Escalonamento do CPU

João Paulo

Grupo de Sistemas Distribuídos
Departamento de Informática
Universidade do Minho

Escalonamento do CPU

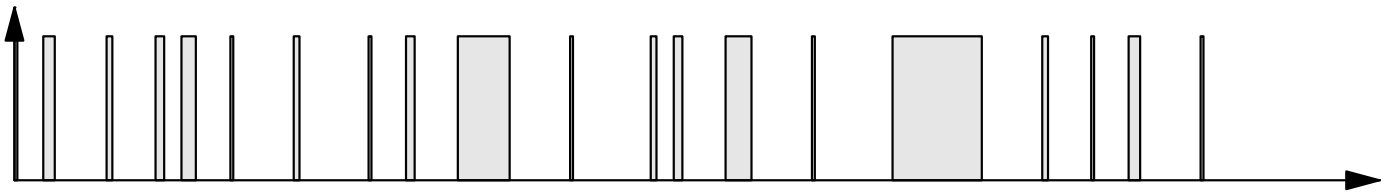
- O Scheduler escolhe qual o processo pronto que corre em seguida
- Invocado possivelmente aquando:
  - interrupções de relógio (fim de fatia de tempo)
  - interrupções de I/O
  - chamadas ao sistema

Dispatcher

- O Dispatcher dá controlo do processador ao processo escolhido pelo escalonador de CPU; envolve:
  - mudança de contexto (comutação de processo)
  - comutação para modo utilizador
  - recomeçar o programa na localização apropriada
- A latência de despacho é o tempo que o dispatcher demora a "parar"um processo e recomeçar a correr outro

