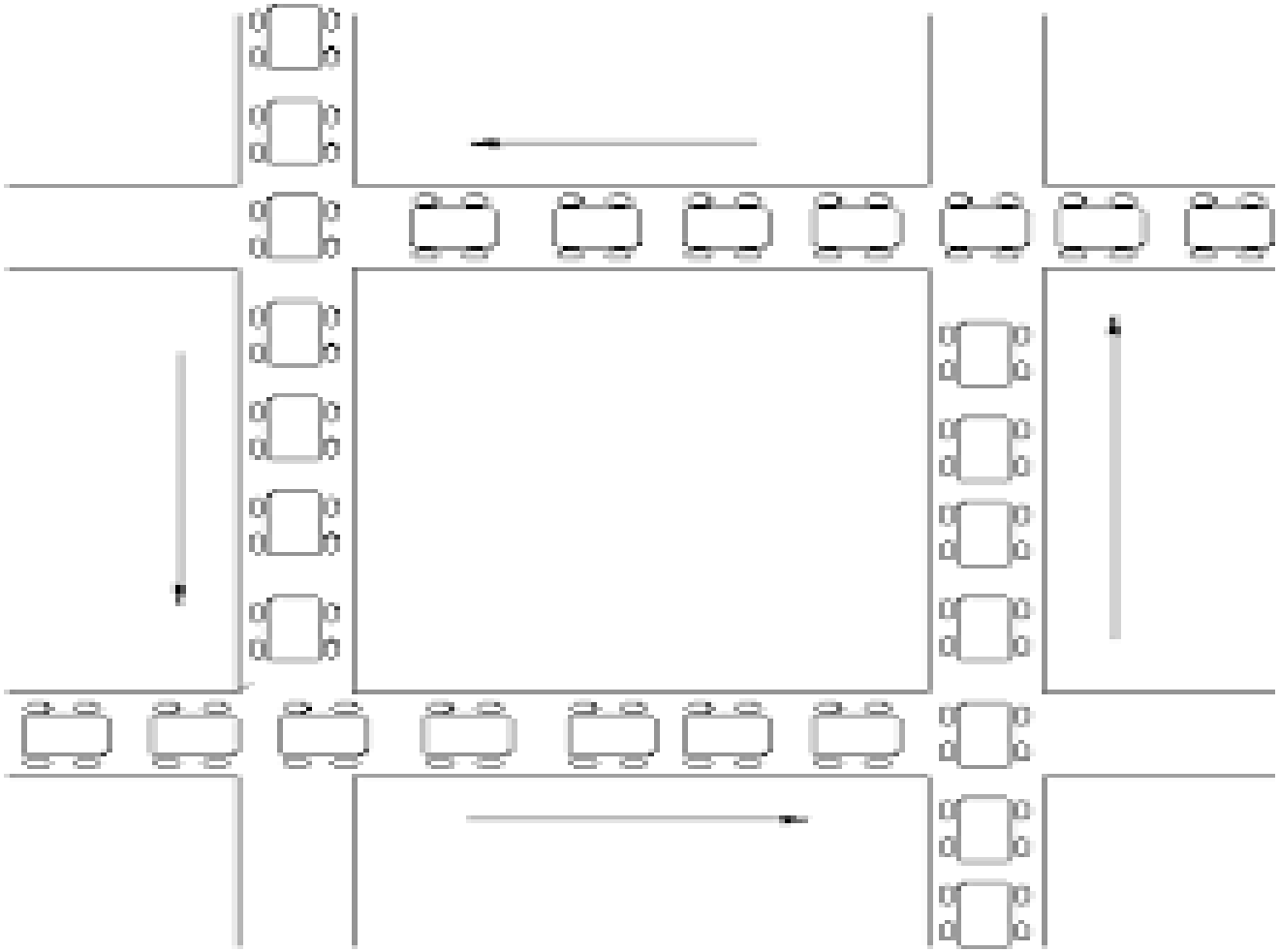
Tắc ghẽn
(Deadlock)

Nội dung

- Mô hình hệ thống ☛
- Đồ thị phân bổ tài nguyên (RAG) ☛
- Phương pháp giải quyết nghẽn ☛
  - Chống (Ngăn) nghẽn
  - Tránh (avoidance) nghẽn
  - Phát hiện nghẽn
  - Phục hồi nghẽn

Tắc nghẽn giao thông



Tắc nghẽn trong hệ thống

- *Tình huống:* một tập các process bị blocked, mỗi process giữ tài nguyên và đang chờ tài nguyên mà process khác trong tập đang giữ.

- Ví dụ 1
  - Giả sử hệ thống có một printer và một DVD drive. Quá trình P1 đang giữ DVD drive, quá trình P2 đang giữ printer.

    Bây giờ P1 yêu cầu printer, và P2 yêu cầu DVD drive

Mô hình hóa hệ thống

- Hệ thống gồm các loại *tài nguyên*, kí hiệu R_1, R_2,..., R_m
  - Tài nguyên: CPU cycle, không gian bộ nhớ, thiết bị I/O, file,...
- Mỗi loại tài nguyên R_i có W_i thực thể (instance).
- Process sử dụng tài nguyên theo thứ tự
  - *Yêu cầu* (request): process phải chờ nếu yêu cầu không được đáp ứng ngay
  - *Sử dụng* (use): process sử dụng tài nguyên
  - *Hoàn trả* (release): process hoàn trả tài nguyên
- Các tác vụ yêu cầu và hoàn trả được gọi qua system call. Ví dụ:
  - request/release device
  - open/close file
  - allocate/free memory

