Capítulo 7: Impasse (Deadlocks)

Capítulo 7: Impasse (Deadlocks)

- O Problema do Impasse
- Modelo de Sistema
- Caracterização de Impasse
- Métodos para Manipular Impasses
- Prevenção de Impasse
- Evitar Ocorrência de Impasse
- Detecção de Impasse
- Recuperação de Situação de Impasse

Objetivos do Capítulo

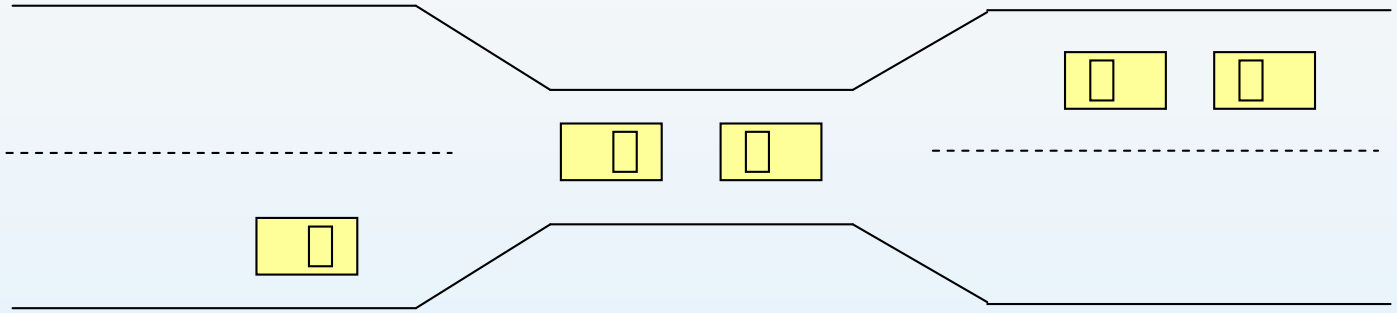
- Desenvolver a descrição de um impasse, o qual impede um conjunto de processos concorrentes de completar suas tarefas
- Apresentar alguns métodos diferentes para previnir ou evitar impasses em um sistema computacional.

O Problema do Impasse

- Um conjunto de processos bloqueados cada um detendo um recurso e esperando para adquirir um recurso detido por outro processo no conjunto.
- Exemplo
  - Sistema tem 2 unidades de disco.
  - P_1 e P_2 detêm uma unidade de disco e necessitam de outra.
- Exemplo
  - semáforos *A* e *B*, iniciados em 1

P_0	P_1
wait (A);	wait(B)
wait (B);	wait(A)

Exemplo do Cruzamento da Ponte



- Tráfego somente em uma direção.
- Cada seção da ponte pode ser vista como um recurso.
- Se ocorre um Impasse, ele pode ser resolvido se um carro retorna de ré (preempta recurso e desfaz operação - *rollback*).
- Vários carros podem ter que retornar (dar ré) na ocorrência de *Impasse*.
- *Starvation* (abandono) é possível.

Modelo de Sistemas

- Tipos de Recursos R_1, R_2, . . ., R_m

  ciclos de CPU, espaços de memória, dispositivos de E/S

- Cada tipo de recurso R_i tem W_i instâncias.
- Cada processo utiliza um recurso da seguinte forma:
  - requisição
  - uso
  - liberação

Caracterização de Impasse

Impasse pode ocorrer se quatro condições são satisfeitas simultaneamente.

- **Exclusão Mútua:** somente um processo de cada vez pode usar um recurso.
- **Posse e Espera:** um processo que está usando pelo menos um recurso e esperando que outros recursos, que estão nesse instante sendo usados por outros processos, sejam alocados para seu uso.
- **Inexistência de preempção:** um recurso só pode ser liberado voluntariamente pelo processo ao qual está alocado depois que o processo terminar de usá-lo.
- **Espera circular:** deve existir um conjunto $\{P_0, P_1, \ldots, P_0\}$ de processos em espera, tal que P_0 esteja esperando por um recurso alocado a P_1, P_1 que esteja esperando por um recurso alocado a P_2, …, P_{n-1} que esteja esperando por um recurso alocada a P_n, e P_0 esteja esperando por um recurso alocado a P_0.

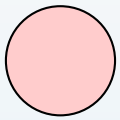
Grafo de Alocação de Recursos

Um conjunto de vértices *V* e de arcos (*edges*) *E*.