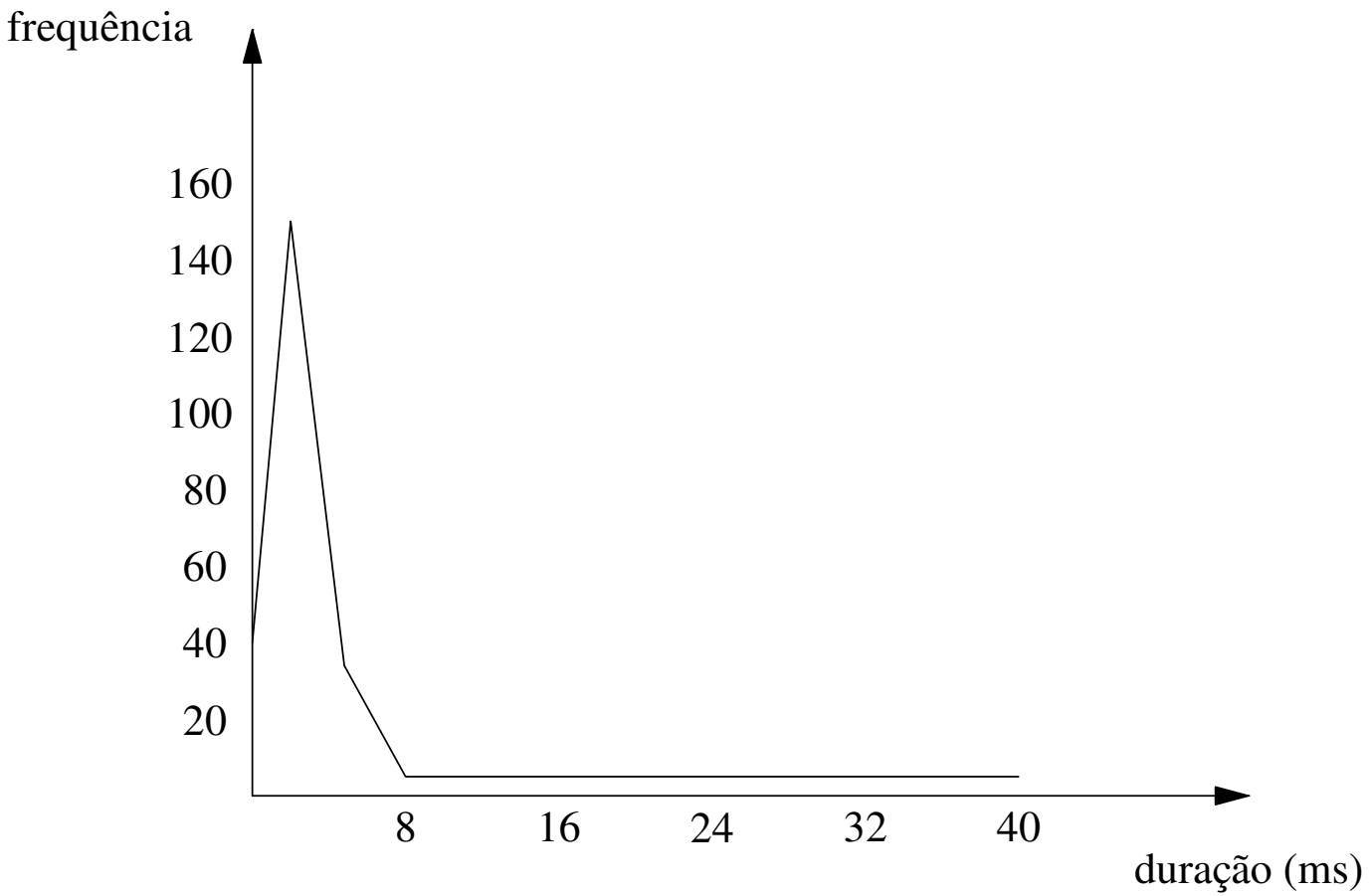
CPU-bursts

- Cada processo a executar alterna entre
  - uso do CPU e
  - espera por I/O
- Para o escalonamento é relevante a duração de cada período de utilização do CPU pelos processos:



Histograma da duração dos CPU-bursts

- Muitos bursts de curta duração
- Poucos bursts de longa duração



Critérios para escalonamento

- Maximizar utilização do CPU: manter o CPU ocupado (em tarefas úteis)
- Maximizar throughput: número de processos executados por unidade de tempo
- Minimizar turnaround time: tempo que demora a executar um processo
- Minimizar tempo de espera: tempo que processo passa na ready queue
- Minimizar tempo de resposta: tempo que demora desde a submissão de um pedido até ser produzida a primeira resposta

Critérios para escalonamento: utilizador versus sistema

- Orientados ao utilizador:
  - turnaround time: para sistemas batch
  - tempo de resposta: para sistemas interactivos
- Orientados ao sistema:
  - utilização do CPU
  - throughput
  - tempo de espera

Duas componentes das políticas de escalonamento

- Função de selecção: qual processo da ready queue seleccionar para correr em seguida
- Modo de selecção: quando é que a selecção é exercida
  - Cooperativo (non-preemptive)
  - Com desafectação forçada (preemptive)

Algoritmos de escalonamento

- FCFS: first-come, first-served
- SJF: shortest job first
- SRT shortest remaining time
- Escalonamento por prioridade
- RR: round-robin
- Multilevel queue
- Multilevel feedback queue
- ...

