Capítulo 5: Escalonamento da CPU

SUMÁRIO:

- Conceitos básicos
- Critérios de escalonamento
- Algoritmos de escalonamento
- Escalonamento multi-processador
- Escalonamento em tempo real

Conceitos básicos

Objectivo do escalonamento do processador (principal recurso):

É maximizar a utilização da CPU via multiprogramação.

Ideia base da multiprogramação:

Quando um processo tem de esperar (p.ex operação I/O), o sistema operativo retira-lhe a CPU, dando-a a outro processo.

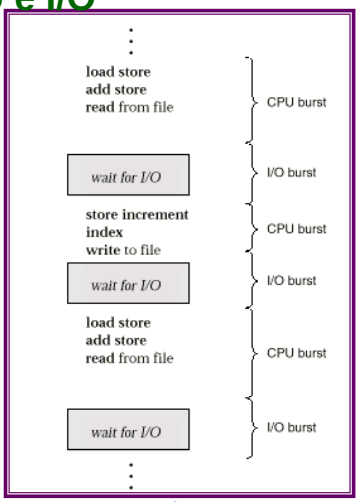
Conceitos básicos:

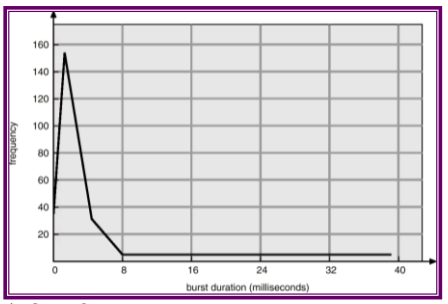
- **Ciclo "burst CPU"-"I/O" –** execução dum processo consiste dum ciclo de execução na CPU e espera I/O
- **Escalonador da CPU**
- **Escalonamento preemptivo**
- **Despachador**

Sequência alternada de intermitências de CPU e I/O

- O sucesso do escalonamento da CPU depende da seguinte observação sobre os processos:

A execução dum processo consiste em vários ciclos CPU-I/O tal que uma intermitência (*burst*) de execução da CPU alterna com uma intermitência (*burst*) de espera pela finalização duma operação I/O.





Histograma de CPU bursts

Os processos *I/O-bound* têm em geral um grande número de *CPU bursts* de curta duração.

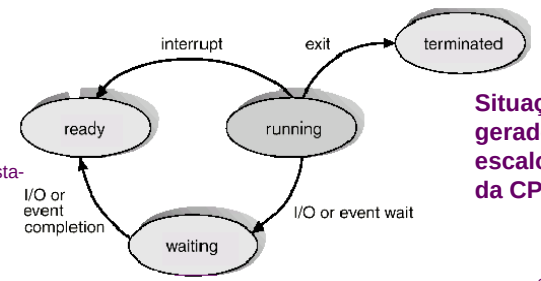
Os processos *CPU-bound* têm em geral um pequeno número de *CPU-bursts* de longa duração.

Escalonador da CPU

- Sempre que a CPU fica livre, cabe ao sistema operativo **seleccionar** um dos processos da ready queue a fim de o colocar em execução.
- A **selecção** é efectuada pelo escalonador de curto prazo ou escalonador da CPU.
- O escalonamento da CPU pode ter lugar quando um processo:
  1. Comuta do estado RUNNING para o estado WAITING.
  2. Comuta do estado RUNNING para o estado READY.
  3. Comuta do estado WAITING para o estado READY.
  4. Termina.

Ready queue é uma abstracção ..

Pode ser fifo, fila de prioridades, arvore, lista-ligada simples etc.



