



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.2025



© Nguyễn Kim Khánh

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 7 HỆ THỐNG VÀO-RA

Nội dung

7.1. Tổng quan về hệ thống vào-ra

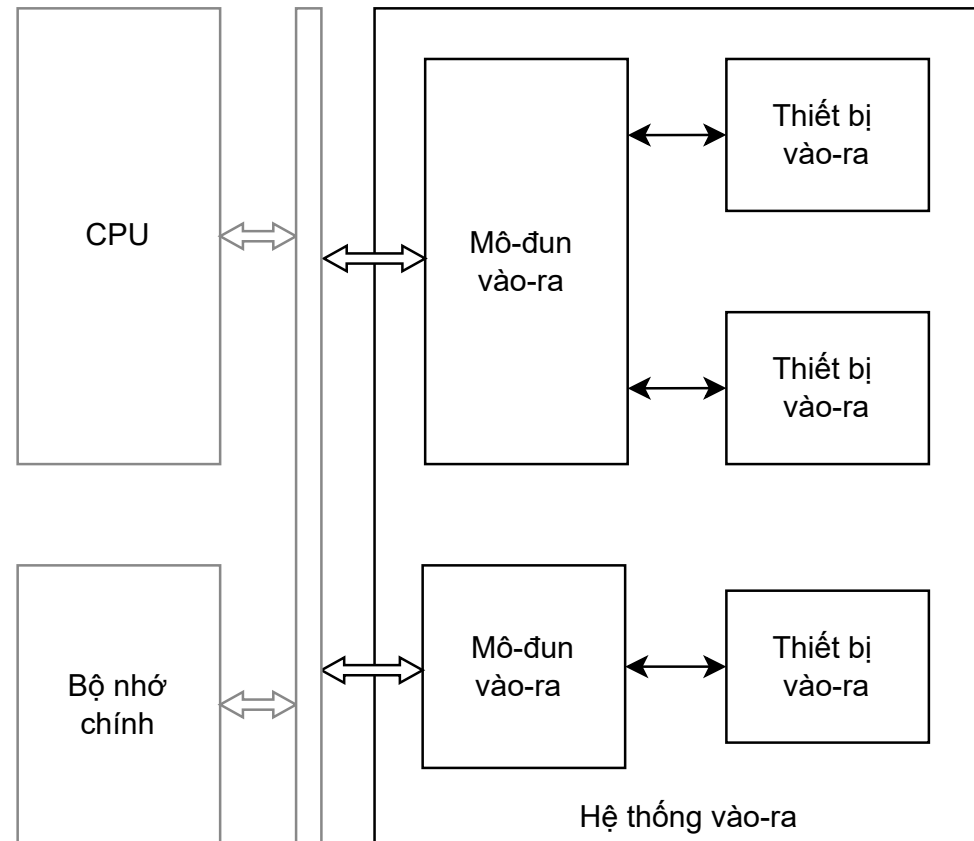
7.2. Các phương pháp điều khiển vào-ra

7.3. Nối ghép thiết bị vào-ra



7.1. Tổng quan về hệ thống vào-ra

- Chức năng: Trao đổi thông tin giữa máy tính với bên ngoài
- Các thao tác cơ bản:
 - Vào dữ liệu (Input)
 - Ra dữ liệu (Output)
- Các thành phần chính:
 - Các thiết bị vào-ra
 - Các mô-đun vào-ra



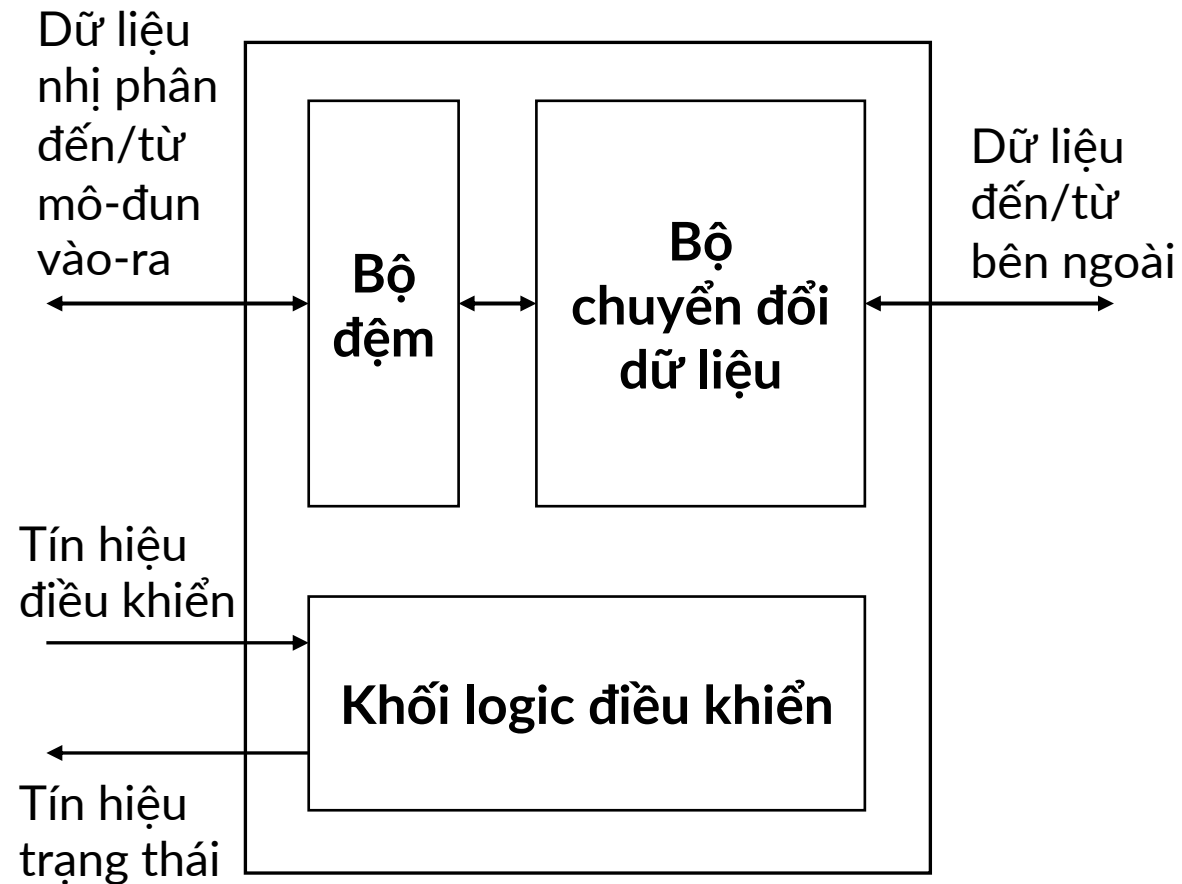
Đặc điểm của hệ thống vào-ra

- Tồn tại đa dạng các thiết bị vào-ra khác nhau về:
 - Nguyên tắc hoạt động
 - Tốc độ
 - Khuôn dạng dữ liệu
 - Tất cả các thiết bị vào-ra đều chậm hơn CPU và RAM
- Cần có các mô-đun vào-ra để nối ghép các thiết bị với CPU và bộ nhớ chính

Thiết bị vào-ra

- Còn gọi là thiết bị ngoại vi (Peripherals)
- Chức năng: chuyển đổi dữ liệu giữa bên trong và bên ngoài máy tính
- Phân loại:
 - Thiết bị vào (Input Devices)
 - Thiết bị ra (Output Devices)
 - Thiết bị lưu trữ (Storage Devices)
 - Thiết bị truyền thông (Communication Devices)
- Giao tiếp:
 - Người - máy
 - Máy - máy