FCFS: first-come, first-served

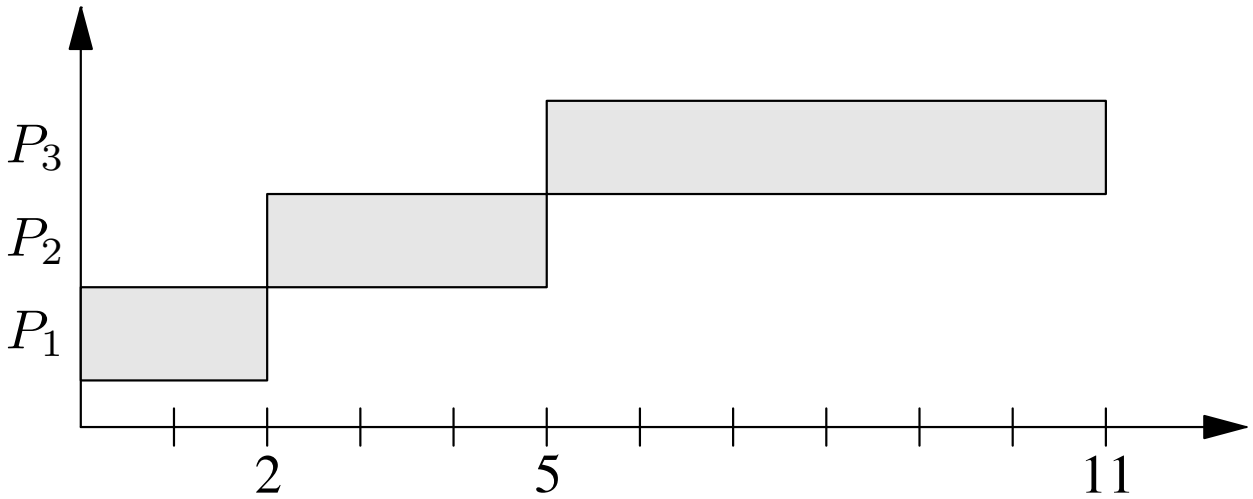
Função de selecção

O processo que está há mais tempo na ready queue

Modo de selecção

Cooperativo: processos correm até se bloquearem voluntariamente

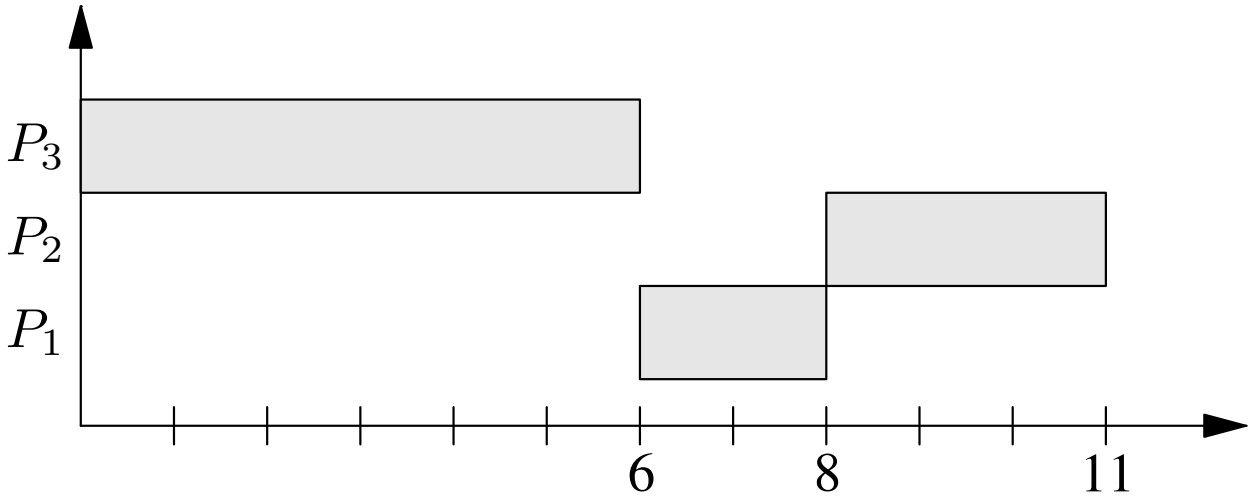
Se ordem de chegada é $P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$, com bursts 2, 3, e 6:



FCFS: first-come, first-served

- Muitos inconvenientes; favorece processos CPU-bound
- Processo que não faz I/O monopoliza processador
- Um processo demorado que chegue primeiro faz todos os outros esperarem muito

Se ordem de chegada é $P_3 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2$:



FCFS: first-come, first-served

Calculemos o tempo médio de espera dos processos

- Suponhamos que P_1, P_2, P_3 chegam aproximadamente em $t = 0$
- Pela ordem $P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$:
  - tempos de espera: $t_1 = 0$, $t_2 = 2$, $t_3 = 5$
  - tempo médio de espera: $(0 + 2 + 5)/3 = 7/3$
- Pela ordem $P_3 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2$:
  - tempos de espera: $t_1 = 6$, $t_2 = 8$, $t_3 = 0$
  - tempo médio de espera: $(6 + 8 + 0)/3 = 14/3$

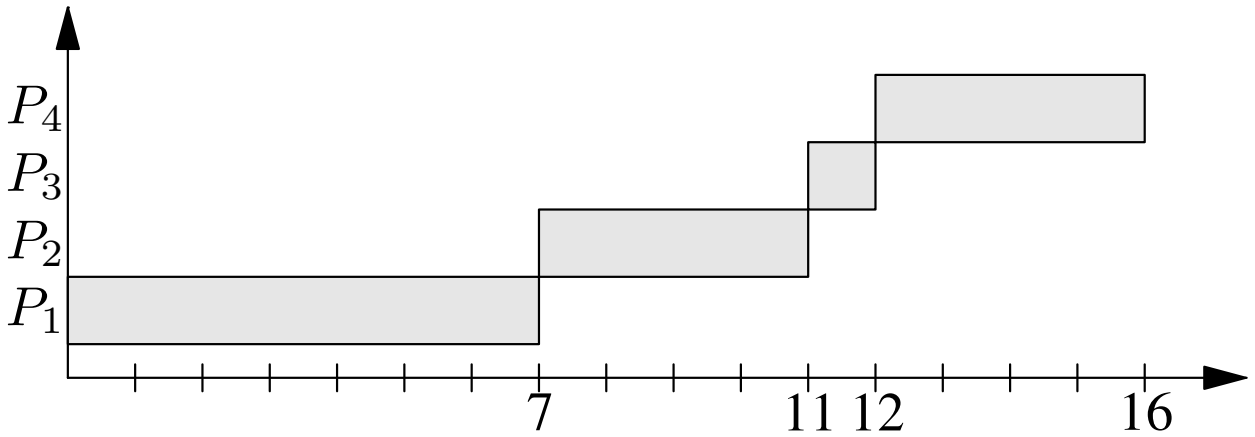
Conclusão

- tempo médio de espera (e turnaround) é maior se processos demorados chegam primeiro
- muito sensível à ordem pela qual chegam os processos

FCFS: first-come, first-served

Outro exemplo, com os seguintes tempos de chegada e bursts:

Processo	Chegada	Burst
1	0	7
2	2	4
3	4	1
4	5	4



Tempo médio de espera = $(0 + 5 + 7 + 7)/4 = 4.75$

SJF: shortest job first (cooperativo)

