



# Chương 5: Bộ nhớ ngoài

# Chương 5: Nội dung chính

---

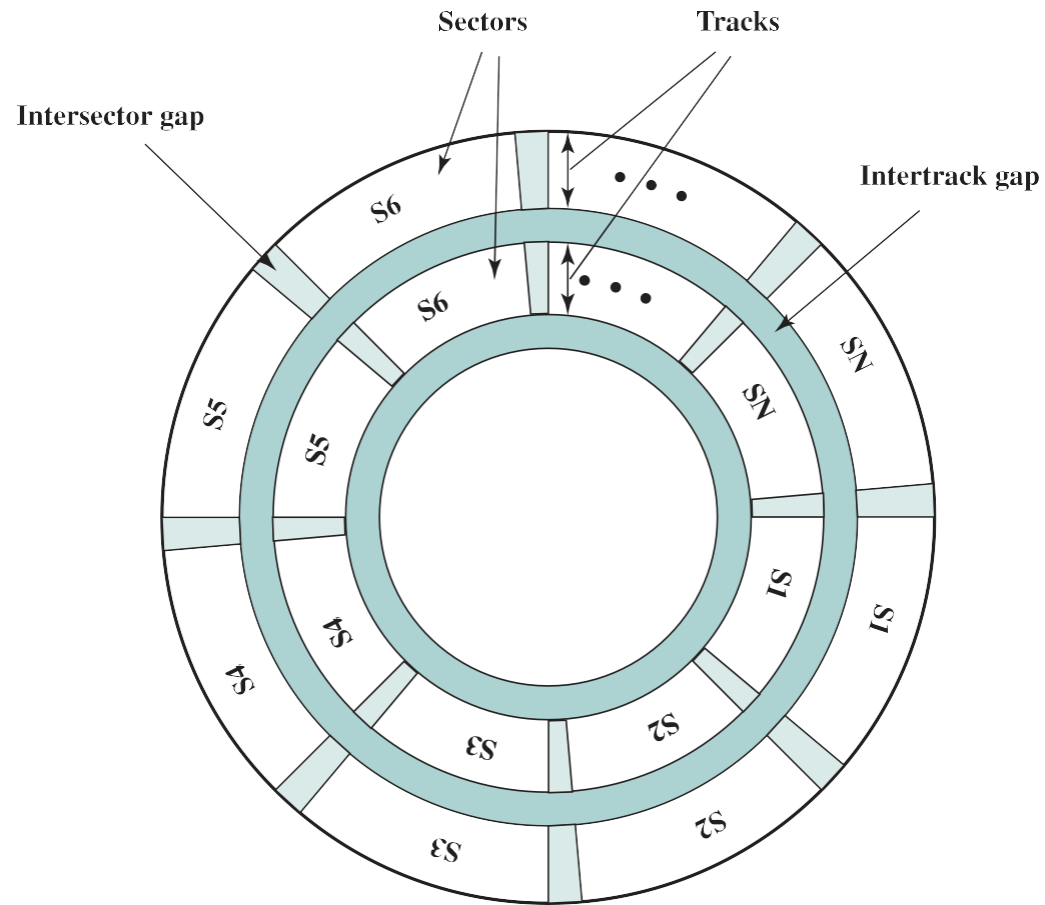
- Đĩa từ:
  - FDD, HDD
- Đĩa quang
  - CD, DVD
- Đĩa mạch bán dẫn: USB, SSD
- RAID
- NAS
- SAN

# Giới thiệu về đĩa từ

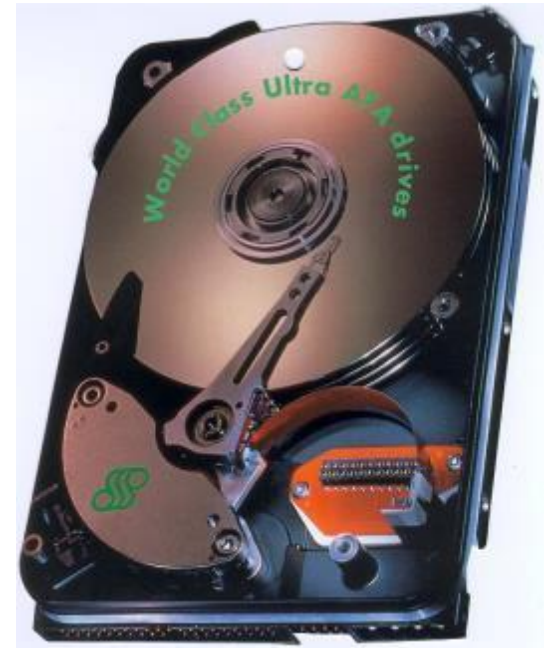
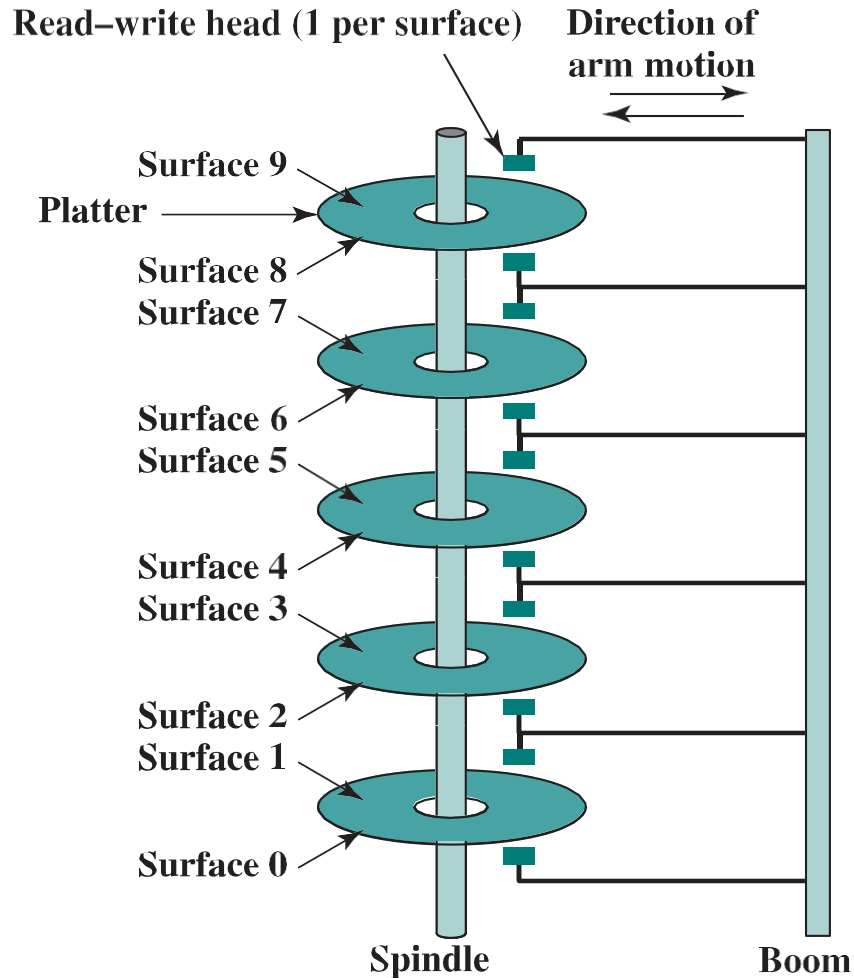
---

- Đĩa từ là các phương tiện lưu trữ:
  - Thiết bị lưu trữ thông tin kiểu ổn định
  - Thiết bị lưu trữ lớn
  - Dựa trên các nguyên lý từ và vật liệu sắt từ phủ mặt đĩa để lưu thông tin
  - Thường dưới dạng đĩa nhựa hoặc kim loại, có bộ phận cơ khí
- Các kiểu đĩa từ
  - Đĩa mềm (FD: Floppy Disk): làm bằng plastic, dung lượng nhỏ, tốc độ chậm, dễ hỏng
    - Sử dụng ổ đĩa mềm (FDD: Floppy Disk Drive) để đọc ghi đĩa mềm
  - Đĩa cứng (HD: Hard Disk): thường làm bằng kim loại, dung lượng lớn, tốc độ cao
    - Thường được gắn với ổ đĩa trong một hộp kín bảo vệ

# Đĩa từ



# Nhiều đĩa



*First Harddisk IBM*

# Ổ đĩa cứng

---

- Một hoặc nhiều đĩa
- Thông dụng
- Dung lượng tăng lên rất nhanh
  - 1993: ~ 200MiB
  - 2003: ~ 40GiB
  - 2013: ~ 500GiB - 1TiB
- Tốc độ đọc/ghi nhanh
- Rẻ tiền



*Inside a Hard Disc Drive*

# Đĩa mềm và ổ đĩa

---



3 $\frac{1}{2}$  inches disk and drive  
(1.44MB)

# HDD: Hard Disk Driver

---





# HDD: Hard Disk Driver

---



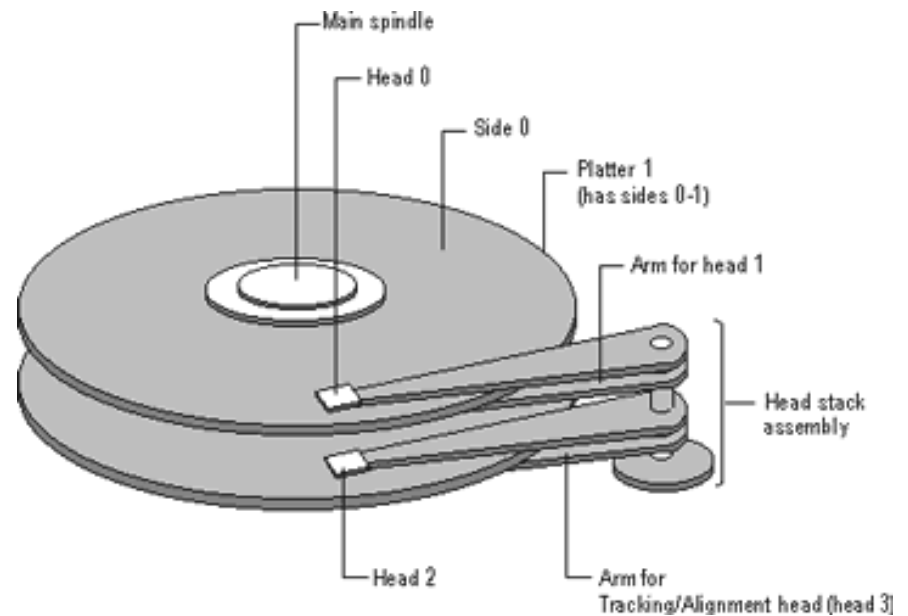
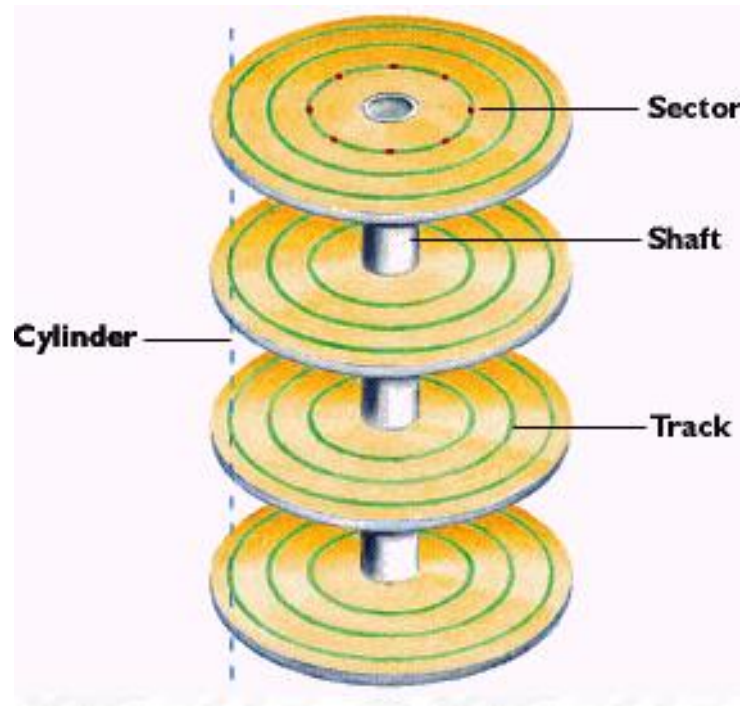
# Cấu tạo đĩa cứng

---

## □ Đĩa từ (Disks):

- HDD có thể có thể gồm một hoặc nhiều đĩa kim loại được lắp đồng trục (đặt trên cùng một trục quay)
- Đĩa thường phẳng và được chế tạo bằng nhôm hoặc thủy tinh
- Lớp bột từ tính phủ trên mặt đĩa để lưu trữ thông tin rất mỏng, chỉ khoảng 10 – 20nm
  - Oxide sắt 3 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) được sử dụng trong các HDD cũ
  - Trong HDD hiện tại, sử dụng hợp kim coban và sắt
- Một đĩa có 2 mặt (side): mặt 0 và 1

# Cấu tạo đĩa cứng



# HDD: Các phần tử

---

## □ Đầu từ (head):

- Được sử dụng để đọc và ghi thông tin trên bề mặt đĩa
- Đầu từ không tiếp xúc mà chỉ “bay” trên bề mặt đĩa
- Số lượng đầu từ của mỗi ổ đĩa thường rất khác nhau: 4, 8, 12, 16, 24, 32, 64, ...