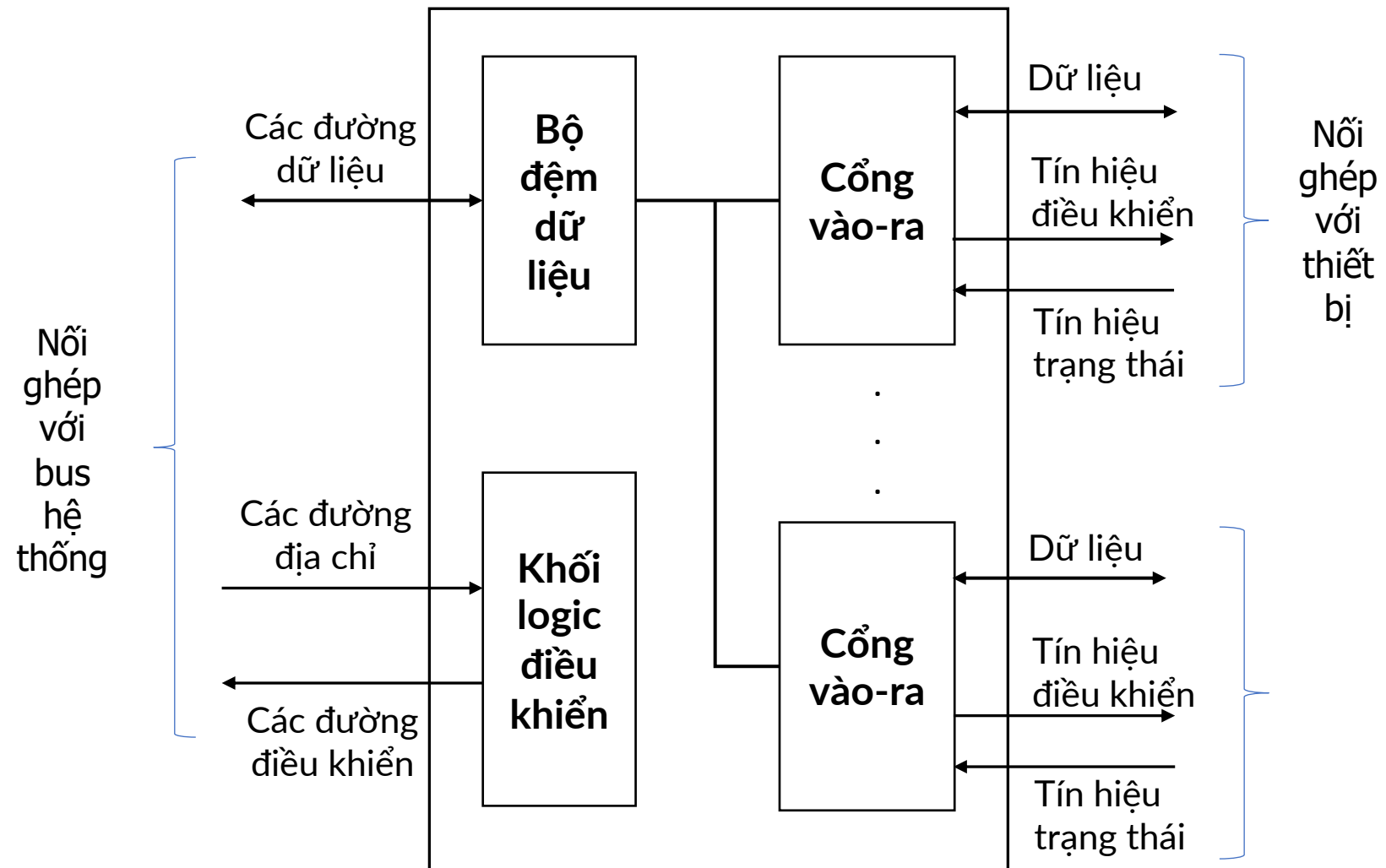
Cấu trúc chung của thiết bị vào-ra



Mô-đun vào-ra

- Chức năng:
 - Điều khiển và định thời
 - Trao đổi thông tin với CPU hoặc bộ nhớ chính
 - Trao đổi thông tin với thiết bị vào-ra
 - Đệm giữa bên trong máy tính với thiết bị vào-ra
 - Phát hiện lỗi của thiết bị vào-ra

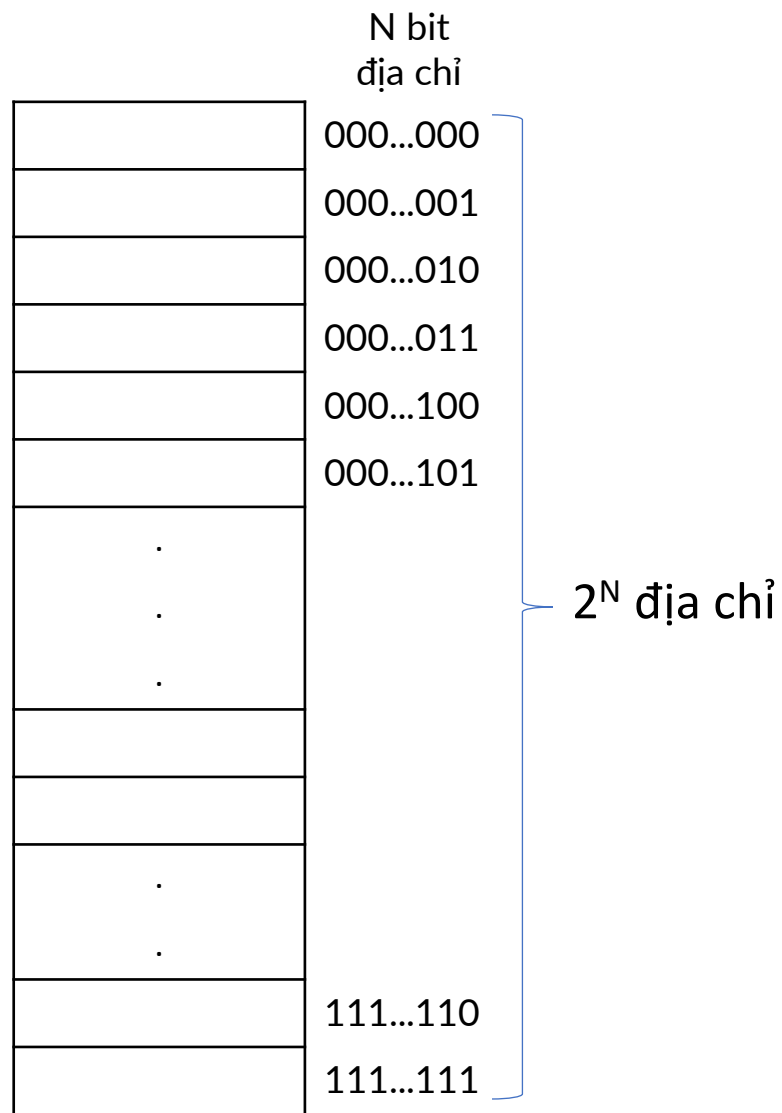
Cấu trúc mô-đun vào-ra



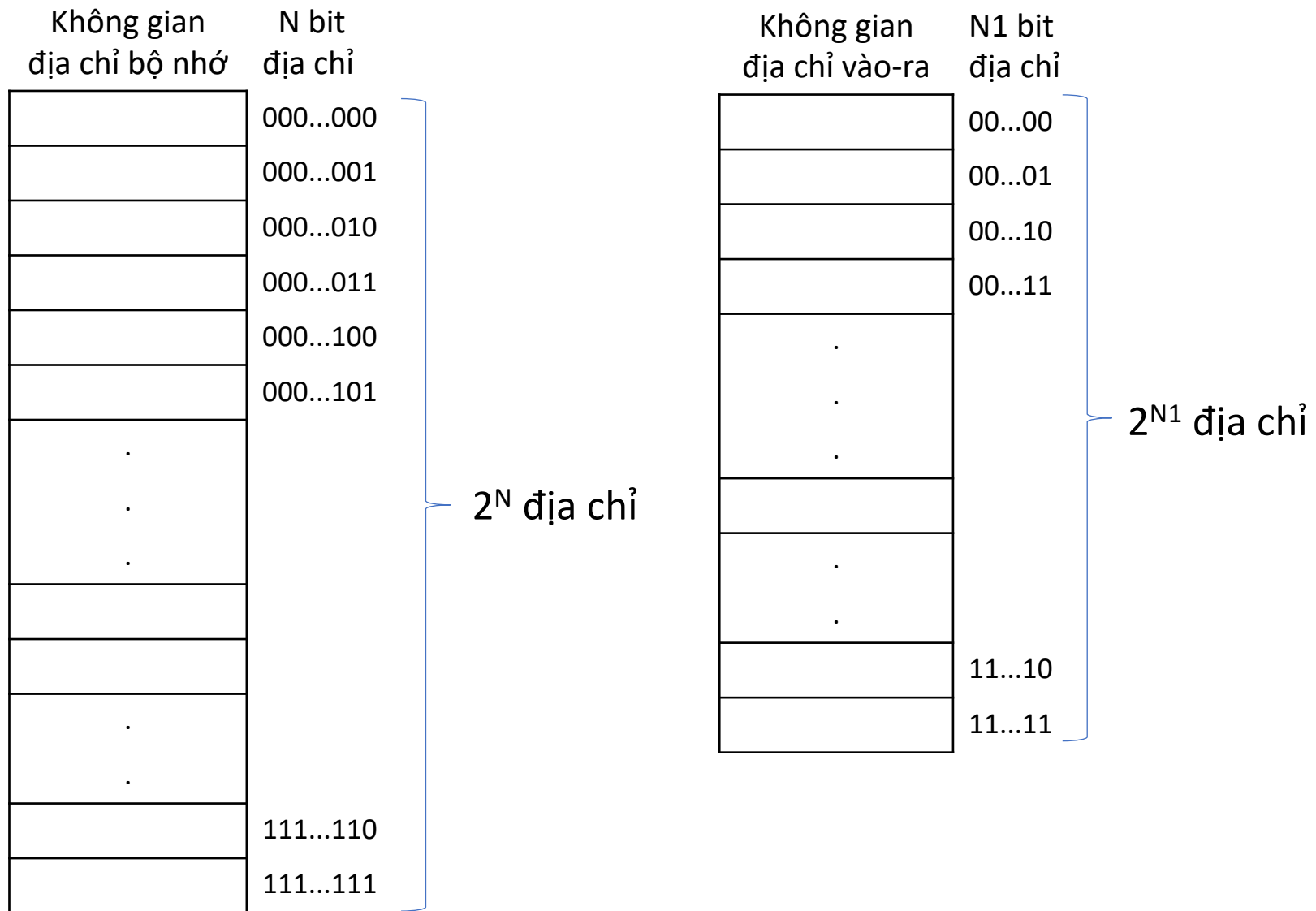
4. Địa chỉ hóa cổng vào-ra (IO addressing)

