

REDES DE COMPUTADORES II

Topologias de Arquiteturas de Comunicação

Índice

1. Introdução

2. Topologias

3. Exercícios

Topologias de Infra-estruturas de Comunicação

- **Objetivo**
 - Prover a funcionalidade de comunicação desejada para o sistema. E.g. onde colocar um servidor de impressão, visto que metade das máquinas deseja utilizá-lo, e o fluxo de informação é muito grande?
- **Topologia física**
 - É a forma com que nodos e conexões estão organizados
 - É uma informação estrutural do sistema
- **Topologia lógica**
 - É a forma como os sinais trafegam sobre a topologia física
 - É uma informação comportamental do sistema
- **Fatores decisivos na escolha da topologia**
 - Relação custo/desempenho
 - Adequação aos requisitos da aplicação
 - No caso ideal, a interconexão da topologia corresponde exatamente ao padrão de comunicação da aplicação
 - Exemplo: árvore binária favorece algoritmos de divisão e conquista

Compreensão de Conceitos

1. Diferencie a topologia física da topologia lógica de uma infraestrutura de comunicação
2. É possível implementar uma topologia lógica em uma topologia física completamente diferente? Qua(l)/(is) a(s) consequência(s)?
3. Qual das alternativas abaixo melhor descrevem uma topologia?
 - O processo de transferência de um pacote
 - Uma forma de roteamento
 - Múltiplos tipos de rede
 - O arranjo físico das máquinas e conexões ou o arranjo lógico do tráfego de mensagens nos fios
4. Como a aplicação alvo pode influenciar na escolha da topologia de rede?

Topologias de Infra-estruturas de Comunicação

- **Critérios básicos para avaliação de topologias**
 - Complexidade de conexões
 - Número total de ligações entre componentes
 - Grau do nó
 - Número de ligações diretas que cada componente possui
 - Diâmetro
 - Maior distância entre dois componentes
 - Escalabilidade
 - Capacidade da rede interligar novos componentes mantendo as características originais da rede
 - Desempenho
 - Capacidade e velocidade de transferir informações
 - Indicadores são vazão e latência
 - Redundância
 - Existência de caminhos alternativos que permitem novos caminhos para as mensagens em caso de falha ou congestionamento

Compreensão de Conceitos

- Relacione alguns critérios básicos descritos (consequência do aumento de um frente ao outro). Justifique as relações
 - Grau do nó x Desempenho da rede
 - Grau do nó x Escalabilidade
 - Grau do nó x Diâmetro
 - Diâmetro x Desempenho da rede
 - Complexidade das conexões x Escalabilidade
 - Redundância x Complexidade das conexões
 - Desempenho x Redundância

Índice

1. Introdução

2. Topologias

3. Exercícios

Barramento

- **Característica**

- Todos os nodos estão diretamente conectados a meio físico compartilhado
- Rede dinâmica, multiponto, temporal
- Escalabilidade reduzida a uma centena de nodos
 - Utilizado em multiprocessadores com número moderado de nodos (< 100)
 - Comprimento do meio físico e número máximo de nodos determinado pela atenuação do sinal e pela qualidade da interface de HW (entre nodo e meio físico)

- **Grau**

2

- **Diâmetro**

1

- **Número de conexões**

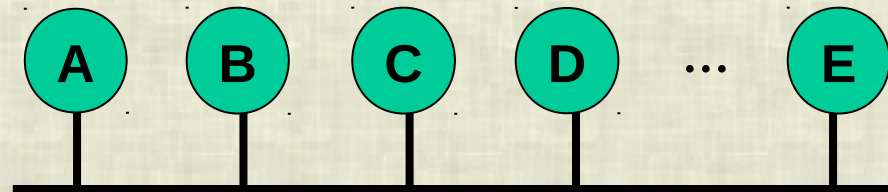
1

- **Comunicação**

- Nodos se comunicam diretamente através do barramento compartilhado
- Problema de sobrecarga do barramento

- **Redundância de comunicação**

- Falha em conexão local não afeta a rede
- Falha no barramento o problema em alguma interface bloqueia o funcionamento de todo o sistema



Barramento Segmentado

- **Característica**

- Todos os nodos estão diretamente conectados a meios físicos compartilhados e estes meios físicos podem estar conectados
- Rede dinâmica, ponto-a-ponto (ligação entre segmentos) e multiponto (em cada segmento), espaço-temporal
- Escalabilidade reduzida a uma centena de nodos por segmento

- **Grau**

2

- **Diâmetro**

Dependente do número de segmentos

- **Número de conexões**

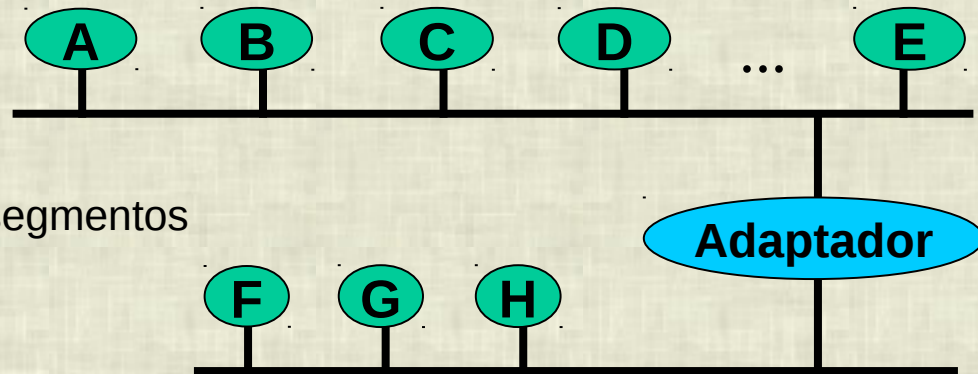
Número de segmentos

- **Comunicação**

- Nodos se comunicam diretamente através de barramentos compartilhados

- **Redundância de comunicação**

- Falha em conexão local não afeta a rede
- Falha em um segmento pode particionar a rede
- Problema em alguma interface bloqueia o funcionamento de um segmento



