Gerenciamento de I/O e Interrupções

Parte 1 - Visão Geral e Mecanismos

Engenharia de Computação
Pontifícia Universidade Católica de Campinas

Prof. Dr. Denis M. L. Martins

Objetivos de Aprendizagem

Ao final desta aula, você será capaz de:

- Explicar técnicas de gerenciamento de I/O.
  - Incluindo a sequência de eventos sob técnicas síncronas e assíncronas (polling vs interrupções)
- Discutir as vantagens e desvantagens das técnicas de gerenciamento de I/O
- Explicar (interrupção) livelock e mitigação via técnica híbrida.

Questões principais

- Como podemos gerenciar I/O?
  - Solução simples: Loop para aguardar I/O $\longrightarrow$ Polling
  - Por que manter a CPU ocupada em um loop quando nada acontece?
  - Com multitasking, esse tempo é desperdiçado, pois, outras tarefas poderiam utilizar melhor a CPU.
- Como podemos melhorar o processamento de I/O em relação ao polling?
  - Adicionar interrupções como mecanismo de notificação de I/O.
  - Como organizar o I/O então?
  - Qual o *overhead* (sobrecarga) que surge?

Visão Geral

- **I/O é um dos aspectos mais importantes na operação de um computador**
- **Desafios**:
  - Dispositivos de I/O variam muito
  - Métodos diversos para controlá-los
  - Gerenciamento de desempenho
  - Novos dispositivos surgem frequentemente

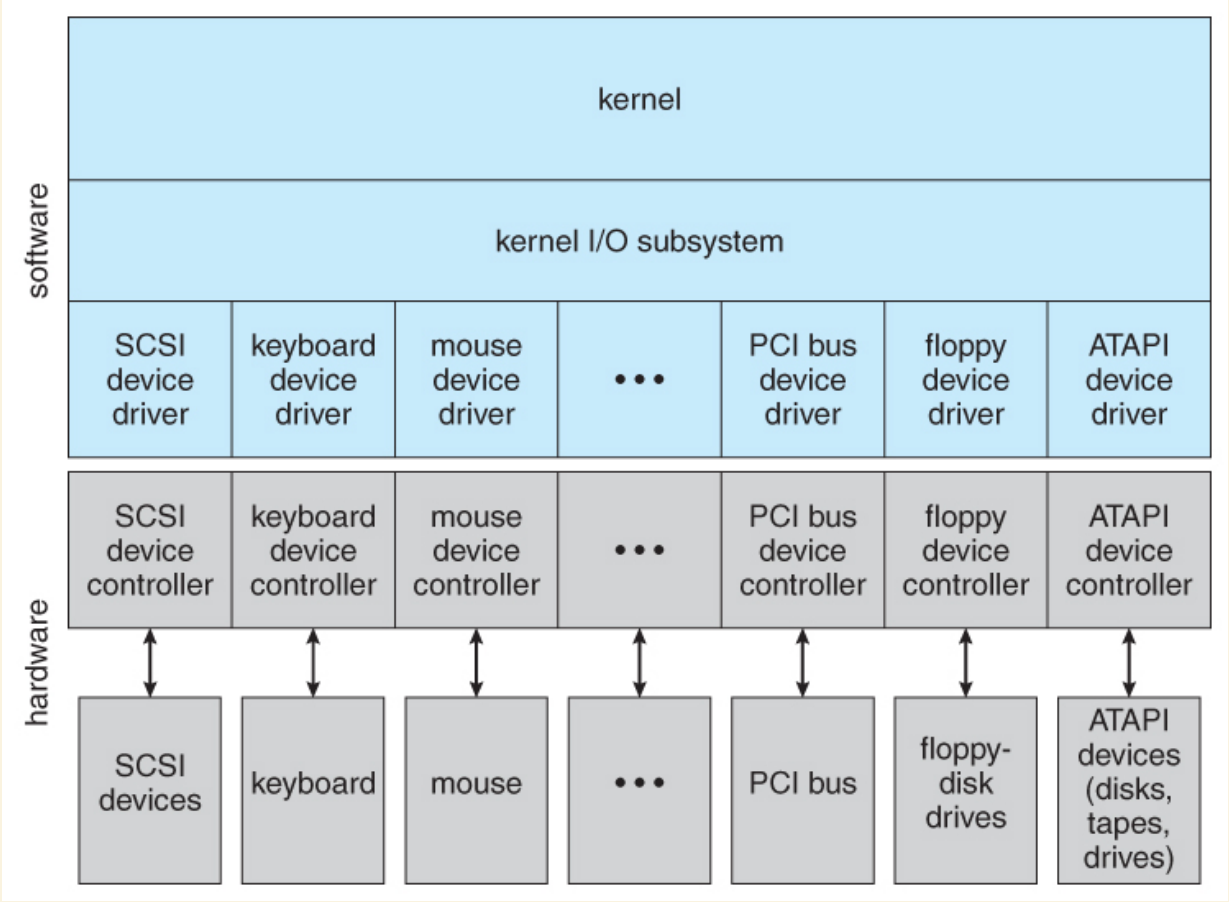
Visão Geral (cont.)

