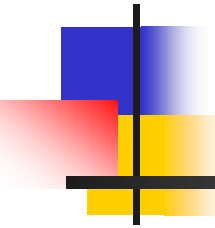


# Chương 5 – Quản lý bộ nhớ

# Nội dung

- Tổng quan
  - Nhu cầu bộ nhớ của tiến trình
  - Các vấn đề về bộ nhớ
- Chuyển đổi địa chỉ
  - Các công đoạn
  - Các mô hình chuyển đổi địa chỉ
- Vai trò Quản lý bộ nhớ của HĐH
  - Các yêu cầu
- Các mô hình tổ chức bộ nhớ
  - Mô hình Liên tục
  - Mô hình Không liên tục

# Tổng quan

- Chương trình cần được nạp vào Bộ nhớ chính để thi hành
  - CPU chỉ có thể truy xuất trực tiếp Main Memory
  - Chương trình khi được nạp vào BNC sẽ được tổ chức theo cấu trúc của tiến trình tương ứng
  - Ai cấp phát BNC cho tiến trình ?
- Chương trình nguồn sử dụng địa chỉ symbolic
  - Tiến trình thực thi truy cập địa chỉ thực trong BNC
  - Ai chuyển đổi địa chỉ ?

**HĐH**
**Bộ phận Quản lý Bộ nhớ**

**Mô hình tổ chức ?** | **Cơ chế hỗ trợ** | **Chiến lược thực hiện**

# Tổng quan : Các vấn đề về Bộ nhớ

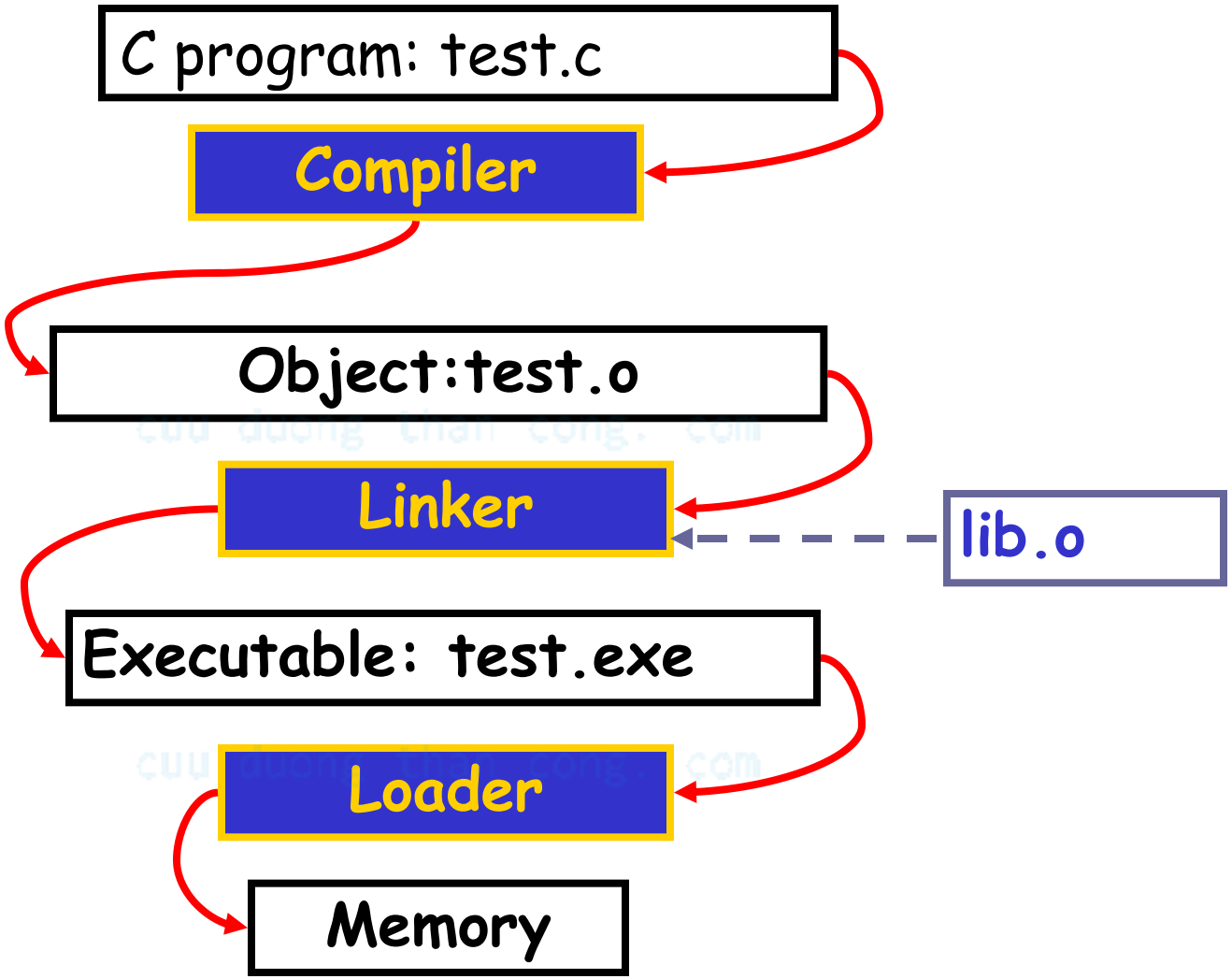
- Cấp phát Bộ nhớ :
  - Uniprogramming : Không khó
  - Multiprogramming :
    - BNC giới hạn, N tiến trình ?
    - Bảo vệ ? Chia sẻ ?
  - Tiến trình thay đổi kích thước ?
  - Tiến trình lớn hơn BNC ?
- Chuyển đổi địa chỉ tiến trình
  - Thời điểm chuyển đổi địa chỉ ?
  - Công thức chuyển đổi ?
    - Phụ thuộc vào Mô hình tổ chức BNC ?
    - Cần sự hỗ trợ của phần cứng ?
  - Tiến trình thay đổi vị trí trong BNC ?

# Ví dụ

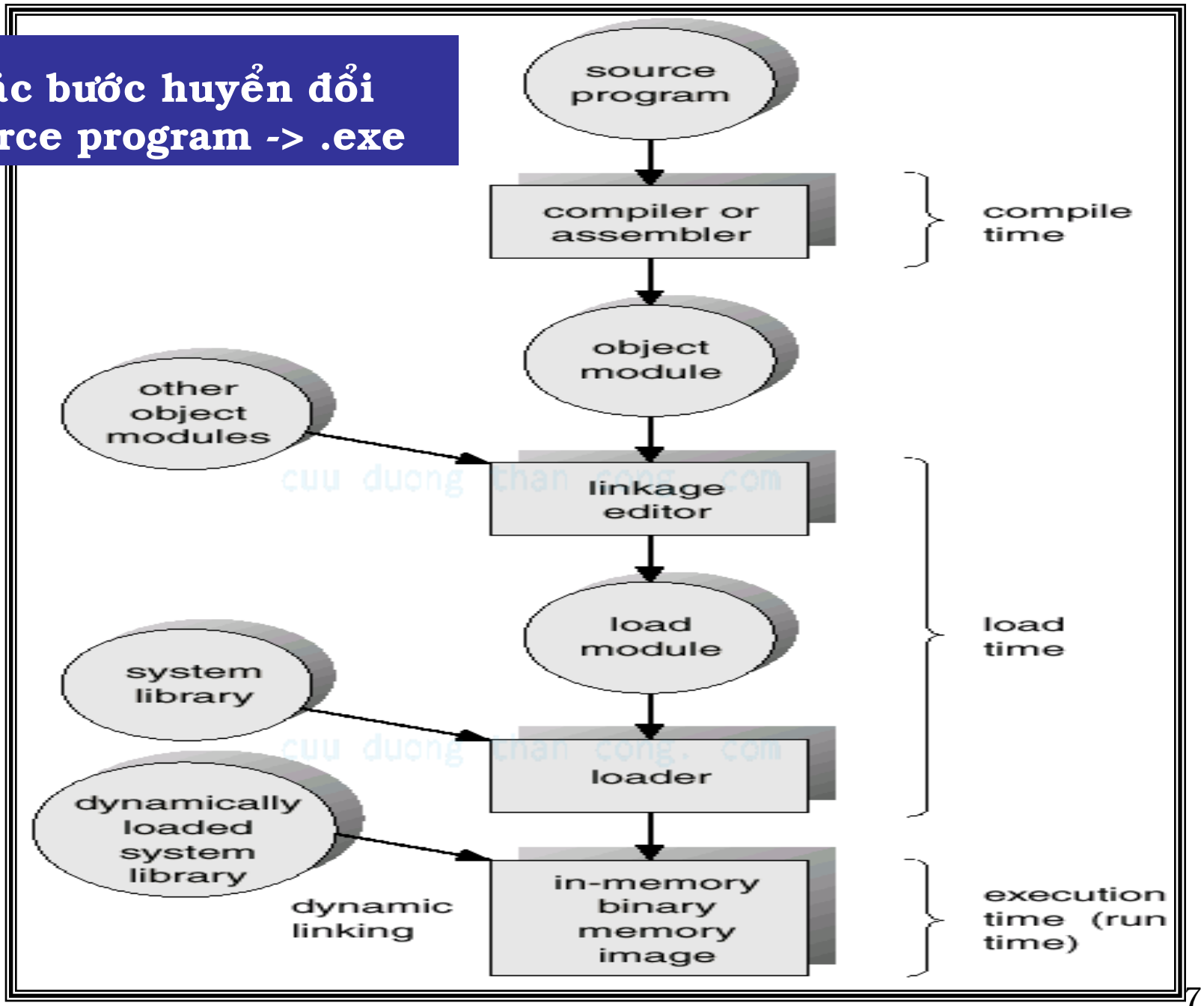
**Môi trường đa nhiệm**

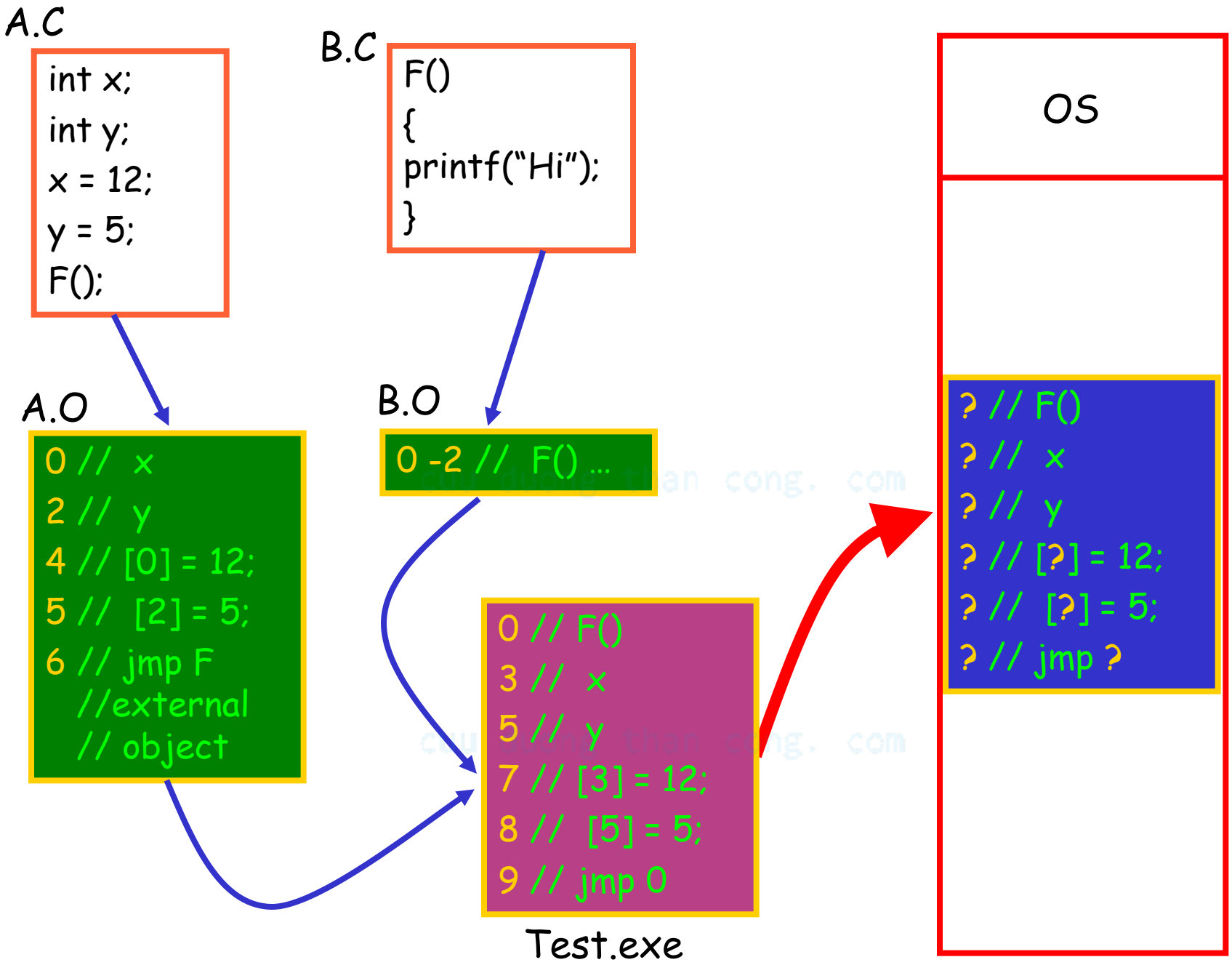

- Nếu nachos cần thêm không gian ?
- Nếu nachos có lỗi và thực hiện thao tác ghi vào địa chỉ 0x7100?
- Khi nào gcc biết rằng nó thường trú tại 0x4000?
- Nếu emacs cần nhiều bộ nhớ hơn dung lượng vật lý hiện có?