Điều kiện cần để xảy ra nghẽn

Bốn điều kiện cần (necessary conditions)

1. *Mutual exclusion:* ít nhất một tài nguyên được giữ theo nonsharable mode (ví dụ: printer; ví dụ sharable resource: read-only file).
2. *Hold and wait:* một process đang giữ ít nhất một tài nguyên và đợi thêm tài nguyên do quá trình khác đang giữ.
3. *No preemption:* (= no resource preemption) không lấy lại tài nguyên đã cấp phát cho process, ngoại trừ khi process tự hoàn trả nó.
4. *Circular wait:* tồn tại một tập $\{P_0,\ldots,P_n\}$ các quá trình đang đợi sao cho

   P_0 đợi một tài nguyên mà P_1 đang giữ

   P_1 đợi một tài nguyên mà P_2 đang giữ

   …

   P_n đợi một tài nguyên mà P_0 đang giữ

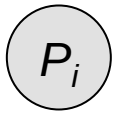
Resource Allocation Graph

- *Resource allocation graph* (RAG) là đồ thị có hướng, với tập đỉnh *V* và tập cạnh *E*
  - Tập đỉnh *V* gồm 2 loại:
    - $P = \{P_1, P_2, \ldots, P_n\}$ (Tất cả process trong hệ thống)
    - $R = \{R_1, R_2, \ldots, R_m\}$ (Tất cả các loại tài nguyên trong hệ thống)
  - Tập cạnh *E* gồm 2 loại:
    - *Request edge:* cạnh có hướng từ P_i đến R_j
    - *Assignment edge:* cạnh có hướng từ R_j đến P_i

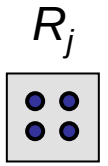
Resource Allocation Graph (tt.)

Ký hiệu

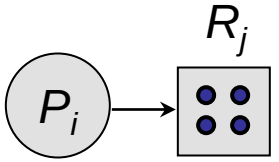
- Process:



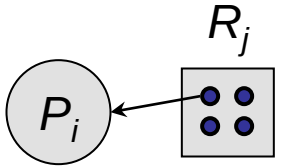
- Loại tài nguyên với 4 thực thể:



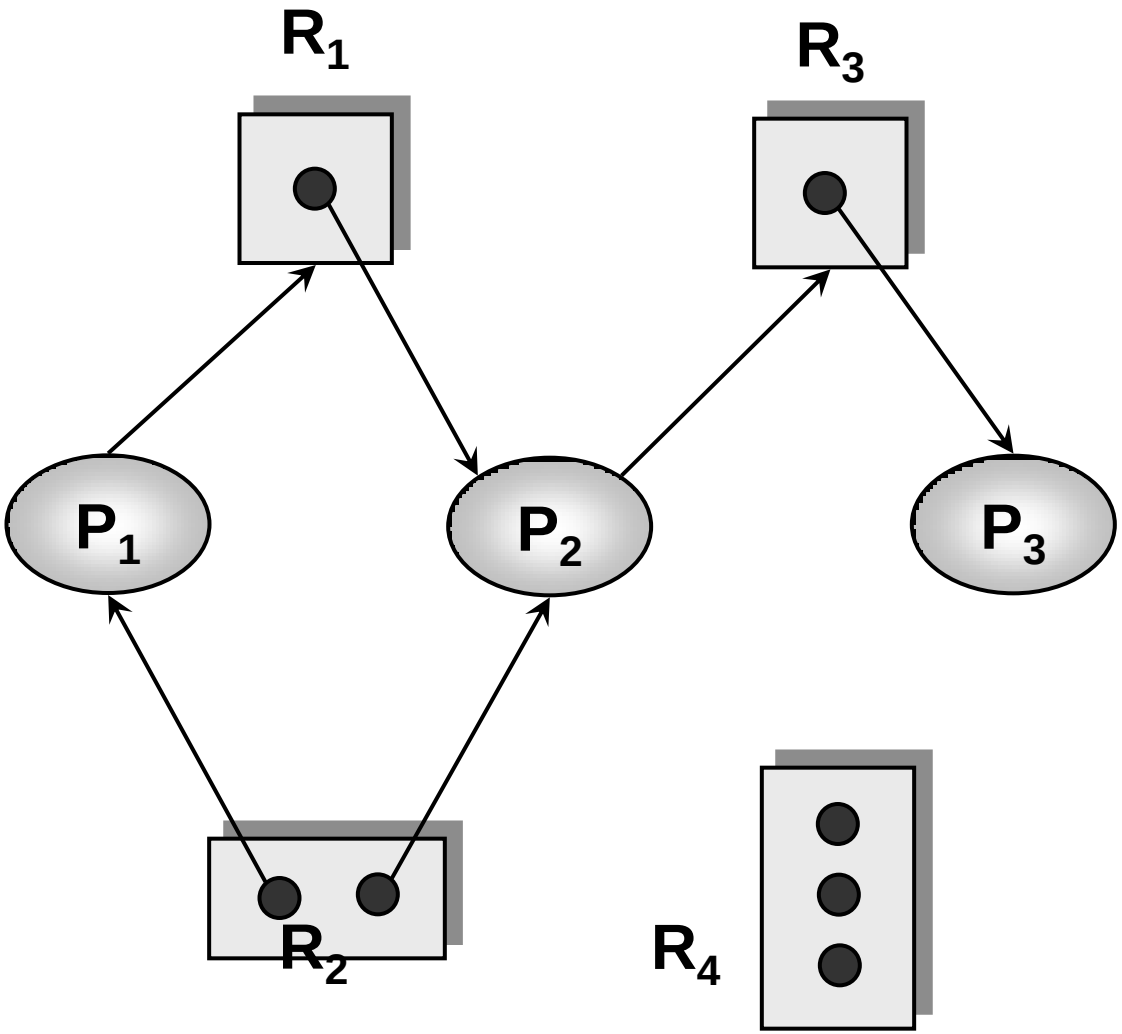
- P_i yêu cầu một thực thể của R_j :