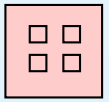
- V está particionado em dois tipos:
  - $P = \{P_1, P_2, \ldots, P_n\}$, conjunto que consiste de todos os processos no sistema.
  - $R = \{R_1, R_2, \ldots, R_m\}$, conjunto que consiste de todos os tipos de recursos do sistema.
- Arco de requisição – arco dirigido $P_1 \rightarrow R_j$
- Arco de alocação – arco dirigido $R_j \rightarrow P_i$

Grafo de Alocação de Recursos (Cont.)

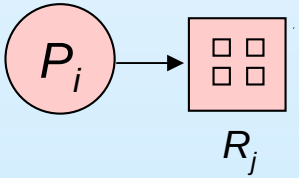
- Processos



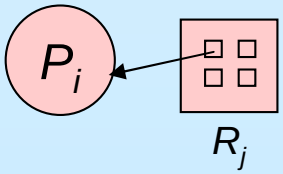
- Tipo de Recurso com 4 instâncias



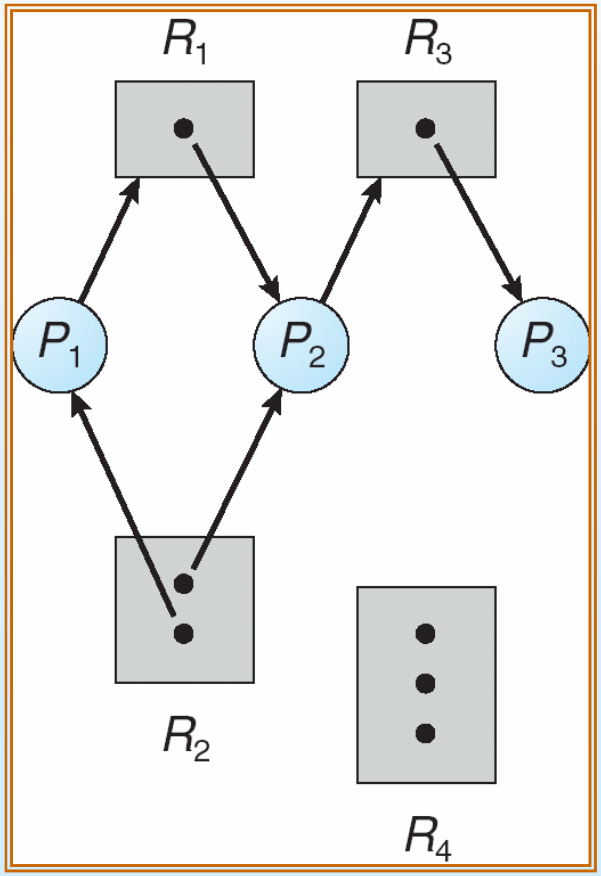
- P_i solicita uma instância de R_j



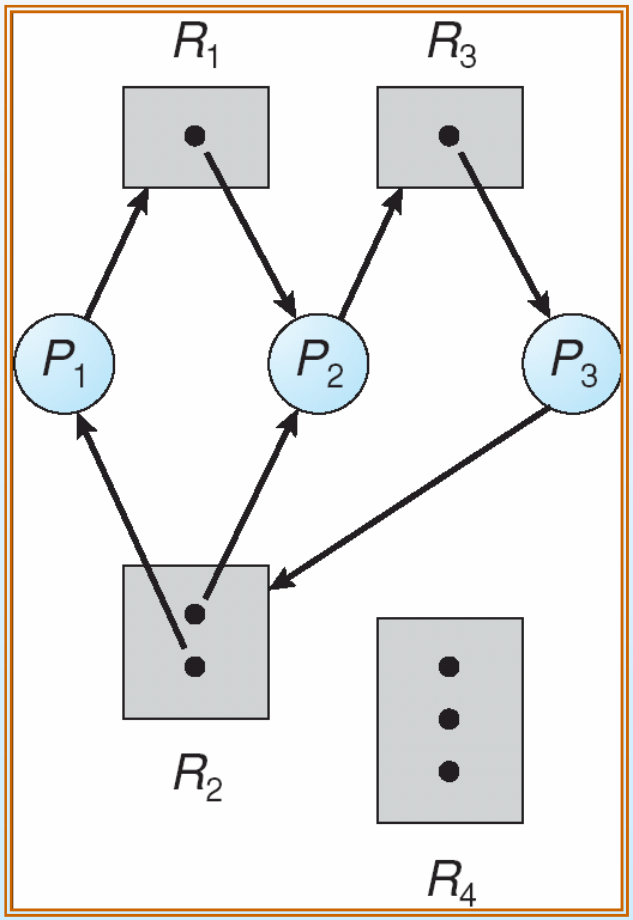
- P_i tem alocado uma instância de R_j



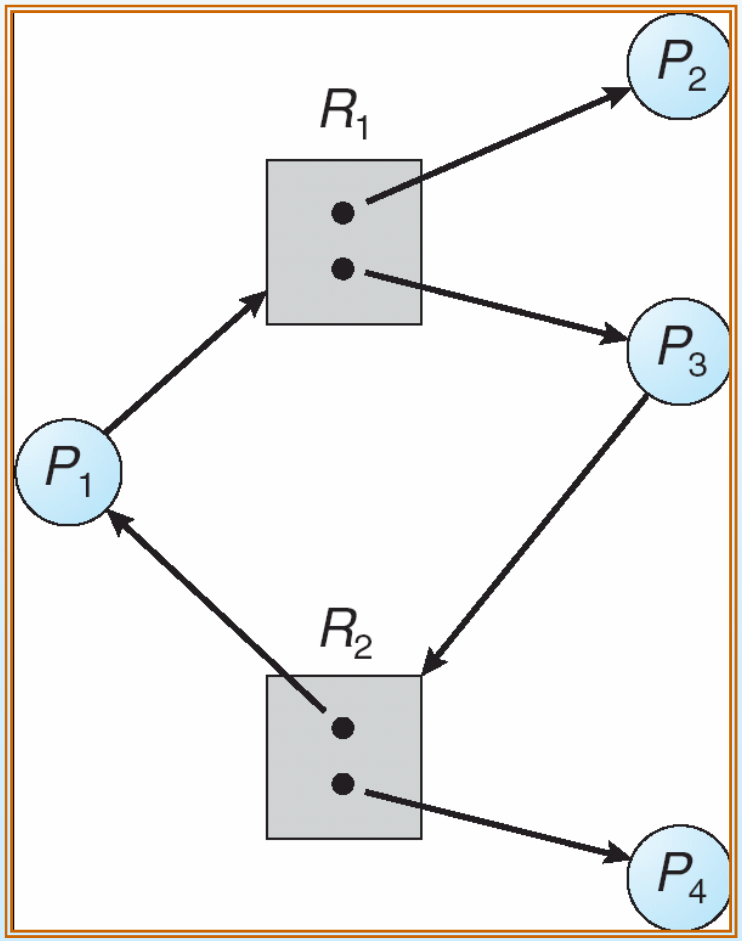
Exemplo de Grafo de Alocação de Recursos



Grafo de Alocação de Recursos com Impasse



Grafo de Alocação de Recursos com um Ciclo, Mas sem Impasse



Fatos Básicos

- Se um grafo não contém ciclos ⇒ não há *impasse*.
- Se um grafo contém um ciclo ⇒
  - Se existe somente uma instância por tipo de recurso, então há *impasse*.
  - Se existem várias instâncias por tipo de recurso, ocorre a possibilidade de *impasse*.

Métodos de Tratar Impasses

- Garantir que o sistema nunca entrará em estado de Impasse.
- Permitir ao sistema entrar em estado de impasse e então recuperar.
- Ignorar o problema e fingir que impasse nunca ocorrem no sistema; usado pela maior parte dos sistemas operacionais, incluindo o UNIX.