# Các bước chuyển đổi chương trình



# Các bước huyển đổi source program -> .exe



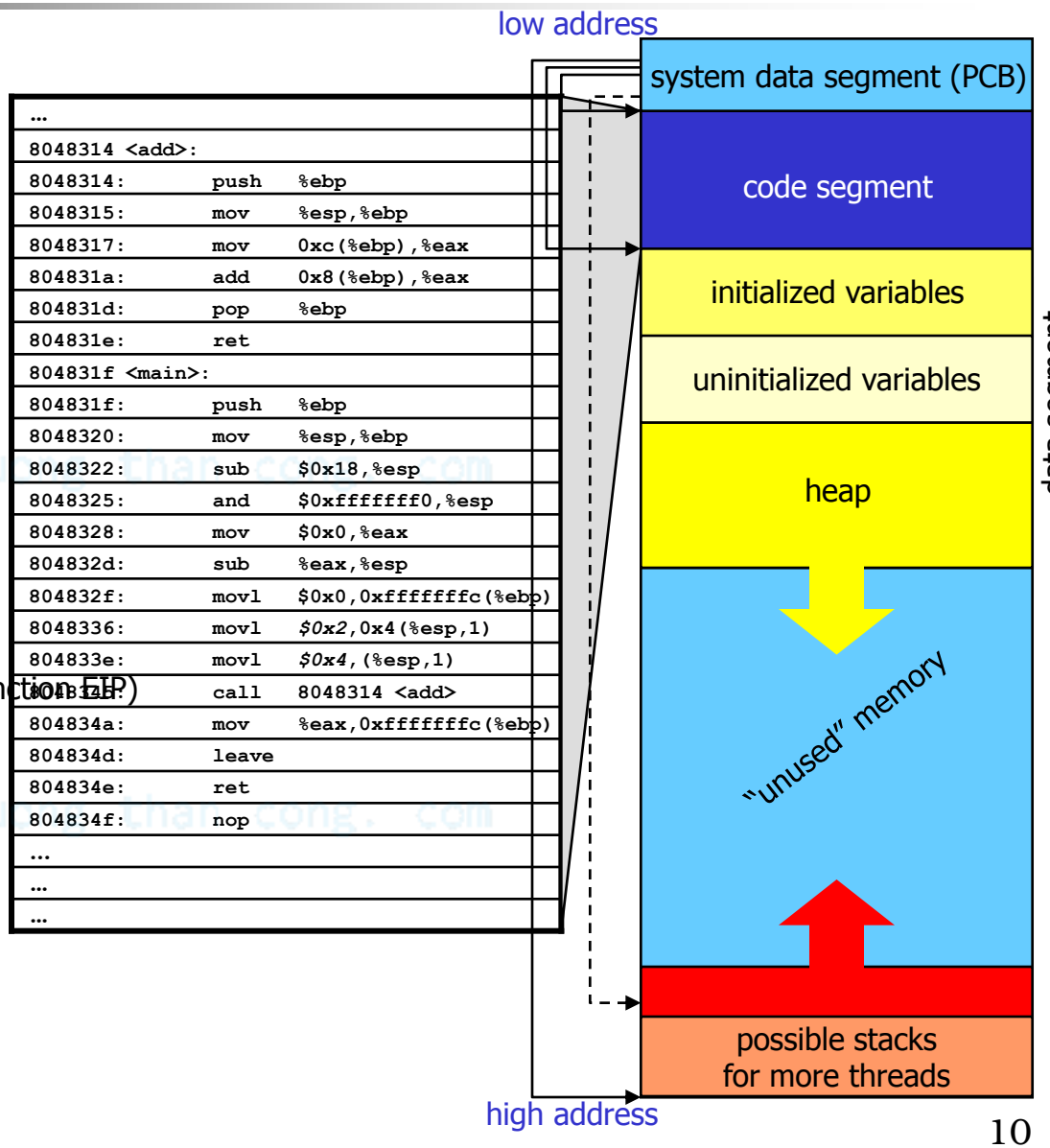


# Thuật ngữ

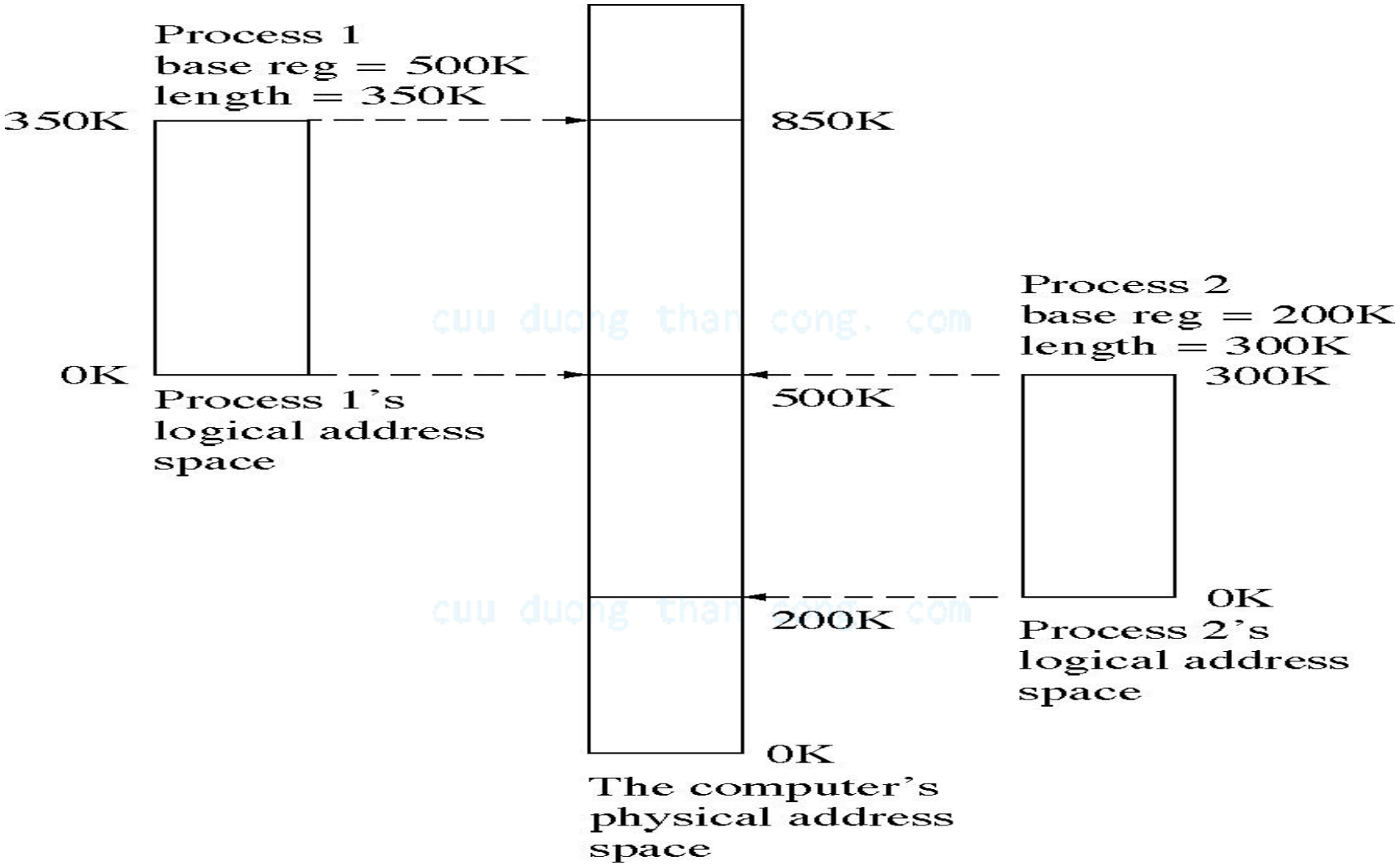
- Địa chỉ logic – còn gọi là địa chỉ ảo , là tất cả các địa chỉ do bộ xử lý tạo ra
- Địa chỉ physic - là địa chỉ thực tế mà trình quản lý bộ nhớ nhìn thấy và thao tác
- Không gian địa chỉ – là tập hợp tất cả các địa chỉ ảo phát sinh bởi một chương trình
- Không gian vật lý – là tập hợp tất cả các địa chỉ vật lý tương ứng với các địa chỉ ảo

# Nhu cầu bộ nhớ của tiến trình

- Tiến trình gồm có:
  - code segment
    - read from program file by exec
    - usually read-only
    - can be shared
  - data segment
    - initialized global variables (0 / NULL)
    - uninitialized global variables
    - heap
      - dynamic memory
      - e.g., allocated using malloc
      - grows against higher addresses
  - stack segment
    - variables in a function
    - stored register states (e.g. calling function EIP)
    - grows against lower addresses
  - system data segment (PCB)
    - segment pointers
    - pid
    - program and stack pointers
    - …
  - Stack cho các thread



# Logical and Physical Address Spaces



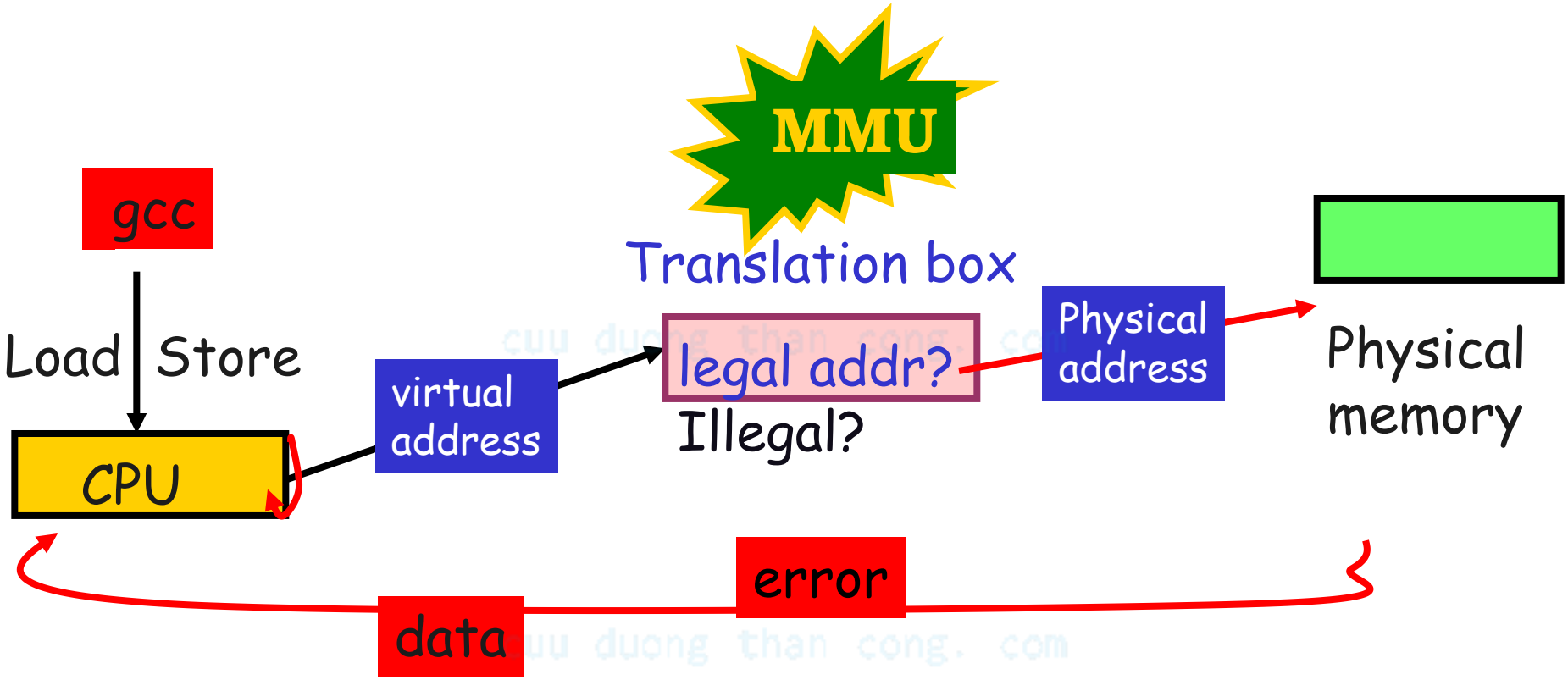
# Truy xuất bộ nhớ

- Địa chỉ của Instruction và data trong program source code là symbolic:
  - goto errjmp;
  - X = A + B;
- Những địa chỉ symbolic này cần được liên kết (bound) với các địa chỉ thực trong bộ nhớ vật lý trước khi thi hành code
- Address binding: ánh xạ địa chỉ từ không gian địa chỉ (KGĐC) này vào KGĐC khác
- Thời điểm thực hiện address binding ?
  - compile time
  - load time
  - execution time.

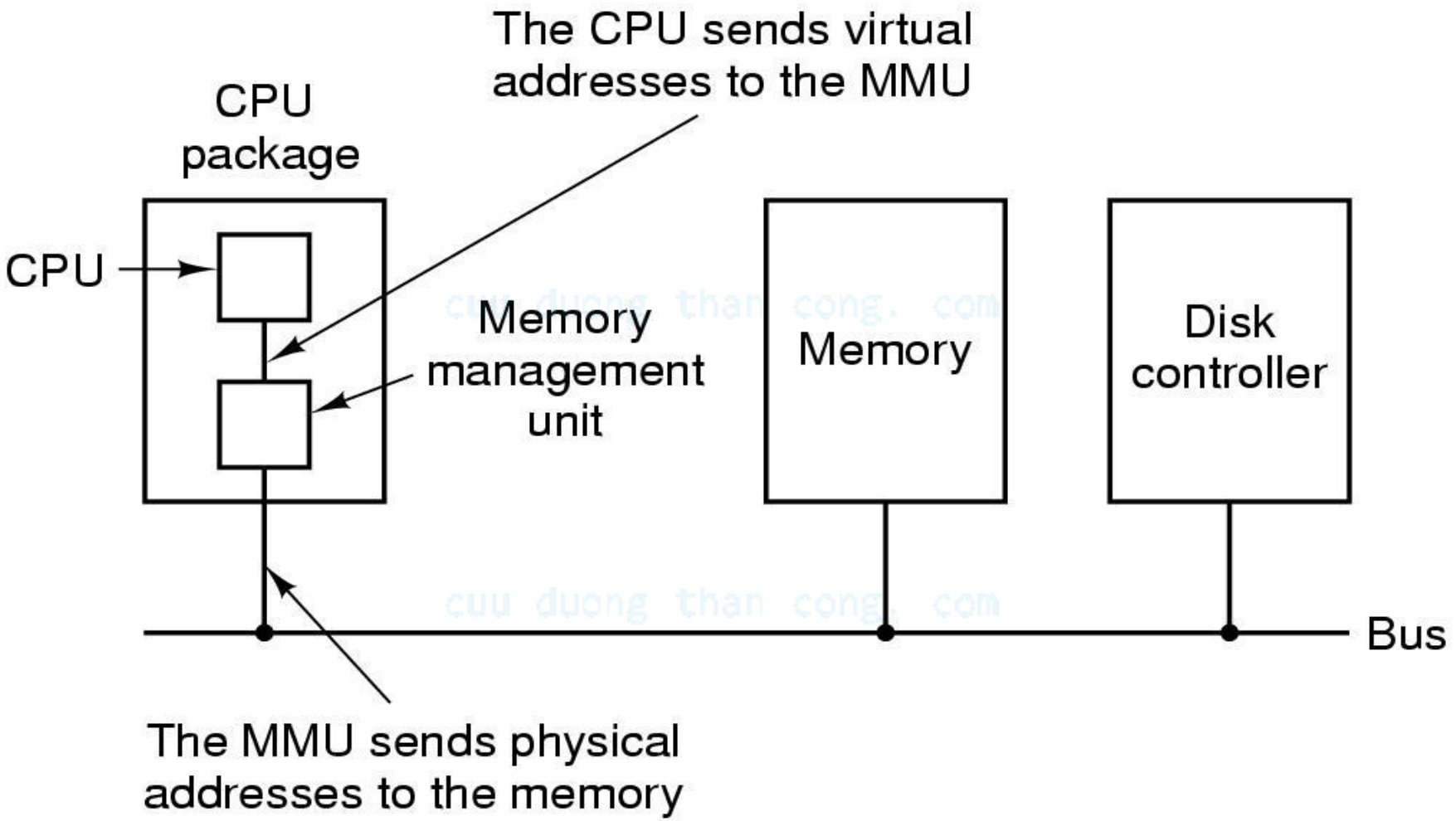
# Thời điểm kết buộc địa chỉ ?

- Có thể thực hiện việc kết buộc địa chỉ tại 1 trong 3 thời điểm :
  - Compile-time:
    - Phát sinh địa chỉ tuyệt đối
    - Phải biết trước vị trí nạp chương trình
    - Phải biên dịch lại chương trình khi vị trí nạp thay đổi
  - Load-time:
    - Khi biên dịch chỉ phát sinh địa chỉ tương đối
    - Khi nạp, biết vị trí bắt đầu sẽ tính lại địa chỉ tuyệt đối
    - Phải tái nạp khi vị trí bắt đầu thay đổi
  - Execution-time:
    - Khi biên dịch,nạp chỉ phát sinh địa chỉ tuong đối
    - Trì hoãn thời điểm kết buộc địa chỉ tuyệt đối đến khi thi hành
    - Khi đó ai tính toán địa chỉ tuyệt đối ?
      - Phần cứng : MMU

# Chuyển đổi địa chỉ



# CPU, MMU and Memory



# Yêu cầu quản lý bộ nhớ

- Tăng hiệu suất sử dụng CPU
  - Cần hỗ trợ Multiprogramming
    - Lưu trữ cùng lúc nhiều tiến trình trong BNC ?
- Các yêu cầu khi tổ chức lưu trữ tiến trình:

1. Relocation
2. Protection
3. Sharing
4. Logical Organization
5. Physical Organization

# Tái định vị (Relocation)

- Không biết trước chương trình sẽ được nạp vào BN ở vị trí nào để xử lý.
- Một tiến trình có thể được di dời trong bộ nhớ sau khi đã nạp C
  - Tiến trình tăng trưởng ?
  - HĐH sắp xếp lại các tiến trình để có thể sử dụng BNC hiệu qủa hơn.

# Bảo vệ (Protection)

- Không cho phép tiến trình truy cập đến các vị trí nhớ đã cấp cho tiến trình khác (khi chưa có phép).
- Không thể thực hiện việc kiểm tra hợp lệ tại thời điểm biên dịch hay nạp, vì chương trình có thể được tái định vị.
- Thực hiện kiểm tra tại thời điểm thi hành
  - Cần sự hỗ trợ của phần cứng.

# Chia sẻ (Sharing)

- Cần cho phép nhiều tiến trình tham chiếu đến cùng một vùng nhớ mà không tổn hại đến tính an toàn hệ thống :
  - Tiết kiệm chỗ lưu trữ cho các module dùng chung.
  - Cho phép các tiến trình cộng tác có khả năng chia sẻ dữ liệu.

# Tổ chức logic (Logical Organization)

- Người dùng viết chương trình gồm nhiều module, với các yêu cầu bảo vệ cho từng module có thể khác nhau:
  - instruction modules : execute-only.
  - data modules : read-only hay read/write.
  - một số module là private, số khác có thể là public.
- OS cần hỗ trợ các cơ chế có thể phản ánh mô hình logic của chương trình

# Tổ chức vật lý (Physical Organization)

- Cấp phát vùng nhớ vật lý sao cho hiệu quả
- Và dễ dàng chuyển đổi chương trình qua lại giữa BNChính và BNPhụ

# Các mô hình tổ chức bộ nhớ

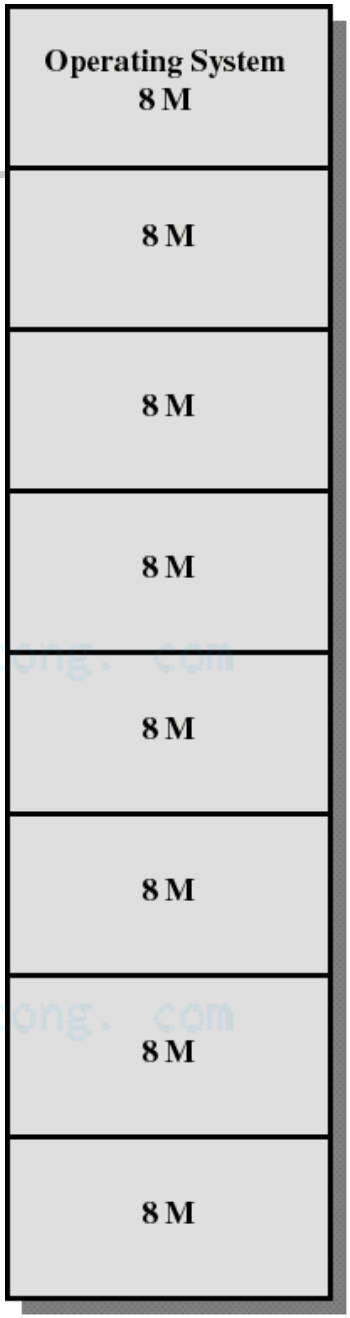
- Cấp phát Liên tục (Contigous Allocation)
  - Linker – Loader
  - Base & Bound
- Cấp phát Không liên tục (Non Contigous Allocation)
  - Segmentation
  - Paging

# Cấp phát Liên tục (Contigous Allocation)

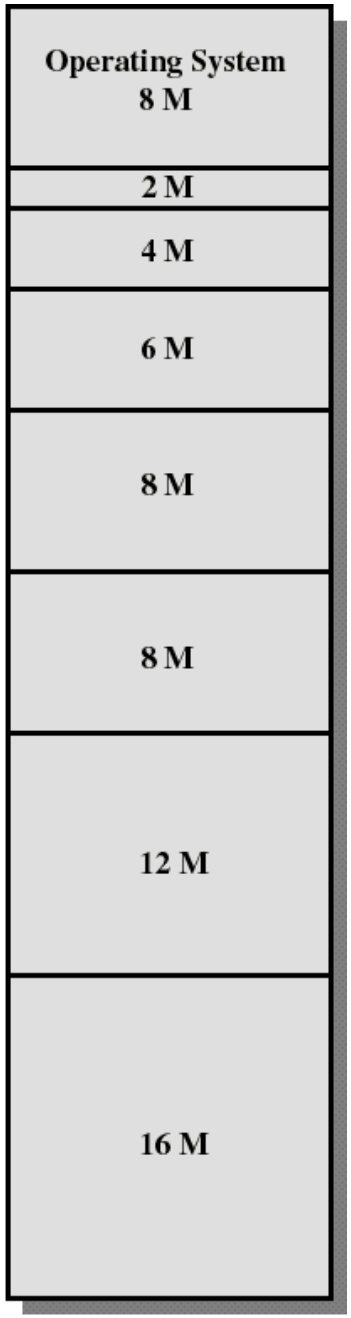
- Nguyên tắc :
  - Chương trình được nạp toàn thể vào BNC để thi hành
  - Cần một vùng nhớ liên tục, đủ lớn để chứa Chương trình
- Không gian địa chỉ : liên tục
- Không gian vật lý : có thể tổ chức
  - Fixed partition
  - Variable partition
- 2 mô hình đơn giản
  - Linker – Loader
  - Base & Bound

# Fixed Partitioning

- Phân chia KGVL thành các partitions
- Có 2 cách phân chia partitions :
  - kích thước bằng nhau
  - kích thước khác nhau
- Mỗi tiến trình sẽ được nạp vào một partition để thi hành
  - Chiến lược cấp phát partition ?