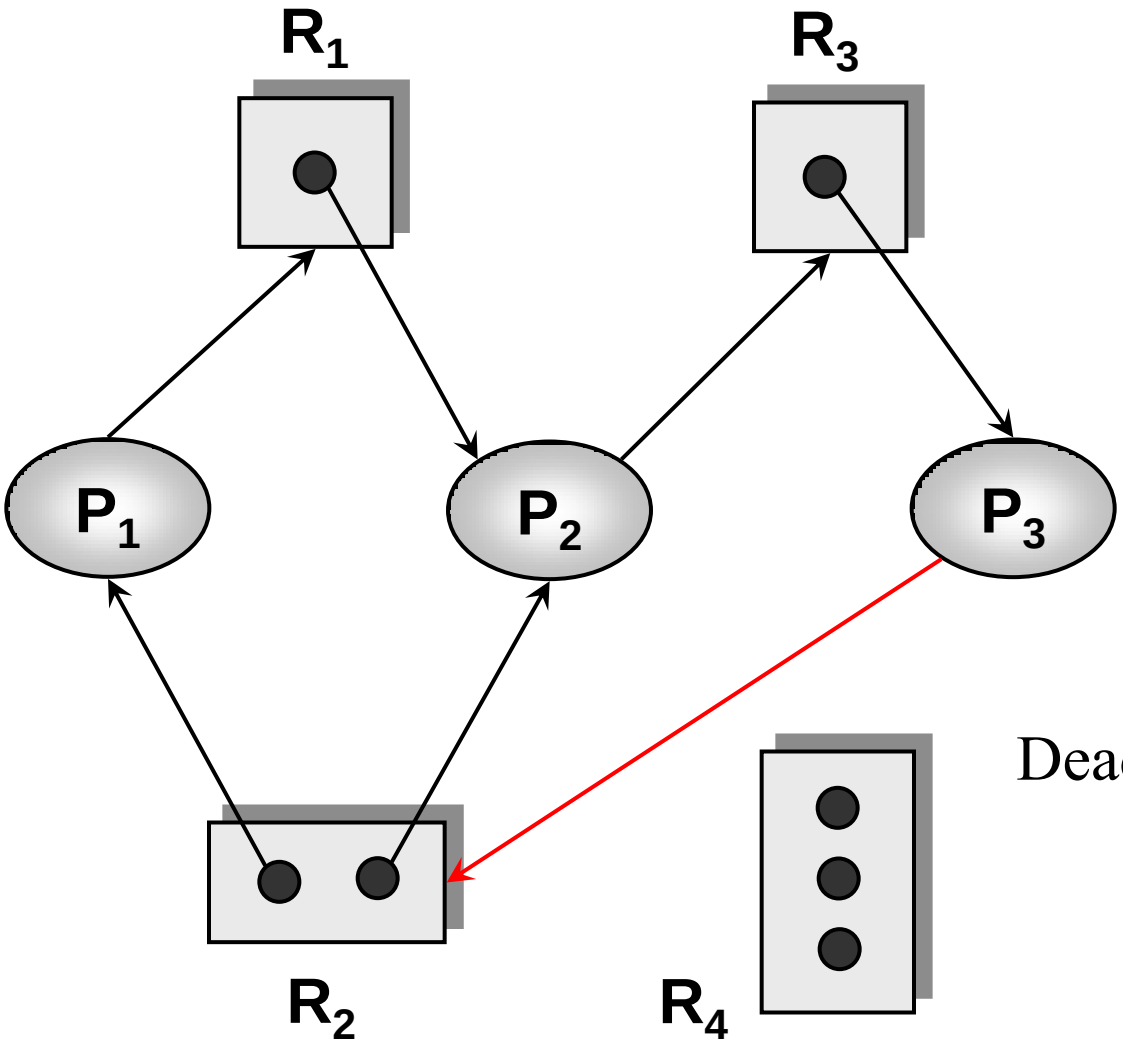
- P_i đang giữ một thực thể của R_j :



Ví dụ về RAG (tt.)