Redes Linear

- **Característica**
 - Cada máquina é diretamente a uma ou duas máquinas
 - Rede dinâmica ou estática, ponto a ponto, espacial ou espaço-temporal
 - Escalabilidade alta, embora grande número de nodos acarrete baixo desempenho
- **Grau**
 - 2 (nas pontas) ou 4 (demais) → todas as conexões são bidirecionais
- **Diâmetro**
 - $n - 1$ (n é o número de nós)
- **Número de conexões**
 - $2 \times (n - 1)$
- **Comunicação**
 - Em geral lenta → depende muito do mapeamento de tarefas nos nós
- **Redundância de comunicação**
 - Muito baixa → a quebra de apenas uma conexão já particiona a rede



Rede Totalmente Conectada

- **Característica**

- Cada nodo é diretamente conectado com todos os demais
- Rede estática, ponto a ponto, espacial
- Escalabilidade muito reduzida devido ao grau dos nodos

- **Grau**

$$2 \times (n - 1)$$

- **Diâmetro**

$$1$$

- **Número de conexões**

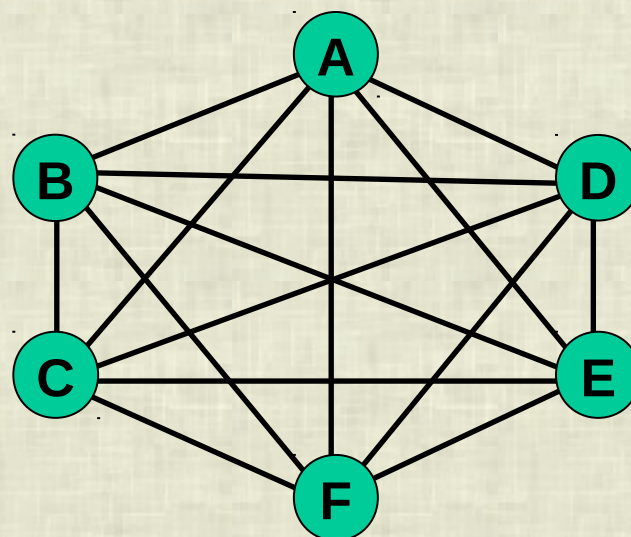
$$2 \times \frac{n \times (n - 1)}{2} \text{ ou } n^2 - n$$

- **Comunicação**

- Muito rápida → somente uma conexão

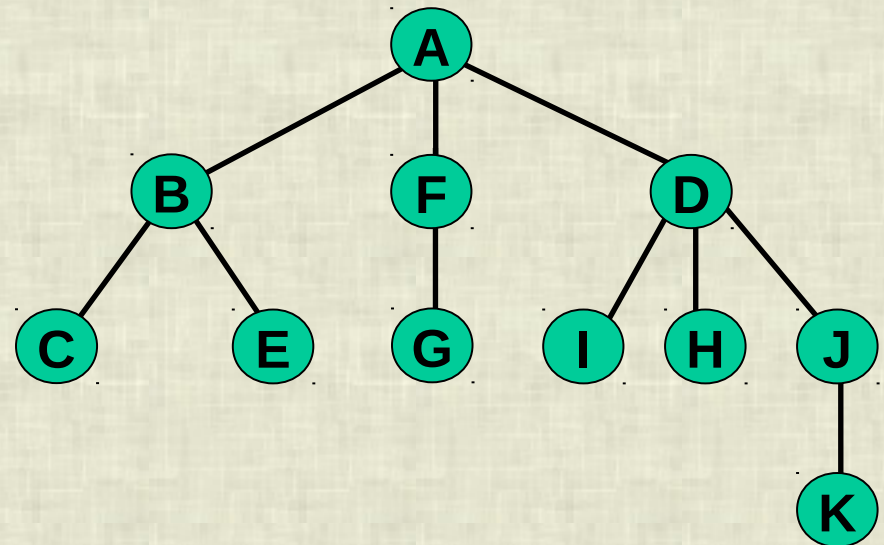
- **Redundância de comunicação**

- Muito alta → muitas conexões precisam falhar para o sistema ser particionado em subsistemas não comunicantes



Rede Hierárquica

- **Característica**
 - Nós são organizados como uma árvore
 - Rede dinâmica ou estática, ponto a ponto, espacial ou espaço-temporal
 - Configuração comum para redes corporativas: escritórios individuais são conectados ao escritório principal
 - Escalabilidade limitada em largura, mas livre em profundidade
- **Comunicação**
 - Direta entre pais e filhos
 - Demais comunicações exigem máquinas intermediárias
- **Redundância de comunicação**
 - Falha de um pai implica particionamento da rede



Árvores Binárias

- **Característica**

- Cada nodo pai está conectado a exatamente dois nodos filhos
- Rede dinâmica ou estática, ponto a ponto, espacial ou espaço-temporal
- Escalabilidade alta, embora aumento da profundidade reduza o desempenho da rede

- **Grau**

2 (folhas), 4 (raíz) ou 6 (demais nodos)