Função de selecção

O processo com o mais curto burst de CPU esperado

Modo de selecção

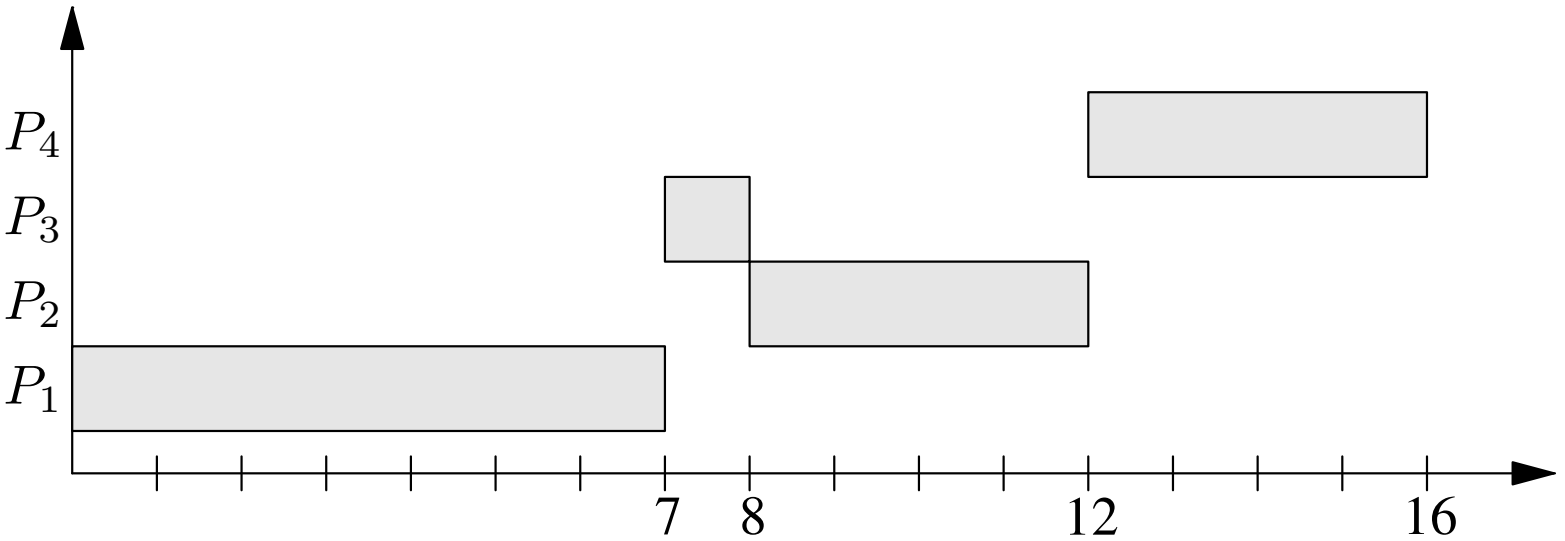
Cooperativo: processos correm até se bloquearem voluntariamente

- Processos I/O bound terão tipicamente preferência
- Processos com burst longo podem sofrer starvation se continuarem a aparecer processos curtos
- É óptimo: minimiza o tempo médio de espera
- Problema: necessidade de estimar tempo de burst dos processos com base no comportamento passado

SJF: shortest job first (cooperativo)

Suponhamos os mesmos tempos de chegada e bursts:

Processo	Chegada	Burst
1	0	7
2	2	4
3	4	1
4	5	4



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

SRT: shortest remaining time (SJF com desafectação)