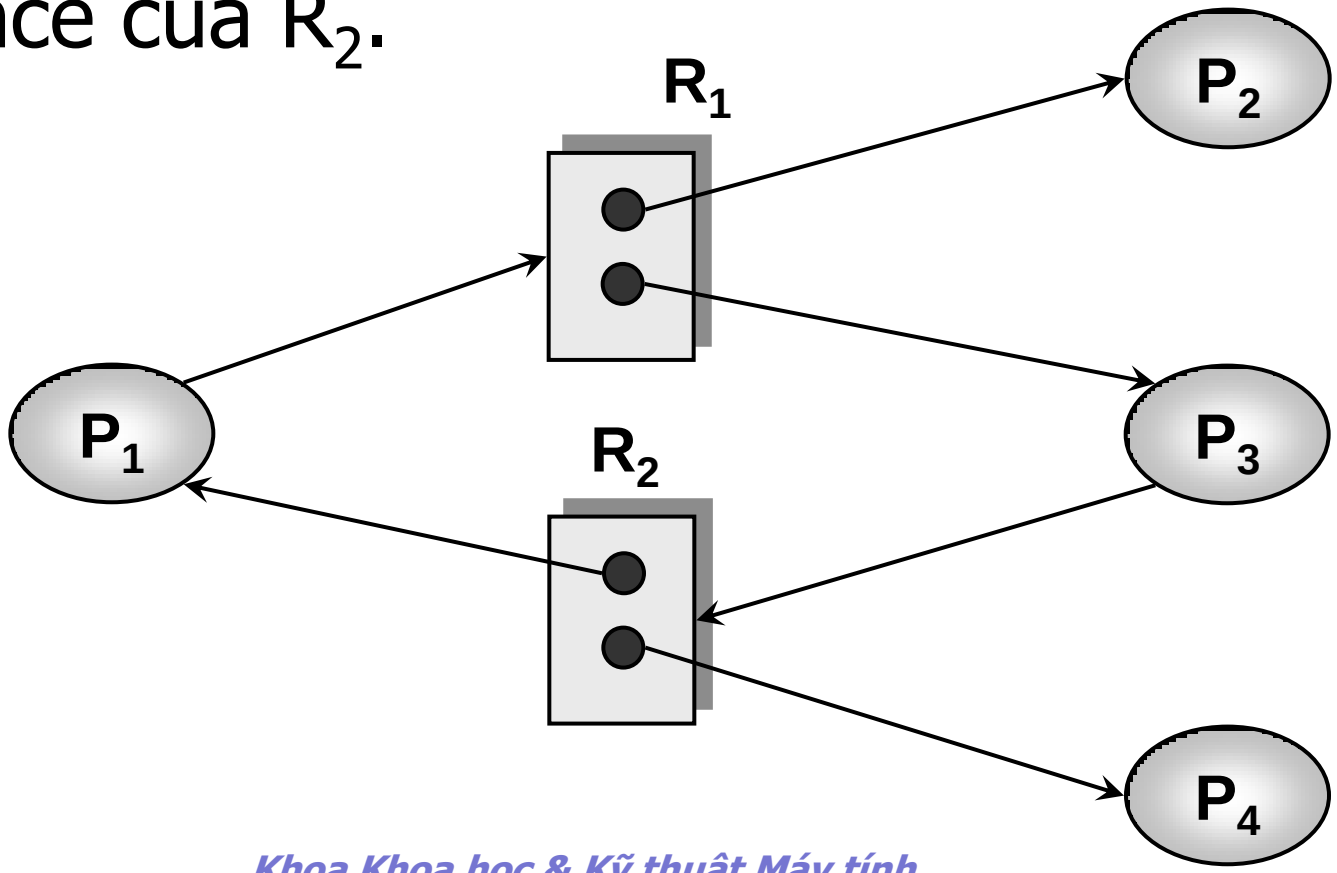
Ví dụ về RAG (tt.)



Deadlock xảy ra!

RAG và deadlock

- Ví dụ một RAG chứa chu trình nhưng không xảy ra deadlock: trường hợp P_4 trả lại instance của R_2.



RAG và deadlock (tt.)

- RAG không chứa chu trình ⇒ không có deadlock
- RAG chứa một (hay nhiều) chu trình
- Nếu mỗi loại tài nguyên chỉ có một thực thể → deadlock

Deadlock: Cách giải quyết

Ba phương pháp

1) Bảo đảm rằng hệ thống không rơi vào tình trạng deadlock bằng cách *ngăn* (preventing) hoặc *tránh* (avoiding) deadlock.

Khác biệt:

- Ngăn deadlock: không cho phép (ít nhất) một trong 4 điều kiện cần cho deadlock
- Tránh deadlock: các quá trình cần cung cấp thông tin về tài nguyên nó cần để hệ thống cấp phát tài nguyên một cách thích hợp

Deadlock: Cch giải quyết (tt.)

2) Cho phép hệ thống vào trạng thái deadlock, nhưng sau đó phát hiện deadlock và phục hồi hệ thống.

3) Bỏ qua mọi vấn đề, xem như deadlock không bao giờ xảy ra trong hệ thống.

- Khá nhiều hệ điều hành sử dụng phương pháp này.
- Deadlock không được phát hiện, dẫn đến việc giảm hiệu suất của hệ thống. Cuối cùng, hệ thống có thể ngưng hoạt động và phải được khởi động lại.

Ngăn deadlock

Ngăn deadlock bằng cách ngăn một trong 4 điều kiện cần của deadlock

1. Ngăn mutual exclusion
   - đối với nonsharable resource (vd: printer): không làm được
   - đối với sharable resource (vd: read-only file và tác vụ cho phép lên file chỉ là đọc): không cần thiết

Ngăn deadlock (tt.)

2. Ngăn Hold and Wait
   - **Cách 1**: mỗi process yêu cầu toàn bộ tài nguyên cần thiết một lần. Nếu có đủ tài nguyên thì hệ thống sẽ cấp phát, nếu không đủ tài nguyên thì process sẽ bị blocked.
   - **Cách 2**: khi yêu cầu tài nguyên, process không đang giữ bất kỳ tài nguyên nào. Nếu đang giữ thì phải trả lại trước khi yêu cầu.
   - Khuyết điểm của các cách trên:
     - Hiệu suất sử dụng tài nguyên (resource utilization) thấp
     - Quá trình có thể bị starvation

Ngăn deadlock (tt.)

3. Ngăn No Preemption: cho phép lấy lại tài nguyên đã cấp phát cho quá trình $\Rightarrow$

- Chỉ thích hợp cho loại tài nguyên dễ dàng lưu và phục hồi như
  - CPU
  - Register
  - Vùng nhớ
- Không thích hợp cho loại tài nguyên như printer, tape drive.