- **Diâmetro**

Diâmetro cresce de forma linear em relação à altura da árvore

Diâmetro cresce de forma logarítmica em relação ao número de nós

$2 \times \log_2(n + 1) - 2$ (para árvores binárias completas)

- **Número de conexões**

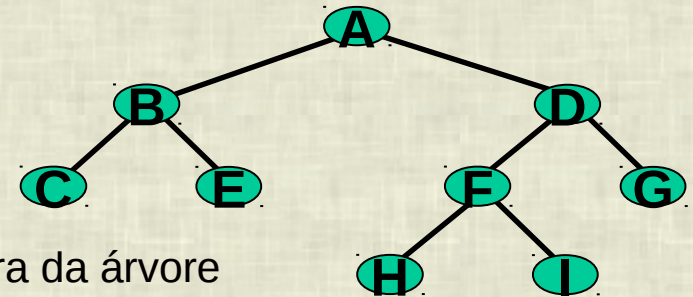
$2 \times (n - 1)$

- **Comunicação**

- Todo fluxo de dados entre a sub-árvore esquerda e direita passa pela raiz (gargalo da rede) → Inadequada para muitas aplicações

- **Redundância de comunicação**

- Muito baixa → Falha de um nodo resulta perda da ligação com toda a sub-árvore abaixo



Rede Estrela

- **Característica**

- Um nodo se conecta a todos os demais. Não existe qualquer outra conexão entre os demais nodos
- Rede dinâmica ou estática, ponto a ponto, espacial ou espaço-temporal
- Número de nodos limitado pelo nodo central
- Fácil de colocar novas conexões e modificar conexões existentes
- Escalabilidade baixa → limitada pelo nodo central

- **Grau**

$2 \times (n - 1)$ (raiz) e 2 (demais nodos)

- **Diâmetro**

1 ou 2

- **Número de conexões**

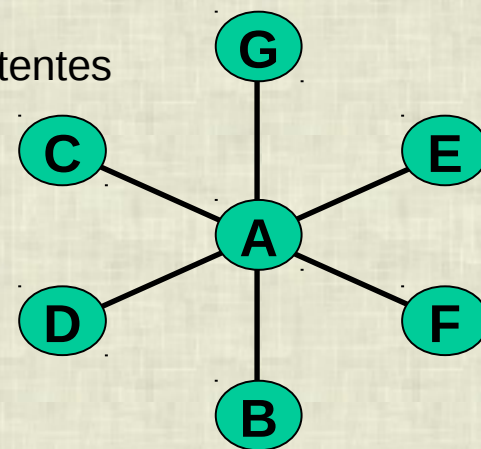
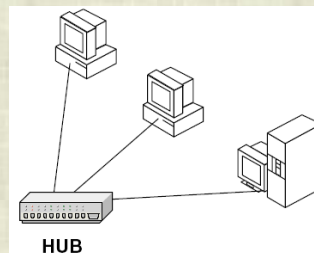
$2 \times (n - 1)$

- **Comunicação**

- Toda comunicação tem apenas e sempre um nodo intermediário (nodo central). **Esse esquema de transferência não garante rapidez visto que o nodo central pode estar sobrecarregado**

- **Redundância de comunicação**

- Quebra em uma única conexão afetará apenas nodo a ela conectado
- Quebra de nodo central derruba toda rede
- Usualmente confiável



Rede Anel

- **Característica**

- Cada nodo é sempre conectado a exatamente outros dois nodos
- Rede dinâmica ou estática, ponto a ponto, espacial ou espaço-temporal
- Alta escalabilidade embora comprometa o desempenho da rede

- **Grau**

2 (unidirecional), 4 (bidirecional)

- **Diâmetro**

$n / 2$ (bidirecional)

$n - 1$ (unidirecional)

- **Número de conexões**

n (unidirecional), $2 \times n$ (bidirecional)

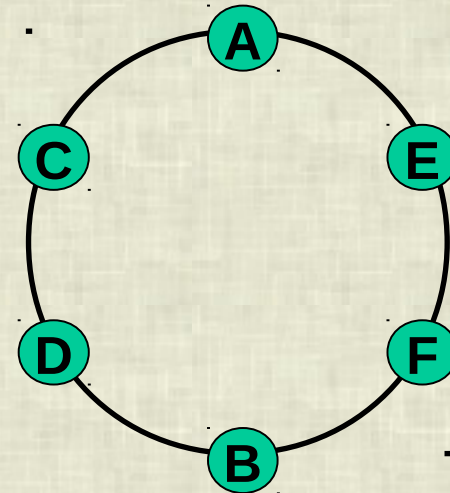
- **Comunicação**

- Unidirecional

- Uma conexão é de entrada e outra é de saída. Quebra de uma conexão derruba rede

- Bidirecional

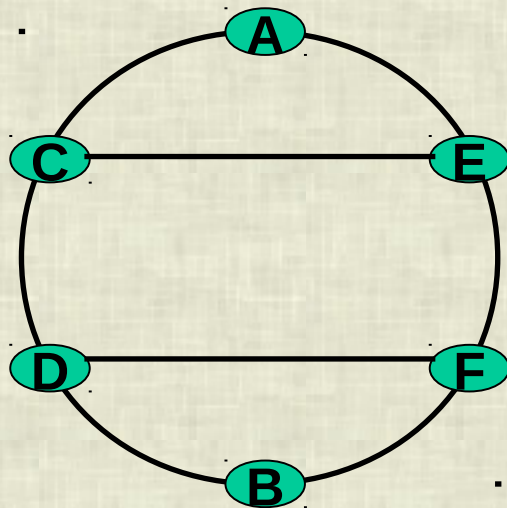
- cada nodo pode transmitir informação para ambos vizinhos. Suporta quebra de uma conexão. Quebra de mais de uma conexão particiona a rede



