

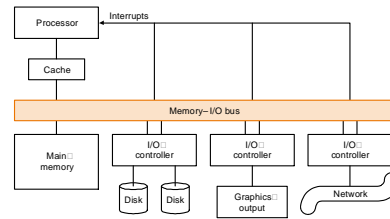
Organização de Computadores

Aula 22

Barramentos

INF01113 - Organização de Computadores

Collection of I/O Devices



Communication between I/O devices, processor and memory use protocols on the bus and interrupts

INF01113 - Organização de Computadores

Impact of I/O on Performance

A benchmark executes in 100 seconds

- 90 seconds CPU time
- 10 seconds I/O time

If CPU improves 50% per year for next 5 years, how much faster does the benchmark run in 5 years?

$$90/(1.5)^5 = 90/7.59 = 11.851 \Rightarrow 21.851s$$

$$100/(1.5)^5 = 100/7.59 = 13.175s$$

INF01113 - Organização de Computadores

I/O Devices

- Very diverse devices
 - behavior (i.e., input vs. output)
 - partner (who is at the other end?)
 - data rate

Device	Behavior	Partner	Data rate (KB/sec)
Keyboard	input	human	0.01
Mouse	input	human	0.02
Voice input	input	human	0.02
Scanner	input	human	400.00
Voice output	output	human	0.60
Line printer	output	human	1.00
Laser printer	output	human	200.00
Graphics display	output	human	60,000.00
Modem	input or output	machine	2,000-8,000
Network/LAN	input or output	machine	500,000-6,000,000
Floppy disk	storage	machine	100.00
Optical disk	storage	machine	1,000.00
Magnetic tape	storage	machine	2,000.00
Magnetic disk	storage	machine	2,000.00-10,000.00

INF01113 - Organização de Computadores

Barramentos

1. Introdução
2. Classificação dos barramentos
3. Barramentos síncronos
4. Barramentos assíncronos
5. Controle de acesso ao barramento
6. Padrões de barramento
7. Projeto e análise de desempenho

INF01113 - Organização de Computadores

1. Introdução

- barramento realiza a interconexão entre os vários sub-sistemas de um computador (CPU, memórias, disco rígido, periféricos, etc)
- o barramento é, fisicamente, um conjunto de fios que exercem diversas funções
- a comunicação entre as diversas unidades é realizada através do compartilhamento do barramento no tempo
- conectores ligam eletricamente os subsistemas ao barramento
- vantagens do barramento: baixo custo e flexibilidade
- desvantagens: gargalo na banda de passagem e restrições elétricas

INF01113 - Organização de Computadores

Introdução

- cada barramento tem uma banda de passagem (BW) expressa em capacidade de transações (bytes/seg)
- fatores que afetam a BW de um barramento
 - comprimento físico e número de módulos conectados, que influem sobre propriedades elétricas
 - largura em bits
- os barramentos podem ser de três tipos, de acordo com sua aplicação
 - processador-memória
 - entrada/saída
 - “backplane”

INF01113 - Organização de Computadores

2. Classificação dos barramentos

- barramentos do tipo processador-memória
 - são curtos e extremamente rápidos
 - buscam maximizar a BW memória-processador
- barramentos do tipo entrada/saída
 - são mais longos
 - podem ter muitos dispositivos conectados a ele
 - muitas vezes necessitam atender uma ampla faixa de bandas passante
 - não necessariamente têm uma interface direta com a memória
 - podem usar um dos outros para se comunicar com a memória

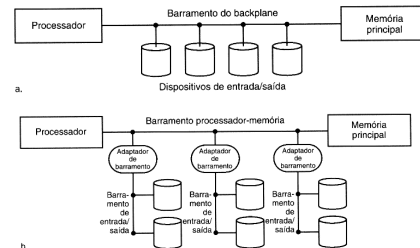
INF01113 - Organização de Computadores

Classificação dos barramentos

- barramentos do tipo “backplane”
 - nome devido ao local de construção (no “backplane”, estrutura onde as placas são fixadas no chassis da máquina)
 - este barramento foi projetado de modo que processadores, memórias e dispositivos de entrada/saída possam ser interconectados em um único barramento
- barramentos processador-memória são geralmente diferentes em cada projeto de placa, enquanto que os outros dois tipos podem ser reaproveitados
- barramentos de diferentes tipos podem ser interconectados através de um adaptador (ou “ponte” = *bridge*) de barramento