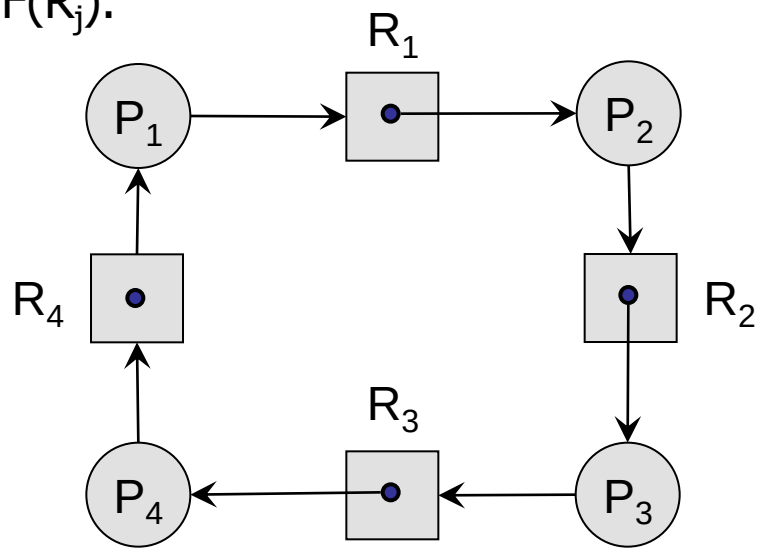
Ngăn deadlock (tt.)

4. Ngăn Circular Wait: tập các loại tài nguyên trong hệ thống được gán một thứ tự hoàn toàn.
   - Ví dụ: F(tape drive) = 1, F(disk drive) = 5, F(printer) = 12
     - F là hàm định nghĩa thứ tự trên tập các loại tài nguyên.

Ngăn deadlock (tt.)

4. Ngăn Circular Wait (tt)

- Cách 1: mỗi process yêu cầu thực thể của tài nguyên theo thứ tự tăng dần (định nghĩa bởi hàm F) của loại tài nguyên. Ví dụ
  - Chuỗi yêu cầu thực thể hợp lệ: tape drive → disk drive → printer
  - Chuỗi yêu cầu thực thể không hợp lệ: disk drive → tape drive
- Cách 2: Khi một process yêu cầu một thực thể của loại tài nguyên R_j thì nó phải trả lại các tài nguyên R_i với $F(R_i) > F(R_j)$.
- "Chứng minh" cho cách 1: phản chứng
  - $F(R_4) < F(R_1)$
  - $F(R_1) < F(R_2)$
  - $F(R_2) < F(R_3)$
  - $F(R_3) < F(R_4)$
- Vậy $F(R_4) < F(R_4)$, mâu thuẫn!



Trnh (avoidance) Nghẽn

- Deadlock prevention sử dụng tài nguyên không hiệu quả.
- Deadlock avoidance vẫn đảm bảo hiệu suất sử dụng tài nguyên tối đa đến mức có thể.
- Yêu cầu mỗi process khai báo số lượng tài nguyên tối đa cần để thực hiện công việc
- Giải thuật deadlock-avoidance sẽ điều khiển *trạng thái cấp phát tài nguyên* (resource-allocation state) để bảo đảm hệ thống không rơi vào deadlock.
  - Trạng thái cấp phát tài nguyên được định nghĩa dựa trên số tài nguyên còn lại, số tài nguyên đã được cấp phát và yêu cầu tối đa của các process.

Trạng thái safe và unsafe

- Một trạng thái của hệ thống được gọi là *an toàn* (safe) nếu tồn tại một *chuỗi an toàn* (safe sequence).

Chuỗi an toàn

- Một chuỗi quá trình $\langle P_1, P_2, \ldots, P_n \rangle$ là một *chuỗi an toàn* nếu
  - Với mọi i = 1,…,n, yêu cầu tối đa về tài nguyên của P_i có thể được thỏa bởi
    - tài nguyên mà hệ thống đang có sẵn sàng (available)
    - cùng với tài nguyên mà tất cả P_j , j < i, đang giữ.
- Một trạng thái của hệ thống được gọi là *không an toàn* (unsafe) nếu không tồn tại một chuỗi an toàn.

Chuỗi an toàn (tt.)

Ví dụ: Hệ thống có 12 tape drive và 3 quá trình P_0, P_1, P_2

- Tại thời điểm t_0 , giả sử hệ thống còn 3 tape drive sẵn sàng.

	cần tối đa	đang giữ
P_0	10	5
P_0	4	2
P_2	9	2

  - Chuỗi $\langle P_1, P_0, P_2 \rangle$ là chuỗi an toàn $\Rightarrow$ hệ thống là an toàn

Chuỗi an toàn (tt.)

- Giả sử tại thời điểm t_1, P_2 yêu cầu và được cấp phát 1 tape drive
  - còn 2 tape drive sẵn sàng

	cần tối đa	đang giữ
P_0	10	5
P_1	4	2
P_2	9	3

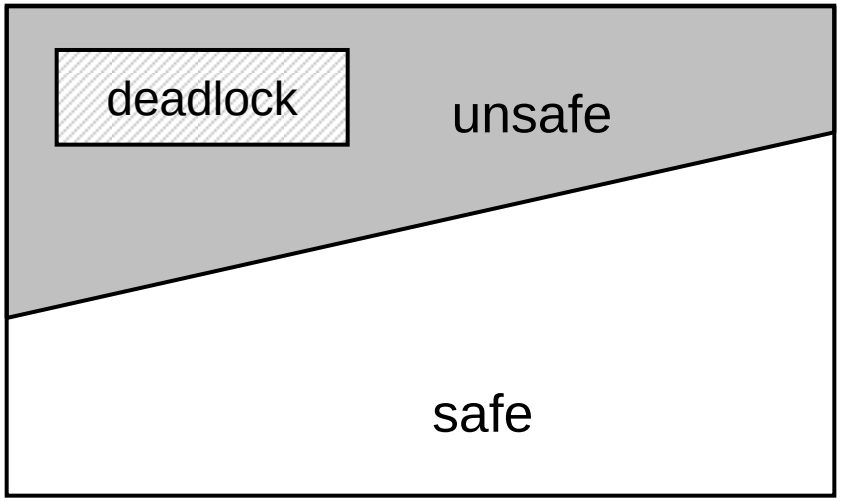
- Hệ thống trở nên không an toàn.