Função de selecção

O processo com o mais curto burst (restante) de CPU esperado

Modo de selecção

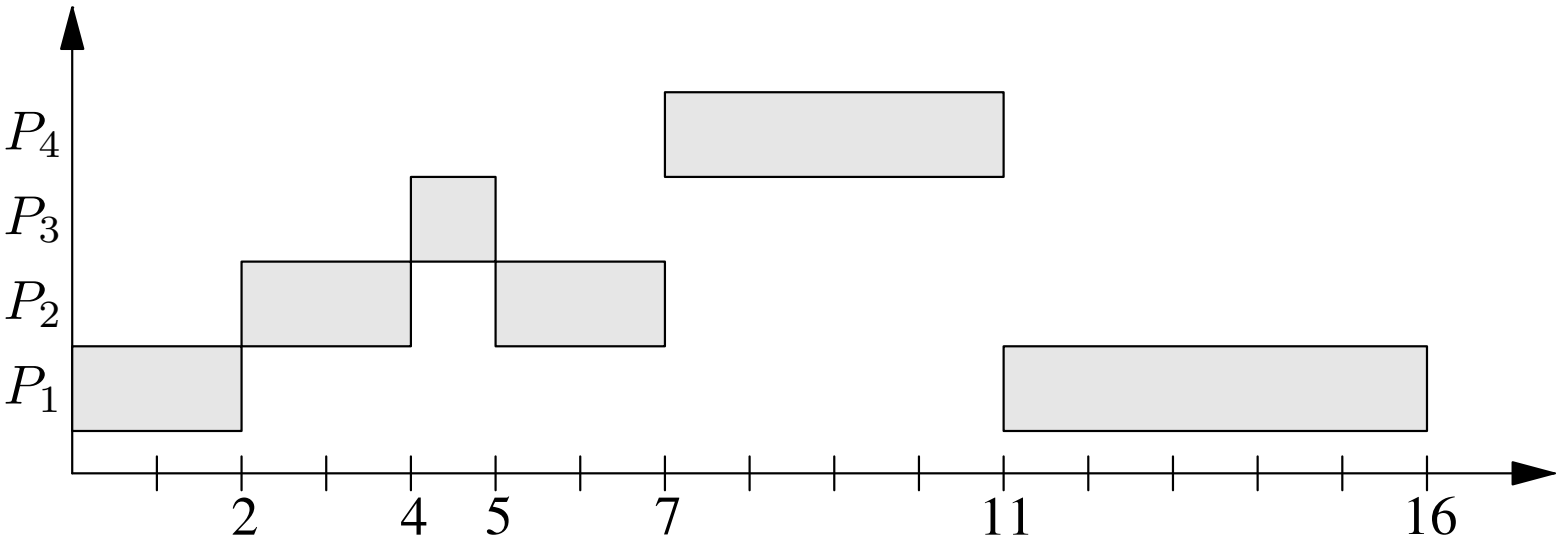
Com desafectação: se chegar um processo com burst menor, o que está a correr é desafectado

- Evita que processos longos monopolizem só porque chegaram antes
- Melhora turnaround em relação ao SJF: tarefas curtas têm preferencia imediata
- Necessidade de guardar tempo de burst restante

SRT: shortest remaining time (SJF com desafectação)

Suponhamos os mesmos tempos de chegada e bursts:

Processo	Chegada	Burst
1	0	7
2	2	4
3	4	1
4	5	4



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

Estimação dos próximos bursts

- SJF e SRT necessitam da duração dos próximos bursts
- Evento futuro; duração exacta desconhecida
- Estimativa do futuro feita com base no passado
- Pode ser feita uma média ponderada dos bursts passados
- Abordagem simplista: média simples de todas as durações passadas
- Podem ser consideradas execuções passadas do mesmo programa

Estimação com ponderação exponencial

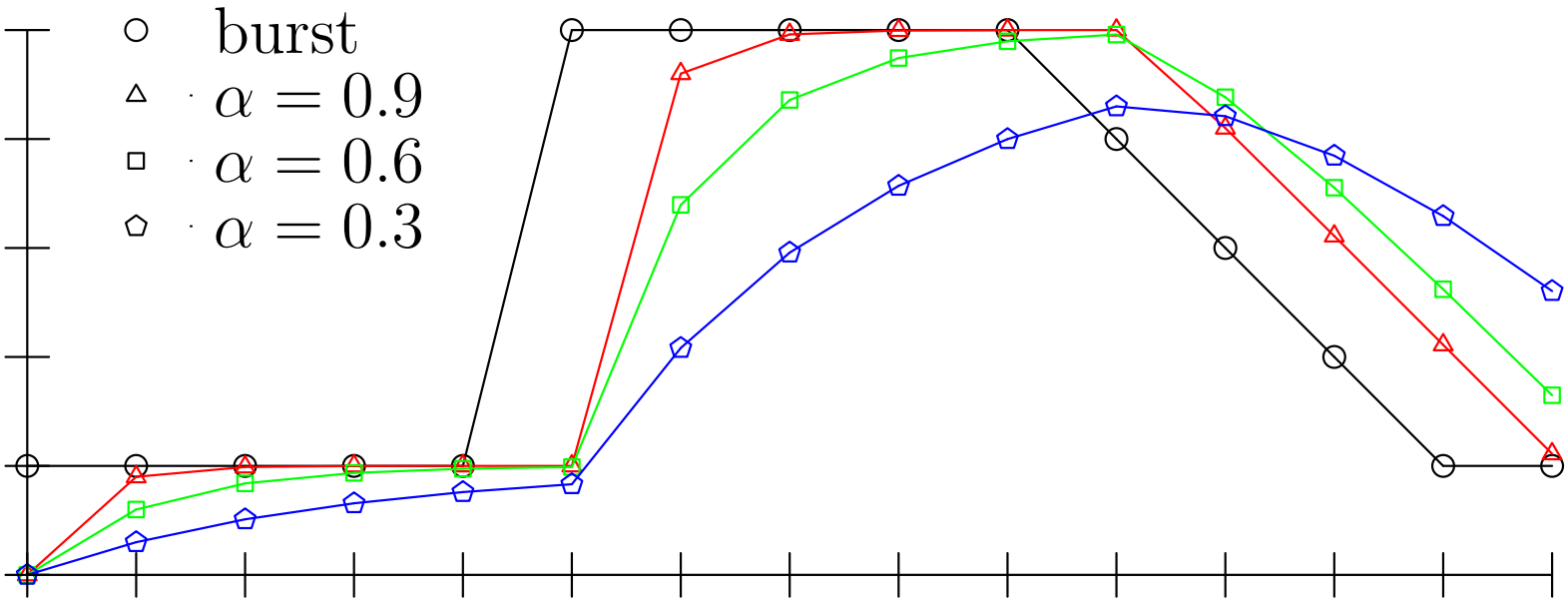
- Comportamento recente tem maior probabilidade de ser parecido com o futuro próximo
- Pode ser tido em conta com ponderação exponencial:
  - ao passado recente é atribuidda maior importancia
  - o factor de ponderação decai exponencialmente com o tempo
- Pode ser calculado de um modo simples com:

$$E_{n+1} = \alpha D_n + (1 - \alpha) E_n$$

  Em que E: estimativa; D: duração medida; $0 \leq \alpha \leq 1$
- Se $\alpha = 1$: estimativa igual ao último burst
- Se α perto de 0: parecido com média simples

Estimação com ponderação exponencial

- $E_{n+1} = \alpha D_n + (1 - \alpha) E_n$
- Para α perto de 1, a estimativa adapta-se mais rapidamente a variações de comportamento



Escalonamento por prioridades

- Número de prioridade associado a cada processo: e.g. números menores – prioridade alta
- Processador atribuído ao processo com a prioridade mais alta
- Variantes: cooperativa ou com desafectação forçada
- SJF: a prioridade é o tempo previsto de burst
- Problema: starvation – processos de baixa prioridade continuamente ultrapassados e nunca mais executam
- Solução: aging – aumentar a prioridade do processo com o passar do tempo

Round-robin

Função de selecção

O processo que está há mais tempo na ready queue (como FCFS)

Modo de selecção

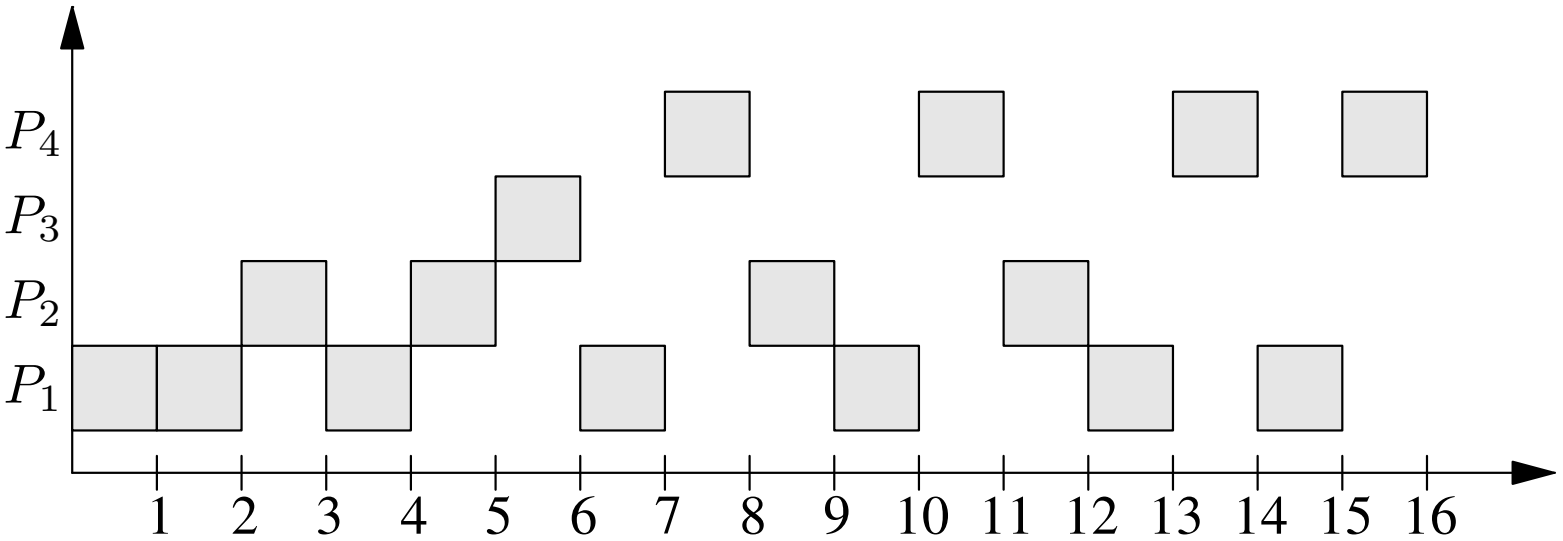
- Com desafectação: é atribuída uma fatia pequena de tempo de processador (time quantum); e.g. 10–100 ms
- depois de fatia de tempo esgotada o processo é desafectado e volta para o fim da ready queue