Prevenção de Impasse

Restringir as formas em que as requisições podem ser feitas.

- **Exclusão mútua** – não é necessária para recursos compartilháveis; deve ocorrer para recursos não compartilháveis.

- **Posse e Espera** – deve garantir que sempre que um processo requerer um recurso, ele não esteja de posse de nenhum outro recurso.
  - Exigir que um processo faça a requisição de recursos e tenha todos os recursos alocados antes do início da execução, ou permitir que processos façam requisição de recursos somente quando não possuírem nenhum.
  - Baixa utilização de recursos; possibilidade de abandono (*starvation*).

Prevenção de Impasse (Cont.)

- **Inexistência de Preempção** –
  - Se um processo que está detendo algum recurso requerer outro recurso que não pode ser imediatamente alocado a ele, então todos os recursos correntemente alocados a este processo são liberados.
  - Recursos preemptados são adicionados à lista de recursos pelos quais o processo está esperando.
  - Processo irá ser reiniciado apenas quando ele puder usar todos os recursos de que precisa, tanto os que estavam alocados a esse processo anteriormente quanto os novos que ele esteja requisitando.
- **Espera Circular** – impor um ordenação total de todas as classes de recursos e requerer que a requisição de recursos por cada processo sempre ocorra em uma ordem crescente.

Evitar Ocorrência de Impasse

Requer que o sistema tenha alguma informação adicional disponível antecipadamente.