Situações geradoras de escalonamento da CPU

Escalonamento Não-Preemptivo

As decisões de escalonamento da CPU têm lugar nas 4 seguintes circunstâncias:

1. um processo comuta do estado running para o estado waiting.
   - Interrupção I/O ou Sleep
   - Chamado ao sistema **wait() – espera a** terminação dum processo filho.
2. **um processo comuta do estado running para o estado ready**
   - **Ocorrência dum interrupção**
3. **um processo comuta do estado waiting para o estado ready**
   - **Terminação de I/O**
   - **Recurso livre**
4. Um processo termina
   - System call _exit()

O processo ocupa a CPU até ao seu término ou até que passe ao estado waiting as 1ª e 4ª situações.

Agora um novo processo da "ready queue" tem que ser seleccionado para execução.

O escalonamento é dito ser não-preemptivo

MS Windows 3.1, MAC OS (antes de OSX), SO's especializadas.

Os sistemas operativos não-preemptivos não são adequados para sistemas de tempo real, pois não garantem a execução em primeiro lugar dos processos com prioridade mais alta.

Cooperative Multitasking : one poorly designed program can consume all of the CPU time for itself or cause the whole system to hang.

Escalonamento Preemptivo

As decisões de escalonamento da CPU têm lugar nas 4 seguintes circunstâncias:

1. um processo comuta do estado running para o estado waiting.
   - Interrupção I/O ou Sleep
   - Chamado ao sistema **wait() – espera a** terminação dum processo filho.
2. **um processo comuta do estado running para o estado ready**
   - **Ocorrência dum interrupção**
3. **um processo comuta do estado waiting para o estado ready**
   - **Terminação de I/O**
   - **Recurso livre**
4. Um processo termina
   - System call _exit()

Preemptive multitasking involves the use of an interrupt mechanism which suspends the currently executing process and invokes a scheduler to determine which process should execute next.

Preempção nas 2ª e 3ª situações.

Necessite algum Hardare/Mecansimo especifico (Hardware Timer)

Mas aqui há um custo a pagar. Considere que dois processos partilham dados. Um dos processos está a actualizar os dados quando ocorre a preempção do segundo processo que passa a executar e a ler os dados. Os dados assim podem ficar num estado inconsistente.

Acesso sincronizado aos dados ..estudado mais tarde.

Algumas tarefas (do OS) não são "interuptaveis" p.ex o proprio "interrupt handler routine"

Despachador

- É o módulo que despacha o controlo da CPU para o processo seleccionado pelo escalonador de curto-prazo.
- Executa as seguintes operações :
  - comutação de contexto
  - comutação para o modo de utilizador
  - salto para o endereço certo de memória do programa por forma a (re-)executá-lo
- O despacho deve ser tão rápido quanto possível.
- O tempo que decorre entre a paragem de execução dum processo e o início doutro é designado por ***latência de despacho***.

Critérios de Escalonamento

Há vários critérios para comparar algoritmos de escalonamento:

- **Utilização da CPU**: maximizar a utilização da CPU. Deve variar entre 40% e 90% em sistemas de tempo real. Um critério de maximização.
- **Débito** (throughput): maximizar o nº de processos concluídos por unidade de tempo. Critério de maximização.
- **Tempo de circulação** (turnaround): tempo que decorre entre o instante em que um processo é submetido e o instante em que é concluído. Critério de minimização.
- **Tempo de espera**: é a soma dos períodos dispendidos na ready queue. Critério de minimização.
- **Tempo de resposta**: minimizar o tempo que decorre entre a submissão dum pedido e o início da resposta. Este critério é adequado para sistemas interactivos. Critério de minimização.

geralmente usamos uma média

Algoritmos de Escalonamento

- **First-Come, First-Served (FCFS**
- **Shortest-Job-First (SJT)**
- **Prioridade**
- **Round-Robin (R-R)**
- **Multi-fila**
- **Multi-fila com transbordo**

Metricos :

TME Tempo Médio de Espera

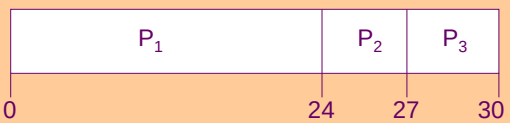
TMT Tempo Médio de Turnaround

First-Come, First-Served (FCFS)

- O algoritmo mais simples: processos são seleccionados ou *servidos* pela ordem de chegada à ready queue.
- Assim que a CPU é libertada, o processo à cabeça da *ready queue* é seleccionado e despachado para a CPU.