- Hầu hết các bộ xử lý chỉ có một không gian địa chỉ chung cho cả các ngăn nhớ và các cổng vào-ra → được gọi là không gian địa chỉ bộ nhớ
 - Các bộ xử lý 680x0 của Motorola
 - Các bộ xử lý theo kiến trúc RISC: MIPS, ARM, RISC-V...
- Một số bộ xử lý có hai không gian địa chỉ tách biệt:
 - Không gian địa chỉ bộ nhớ
 - Không gian địa chỉ vào-ra
 - Ví dụ: Intel x86

Không gian địa chỉ bộ nhớ (dùng chung)



Không gian địa chỉ tách biệt



Các phương pháp địa chỉ hoá cổng vào-ra

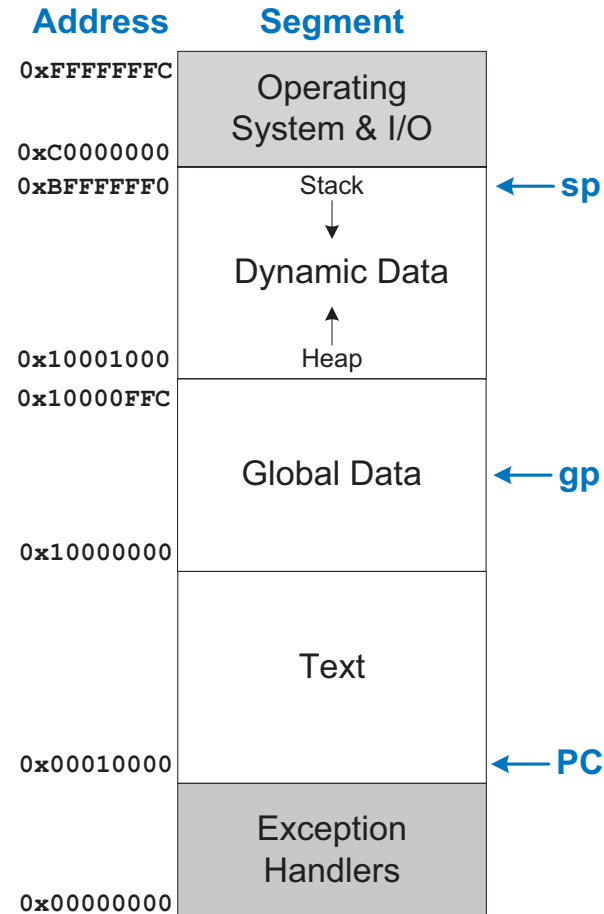
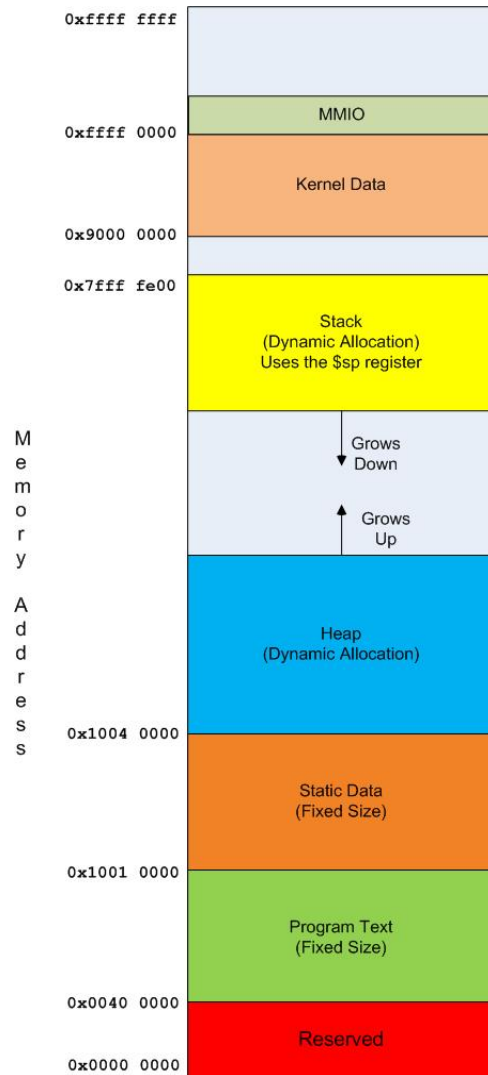
- Vào-ra theo bản đồ bộ nhớ
(Memory mapped IO - MMIO)
- Vào-ra riêng biệt
(Isolated IO hay Port mapped IO - PMIO)

Vào-ra theo bản đồ bộ nhớ

- Cổng vào-ra được đánh địa chỉ theo không gian địa chỉ bộ nhớ
- CPU coi cổng vào-ra như ngăn nhớ
- Lập trình trao đổi dữ liệu với cổng vào-ra bằng các lệnh truy nhập dữ liệu bộ nhớ
- Có thể thực hiện trên mọi hệ thống
- Ví dụ: Bộ xử lý RISC-V
 - 32-bit địa chỉ cho một không gian địa chỉ chung cho cả các ngăn nhớ và các cổng vào-ra
 - Các cổng vào-ra được gán các địa chỉ thuộc vùng địa chỉ dự trữ
 - Vào/ra dữ liệu: sử dụng lệnh load/store



Bản đồ bộ nhớ



Ví dụ lập trình vào-ra cho RISC-V

- Ví dụ: Có hai cổng vào-ra được gán địa chỉ:

- Cổng 1: 0xFFFF1000
- Cổng 2: 0xFFFF1004

- Ghi giá trị 7 ra cổng 1

```
lui    s0, 0xFFFF1      # s0 chứa địa chỉ 0xFFFF1000
addi   s1, x0, 7         # nạp giá trị 7 vào thanh ghi s1
sw     s1, 0(s0)         # đưa ra Cổng 1
```

- Đọc dữ liệu từ Cổng 2 đưa vào s2

```
lui    s0, 0xFFFF1      # s0 chứa địa chỉ 0xFFFF1000
lw     s2, 4(s0)         # đọc dữ liệu Cổng 2 đưa vào s2
```



