Laboratório de Pesquisa em Redes e Multimídia

UNIX – Gerência de Memória

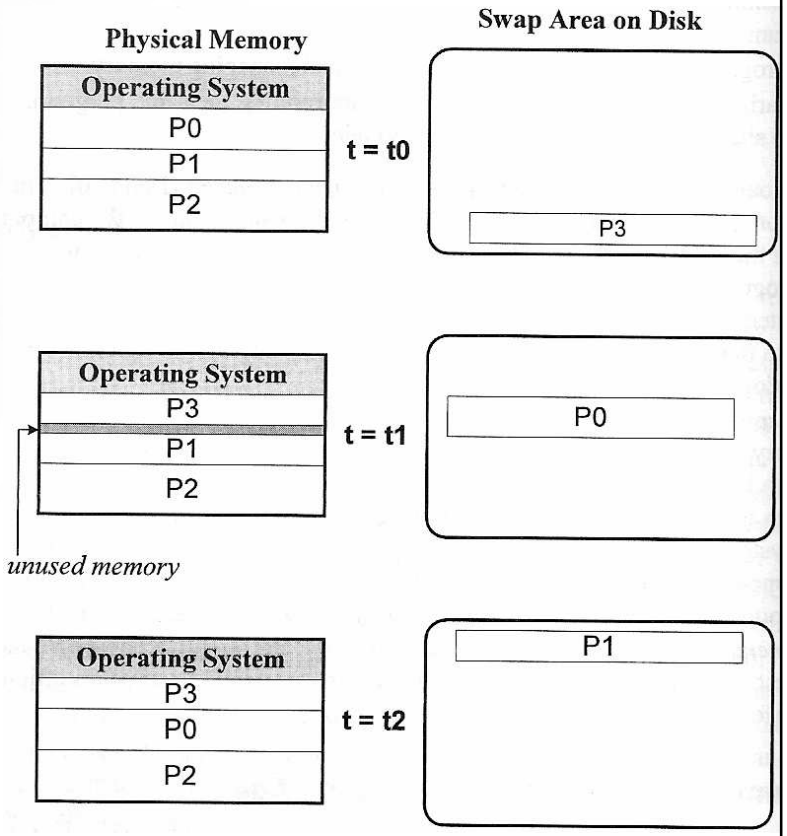
Universidade Federal do Espírito Santo
Departamento de Informática

Introdução

- Unix implementado sobre muitos computadores diferentes
  - baseada, segmentada, paginada, segmentada/paginada
- A gerência de memória garante:
  - Proteção do espaço de endereçamento
  - Permitir modificação dinâmica do espaço de endereçamento
- Existem ainda requisitos de desempenho:
  - Manter em memória o maior número de processos
  - Minimizar as transferências entre disco e memória
- Dois grupos de implementações:
  - Transferência (Swapping) nas arquiteturas baseadas e segmentadas
  - Paginação nas arquiteturas paginadas e segmentadas/paginadas

Transferência (*Swapping*) (1)

- Arquiteturas baseadas
  - Processos são carregados na memória física por inteiro
- Arquiteturas segmentadas:
  - regiões (texto, dados, stack) carregadas de forma contínua em memória
- Transfere para disco processos que estejam bloqueados ou com menor prioridade

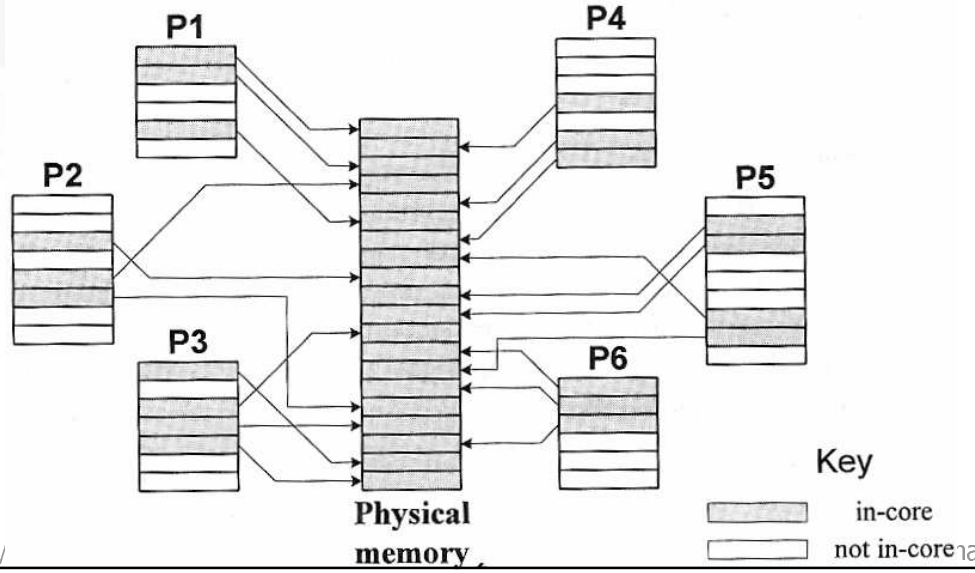


Transferência (*Swapping*) (2)