## □ Rãnh (tracks):

- Là các đường tròn đồng tâm trên bề mặt đĩa
- Được đánh số từ ngoài (0) vào trong
- Có hàng nghìn rãnh trên bề mặt  $3^{1/2}$  HDD

# HDD: Các phần tử

---

- Cylinder (mặt trụ):
  - Gồm tập các rãnh ở cùng vị trí đầu từ
- Sector (cung):
  - Là một phần của rãnh
  - Thông thường là 512 byte
  - Là đơn vị quản lý nhỏ nhất của đĩa
- Các tham số HDD quan trọng để tính dung lượng:
  - Số lượng cylinder (C)
  - Số lượng đầu từ (H)
  - Số lượng sector/ rãnh (S)
  - Dung lượng =  $C \times H \times S \times 512$  (byte)

# Định dạng đĩa cứng (format)

---

- Đĩa cứng có thể được định dạng theo 2 mức:
  - Định dạng mức thấp (low level format):
    - Do BIOS thực hiện
    - Là quá trình gán địa chỉ (ID) cho các sector vật lý
    - Đĩa cứng phải được định dạng ở mức thấp trước khi sử dụng (tiếp tục với format mức cao)
    - Các HDD hiện đại thường được định dạng mức thấp bởi nhà sản xuất
  - Định dạng mức cao (high level format):
    - Do hệ điều hành thực hiện
    - Là quá trình gán địa chỉ cho các sector logic vào tạo hệ thống file
    - HDD cũng phải được định dạng ở mức cao trước khi được sử dụng để lưu thông tin

# Phân khu (Partitions) đĩa cứng

---

- Đĩa cứng vật lý có thể được chia thành nhiều phần để dễ sử dụng và quản lý. Mỗi phần được gọi là một *phân đoạn* hay *phân khu* (partition):
  - Một phân khu chính (primary)
  - Một hoặc một số phân khu mở rộng (extended partitions)
- Một phân khu có thể được chia thành một hoặc một số ổ đĩa logic:
  - Phân khu chính chỉ có thể chứa duy nhất 1 ổ đĩa logic
  - Phân khu mở rộng có thể được chia thành một hoặc một số ổ đĩa logic

# Bảng phân khu (HDD Partition Table)

---

- Lưu thông tin về các phân khu đĩa cứng
- Bảng có một số bản ghi (record), mỗi bản ghi chứa thông tin về một phân khu:
  - Phân khu này hoạt động hay không
  - Cylinder, đầu từ, sector bắt đầu của partition
  - Cylinder, đầu từ, sector cuối của partition
  - Kiểu định dạng của phân khu (FAT, NTFS)
  - Kích thước của phân khu tính theo số lượng sector



# Boot sector (cung khởi động)

---

- Là sector đặc biệt trên đĩa:
  - Sector đầu tiên của ổ đĩa logic
  - Chứa chương trình môi khởi động (Bootstrap loader) là đoạn chương trình nhỏ có nhiệm vụ kích hoạt việc nạp hệ điều hành từ HDD vào bộ nhớ trong
- Quá trình khởi động máy:
  - Bật nguồn
  - Đọc thông tin trong ROM-BIOS, tự kiểm tra cấu hình; kiểm tra các thiết bị & tình trạng sẵn sàng làm việc
  - Nạp và thực hiện chương trình môi khởi động
  - Nạp các thành phần khởi động của hệ điều hành
  - Nạp nhân hệ điều hành
  - Nạp giao diện người dùng hệ điều hành -> sẵn sàng

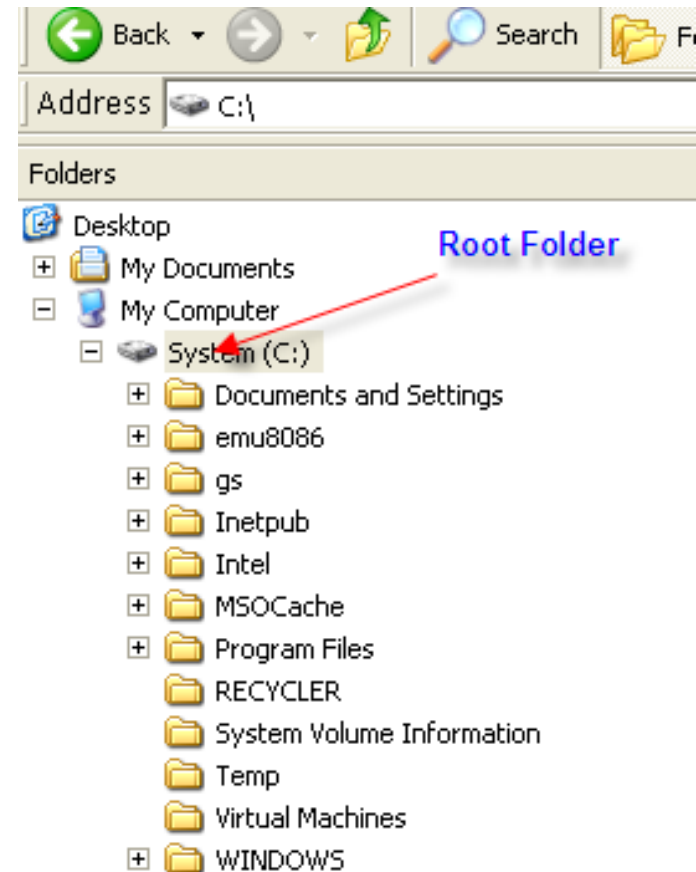
# Hệ thống file

---

- Hệ thống file (file system) là một dạng bảng thư mục (directory) để lưu trữ và quản lý các files trên đĩa
- Các file được lưu trữ trong các thư mục; các thư mục được tổ chức theo mô hình cây
- Hệ thống file được thiết kế theo phiên bản của hệ điều hành:
  - FAT (DOS, Windows 3.x, Windows 95, 98, ME)
  - NTFS (Windows NT, 2000, XP, 2003, Vista, 7)
  - Ext2, Ext3 (Unix, Linux)
  - MFS (Macintosh FS)/HFS (Hierarchical FS) (Mac OS)

# Thư mục gốc (root directory)

- ❑ Thư mục gốc là thư mục mức thấp nhất của cây thư mục trong đĩa logic
- ❑ Thư mục gốc là điểm bắt đầu khi hệ thống tìm kiếm và truy cập file
- ❑ Thư mục gốc không có thư mục cha như các thư mục khác
- ❑ Chứa các thư mục con và các file



# Giao diện ghép nối HDD

---

- Các dạng giao diện ghép nối ổ đĩa cứng với máy tính gồm:
  - Parallel ATA (PATA hoặc IDE/EIDE - Integrated Drive Electronics) – Advanced Technology Attachments
  - Serial ATA (SATA)
  - SCSI – Small Computer System Interface
  - Serial Attached SCSI (SAS)
  - iSCSI – Internet SCSI

# Giao diện ghép nối ATA

---

- ATA/ IDE sử dụng cáp dẹt (pin cables) 40 hoặc 80 chân để nối HDD với bảng mạch chủ
- Mỗi cáp thường hỗ trợ ghép nối với 2 ổ:
  - Một là ổ đĩa chủ (master)
  - Một là ổ đĩa tớ (slave)
- Tốc độ truyền dữ liệu:
  - Bandwidth: 16 bit
  - Thông lượng: 16, 33, 66, 100 và 133MB/s

# Giao diện ghép nối ATA/PATA/IDE/EIDE

---



Đầu cắm IDE



Khe cắm IDE



Cáp IDE

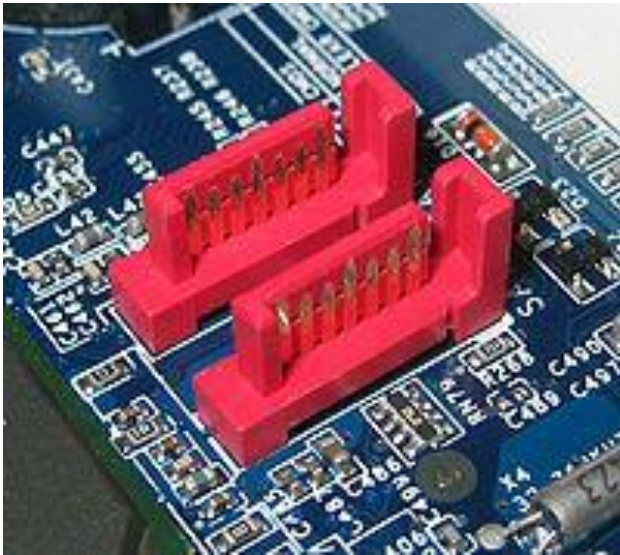
# Giao diện ghép nối SATA

---

- ❑ SATA sử dụng cùng tập lệnh mức thấp giống như ATA nhưng SATA sử dụng đường truyền tin nối tiếp tốc độ cao trên 2 cặp dây dẫn
- ❑ Bộ điều khiển SATA sử dụng chuẩn AHCI (Advanced Host Controller Interface)
- ❑ SATA có nhiều đặc tính ưu việt hơn ATA:
  - Truyền dữ liệu nhanh và hiệu quả hơn
  - Hot plug
  - Số lượng dây cáp ít hơn
- ❑ Tốc độ truyền dữ liệu SATA:
  - Thế hệ 1: 1.5 Gb/s
  - Thế hệ 2: 3.0 Gb/s
  - Thế hệ 3: 6 Gb/s