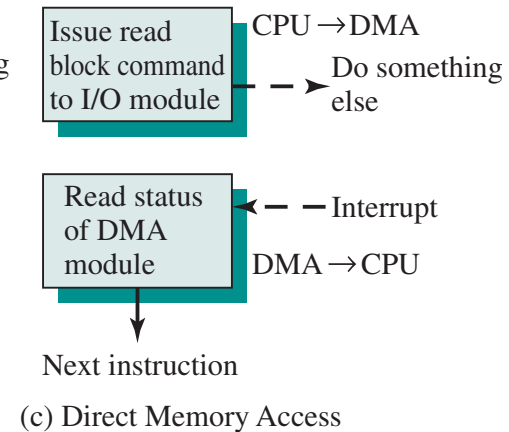
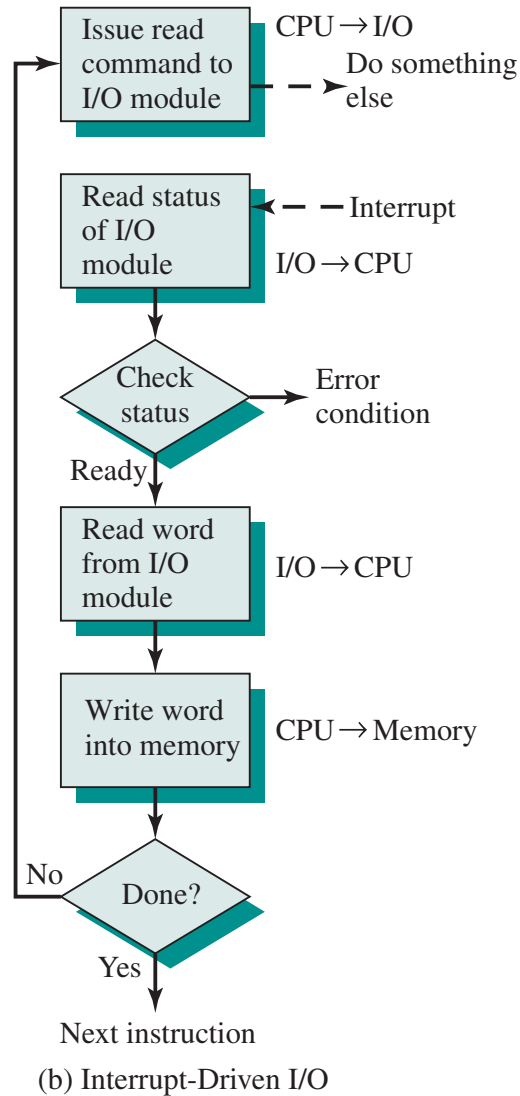
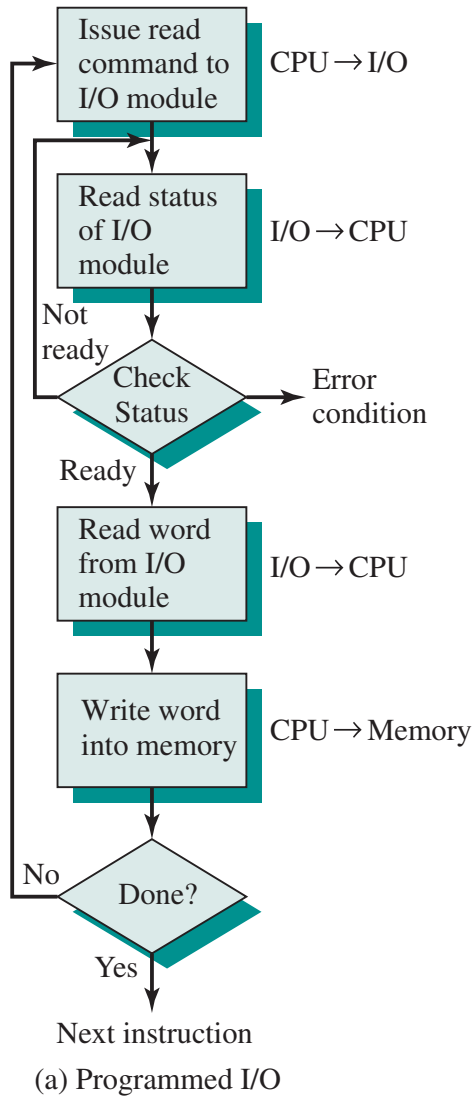
Vào-ra riêng biệt (Isolated IO)

- Cổng vào-ra được đánh địa chỉ theo không gian địa chỉ vào-ra riêng
- Lập trình trao đổi dữ liệu với cổng vào-ra bằng các lệnh vào-ra chuyên dụng
- Ví dụ: Intel x86
 - Dùng 8-bit hoặc 16-bit địa chỉ cho không gian địa chỉ vào-ra riêng
 - Có hai lệnh vào-ra chuyên dụng
 - Lệnh IN: nhận dữ liệu từ cổng vào
 - Lệnh OUT: đưa dữ liệu đến cổng ra

7.2. Các phương pháp điều khiển vào-ra

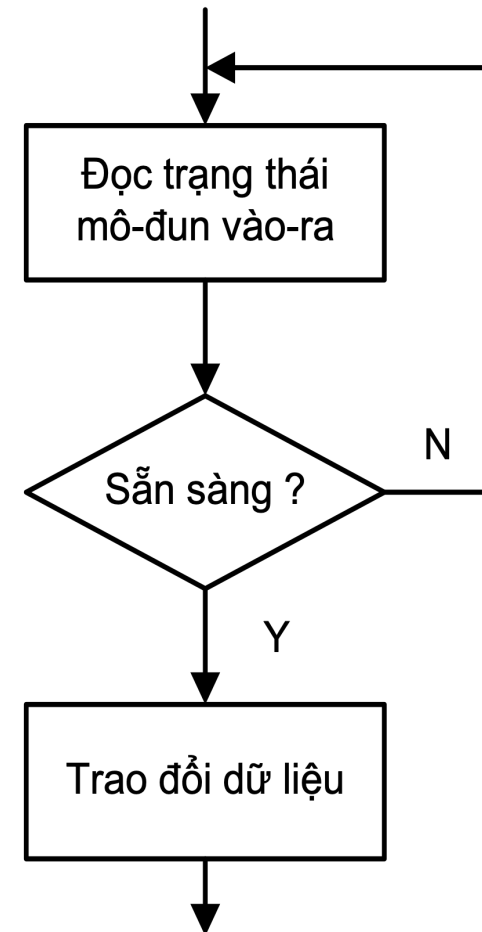
- Vào-ra bằng chương trình (Programmed IO)
- Vào-ra điều khiển bằng ngắt (Interrupt Driven IO)
- Truy nhập bộ nhớ trực tiếp - DMA (Direct Memory Access)

Ba kỹ thuật thực hiện vào một khối dữ liệu



1. Vào-ra bằng chương trình

- Nguyên tắc chung:
 - CPU điều khiển trực tiếp vào-ra bằng chương trình → cần phải lập trình vào-ra để trao đổi dữ liệu giữa CPU với mô-đun vào-ra
 - CPU nhanh hơn thiết bị vào-ra rất nhiều lần, vì vậy trước khi thực hiện lệnh vào-ra, chương trình cần đọc và kiểm tra trạng thái sẵn sàng của mô-đun vào-ra



Các tín hiệu điều khiển vào-ra liên quan

- Tín hiệu điều khiển (Control): kích hoạt thiết bị vào-ra
- Tín hiệu kiểm tra (Test): kiểm tra trạng thái của mô-đun vào-ra và thiết bị vào-ra
- Tín hiệu điều khiển đọc (Read): yêu cầu mô-đun vào-ra nhận dữ liệu từ thiết bị vào-ra và đưa vào bộ đệm dữ liệu, rồi CPU nhận dữ liệu đó
- Tín hiệu điều khiển ghi (Write): yêu cầu mô-đun vào-ra lấy dữ liệu trên bus dữ liệu đưa đến bộ đệm dữ liệu rồi chuyển ra thiết bị vào-ra

Các lệnh vào-ra

- Với vào-ra theo bản đồ bộ nhớ: sử dụng các lệnh trao đổi dữ liệu với bộ nhớ để trao đổi dữ liệu với cổng vào-ra
- Với vào-ra riêng biệt: sử dụng các lệnh vào-ra chuyên dụng (IN, OUT)