- Existem 4 casos que provocam a transferência:
  - chamada fork - é preciso espaço para o novo processo
  - chamada brk - expande o segmento de dados do processo
    - A função malloc da biblioteca em C deflagra brk se não houver espaço livre para satisfazer a solicitação
  - crescimento natural do stack
  - sistema operacional precisa de espaço para carregar em memória um processo que estava swapped-out
- Principal desvantagem
  - Apenas um pequeno número de processos podem encontrar-se simultaneamente na memória física

Paginação – Conceitos Gerais (1)

- A introdução de máquina de 32 bits de espaço de endereçamento, especialmente o VAX-11/780 (1978)
  - Promoveu a oportunidade do Unix expandir seus serviços de memória virtual
- 3BSD foi a primeira versão do UNIX a suportar paginação sob demanda
- A partir de 1980, a maioria dos UNIXs suportam memória virtual paginada



Paginação – Conceitos Gerais (2)

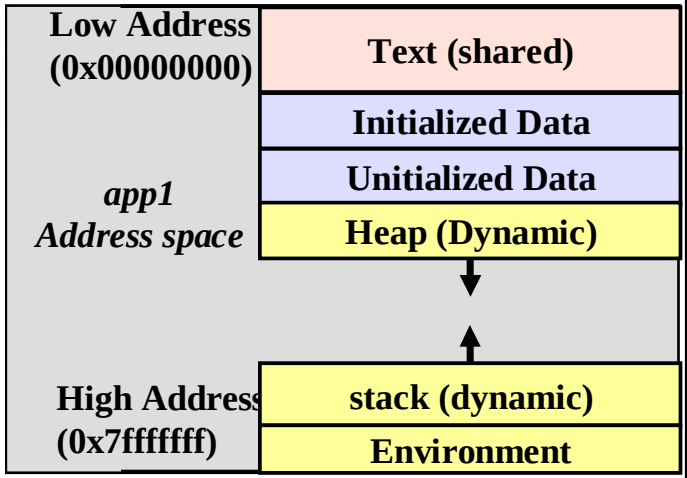
- Requisitos funcionais para o sub-sistema de memória
  - Gerência do espaço de endereçamento
    - O kernel aloca espaço de end. para um novo processo durante o *fork*, e desaloca quando o processo *exits*
    - No caso de um *exec*, o kernel libera o antigo espaço de end. alocando um novo p/ o novo programa
    - São comuns operações p/ mudar o tamanho das regiões de pilha, dados e adicionar novas regiões (e.g. memória compartilhada)
  - Tradução de endereços
    - Usando-se a MMU (*address translation maps*)
    - Na ocorrência de *page faults*, o *fault handler* do kernel deve tratá-la (ex: trazendo a nova página p/ memória)
  - Gerência da memória física
    - O sistema a utiliza como uma "cache"
    - O kernel deve garantir uso otimizado e consistência

Paginação – Conceitos Gerais (3)

- Requisitos funcionais para o sub-sistema de memória (cont.)
  - Proteção de memória
    - O kernel implementa proteção usando os mecanismos de hardware disponíveis.
    - Se ele detecta uma tentativa de acesso a uma localização ilegal, ele notifica o processo através de um sinal (SIGSEGV)
  - Memória compartilhada
    - Exemplos:
      - processos executando um mesmo programa podem compartilhar uma mesma região de texto;
      - bibliotecas compartilhadas
      - **Em algumas implementações,** após um fork, pai e filho compartilham região de dados enquanto não é feita nenhuma alteração na mesma
    - Aumenta o desempenho da gerência de memória paginada
  - Monitoramento da carga do sistema
    - A carga depende do número de processos, do tamanho dos mesmos, e do padrão de acesso à memória

Gerência do Espaço de Endereçamento Virtual (1)

- O espaço de endereçamento de um processo organiza-se em regiões de memória
  - área de texto (código do programa)
  - área de dados, inicializados ou não (variáveis alocadas estaticamente)
  - pilha (variáveis automáticas ou locais, passagem de parâmetros, salvar e restaurar endereços de retorno)
  - Além disso: *heap*, *shared memory*, *shared libraries*
- Cada região tem uma tabela de páginas própria