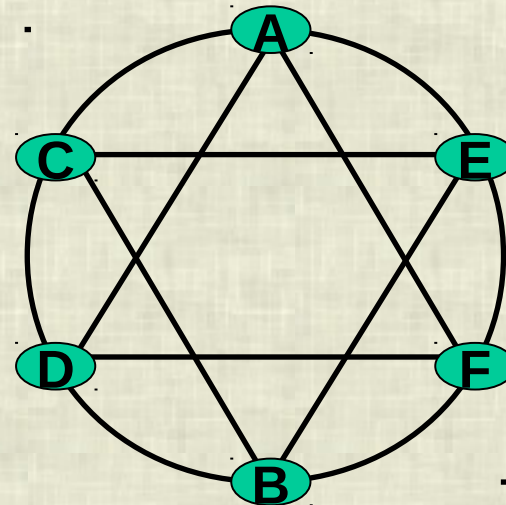
Rede Anel (Outras topologias)

- **Características**

- Nós podem ter mais de duas conexões
- Redes dinâmica ou estática, ponto a ponto, espacial ou espaço-temporal
- Redundância e custos da comunicação aumentam com o número de cordas
- Escalabilidade menor que a rede anel simples → dependente do número de cordas



Anel Duplo



Anel Chordal

Malha 2D

- **Característica**

- Nodos se conectam de forma a gerar uma forma matricial
- Rede dinâmica ou estática, ponto a ponto, espaço-temporal
- Alta escalabilidade
- Aplicadas em áreas que requerem um grande poder de processamento

- **Grau**

4, 6 e 8 (todos os nodos centrais)

- **Diâmetro**

$2 \times (\text{sqrt}(n) - 1)$

- **Número de conexões**

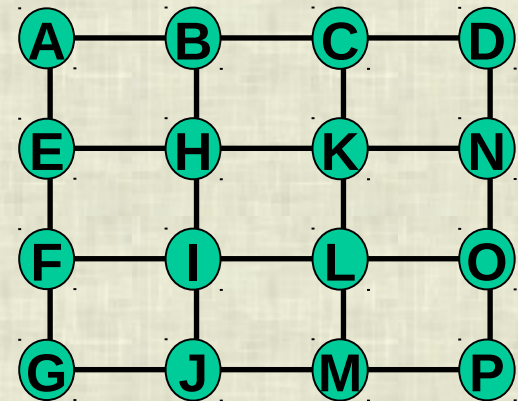
$4 \times (n - \text{sqrt}(n))$

- **Comunicação**

- Existência de caminhos alternativos entre nós aumenta confiabilidade e diminui risco de gargalos

- **Redundância de comunicação**

- A rede tem que quebrar em vários pontos para ser particionada



Toro Dobrado 2D

- **Característica**

- Nós se conectam de forma a gerar uma forma matricial com comunicação entre os limites da matriz
- Rede dinâmica ou estática, ponto a ponto, espaço-temporal
- Alta escalabilidade
- Aplicadas em áreas que requerem um grande poder de processamento

- **Grau**

8

- **Diâmetro**

$\sqrt{n} - 1$

- **Número de conexões**

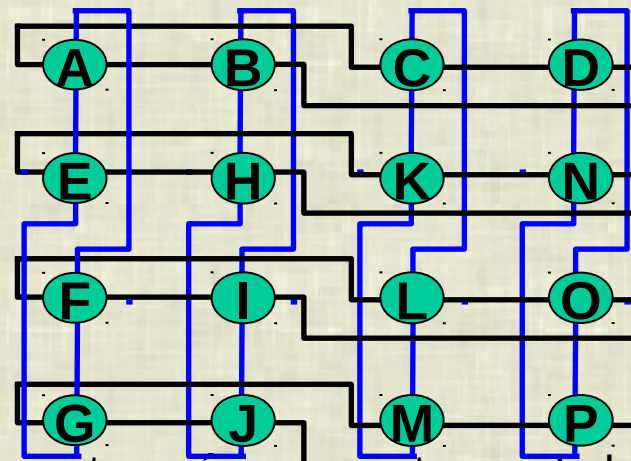
$4 \times n$

- **Comunicação**

- Existência de caminhos alternativos entre nós aumenta confiabilidade e diminui risco de gargalos

- **Redundância de comunicação**

- A rede tem que quebrar em vários pontos para ser particionada



Hipercubo 3D

- **Característica**

- Cada nodo se conecta a exatamente outros três, formando um cubo
- Rede dinâmica ou estática, ponto a ponto, espaço-temporal
- Não escalável

- **Grau**

6

- **Diâmetro**

$$\log_2(n) = 3$$

- **Número de conexões**

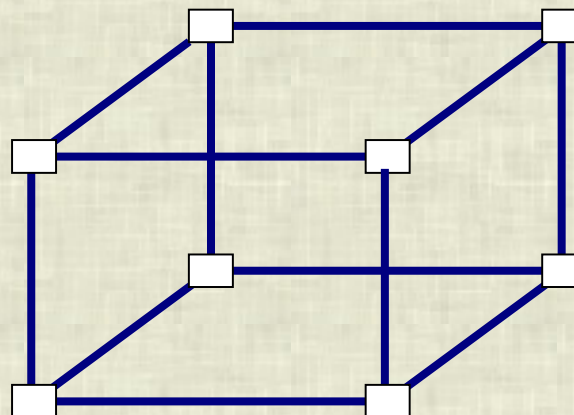
$$3 \times n = 24$$

- **Comunicação**

- Estrutura adequada para comunicações entre máquinas que requerem alto paralelismo