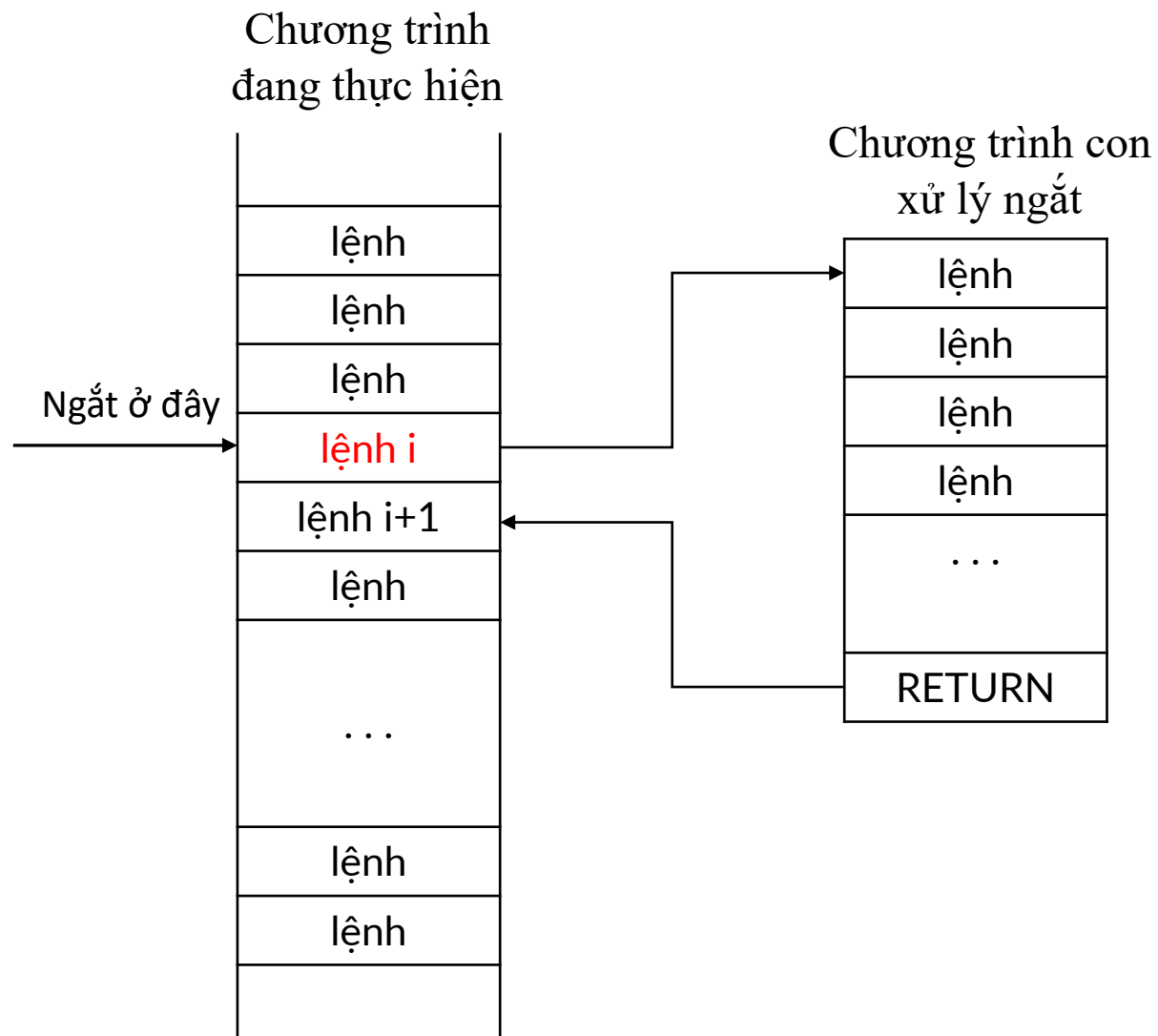
Đặc điểm

- Vào-ra do ý muốn của người lập trình
- CPU trực tiếp điều khiển trao đổi dữ liệu giữa CPU với mô-đun vào-ra
- CPU đợi trạng thái sẵn sàng của mô-đun vào-ra (thông qua vòng lặp) → tiêu tốn nhiều thời gian của CPU

2. Vào-ra điều khiển bằng ngắt

- Nguyên tắc chung:
 - CPU không phải đợi trạng thái sẵn sàng của mô-đun vào-ra, CPU thực hiện một chương trình nào đó
 - Khi mô-đun vào-ra sẵn sàng thì nó phát tín hiệu ngắt CPU
 - CPU thực hiện chương trình con xử lý ngắt vào-ra tương ứng để trao đổi dữ liệu
 - CPU trở lại tiếp tục thực hiện chương trình đang bị ngắt

Chuyển điều khiển đến chương trình con ngắt



Hoạt động vào dữ liệu: nhìn từ mô-đun vào-ra

- Mô-đun vào-ra nhận tín hiệu điều khiển đọc từ CPU
- Mô-đun vào-ra nhận dữ liệu từ thiết bị vào-ra, trong khi đó CPU làm việc khác
- Khi đã có dữ liệu → mô-đun vào-ra phát tín hiệu ngắt CPU
- CPU yêu cầu dữ liệu
- Mô-đun vào-ra chuyển dữ liệu đến CPU

Hoạt động vào dữ liệu: nhìn từ CPU

- Phát tín hiệu điều khiển đọc
- Làm việc khác (chạy một chương trình nào đó)
- Cuối mỗi chu trình lệnh, kiểm tra tín hiệu yêu cầu ngắt
- Nếu bị ngắt:
 - Cắt ngữ cảnh (nội dung các thanh ghi liên quan)
 - Thực hiện chương trình con xử lý ngắt để vào dữ liệu
 - Khôi phục ngữ cảnh của chương trình đang thực hiện

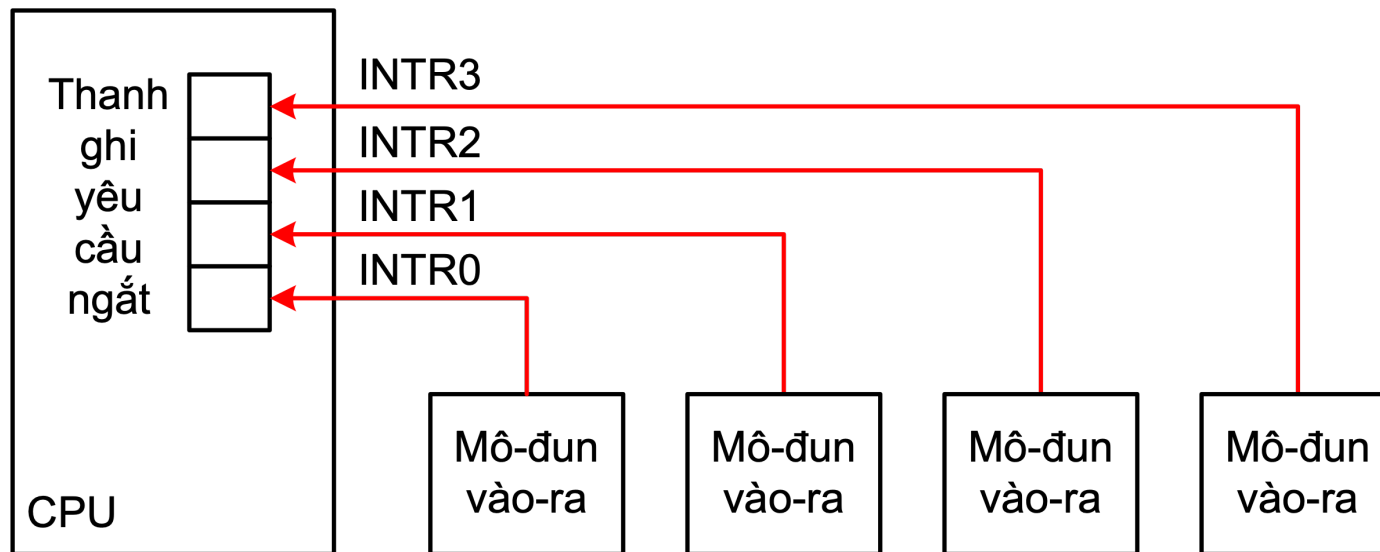
Các vấn đề nảy sinh khi thiết kế

- Làm thế nào để xác định được mô-đun vào-ra nào phát tín hiệu ngắt ?
- CPU làm như thế nào khi có nhiều yêu cầu ngắt cùng xảy ra ?