- O modelo mais simples e mais útil necessita que cada processo declare o *número máximo* de recursos de cada classe que podem ser necessários.
- O algoritmo para evitar impasse examina dinamicamente o estado da alocação de recursos para garantir que nunca haverá uma condição de espera circular.
- O *estado* da alocação de recursos é definido pelo número de recursos disponíveis e alocados, e a demanda máxima de recursos por processos.

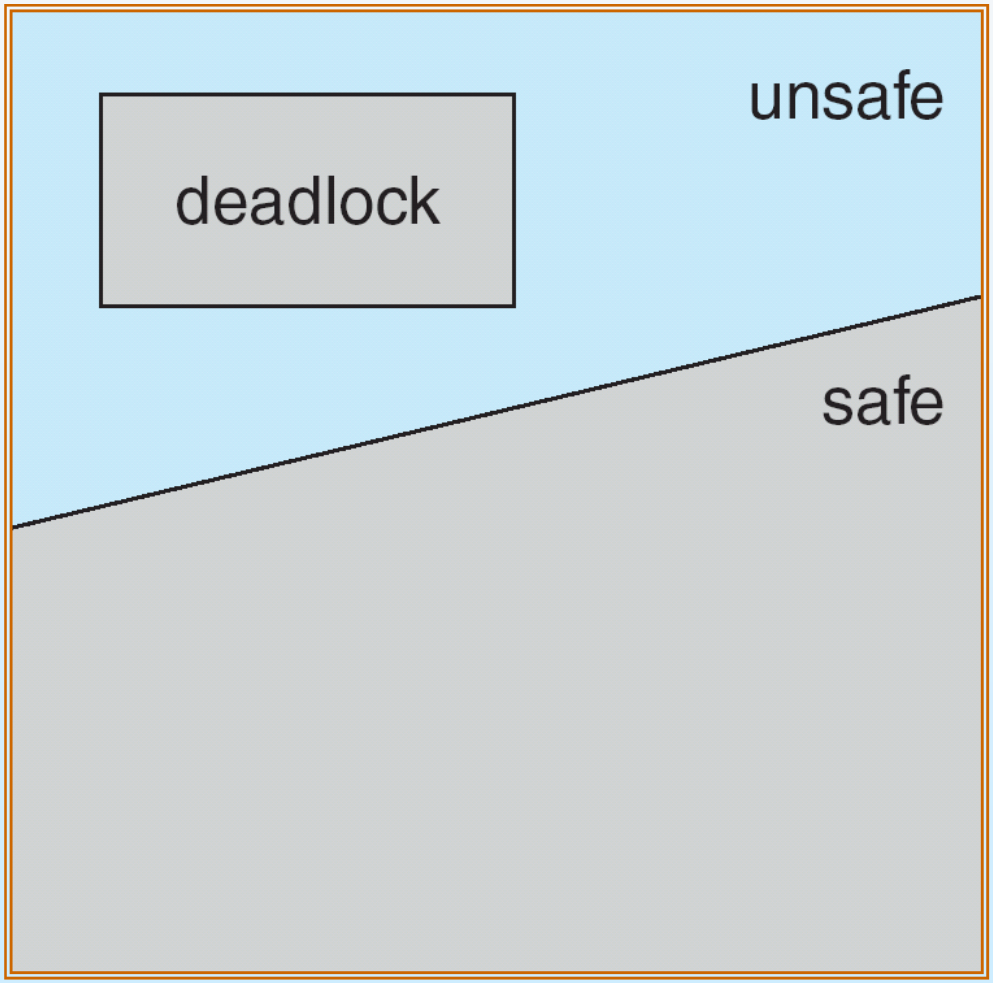
Estado Seguro

- Quando um processo solicita um recurso disponível para alocação, o sistema deve decidir se a alocação imediata leva o sistema para um estado seguro.
- Um sistema está em estado seguro se existe uma seqüência segura para todos os processos.
- A seqüência <P_1, P_2, …, P_n> é segura se para cada processo P_i, os recursos que *Pi* pode ainda vir a solicitar serão satisfeitos pelos recursos atualmente disponíveis e pelos recursos alocados por todos os processos P_j, sendo $j<I$.
  - Se os recursos que P_i necessitar não estiverem imediatamente disponíveis, P_i pode esperar até que todos os processos P_j tenham terminado.
  - Quando P_j estiver terminado, P_i pode obter os recursos necessários, executar, liberar recursos alocados e terminar.
  - Quando P_i termina, P_{i+1} pode obter os recursos que necessita e assim por diante.

Fatos Básicos

- Se o sistema está em um estado seguro ⇒ sem impasse.
- Se o sistema está em um estado inseguro ⇒ possibilidade de impasse.
- Evitar impasse ⇒ garantir que o sistema nunca vai entrar em um estado inseguro.

