Laboratório de Pesquisa em Redes e Multimídia

Gerência de Memória

Algoritmos de Substituição de Páginas

Universidade Federal do Espírito Santo
Departamento de Informática

Introdução

- Quando ocorre um *Page Fault*, o S.O. deve escolher que página remover para abrir espaço em memória.
- Se a página foi alterada (bit *Modified* setado) é preciso salvá-la em disco. Senão foi, basta sobrescrevê-la.
- É melhor não escolher para remoção uma página que é usada freqüentemente, pois ela pode ter que voltar para a memória logo.
- Troca ótima de página
  - Substituir a página para a qual falta mais tempo até ser necessária novamente
    - Marcar p/ cada página, quantas instruções faltam p/ que ela seja referenciada
  - Solução ótima, mas inviável!

Algoritmo NRU – *Not Recently Used* (1)

- Ou seja, algoritmo de substituição da página “não usada recentemente”
- Na maioria dos computadores com memória virtual, as entradas nas tabelas de páginas têm 2 bits de status
  - *Reference* bit (R) ; *Modified* bit (M)
- Algoritmo
  - Qdo o processo é iniciado, os bits R e M das páginas são zerados
  - Bits são sempre alterados quando a página é referenciada/modificada
  - Periodicamente o bit R é zerado (por exemplo, a cada tique de clock)
  - Quando acontece um *Page fault*, o S.O. inspeciona todas as páginas que encontram-se na memória e as separa em categorias...

Algoritmo NRU – *Not Recently Used* (2)

Isso pode ocorrer???

- Páginas são classificadas
  - Classe 0: *Not referenced, not modified* (R=0 , M=0)
  - Classe 1: *Not referenced, modified* (R=0 , M=1)
  - Classe 2: *referenced, not modified* (R=1 , M=0)
  - Classe 3: *referenced, modified* (R=1 , M=1)
- O S.O. remove uma das páginas (aleatoriamente) da classe mais baixa não vazia.
- Vantagens
  - Algoritmo fácil de entender e implementar
  - Desempenho adequado

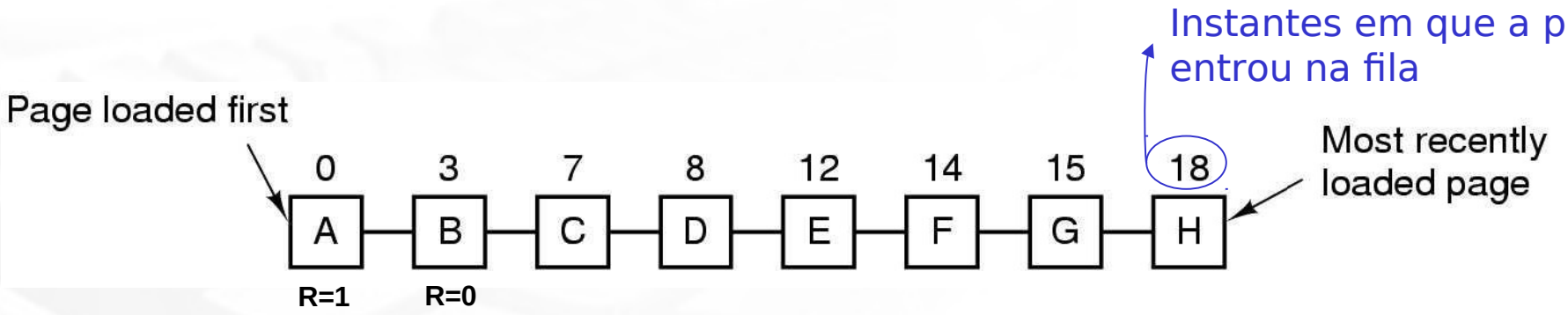
Algoritmo FIFO

- Mantem-se uma lista encadeada de páginas ordenada pela chegada das páginas à memória.
- Quando ocorre um *Page Fault*, a página no início da lista (que é a mais antiga) é a escolhida para a troca
- Vantagem:
  - Baixo custo
- Desvantagem:
  - A página mais antiga pode ser também uma página usada muito freqüentemente.
- Não empregado!