- **Redundância de comunicação**

- Muito alta → diversas conexões tem que quebrar para particionar a rede



Hipercubo 4D

- **Característica**

- Cada nodo se conecta a exatamente outros quatro, formando cubos totalmente conectados
- Rede dinâmica ou estática, ponto a ponto, espaço-temporal
- Não escalável

- **Grau**

8

- **Diâmetro**

$$\text{sqrt}(n) = 4$$

- **Número de conexões**

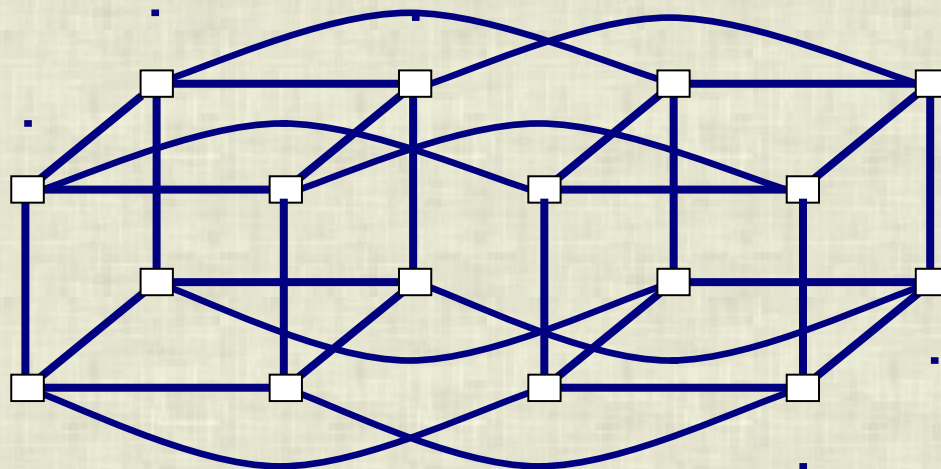
$$4 \times n = 64$$

- **Comunicação**

- Estrutura adequada para comunicações entre máquinas que requerem alto paralelismo

- **Redundância de comunicação**

- Muito alta → diversas conexões tem que quebrar para particionar a rede



Matriz de Chaveamento (*crossbar*)

- **Características**

- Infraestrutura de comunicação de alto custo
- Permite chaveamento entre dois nodos quaisquer
- Rede dinâmica, ponto a ponto ou multiponto, espacial
- Não é bloqueante
 - Sem contenção
- Baixa escalabilidade
 - O que limita é o número de portas
 - Permite acréscimo de nodos aos pares

- **Grau**

2

- **Diâmetro**

1

- **Número de conexões**

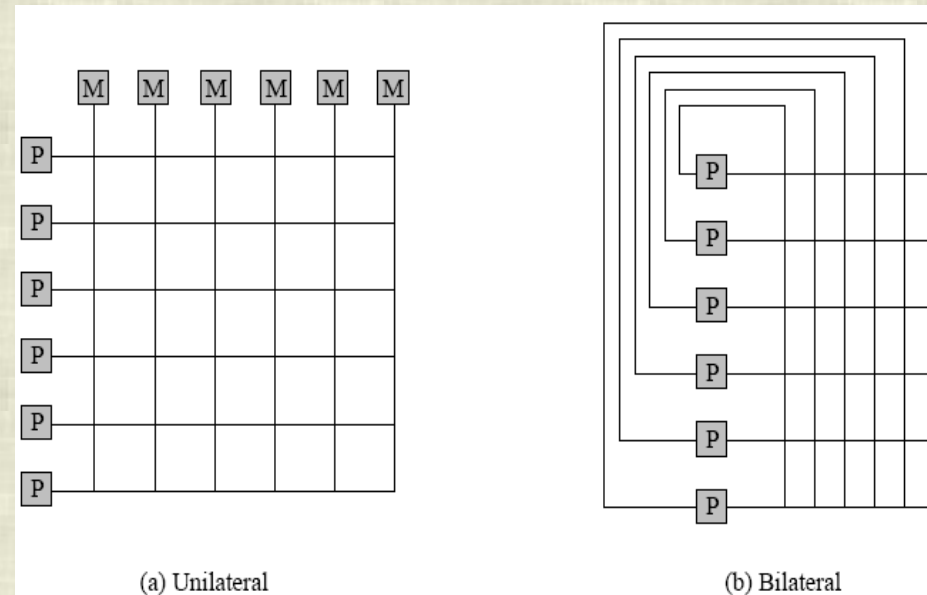
 $2 \times n^2$

- **Comunicação**

- Inviabiliza, por razões econômicas, sua utilização para interconexão de muitos processadores

- **Uso**

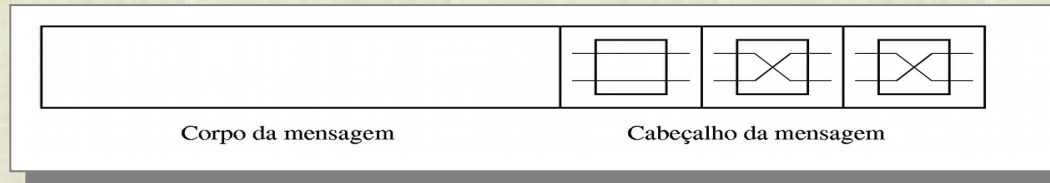
- Infraestrutura de comunicação **unilateral** para ligar processadores a memórias em um **multiprocessador**
- infraestrutura de comunicação **bilateral** para interligar processadores de um **multicomputador**



