

# Substituição de Páginas

Pedro Cruz

EEL770 – Sistemas Operacionais

# Lembranças sobre memória



- Tempo virtual
- Segmentação de memória
- Realocação
  - Estática
  - Dinâmica
- Sobreposições
- MMU
  - *Memory Management Unit*
- Página
- Quadro de página
- Conjunto de trabalho
- Conjunto residente
- Tabela de página
- TLB (*Translation Lookaside Buffers*)
- *Page fault*
  - Leve (*soft*)
  - Pesado (*hard*)
  - Inválido
- *Swapping*
  - Processo
  - Página
- Bit sujo

# Substituição de página



- Processos usando mais do que a memória primária
  - Páginas ociosas mapeadas na memória secundária
- Acesso à página que está em memória secundária
  - *Page fault*
- Substituição de páginas
  - Página A sai da memória primária
    - Vai para memória secundária
      - Quando?
  - Página B entra na memória primária
    - Sai da memória secundária
      - Quando?

- Operacional sabe quantas instruções até que cada página seja referenciada
  - Mantém em memória as páginas que serão referenciadas a seguir
  - Retira as páginas que serão referenciadas em futuro muito distante

- Substituição de páginas não usadas recentemente
- Substituição de páginas primeira a entrar, primeira a sair
- Substituição de páginas segunda chance
- Substituição de páginas do relógio
- Substituição de páginas usadas menos recentemente
- Substituição de páginas não usadas frequentemente
- Substituição de páginas do conjunto de trabalho
- Substituição de páginas *WSClock*

# Hardware necessário



- Indicadores
  - Referenciada (**R**)
    - Ativado sempre que página é referenciada
  - Modificada (**M**)
    - Ativado sempre que página é escrita

Página	R	M
0	0	0
1	1	0
2	1	1
3	0	0

# Substituição de páginas não usadas recentemente



- Operacional
  - Apaga o bit **R** regularmente
    - Interrupções de relógio
  - Inspeciona as páginas antes da substituição
    - Divide em classes
- Operacional remove ao acaso página da classe mais baixa

Página	R	M	Classe
0	0	0	0
1	0	1	1
2	1	0	2
3	1	1	3

# Substituição de páginas não usadas recentemente



- Ideia principal
  - Página referenciada será referenciada novamente
  - Página modificada, nem sempre

Página	R	M	Classe
0	0	0	0
1	0	1	1
2	1	0	2
3	1	1	3



# Substituição de páginas primeiro a entrar, primeiro a sair



- Páginas são ordenadas por tempo em que estão na memória
- Quando ocorre uma falta de página, operacional remove a página mais antiga para dar espaço para a mais nova

Você usaria esse algoritmo?

# Substituição de páginas segunda chance



- Páginas são ordenadas da mais antiga para a mais recente
  - Lista encadeada
- Sistema Operacional busca a página mais antiga
  - Se  $R$  for 0
    - Remove a página
  - Se  $R$  for 1
    - Coloca 0 em  $R$
    - Coloca a página no fim da lista
      - Finge que página acabou de ser carregada
    - Busca a nova página mais antiga