Estados Seguros, Não-Seguros e de Impasse



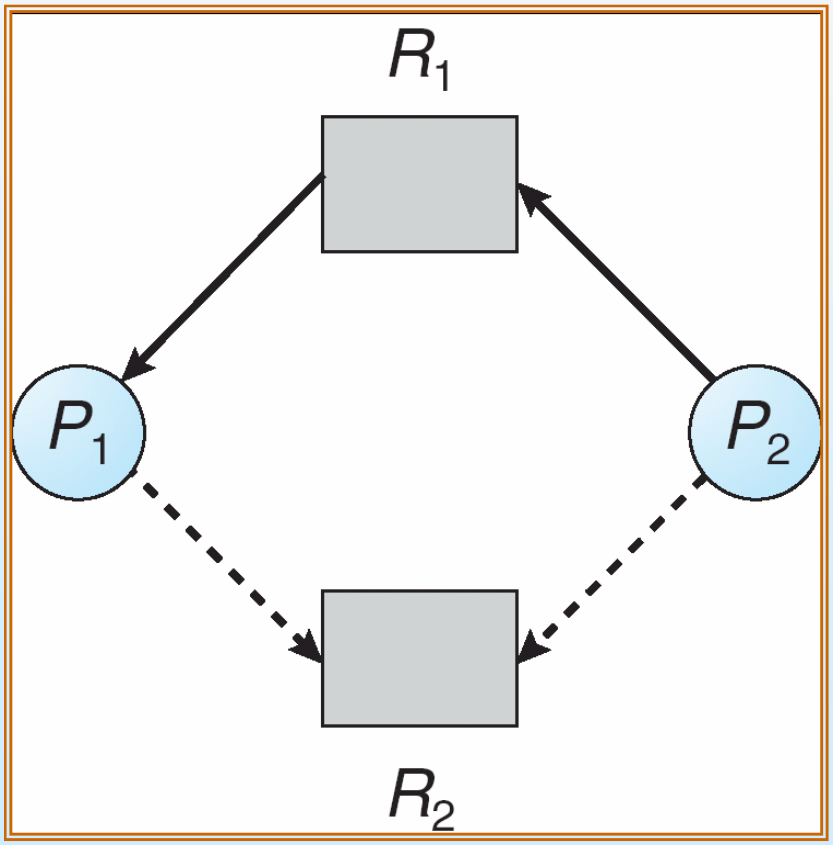
Algoritmos para Evitar Ocorrência

- Uma única instância de cada tipo de recurso. Usa um grafo de alocação de recursos
- Múltiplas instâncias de um tipo de recurso. Usa o algoritmo do banqueiro

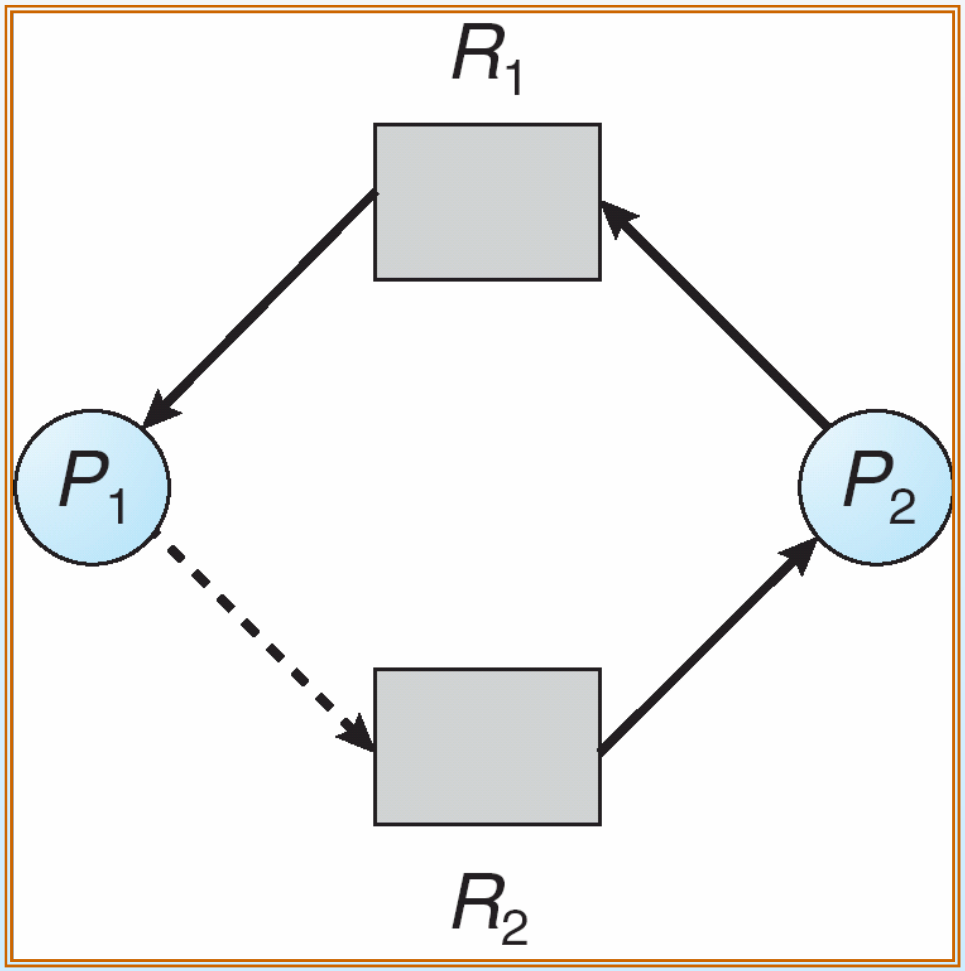
Esquema do Grafo de Alocação de Recursos