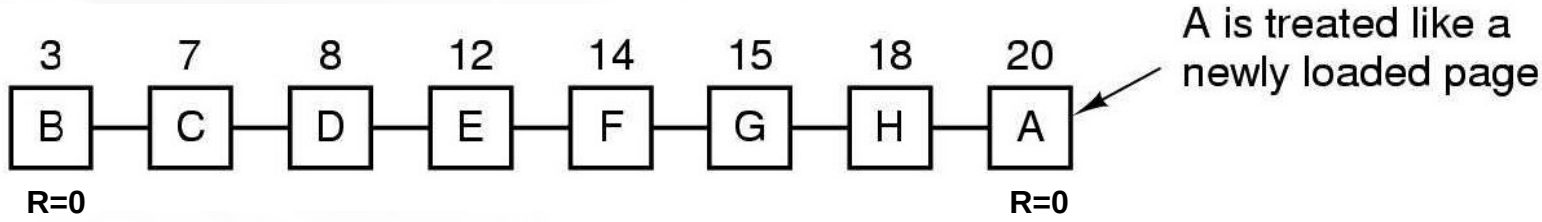
Algoritimo SC - Segunda Chance (1)

- Tenta melhorar o FIFO
- Cada página tem um bit R (referenciada)
- Antes de remover a página mais antiga (cabeça da fila), seu bit R é verificado
  - Se R=0, a página é substituída (a página referenciada ocupará o seu lugar na memória)
  - Se R=1, a página vai para fim da fila, como se houvesse sido carregada agora e seu bit é setado para 0
    - Verifica-se a página que virou “cabeça” da fila
- Se todas as páginas tiverem seu bit R=1, haverá uma volta completa

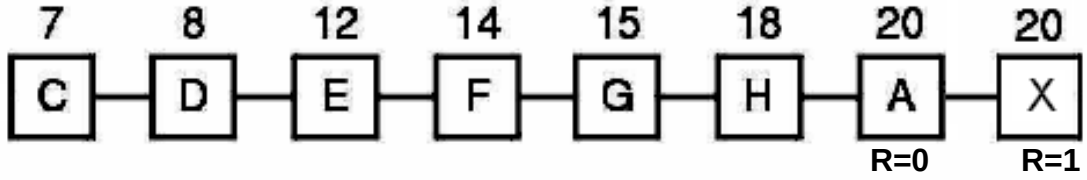
Algoritimo SC - Segunda Chance (2)



No instante 20 ocorre um Page Fault (tentativa de acesso à página **X**)

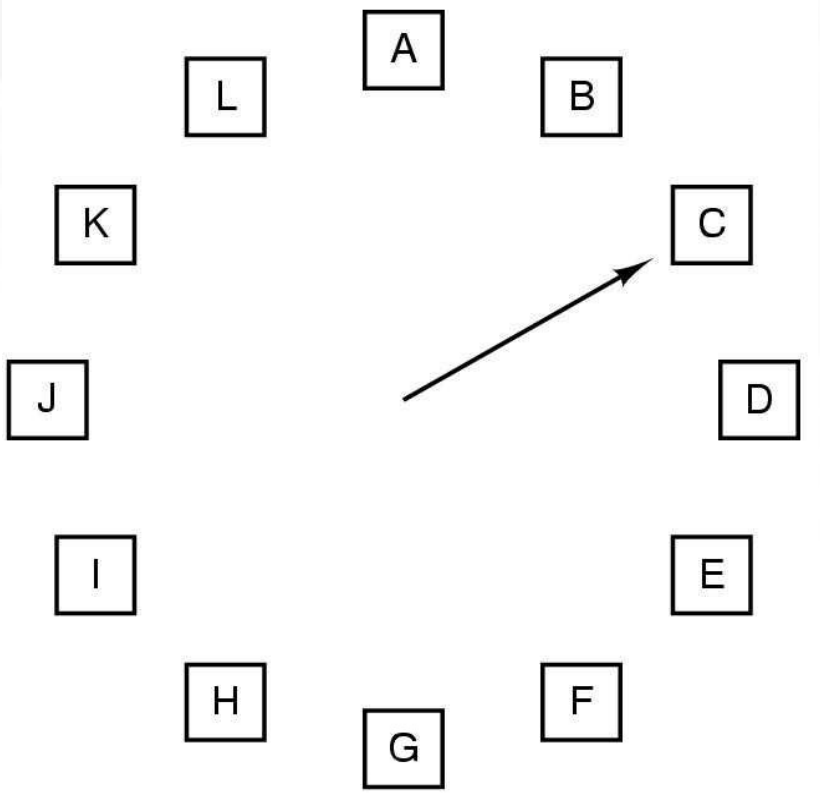


A página **B** é substituída



Algoritmo do Relógio

- Visa melhorar o desempenho do algoritmo SC, diferenciando apenas na implementação da fila