Se todas as páginas foram referenciadas, vira FIFO

# Substituição de páginas segunda chance - Exemplo

- As tabelas representam a lista encadeada

Pág.	R	M
0	1	0
1	1	1
2	0	0
3	0	1



Pág.	R	M
1	1	1
2	0	0
3	0	1
0	0	0



Pág.	R	M
2	0	0
3	0	1
0	0	0
1	0	1



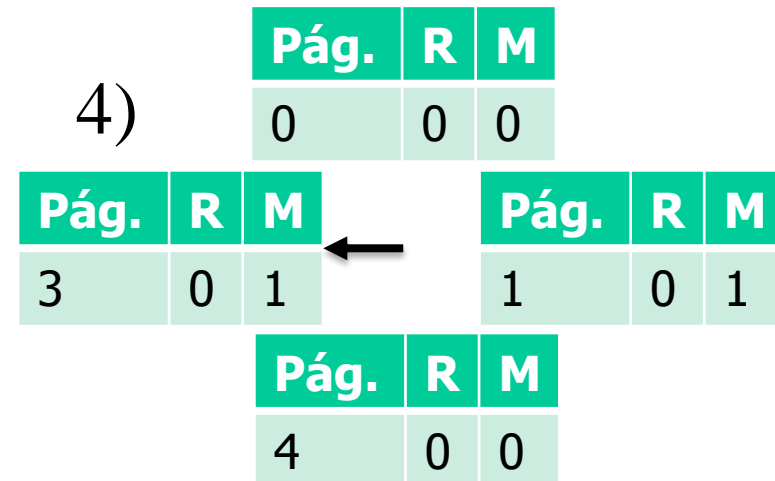
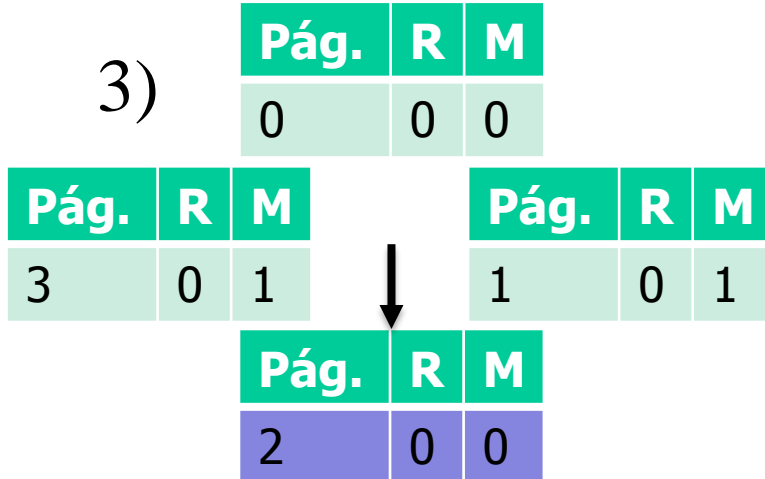
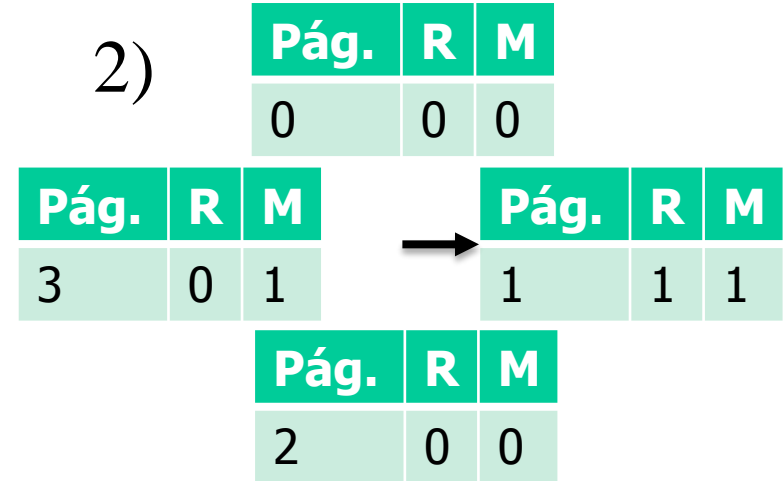
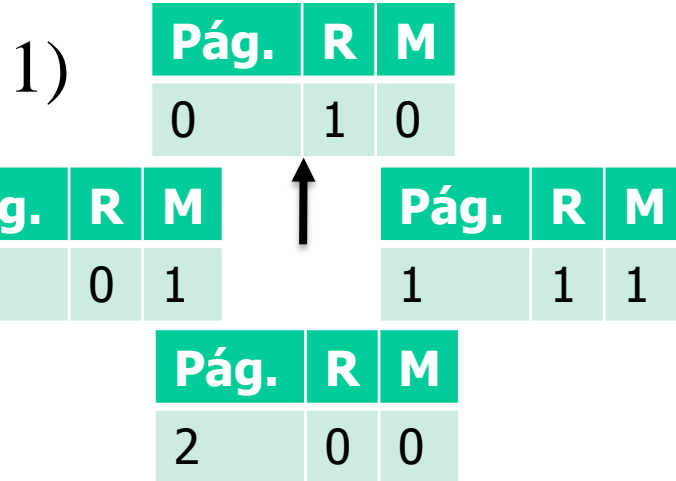
Pág.	R	M
3	0	1
0	0	0
1	0	1
4	0	0

# Substituição de páginas do relógio



- Páginas ficam em uma lista circular ordenada por chegada
  - Ponteiro aponta para a mais antiga
- Operacional verifica a página mais antiga
  - Se  $R$  for 0
    - Remove a página
    - Coloca nova página no lugar
    - Avança o ponteiro
  - Se  $R$  for 1
    - Coloca 0 em  $R$
    - Avança o ponteiro
      - Coloca a página no fim da lista
    - Repete verificação

# Substituição de páginas do relógio - Exemplo



# Substituição de páginas usadas menos recentemente



- Páginas são ordenadas pelo tempo de acesso
  - Página acessada é colocada no início da lista
- Falta de página gera remoção da última página da lista
  - Nova página é carregada no lugar

Problema?

# Substituição de páginas menos usadas



- Cada página possui um contador de acessos
- A cada referência de memória, o contador da página acessada é incrementado
- Quando há falta de página, operacional substitui página de menor contador pela nova página

Problema?