INF01113 - Organização de Computadores

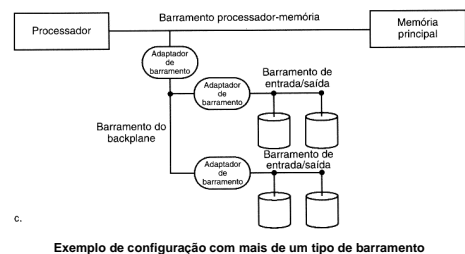
Classificação dos barramentos



Exemplos de configurações com um ou mais tipos de barramentos

INF01113 - Organização de Computadores

Classificação dos barramentos



Exemplo de configuração com mais de um tipo de barramento

INF01113 - Organização de Computadores

3. Barramentos síncronos

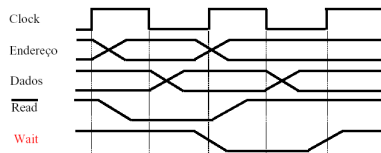
- incluem um clock em uma das linhas e possuem um protocolo de comunicação associado a este clock
- exemplo: o processador transmite um endereço e um comando de leitura no primeiro ciclo de clock e a memória responde no quinto ciclo de clock
- vantagens
 - lógica simples é necessária para o controle da transação
 - barramento rápido e de baixo custo
- desvantagens
 - todos os dispositivos devem operar na mesma velocidade
 - risco de *clock skew*
 - têm comprimento físico limitado

INF01113 - Organização de Computadores

Transações em um barramento síncrono

Uma transação consiste basicamente de duas partes:

- envio do endereço
- leitura dos dados



INF01113 - Organização de Computadores

4. Barramentos assíncronos

- não seguem um clock
- a comunicação se dá através de um protocolo conhecido como aperto de mão ("handshaking"), que é *self-timed*
- vantagens
 - adaptável a uma grande variedade de dispositivos (velocidades)
 - mais adaptável a mudanças tecnológicas
 - permite maior comprimento físico
- usado tipicamente em transações de entrada/saída
- desvantagens
 - lógica dedicada mais complexa é necessária em cada dispositivo
 - maior *overhead* devido ao processo de sincronização
 - menor BW

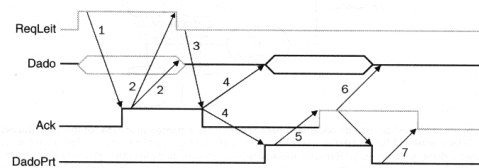
INF01113 - Organização de Computadores

Transações em um barramento assíncrono

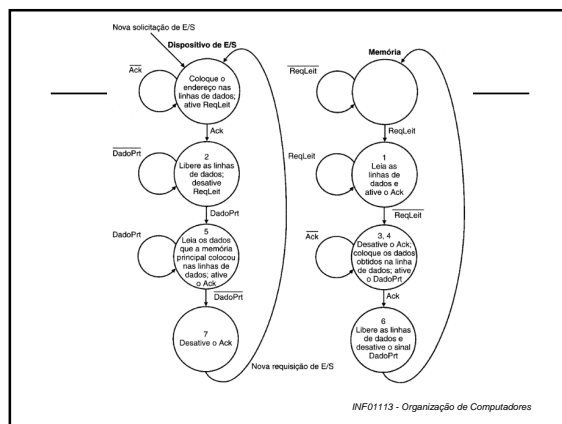
- 0 - colocação do **endereço** nas linhas de **dados** e ativação do sinal de **leitura requerida** pelo dispositivo de entrada/saída
- 1 - leitura do **endereço** e ativação do **sinal de reconhecimento** pela memória
- 2 - detecção do **sinal de reconhecimento** e liberação das linhas de **dados** e **leitura requerida** pelo dispositivo
- 3 - reconhecimento da liberação das linhas e desativação do **sinal de reconhecimento** pela memória
- 4 - quando pronta, a memória coloca os dados nas linhas de **dados** e ativa o sinal de **dados prontos**
- 5 - o dispositivo reconhece o sinal de **dados prontos**, lê os dados e ativa o **sinal de reconhecimento**
- 6 - a memória detecta o **sinal de reconhecimento**, e então libera as linhas de **dados** e **dados prontos**
- 7 - o dispositivo detecta a liberação da linha **dados prontos** e desativa o **sinal de reconhecimento**