Processo	Burst Time
P_1	24
P_2	3
P_3	3

- Suponha que os processos chegam pela ordem: P_1 , P_2 , P_3
  A Carta Gantt de escalonamento é:



- Tempos de espera: P_1 = 0; P_2 = 24; P_3 = 27
- TME: (0 + 24 + 27)/3 = 17

FCFS (Cont.)

- Suponha que os processos chegam pela ordem: P_2 , P_3 , P_1 .
- A Carta de Gantt de escalonamento é:

- Tempos de espera $P_1 = 6$; $P_2 = 0$; $P_3 = 3$
- TME: (6 + 0 + 3)/3 = 3
  - Muito melhor que o caso anterior.
  - *Convoy effect*: processo curto antes de processo longo

Conclusões FCFS

- O tempo médio de espera é, por vezes, bastante elevado, mas isto depende muito da duração e frequência dos bursts.
- O algoritmo FCFS não é preemptivo. Não é, pois, adequado para sistemas interactivos (time sharing) ou de tempo real.
- Batch Systems – Pode ser Adequado

Shortest-Job-First (SJF)

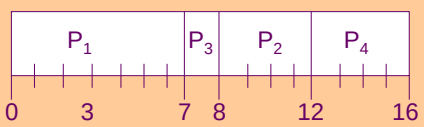
- Associa-se a cada processo (ao PCB) o tempo do seu próximo CPU burst.
- Usa-se estes tempos para escalonar/seleccionar o processo com o CPU burst mais pequeno.
- Quando dois processo têm o mesmo CPU burst, o desempate faz-se por FCFS.
- Dois esquemas:
  - **não-preemptivo** – uma vez a CPU atribuída a um processo, este não pode ser preempcionado até completar o seu CPU burst.
  - **preemptivo** – se um novo processo chega à ready queue com um CPU burst menor que o tempo restante do processo em execução, então há preempção. Este esquema é conhecido por Shortest-Remaining-Time-First (SRTF).
- SJF é óptimo – uma vez que minimiza o tempo médio de espera dum dado conjunto de processos.
- O problema está em determinar qual é o valor do próximo CPU burst dum processo.

Exemplos

SJF não-preemptivo

Processo	Arrival Time	Burst Time
P_1	0.0	7
P_2	2.0	4
P_3	4.0	1
P_4	5.0	4

- SJF (**não-preemptivo**)

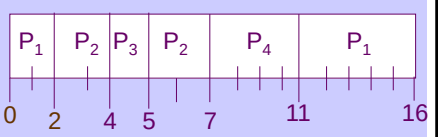


- Tempo médio de espera
  (0 + 6 + 3 + 7)/4 = 4

SJF preemptivo

Processo	Arrival Time	Burst Time
P_1	0.0	7
P_2	2.0	4
P_3	4.0	1
P_4	5.0	4

- SJF (**preemptivo**)



- Tempo médio de espera
  (9 + 1 + 0 +2)/4 = 3

Determinição da duração do Proximo CPU Burst

- Apenas uma estimativa é possível
- Utilize-se uma média móvel baseado na duração de CPU bursts anteriores