Gerência do Espaço de Endereçamento Virtual (2)

- A páginas se diferem!
  - Proteção
    - Páginas da área de texto são em geral *read-only*, enquanto pilha, dados e *heap* são *read-write*
  - Inicialização
    - Código e dados inicializados: lidos do arquivo executável
    - Dados ñ inicializados: *zero filled*
    - u area e kernel stack: têm suas páginas copiadas do pai c/ alguns elementos alterados
  - *Shared pages* podem conter tanto dados quanto código
    - Dados podem ser compartilhados apenas até serem modificados

Algoritmos de Substituição

- A maioria dos UNIX utiliza política global de substituição
  - É garantido um número mínimo de páginas residentes por processo
- São usadas variantes do LRU
- Quando liberar páginas da memória?
  - Na hora em que ocorre um *page fault*: solução ineficiente que degrada o desempenho do sistema.
  - Em geral, os kernels implementam um esquema onde as páginas são periodicamente liberadas e colocadas em um pool de páginas livres "free page list" (molduras)
  - *Prepaging*: as páginas do *working set* são trazidas para memória antes que o processo seja escalonado

Requisitos de Hardware

- O subsistema de gerência de memória se apóia no hardware para a execução de várias tarefas
  - MMU
- Tradução de endereços
  - Tabelas de páginas
  - Translation Lookaside Buffer (TLB)
  - O hardware dita o formato dessas estruturas, mas o S.O. é responsável pelo set up e a manutenção das mesmas
- Tabelas de páginas
  - uma tabela de páginas para endereços de kernel
  - uma ou mais tabelas de páginas para cada processo
    - Em geral cada região/área tem uma tabela de páginas própria

Tabela de Páginas por Região (1)