INF01113 - Organização de Computadores

Transações em um barramento assíncrono



INF01113 - Organização de Computadores



INF01113 - Organização de Computadores

5. Controle de acesso ao barramento

- quais dispositivos podem acessar o barramento em um determinado instante de modo a não ocorrerem conflitos?
- este controle pode ser realizado com a introdução de um ou mais **mestres** do barramento
- mestre = dispositivo com a função de iniciar e monitorar todas as requisições feitas ao barramento
- dispositivos que atendem a solicitações de leitura e escrita = **escravos**
- esquema mais simples: **apenas um mestre** monitorando as requisições (geralmente é o processador)
- esquema alternativo: **diversos mestres**, liberando o processador da tarefa de monitorar as requisições
- para disciplinar o acesso de vários mestres ao barramento: **mecanismo de arbitragem**

INF01113 - Organização de Computadores

Mecanismos de arbitragem

- dispositivo que deseja utilizar o barramento deve sinalizar uma **requisição para uso do barramento**
- dispositivo só poderá utilizar o barramento quando receber uma **garantia de uso ("grant")** do barramento
- ao final da transação o dispositivo deve **sinalizar a liberação** para o árbitro
- arbitragem** é a decisão sobre qual dos dispositivos vai obter o controle do barramento, em caso de múltiplas requisições simultâneas de acesso
 - árbitro é introduzido para realizar a arbitragem
- esquemas de arbitragem devem ...
 - balancear a prioridade de acesso ao barramento
 - garantir o acesso ao barramento a todos os dispositivos

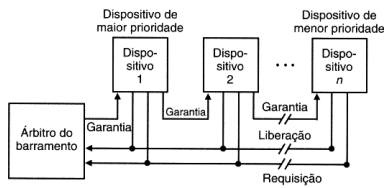
INF01113 - Organização de Computadores

Mecanismos de arbitragem

- daisy chain**
 - dispositivos conectados em cascata e por ordem de prioridade à **linha com a informação de garantia de uso**
 - dispositivos de prioridade mais alta podem não deixar os de prioridade mais baixa receber este sinal
- centralizada, com requisição em paralelo
 - dispositivos estão ligados por linhas independentes a um **árbitro central**
 - árbitro central escolhe dispositivo, dentre os que solicitaram o barramento
 - desvantagem: árbitro central pode ficar sobrecarregado

INF01113 - Organização de Computadores

Mecanismos de arbitragem



Barramento com esquema de arbitragem *daisy chain*

INF01113 - Organização de Computadores

Mecanismos de arbitragem

- distribuído, com acesso por auto-seleção**
 - existem diversas linhas de requisição de acesso
 - cada dispositivo que necessita acessar o barramento coloca nestas linhas um código próprio
 - dispositivos analisam a informação no barramento e determinam por si próprios quem tem a prioridade mais alta para acessá-lo
- distribuído, com acesso por detecção de colisão**
 - dispositivos requisitam acesso de maneira independente ao barramento
 - duas ou mais requisições simultâneas constituem uma colisão
 - após uma colisão, dispositivos tentam novo acesso após um intervalo de tempo

INF01113 - Organização de Computadores

8. Padrões de barramentos

- barramentos normalmente são padronizados pois:
 - os sub-sistemas que vão usar o barramento devem obedecer parâmetros funcionais, lógicos, elétricos e físicos comuns, que viabilizam sua interconexão
 - em alguns casos, por questões de custo, existe um único barramento para todo o computador
- quanto melhor e mais rapidamente ocorrer a padronização, maior será o sucesso técnico e comercial dos produtos que usarem o barramento