# Giao diện ghép nối SATA

---



SATA sockets



SATA data plug



SATA power plug



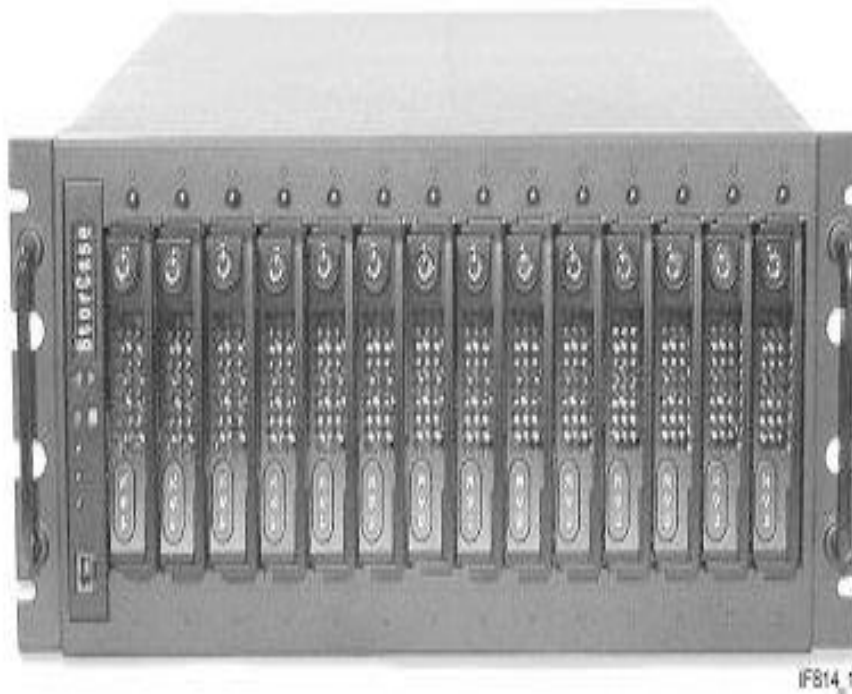
# Giao diện ghép nối SCSI

---

- ❑ SCSI là một tập các chuẩn để kết nối vật lý và vận chuyển dữ liệu giữa máy tính và các thiết bị ngoại vi
- ❑ Mọi thiết bị kết nối với SCSI bus theo cùng một cách; có thể từ 8 – 16 thiết bị cùng kết nối tới 1 đường bus
- ❑ Các đặc điểm ưu việt của SCSI:
  - Tốc độ truyền dữ liệu rất nhanh và ổn định
  - Hot plug
- ❑ Tốc độ truyền dữ liệu SCSI: 5, 10, 20, 40MB/s (SCSI cũ), 160, 320 và 640 MB/s
- ❑ SCSI HDD thường đắt và được sử dụng cho các hệ thống lưu trữ tốc độ cao và server, ví dụ RAID, NAS, SAN

# Giao diện ghép nối SCSI

---



Hệ thống  
khe cắm  
ổ cứng  
SCSI  
trên máy  
chủ

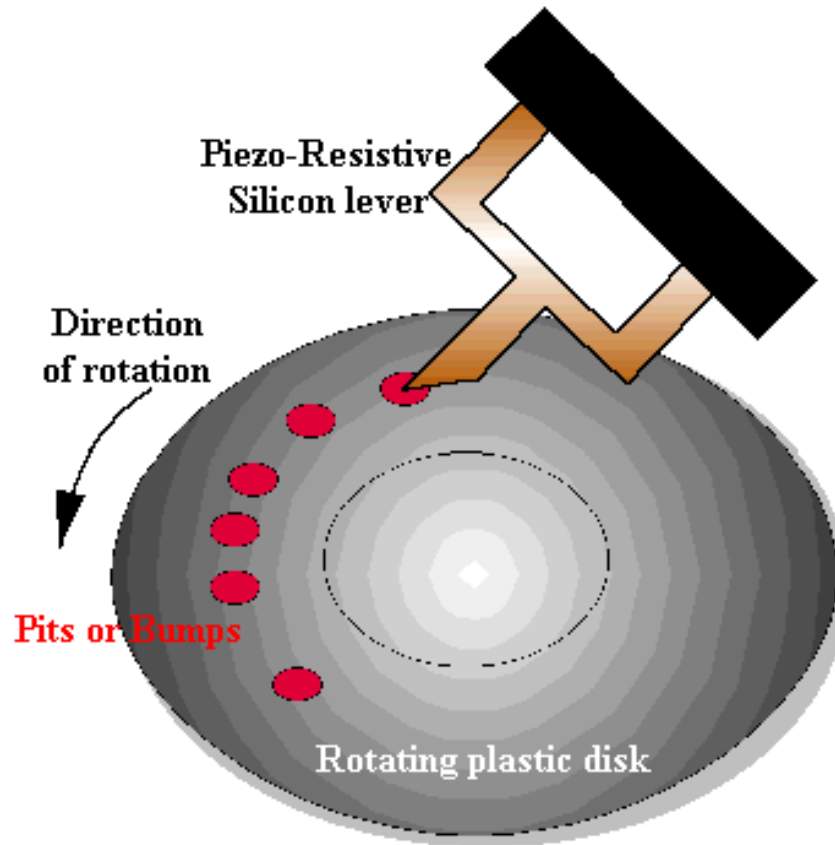
# Giới thiệu về đĩa quang

---

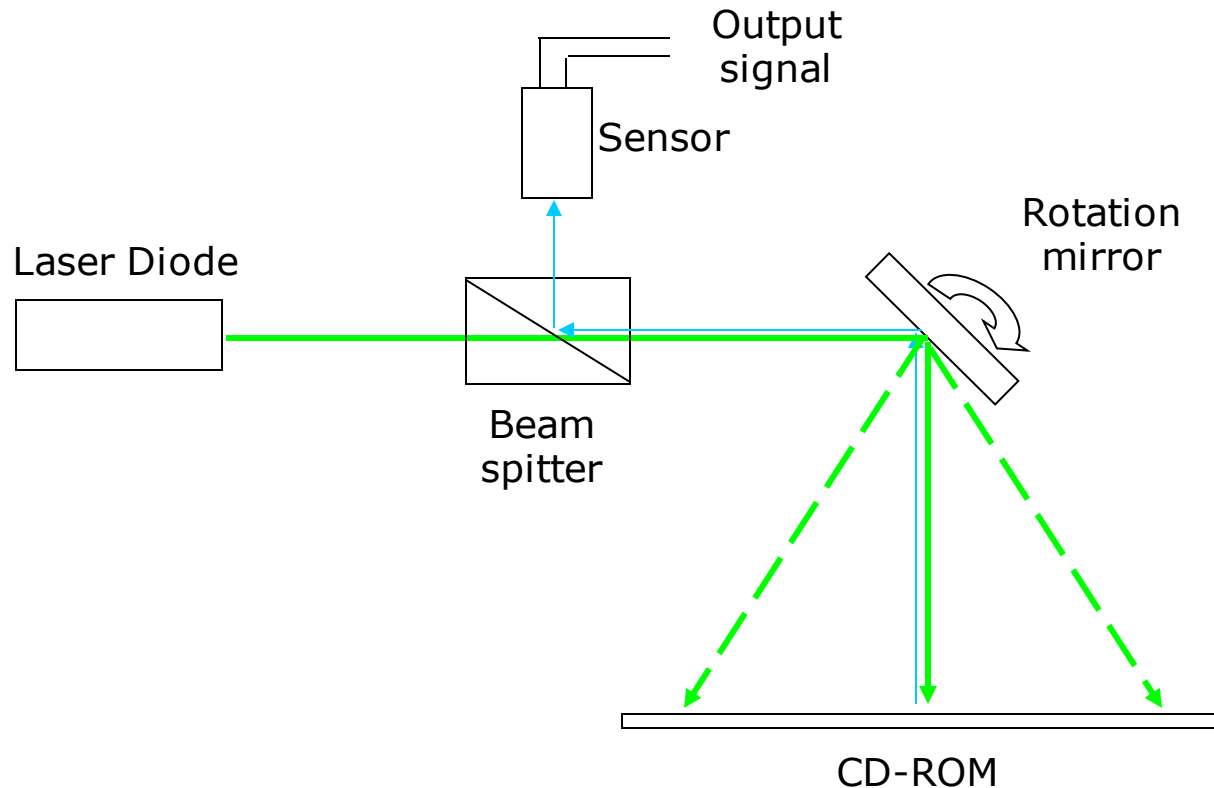
- Đĩa quang hoạt động dựa trên các nguyên lý quang học
  - Đĩa được tạo bằng plastic
  - Một lớp nhôm rất mỏng được đặt trên một mặt của đĩa để phản xạ tia laser
  - Mặt đĩa được “khắc” rãnh và mức lõm của rãnh (các mẫu pit và land) được sử dụng để biểu diễn các bit thông tin
- Cách thức tạo CD-ROMs
  - Tạo bản CD/ DVD chủ chứa thông tin ở dạng “âm bản”
  - Sử dụng bản CD/DVD chủ này để “in” thông tin lên các CD/DVD trắng

# Đĩa quang – lưu trữ thông tin

---



# Nguyên lý đọc thông tin CD-ROM



# Nguyên lý đọc thông tin CDROM

---

- ❑ Tia laser từ diốt phát laser đi qua bộ tách tia (beam splitter) đến gương quay (rotation mirror)
- ❑ Gương quay được điều khiển bởi tín hiệu đọc, lái tia laser đến vị trí cần đọc trên mặt đĩa
- ❑ Tia phản xạ từ mặt đĩa phản ánh mức lồi lõm trên mặt đĩa quay trở lại gương quay
- ❑ Gương quay chuyển tia phản xạ về bộ tách tia và sau đó tới bộ cảm biến quang điện (sensor)
- ❑ Bộ cảm biến quang điện chuyển đổi tia laser phản xạ thành tín hiệu đầu ra. Cường độ tia laser được biểu diễn thành mức tín hiệu ra

# Các loại đĩa quang

---

## □ CD (Compact Disk)

- CD-ROM: Read Only CD
- CD-R: Recordable CD: ghi 1 lần
- CD-RW: Rewritable CD: ghi lại

## □ DVD (Digital Video Disk)

- DVD-ROM: Read Only DVD
- DVD-R: Recordable DVD
- DVD-RW: Rewritable DVD
- HD-DVD: High-density DVD
- Blu-ray DVD: Ultra-high density DVD

# Đĩa CD (Compact disk)

---

- Dung lượng tối đa là 700 MB
- Sử dụng tia laser hồng ngoại có bước sóng 780nm
- Tốc độ truyền dữ liệu:
  - Tốc độ cơ sở: 150KB/s
  - Tốc độ thực tế: hệ số nhân x tốc độ cơ sở:
    - $4x = 4 \times 150\text{KB/s} = 600\text{KB/s}$
    - $50x = 50 \times 150\text{KB/s} = 7500\text{KB/s}$



# Đĩa DVD

---

- Dung lượng tối đa khoảng 4.7GB với đĩa 1 mặt và 8.5GB cho đĩa 2 mặt
- Sử dụng tia laser hồng ngoại bước sóng 650nm
- Tốc độ truyền dữ liệu:
  - Tốc độ cơ sở: 1350 KB/s
  - Tốc độ thực sự: hệ số nhân x tốc độ cơ sở
    - $4x = 4 \times 1350 = 5400 \text{ KB/s}$
    - $16x = 16 \times 1350 = 21600 \text{ KB/s}$

# DVD-R, RW, HD và Blu-ray DVD

---

- ❑ DVD-R tương tự như CD-R nhưng bước sóng laser ngắn hơn (650nm)
- ❑ DVD-RW tương tự như CD-RW nhưng bước sóng ngắn hơn (650nm)
- ❑ HD DVD (High-Definition/Density DVD) được phát minh bởi Toshiba:
  - Sử dụng tia laser xanh với bước sóng ngắn hơn
  - Dung lượng: 15GB cho 1 lớp, 30 GB 2 lớp
- ❑ Blu-ray disc: phát minh bởi Sony
  - Sử dụng laser bước sóng 405 nm
  - 25GB 1 lớp