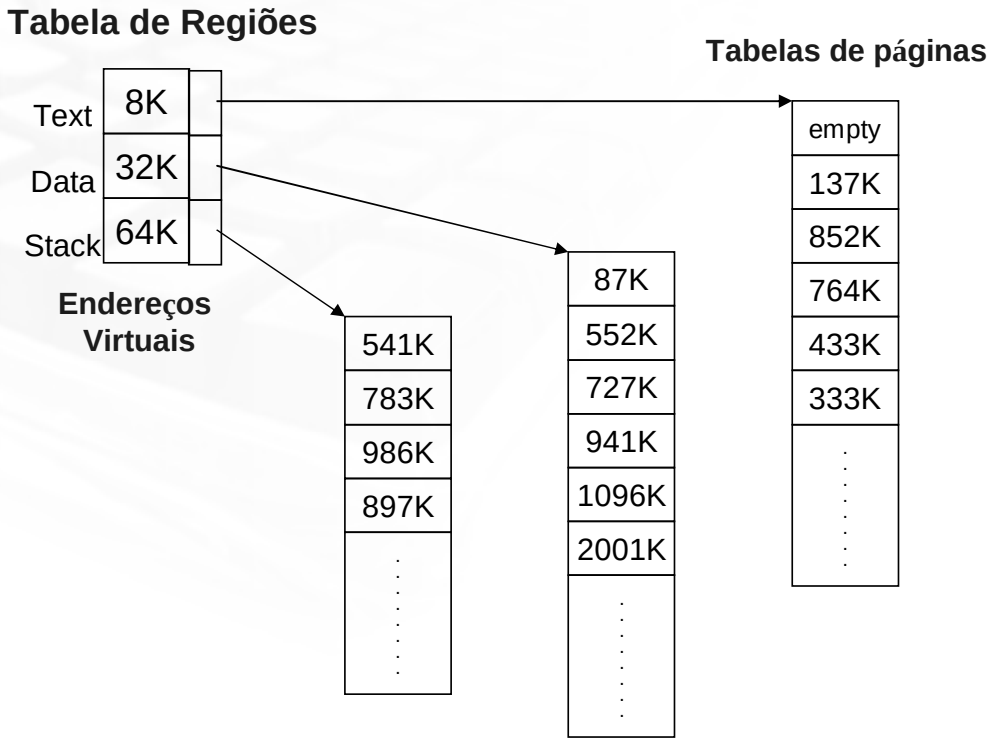
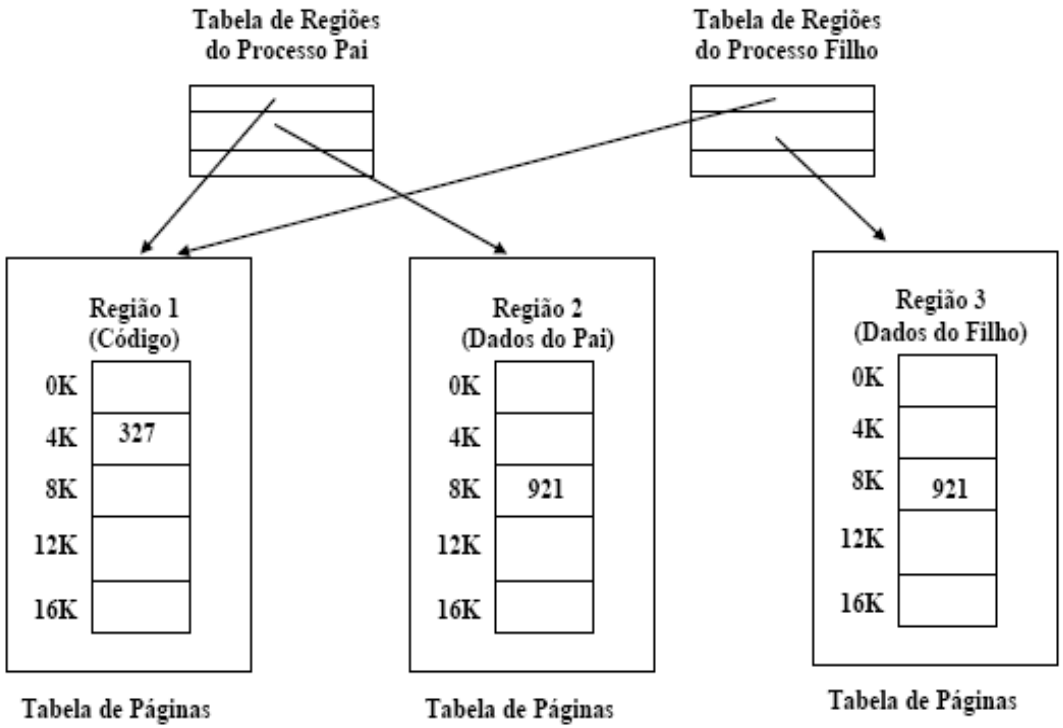
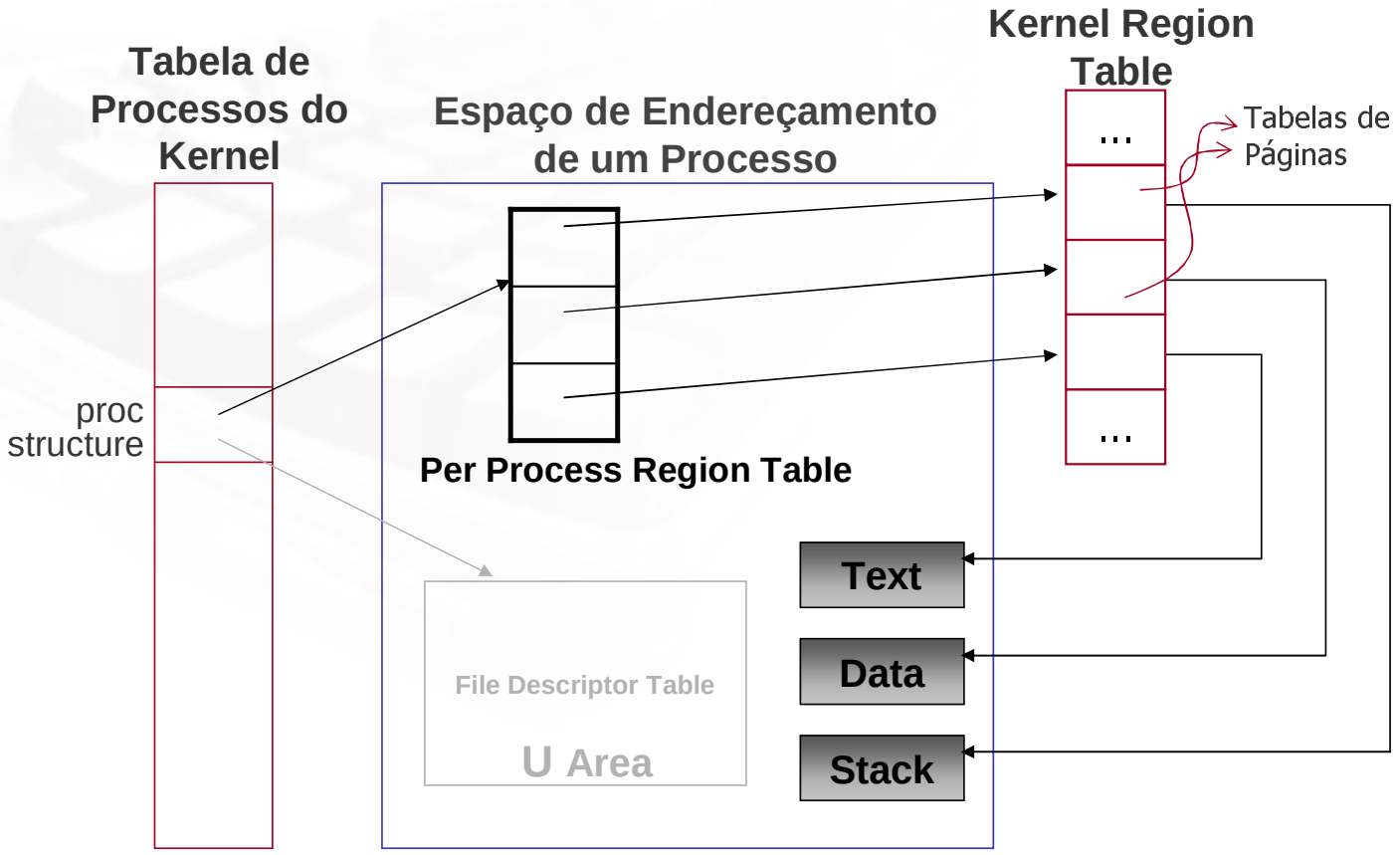