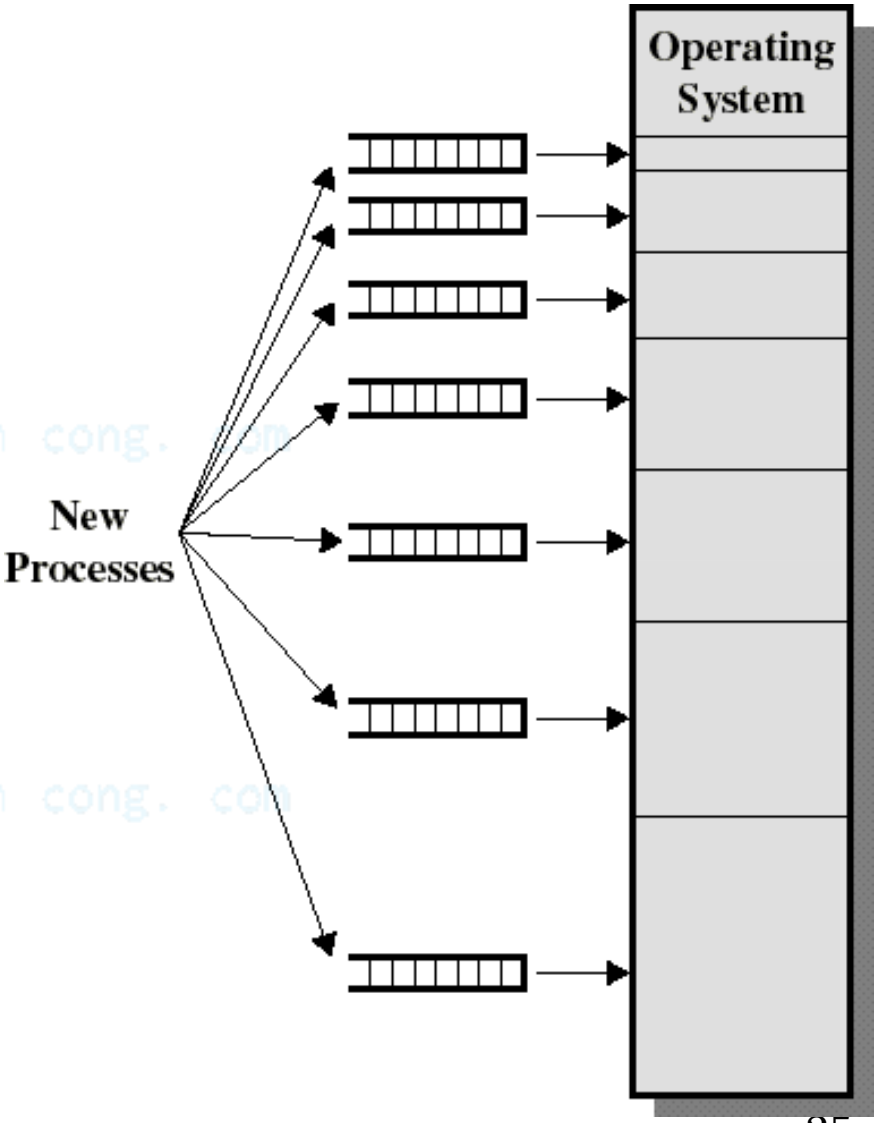

Equal-size partitions




Unequal-size partitions

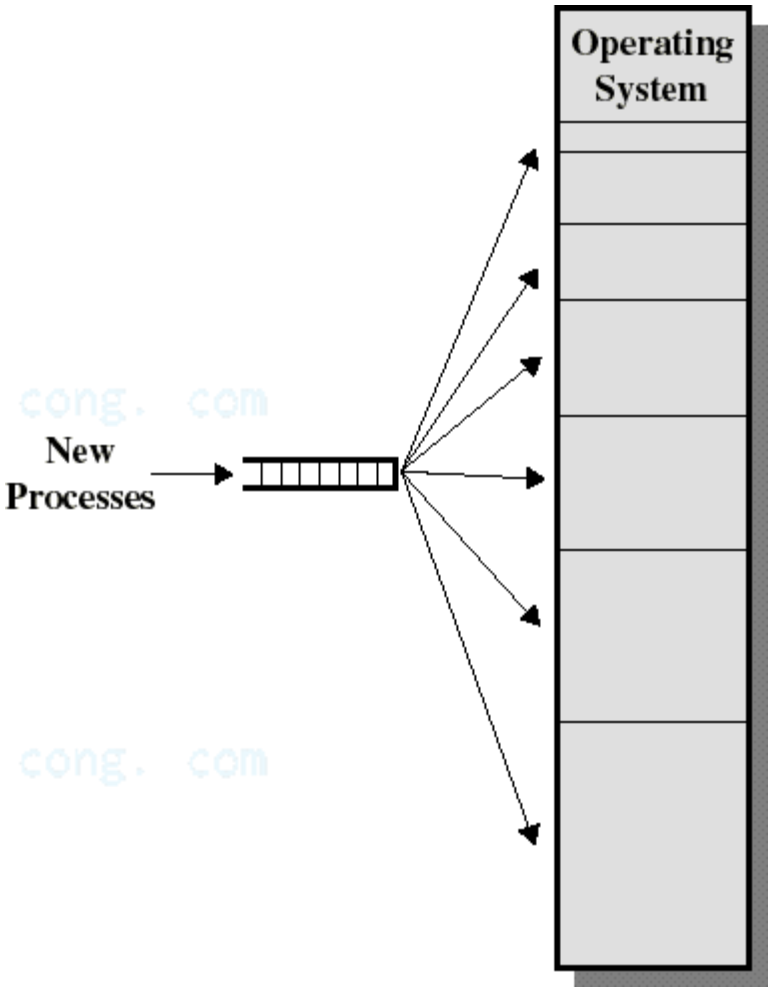
# Chiến lược cấp phát partitions cho tiến trình

- Kích thước partition bằng nhau
  - không có gì phải suy nghĩ !
- Kích thước partition không bằng nhau :
  - Sử dụng nhiều hàng đợi
    - Cấp cho tiến trình partition với kích thước bé nhất (đủ lớn để chứa tiên trình)
    - Khuyết điểm : phân bố các tiến trình vào các partition không đều, một số tiến trình phải đợi trong khi có



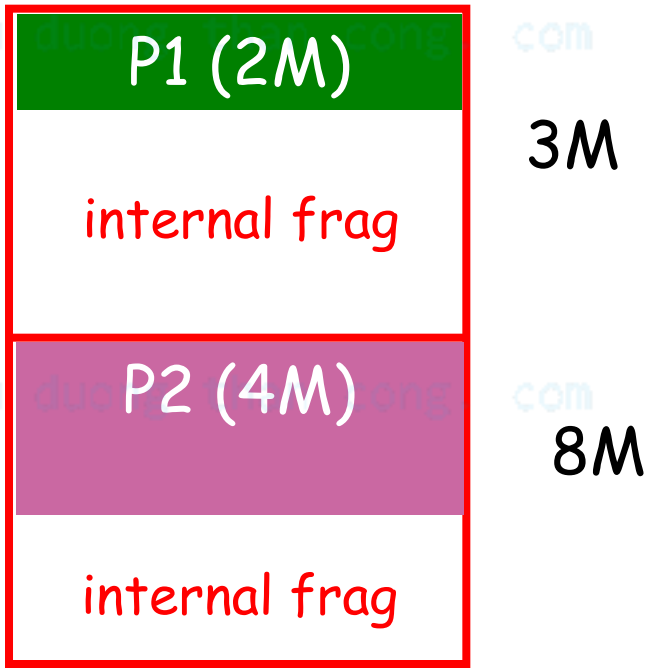
# Chiến lược cấp phát partitions cho tiến trình

- Kích thước partition không bằng nhau :
  - Sử dụng 1 hàng đợi
    - Cấp cho tiến trình partition tự do với kích thước bé nhất (đủ lớn để chứa tiên trình)
    - Cần dùng một CTDL để theo dõi các partition tự do



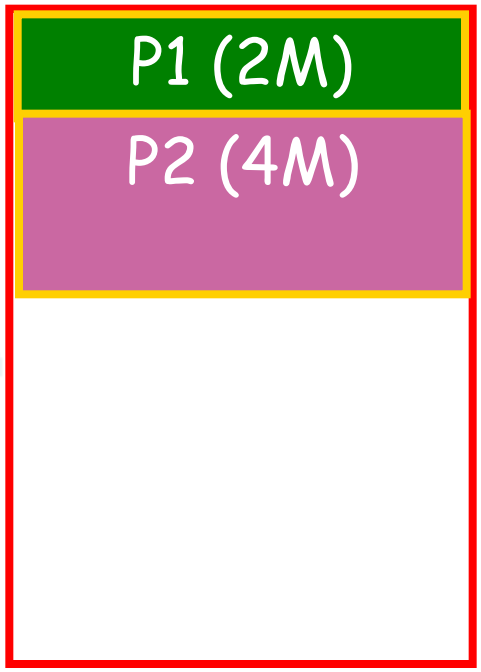
# Nhận xét Fixed Partitioning

- Sử dụng BN không hiệu quả
  - internal fragmentation : kích thước chương trình không đúng bằng kích thước partition
- Mức độ đa chương của hệ thống (Số tiến trình được nạp) bị giới hạn bởi số partitions

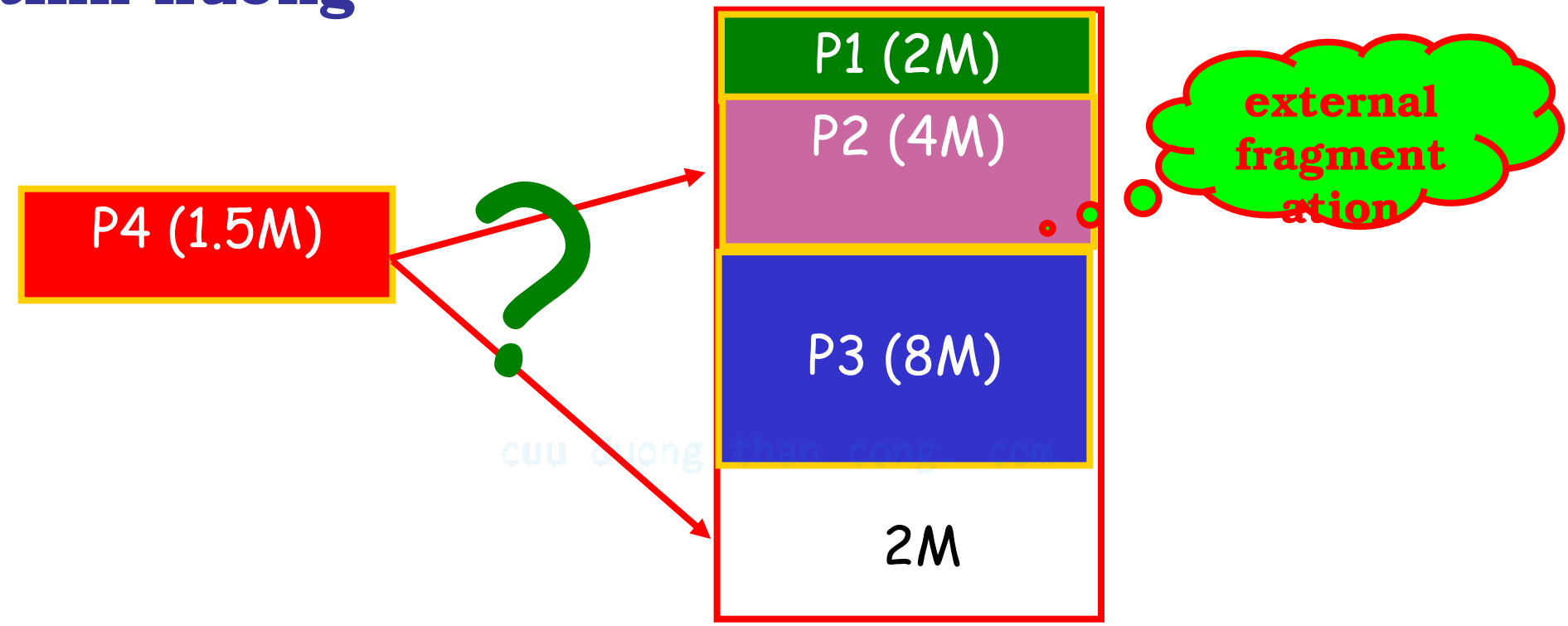


# Dynamic Partitioning

- BNC không được phân chia trước
  - Các partition có kích thước tùy ý, sẽ hình thành trong quá trình nạp các tiến trình vào hệ thống
- Mỗi tiến trình sẽ được cấp phát đúng theo kích thước yêu cầu
  - không còn internal fragmentation

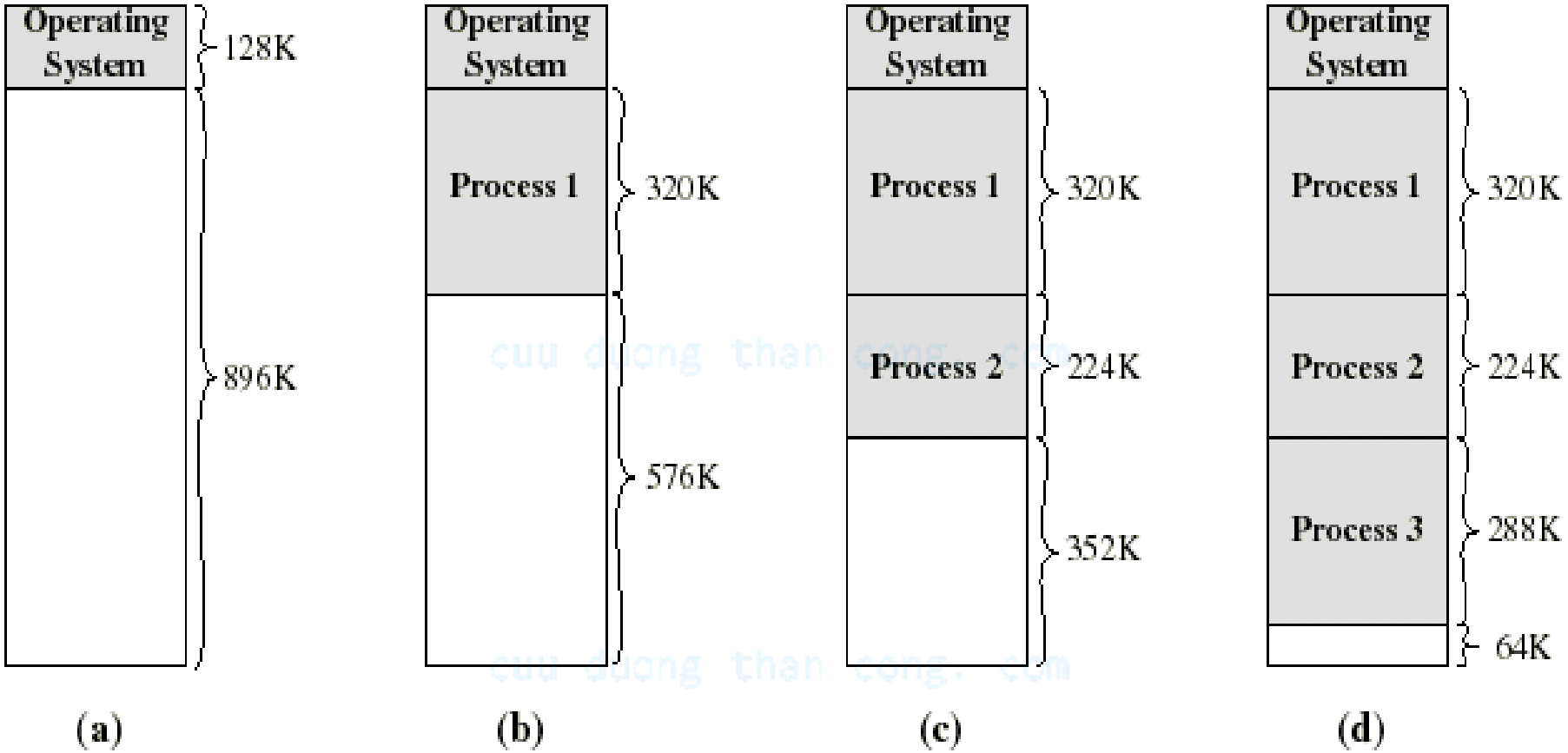


# Dynamic Partitioning: tình huống

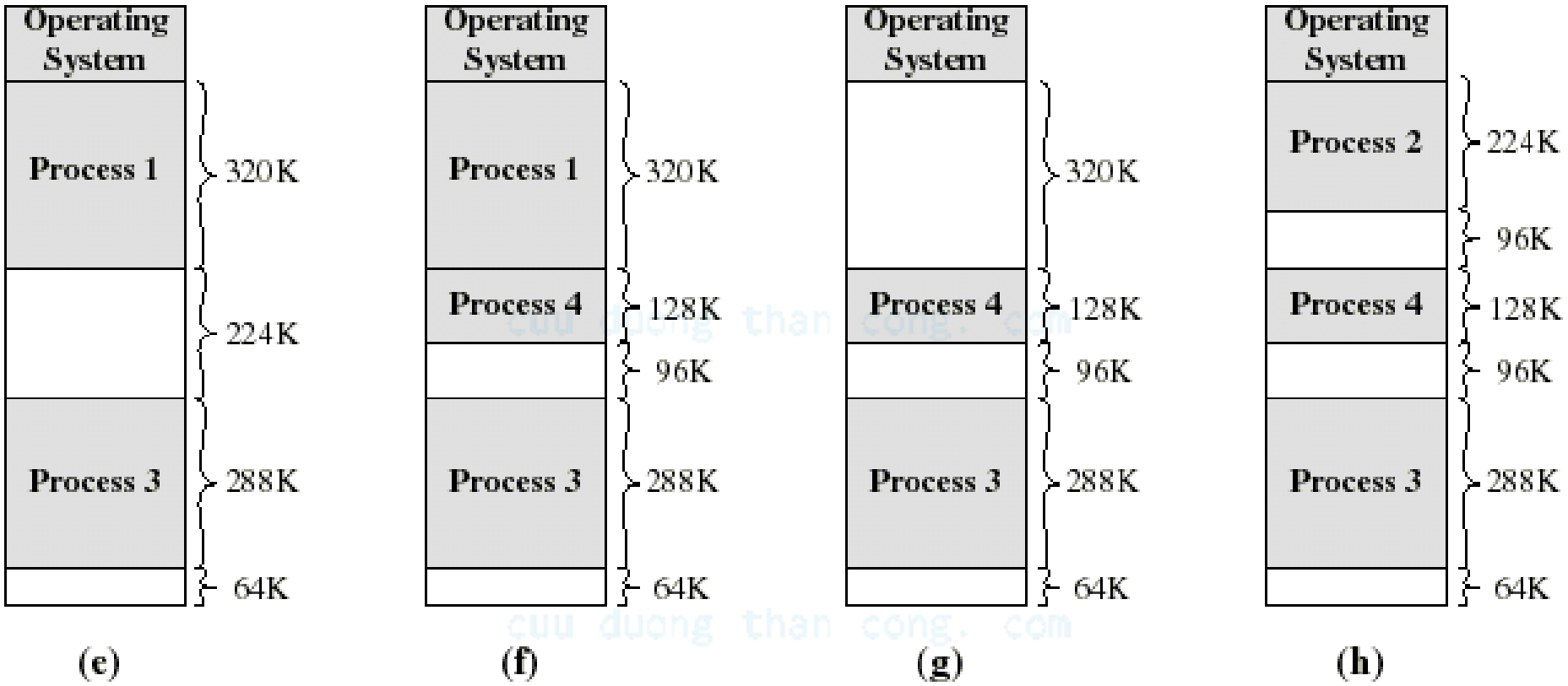



- Chọn lựa partition để cấp phát cho tiến trình ?
  - Đồng thời có nhiều partition tự do đủ lớn để chứa tiến trình
  - Dynamic Allocation problem
- Tiến trình vào sau không lấp đầy chỗ trống tiến trình trước để lại
  - external fragmentation