# Substituição de páginas não usadas frequentemente



- Contador de referências é mantido para cada página
  - Contador é incrementado no bit mais significativo
- Em cada clock, contador é dividido por dois
  - Envelhecimento
- Em uma falta de página, página com menor contador é escolhida



# Substituição de páginas do conjunto de trabalho



- **Conjunto de trabalho**
  - Páginas referenciadas nas últimas  $k$  referências
  - Páginas referenciadas no último intervalo de tempo  $t$
- Operacional define o conjunto de trabalho dos processos
  - A cada falta de página
    - Verifica R de todas as páginas
  - Mantém instante de último uso de cada página
    - No **tempo virtual** de cada processo
  - Idade da página
    - Tempo virtual do processo menos instante de último uso

# Substituição de páginas do conjunto de trabalho - Exemplo



- Quando ocorre falta de página
  - Para cada página  $p$  na memória principal
    - Se  $R=1$ 
      - $p$  está sendo usada (é parte do conjunto de trabalho)
        - » Instante de último uso( $p$ ) = agora
    - Se  $R=0$ 
      - Se idade de  $p$  é maior que  $t$ 
        - » Remove  $p$
        - » Termina
      - Se não
        - » Armazena qual a página com maior idade
  - Operacional remove página com maior idade

# Substituição de páginas *WSClock*



- Páginas são mantidas em lista circular com ponteiro
  - Instante de último uso
  - **R**
  - **M**

# Substituição de páginas *WSClock*

## - *Exemplo*



- Ao ocorrer falta de página
  - Página apontada é inspecionada
    - Se  $R = 1$ 
      - Página é mantida e ponteiro movido adiante e  $R$  recebe 0
    - Se  $R = 0$ :
      - Se idade  $> t$  e  $M = 0$ 
        - » Página é reivindicada
      - Se  $M = 1$ :
        - » Escrita é escalonada
        - » Ponteiro movido adiante

- Não garante que alguma página seja escolhida
  - Opção 1: escolher ao acaso página com  $M=0$ 
    - Também não garante que alguma seja escolhida
  - Opção 2: escolher página mais velha
    - Não garante boa escolha
  - Opção 3: escolher página ao acaso
    - Não garante boa escolha
    - Não dá trabalho

# Questões de projeto



- Política global vs local
- Controle de carga
- Tamanho de página
- Espaços separados de instruções e dados
- Páginas compartilhadas
- Bibliotecas compartilhadas
- Arquivos mapeados
- Política de limpeza
- Interface de memória virtual

# Política global vs local



- Algoritmos de substituição global
  - Processos possuem frações variáveis de memória
    - Substitui de página, independentemente de processo
      - Falta de página significa mais memória para processo
- Algoritmos de substituição local
  - Processos possuem fração fixa da memória
    - Substitui página do processo que gerou a falta de página
      - Processo que precisa de muita memória fica preso em faltas de página
    - Frequência de falta de página (*Page fault frequency*-PFF)
      - Quanto mais *page fault*, mais memória um processo recebe

# Controle de carga



- Processos podem precisar de mais páginas do que disponível
  - Todos vão ter PFF alto
  - Enviar processos inteiros para o disco



# Espaços separados de instruções e dados



- Normalmente, dados e programa ficam no mesmo espaço de endereçamento
  - Se não, deve haver paginação de ambos espaços

- Compartilhamento geralmente de código
  - Direto quando há diferentes endereçamentos de código e dados
- Processos A e B compartilham código
  - Remoção do processo A gera falha de página em B
- Processos A e B compartilham dados
  - Ambos processo recebem permissão de leitura dos dados
  - Tentativa de escrita gera cópia dos dados (*copy-on-write*)
    - A e B passam a ter cópias distintas dos dados

# Bibliotecas compartilhadas



- Bibliotecas de Ligação Dinâmica (DLL – *Dynamic Link Library*, no Windows)
  - Carregadas como *Singletons*
    - Só existem em um lugar da memória
    - São acessíveis e executáveis por todos os processos ligados a elas

- Causam problemas na realocação dinâmica
  - Processos têm a biblioteca em pedaços diferentes de seu endereçamento virtual
    - Processos conseguem acessar a biblioteca
    - Biblioteca não sabe como acessar seus endereços
      - **Deslocamentos relativos**
        - » Biblioteca faz referências utilizando endereço atual como base
          - » Código independente de posicionamento
          - » Gerado pelo compilador

# Arquivos mapeados



- Um pedaço do que está no disco é escrito na memória primária
  - Páginas são trocadas de acordo com a leitura

- *Daemon* de paginação
  - Deixa páginas disponíveis para saírem da memória principal
    - Percorre a memória de tempos em tempos
    - Procura páginas modificadas
    - Escreve em disco

# Interface de memória virtual



- Se processos puderem nomear seus espaços de memória, comunicação entre processos é mais fácil
- Memória compartilhada distribuída
  - Processos em máquinas diferentes podem compartilhar memória

# Substituição de Páginas

Pedro Cruz

EEL770 – Sistemas Operacionais