- Com n processos e quantum q:
  - cada processo fica com $1/n$ do tempo de processador
  - executa no máximo q sem interrupção
  - espera no máximo $(n-1)q$
- Parameterização:
  - q grande $\rightarrow$ FCFS
  - q muito pequeno $\rightarrow$ comutação de contexto significativa

Round-robin

Suponhamos mesmo exemplo e quantum = 1:

Processo	Chegada	Burst
1	0	7
2	2	4
3	4	1
4	5	4



Tempo médio de espera = $(8 + 6 + 1 + 7)/4 = 5.5$

Comparação FCFS, SJF, SRT, RR

- No mesmo exemplo:

Processo	Chegada	Burst
1	0	7
2	2	4
3	4	1
4	5	4

- Os tempos médios de espera na queue são:
  - FCFS: $(0 + 5 + 7 + 7)/4 = 4.75$
  - SJF: $(0 + 6 + 3 + 7)/4 = 4$
  - SRT: $(9 + 1 + 0 + 2)/4 = 3$
  - RR: $(8 + 6 + 1 + 7)/4 = 5.5$
- As variantes de SJF levam a menores tempos de espera
- A variante de SJF com desafectação (SRT) leva ao menor tempo
- Mas SJF, SRT dependem de se conseguir estimativar bursts
- O RR resulta tipicamente em maiores tempos de espera (e turnaround) médios

Vantagens do Round Robin

- Grande vantagem do RR: não necessita de estimação da duração dos bursts
- Escolhendo fatia de tempo pequena, mas onde caibam grande percentagem dos bursts:
  - processos CPU-bound nunca monopolizam processador por muito tempo
  - processsos I/O-bound completam burst e iniciam I/O – bom para o tempo de resposta
- RR constitui um modo simples de se ter bons tempos de resposta – critério importante para sistemas interactivos

Virtual Round Robin

- O round robin “normal” ainda favorece num sentido processos cpu-bound:
  - processo I/O-bound tipicamente não usa a fatia toda e bloqueia
  - processo CPU-bound usa fatia toda e volta à fila, à frente dos bloqueados
- Virtual Round Robin resolve o problema:
  - quando operação de I/O termina, o processo bloqueado vai para uma fila auxiliar
  - fila auxiliar tem preferência sobre a fila ready principal
  - processo escalonado da fila auxiliar corre menos tempo: o que lhe restava quando libertou o processador voluntariamente

Fila multi-nível

- Em vez de uma única ready queue, temos várias filas; e.g.:
  - foreground – interactivos
  - background – batch
- Cada fila tem o seu algoritmo de escalonamento; e.g.:
  - foreground – RR
  - background – FCFS
- Escalonamento das filas:
  - Por prioridade fixa:
    - foreground tem prioridade;
    - servir primeiro todos em foreground;
    - problema: starvation
  - Fatia de tempo desigual entre as filas; e.g.:
    - 80% tempo para foreground
    - 20% tempo para background

