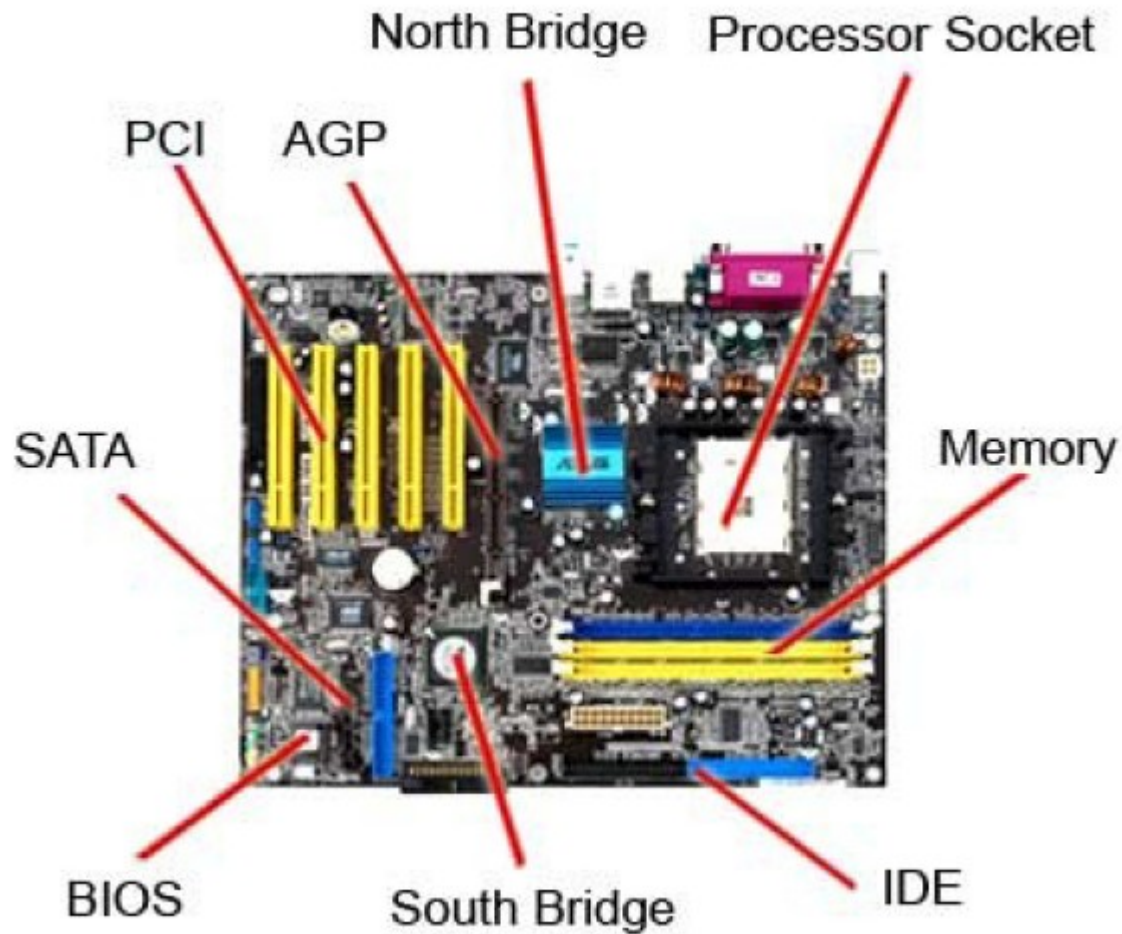


Các thành phần cơ bản của PC

- Bản mạch chủ (mainboard)
- Bộ xử lý trung tâm (CPU)
- Bộ nhớ (memory)
- Nguồn (power supply)
- Các thiết bị xuất/nhập chính:
 - Bàn phím
 - Bộ điều khiển đĩa + Đĩa cứng/mềm
 - Card màn hình + Màn hình



Mainboard trong thực tế



Thành phần chính của mainboard

- Socket để gắn CPU
- Chipset: hai cầu nối với các thành phần khác của máy tính
- BIOS (Basic Inter/Output System): thực hiện quá trình khởi động máy tính
- Chip tạo xung: duy trì các cấu hình cơ bản và đồng hồ của máy

Các khe cắm (slot) và cổng (port)

- PCI (Peripheral Component Interconnect): chỗ kết nối với card màn hình, âm thanh, video hay mạng
- AGP (Accelerate Graphics Port): cổng đặc biệt cho card đồ họa tốc độ cao
- IDE (Integrated Drive Electronics): giao tiếp cho ổ đĩa cứng
- Cổng Serial, Paralell, USB (Universal Serial Bus) và Firewire: cổng giao tiếp với các thiết bị ngoại vi
- Khe cắm bộ nhớ