Các phương pháp nối ghép ngắt

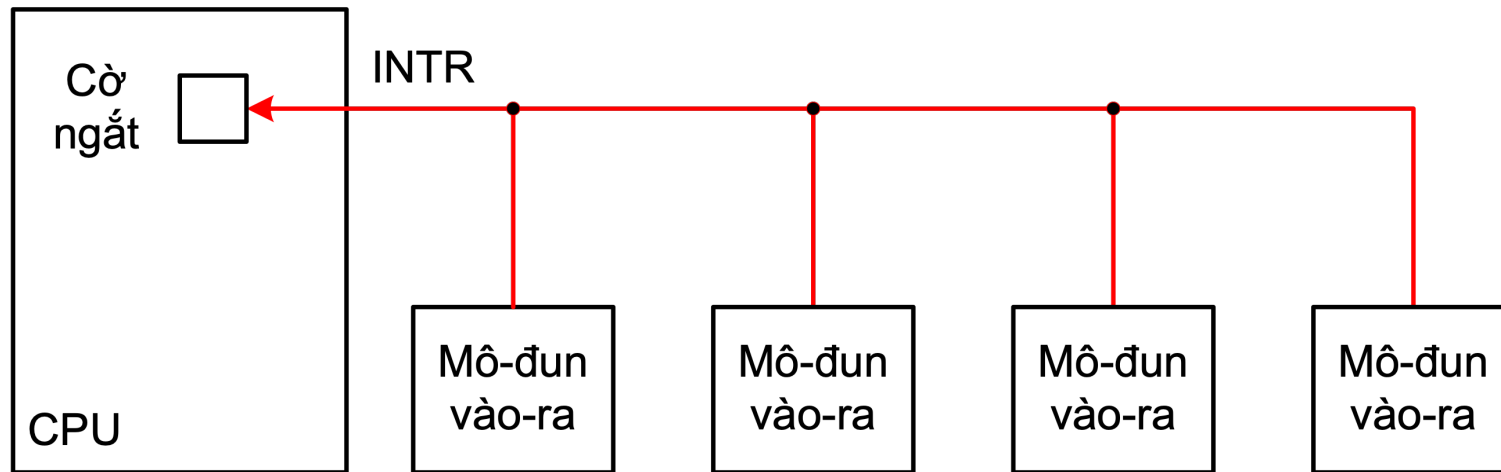
- Sử dụng nhiều đường yêu cầu ngắt
- Hỏi vòng bằng phần mềm (Software Poll)
- Hỏi vòng bằng phần cứng (Daisy Chain or Hardware Poll)
- Sử dụng bộ điều khiển ngắt (PIC)

Nhiều đường yêu cầu ngắt



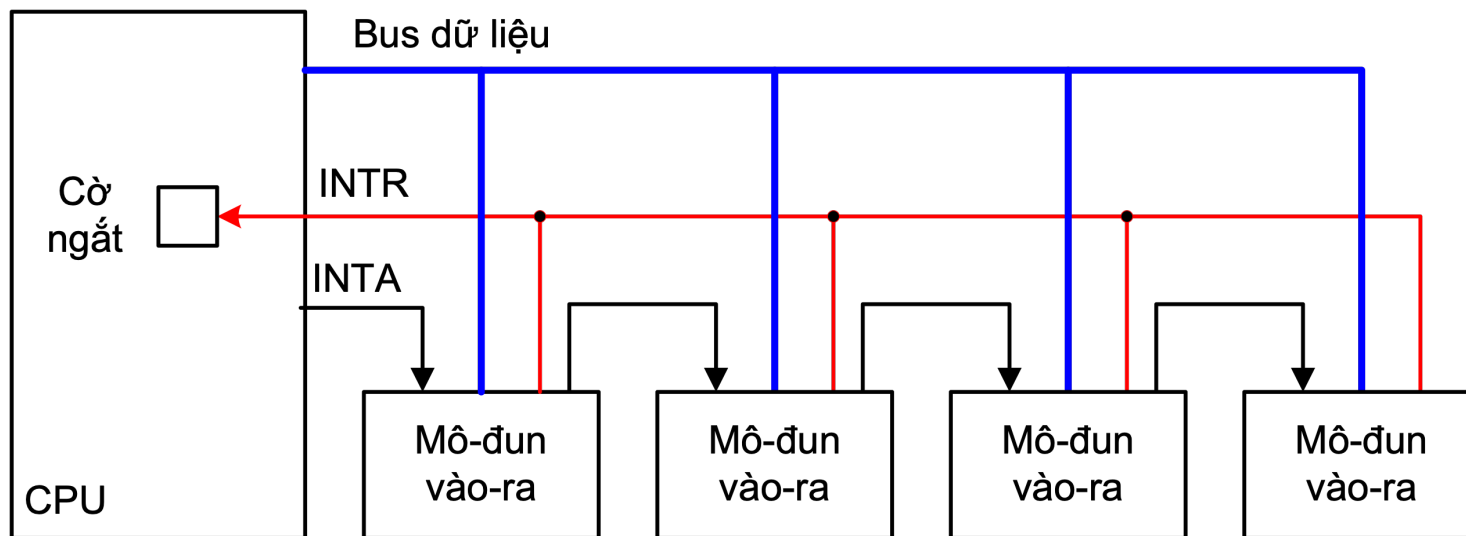
- Mỗi mô-đun vào-ra được nối với một đường yêu cầu ngắt
- CPU phải có nhiều đường tín hiệu yêu cầu ngắt
- Hạn chế số lượng mô-đun vào-ra
- Các đường ngắt được quy định mức ưu tiên

Hỏi vòng bằng phần mềm



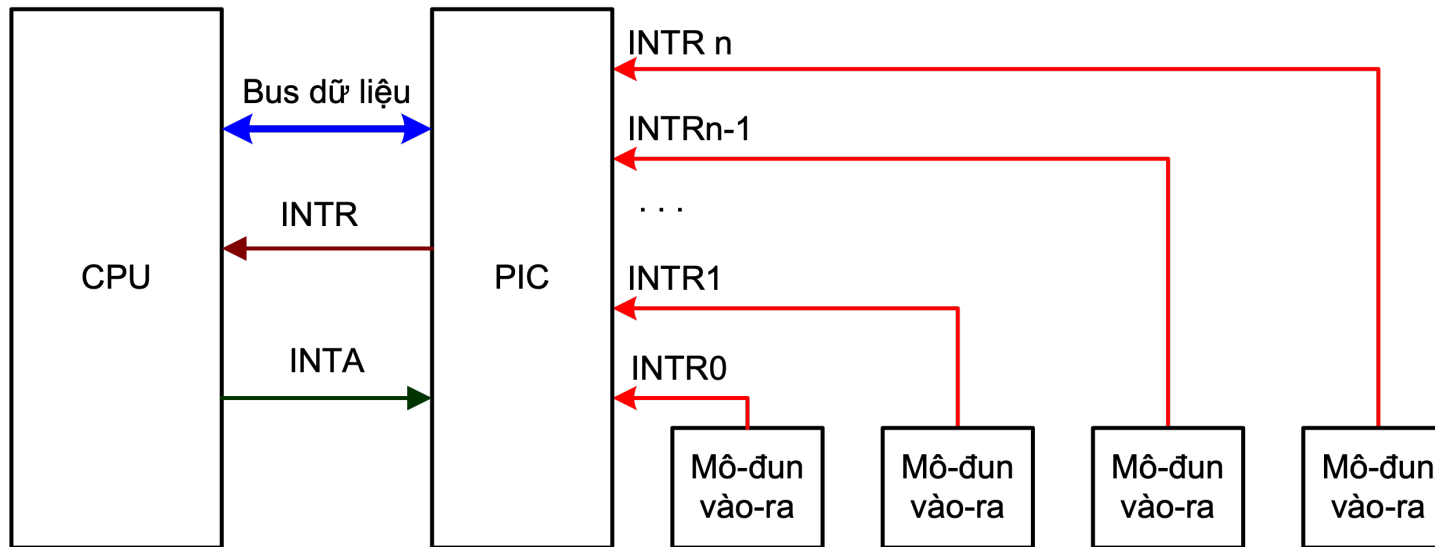
- CPU thực hiện phần mềm hỏi lần lượt từng mô-đun vào-ra
- Chậm
- Thứ tự các mô-đun được hỏi vòng chính là thứ tự ưu tiên

Hỏi vòng bằng phần cứng



- CPU phát tín hiệu chấp nhận ngắt (INTA) đến mô-đun vào-ra đầu tiên
- Nếu mô-đun vào-ra đó không gây ra ngắt thì nó gửi tín hiệu đến mô-đun kế tiếp, cho đến khi xác định được mô-đun gây ngắt
- Thứ tự các mô-đun vào-ra kết nối trong chuỗi xác định thứ tự ưu tiên

Bộ điều khiển ngắt lập trình được



- PIC – Programmable Interrupt Controller
- PIC có nhiều đường vào yêu cầu ngắt có qui định mức ưu tiên
- PIC chọn một yêu cầu ngắt không bị cấm có mức ưu tiên cao nhất gửi tới CPU