- Os dispositivos de I/O são componentes que interagem com o SO (Sistema Operacional).
- Alguns **recebem** solicitações e **entregam** resultados
  - Ex.: disco, impressora, placa de rede.
- Outros **geram eventos** por conta própria
  - Ex.: temporizador/relógio, teclado, placa de rede.

Visão Geral (cont.)

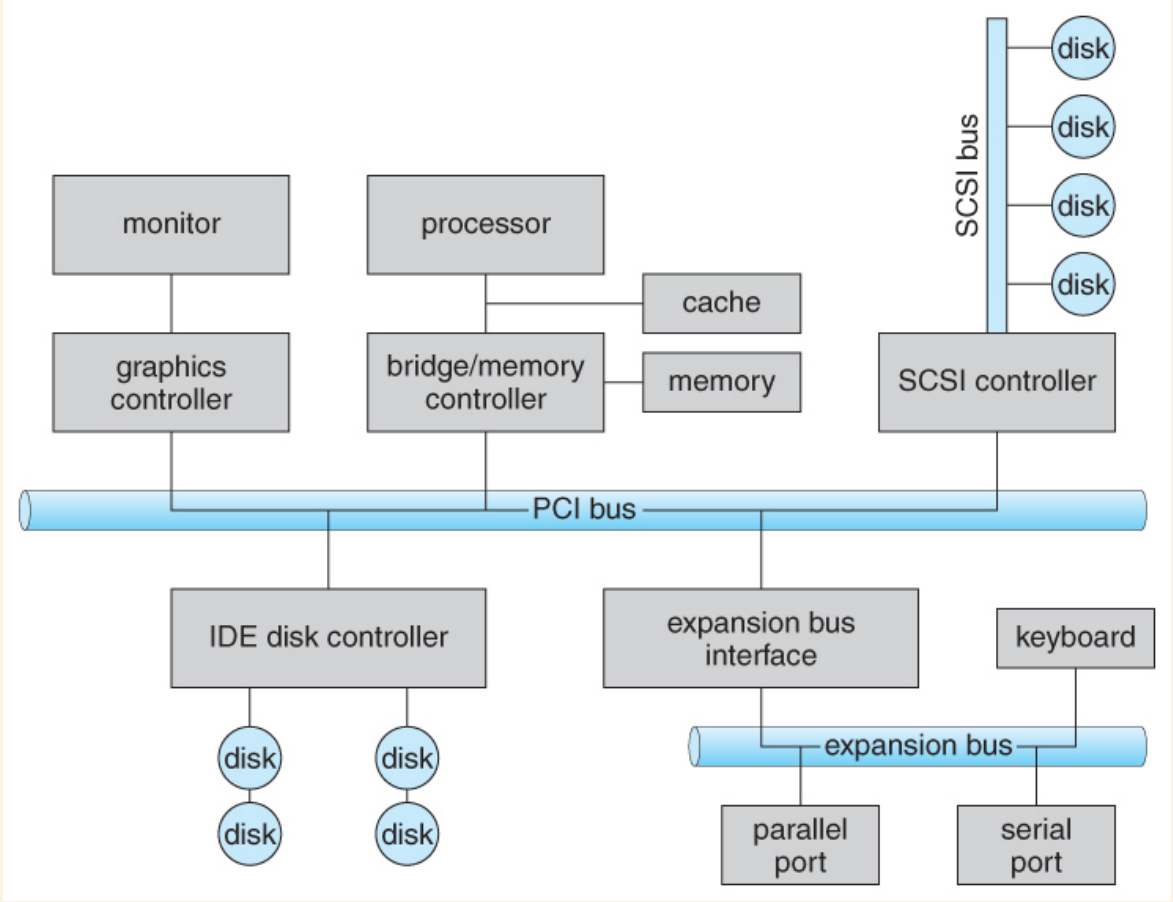
- **Função do SO**: gerenciar e controlar operações e dispositivos de I/O
- **Driver de dispositivo**: Interface *uniforme* para o subsistema de I/O
  - Encapsula detalhes do hardware do dispositivo
  - Kernel do SO estruturado para usar módulos de driver de dispositivo.