# Ví dụ Dynamic Partitioning

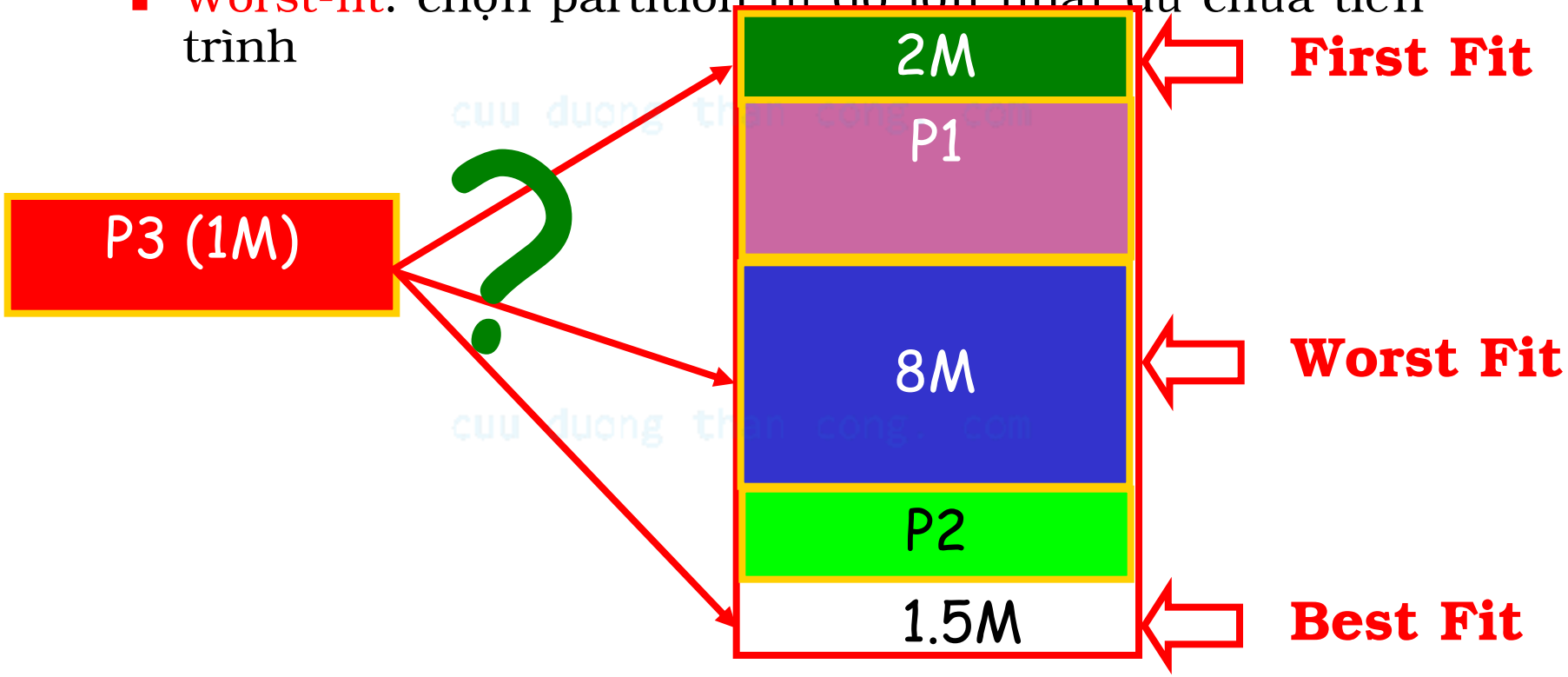


# Ví dụ Dynamic Partitioning



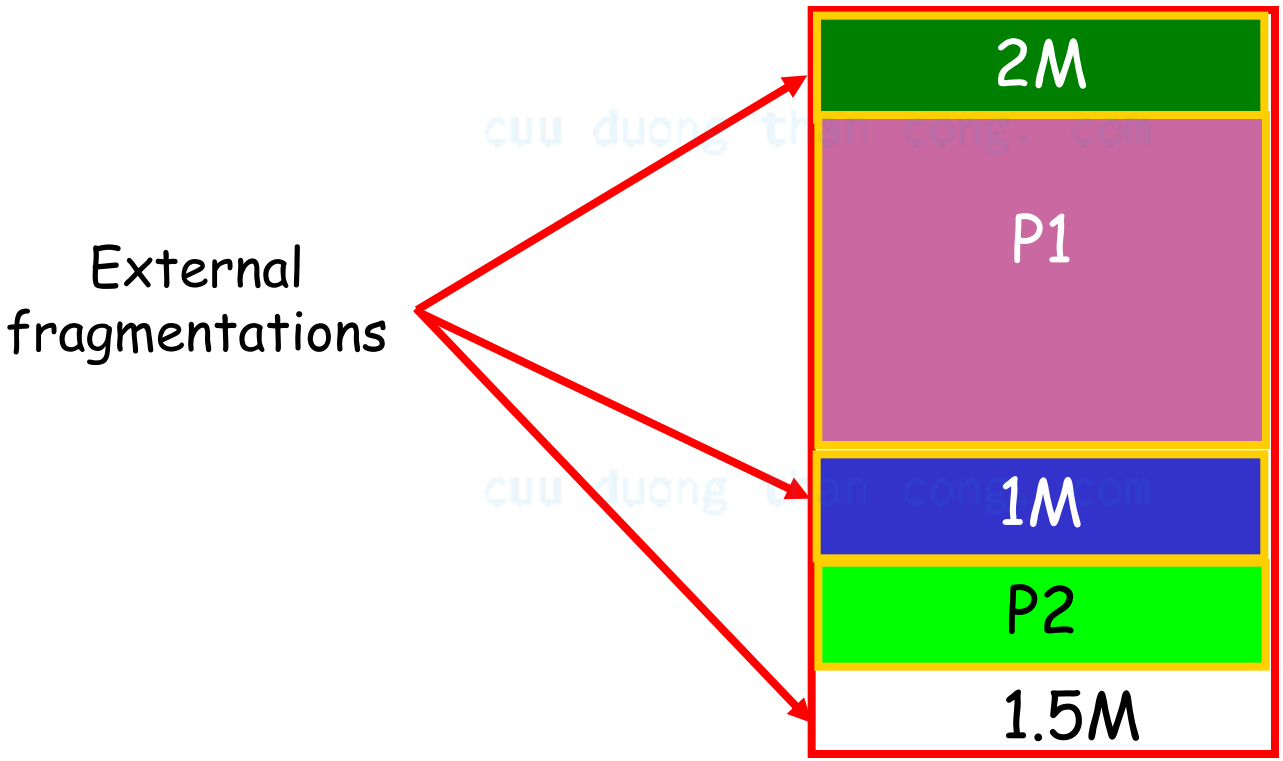
# Giải quyết vấn đề Dynamic Allocation

- Các chiến lược thông dụng để chọn partition:
  - First-fit: chọn partition tự do đầu tiên
  - Best-fit: chọn partition tự do nhỏ nhất đủ chứa tiến trình
  - Worst-fit: chọn partition tự do lớn nhất đủ chứa tiến trình



# Memory Compaction (Garbage Collection)

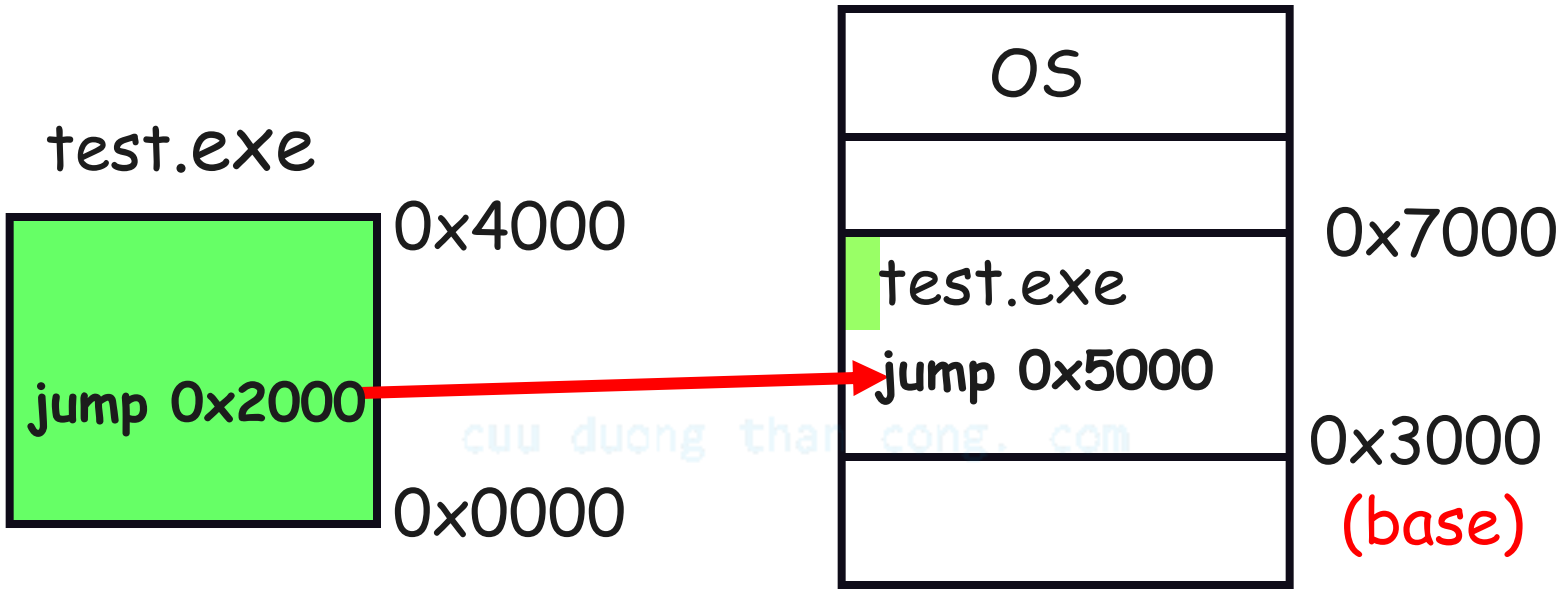
- Giải quyết vấn đề External Fragmentation :
  - Dồn các vùng bị phân mảnh lại với nhau để tạo thành partition liên tục đủ lớn để sử dụng
  - Chi phí thực hiện cao



# Các mô hình chuyển đổi địa chỉ

- Fixed/Dynamic partition là mô hình tổ chức nạp tiến trình vào KGVL
- Cần có mô hình để chuyển đổi địa chỉ từ KGĐC vào KGVL
  - Linker Loader
  - Base & Bound

# Mô hình Linker-Loader



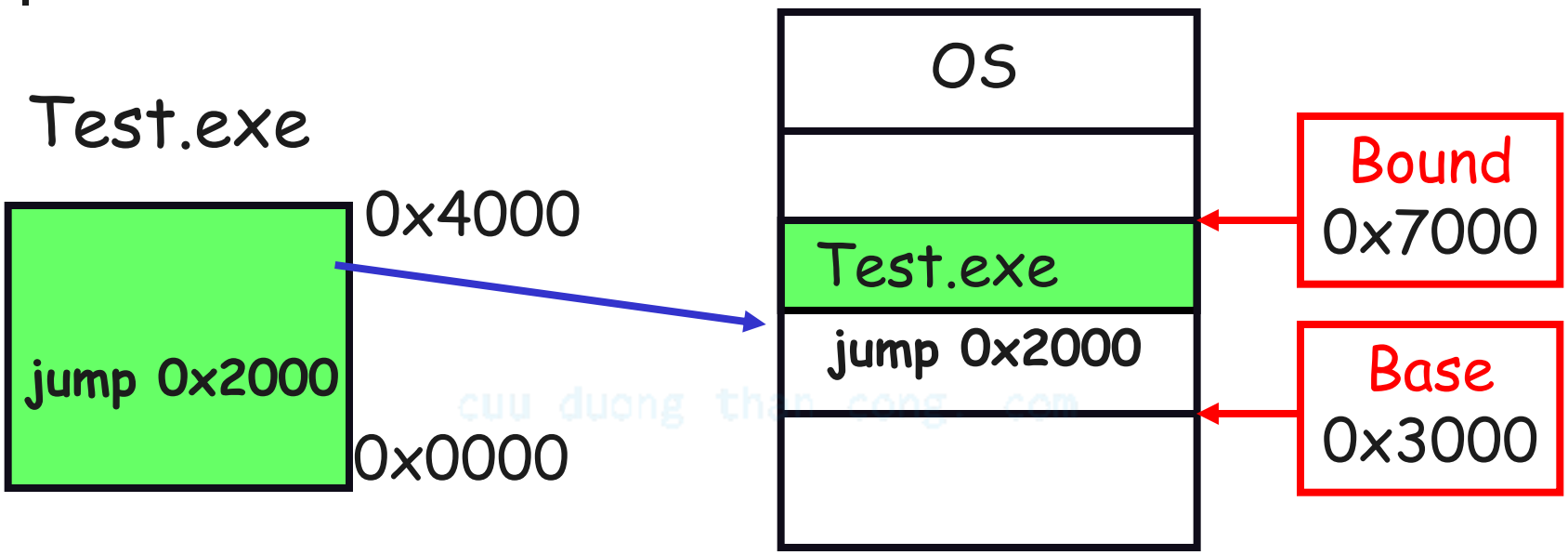

- **Tại thời điểm Link, giữ lại các địa chỉ logic**
- **Vị trí base của tiến trình trong bộ nhớ xác định được vào thời điểm nạp :**

**địa chỉ physic = địa chỉ logic + base**

# Nhận xét mô hình Linker-Loader

- **Không cần sự hỗ trợ phần cứng để chuyển đổi địa chỉ**
  - **Loader thực hiện**
- **Bảo vệ ?**
  - **Không hỗ trợ**
- **Dời chuyển sau khi nạp ?**
  - **Không hỗ trợ tái định vị**
  - **Phải nạp lại !**

# Mô hình Base & Bound



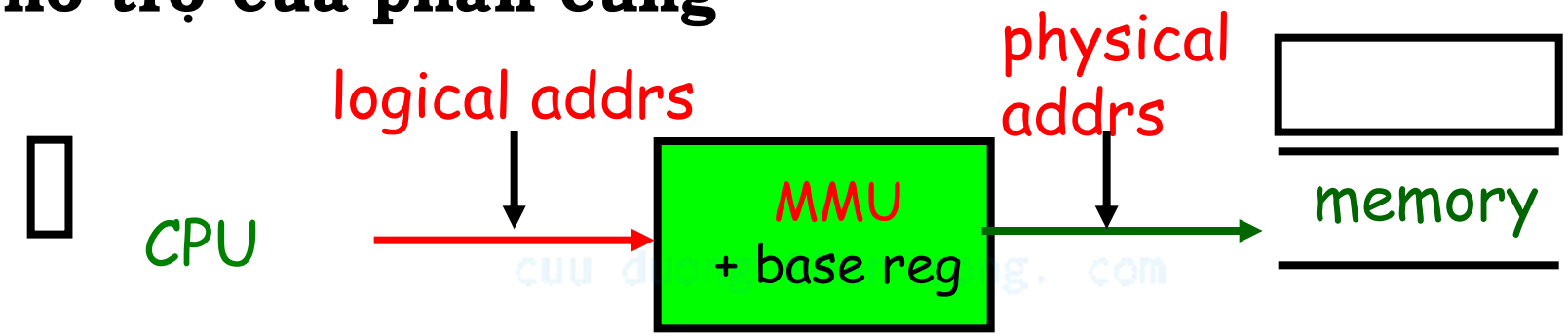

- **Tại thời điểm Link, giữ lại các địa chỉ logic**
- **Vị trí base , bound được ghi nhận vào 2 thanh ghi:**
- **Kết buộc địa chỉ vào thời điểm thi hành => tái định vị được :**

**địa chỉ physic = địa chỉ logic + base register**

- **Bảo vệ : địa chỉ hợp lệ ⊆ [base, bound]**

# Nhận xét mô hình Base & Bound

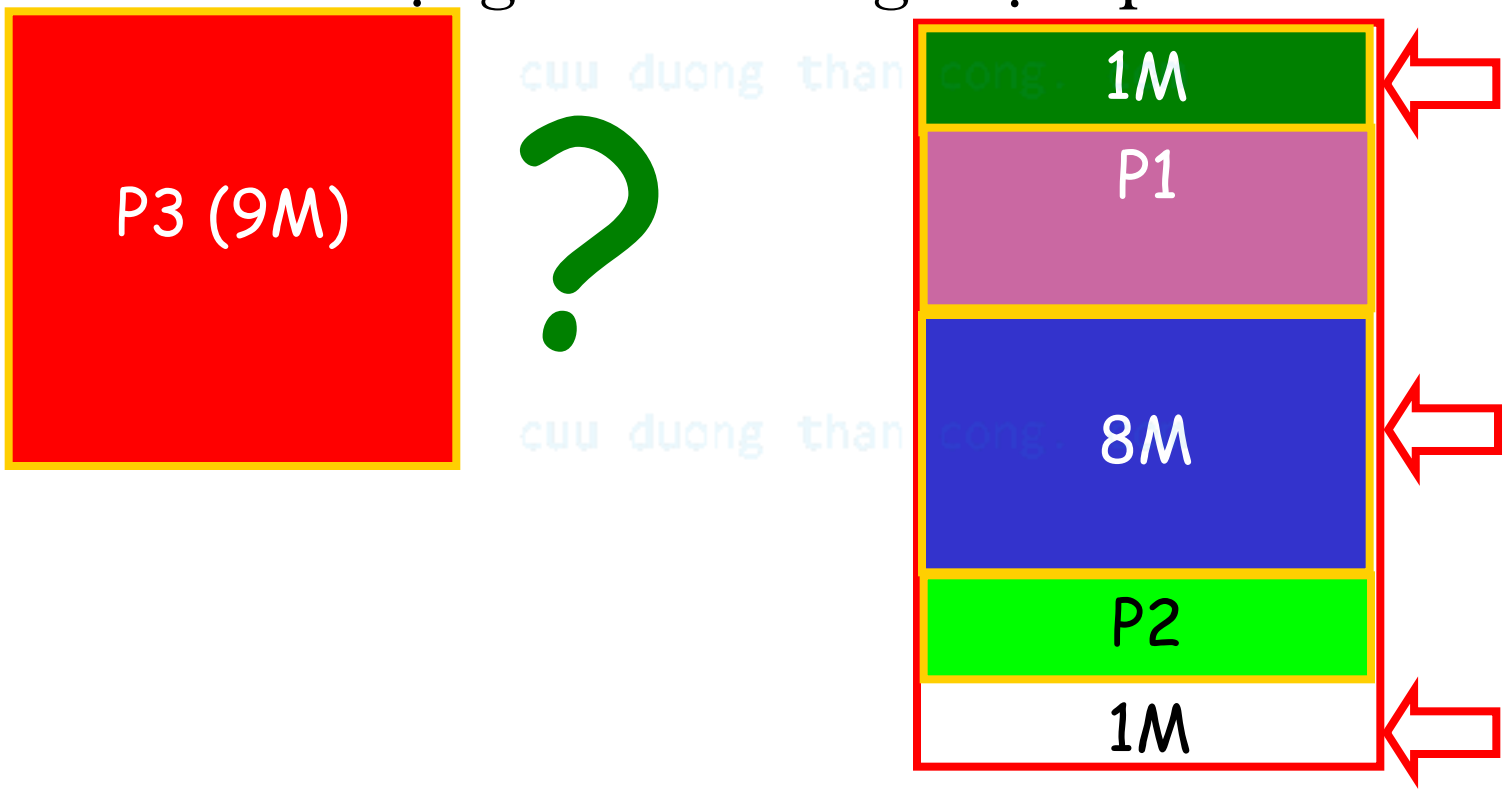
- **Kết buộc địa chỉ tại thời điểm thi hành => cần hỗ trợ của phần cứng**




- **Hỗ trợ**
  - **Bảo vệ**
  - **Tái định vị**

# Khuyết điểm của cấp phát liên tục

- Không có vùng nhớ liên tục đủ lớn để nạp tiến trình ?
  - Bó tay ...
  - Sử dụng BNC không hiệu qua"!