Rede Multinível Ômega

- **Característica das conexões**

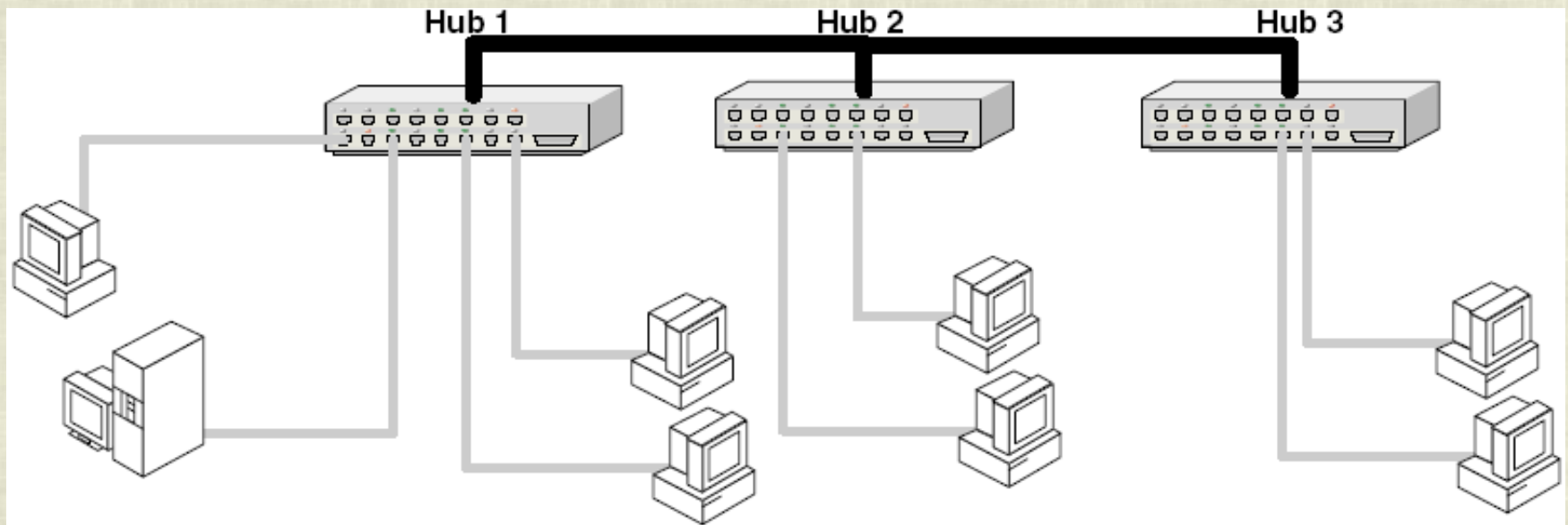
- Número de linhas dado pela metade do número de nodos
- $\log_2 n$ matrizes de chaveamento por caminho
- Existe apenas um caminho possível entre entrada e saída
 - A escolha do caminho é muito eficiente e pode ser feita de forma descentralizada
 - Essa falta de redundância torna a rede bloqueante



Rede Híbrida (Barramento-estrela)

- **Composição de Topologias**

- Também chamadas de topologias híbridas
- Caso mais comum para grandes corporações e WANs



Características Topológicas

(preencha o que falta)

Redes	Grau do nó	Diâmetro da rede	Número conexões
Linear	2 e 4	???	$2 \times (n - 1)$
Totalmente conectada	???	1	$n^2 - n$
Árvore binária (completa)	2, 4 e 6	$2 \times \log_2(n + 1) - 2$???
Estrela	2 e $2 \times (n - 1)$???	$2 \times (n - 1)$
Anel simples (bi)	4	$n / 2$???
Malha 2D (quadrada)	???	$2 \times (\sqrt{n} - 1)$	$4 \times (n - \sqrt{n})$
Toro dobrado 2D	8	$\sqrt{n} - 1$???
Hipercubo 3D	6	$\log_2(n)$	$3 \times n$
Hipercubo 4D	8	\sqrt{n}	$4 \times n$
Barramento	2	1	1
Crossbar (bi)	2	1	$2 \times n^2$
Rede Omega	4	3	$3 \times n$

Características Topológicas

Redes	Grau do nó	Diâmetro da rede	Número conexões
Linear	2 e 4	$n - 1$	$2 \times (n - 1)$
Totalmente conectada	$2 \times (n - 1)$	1	$n^2 - n$
Árvore binária (completa)	2, 4 e 6	$2 \times \log_2(n + 1) - 2$	$2 \times (n - 1)$
Estrela	2 e $2 \times (n - 1)$	1 ou 2	$2 \times (n - 1)$
Anel simples (bi)	4	$n / 2$	$2 \times n$
Malha 2D (quadrada)	4, 6 e 8	$2 \times (\sqrt{n} - 1)$	$4 \times (n - \sqrt{n})$
Toro dobrado 2D	8	$\sqrt{n} - 1$	$4 \times n$
Hipercubo 3D	6	$\log_2(n)$	$3 \times n$
Hipercubo 4D	8	\sqrt{n}	$4 \times n$
Barramento	2	1	1
Crossbar (bi)	2	1	$2 \times n^2$
Rede Omega	4	3	$3 \times n$