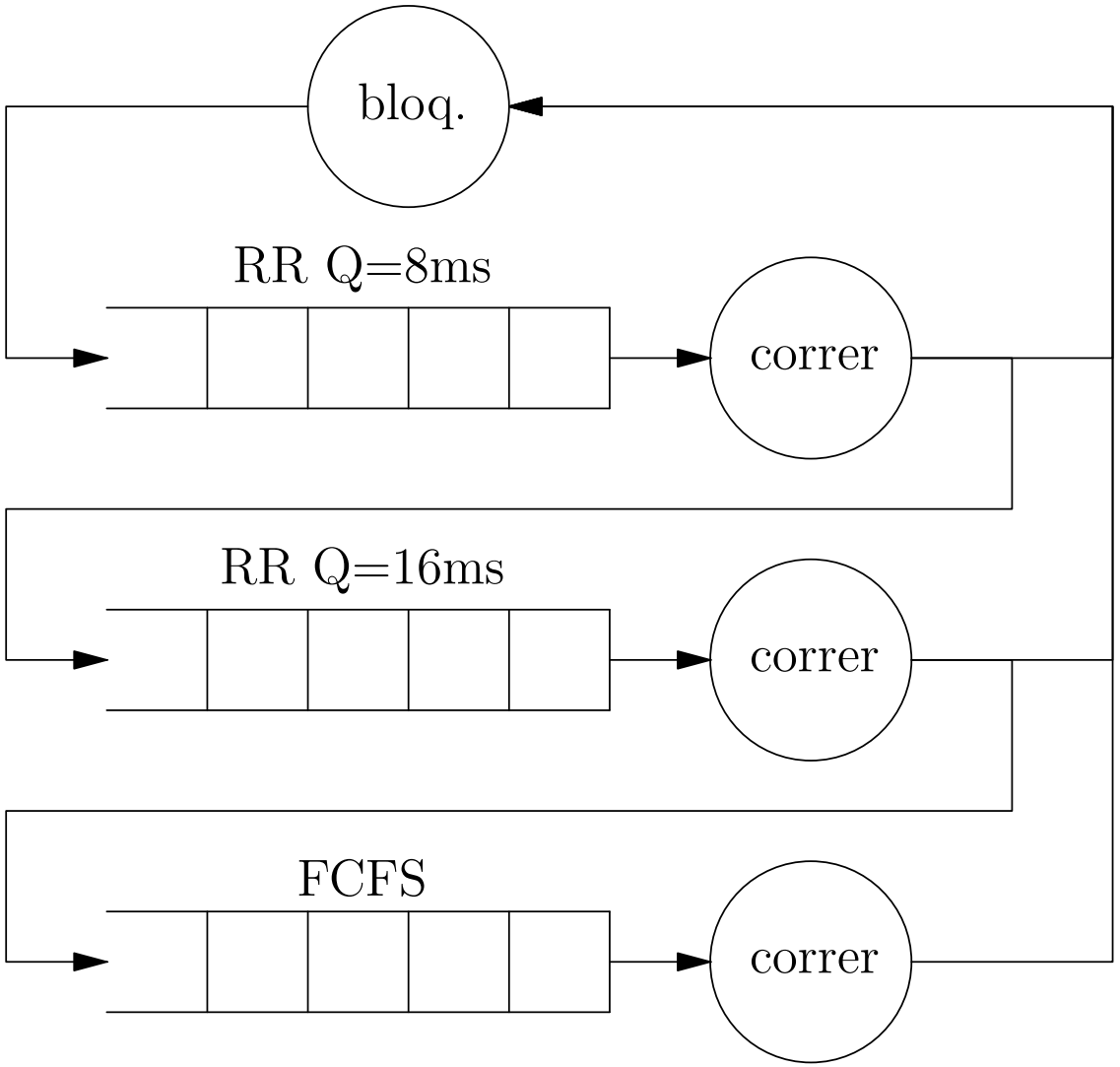
Fila multi-nível com feedback

- Várias filas; de prioridades decrescentes
- Processo pode mudar de fila ao longo do tempo
- Muito flexível; parameterizavel em:
  - número de filas
  - algoritmos de escalonamento por fila
  - escolha de como promover/despromover processos
  - escolha em que fila um processo começa

Fila multi-nível com feedback; exemplo

- Três filas:
  - Q0 – RR, fatia=8ms
  - Q1 – RR, fatia=16ms
  - Q2 – FCFS
- Prioridades decrescentes:
  - Q1 servida só se Q0 vazia
  - Q2 servida só se Q0 e Q1 vazias
  - se chega processo a fila de maior prioridade, o corrente é desafectado
- Processso novos começam em Q0
- Quando acaba fatia, processo passa para fila abaixo (ou continua em Q2)
- Aging: se processo espera muito em fila é promovido

Fila multi-nível com feedback; exemplo



CFS - Linux Completely Fair Scheduler

- Objetivo: minimizar tempo de decisão de escalonamento e ser justo entre vários processos a executar
- Conceitos
  - Tempo de execução virtual (vruntime): conta tempo de CPU usado pelo processo. Associado ao PCB do processo e incrementado quando o processo usa CPU.
  - Latência de escalonamento alvo (sched_latency): tenta dar oportunidade a cada processo de ter uma fatia de tempo dentro da latência alvo.
- Ou seja, no intervalo definido para sched_latency, cada processo deve ter atribuída uma fatia de tempo para executar.

CFS - Tempo atribuído por processo

- Fatia de tempo atribuída por processo é dinâmica: baseada no número de processos e no valor de sched_latency.
- **Exemplo:** Assumindo 4 processos prontos a executar e uma sched_latency de 48 ms, cada processo executa durante 12 ms antes de ser comutado.
  Se 2 dos processos terminarem entretanto, a fatia de tempo passa a 24 ms por processo
- Valor mínimo para a fatia de tempo (caso existam muitos processos) devido ao custo de comutação

CFS - Escalonamento

- Utilizadores podem atribuir prioridades a processos (nível nice).
  - Valores de -20 a 19 (numeros menores têm maior prioridade)
  - A estas prioridades é atribuído um peso para calcular/atualizar a fatia de tempo (vruntime) usada por processo.
- Política de escalonamento - Qual o próximo processo na fila ready a executar?
  - Escolher processo que tem o menor vruntime (justiça).
  - Usa uma árvore balanceada (Red-Black tree) para ordenar processos prontos a executar (pelo seu vruntime) e escolher o próximo (eficiente!)