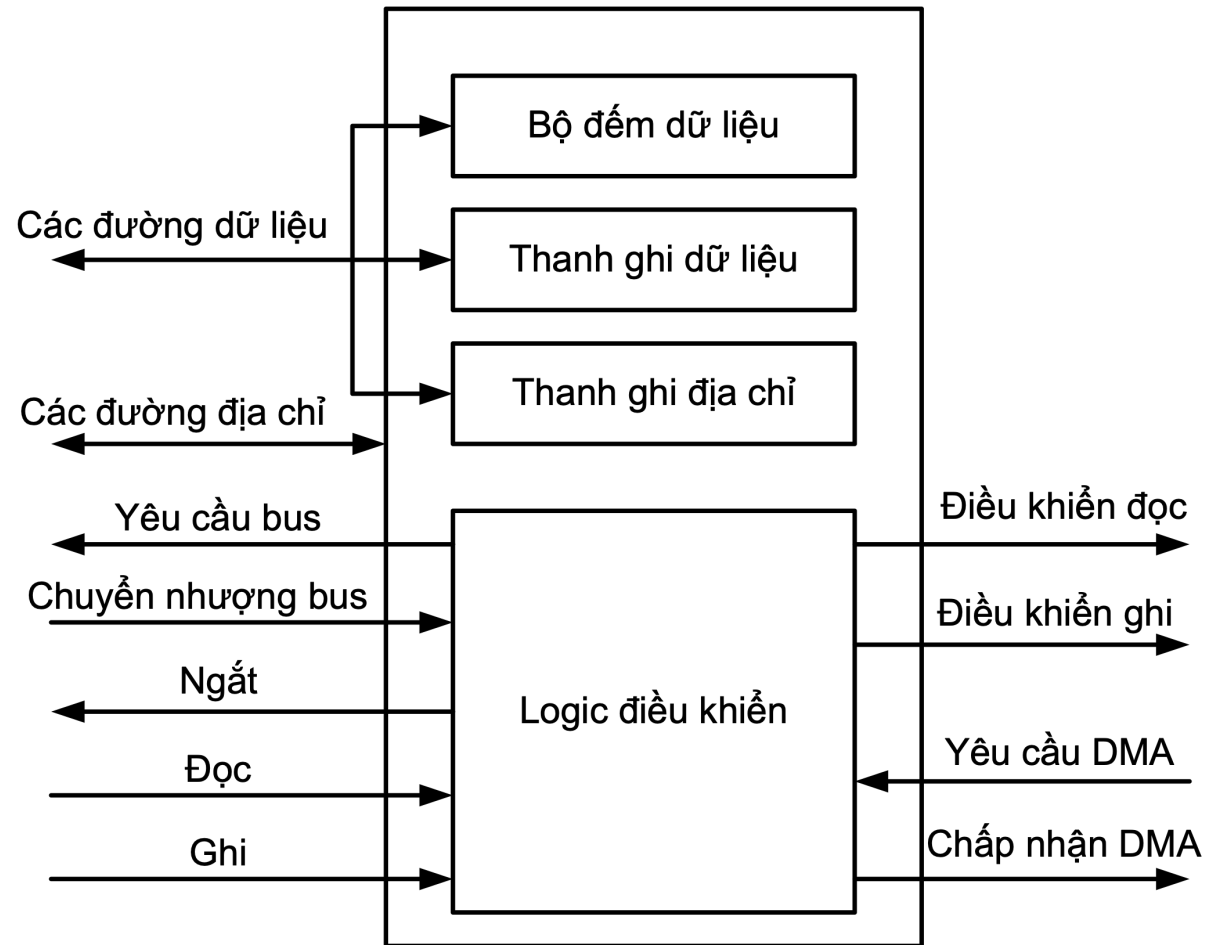
Đặc điểm của vào-ra điều khiển bằng ngắt

- Có sự kết hợp giữa phần cứng và phần mềm
 - Phần cứng: gây ngắt CPU
 - Phần mềm: trao đổi dữ liệu giữa CPU với mô-đun vào-ra
- CPU trực tiếp điều khiển vào-ra
- CPU không phải đợi mô-đun vào-ra, do đó hiệu quả sử dụng CPU tốt hơn

3. DMA (Direct Memory Access)

- Vào-ra bằng chương trình và bằng ngắt do CPU trực tiếp điều khiển:
 - Chiếm thời gian của CPU
- Để khắc phục dùng kỹ thuật DMA
 - Sử dụng mô-đun điều khiển vào-ra chuyên dụng, gọi là DMAC (Controller), điều khiển trao đổi dữ liệu giữa mô-đun vào-ra với bộ nhớ chính

Sơ đồ cấu trúc của DMAC



Các thành phần của DMAC

- Thanh ghi dữ liệu: chứa dữ liệu trao đổi
- Thanh ghi địa chỉ: chứa địa chỉ ngăn nhớ dữ liệu
- Bộ đếm dữ liệu: chứa số từ dữ liệu cần trao đổi
- Logic điều khiển: điều khiển hoạt động của DMAC

Hoạt động DMA

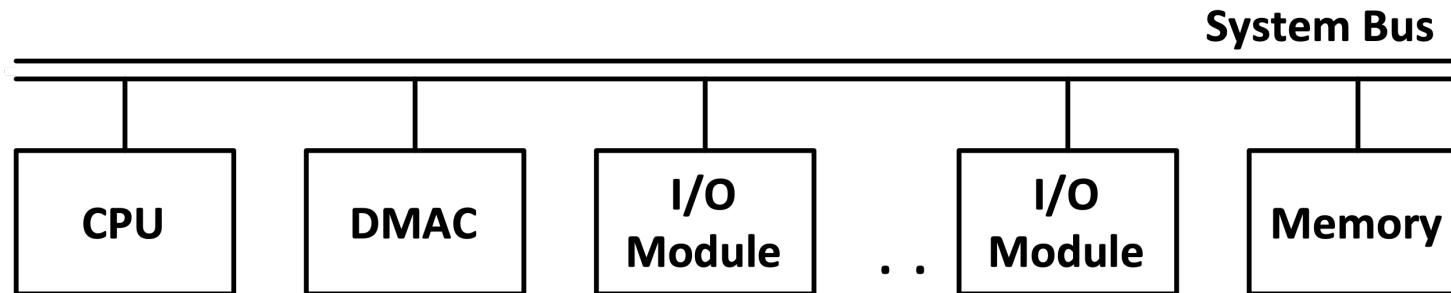
- CPU “nói” cho DMAC
 - Vào hay Ra dữ liệu
 - Địa chỉ thiết bị vào-ra (cổng vào-ra tương ứng)
 - Địa chỉ đầu của mảng nhớ chứa dữ liệu → nạp vào thanh ghi địa chỉ
 - Số từ dữ liệu cần truyền → nạp vào bộ đếm dữ liệu
- CPU làm việc khác
- DMAC điều khiển trao đổi dữ liệu
- Sau khi truyền được một từ dữ liệu thì:
 - nội dung thanh ghi địa chỉ tăng
 - nội dung bộ đếm dữ liệu giảm
- Khi bộ đếm dữ liệu = 0, DMAC gửi tín hiệu ngắt CPU để báo kết thúc DMA



Các kiểu thực hiện DMA

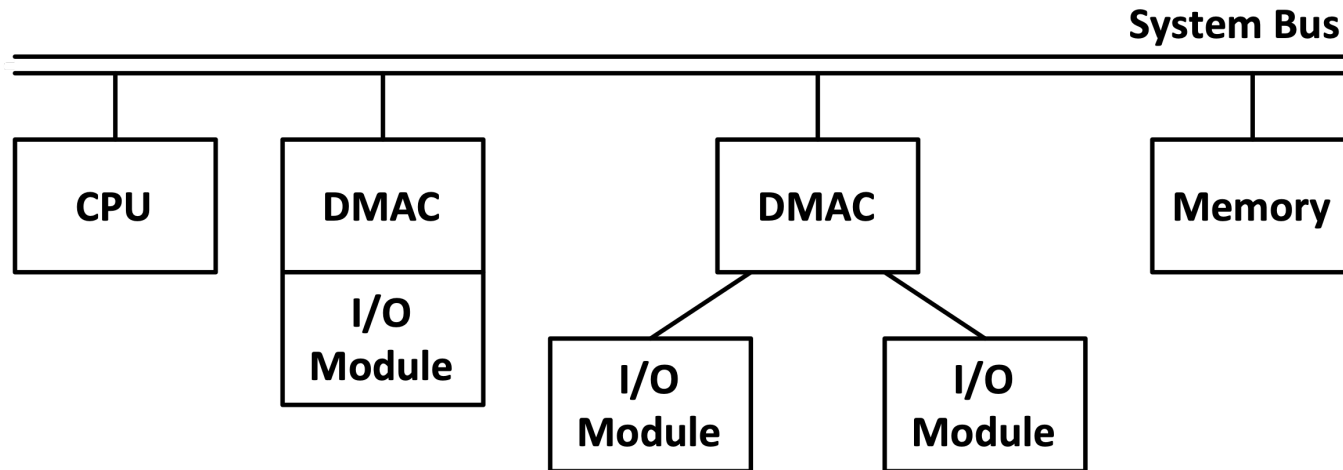
- DMA truyền theo khối (Block-transfer DMA): DMAC sử dụng bus để truyền xong cả khối dữ liệu
- DMA lấy chu kỳ (Cycle Stealing DMA): DMAC ép buộc CPU treo tạm thời từng chu kỳ bus, DMAC chiếm bus thực hiện truyền một từ dữ liệu.
- DMA trong suốt (Transparent DMA): DMAC nhận biết những chu kỳ nào CPU không sử dụng bus thì chiếm bus để trao đổi một từ dữ liệu.