Eficiência Topológica para Diferentes Requisitos de Escritores e Leitores

Redes	1-para-1 (Unicast)	Todos-para-1	1-para-todos (Broadcast)	Máximo simultâneo
Linear	$n - 1$	$(n^2 - n) / 2$	$n - 1$	$2 \times (n - 1)$
Total. conectada	1	1	1	$n^2 - n$
Árvore binária	$2 \times (\log_2(n+1) - 1)$	$n - 1$	$2 \times (\log_2(n+1) - 1)$	$2 \times (n - 1)$
Estrela	2	$n - 1$	2	$2 \times (n - 1)$
Anel simples (bi)	$n / 2$	$n / 2$	$n / 2$	$2 \times n$
Malha 2D	$2 \times (\sqrt{n} - 1)$	$\lfloor n / 2 \rfloor$	$2 \times (\sqrt{n} - 1)$	$4 \times (n - \sqrt{n})$
Toro dobrado 2D	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	$4 \times n$
Hipercubo 3D	$\log_2(n)$	$\log_2(n)$	$\log_2(n)$	$3 \times n$
Hipercubo 4D	\sqrt{n}	$\sqrt{n} + 1$	\sqrt{n}	$4 \times n$
Barramento	1	$n - 1$	1	1
Crossbar (bi)	1	1	1	$2 \times (n - 1)$
Rede Omega	$\log_2(n)$	$n \times \log_2(n)$	$\log_2(n)$	n

Índice

1. Introdução

2. Topologias

3. Exercícios

Exercícios

1. Cite algumas topologias físicas de redes
2. Quais as semelhanças entre a topologia tipo barramento e a topologia de rede estrela?
3. Compare diversas topologias de rede em termos de redundância de caminhos de comunicação
4. Compare duas topologias com relação ao quesito tolerância a falhas
5. Compare a rede malha com a rede ômega com relação à contenção de pacotes

Exercícios

- 9. Em uma arquitetura de 6 processadores, calcule o tempo total para cada processador enviar uma mensagem para os outros 5 processadores, com infraestruturas de comunicação do tipo: (a) barramento, (b) anel bidirecional simples, (c) crossbar e (d) torus 2D. Desenhe as infraestruturas de comunicação
- 10. Quando se deseja uma maior flexibilidade de interconexão, se utilizam redes dinâmicas. Apresente uma rede dinâmica do tipo bloqueante e outra do tipo não bloqueante. Qual a mais utilizada, e por qual razão?
- 11. Desenhe uma infraestrutura de comunicação que possua grau 4 para interligar 7 processadores
- 12. Defina os parâmetros "grau do nó" e "diâmetro de uma rede" em arquiteturas tipo MIMD conectada por uma rede. De o grau dos nós e o diâmetro das seguintes redes:

Rede	Grau	Diâmetro
Anel simples bidirecional		
Árvore binária completa		
Toro 2D		

Exercícios

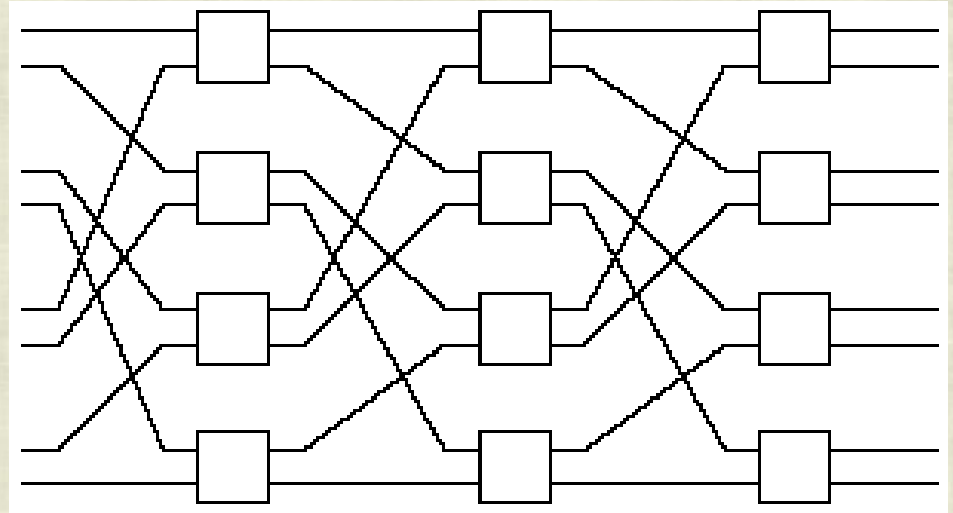
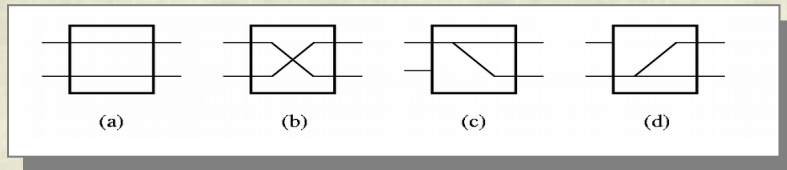
13. Você foi contratado para projetar uma rede para os seguintes ambientes descritos a seguir. Quais configurações de rede você irá utilizar? Justifique
- Um campus universitário e
 - Um andar de dormitórios
14. Explique como a escolha de uma infraestrutura de comunicação pode aumentar o desempenho de uma aplicação. É possível que uma infraestrutura de comunicação tenha um ótimo resultado em uma aplicação e ruim em outra?
15. (ENADE 2005 Eng. II - 52) Considere os seguintes custos para os componentes de uma rede de computadores: R\$ 1000,00 para um nó, R\$ 200,00 para uma placa adaptadora entre uma conexão bidirecional e um nó, e R\$ 100,00 para estabelecer uma conexão física bidirecional entre dois nós. Foram implementadas três redes (R1, R2 e R3), conectando-se quatro nós em três topologias distintas: R1 em estrela, R2 em anel e R3 totalmente conectada. Os custos das redes R1, R2 e R3, respectivamente, serão:
- a) R\$ 6000,00, R\$ 6000,00 e R\$ 6000,00
 - b) R\$ 6000,00, R\$ 5200,00 e R\$ 6200,00
 - c) R\$ 5500,00, R\$ 6000,00 e R\$ 7000,00
 - d) R\$ 5000,00, R\$ 7000,00 e R\$ 7800,00
 - e) R\$ 5500,00, R\$ 7000,00 e R\$ 7000,00