# Solid State Drive

---

- ❑ Cấu tạo mạch tích hợp IC cho lưu trữ
- ❑ Có tốc độ truy cập cao (chuẩn SATA), độ trễ nhỏ
- ❑ Không có phần cơ khí di chuyển như đĩa từ, quang
- ❑ Công nghệ chế tạo: NAND-based Flash memory, SRAM
- ❑ Non-volatile memory
- ❑ Giá thành đắt.
- ❑ Giảm giá thành -> hybrid SSD/HDD

# Giới thiệu về RAID

---

- ❑ RAID (Redundant Array of Independent Disks) là công nghệ tạo các thiết bị lưu trữ tiên tiến trên cơ sở đĩa cứng những mục đích sau:
  - Hiệu năng, tốc độ cao (high performance/ speed)
  - Độ tin cậy cao (high reliability)
  - Dung lượng lớn (large volume)
- ❑ RAID là một tập/ mảng các HDD nhưng được HDH coi như 1 ổ đĩa logic
- ❑ Dữ liệu được phân tán trên các đĩa vật lý
- ❑ Đĩa dư thừa được sử dụng để lưu trữ thông tin parity => đảm bảo khôi phục dữ liệu

# Các kỹ thuật RAID

---

## □ 2 kỹ thuật cơ bản được sử dụng trong RAID:

### ■ Disk stripping (tạo lát đĩa):

- Dữ liệu được chia thành các khối và mỗi khối được ghi đồng thời vào một đĩa độc lập
- Sau đó, các khối dữ liệu có thể được đọc từ HDD một cách đồng thời

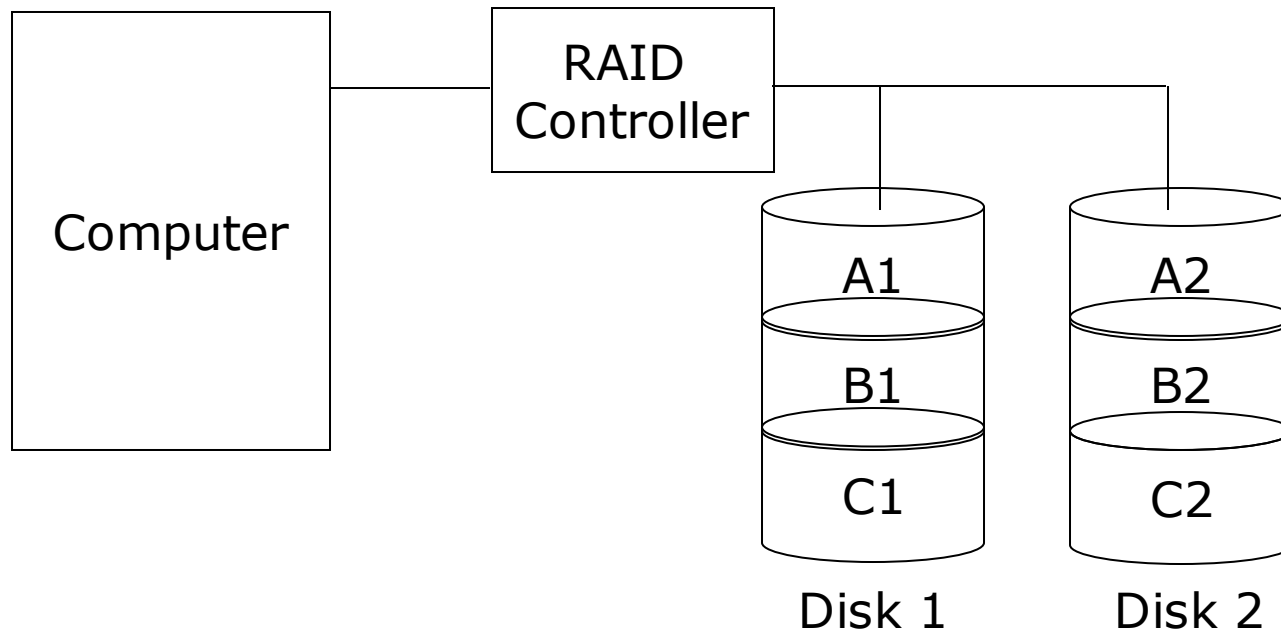
⇒ Cải thiện tốc độ truy cập

### ■ Disk mirroring :

- Dữ liệu được chia thành các khối và mỗi khối được ghi vào một số đĩa
- Tại thời điểm bất kì, luôn có nhiều hơn 1 bản sao dữ liệu => độ tin cậy tăng

# RAID – disk stripping

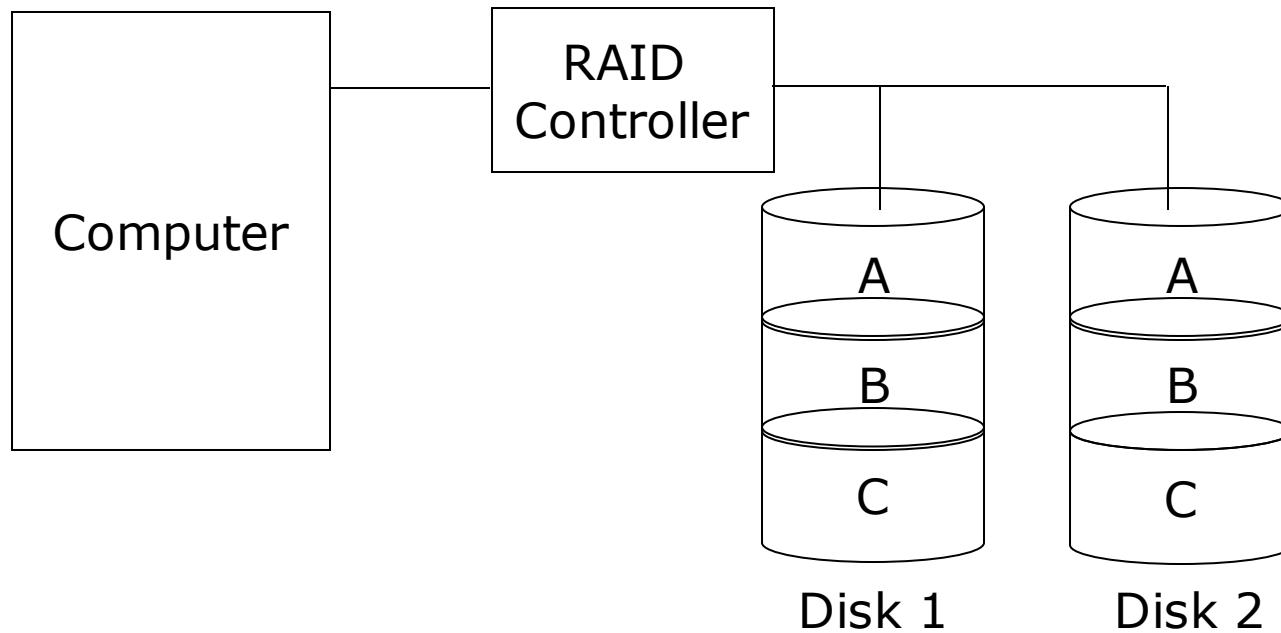
---



Disk stripping technique

# RAID – disk mirroring

---



Disk mirroring technique

# Các loại RAID

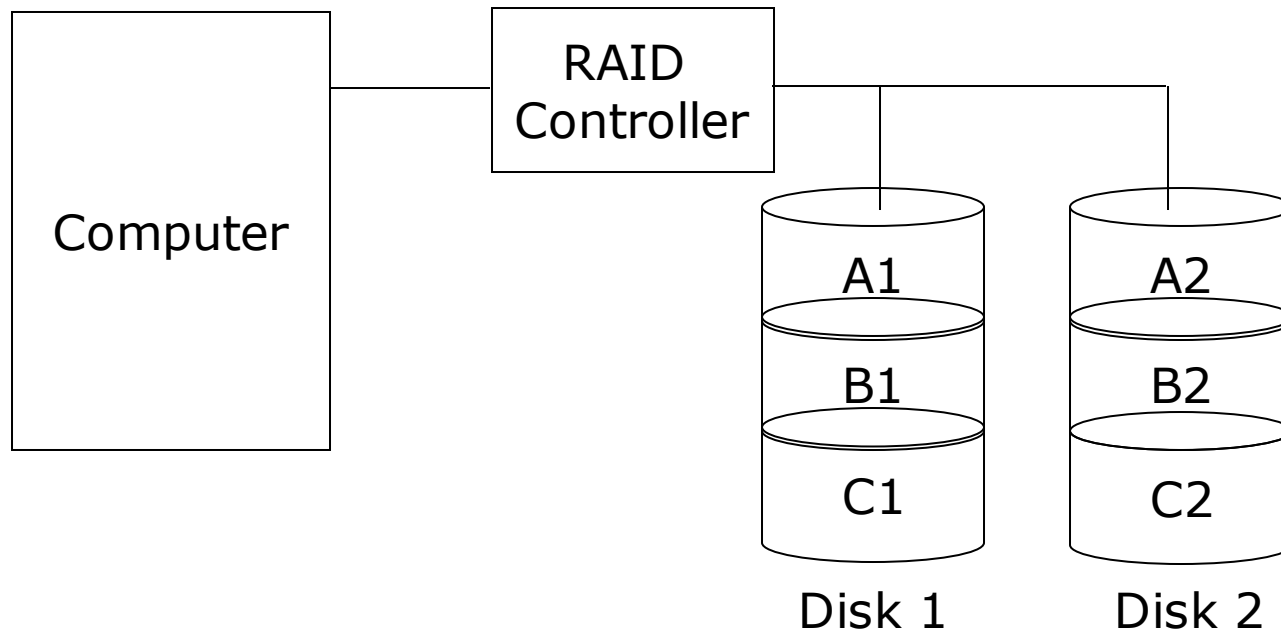
---

- Một số loại RAID thông dụng:
  - RAID 0
  - RAID 1
  - RAID 2
  - RAID 3
  - RAID 4
  - RAID 5
  - RAID 6