Estrutura do Kernel para gerenciamento de I/O



Fonte da Imagem: A. Silberschatz *et. al*, **Operating Systems Concepts**, capítulo 13.

Estrutura Típica de Barramento em PCs



Fonte da Imagem: A. Silberschatz *et. al*, **Operating Systems Concepts**, capítulo 13.

Hardware de I/O

- Grande variedade de dispositivos de I/O:
  - Armazenamento
  - Interface humana
- Conceitos comuns:
  - Porta: ponto de conexão do dispositivo
  - Barramento: compartilhamento ou conexão em cadeia
- Exemplos:
  - Barramento PCI comum em PCs
  - PCI Express (PCIe) em servidores modernos
  - SAS (Serial Attached SCSI) para discos

Hardware de I/O (cont.)

- Controlador (adaptador de host):
  - Opera porta, barramento e dispositivo
  - Pode ser integrado ou em placa separada
  - Contém processador, microcódigo, memória privada, etc.
- Alguns controladores por dispositivo também possuem microcódigo próprio

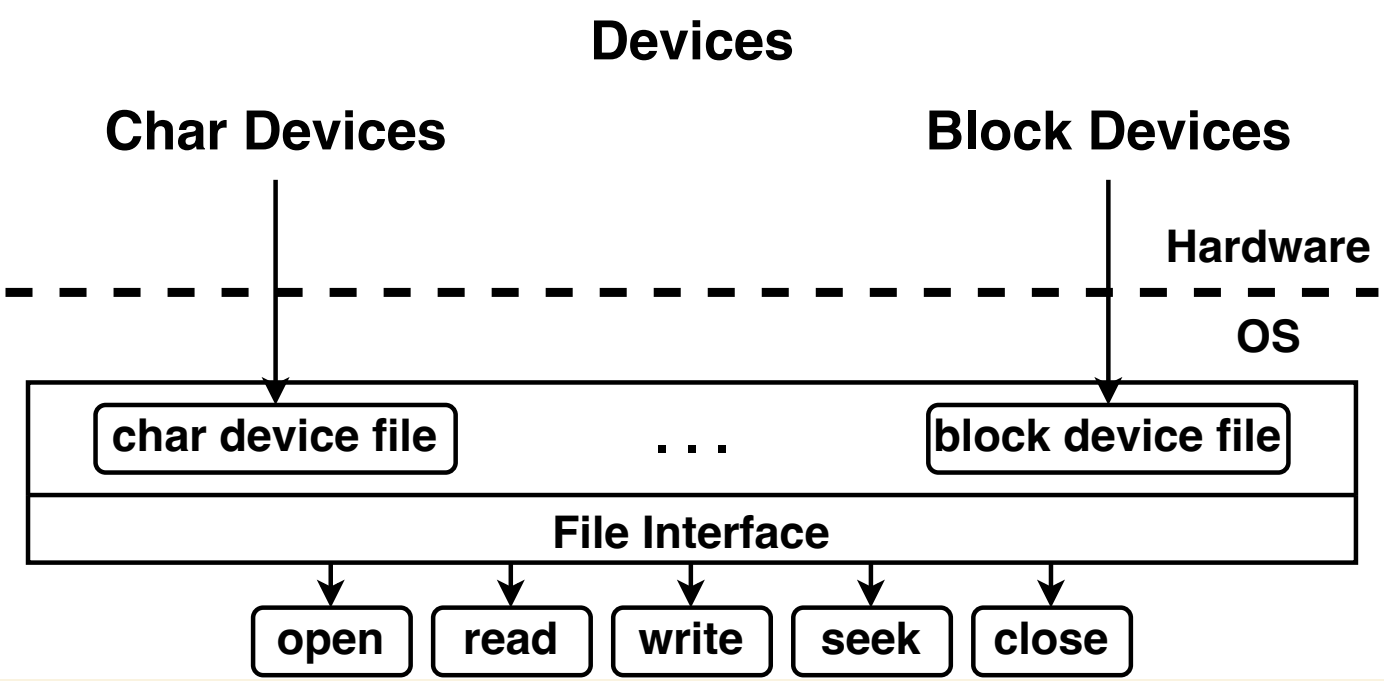
Hardware de I/O (cont.)