Safe/unsafe và deadlock

- Ý tưởng cho giải pháp tránh deadlock: Khi một process yêu cầu một tài nguyên đang sẵn sàng, hệ thống sẽ kiểm tra: nếu việc cấp phát này không dẫn đến tình trạng unsafe thì sẽ cấp phát ngay.

Safe/unsafe và deadlock (tt.)

- Nếu hệ thống đang ở trạng thái safe ⇒ không deadlock.
- Nếu hệ thống đang ở trạng thái unsafe ⇒ có thể dẫn đến deadlock.
- Tránh deadlock bằng cách cấp phát tài nguyên sao cho hệ thống không đi đến trạng thái unsafe Nếu hệ thống đang ở trạng thái safe ⇒ không deadlock.



Giải thuật banker

- Áp dụng cho hệ thống cấp phát tài nguyên trong đó mỗi loại tài nguyên có thể có nhiều instance.
- Điều kiện
  - Mỗi process phải khai báo số lượng thực thể (instance) tối đa của mỗi loại tài nguyên mà nó cần
  - Khi process yêu cầu tài nguyên thì có thể phải đợi mặc dù tài nguyên được yêu cầu đang có sẵn
  - Khi process đã có được đầy đủ tài nguyên thì phải hoàn trả trong một khoảng thời gian hữu hạn nào đó.
- Giải thuật banker gồm
  - Giải thuật kiểm tra trạng thái an toàn
  - Giải thuật cấp phát tài nguyên
  - Giải thuật phát hiện deadlock

Thực hiện Giải thuật

n: số process, *m:* số loại tài nguyên

Các cấu trúc dữ liệu

Available: vector độ dài m

Available[j] = k ⇔ loại tài nguyên R_j có k instance sẵn sàng

Max: ma trận n × m

Max[i, j] = k ⇔ quá trình P_i yêu cầu tối đa k instance của loại tài nguyên R_j

Allocation: ma trận n × m

Allocation[i, j] = k ⇔ Pi đã được cấp phát k instance của Rj

Need: ma trận n × m

Need[i, j] = k ⇔ Pi có thể yêu cầu thêm k instance của Rj

Nhận xét: Need[i, j] = Max[i, j] – Allocation[i, j]

Ký hiệu Y ≤ X ⇔ Y[i] ≤ X[i], ví dụ (0, 3, 2, 1) ≤ (1, 7, 3, 2)

Thực hiện Giải thuật (tt.)

Tìm một chuỗi an toàn

1. Gọi Work và Finish là hai vector độ dài là m và n. Khởi tạo

   Work := Available

   Finish[i] := false, i = 1,…, n

2. Tìm i thỏa

   (a) Finish[i] = false

   (b) $Need_i \leq Work$ (hàng thứ i của Need)

   Nếu không tồn tại i như vậy, đến bước 4.

3. Work := Work + $Allocation_i$

   Finish[i] := true

   quay về bước 2.

4. Nếu Finish[i] = true, i = 1,…, n, thì hệ thống đang ở trạng thái safe

Thời gian chạy của giải thuật là $O(m \cdot n^2)$

Thực hiện Giải thuật (tt.)

- 5 process P_0 ,..., P_4
- 3 loại tài nguyên: A, gồm 10 instance; *B*, 5 instance; và *C*, 7 instance.
- Trạng thái cấp phát tài nguyên của hệ thống tại thời điểm T_0

	Allocation			Max			Available			Need			
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
P_0	0	1	0	7	5	3	3	3	2	7	4	3	❺
P_1	2	0	0	3	2	2				1	2	2	❶
P_2	3	0	2	9	0	2				6	0	0	❹
P_3	2	1	1	2	2	2				0	1	1	❷
P_4	0	0	2	4	3	3				4	3	1	❸

Thực hiện Giải thuật (tt.)

Dùng giải thuật kiểm tra trạng thái an toàn, tìm được một chuỗi an toàn là $\langle P_1, P_3, P_4, P_2, P_0 \rangle$:

	Allocation	Need	Work
	A B C	*A B C*	*A B C*
P_0	0 1 0	7 4 3	3 3 2
P_1	2 0 0	1 2 2	5 3 2
P_2	3 0 2	6 0 0	7 4 3
P_3	2 1 1	0 1 1	7 4 5
P_4	0 0 2	4 3 1	10 4 7 → 10 5 7

Giải thuật cấp phát tài nguyên

Gọi $Request_i$ (độ dài m) là request vector của process P_i .

$Request_i [j] = k \Leftrightarrow P_i$ cần k instance của tài nguyên R_j .

1. Nếu $Request_i \leq Need_i$ thì đến bước 2. Nếu không, báo lỗi vì process đã vượt yêu cầu tối đa.
2. Nếu $Request_i \leq$ Available thì qua bước 3. Nếu không, P_i phải chờ vì tài nguyên không còn đủ để cấp phát.