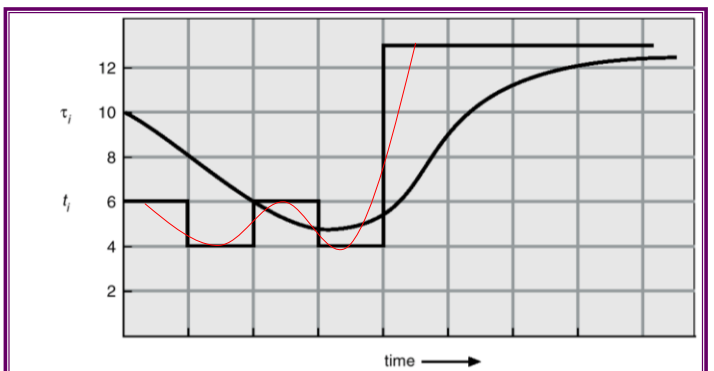
1. $t_n = duração\ verdadeira\ do\ n^{th} CPU\ burst$
2. $\tau_{n+1} = valor\ estimado\ para\ o\ proximo\ CPU\ burst$
3. $\alpha, 0 \le \alpha \le 1$
4. *Define :*

$$\tau_{n=1} = \alpha\, t_n + (1-\alpha)\tau_n.$$

Os bancos e Euribor

Valor típico de alpha=0.5.

Previsão da duração do proximo CPU Burst



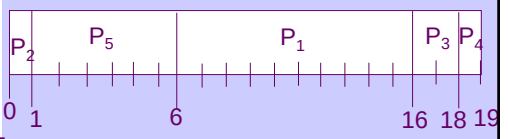
CPU burst (t_i)		6	4	6	4	13	13	13	...
"guess" (τ_i)	10	8	6	6	5	9	11	12	...

Escalonamento por prioridades

- O algoritmo SJF é um caso particular do algoritmo de escalanomento por prioridades, em que a prioridade é o próximo tempo previsível de CPU burst.
- Uma prioridade é atribuída a cada processo, e o escalonador atribui a CPU ao processo com maior prioridade (menor inteiro).
  - preemptivo
  - não-preemptivo
- Se dois processos têm a mesma prioridade, o desempate é feito recorrendo ao FCFS
- **Problema** ≡ inanição (starvation) – processos de baixa prioridade arriscam-se a nunca executar.
- **Solução** ≡ envelhecimento (aging) – à medida que o tempo passa, a prioridade dum processo aumenta.

Processo	Prioridade	Burst Time
P_1	3	10
P_2	1	1
P_3	3	2
P_4	4	1
P_5	2	5

- **não-preemptivo**



- Tempo médio de espera = 8.2

Critérios de prioridade

A prioridade atribuída a um processo pode ser definida em função dos seguintes factores:

Factores internos:

- limites de tempo
- requisitos de memória
- nº de ficheiros abertos
- duração média dos bursts de I/O
- duração média dos bursts de CPU

Factores externos:

- importância do processo
- preço pago pela utilização
- proprietário do processo

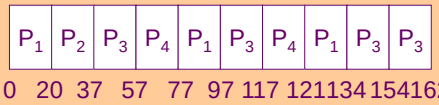
Round Robin (RR)

- Este algoritmo foi concebido para sistemas de *time-sharing.*
- É semelhante ao FCFS, mas é preemptivo.
- Cada processo obtém uma pequena unidade de tempo na CPU (*time quantum* ou *time slice*), vulgarmente 10-100 milisegundos. Após decorrer este tempo, o processo é preempcionado e adicionado à cauda da fila READY. A fila READY é tratada como uma fila circular.
- Se há *n* processos na fila READY e o time quantum é *q*, então cada processo obtém 1/*n* do tempo da CPU em fatias de q unidades de tempo duma vez. Nenhum processo espera mais do que (*n*-1)*q* unidades de tempo.
- Desempenho
  - *q* grande ⇒ FIFO
  - *q* pequeno ⇒ *q* tem de ser grande relativamente à comutação de contexto; caso contrário, a sobrecarga é muito elevada.