- Fibre Channel (FC): controlador complexo, geralmente em adaptador separado (host-bus adapter, HBA)
- Instruções de I/O controlam dispositivos
- Dispositivos possuem registradores para comandos, endereços e dados:
  - Data-in, Data-out, Status e Controle
  - Registradores geralmente entre 1-4 bytes ou FIFO

Endereçamento de Dispositivos

- Dispositivos têm endereços utilizados por:
  - Instruções diretas de I/O
  - I/O mapeado em memória
- **Memory mapping**: Dados e comandos dos dispositivos são mapeados no espaço de endereçamento do processador
  - Útil para dispositivos de grande capacidade como placas gráficas

Representação de Dispositivos de I/O no Linux

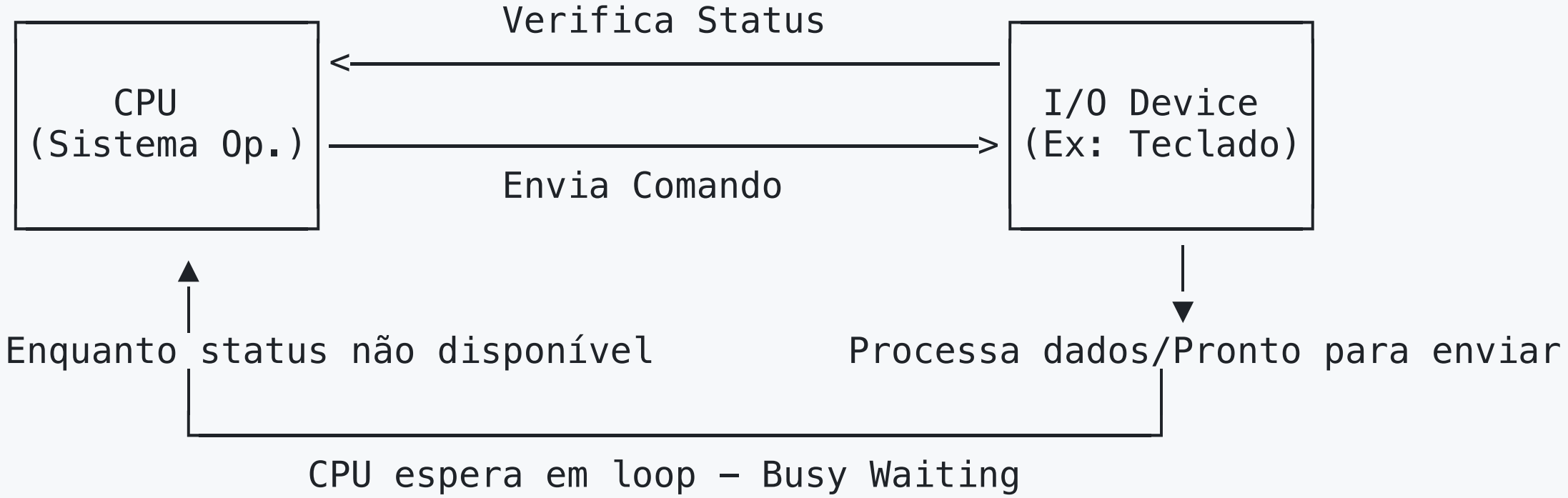


Linux abstrai um dispositivo de I/O como um arquivo especial (diretório `/dev`). Fonte da Imagem: OS Team - OS OER