Tabela de Páginas por Região (2)

O que ocorre após um fork()?



Estruturas de Dados para Gerência de Memória



Page Faults

- Faltas de Presença
  - A página não está presente na tabela de páginas (ñ há PTE)
- Faltas de Validação
  - PTE marcada como inválida (página ñ residente na memória)
- Faltas de Proteção
  - O acesso pretendido não está de acordo com a proteção definida para a página

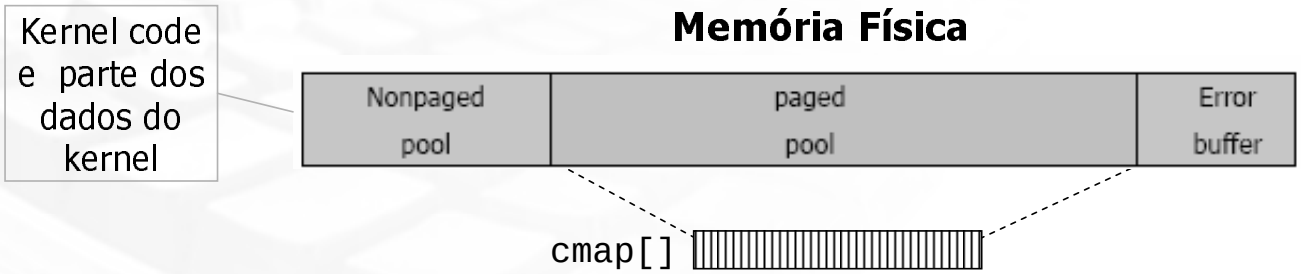
- Na ocorrência de um *Page Fault*, a MMU gera uma interrupção, e o controle é transferido para o respectivo *handler* no kernel
  - O handler pode:
    - tentar resolver o problema (ex: trazendo a página para a memória)
    - notificar o processo enviando um sinal (SIGSEGV)
      - Poderá eventualmente ser tratado pelo processo, por exemplo, aumentando a região de dados.

Memória Virtual do 4.3 BSD

- Baseada no VAX-11 (32 bits c/ páginas de 512 bytes)
- Três estruturas de dados principais
  - *Core map* (tabela de frames da memória física)
  - *Page tables* (tabelas de páginas p/ tradução)
  - *Disk maps*
    - Mapeia páginas do espaço de endereçamento virtual em blocos de discos da área de swap
    - Localizados na u-area

Memória Virtual do 4.3 BSD

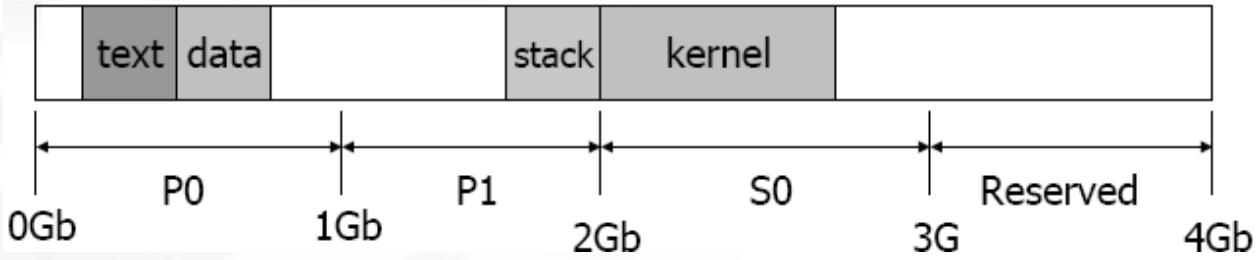
Core map



- *Paged pool* descrito como um array de estruturas ***cmap***:
  - Identificação < owner(pid), type, virtual page number>
  - Free list pointers <next, prev> (mantido em LRU aproximado)
  - Text page cache <device, block number>
  - Synchronization flags