time quantum = 20 ms

Process	Burst Time
P_1	53
P_2	17
P_3	68
P_4	24

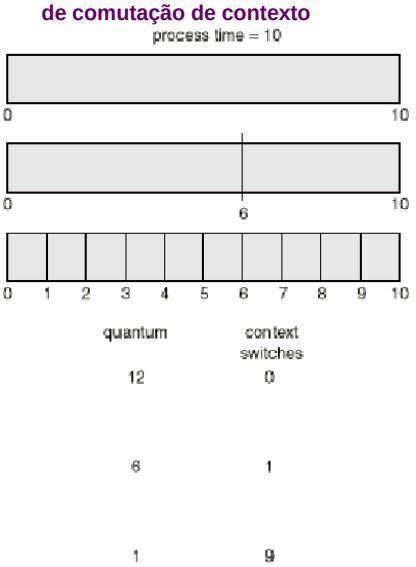
- A Carta Gantt é:



- Tipicamente, turnaround médio é mais elevado do que SJF, mas tem melhor *resposta*.

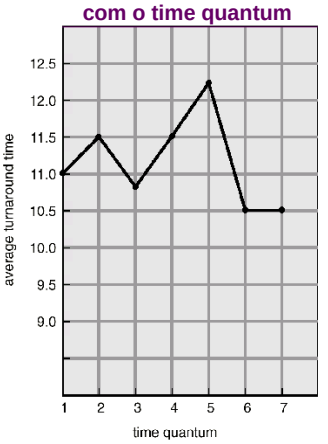
Comparação de tempos de processamento

time quantum *versus* tempo de comutação de contexto



quantum	context switches
12	0
6	1
1	9

tempo de turnaround varia com o time quantum

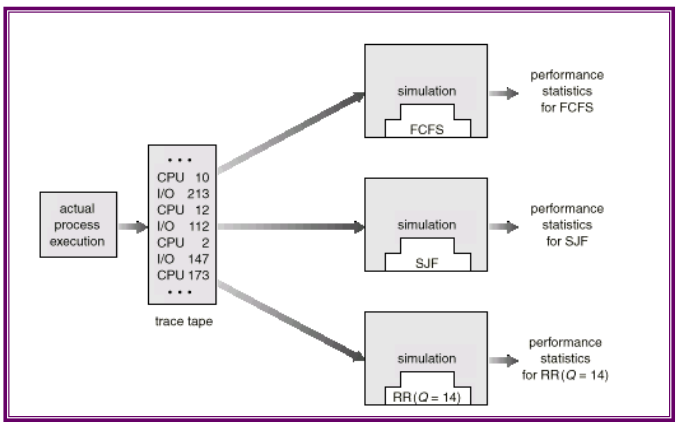


process	time
P_1	6
P_2	3
P_3	1
P_4	7

Algorithm Evaluation

- Modelação e Simulação
  - Define um workload e depois simule o desempenho de cada algoritmo para este workload. Workloads podem ser :
    - Determinística – Define um workload baseando por exemplo em dados reais ou inventados
    - Aleatório – utilizando processos aleatórios e probabilísticos
      - tempo de chegada ‘’poisson”
      - burst time .. “exponencial”
- Analise Matemática
  - Queueing models M/M/1 etc.

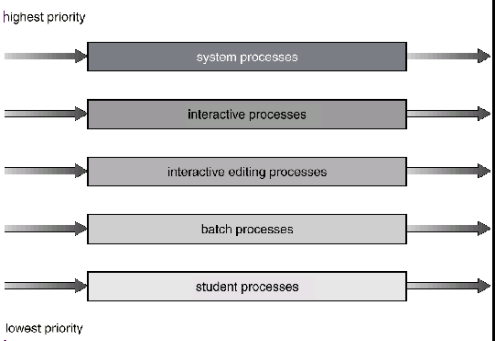
Evaluation of CPU Schedulers by Simulation



Fila multi-nível

- Este tipo de escalonamento é usado quando é fácil classificar os processos em classes distintas (processos interactivos, processos batch, etc.).
- A fila READY é particionada em várias filas, uma por cada classe de processos
  foreground (interactive)
  background (batch)
- Cada fila tem o seu próprio algoritmo de escalonamento:
  foreground – RR
  background – FCFS
- O escalonamento entre as filas tem de ser feito.
  - Escalonamento de prioridades fixas; (i.e serve todas as filas, desde as foreground até às background). Problema:inanição.
  - Time slice – cada fila obtém uma certa quantidade de tempo da CPU que pode ser escalonado pelos seus processos; por exemplo., 80% para foreground em RR20% para background em FCFS