Resposta de Exercícios

13. Você foi contratado para projetar uma rede para os seguintes ambientes descritos a seguir. Quais configurações de rede você irá utilizar? Justifique
- Um campus universitário e
 - Um andar de dormitórios
14. Explique como a escolha de uma infraestrutura de comunicação pode aumentar o desempenho de uma aplicação. É possível que uma infraestrutura de comunicação tenha um ótimo resultado em uma aplicação e ruim em outra?
15. (ENADE 2005 Eng. II - 52) Considere os seguintes custos para os componentes de uma rede de computadores: R\$ 1000,00 para um nó, R\$ 200,00 para uma placa adaptadora entre uma conexão bidirecional e um nó, e R\$ 100,00 para estabelecer uma conexão física bidirecional entre dois nós. Foram implementadas três redes (R1, R2 e R3), conectando-se quatro nós em três topologias distintas: R1 em estrela, R2 em anel e R3 totalmente conectada. Os custos das redes R1, R2 e R3, respectivamente, serão:
- a) R\$ 6000,00, R\$ 6000,00 e R\$ 6000,00
 - b) R\$ 6000,00, R\$ 5200,00 e R\$ 6200,00
 - c) R\$ 5500,00, R\$ 6000,00 e R\$ 7000,00
 - d) R\$ 5000,00, R\$ 7000,00 e R\$ 7800,00
 - e) R\$ 5500,00, R\$ 7000,00 e R\$ 7000,00

Exercícios

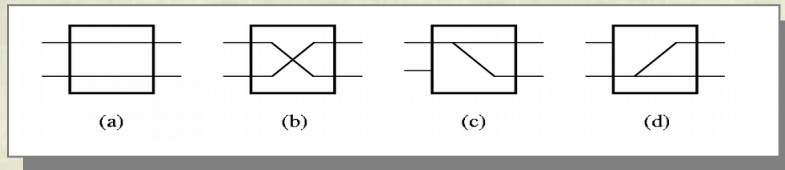
16. Mostre que a infraestrutura abaixo é bloqueante fixando um caminho e mostrando outro que não podem ser utilizados ao mesmo tempo (considerando chaveamento de circuito)



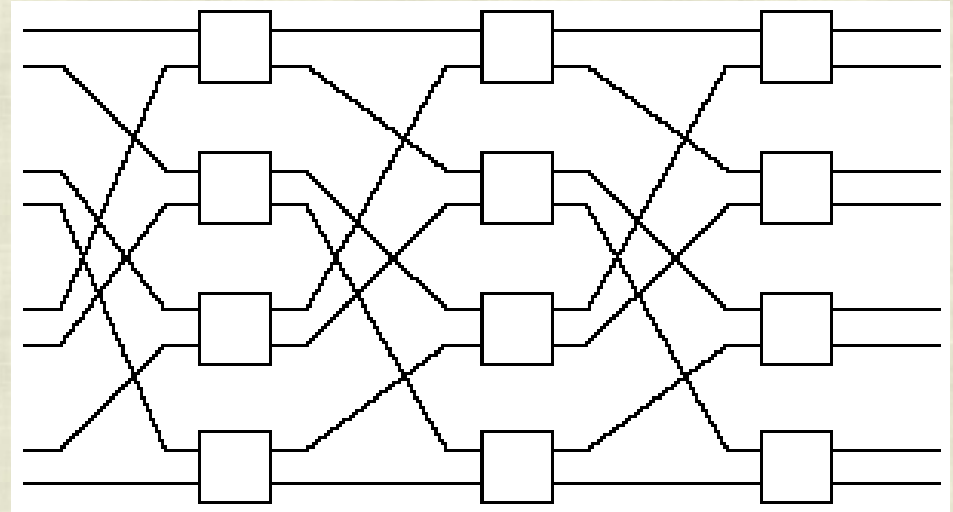
17. Compare uma infraestrutura de comunicação do tipo barramento com uma rede tipo estrela com relação à escalabilidade, segurança, desempenho e contenção de pacotes
18. Discuta a afirmação: “É importante destacar que não adianta quebrar a memória principal em vários módulos se a rede de interconexão não suportar múltiplas transações”
19. Como uma rede crossbar pode ser usada para a construção de um multicomputador (desenhe)?

Resposta de Exercícios

16. Mostre que a infra-estrutura abaixo é bloqueante fixando um caminho e mostrando outro que não podem ser utilizados ao mesmo tempo (considerando chaveamento de circuito)



Comunicação 3-A conflita com comunicação 1-B



17. Compare uma infra-estrutura de comunicação do tipo barramento com uma rede tipo estrela com relação à escalabilidade, segurança, desempenho e contenção de pacotes
18. Discuta a afirmação: “É importante destacar que não adianta quebrar a memória principal em vários módulos se a rede de interconexão não suportar múltiplas transações”
19. Como uma rede crossbar pode ser usada para a construção de um multicomputador (desenhe)?