- Um *arco de reivindicação* $P_i \rightarrow R_j$ indica que o processo P_j pode requisitar o recurso R_j; e é representado por uma linha tracejada.
- Arcos de reivindicação são convertidos para *arcos de requisição* quando um processo efetivamente solicita um recurso.
- Arcos de requisição são convertidos para arcos de alocação quando o recurso é alocado ao processo.
- Quando um recurso é liberado por um processo, *arcos de alocação* são re-convertidos para arcos de reivindicação.
- Recursos devem ser reivindicados *a priori* em um sistema.

Gráfico de Alocação de Recursos



Um estado não-seguro no Grafo



Algoritmo do Grafo de Alocação de Recursos

- Suponha que o processo P_i solicita o recurso R_j
- A requisição pode ser concedida somente se ao converter o arco de requisição em arco de alocação não resultar na formação de um ciclo no grafo de alocação de recursos

Algoritmo do Banqueiro

- Classes de recursos com mais de um recurso.
- Cada processo deve inicialmente declarar o número máximo de recursos que irá usar.
- Quando um processo requer um recurso ele pode ter de esperar.
- Quando um processo obtém todos os recursos que necessita, ele deve liberá-los em uma quantidade de tempo finita.

Estrutura de Dados do Algoritmo do Banqueiro

Seja *n* = número de processos, e *m* = número de classes de recursos.

- ***Disponível*** (***Disp***)*:* Vetor de tamanho *m*. Se Disp [*j*] = *k*, existem *k* recursos da classe R_j disponíveis.
- ***Max****:* uma matriz *n x m*. Se *Max* [*i,j*] = *k*, então o processo P_i pode requerer no máximo *k* instâncias da classe de recursos R_j.
- ***Alocação*** (***Aloc***)*:* uma matriz *n x m*. Se *Aloc* [*i,j*] = *k* então P_i está no momento alocado *k* instâncias de R_j.
- ***Necessidade*** (***Ne***)*: uma matriz n x m*. Se *Ne* [*i,j*] = *k*, então P_i pode necessitar mais *k* instâncias de R_j para completar sua tarefa.

Ne [*i,j*] = *Max*[*i,j*] – *Aloc* [*i,j*].

Algoritmo de Segurança

1. Sejam ***trab*** e ***fim*** vetores de tamanho m e n, respectivamente. Inicie com:

   trab:= *Disp*

   fim [*i*] = *false* para *i* = 1,2, …, *n.*

2. Encontre *i* tal que ambos:

   (a) *fim* [*i*] = *false*

   (b) $Ne_i \leq trab$

   Se não existir tal *i*, vá para o item 4.

3. *trab* := *trab* + *Aloc;*
   fim[*i*] := *true*
   vá para o passo 2.

4. Se *fim* [*i*] = true para todo *i*, o sistema está em um estado seguro.

Algoritmo de Requisição de Recursos para o Processo P_i

req_i = vetor de requisição para o processo P_i. Se $req_i[j] = k$ então P_i requer k recursos da classe R_j.