Cấu hình DMA (1)



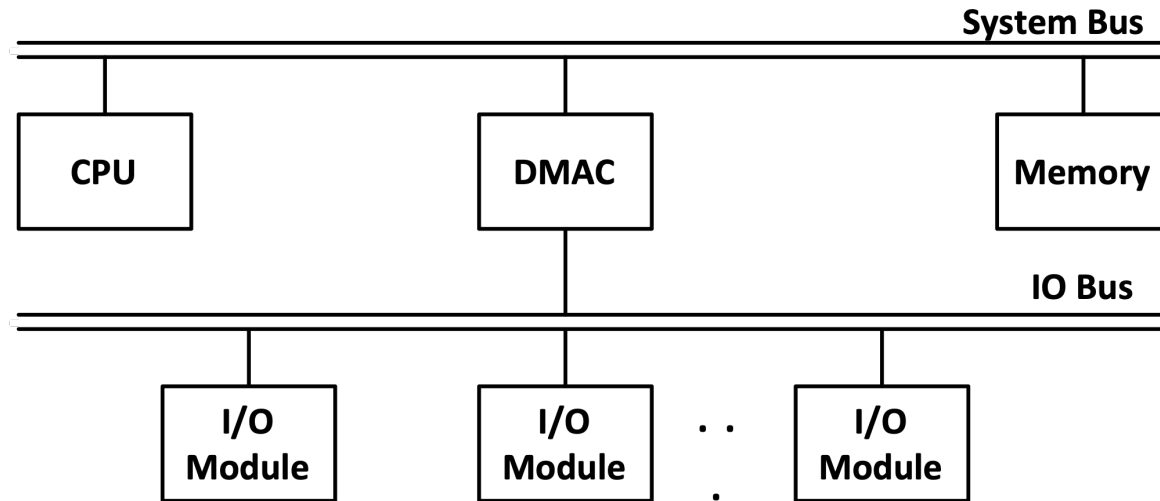
- Mỗi lần trao đổi một dữ liệu, DMAC sử dụng bus hai lần
 - Giữa mô-đun vào-ra với DMAC
 - Giữa DMAC với bộ nhớ

Cấu hình DMA (2)



- DMAC điều khiển một hoặc vài mô-đun vào-ra
- Mỗi lần trao đổi một dữ liệu, DMAC sử dụng bus một lần
 - Giữa DMAC với bộ nhớ

Cấu hình DMA (3)



- Bus vào-ra tách rời hỗ trợ tất cả các thiết bị cho phép DMA
- Mỗi lần trao đổi một dữ liệu, DMAC sử dụng bus một lần
 - Giữa DMAC với bộ nhớ

Đặc điểm của DMA

- CPU không tham gia trong quá trình trao đổi dữ liệu
- DMAC điều khiển trao đổi dữ liệu giữa bộ nhớ chính với mô-đun vào-ra (hoàn toàn bằng phần cứng)→ tốc độ nhanh
- Phù hợp với các yêu cầu trao đổi mảng dữ liệu có kích thước lớn

4. Bộ xử lý vào-ra

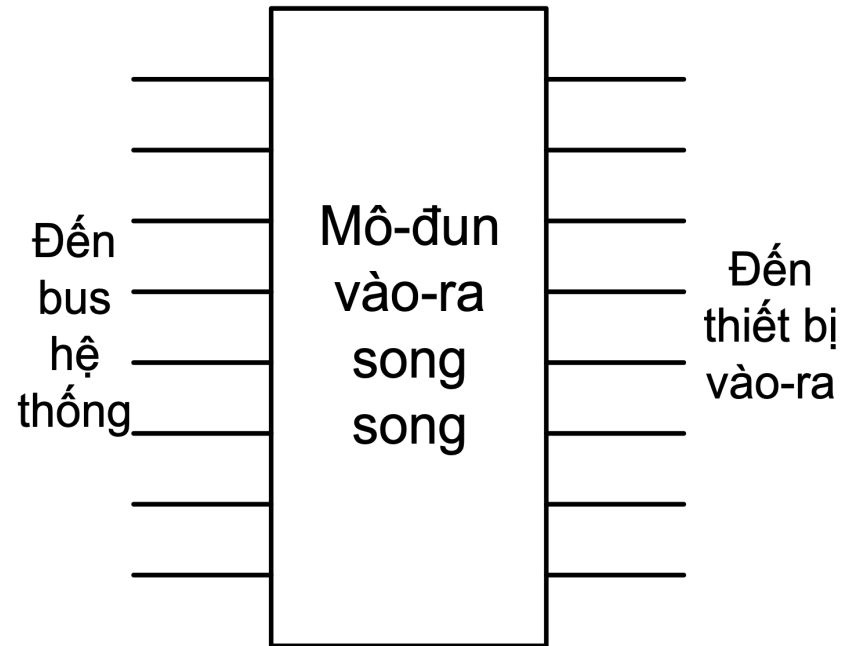
- Việc điều khiển vào-ra được thực hiện bởi một bộ xử lý vào-ra chuyên dụng
- Bộ xử lý vào-ra hoạt động theo chương trình của riêng nó
- Chương trình của bộ xử lý vào-ra có thể nằm trong bộ nhớ chính hoặc nằm trong một bộ nhớ riêng

7.3. Nối ghép thiết bị vào-ra

1. Các kiểu nối ghép vào-ra

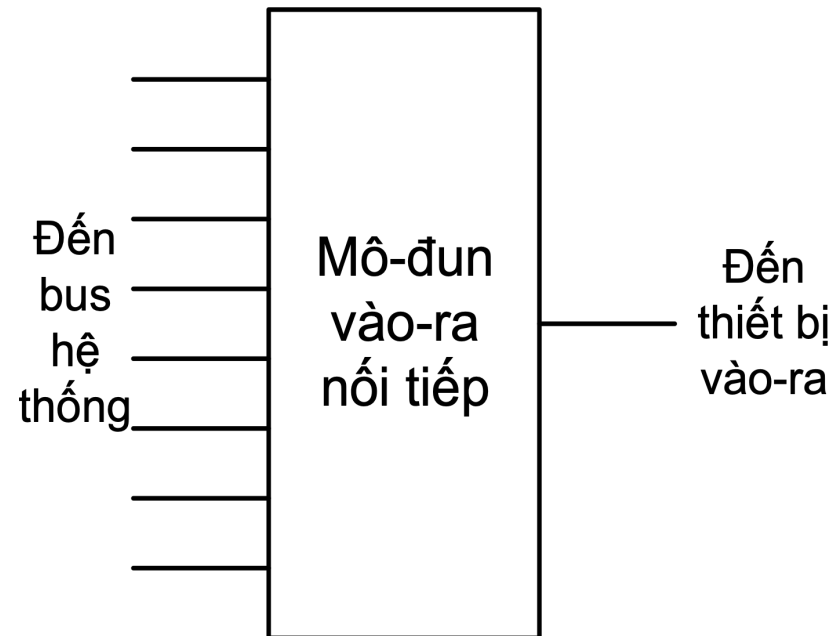
- Nối ghép song song
- Nối ghép nối tiếp

Nối ghép song song



- Truyền nhiều bit song song
- Tốc độ nhanh
- Cần nhiều đường truyền dữ liệu

Nối ghép nối tiếp



- Truyền lần lượt từng bit
- Cần có bộ chuyển đổi từ dữ liệu song song sang nối tiếp hoặc/và ngược lại
- Tốc độ chậm hơn
- Cần ít đường truyền dữ liệu

2. Các cấu hình nối ghép

- Điểm tới điểm (Point to Point)
 - Thông qua một cổng vào-ra nối ghép với một thiết bị
 - Cổng được thiết kế chuyên dụng cho thiết bị tương ứng
 - Hạn chế số lượng thiết bị vào-ra
- Điểm tới đa điểm (Point to Multipoint)
 - Thông qua một cổng vào-ra cho phép nối ghép được với nhiều thiết bị
 - Ví dụ:
 - USB (Universal Serial Bus): 127 thiết bị
 - Thunderbolt

Hết chương 7