Memória Virtual do 4.3 BSD

Virtual Address Space



- P0 (região de programa): user text e data
- P1 (região de controle): *user stack*, *kernel stack*, *u area*
- S0 (região de sistema): kernel text e data
- *Reserved*: não suportada

- Data e stack podem crescer "livremente"

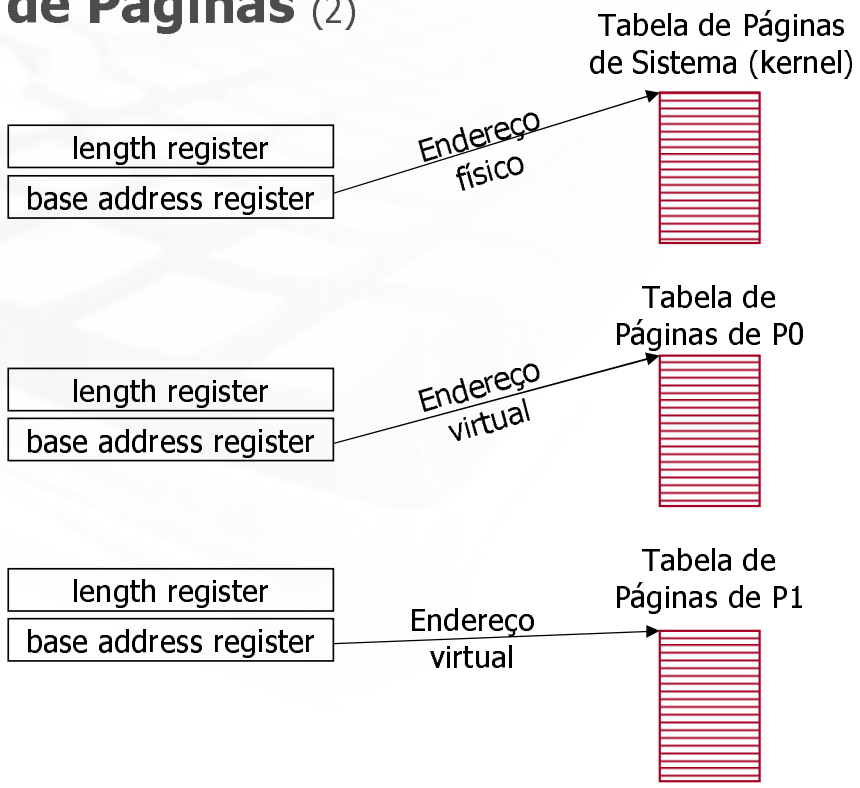
Memória Virtual do 4.3 BSD

Tabelas de Páginas (1)

- O hardware do VAX suporta diretamente tabelas de páginas para tradução
- A *proc structure* possui uma descrição incluindo a localização e o tamanho de cada tabela de página do processo
- Existe uma única tabela de páginas de sistema
  - Ela encontra-se de forma contígua na memória física
- Cada processo possui 2 tabelas de páginas: para mapear P0 e P1
  - Elas encontram-se de forma contígua no espaço de endereçamento virtual do kernel
- Cada tabela de páginas é definida por um par de registradores
  - base address register
  - length register

Memória Virtual do 4.3 BSD

Tabelas de Páginas (2)