# RAID 0 – disk stripping

---



Disk stripping technique

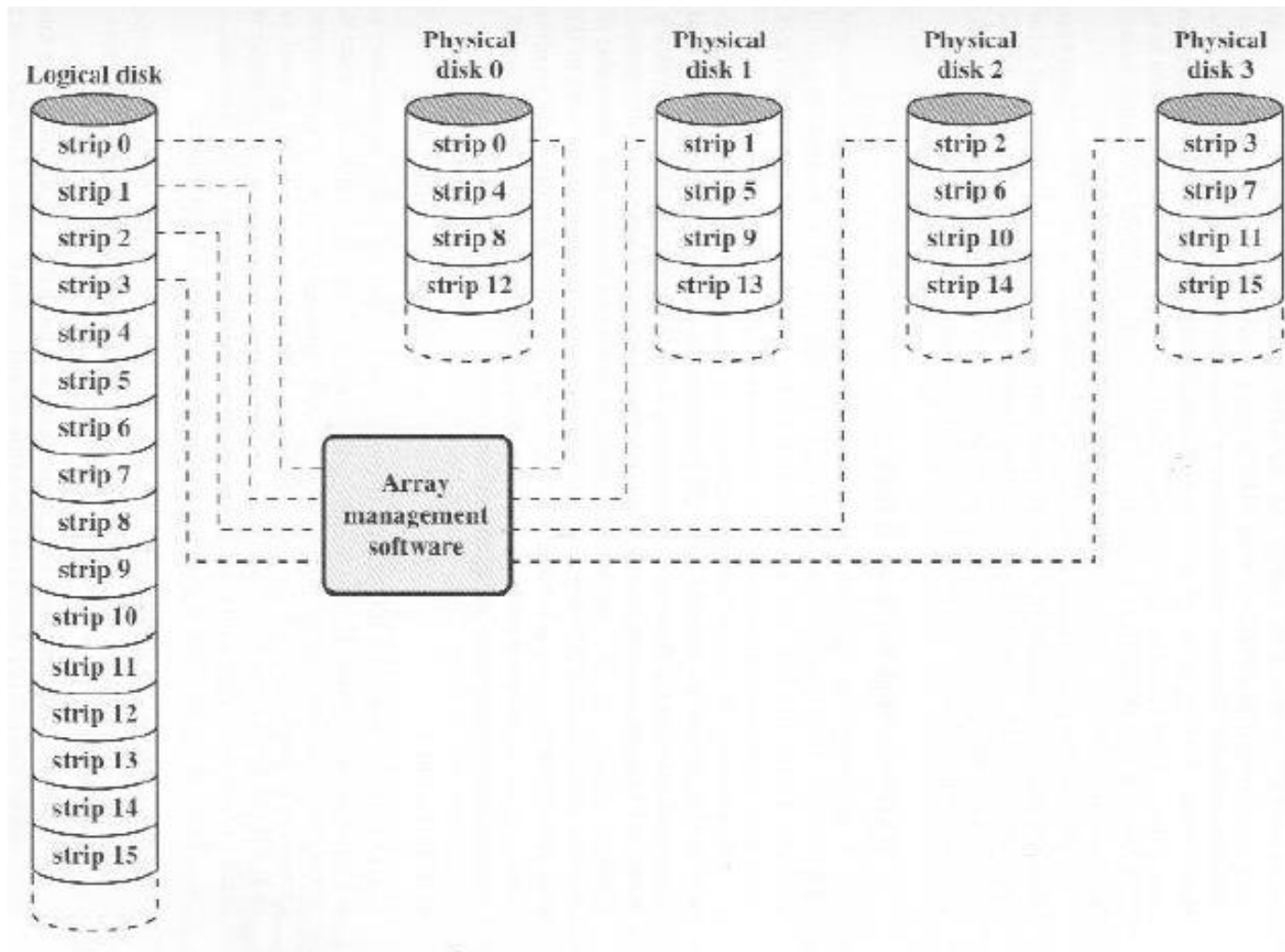
# RAID 0 – disk stripping

---

## □ Các đặc điểm:

- Dựa trên kỹ thuật disk stripping (đọc/ ghi song song)
- Dữ liệu được phân bố trên các đĩa trong mảng
- Tối thiểu cần 2 HDD

# RAID 0 – disk tripping



# RAID 0 – disk tripping

---

## □ Ưu:

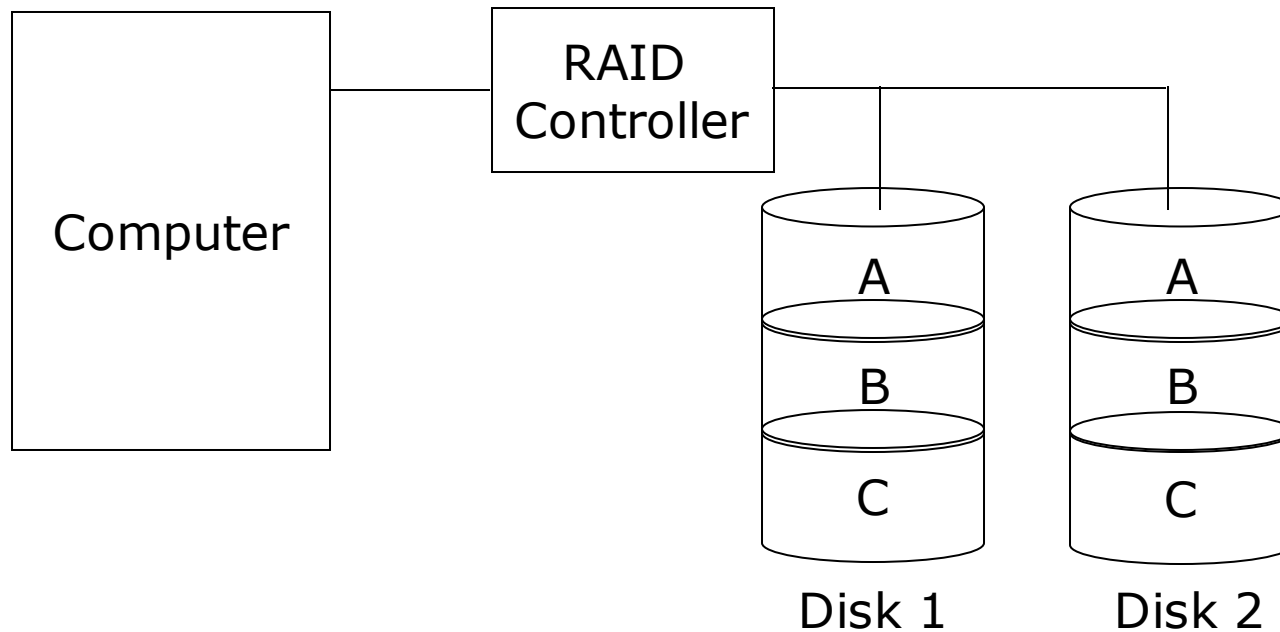
- Tốc độ nhanh
- Đáp ứng tốt các hệ thống nhu cầu I/O cao
- Dung lượng là tổng của tất cả các đĩa

## □ Nhược:

- Độ tin cậy như một đĩa

# RAID 1 – disk mirroring

---



RAID 1 - Disk mirroring

# RAID 1 – disk mirroring

---

## □ Các đặc điểm:

- Dựa trên kỹ thuật disk mirroring (nhiều bản sao)
- Tính dư thừa có được đơn giản bằng cách sao tất cả dữ liệu
- Tối thiểu cần 2 HDD
- Dữ liệu cũng phân mảnh (data stripping) như RAID 0 nhưng mỗi mảnh logic được ánh xạ tới 2 đĩa vật lý khác nhau

=> Mỗi đĩa trong mảng có một bản sao cùng dữ liệu (mirror)

# RAID 1 – disk mirroring

---

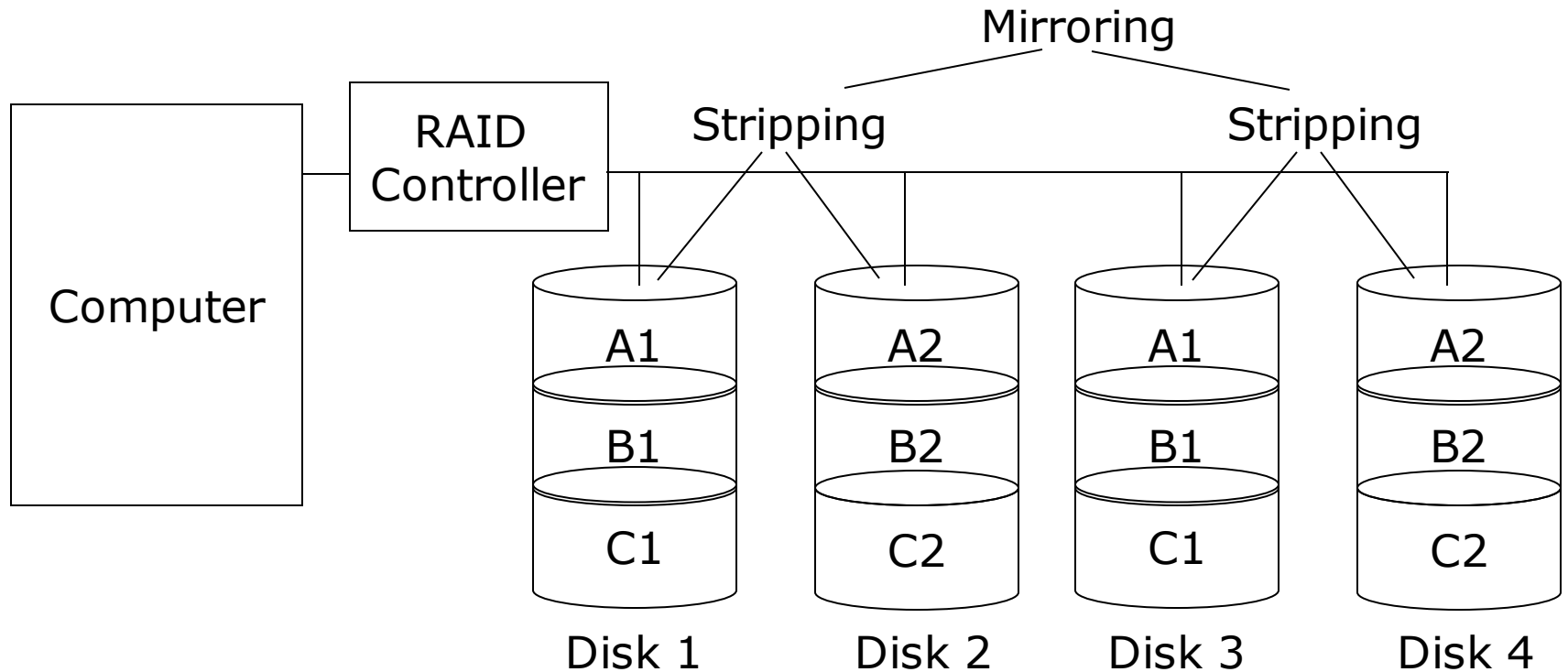
## □ Ưu:

- Độ tin cậy cao

## □ Nhược:

- Dung lượng thực sự bằng  $\frac{1}{2}$  tổng số đĩa
- Chi phí cao

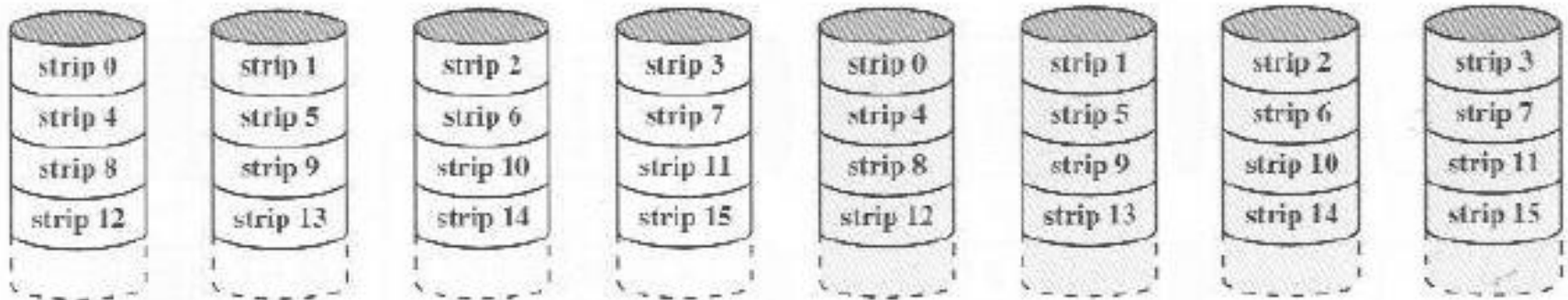
# RAID 10 – disk stripping & mirroring





# RAID 10 –

---



(b) RAID 1 (Mirrored)

# RAID 10 – disk stripping & mirroring

---

## □ Các đặc điểm:

- Tối thiểu cần 4 HDD
- Dựa trên kỹ thuật disk mirroring và stripping

## □ Ưu:

- Nhanh hơn so với một đĩa
- Tin cậy hơn so với một đĩa
- Phù hợp với máy chủ y/c tính an toàn cao, hiệu năng lớn như máy chủ cơ sở dữ liệu.