- O ponteiro sempre aponta para a página mais antiga
- Na ocorrência de um Page fault
  - Se o bit R desta página for 0, ela é substituída, e o ponteiro "roda" uma casa
  - Se R=1, R é resetado e o ponteiro avança para a próxima página até encontrar uma página com R=0

Algoritmo LRU – *Least Recently Used* (1)

Ou MRU – Menos Recentemente Usada

- Assume que as páginas usadas recentemente voltarão a ser usadas em breve
  - Substitui páginas que estão há **mais tempo sem uso.**
  - **PRINCÍPIO DA LOCALIDADE TEMPORAL**
    - Uma página acessada mais recentemente, tem mais chances de ser acessada novamente

Algoritmo LRU – *Least Recently Used*

Ou MRU – Menos Recentemente Usada

- Na teoria, para implementá-lo completamente, deveria-se manter uma lista encadeada de todas as páginas que estão na memória (muito custoso!)
  - página usada mais recentemente vai para o início da lista;
    - lista é reordenada a cada referência a memória
  - qdo há Page Fault, escolhe-se a última página da fila

NA PRÁTICA, há diferentes formas de implementá-lo!

Algoritmo LRU – *Least Recently Used*

Possíveis Implementações

- Auxílio de Hardware
  - Contador incrementado a cada instrução
  - Matriz mapeando memória física
- Simulando LRU em Software
  - LFU
  - Aging

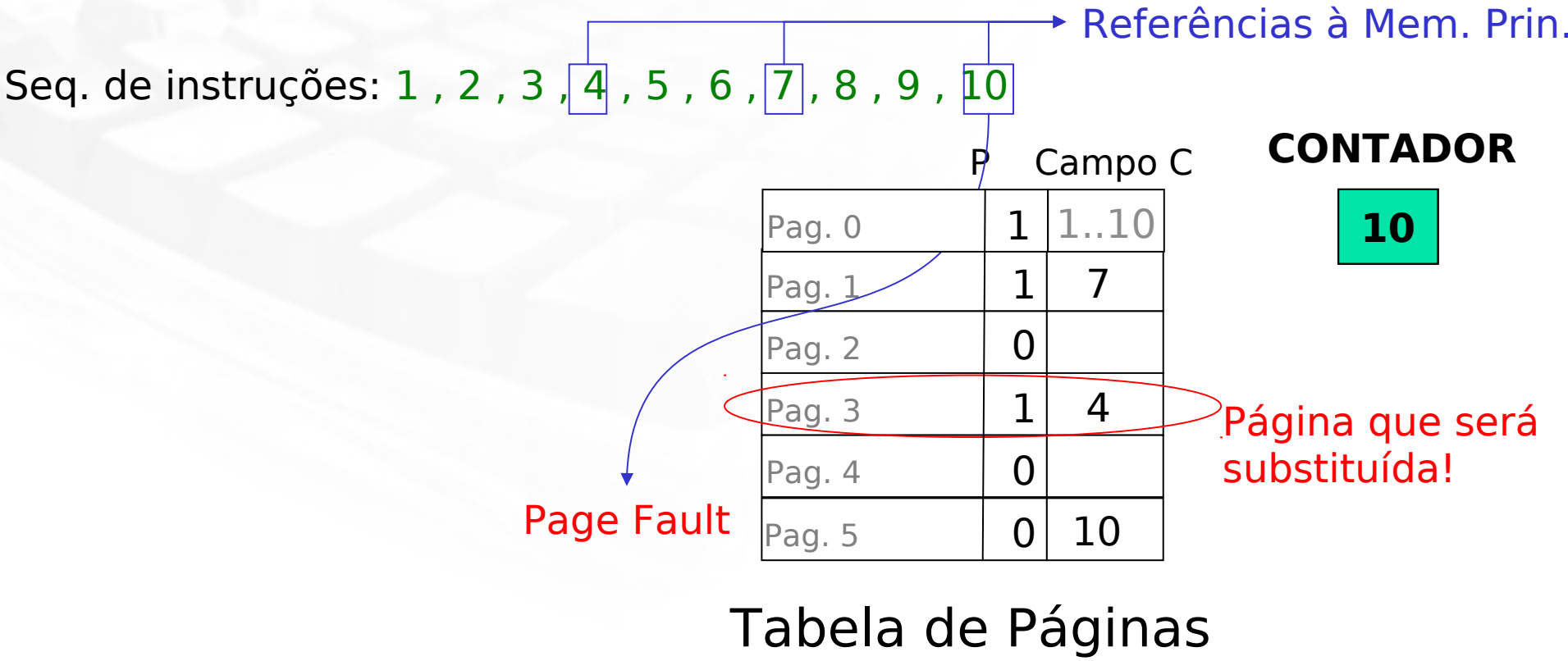
Algoritmo LRU – *Least Recently Used*

Em Hardware (1)