Memória Virtual do 4.3 BSD

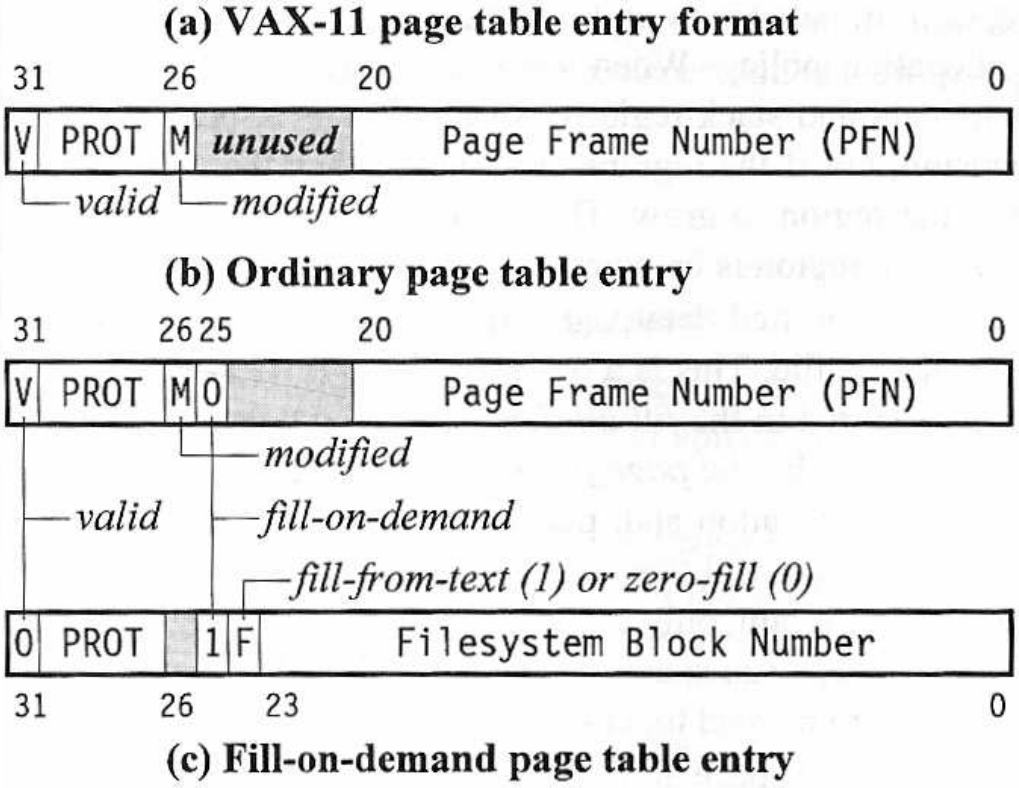
Tradução de Endereços

- A tradução de um endereço virtual dentro do espaço de endereçamento do processo envolve dois acessos à memória
  - O primeiro, para a tabela de páginas de sistema, para calcular o endereço físico da tabela de páginas do processo
  - O segundo, para a tabela de páginas (de uma das regiões) para calcular o endereço físico do elemento especificado
- Troca de contexto
  - Os registradores *base address* e *length* das tabelas de páginas de P0 e P1 são atualizados
  - TLB é dividida em duas seções
    - Uma para tradução de endereços de sistema
    - Outra (*per-process section*) para tradução de endereços de processo
  - Somente a *per-process section* é "descarregada" durante a troca de contexto

Memória Virtual do 4.3 BSD
Estados das Páginas

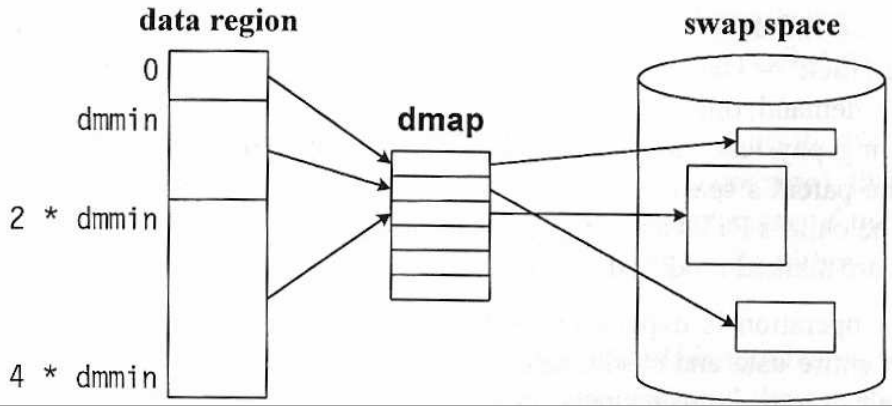
- Resident
- Fill-on-demand
  - Fill-from-text
  - Zero-fill
- Swapped out

- Estados codificados nas PTEs



Memória Virtual do 4.3 BSD
Área de Swap (dmap- disk map)

- Quando um processo é criado o kernel aloca espaço na área de swap para os dados e pilhas
- As páginas de *text* (e dados não modificados) teoricamente não precisam de ser "swapped out"
  - No BSD, elas também são colocadas em swap, para evitar a recomputação do *file system block number*
- Alocação de área de swap controlada em estruturas *dmap*
  - Cada região possuiu uma *dmap* de tamanho fixo