## □ Nhược:

- Dung lượng bằng một nửa dung lượng tổng số đĩa

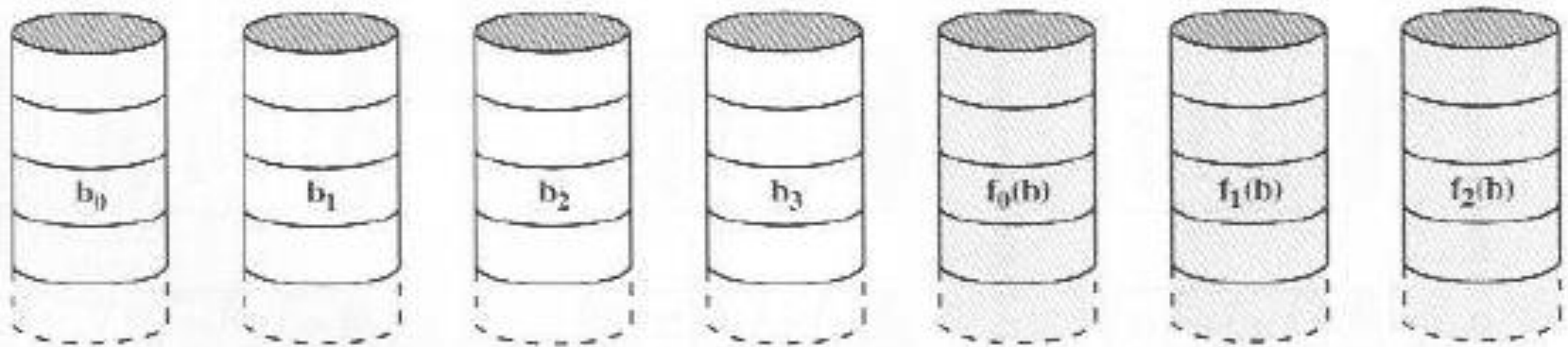
# RAID 2

---

- ❑ Các mảnh (strip) rất nhỏ, thường là byte hoặc word
- ❑ Các mã sửa sai được tính ứng với các bit trên đĩa dữ liệu tương ứng
- ❑ Thường sử dụng mã Hamming
- ❑ Cần ít đĩa hơn RAID1 nhưng vẫn tốn kém
- ❑ Số lượng đĩa dư thừa tỉ lệ thuận với log số lượng đĩa dữ liệu
- ❑ Yêu cầu đọc: dữ liệu và mã sửa sai được gửi tới bộ điều khiển

# RAID 2

---



(c) RAID 2 (Redundancy through Hamming code)

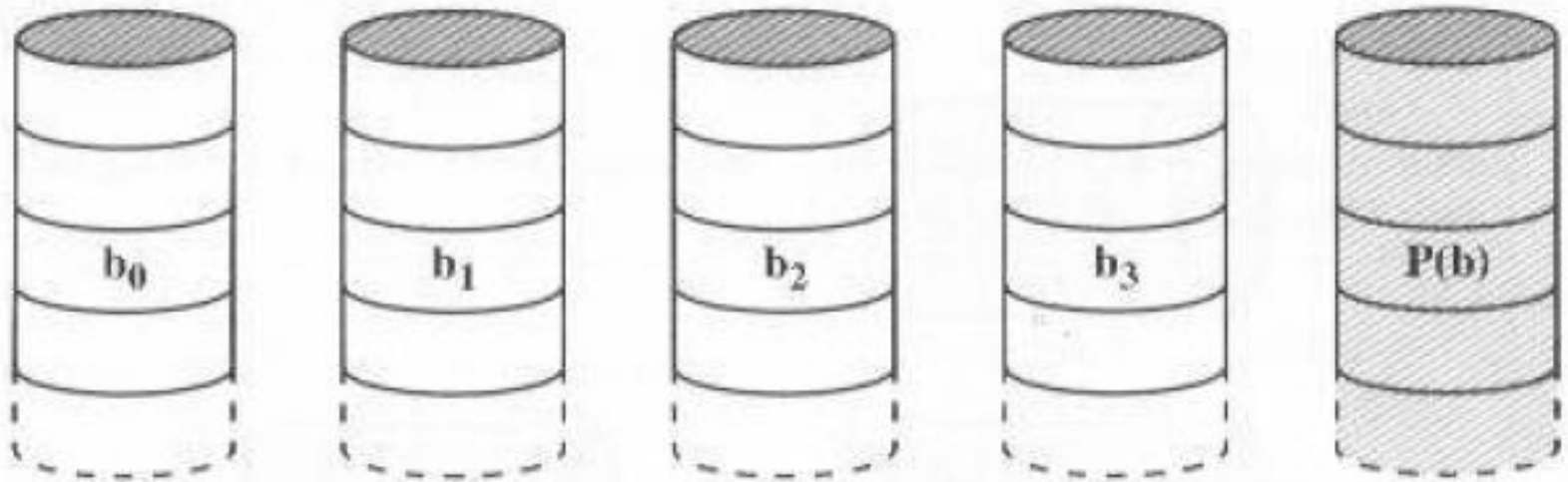
# RAID 3

---

- Cấu trúc tương tự như RAID2
- Chỉ cần 1 đĩa dự thừa
- Bit chẵn lẻ đơn giản được tính cho tập các bit cùng vị trí trên các đĩa

# RAID 3

---



(d) RAID 3 (Bit-interleaved parity)

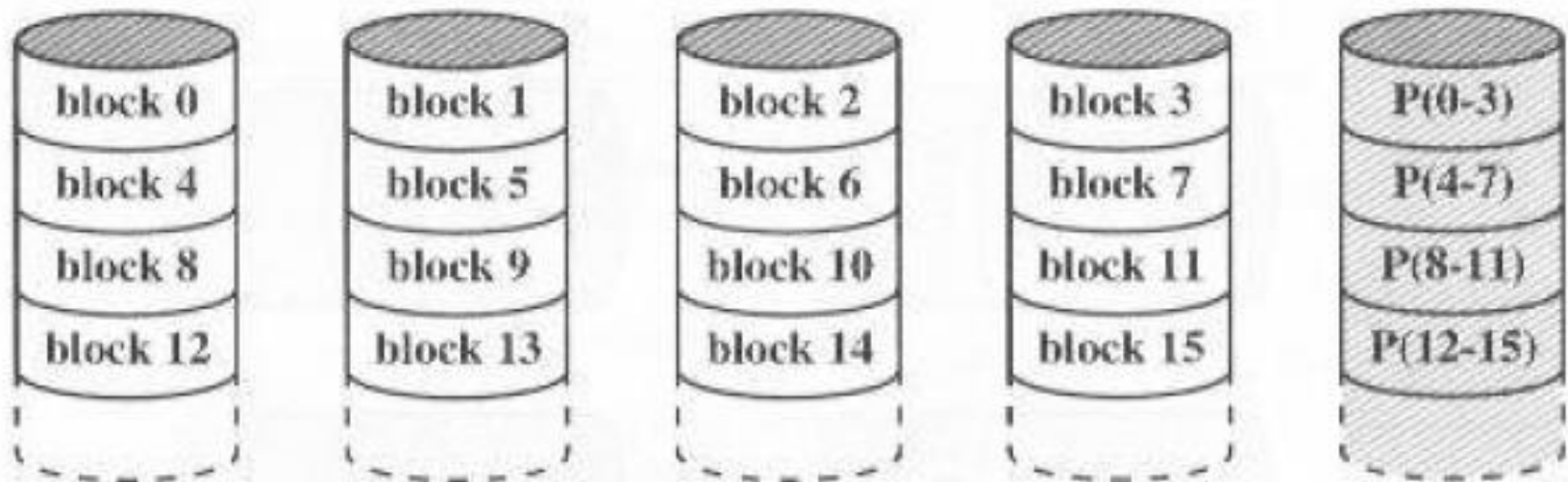
# RAID 4

---

- Từ RAID4 -> RAID6 sử dụng kỹ thuật truy cập độc lập:
  - Mỗi đĩa thành viên hoạt động độc lập => các yêu cầu I/O riêng biệt có thể được đáp ứng song song
- Vẫn sử dụng data stripping nhưng các mảnh khá lớn
- Các mảnh parity theo từng bit được tính theo các mảnh tương ứng trên đĩa và lưu vào strip tương ứng trên đĩa parity

# RAID 4

---



(e) RAID 4 (Block-level parity)



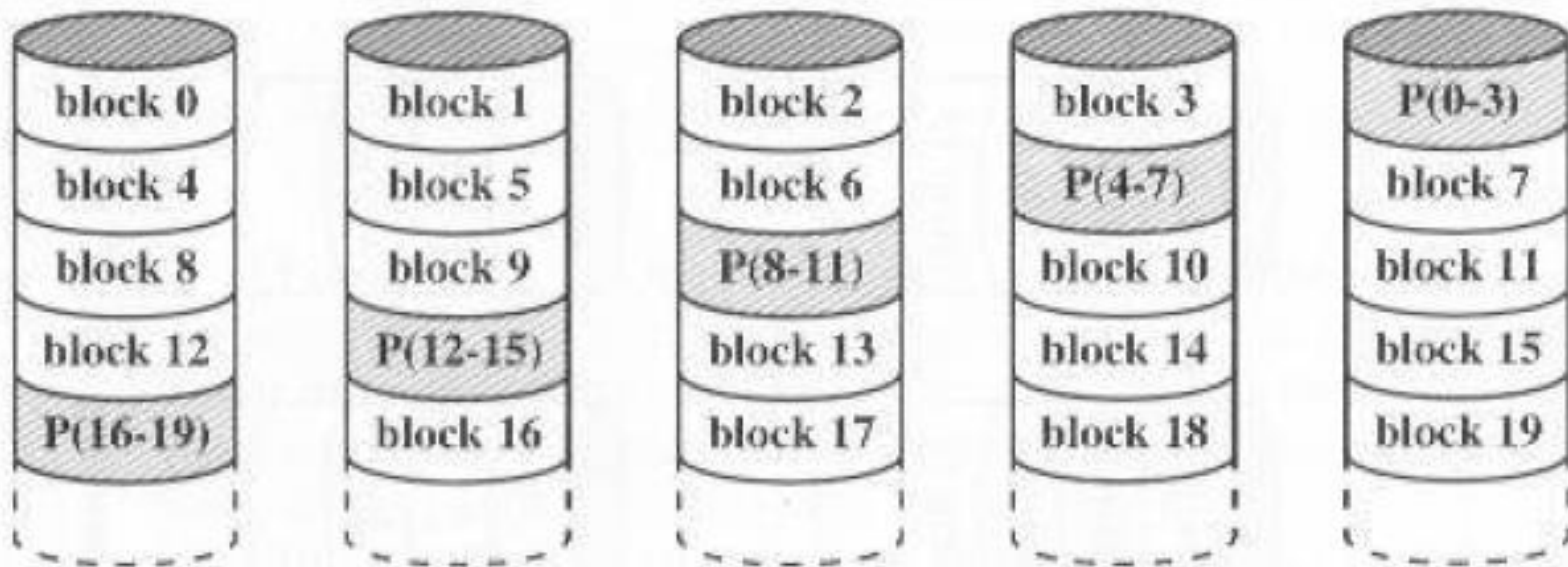
# RAID 5

---

- Tổ chức tương tự như RAID4
- RAID5 phân bố các mảnh parity trên tất cả các đĩa

# RAID 5

---



(f) RAID 5 (Block-level distributed parity)