1.4. Hiệu năng máy tính

- Định nghĩa hiệu năng P(Performance):

$$P = 1 / t$$

trong đó: t là thời gian thực hiện

- “Máy tính A nhanh hơn máy B n lần”

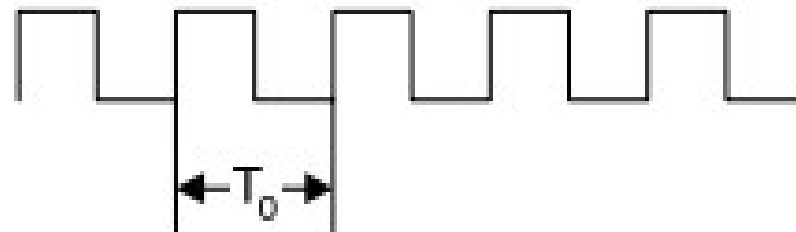
$$P_A / P_B = t_B / t_A = n$$

- Ví dụ: Thời gian chạy chương trình:

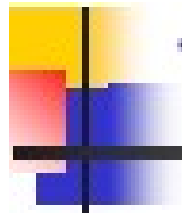
- 10s trên máy A, 15s trên máy B
- $t_B / t_A = 15s / 10s = 1.5$
- Vậy máy A nhanh hơn máy B 1.5 lần

Xung nhịp của CPU

- Hoạt động của CPU được điều khiển bởi xung nhịp 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): số chu kỳ trong 1 giây.
 - $f_0 = 1/T_0$
 - VD: Bộ xử lý có $f_0 = 4\text{GHz} = 4000\text{MHz} = 4 \times 10^9\text{Hz}$
 $T_0 = 1/(4 \times 10^9) = 0.25 \times 10^{-9}\text{s} = 0.25\text{ns}$



Thời gian CPU (t_{CPU})

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

- 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

- Máy tính A:

- Tần số xung nhịp: $f_A = 2\text{GHz}$
- Thời gian của CPU: $t_A = 10\text{s}$

- Máy tính B

- Thời gian của CPU: $t_B = 6\text{s}$
- Số chu kỳ xung nhịp của B = 1.2 x Số chu kỳ xung nhịp của A

- Xác định tần số xung nhịp của máy B (f_B)?

- Giải:

$$f_B = \frac{n_B}{t_B} = \frac{1.2 \times n_A}{6\text{s}}$$

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

$$f_B = \frac{1.2 \times 20 \times 10^9}{6\text{s}} = \frac{24 \times 10^9}{6\text{s}} = 4\text{GHz}$$



Số lệnh và số chu kỳ trên một lệnh

- Số chu kỳ = Số lệnh x Số chu kỳ trên một lệnh

$$n = IC \times CPI$$

n - số chu kỳ, IC - số lệnh (Instruction Count), CPI - số chu kỳ trên một lệnh (Cycles per Instruction)

- 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

- Máy tính A: $T_A = 250\text{ps}$, $\text{CPI}_A = 2.0$
- Máy tính B: $T_B = 500\text{ps}$, $\text{CPI}_B = 1.2$
- Cùng kiến trúc tập lệnh (ISA)
- Máy nào nhanh hơn và nhanh hơn bao nhiêu ?

$$\begin{aligned}t_A &= \text{IC} \times \text{CPI}_A \times T_A \\ &= \text{IC} \times 2.0 \times 250\text{ps} = \text{IC} \times 500\text{ps}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_B &= \text{IC} \times \text{CPI}_B \times T_B \\ &= \text{IC} \times 1.2 \times 500\text{ps} = \text{IC} \times 600\text{ps}\end{aligned}$$

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

Vậy:
A nhanh hơn B 1.2 lần



Chi tiết hơn về CPI

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

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

- CPI trung bình:

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

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	2	1	2
IC trong dãy lệnh 2	4	1	1

- Dãy lệnh 1: IC = 5

- Số chu kỳ
 $= 2 \times 1 + 1 \times 2 + 2 \times 3$
 $= 10$
- $CPI_{TB} = 10/5 = 2.0$

- Dãy lệnh 2: IC = 6

- Số chu kỳ
 $= 4 \times 1 + 1 \times 2 + 1 \times 3$
 $= 9$
- $CPI_{TB} = 9/6 = 1.5$

Tóm tắt về Hiệu năng

$$\text{CPU Time} = \frac{\text{Instructions}}{\text{Program}} \times \frac{\text{Clock cycles}}{\text{Instruction}} \times \frac{\text{Seconds}}{\text{Clock cycle}}$$