1. Se $Req_i \leq Ne_i$ vá para o passo 2. Se não, indique a ocorrência de um erro, uma vez que o processo excedeu seu número máximo de requisição.
2. Se $Req_i \leq Disp$, vá para o passo 3. Se não P_i deve esperar, uma vez que os recursos não estão disponíveis.
3. Finja alocar recursos requisitados para P_i modificando o estado como segue:

$$Disp := Disp - Req_i;$$

$$Aloc_i := Aloc_i + Req_i;$$

$$Ne_i := Ne_i - Req_{i;;}$$

- *Se seguro* $\Rightarrow$ *os recursos são alocados para* P_i.
- *Se inseguro* $\Rightarrow P_i$ *deve esperar e o estado anterior, antes das atribuições feitas no passo 3, é recuperado*

Exemplo do Algoritmo do Banqueiro

- 5 processos P_0 a P_4;
- 3 classes de recursos:

  A (10 instâncias), B (5 instâncias), e C (7 instâncias).
- Situação no instante T_0:

	Aloc	*Max*	*Disp*
	A B C	*A B C*	*A B C*
P_0	0 1 0	7 5 3	3 3 2
P_1	2 0 0	3 2 2	
P_2	3 0 2	9 0 2	
P_3	2 1 1	2 2 2	
P_4	0 0 2	4 3 3	

Exemplo (Cont.)

- Conteúdo da matriz Ne. Ne é definido como Max – Aloc.

	Ne
	A B C
P_0	7 4 3
P_1	1 2 2
P_2	6 0 0
P_3	0 1 1
P_4	4 3 1

- O sistema está nesse instante em um estado seguro. De fato, a seqüência < P_1, P_3, P_4, P_2, P_0> satisfaz o critério de segurança.

Exemplo (Cont.): P_1 solicita (1,0,2)

- Verifique se Req ≤ Disp (isto é, (1,0,2) ≤ (3,3,2) ⇒ *true.*

	Aloc	*Ne*	*Disp*
	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 1	6 0 0	
P_3	2 1 1	0 1 1	
P_4	0 0 2	4 3 1	

- Executando o algoritmo de segurança mostra que a seqüência <P_1, P_3, P_4, P_0, P_2> satisfaz necessidade de segurança.
- Pode uma requisição de (3,3,0) por P_4 ser atendida?
- Pode uma requisição de (0,2,0) por P_0 ser atendida?

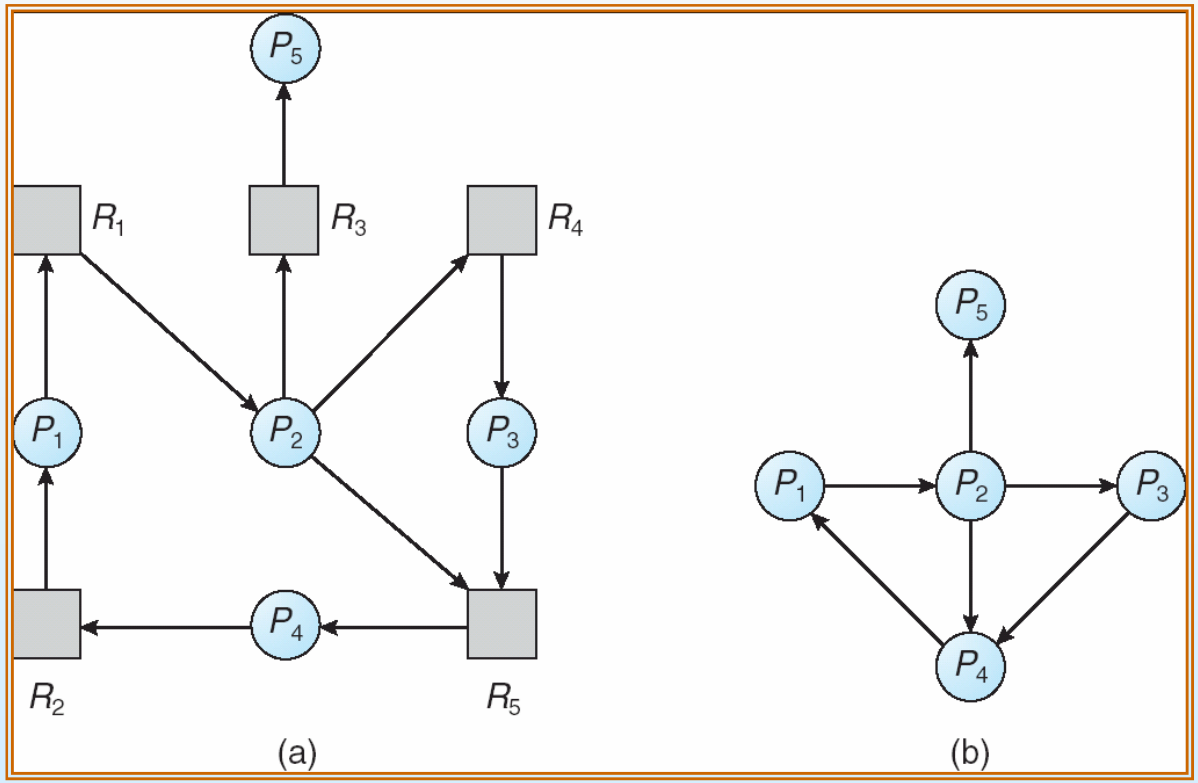
Detecção de Impasse

- Permite que o sistema entre em estado de impasse
- Algoritmo de detecção
- Esquema de recuperação