Mecanismos de gerenciamento de I/O

- **Polling**: SO "pergunta" continuamente por eventos ou resultados
  - Com o polling, a I/O é chamada de **síncrona**.
  - SO monitora a operação de I/O para verificação de conclusão.
- **Interrupções**: o dispositivo alerta quando ocorreu um evento ou resultado
  - Com interrupções, a I/O é chamada de **assíncrona**.
  - O SO inicia a operação de I/O.
  - I/O prossegue de forma assíncrona, liberando a CPU para realizar outras tarefas.
  - O dispositivo aciona uma interrupção quando a operação de I/O é concluída.
  - CPU é interrompida e o resultado da I/O é tratado pelo SO.

Polling


Verifica Status
CPU
(Sistema Op.)
I/O Device
(Ex: Teclado)
Envia Comando
Enquanto status não disponível
Processa dados/Pronto para enviar
CPU espera em loop – Busy Waiting

Polling (cont.)

Passos para cada byte de I/O:

1. Ler bit de ocupado do registrador de status até ser 0
2. Configurar bits de leitura/escrita
3. Copiar dados para registrador se for escrita
4. Ativar bit de comando-pronto
5. Controlador configure bit de ocupado e executa a transferência
6. Controlador limpa bits ao finalizar

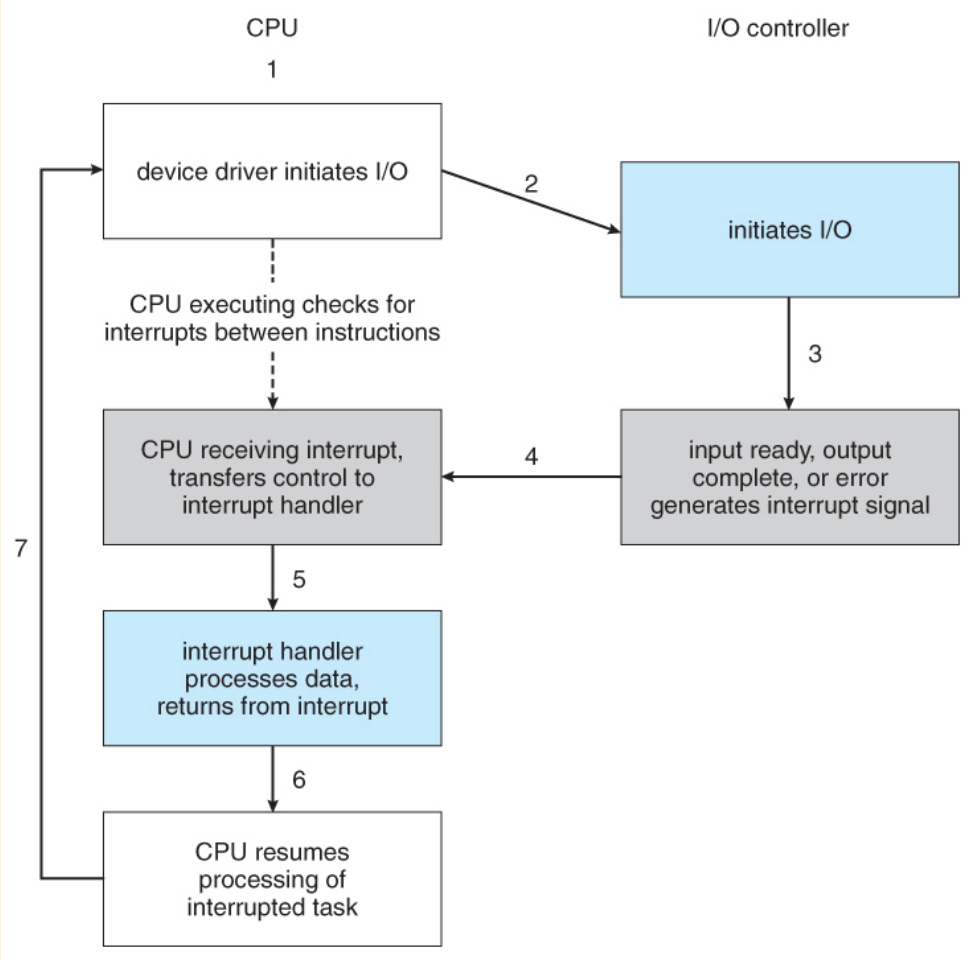
- Passo 1 é um ciclo **busy-wait** para aguardar I/O do dispositivo.
  - Razoável se o dispositivo for rápido. Mas ineficiente se o dispositivo for lento.
  - A CPU muda para outras tarefas? Os dados pode ser sobrescritos/perdidos.