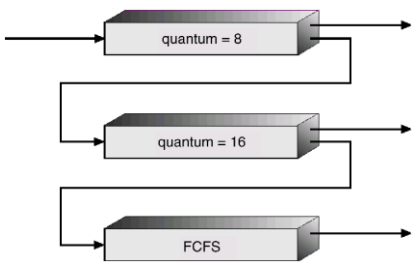
escalonamento de fila multi-nível



Fila multi-nível com transbordo

- Um processo pode mover-se entre várias filas; a técnica de envelhecimento pode ser implementada desta forma.
- Outras características:
  - prioridades por fila
  - preempção
  - generalidade
  - configurabilidade

exemplo



- Três filas:
  - Q_0 – time quantum de 8 milisegundos
  - Q_1 – time quantum de 16 milisegundos
  - Q_2 – FCFS
- Escalonamento
  - Um novo processo entra na fila Q_0, a qual segue uma política FCFS. Quando ganha a CPU, o processo recebe 8 ms. Se não termina em 8 ms, o processo é transladado para a fila Q_1.
  - Em Q_1, o processo é servido novamente por uma política de escalonamento FCFS e recebe 16 ms adicionais. Se mesmo assim não termina, o processo é preempcionado e transladado para a fila Q_2.

Escalonamento Multi-Processor

- Não existe uma solução óptima de escalonamento mesmo para sistemas uniprocessador.
- O problema do escalonamento torna-se ainda mais complexo para sistemas multiprocessador.
- *Processadores homogéneos* dentro do sistema multi-processador.
- *Partilha de carga*
- *Multi-processamento assimétrico* – só um processador acede às estruturas de dados do sistema, aliviando a necessidade de partilha de dados.
- É usada uma **única fila ready**, e não uma fila por processador, para evitar que haja algum processador inactivo enquanto outros têm processos na suas filas ready à espera.

- **Há duas políticas de escalonamento multiprocessador:**
  - **Processadores auto-escalonáveis.** Neste caso, cada processador é responsável pela selecção dum processo existente na fila ready partilhada.
  - **Processador mestre - processador escravo.** Há um processador (mestre) que desempenha o papel de escalonador dos restantes (escravos)

Cf a Caixa-Geral e McDonalds !!

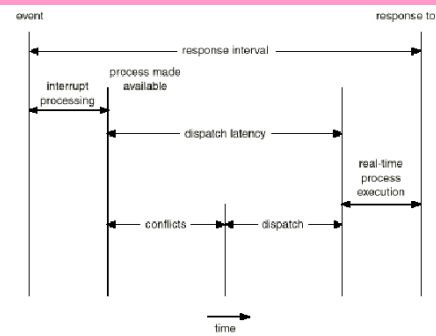
Escalonamento em tempo-real

Dois tipos de sistemas operativos de tempo real:

- **sistemas <u>estritos</u> de tempo real** (*hard real-time systems*). São necessários para garantir a conclusão duma tarefa crítica dentro duma quantidade de tempo pré-definida.
- **sistemas <u>latos</u> de tempo real** (*soft real-time systems*). São menos restritivos. Mas, os processos críticos têm sempre a máxima prioridade.

Escalonamento:

- **Escalonamento por prioridades.** Processos de tempo real têm prioridade máxima.
- **Manutenção da prioridade.** Ao contrário doutros processos, um processo de tempo real mantém a sua prioridade.
- **Latência de despacho**. Deve ser baixa o mais possível. Para isso, há sistemas operativos que admitem a preempção das "chamadas ao sistema" de longa duração.



Fim de Capítulo