# Các mô hình tổ chức bộ nhớ

- Cấp phát Liên tục (Contigous Allocation)
  - Linker – Loader
  - Base & Bound
- Cấp phát Không liên tục (Non Contigous Allocation)
  - Segmentation
  - Paging

# Các mô hình cấp phát không liên tục

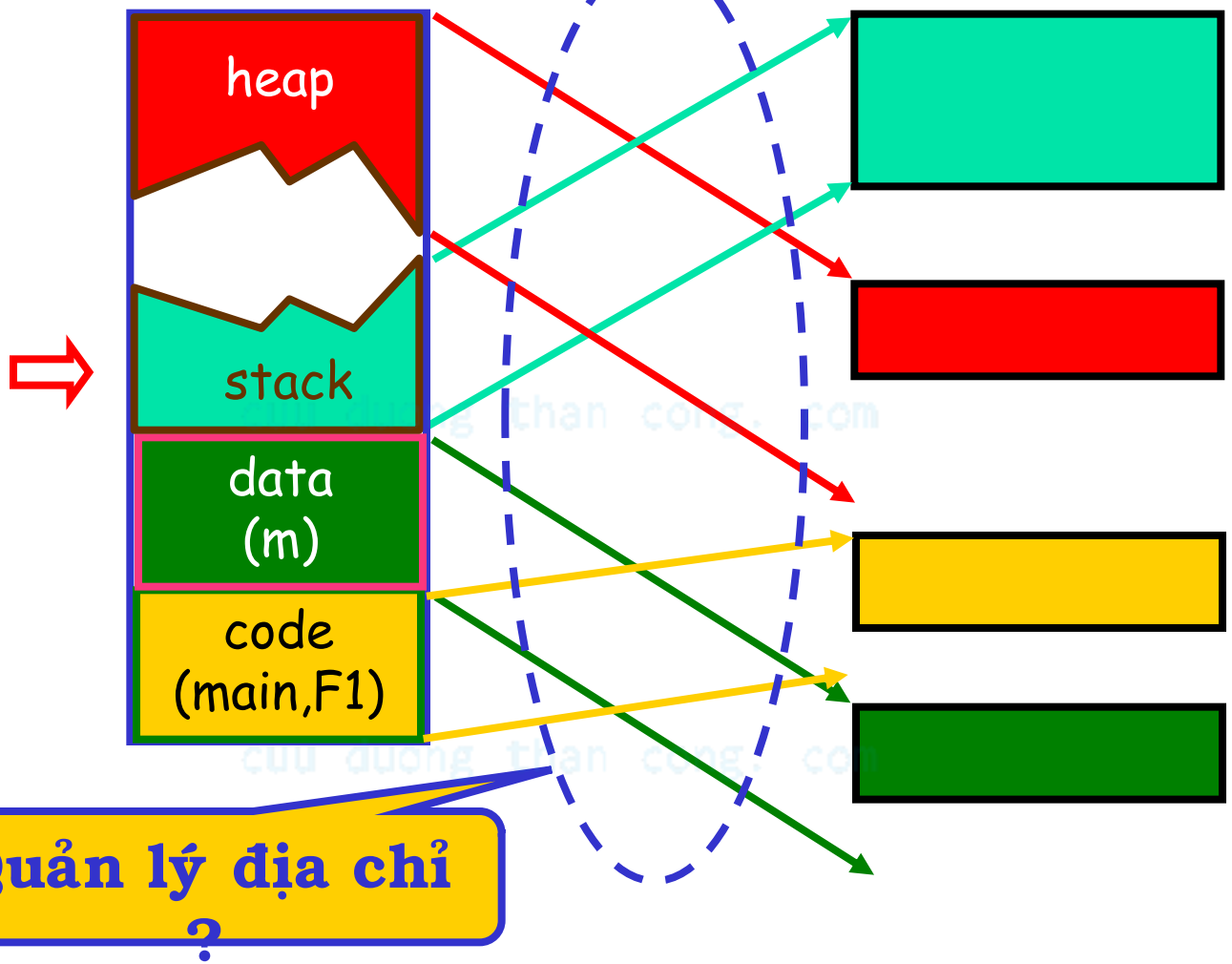
- Cho phép nạp tiến trình vào BNC ở nhiều vùng nhớ không liên tục
- Không gian địa chỉ : phân chia thành nhiều partition
  - Segmentation
  - Paging
- Không gian vật lý : có thể tổ chức
  - Fixed partition : Paging
  - Variable partition : Segmentation

# Segmentation

- Lập trình viên : chương trình là một tập các segments
  - Một segment là một đơn vị chương trình gồm các đối tượng có cùng nhóm ngữ nghĩa
  - Ví dụ : main program, procedure, function, local variables, global variables,common block,stack, symbol table, arrays...
  - Các segment có thể có kích thước khác nhau
- Mô hình Segmentation :
  - KGĐC : phân chia thành các segment
  - KGVL : tổ chức thành dynamic partitions
  - Nạp tiến trình :
    - Mỗi segment cần được nạp vào một partition liên tục, tự do, đủ lớn cho segment
      - partition nào ? ...Dynamic Allocation !
    - Các segment của cùng 1 chương trình có thể được

# Mô hình Segmentation

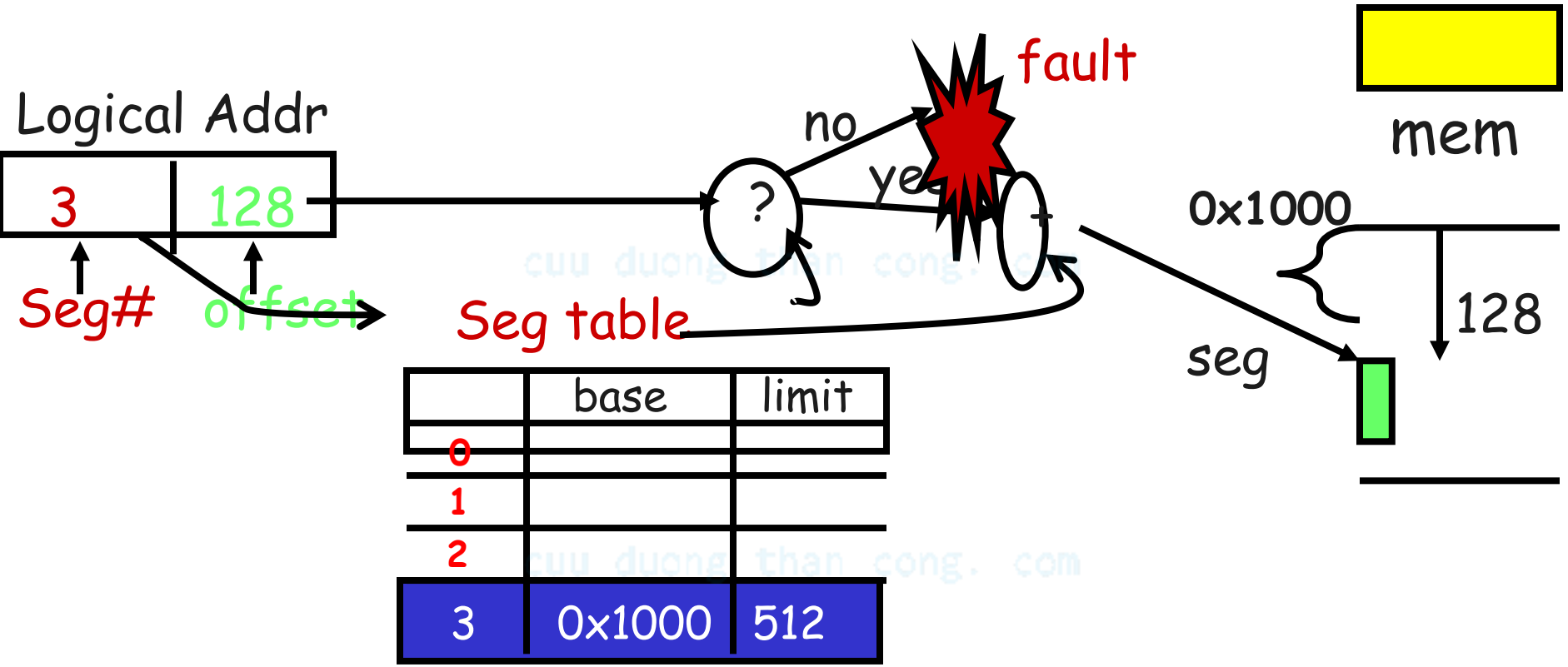
```
int m;
main ()
{
    F1(m);
}
F1(int x)
{   x = 9;
}
```



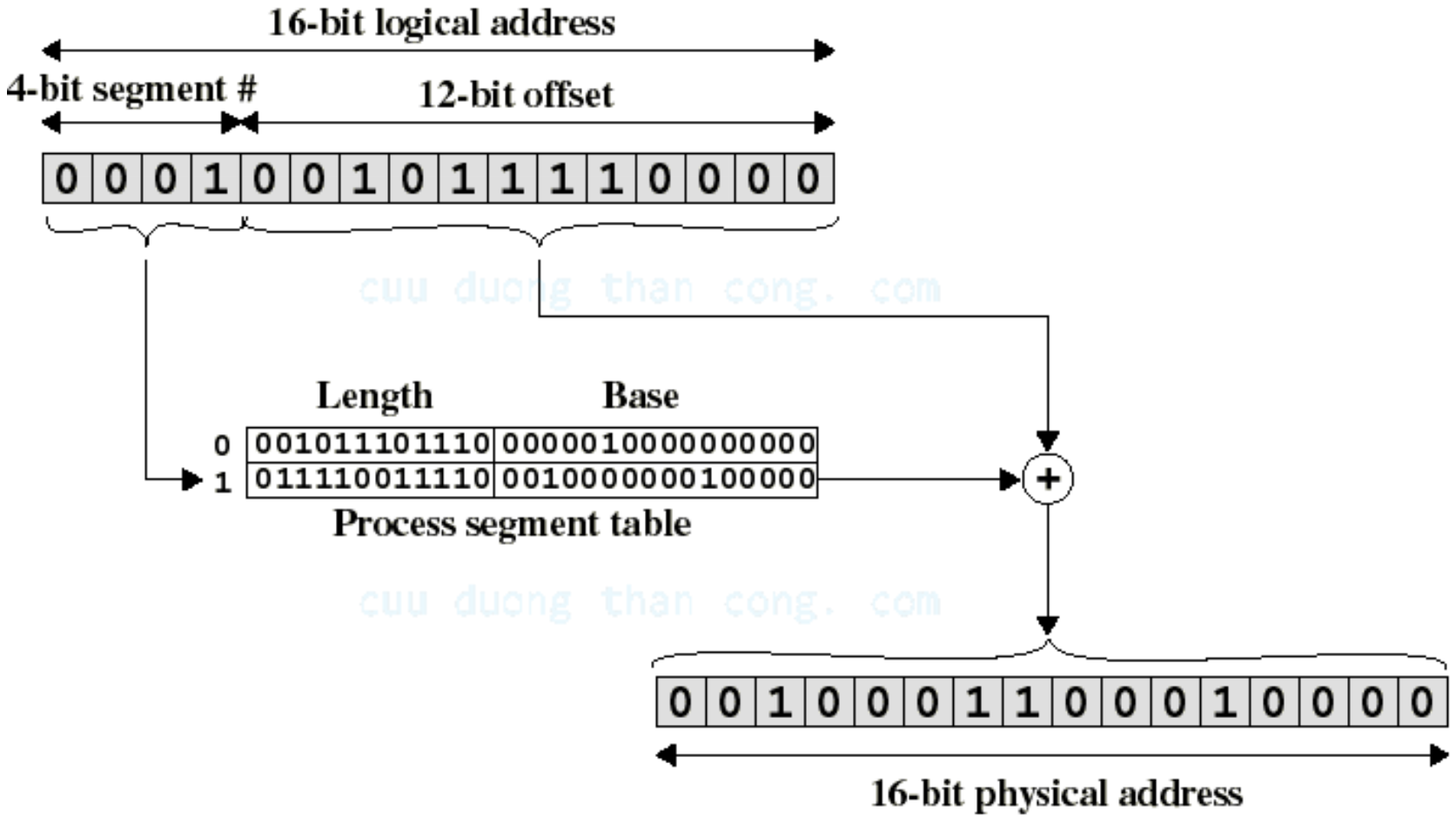

**Quản lý địa chỉ ?**

KGVL

# Chuyển đổi địa chỉ trong mô hình Segmentation



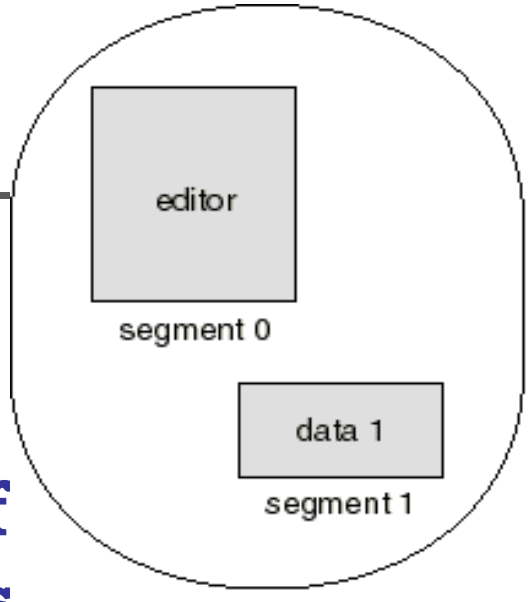
# Logical-to-Physical Address Translation in segmentation



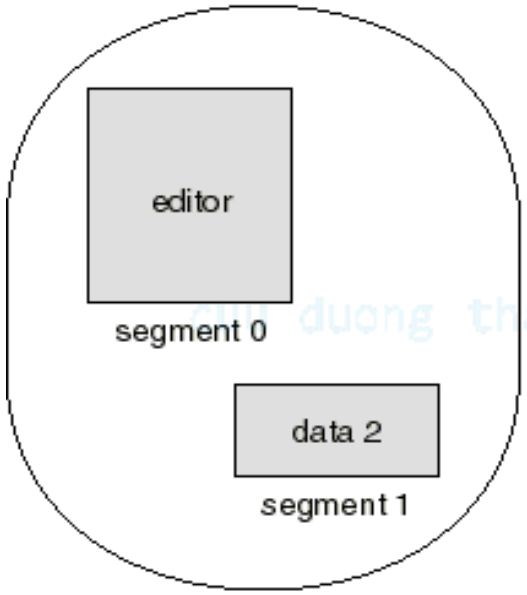
# Nhận xét Mô hình Segmentation

- Cấp phát không liên tục => tận dụng bộ nhớ hiệu quả
- Hỗ trợ tái định vị
  - Từng Segment
- Hỗ trợ Bảo vệ và Chia sẻ được ở mức module
  - Ý nghĩa của "mức module" ?
- ☹ Chuyển đổi địa chỉ phức tạp
  - ☺ Đã có MMU...
- ☹ Sử dụng dynamic partition : chịu đựng
  - ☹ Dynamic Allocation : chọn vùng nhớ để cấp cho một segment
    - ☺ First fit, Best fit, Worst fit
  - ☹ External Fragmentation :
    - ☹ Memory Compaction : chi phí cao