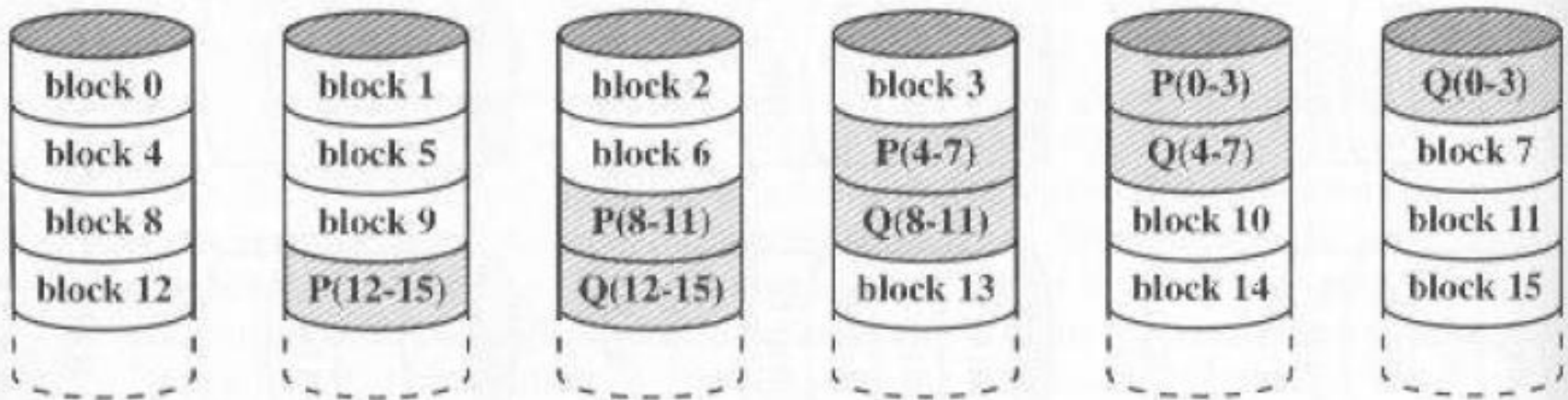
# RAID 6

---

- Hai mã parity được tính và lưu trên các block riêng biệt trên các đĩa khác nhau

# RAID 6

---



(g) RAID 6 (Dual redundancy)

# NAS – Network Attached Storage

---



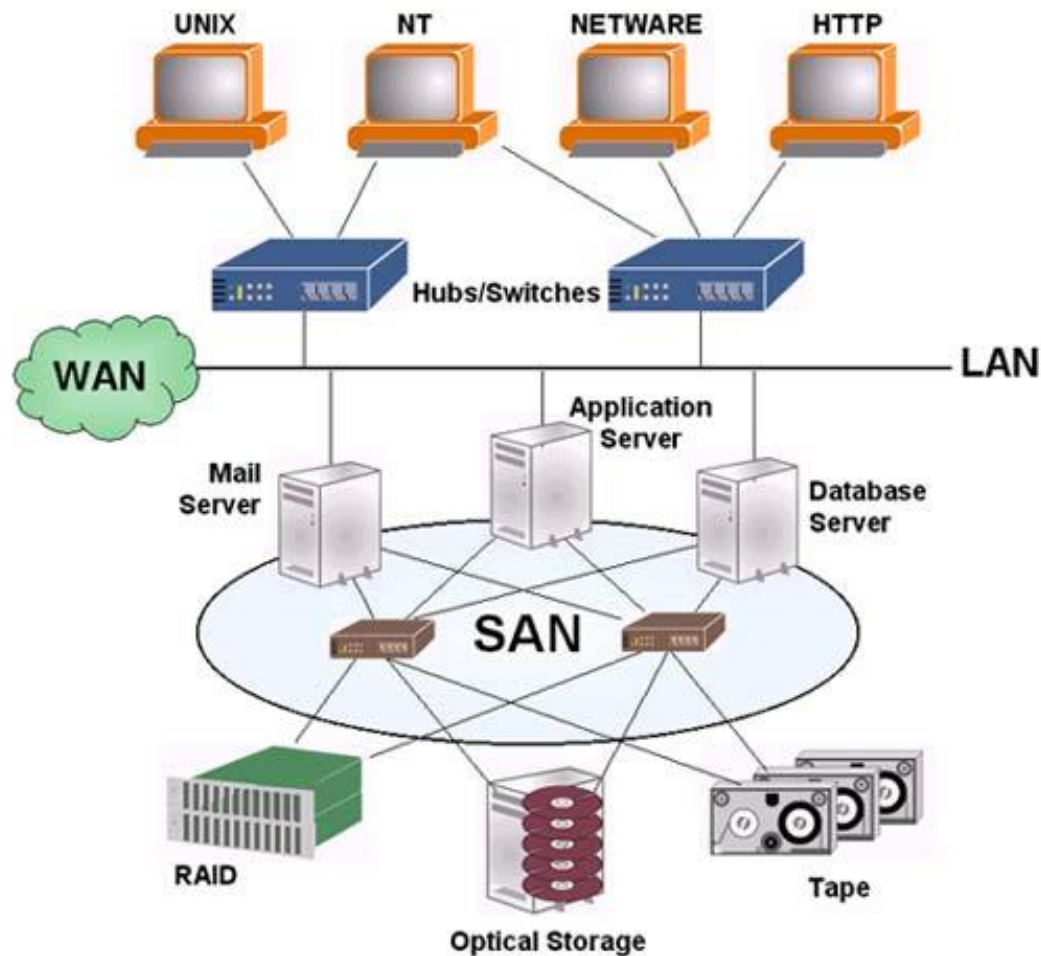
# NAS – Network Attached Storage

---

- NAS là server chuyên dụng cho lưu trữ
- NAS được kết nối vào mạng và cung cấp các dịch vụ lưu trữ qua mạng
- NAS dựa trên nền tảng là RAID tốc độ cao, dung lượng lớn, độ tin cậy cao
- NAS có thể cung cấp dịch vụ lưu trữ cho hầu hết tất cả các loại server có cấu hình phần cứng khác nhau và chạy trên các hệ điều hành khác nhau

# SAN – Storage Area Network

## Storage Area Networks



# SAN – Storage Area Network

---

- SAN là một mạng các server chuyên dụng cung cấp dịch vụ lưu trữ
- SAN thường cung cấp dịch vụ lưu trữ với đặc điểm:
  - Tốc độ truy cập rất cao
  - Dung lượng cực kỳ lớn
  - Độ tin cậy rất cao:
    - An toàn dữ liệu cục bộ
    - An toàn dữ liệu với các bản copy được đồng bộ ở khoảng cách xa về địa lý
- SAN thường được tổ chức dưới dạng hệ thống file phân tán (Distributed File System)



# Google SAN

---



# Bộ nhớ ảo (Virtual Memory)

---

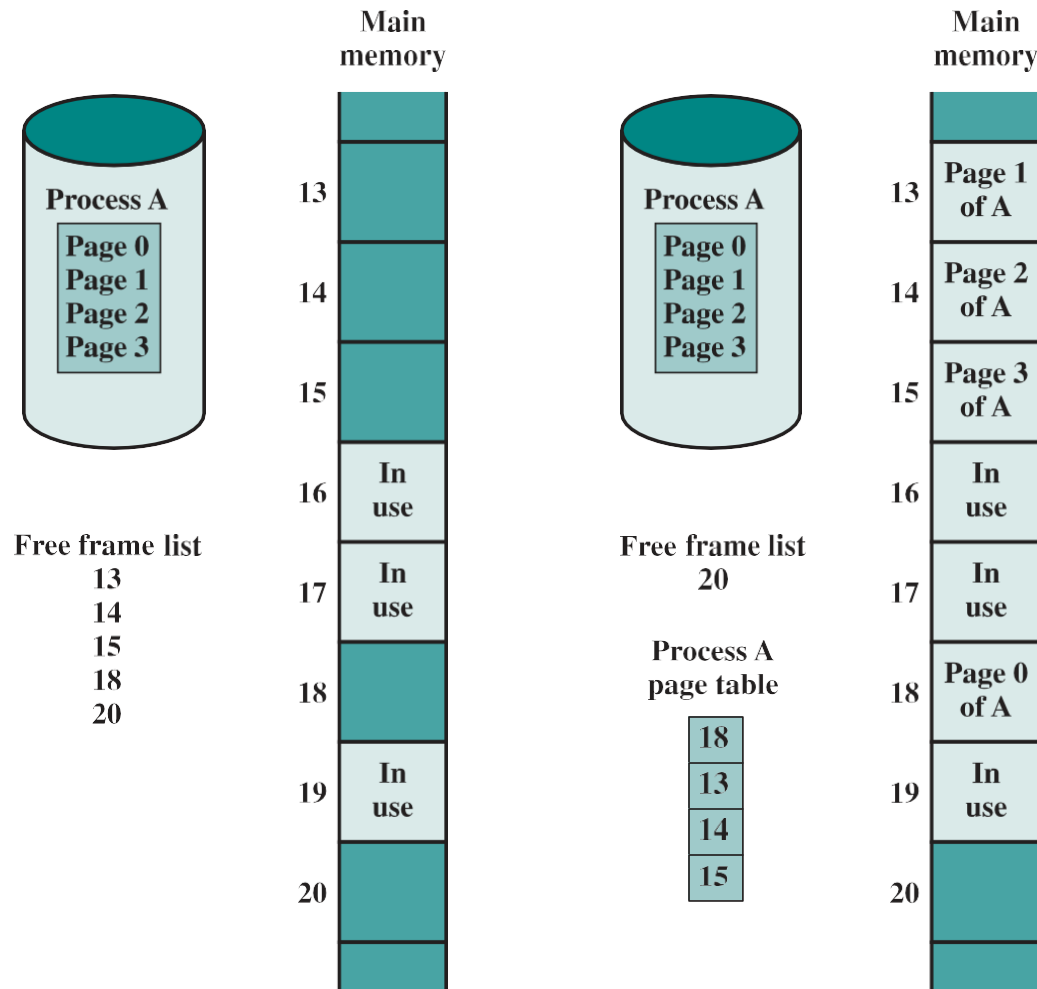
- Khái niệm bộ nhớ ảo: gồm bộ nhớ chính và bộ nhớ ngoài mà được CPU coi như là một bộ nhớ duy nhất (bộ nhớ chính).
- Các kỹ thuật thực hiện bộ nhớ ảo:
  - Kỹ thuật phân trang: Chia không gian địa chỉ bộ nhớ thành các trang nhớ có kích thước bằng nhau và nằm liền kề nhau  
Thông dụng: kích thước trang = 4KiBytes
  - Kỹ thuật phân đoạn: Chia không gian nhớ thành các đoạn nhớ có kích thước thay đổi, các đoạn nhớ có thể gộp lên nhau.