- Uma solução simples: manter uma idade para cada página.
  - Usar um contador C de 64 bits incrementado a cada instrução (em hardware)
  - Cada entrada da tabela de páginas deve ter um campo extra para armazenar o valor do contador
  - A cada referência à memória o valor corrente de C é armazenado na entrada da tabela de páginas na posição correspondente à página referenciada
  - Quando ocorre um Page Fault, a tabela de páginas é examinada, a entrada cujo campo C é de menor valor é a escolhida
  - Substitui página com o menor valor no campo do contador (maior idade)

Algoritmo LRU – *Least Recently Used*

Em Hardware (2)



Algoritmo LRU – *Least Recently Used*

Em Hardware (3)

- LRU usando matrizes
  - HW especial que mantém uma matriz **n x n**, onde **n** é o número de molduras
  - Inicialmente todos os bits da matriz são 0
  - Sempre que a moldura k é referenciada, o hardware seta todos os bits da linha k para 1, e depois zera todos os bits da coluna k para zero
  - Deste modo, a qualquer instante a **linha** com o **menor valor binário** é a menos recentemente usada

Algoritmo LRU – *Least Recently Used*

Em Hardware (4)

- LRU usando matrizes (cont.)

Página na moldura 0

	0	1	2	3
0	0	1	1	1
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0

Página na moldura 1

0	1	2	3
0	0	1	1
1	0	1	1
0	0	0	0
0	0	0	0

Página na moldura 2

0	1	2	3
0	0	0	1
1	0	0	1
1	1	0	1
0	0	0	0

Página na moldura 3

0	1	2	3
0	0	0	0
1	0	0	0
1	1	0	0
1	1	1	0

Página na moldura 2

0	1	2	3
0	0	0	0
1	0	0	0
1	1	0	1
1	1	0	0

Página na moldura 1

0	0	0	0
1	0	1	1
1	0	0	1
1	0	0	0

Página na moldura 0

0	1	1	1
0	0	1	1
0	0	0	1
0	0	0	0

Página na moldura 3

0	1	1	0
0	0	1	0
0	0	0	0
1	1	1	0

Página na moldura 2

0	1	0	0
0	0	0	0
1	1	0	1
1	1	0	0

Página na moldura 3

0	1	0	0
0	0	0	0
1	1	0	0
1	1	1	0

Algoritmo LRU – *Least Recently Used*

Simulando em Software (1)

- Problema das abordagens em HW
  - Dependem de um HW especial
  - Procurar uma solução em SW
- Simulando LRU em Software
  - **Algoritmo NFU** - Not Frequently Used
    - Um contador por página na memória
    - A cada tick, o S.O. percorre todas as páginas na memória e soma o bit R (0 ou 1) de cada página ao seu respectivo contador
    - Na ocorrência de *Page Fault*, a página c/ o menor contador é substituída
    - Problema: o algoritmo nunca esquece (reseta) o contador

Algoritmo LRU – *Least Recently Used*

Simulando em Software (2)

- **Algoritmo Aging**
  - Desloca o contador de 1 bit p/ a direita
  - Soma R ao bit mais significativo do contador

Página	Bits R para páginas 0-5 em t0	Bits R para páginas 0-5 em t1	Bits R para páginas 0-5 em t2	Bits R para páginas 0-5 em t3	Bits R para páginas 0-5 em t4
	1 0 1 0 1 1	1 1 0 0 1 0	1 1 0 1 0 1	1 0 0 0 1 0	0 1 1 0 0 0
0	10000000	11000000	11100000	11110000	01111000
1	00000000	10000000	11000000	01100000	10110000
2	10000000	01000000	00100000	00100000	10001000
3	00000000	00000000	10000000	01000000	00100000
4	10000000	11000000	01100000	10110000	01011000
5	10000000	01000000	10100000	01010000	00101000