Giải thuật cấp phát tài nguyên (tt.)

3. Giả định cấp phát tài nguyên đáp ứng yêu cầu của P_i bằng cách cập nhật trạng thái hệ thống như sau:

$Available := Available - Request_i$
$Allocation_i := Allocation_i + Request_i$
$Need_i := Need_i - Request_i$

Áp dụng giải thuật kiểm tra trạng thái an toàn lên trạng thái trên

- Nếu trạng thái là safe thì tài nguyên được cấp thực sự cho P_i .
- Nếu trạng thái là unsafe thì P_i phải đợi, và phục hồi trạng thái:

$Available := Available + Request_i$
$Allocation_i := Allocation_i - Request_i$
$Need_i := Need_i + Request_i$

Giải thuật cấp phát tài nguyên (tt.)

- (tiếp ví dụ) Yêu cầu (1, 0, 2) của P_1 có thỏa đượckhông?
  - Kiểm tra điều kiện $Request_1 \leq Available$:
    - (1, 0, 2) ▪ (3, 3, 2) là đúng
  - Giả sử đáp ứng yêu cầu, kiểm tra trạng thái mới có phải là safe hay không:

	Allocation			Need			Available		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
P_0	0	1	0	7	4	3	2	3	0
P_1	3	0	2	0	2	0			
P_2	3	0	2	6	0	0			
P_3	2	1	1	0	1	1			
P_4	0	0	2	4	3	1			

  - Trạng thái mới là safe, với chuỗi an toàn là $\langle P_1, P_3, P_4, P_0, P_2 \rangle$, vậy có thể cấp phát tài nguyên cho P_1.

Giải thuật cấp phát tài nguyên (tt.)

	Allocation			Need			Available		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
P_0	0	1	0	7	4	3	2	3	0
P_1	3	0	2	0	2	0			
P_2	3	0	2	6	0	0			
P_3	2	1	1	0	1	1			
P_4	0	0	2	4	3	1			

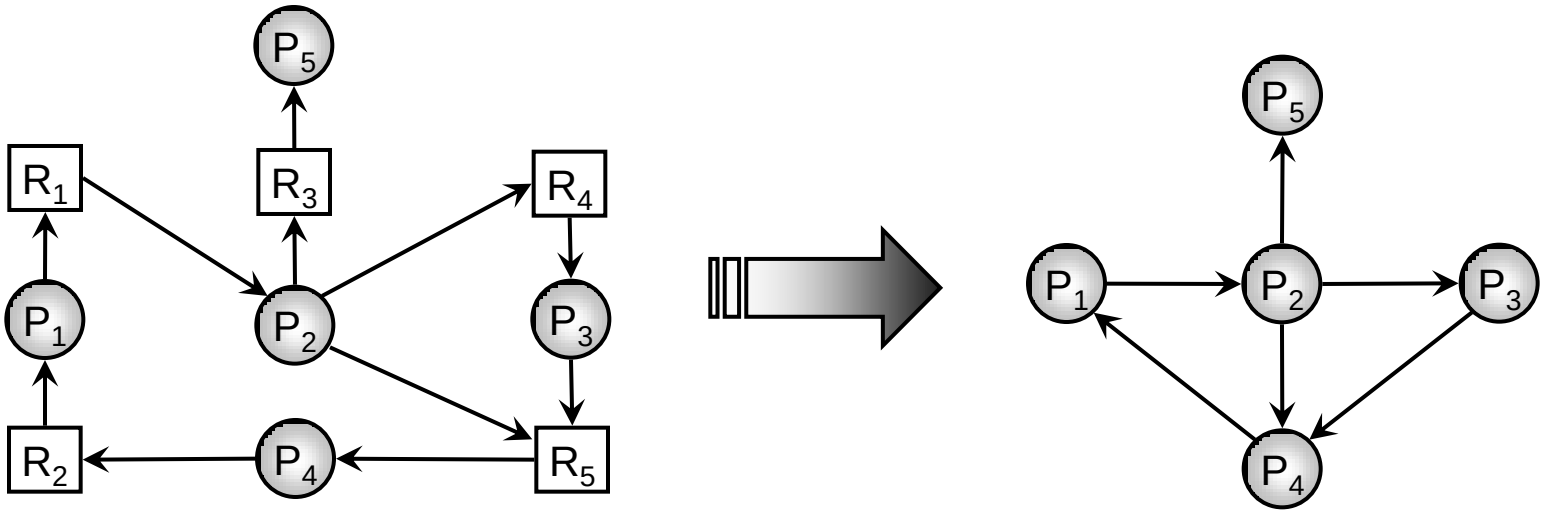
- P_4 yêu cầu (3, 3, 0) hoặc P_0 yêu cầu (0, 2, 0) thì có thỏa mãn được hay không?

Phát hiện deadlock

- Chấp nhận xảy ra deadlock trong hệ thống, kiểm tra trạng thái hệ thống bằng giải thuật phát hiện deadlock. Nếu có deadlock thì tiến hành phục hồi hệ thống
- Các giải thuật phát hiện deadlock thường sử dụng RAG.
- Giải thuật phát hiện deadlock được thiết kế cho mỗi trường hợp sau
  - Mỗi loại tài nguyên chỉ có một thực thể
  - Mỗi loại tài nguyên có thể có nhiều thực thể

Mỗi loại tài nguyên chỉ có một thực thể

- Sử dụng *wait-for graph*
  - Wait-for graph được dẫn xuất từ RAG bằng cách bỏ các node biểu diễn tài nguyên và ghép các cạnh tương ứng:
    - Có cạnh từ P_i đến P_j · P_i đang chờ tài nguyên từ P_j



- Gọi định kỳ một giải thuật kiểm tra có tồn tại chu trình trong wait-for graph hay không. Giải thuật phát hiện chu trình có thời gian chạy là $O(n^2)$, với n là số đỉnh của graph.