# Phân trang

---

- Phân chia bộ nhớ thành các phần có kích thước bằng nhau gọi là các khung trang
- Chia chương trình (tiến trình) thành các trang
- Cấp phát số hiệu khung trang yêu cầu cho tiến trình
- HĐH duy trì danh sách các khung trang nhớ trống
- Tiến trình không yêu cầu các khung trang liên tiếp
- Sử dụng bảng trang để quản lý

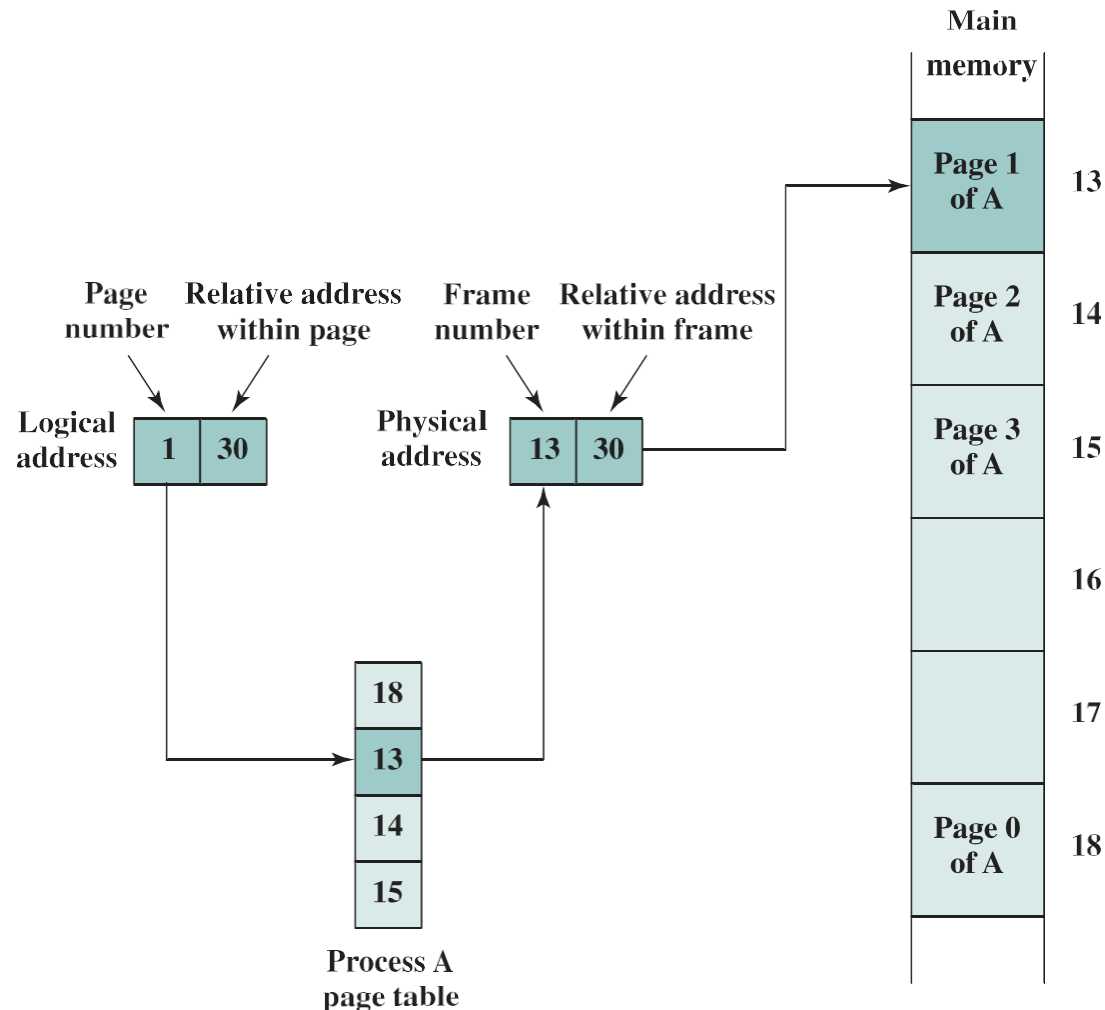
# Cấp phát các khung trang



(a) Before

(b) After

# Địa chỉ logic và địa chỉ vật lý của phân trang



# Nguyên tắc làm việc của bộ nhớ ảo phân trang

---

- Phân trang theo yêu cầu
  - Không yêu cầu tất cả các trang của tiến trình nằm trong bộ nhớ
  - Chỉ nạp vào bộ nhớ những trang được yêu cầu
- Lỗi trang
  - Trang được yêu cầu không có trong bộ nhớ
  - HĐH cần hoán đổi trang yêu cầu vào
  - Có thể cần hoán đổi một trang nào đó ra để lấy chỗ
  - Cần chọn trang để đưa ra

# Thất bại

---

- Quá nhiều tiến trình trong bộ nhớ quá nhỏ
- HĐH tiêu tốn toàn bộ thời gian cho việc hoán đổi
- Có ít hoặc không có công việc nào được thực hiện
- Đĩa luôn luôn sáng
- Giải pháp:
  - Thuật toán thay trang
  - Giảm bớt số tiến trình đang chạy
  - Thêm bộ nhớ

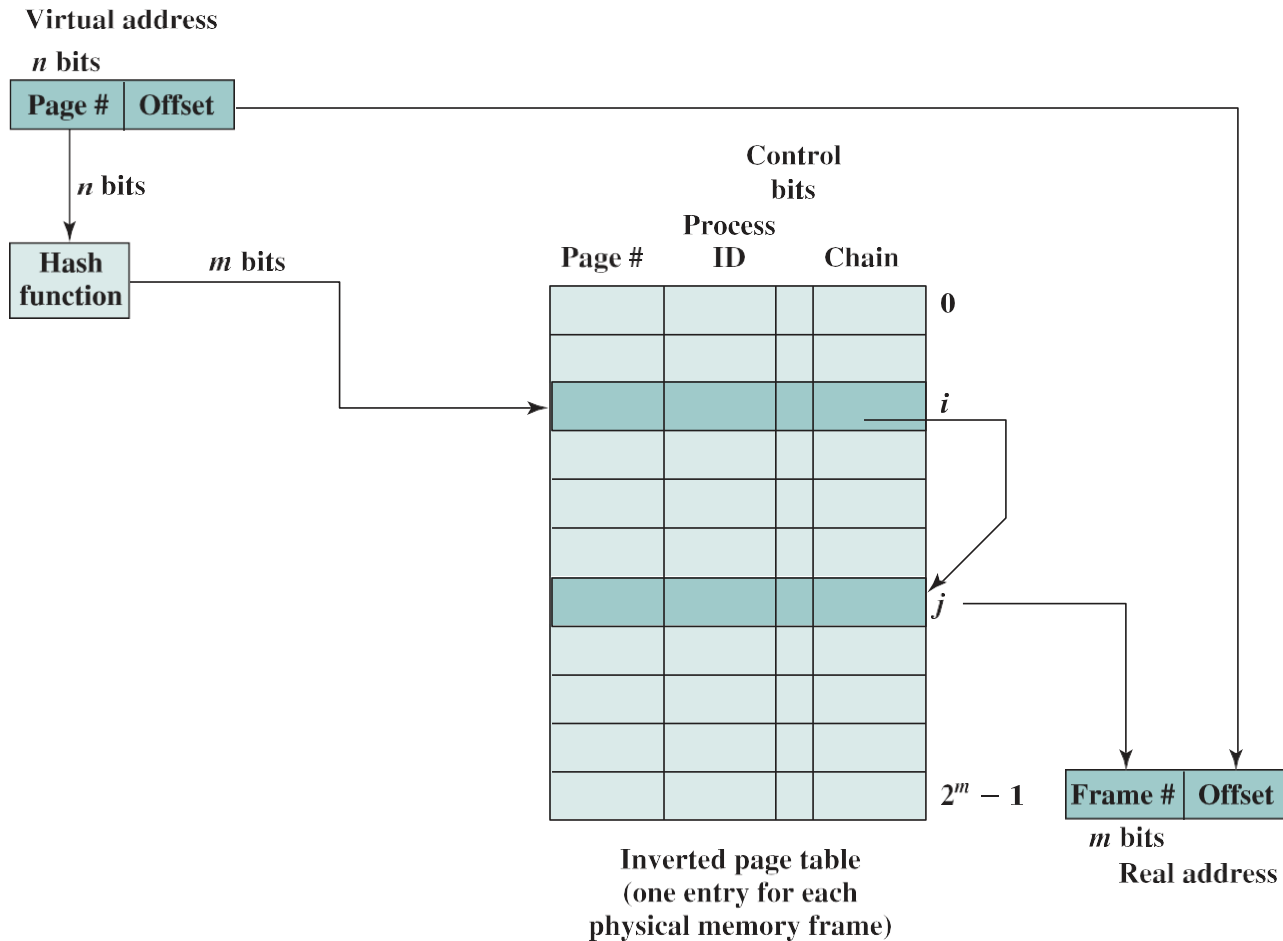
# Lợi ích

---

- Không cần toàn bộ tiến trình nằm trong bộ nhớ để chạy
- Có thể hoán đổi trang được yêu cầu
- Như vậy có thể chạy những tiến trình lớn hơn tổng bộ nhớ sẵn dùng
- Bộ nhớ chính được gọi là bộ nhớ thực
- Người dùng cảm giác bộ nhớ lớn hơn bộ nhớ thực

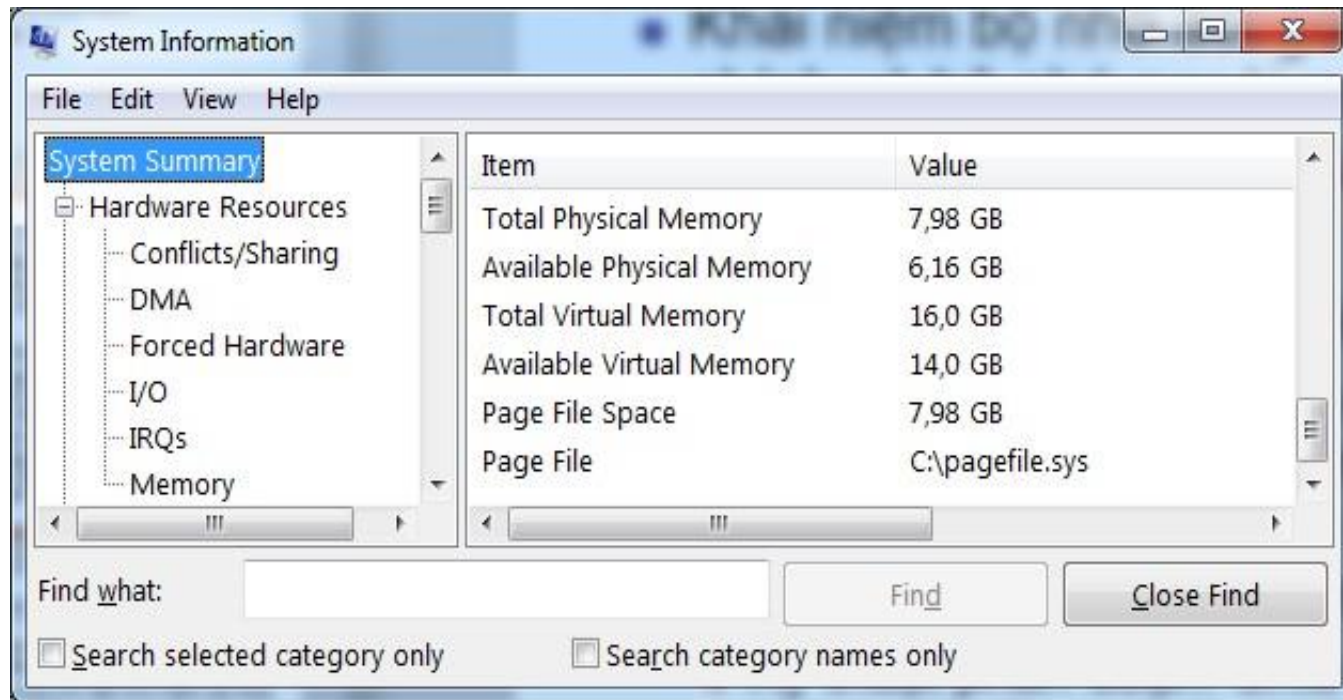


# Cấu trúc bảng trang



# Bộ nhớ ảo trong Windows OS

---



# Bộ nhớ trên máy tính PC

---

- Bộ nhớ cache: tích hợp trên chip vi xử lý:
  - L1: cache lệnh và cache dữ liệu
  - L2, L3
- Bộ nhớ chính: Tồn tại dưới dạng các mô-đun nhớ RAM

# Bộ nhớ trên PC

---

- ROM BIOS chứa các chương trình sau:
  - Chương trình POST (Power On Self Test)
  - Chương trình CMOS Setup
  - Chương trình Bootstrap loader
  - Các trình điều khiển vào-ra cơ bản (BIOS)
- CMOS RAM:
  - Chứa thông tin cấu hình hệ thống
  - Đồng hồ hệ thống
  - Có pin nuôi riêng
- Video RAM: quản lý thông tin của màn hình
- Các loại bộ nhớ ngoài