# Sharing of Segments Text Edito




logical address space
process $P_1$



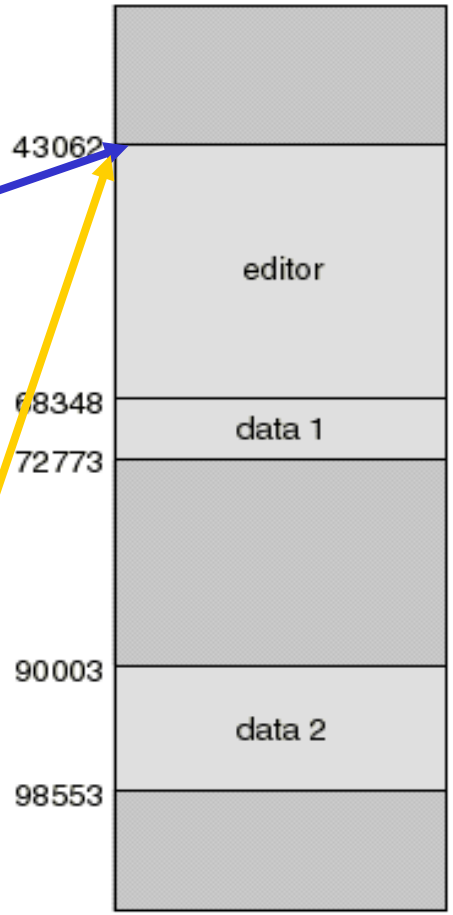

logical address space
process $P_2$

| | limit | base |
|---|---|---|
| 0 | 25286 | 43062 |
| 1 | 4425 | 68348 |

segment table
process $P_1$

| | limit | base |
|---|---|---|
| 0 | 25286 | 43062 |
| 1 | 8850 | 90003 |

segment table
process $P_2$

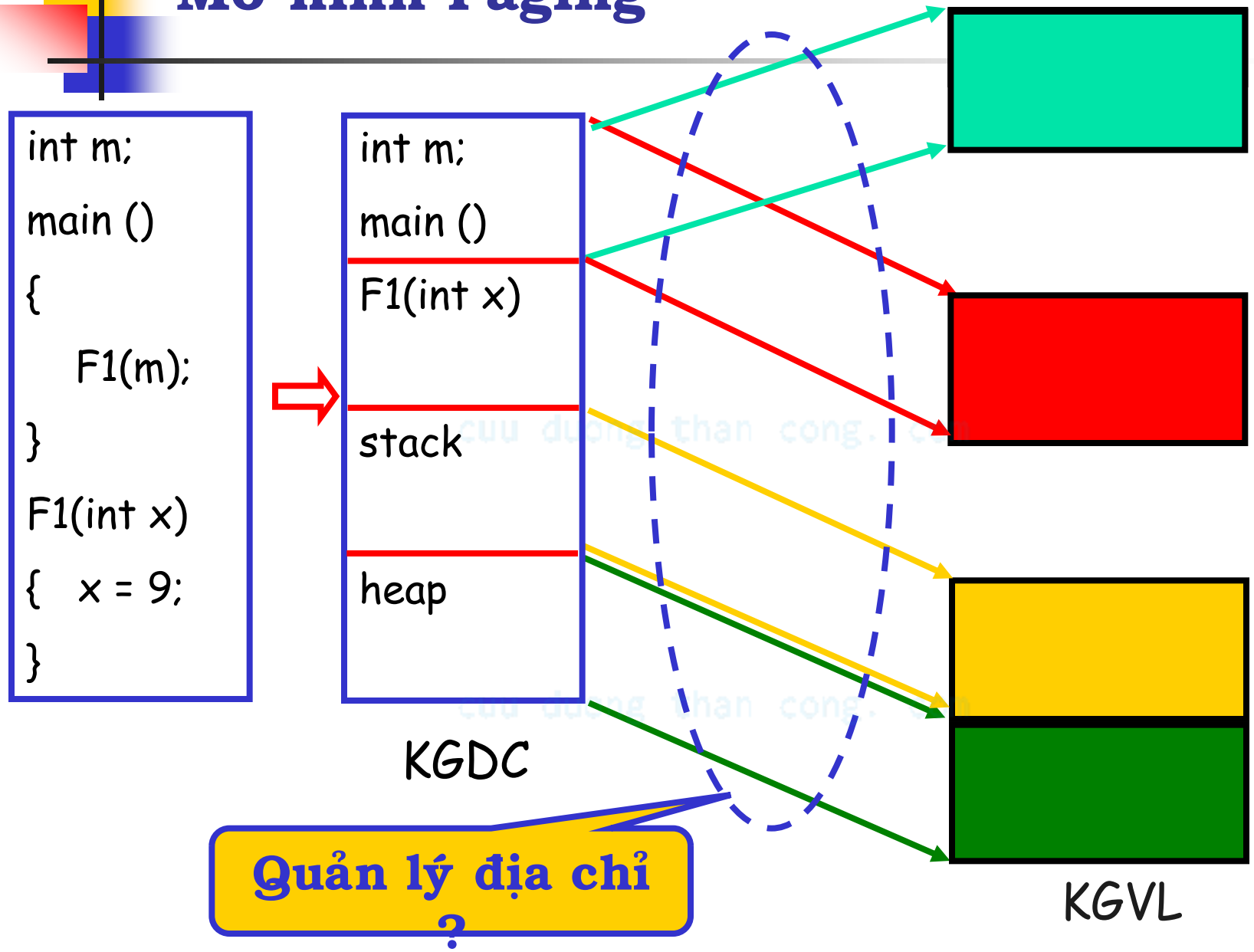



physical memory

# Paging

- Hỗ trợ HĐH khắc phục bài toán cấp phát bộ nhớ động, và loại bỏ external fragmentation
- Mô hình Paging :
  - KGĐC : phân chia chương trình thành các page có kích thước bằng nhau
    - Không quan tâm đến ngữ nghĩa của các đối tượng nằm trong page
  - KGVL : tổ chức thành các fixed partitions có kích thước bằng nhau gọi là frame
  - page size = frame size
  - Nạp tiến trình :
    - Mỗi page cần được nạp vào một frame tự do
    - Các pages của cùng 1 chương trình có thể được nạp vào những frames không kế cận nhau.
    - Tiến trình kích thước N pages -> cần N frame tự do để nạp

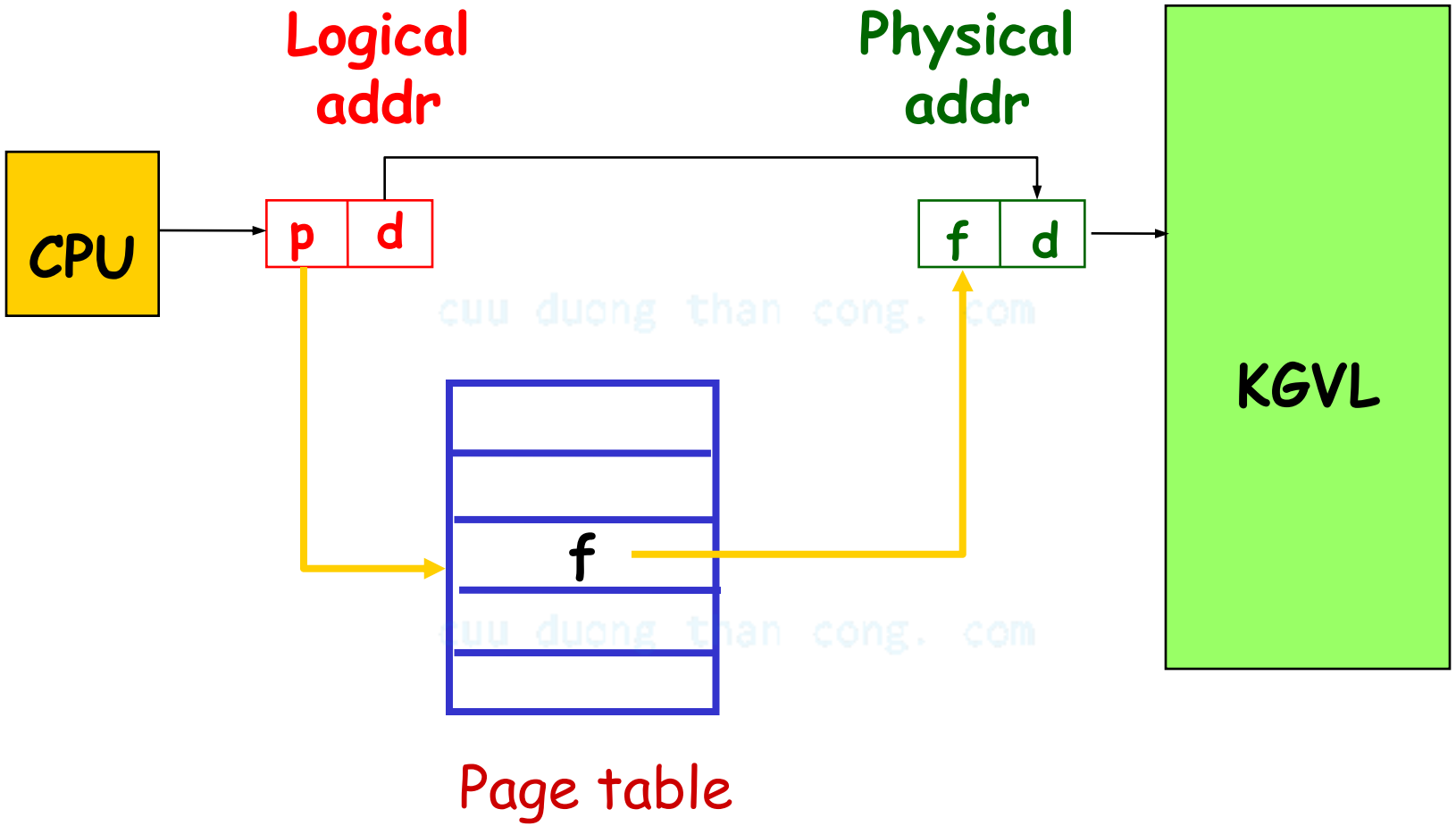
# Mô hình Paging



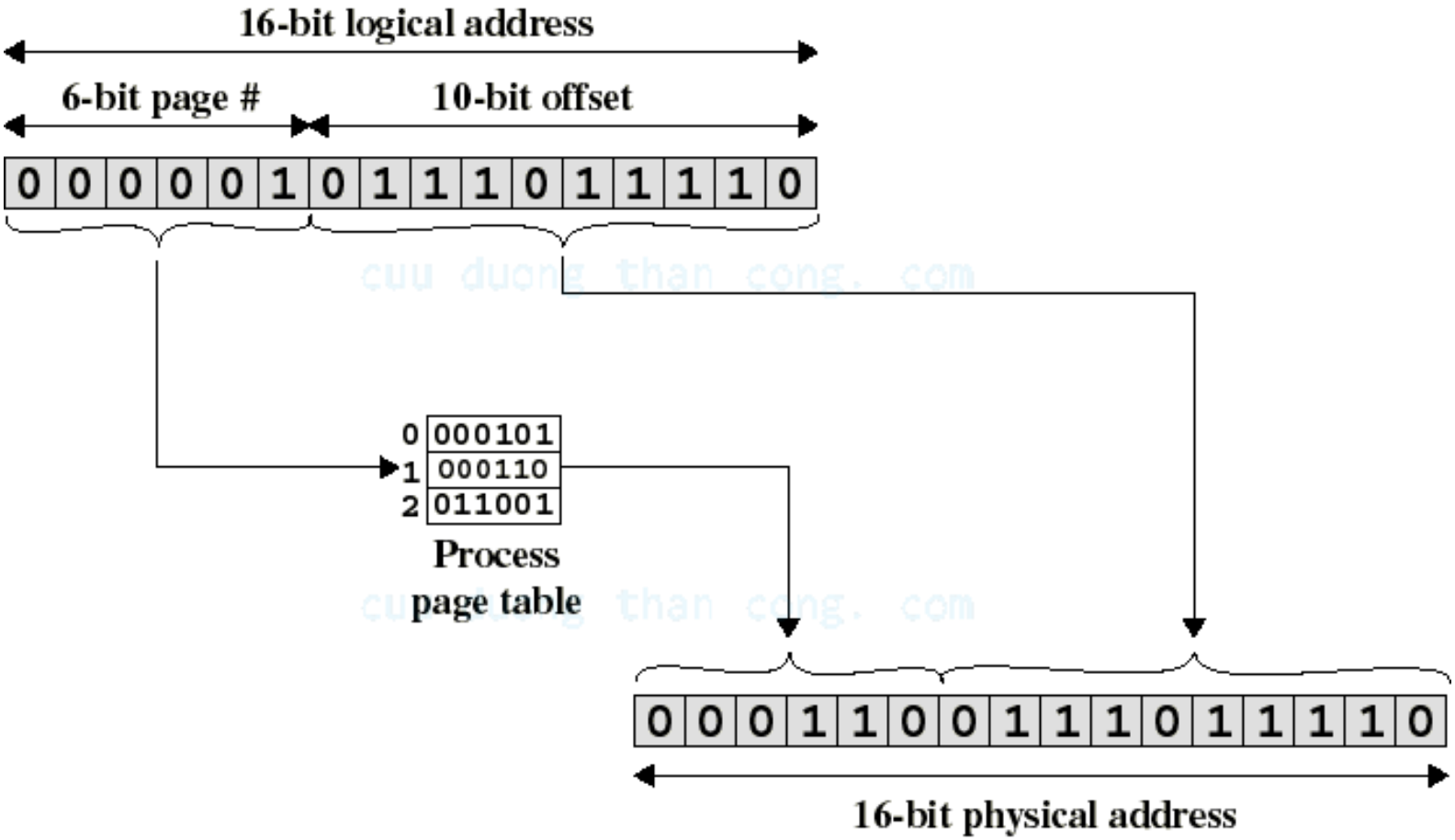
# Tổ chức Paging

- Địa chỉ logic : <page-number, offset>
- Địa chỉ physic : <frame-number, offset>
- Chuyển đổi địa chỉ : <p,d> ⇨ <f,d>
- Chuyển đổi địa chỉ vào thời điểm thi hành
  - MMU thi hành
  - Sử dụng Page Table để lưu thông tin cấp phát BNC, làm cơ sở thực hiện ánh xạ địa chỉ
  - Mỗi tiến trình có một Page Table
- Page Table
  - Số phần tử của Page Table = Số Page trong KGĐC của chương trình
  - Mỗi phần tử của bảng Page Table mô tả cho 1 page, và có cấu trúc :
    - frame: số hiệu frame trong BNC chứa page
  - Lưu trữ Page Table ?
    - Cache : không đủ
    - BNC : Page-table base register (PTBR), Page-table length

# Chuyển đổi địa chỉ trong mô hình Paging



# Logical-to-Physical Address Translation in Paging



# Nhận xét Mô hình Paging

- Loại bỏ
  - Dynamic Allocation
  - External Fragmentation
- "Trong suốt" với LTV
- Hỗ trợ Bảo vệ và Chia sẻ ở mức page

☹ Internal Fragmentation

☹ Lưu trữ Page Table trong bộ nhớ

- ☹ Tốn chỗ
- ☹ Tăng thời gian chuyển đổi địa chỉ

# Lưu trữ Page Table

- Giả sử hệ thống sử dụng m bit địa chỉ
  - Size of KGĐC = $2^m$
- Kích thước page
  - Trên nguyên tắc tùy ý, thực tế chọn pagesize = $2^n$
    - Tại sao ?
- Số trang trong KGĐC: #pages = $2^m$ / $2^n$ = $2^{m-n}$
  - Ví dụ : 32-bits địa chỉ, pagesize = 4K
  - KGĐC = $2^{32}$ -> #pages= $2^{32}$-$2^{12}$ = $2^{20}$ = 1.000.000 pages !
  - #pages = #entry trong PT
- Địa chỉ logic :


**(m-n)**

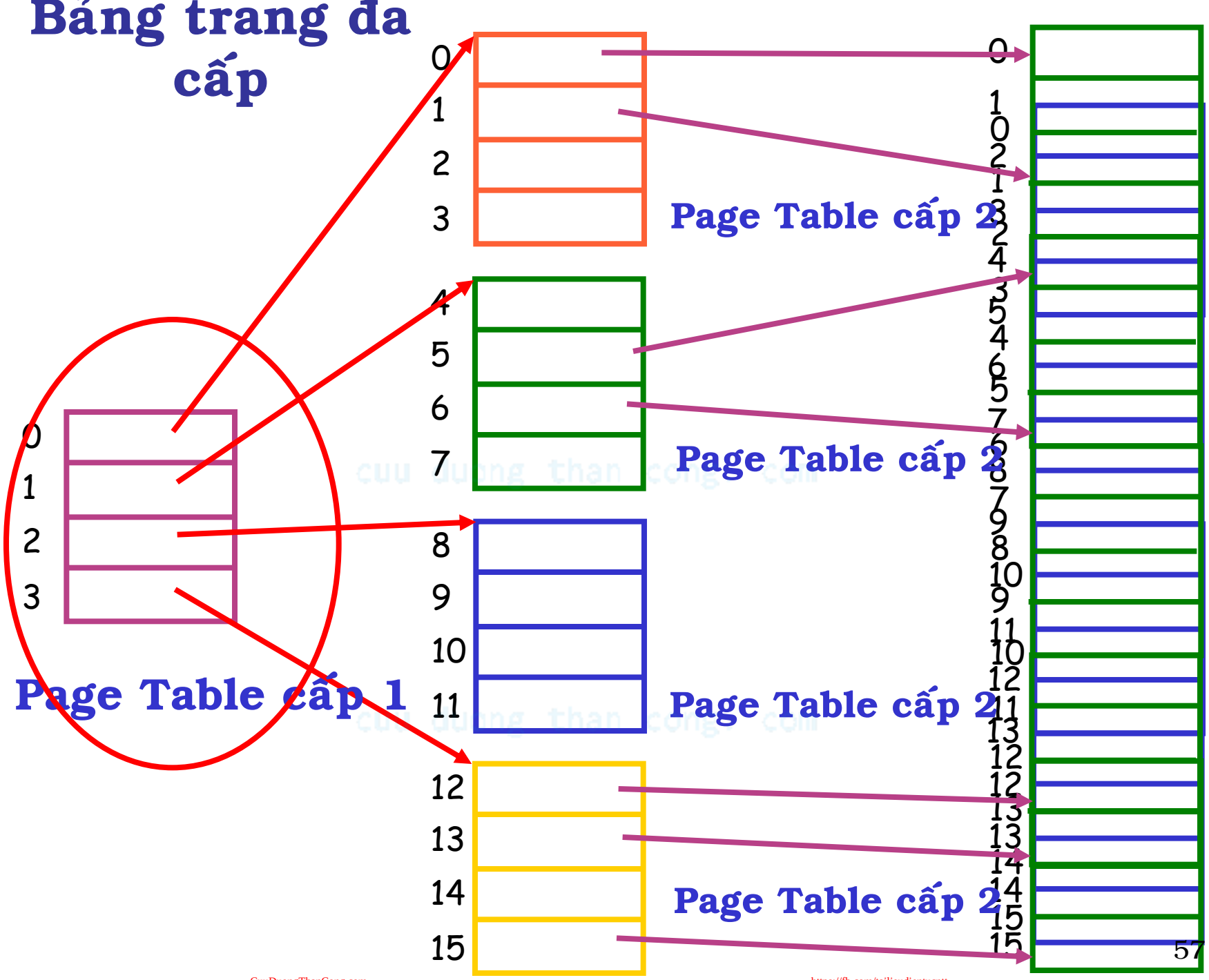
**n**

- Page Table
  - ☹ Mỗi tiến trình lưu 1 Page Table
  - ☹ Số lượng phần tử quá lớn -> Lưu BNC
  - ☹ Mỗi truy xuất địa chỉ sẽ tốn 2 lần truy xuất BNC