Polling (cont.)

- **Vantagens**:
  - Fácil de programar
  - Rápido: resultado processado assim que estiver disponível
  - Sem overhead
- **Desvantagem**:
  - *Busy waiting*: CPU espera a ocorrência de um evento
    - Desperdício de CPU
    - Ruim se o período de espera é muito longo

Interrupções

- Alternativa ao polling para eficiência
- Gerada externamente à CPU:
  - SO inicia a operação de I/O no dispositivo.
  - CPU fica livre para fazer outra coisa **assincronamente** durante a execução da I/O.
  - Em momento posterior, a operação de I/O é concluída e o dispositivo aciona uma interrupção.
  - O manipulador de interrupções do SO age de acordo.
  - CPU é interrompida e salta (muda o registrador PC) para o *interrupt handler*
- CPU não precisa esperar I/O ser completada: sem *busy waiting*
  - Interrupt handler (tratador de interrupções) manipula evento



Ciclo de I/O Baseado em Interrupção

- Dispositivo de I/O aciona interrupção da CPU.
- O gerenciador (handler) de interrupções recebe a interrupção.
- Um vetor de interrupção é usado para despachar a interrupção para o gerenciador (handler) correto.
  - Troca de contexto no início e no fim, baseada na prioridade.
  - Encadeamento de interrupções se mais de um dispositivo estiver na mesma interrupção.
- Fonte da Imagem: A. Silberschatz *et. al*, **Operating Systems Concepts**, capítulo 13.

Interrupções (cont.)

- O SO especifica um manipulador para cada tipo de interrupção e exceção.
  - *Handler* = função
  - O tipo de interrupção é determinado pelo número.
- Exemplo em processadores x86:
  - Os endereços dos *handlers* são armazenados pelo SO em uma tabela na memória, a *Interrupt Descriptor Table* (IDT).
    - Vetor de Interrupção
    - Cada entrada da tabela aponta para um *handler*/função.
- Núcleo de CPU contém o *Interrupt Descriptor Table Register* (IDTR).
  - SO inicializa o IDTR com o endereço de início da IDT

Interrupções (cont.)

Ao receber uma interrupção do tipo n:

- Ocorre uma **mudança de contexto**, e (no modo kernel) a CPU:
  - Salva o estado da execução atual,
  - Usa o IDTR para acessar a IDT,
  - Consulta a entrada n na IDT e invoca o *handler*/função correspondente.
- Posteriormente, o estado é restaurado e a execução anterior continua.
- A troca de contexto acarreta uma sobrecarga (overhead).

Interrupções (Cont.)

- Também usadas para exceções e chamadas de sistema
- Em sistemas multi-CPU, interrupções podem ser processadas simultaneamente
- Usadas para processamento sensível a tempo

Conclusão

- As operações de entrada/saída (I/O) são caras por várias razões:
  - Dispositivos lentos e links de comunicação lentos
  - Concorrência proveniente de múltiplos processos.
  - O I/O é tipicamente suportado através de chamadas de sistema e tratamento de interrupções, que são lentas.
- Abordagens para melhorar o desempenho:
  - Aumentar o número de dispositivos para reduzir a concorrência por um único dispositivo e, assim, melhorar a utilização da CPU.
  - Aumentar a memória física para reduzir o tempo de paginação e, portanto, melhorar a utilização da CPU.

Leitura adicional

- Capítulo 5 do livro **Sistemas Operacionais Modernos**, de A. TANENBAUM
- Capítulo 13 do livro: **Operating Systems Concepts**, de A. Silberchatz *et. al*.

Dúvidas e Discussão