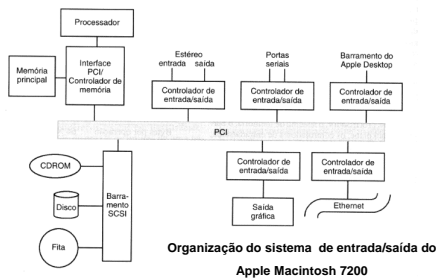
INF01113 - Organização de Computadores

Padrões de barramentos

Característica	PCI	SCSI
Tipo de barramento	backplane	entrada/saída
Largura do barramento de dados	32 a 64 bits	8 a 32 bits
Multiplexação de endereços e dados	multiplexados	multiplexados
Número de mestres do barramento	vários	vários
Arbitragem	centralizada, com requisição em paralelo	distribuída, com acesso por auto-seleção
Clock	síncrono 33 a 66 Mhz	assíncrono / síncrono (5 a 10 Mhz)
Banda passante teórica de pico	133 a 512 MB/segundo	5 a 40 MB/segundo
Banda passante estimada obtida para o barramento básico	80 MB/segundo	2.5 a 40 MB/segundo (síncrono) 1.5 MB/segundo (assíncrono)
Número máximo de dispositivos conectados	1024 (com barramento de vários segmentos; máximo 32 dispositivos por segmento)	7 a 31 (tamanho do barramento - 1)
Comprimento máximo para o barramento	0.5 m	25 m
Nome padrão	PCI	ANSI X3.131

INF01113 - Organização de Computadores

Padrões de barramentos



INF01113 - Organização de Computadores

7. Projeto e análise de desempenho

Maiores opções no projeto de um barramento

Opções	Alto desempenho	Baixo Custo
Largura do Barramento	Linhas de dados e endereço separadas	Linhas de dados e endereço multiplexadas
Largura dos dados	Maior é mais rápido (64/128 bits)	Menor é mais barato
Tamanho da transferência	Múltiplas palavras têm menor overhead	Uma só palavra é mais simples
Mestres do barramento	Múltiplos (requer árbitro)	Um único mestre (sem árbitro)
Transação dividida	Sim, requisições separadas e pacotes de resposta = maior BW	Não, transação única é barata e tem menor latência
Relógio	Síncrono	Assíncrono

INF01113 - Organização de Computadores

Exemplo 1

Barramento síncrono

- largura do barramento = 4 bytes
- transferências no barramento duram 5 ns (200 MHz)
 - envio do endereço para a memória
 - envio do dado de/para a memória
- leitura da memória: 20 ns

Qual o tempo total para a leitura de uma palavra?

$$5 \text{ ns} + 20 \text{ ns} + 5 \text{ ns} = 30 \text{ ns}$$

Qual a banda passante máxima?

$$4 \text{ bytes} / 30 \text{ ns} = 4 \text{ MB} / 0.03 \text{ s} = 133 \text{ MB/s}$$

INF01113 - Organização de Computadores

Exemplo 2

Barramento assíncrono

- largura do barramento = 4 bytes
- cada passo: 4 ns
- passo da memória: 20 ns

Qual o tempo total para a leitura de uma palavra?

passo 1: 4 ns

passos 2,3,4: máximo (3 x 4 ns, 20 ns) = 20 ns

passos 5,6,7: 3 x 4 ns = 12 ns

$$4 \text{ ns} + 20 \text{ ns} + 12 \text{ ns} = 36 \text{ ns}$$

Qual a banda passante máxima?

$$4 \text{ bytes} / 36 \text{ ns} = 4 \text{ MB} / 0.036 \text{ s} = 111 \text{ MB/s}$$

INF01113 - Organização de Computadores

Exemplo 3

Dados

- sistema de memória e barramento com acesso a blocos de 4 a 16 palavras de 32 bits
- barramento de 64 bits, síncrono, com clock de 500 MHz
 - cada transferência de 64 bits gasta um ciclo de clock
 - gasta 1 ciclo de clock para envio de um endereço à memória
- são necessários 2 ciclos de clock entre duas transferências sucessivas no barramento (suponha que o barramento está livre antes de um acesso)
- o tempo de acesso da memória para as primeiras 4 palavras é de 20 ns
 - cada grupo adicional de 4 palavras leva 8 ns para ser lido
- a transferência do dado lido mais recentemente e a leitura das próximas quatro palavras podem ocorrer simultaneamente

- 1) Encontre a banda passante e a latência para uma leitura de 256 palavras, para transferências em blocos de 4 palavras e para transferências em blocos de 16 palavras.
- 2) Calcule também o número efetivo de transações por segundo no barramento para cada caso.