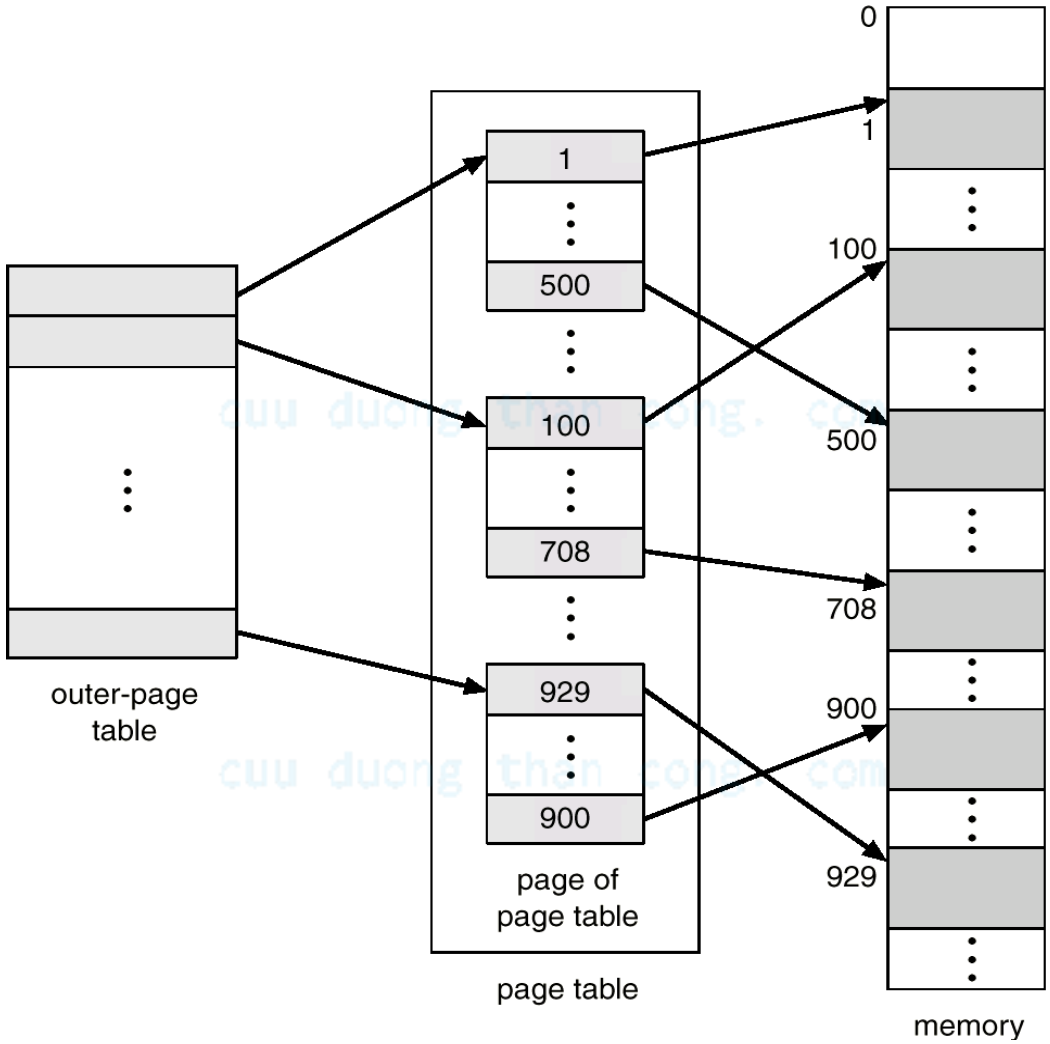
# Lưu trữ Page Table : Tiết kiệm không gian

- Sử dụng bảng trang đa cấp
  - Chia bảng trang thành các phần nhỏ, bản thân bảng trang cũng sẽ được phân trang
  - Chỉ lưu thường trực bảng trang cấp 1, sau đó khi cần sẽ nạp bảng trang cấp nhỏ hơn thích hợp...
  - Có thể loại bỏ những bảng trang chứa thông tin về miền địa chỉ không sử dụng
- Sử dụng Bảng trang nghịch đảo
  - Mô tả KGVL thay vì mô tả KGĐC -> 1 IPT cho toàn bộ hệ thống

# Bảng trang đa cấp



# Mô hình bảng trang 2 cấp



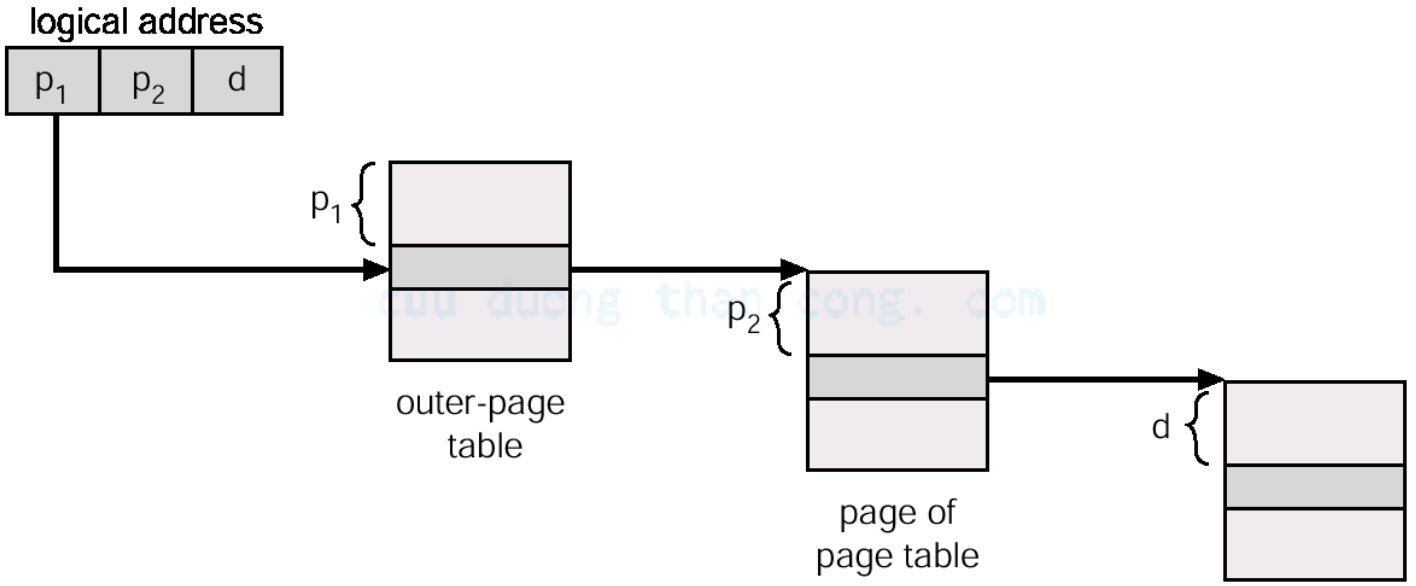
# Ví dụ mô hình bảng trang 2 cấp

- Một máy tính sử dụng địa chỉ 32bít với kích thước trang 4Kb.
- Địa chỉ logic được chia thành 2 phần:
  - Số hiệu trang : 20 bits.
  - Offset tính từ đầu mỗi trang :12 bits.
- Vì bảng trang lại được phân trang nên số hiệu trang lại được chia làm 2 phần:
  - Số hiệu trang cấp 1.
  - Số hiệu trang cấp 2.

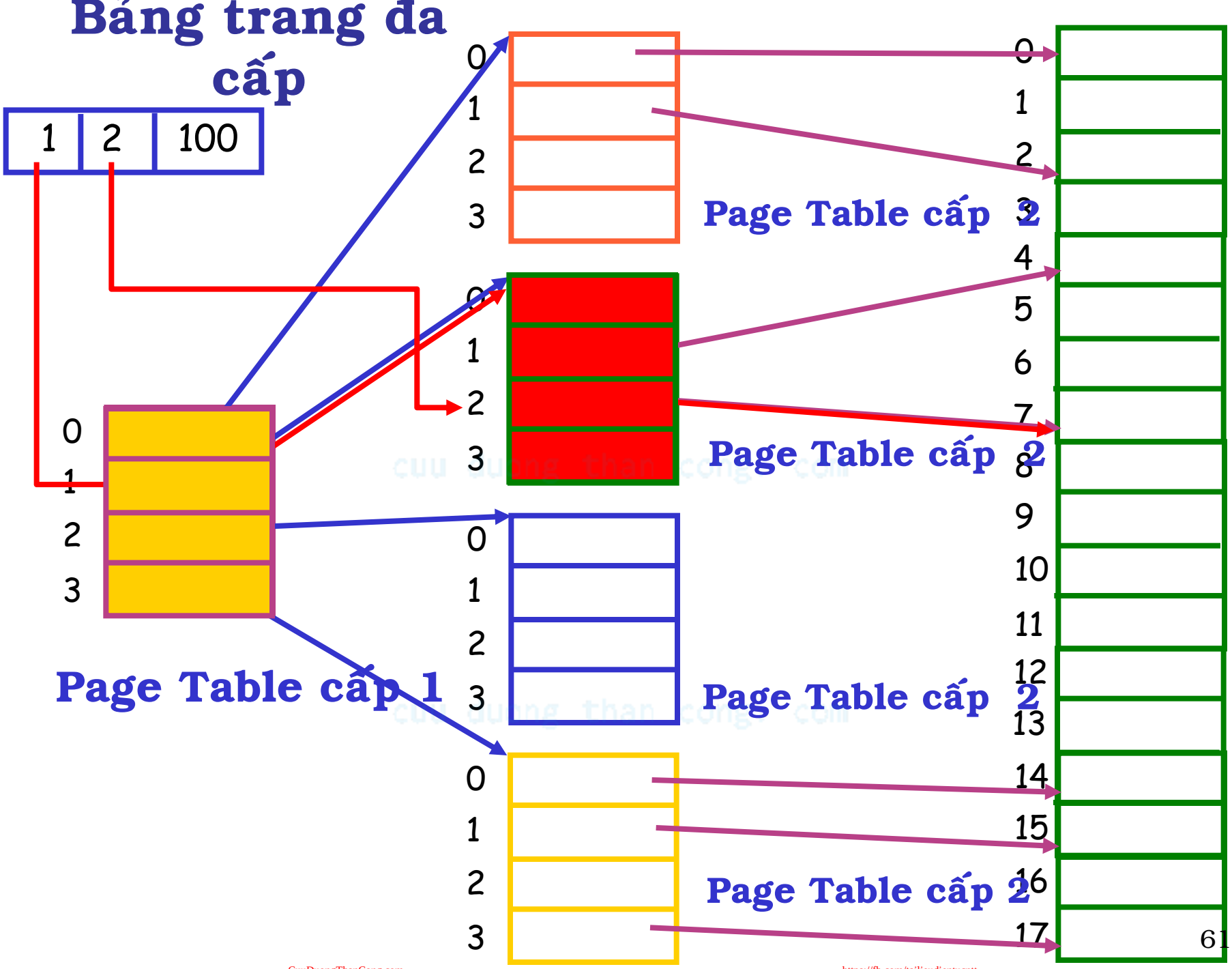
# Ví dụ mô hình bảng trang 2 cấp

- Vì thế, địa chỉ logic sẽ có dạng như sau:

| page number | | page offset |
|---|---|---|
| $p_i$ | $p_2$ | $d$ |
| 10 | 10 | 12 |



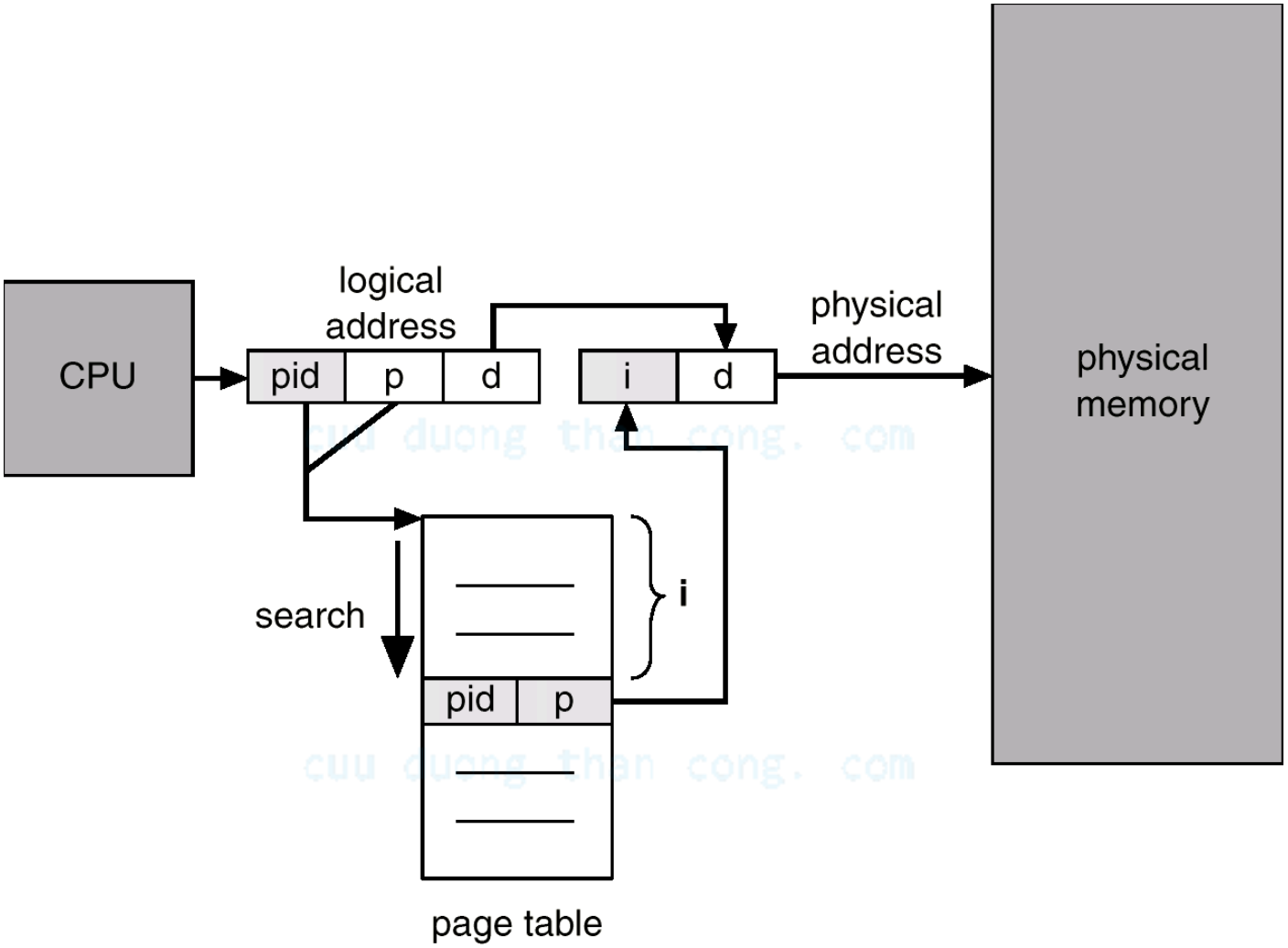
# Bảng trang đa cấp



# Bảng trang nghịch đảo (Inverted Page Table)

- Sử dụng duy nhất một *bảng trang nghịch đảo* cho tất cả các tiến trình
- Mỗi phần tử trong *bảng trang nghịch đảo* mô tả một frame, có cấu trúc
  - <page> : số hiệu page mà frame đang chứa đựng
  - <idp> : id của tiến trình đang được sỡ hữu trang
- Mỗi địa chỉ ảo khi đó là một bộ ba <idp, p, d >
- Khi một tham khảo đến bộ nhớ được phát sinh, một phần địa chỉ ảo là <idp, p > được đưa đến cho trình quản lý bộ nhớ để tìm phần tử tương ứng trong bảng trang nghịch đảo, nếu tìm thấy, địa chỉ vật lý <i,d> sẽ được phát sinh

# Kiến trúc bảng trang nghịch đảo



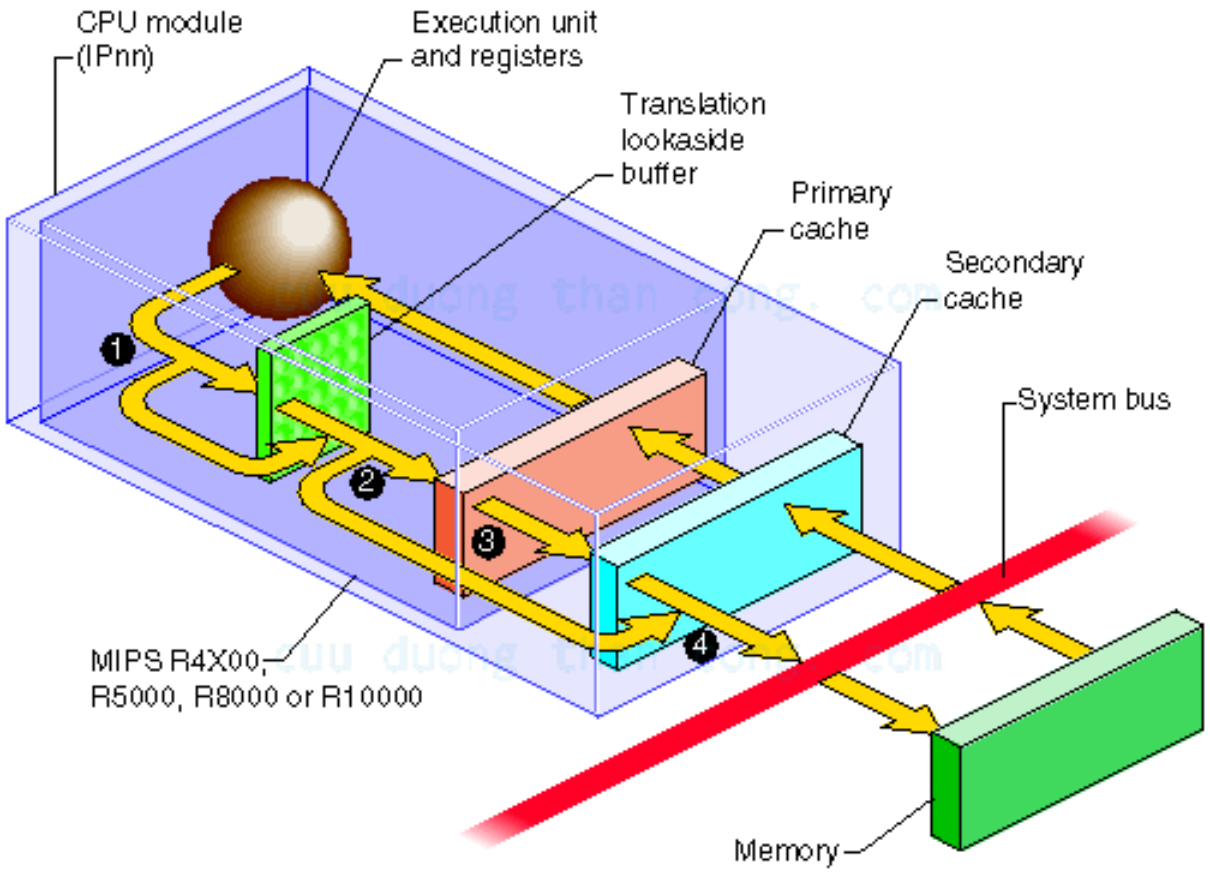
# Lưu trữ Page table : Tiết kiệm thời gian

- Mỗi truy cập BNC cần truy xuất BNC 2 lần :
  - Tra cứu Page Table để chuyển đổi địa chỉ
  - Tra cưu bản thân data
- Làm gì để cải thiện :
  - Tìm cách lưu PT trong cache
    - Cho phép tìm kiếm nhanh
  - PT lớn, cache nhỏ : làm sao lưu đủ ?
    - Lưu 1 phần PT...
    - Phần nào ?
      - Các số hiệu trang mới truy cập gần đây nhất...