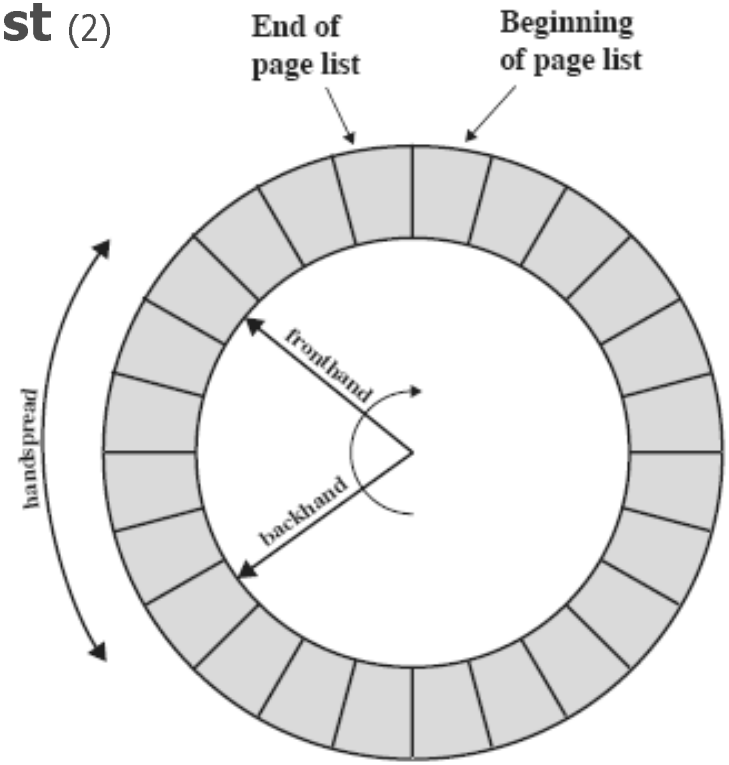
Memória Virtual do 4.3 BSD

Free Page List (1)

- *Page deamon*
  - Processo que mantém a lista de frames livres
  - Acordado periodicamente para checar o número de page frames livres (indicado pela variável *freemem*):
    - *minfree* <= freemem <= *maxfree*
    - Em geral mantém-se freemem = 1/4 da memória)
  - Se for inferior, o page daemon transfere páginas do disco para a memória
  - O critério de substituição padrão é o NRU, implementado através do algoritmo "two handed clock" (similar ao Algoritmo do Relógio)
    - A tabela cmap[] é tratada como circular
    - São mantidos dois ponteiros que avançam juntos
    - O ponteiro da frente zera o *refrenced bit*
    - O ponteiro de traz verifica o *reference bit*

Memória Virtual do 4.3 BSD

Free Page List (2)

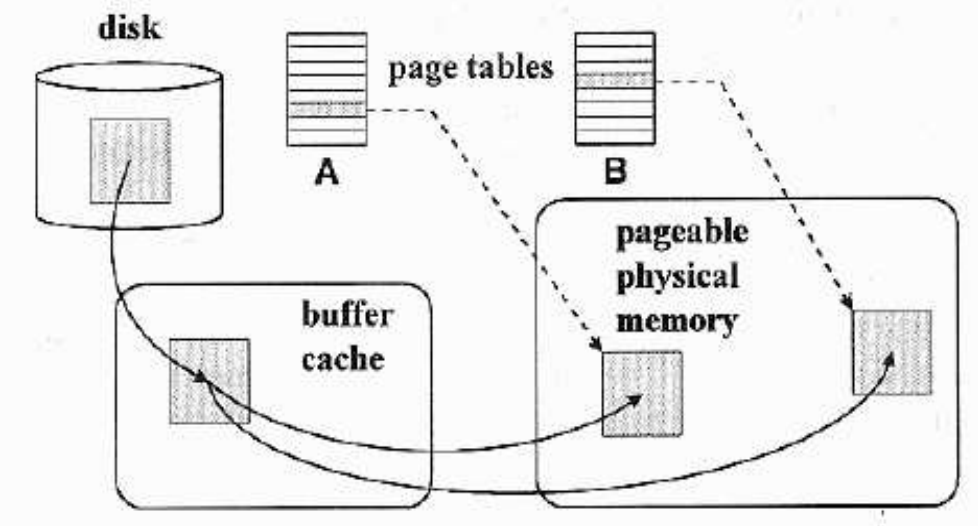


Core Map

Discussão

- Tamanho de página reduzido (512 bytes).
- Quantidade reduzida de regiões
  - Normalmente necessita-se de 3 segmentos (código/dados/pilha), VAX/VMS tem 2.
  - Código e dados na mesma região
  - Pouco modular
- S.O. completamente amarrado ao hardware
- Não há suporte para memória ou biblioteca compartilhadas
- Sem suporte para "*memory mapped files*"

Memory mapped files (1)



Dois processos lendo uma mesma página de um arquivo

Memory mapped files (2)