Única Instância de cada Tipo de Recurso

- Manter um grafo de espera
  - Nodos são processados.
  - $P_i \rightarrow P_j$ se P_i está esperando por P_j.
- Periodicamente usar um algoritmo para verificar se há ciclos no grafo. Se existem ciclos, existe impasse.
- Um algoritmo para detectar ciclos em um grafo requer algo na ordem de n^2 operações, onde n é o número de vértices no grafo.

Grafo de alocação de recursos e Grafo de espera correspondente



Grafo de alocação de recursos Grafo de espera correspondente

Várias Instâncias de um Tipo de Recurso

- ***Disp*:** Um vetor de tamanho *m* indica o número de recursos disponíveis de cada tipo.
- ***Aloc*:** Uma matriz *n x m* define o número de recursos de cada classe alocados a cada processo no instante atual.
- ***Req*:** Uma matriz *n x m* indica a requisição atual de cada processo. Se *Req* [*ij*] = *k*, então o processo P_i está requisitando mais *k* instâncias da classe R_j.

Algoritmo de Detecção

1. Sejam ***Trab*** e ***Fim*** vetores de tamanho *m* e *n*, respectivamente iniciados com:

   (a) *Trab* := *Disp*

   (b) Para $i = 1,2, \ldots, n$, se $Aloc_i \neq 0$, então *Fim*[i] := false;Se não, *Fim*[i] := *true*.

2. Ache um índice *i* tal que ambos:

   (a) *Fim*[*i*] = *false*

   (b) $Req_i \leq Trab$

   Se não existe tal *i*, vá para o passo 4.

Detection Algorithm (Cont.)

Trab := *Trab* + $Aloc_i$
Fim[*i*] := *true*
vá para o passo 2.

4. Se *Fim*[*i*] = false, para algum *i*, $1 \leq i \leq n$, então o sistema está em estado de impasse. Além disso, se *Fim*[*i*] = *false*, então P_i está em impasse.

Esse algoritmo requer na ordem de *m x n*2 operações para detectar se o sistema está em um estado de impasse.

Exemplo de Algoritmo de Detecção

- Cinco processos P_0 a P_4; Três classes de recursos A (7 instâncias), *B* (2 instâncias), e *C* (6 instâncias).
- Situação no momento T_0:

	Aloc	*Req*	*Disp*
	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	

- A seqüência <P_0, P_2, P_3, P_1, P_4> irá resultar em *Fim*[*i*] = true para todo *i*.

Exemplo (Cont.)

- P_2 solicita uma instância adicional de tipo C.

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

- Estado do sistema?
  - É possível liberar os recursos alocados ao processo P_0, mas os recursos disponíveis não são suficientes para atender às requisições dos outros processos.
  - Existe impasse entre os processos P_1, P_2, P_3 e P_4.

Uso do Algoritmo de Detecção

- Quando, e quão freqüentemente, usar o algoritmo depende de:
  - Com que freqüência ocorre um impasse?
  - Quantos processo serão afetados quando ocorre um impasse?
    - Um para cada ciclo disjunto

- Se algoritmo de detecção for usado arbitrariamente, podem ocorrer muitos ciclos no grafo de recursos e então não seria possível saber qual processo envolvido “causou” o impasse.

Recuperação de *Impasse*: Terminação de Processo

- Abortar todos os processos em impasse.
- Abortar um processo de cada vez até que o ciclo de impasse seja eliminado.
- Em que ordem deve-se abortar os processos?
  - Prioridade dos processos.
  - Há quanto tempo a execução do processo foi iniciada e quanto tempo mais será necessário para que o processo termine.
  - Recursos que o processo usou.
  - Recursos necessários para o processo terminar.
  - Términos de execução de processos que serão necessários.
  - Se o processo é interativo ou não.

Recuperação de Impasse: Preempção de Recurso

- Selecionar uma vítima – minimiza o custo.
- Retornar (*Rollback*) – retornar para um estado seguro, reiniciar o processo deste ponto.
- Abandono (*Starvation*) – o mesmo processo pode ser sempre escolhido como vítima, incluir o número de *rollbacks* no fator de custo.

Fim do Capítulo 7