Mỗi loại tài nguyên có nhiều thực thể

- Phương pháp dùng wait-for graph không áp dụng được cho trường hợp mỗi loại tài nguyên có nhiều instance.
- Giả thiết: sau khi được đáp ứng yêu cầu tài nguyên, process sẽ hoàn tất và trả lại tất cả tài nguyên → giải thuật optimistic!
- Giải thuật phát hiện deadlock trường hợp mỗi loại tài nguyên có nhiều instance: các cấu trúc dữ liệu

  Available: vector độ dài m
  - số instance sẵn sàng của mỗi loại tài nguyên

  Allocation: ma trận n × m
  - số instance của mỗi loại tài nguyên đã cấp phát cho mỗi process

  Request: ma trận n × m
  - yêu cầu hiện tại của mỗi process.
  - Request [i, j] = k ⇔ Pi đang yêu cầu thêm k instance của Rj

Giải thuật phát hiện deadlock

1. Các biến *Work* và *Finish* là vector kích thước *m* và *n*. Khởi tạo:

   Work := Available

   i = 1, 2,…, n, nếu $Allocation_i \neq 0$ thì Finish[i] := false

   còn không thì Finish[i] := true

2. Tìm i thỏa mãn:

   Finish[i] := false và

   $Request_i \leq Work$

   Nếu không tồn tại i như thế, đến bước 4.

   thời gian chạy của giải thuật

   $O(m \cdot n^2)$

3. . Work := Work + $Allocation_i$

   Finish[i] := true

   quay về bước 2.

4. Nếu tồn tại i với Finish[i] = false, thì hệ thống đang ở trạng thái deadlock. Hơn thế nữa, nếu Finish[i] = false thì P_i bị deadlocked.

Giải thuật phát hiện deadlock (tt.)

- Nhận xét:
  - Khi giải thuật phát hiện deadlock không thấy hệ thống đang deadlock, chưa chắc trong tương lai hệ thống vẫn không deadlock.

Giải thuật phát hiện deadlock (tt.)

- Hệ thống có 5 quá trình P_0 ,..., P_4
- 3 loại tài nguyên: *A*, gồm 7 instance; *B*, 2 instance; *C*, 6 instance.

	Allocation			Request			Available		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
P_0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
P_1	2	0	0	2	0	2			
P_2	3	0	3	0	0	0			
P_3	2	1	1	1	0	0			
P_4	0	0	2	0	0	2			

Chạy giải thuật, tìm được chuỗi $\langle P_0, P_2, P_3, P_1, P_4 \rangle$ với Finish[i] = true, i = 1,..., n, vậy hệ thống không bị deadlocked

Giải thuật phát hiện deadlock (tt.)

- P_2 yêu cầu thêm một instance của *C*. Ma trận Request như sau:

Request

	A	*B*	*C*
P_0	0	0	0
P_1	2	0	2
P_2	0	0	1
P_3	1	0	0
P_4	0	0	2

- Trạng thái của hệ thống là gì (safe, unsafe, deadlock)?
  - Có thể thu hồi tài nguyên đang giữ bởi process P_0 nhưng vẫn không đủ đáp ứng yêu cầu của các process khác.
  - Vậy tồn tại deadlock, bao gồm các process P_1 , P_2 , P_3 , và P_4 .

Phục hồi khỏi deadlock

- Các giải pháp khi phát hiện deadlock
  - báo người vận hành (operator), người này sẽ xử lý tiếp

  hoặc
  - hệ thống tự động phục hồi bằng cách phá deadlock:
  - Giải pháp chấm dứt quá trình

  hoặc
  - Giải pháp lấy lại tài nguyên

Phục hồi khỏi deadlock: Chấm dứt quá trình

- Phục hồi hệ thống khỏi deadlock bằng cách
  - Chấm dứt tất cả process bị deadlocked, hoặc
  - Chấm dứt lần lượt từng process cho đến khi không còn deadlock
    - Sử dụng giải thuật phát hiện deadlock để xác định còn deadlock hay không
- Dựa trên yếu tố nào để chọn process cần được chấm dứt?
  - Độ ưu tiên của process
  - Thời gian đã thực thi của process và thời gian còn lại
  - Loại tài nguyên mà process đã sử dụng
  - Tài nguyên mà process cần thêm để hoàn tất công việc
  - Số lượng process cần được chấm dứt
  - Process là interactive process hay batch process

Phục hồi khỏi deadlock: Lấy lại tài nguyên

- Lần lượt lấy lại tài nguyên từ các process, cấp phát chúng cho process khác cho đến khi không còn deadlock nữa.
- Các vấn đề khi thu hồi tài nguyên:
  - Chọn "nạn nhân": chọn tài nguyên và process nào (có thể dựa trên số tài nguyên sở hữu, thời gian CPU đã tiêu tốn,...)?
  - Rollback: rollback process bị lấy lại tài nguyên trở về trạng thái safe, rồi tiếp tục process từ trạng thái đó. Do đó hệ thống cần lưu giữ một số thông tin về trạng thái các process đang thực thi.
  - Starvation: để tránh starvation, phải bảo đảm không có process nào mà luôn bị lấy lại tài nguyên mỗi khi phục hồi khỏi deadlock.

Kết luận

- Định nghĩa
- Điều kiện cần để Deadlock xảy ra
- Cc giải php