Lembre-se de que uma transação no barramento consiste na transmissão do endereço seguida da transmissão do bloco completo de dados.

INF01113 - Organização de Computadores

Exemplo 3

Solução

No caso da transferência de blocos de 4 palavras, cada transação no barramento gasta:

- 1 ciclo de clock para enviar o endereço para a memória
- (20 ns) / (2 ns / ciclo) = 10 ciclos de clock para ler a memória principal
- 2 ciclos do clock para enviar o dado da memória principal
- 2 ciclos do clock gastos entre esta transferência e a próxima

Isto dá um total de 15 ciclos por transação.

São necessárias 256 palavras / 4 palavras/transação = 64 transações.

Portanto, a transferência das 256 palavras gasta 15 ciclos x 64 transações = 960 ciclos.

A latência é de 960 ciclos x 2 ns / ciclo = 1920 ns.

O número de transações por segundo no barramento é de

$$64 \text{ transações} / 1920 \text{ ns} = 33.3 \text{ M transações/segundo}$$

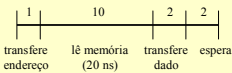
A banda passante do barramento é de

$$(256 \times 4) \text{ bytes} / 1920 \text{ ns} = 533.3 \text{ MB/seg}$$

INF01113 - Organização de Computadores

Exemplo 3

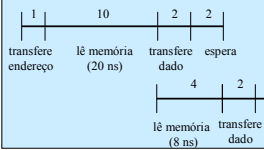
Caso 1: Transferência de blocos de 4 palavras



15 ciclos / transação
 256 palavras / 4 = 64 transações
 64 transações x 15 ciclos = 960 ciclos
 960 ciclos x 2 ns = 1920 ns
 64 trans. / 1920 ns = 33.3 Mtrans/s

(256 x 4) bytes / 1920 ns = 533.3 MB/seg

Caso 2: Transferência de blocos de 16 palavras



$1 + 10 + 4 \times (2 + 2) = 27$ ciclos / transação
 256 palavras / 16 = 16 transações
 16 transações x 27 ciclos = 432 ciclos
 432 ciclos x 2 ns = 864 ns

16 trans. / 864 ns = 18.6 Mtrans/s

(256 x 4) bytes / 864 ns = 1190.7 MB/seg

INF01113 - Organização de Computadores

Exemplo 3

No caso da transferência de blocos de 16 palavras, o primeiro grupo de 4 palavras precisa de:

- 1 ciclo de clock para o envio de um endereço à memória
- 20 ns ou 10 ciclos de clock para ler as primeiras 4 palavras da memória
- 2 ciclos de clock para o envio dos dados do bloco, ação esta que ocorre em paralelo com a leitura das 4 palavras do próximo grupo (que é feita em 8 ns).
- 2 ciclos do clock de inatividade entre duas transferências, durante os quais a leitura do próximo grupo de 4 palavras da memória se completa.

Portanto, cada um dos 3 grupos restantes de 4 palavras executa a leitura da memória em paralelo com os dois últimos passos do grupo anterior.

Portanto, o número total de ciclos de clock para cada bloco de 16 palavras é

$1 + 10 + 4 \times (2 + 2) = 27$ ciclos de clock.

São necessárias 256 palavras / 16 palavras/transação = 16 transações.

A transferência das 256 palavras gasta no total 27 ciclos x 16 transações = 432 ciclos de clock.

Portanto, a latência é de 432 ciclos x 2 ns/ciclo = 864 ns, que grosseiramente corresponde a 45% da latência no caso dos blocos de 4 palavras.

INF01113 - Organização de Computadores

Exemplo 3

O número de transações por segundo no barramento, com blocos de 16 palavras, é de
 16 transações / 864 ns = 18.6 M transações/segundo

que é menor que o encontrado no caso dos blocos de 4 palavras, pois cada uma das transações é mais demorada no caso dos blocos de 16 palavras (27 em contraposição a 15 ciclos).

A banda passante do barramento com blocos de 16 palavras é

(256 x 4) bytes / 864 ns = 1190.7 MB/segundo,

que vem a ser 2.23 vezes mais alta do que no caso dos blocos de 4 palavras.

A vantagem do uso de blocos maiores fica, portanto, muito clara.

INF01113 - Organização de Computadores