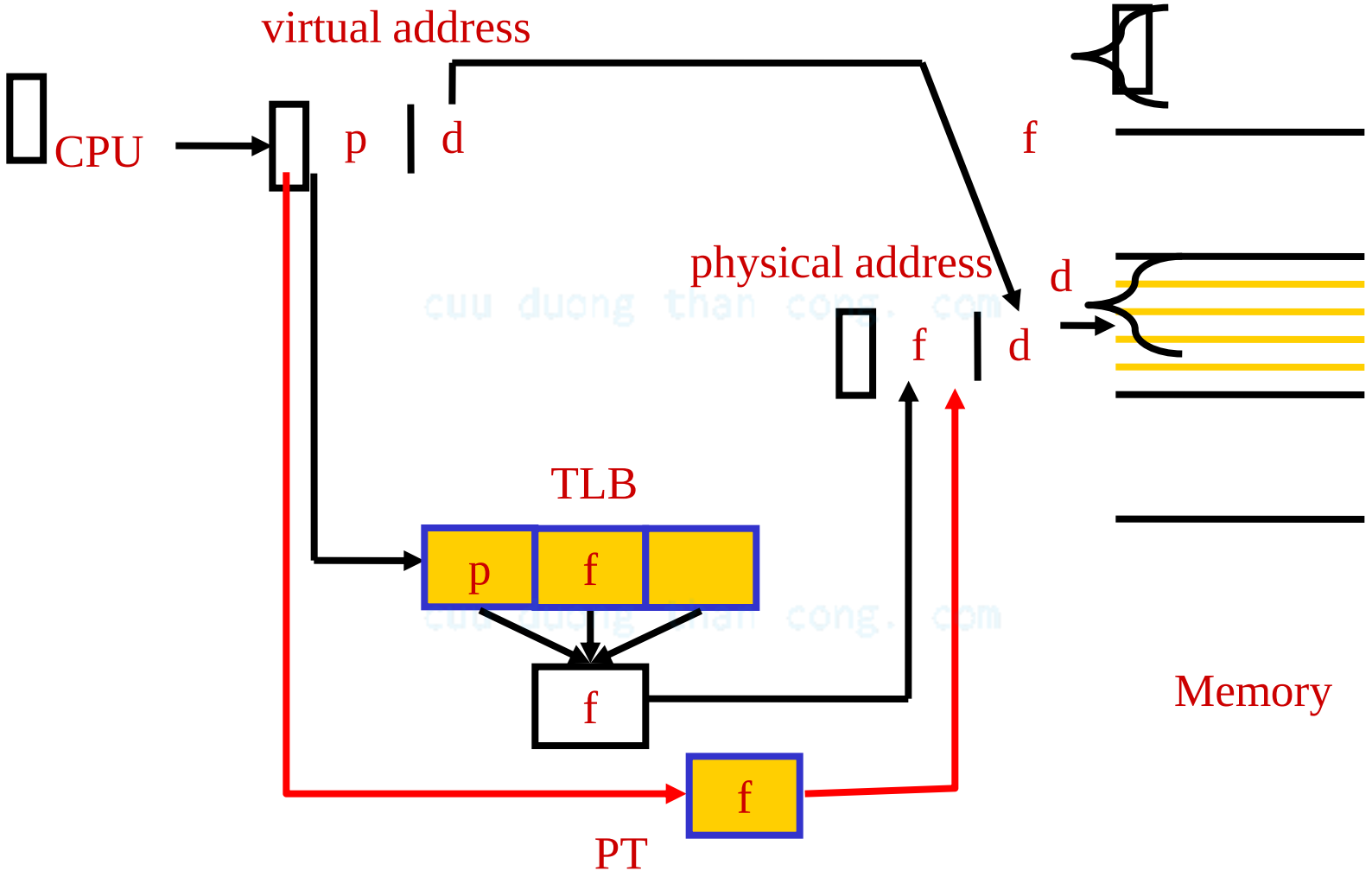
# Translation Lookaside Buffer (TLB)

- Vùng nhớ Cache trong CPU được sử dụng để lưu tạm thời một phần của PT được gọi là Translation Lookaside Buffer (TLB)
  - Cho phép tìm kiếm tốc độ cao
  - Kích thước giới hạn (thường không quá 64 phần tử)
- Mỗi entry trong TLB chứa một số hiệu page và frame tương ứng đang chứa page
- Khi chuyển đổi địa chỉ, truy xuất TLB trước, nếu không tìm thấy số hiệu page cần thiết, mới truy xuất vào PT để lấy thông tin frame.

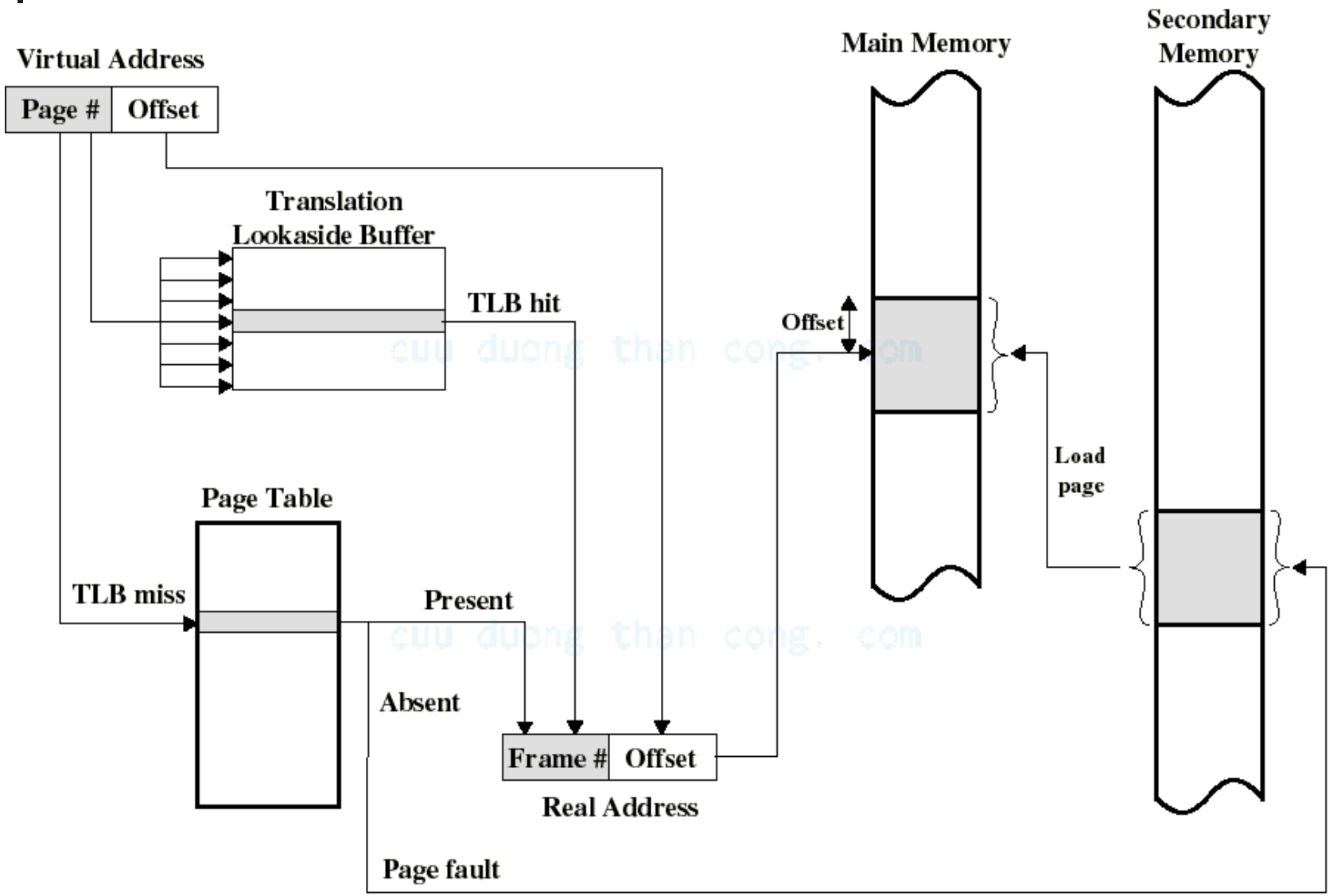
# Translation Lookaside Buffer



# Chuyển đổi địa chỉ với Paging



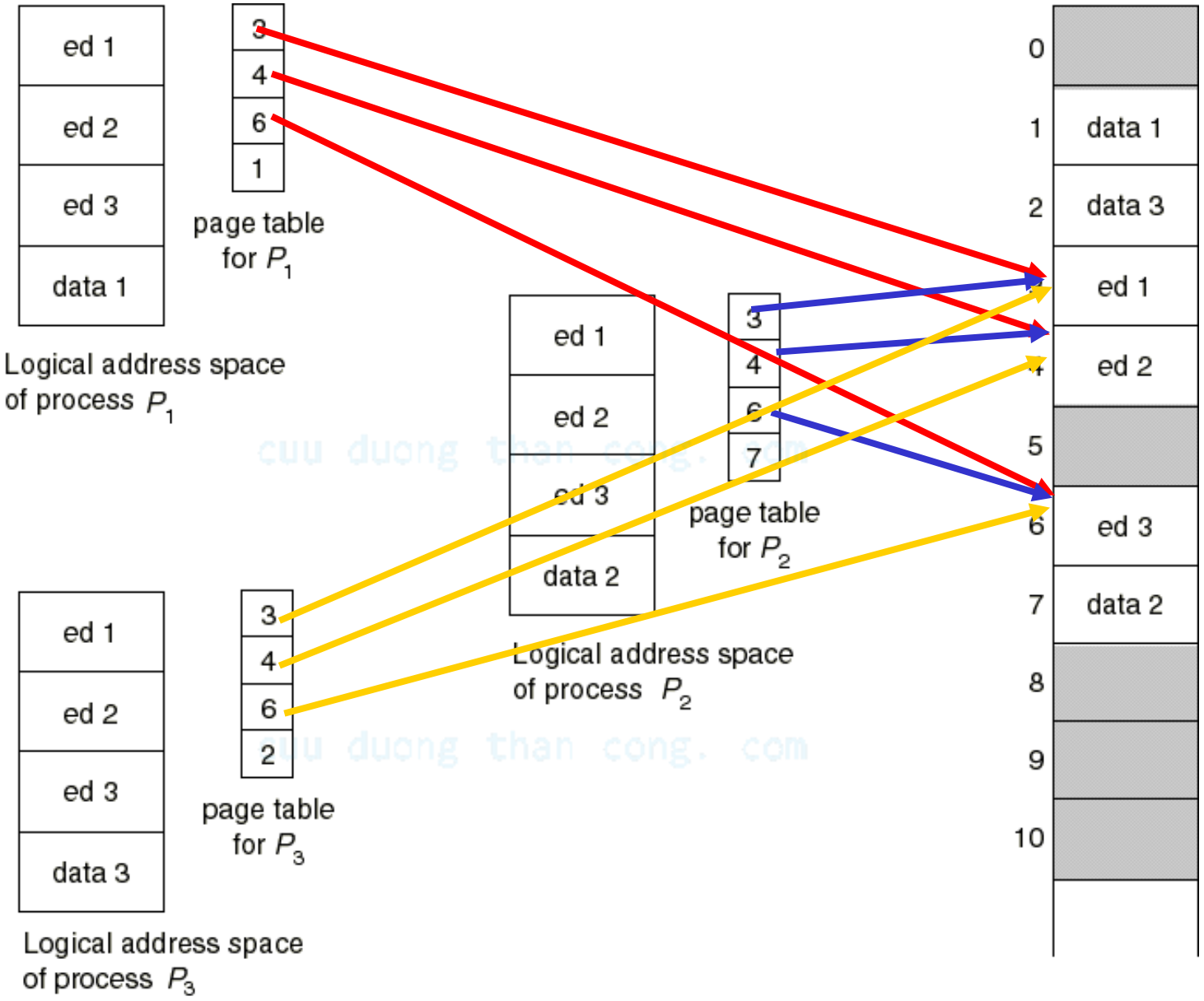
# Sử dụng TBL



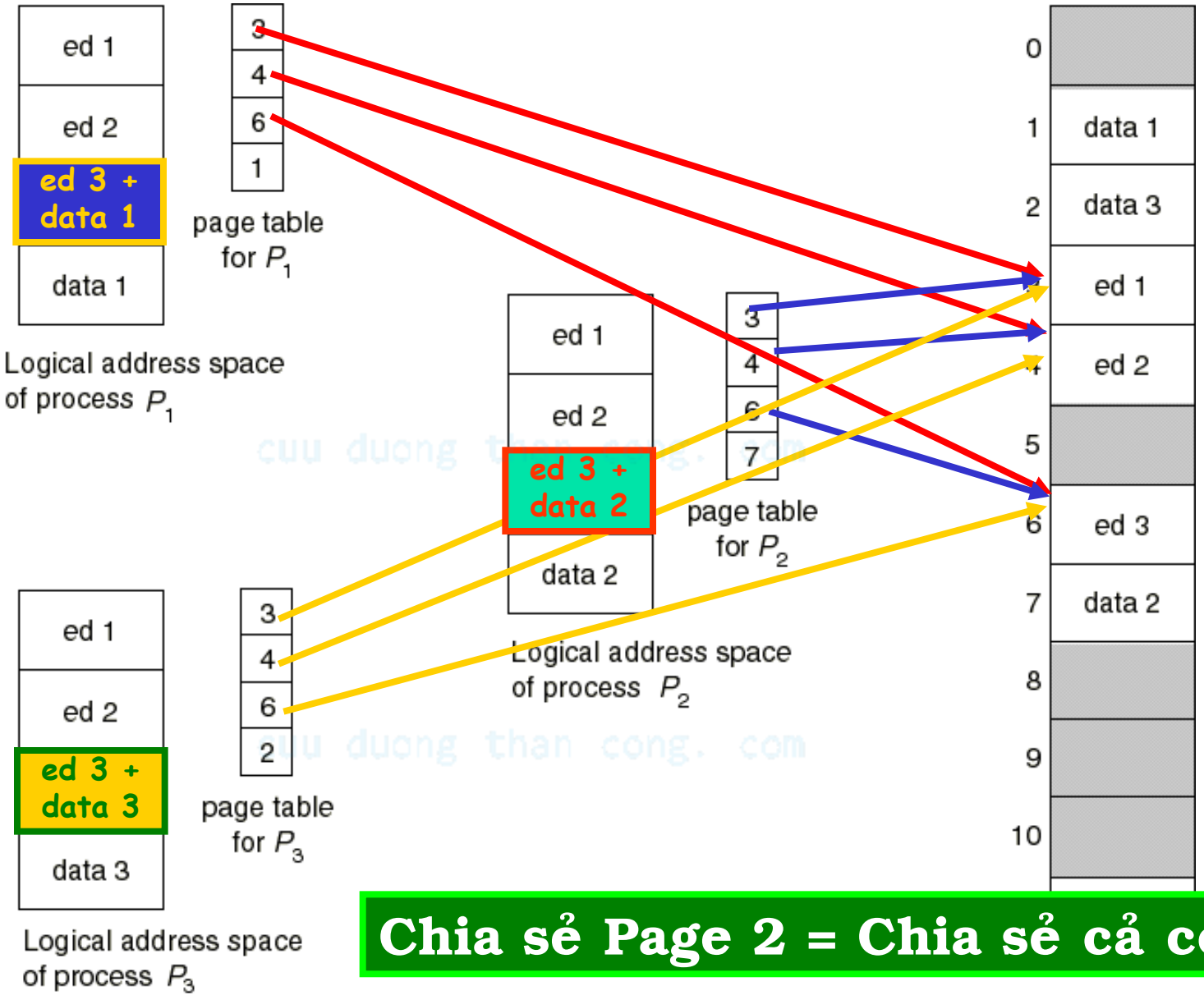
# Bảo vệ và chia sẻ trong Segmentation và Paging

- Bảo vệ
  - Segmentation : mỗi phần tử trong ST được gắn thêm các bit bảo vệ
    - Mỗi segment có thể được bảo vệ tùy theo ngữ nghĩa của các đối tượng bên trong segment
  - Paging : mỗi phần tử trong PT được gắn thêm các bit bảo vệ
    - Mỗi page không nhận thức được ngữ nghĩa của các đối tượng bên trong page, nên bảo vệ chỉ áp dụng cho toàn bộ trang, không phân biệt.
- Chia sẻ: Cho nhiều phần tự trong KGĐC cùng trỏ đến 1 vị trí trong KGVL
  - Segmentation : chia sẻ mức module chương trình
  - Paging : chia sẻ các trang

# Sharing Pages: A Text Editor



# Sharing Pages: A Text Editor

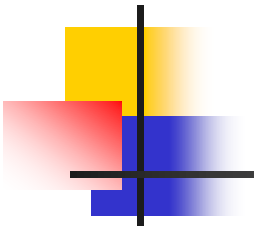



**Chia sẻ Page 2 = Chia sẻ cả code**

# Đánh giá các mô hình chuyển đổi địa chỉ

- Giả sử có:
  - $t_m$ : thời gian truy xuất BNC
  - $t_c$ : thời gian truy xuất cache
  - hit-ration : tỉ lệ tìm thấy một số hiệu trang p trong TLB
- Công thức tính thời gian truy cập thực tế (Time Effective Acess) đến một đối tượng trong BNC
  - bao gồm thời gian chuyển đổi địa chỉ và thời gian truy xuất dữ liệu
  - TEA = (time biding add + time acces memory)

- Linker-Loader
  - TEA = $t_m$
    (data)
- Base + Bound
  - TEA = ($t_c$ + $t_c$) + $t_m$
    (Base & Bound) (data)
- Segmentation
  - TEA = $t_c$ + $t_m$
    (ST trong cache) (data)
- Paging
  - Không sử dụng TLB :
    - TEA = $t_m$ + $t_m$
      (PT trong mem) (data)
  - Có sử dụng TLB :
    - TEA = hit-ratio ( $t_c$ + $t_m$ ) + (1- hit-ratio)( $t_c$ + $t_m$ + $t_m$ )
      (TLB) (data)



- Giả sử:
- 1. Có lỗi xảy ra thì tốn 8ms để thay trang
- 2. Nếu trang thay đổi nội dung thì tốn 20ms
- Giả sử 70% trang có thay nội dung
- Truy cập bộ nhớ tớn 100ns

- Hỏi tỉ lệ lỗi trang bao nhiêu để đảm bảo EMAT không vượt quá 200ns

- EAT = (1 – *p*) x memory access + *p* (page fault overhead
  + [swap page out ]
  + swap page in
  + restart overhead)