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

- Hiệu năng phụ thuộc vào:
 - Thuật toán: ảnh hưởng tới IC
 - Ngôn ngữ lập trình: ảnh hưởng tới IC, CPI
 - Chương trình dịch: ảnh hưởng tới IC, CPI
 - Kiến trúc tập lệnh: ảnh hưởng tới IC, CPI

MIPS như là thước đo hiệu năng

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

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

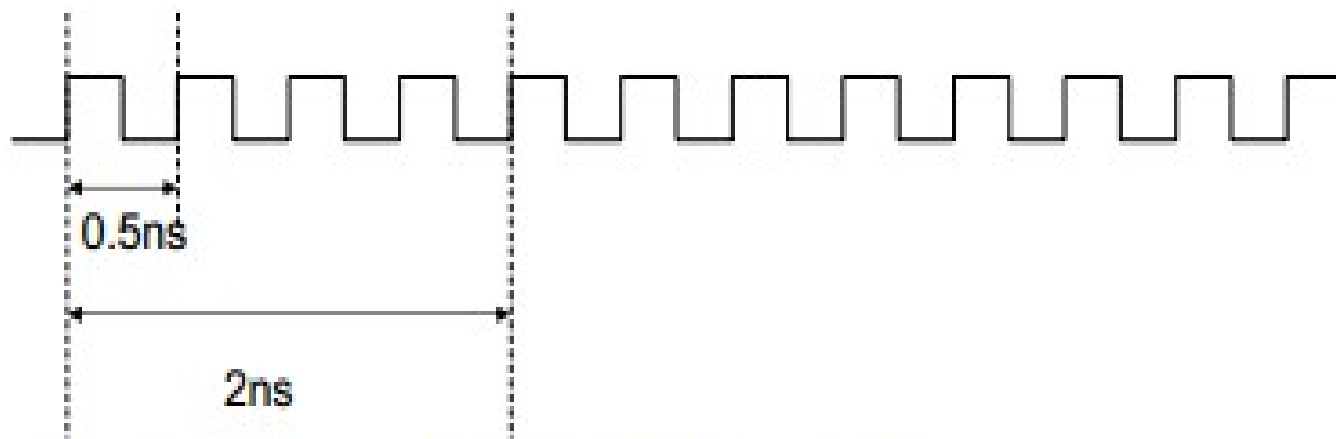
$$\text{MIPS} = \frac{f_0}{\text{CPI} \times 10^6}$$

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

Ví dụ

Tính MIPS của bộ xử lý với:

clock rate = 2GHz và CPI = 4



$$1 \text{ chu kỳ} = 1/(2 \times 10^9) = 0,5\text{ns}$$

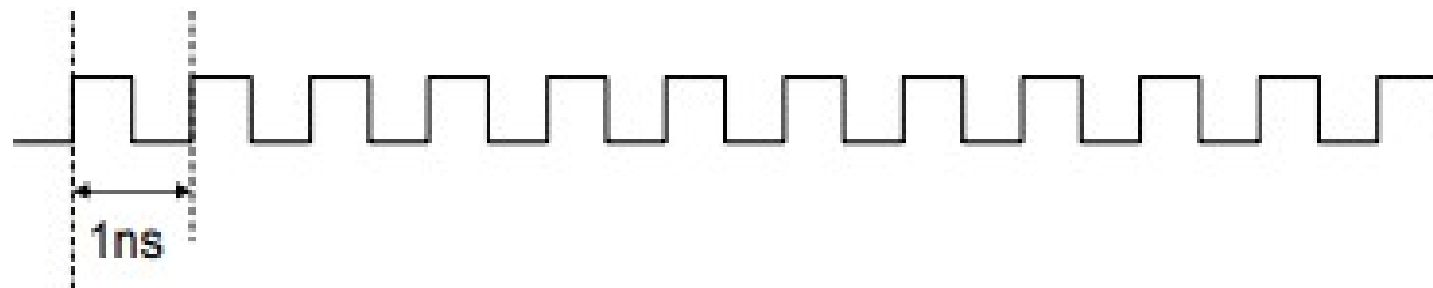
$$\text{CPI} = 4 \rightarrow 1 \text{ lệnh} = 4 \times 0,5\text{ns} = 2\text{ns}$$

Vậy bộ xử lý thực hiện được 500MIPS

Ví dụ

Tính CPI của bộ xử lý với:

clock rate = 1GHz và 400 MIPS?



4×10^8 lệnh thực hiện trong 1s

→ 1 lệnh thực hiện trong $1/(4 \times 10^8)s = 2,5ns$

→ CPI = 2,5



MFLOPS

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})

Hết chương 1