Redes de Interconexão
Topologia

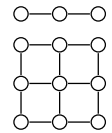
Medições de Arquitetura de Interconexão

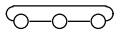
Interconnect	*MPP*	*LAN*	*WAN*
Example	CM-5	Ethernet	ATM
Topology	"Fat" tree	Line, Bus	Variable, constructed from multistage switches
Connection based?	No	No	Yes
Data Transfer Size	Variable: 4 to 20B	Variable: 0 to 1500B	Fixed: 48B
Store & Forward?	No	n.a.	Yes
Congestion control	At source: Flow control via back pressure	At source: Listen for E-net idle	Rate based via choke packets

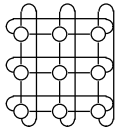
Topologia

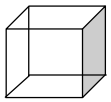
- Estrutura de interconexão
- Determinada por:
  - Grau: número de links de um nó
  - Diâmetro: número máx de links cruzados entre dois nós
  - Distância média: número de links cruzados na média
  - Bissecção: número mínimo de links que separam a rede em duas metades
- Cautela: desenhos tridimensionais devem ser mapeados a chips e placas bidimensionais
  - Esquemas de interconexão "elegantes" desenhados em papel podem ser difíceis de se implementar

Topologias Importantes





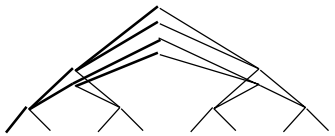


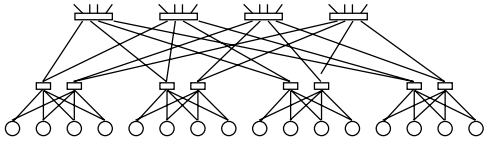


Type	Degree	Diameter	Ave Dist	Bisection	N = 1024 Diam	Ave D
1D mesh	<= 2	N-1	N/3	1		
2D mesh	<= 4	$2(N^{1/2} - 1)$	$2N^{1/2} / 3$	$N^{1/2}$	63	21
3D mesh	<= 6	$3(N^{1/3} - 1)$	$3N^{1/3} / 3$	$N^{2/3}$	~30	~10
nD mesh (N = k^n)	<= 2n	$n(N^{1/n} - 1)$	$nN^{1/n} / 3$	$N^{(n-1) / n}$		
Ring	2	N / 2	N/4	2		
2D torus	4	$N^{1/2}$	$N^{1/2} / 2$	$2N^{1/2}$	32	16
k-ary n-cube (N = k^n)	2n	$n(N^{1/n})$ nk/2	$nN^{1/n}/2$ nk/4	$2k^{n-1}$	15	8 (3D)
Hypercube	n	n = LogN	n/2	N/2	10	5

Topologias (continuação)

				N = 1024		
Type	Degree	Diameter	Ave Dist	Bisection	Diam	Ave D
2D fat tree	4	$Log_2 N$		N		
2D butterfly	4	$Log_2 N$		N/2	20	20

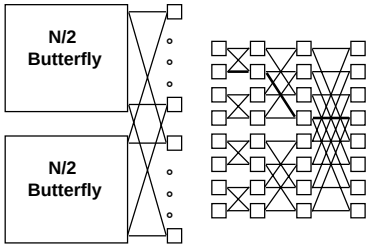




CM-5 Thinned Fat Tree

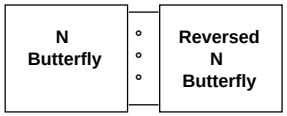
Butterfly

Multi-estágio: nós nas terminações, switches no meio



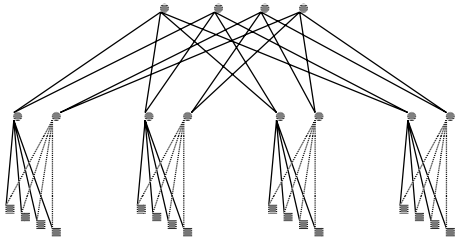
- **Todos os caminhos de mesmo tamanho**
- **Possui caminho único entre dois nós**
- **Pode ter conflitos**

Benes Network



- **Roteia todas as combinações sem conflitos**

Fat Tree Multi-estágio

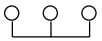


- Atribui pacotes aleatoriamente para os diferentes caminhos a fim de se reduzir a carga

Exemplo

- Em uma rede de 64 nós, assuma que leve 1 unidade de tempo para comunicação entre switches, mas nenhum tempo do switch para o processador. Todos os switches são iguais. Quanto tempo levará para comunicarmos de cada nó para todos os outros nós nas seguintes topologias?
  - Barramento
  - Completamente conectada
  - Anel
  - 2D torus

Exemplo
Barramento

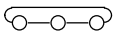


- Número de mensagens = 64 x 63 = 4032 mensagens
  - Como transferências são sequencias, necessitaremos de 4032 unidades de tempo

Exemplo
Completamente Conectada

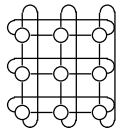
- Todas as transferências podem ser feitas em paralelo, logo a comunicação levará uma unidade de tempo

Exemplo Anel



- Cada nó envia mensagem para o nó adjacente com índice mais alto ($1 \rightarrow 2$, $2 \rightarrow 3$, …, $63 \rightarrow 0$)
  - Isto leva 1 unidade de tempo
- Cada nó envia mensagem para o nó 2-adjacente com índice mais alto ($1 \rightarrow 3$, $2 \rightarrow 4$, $3 \rightarrow 5$, …)
  - Como a mensagem para por dois links, ela levará 2 unidades de tempo
- Só precisamos enviar mensagem até metade dos nós e aí fazemos a mesma operação para os nós de índice mais baixo
  - tempo = 1 + 2 + … + 31 + 32 + 31 + … + 2 + 1 = 1024

Exemplo 2D Torus



- Existem 8 linhas e 8 colunas
  - Tempo (mesma linha) = 1 + 2 + 3 + 4 + 3 + 2 + 1 = 16
  - Tempo (linha debaixo) = 8 x 1 + Tempo (mesma linha)
  - Tempo (2D Torus) = Tempo (mesma linha) + (8 x 1 + Tempo (mesma linha)) + (8 x 2 + Tempo (mesma linha)) + … + (8 x 1 + Tempo (mesma linha))
  - Tempo (2D Torus) = 8 x (1 + 2 + 3 + 4 + 3 + 2 + 1 + Tempo (mesma linha)) = 256
  - Roteamento pode ser melhorado se não assumirmos duas fases (vertical e horizontal)

Exemplos de Redes

Name	Number	Topology	Bits	Clock	Link	Bisect.	Year
nCube/ten	1-1024	10-cube	1	10 MHz	1.2	640	1987
iPSC/2	16-128	7-cube	1	16 MHz	2	345	1988
MP-1216	32-512	2D grid	1	25 MHz	3	1,300	1989
Delta	540	2D grid	16	40 MHz	40	640	1991
CM-5	32-2048	fat tree	4	40 MHz	20	10,240	1991
CS-2	32-1024	fat tree	8	70 MHz	50	50,000	1992
Paragon	4-1024	2D grid	16	100 MHz	200	6,400	1992
T3D	16-1024	3D Torus	16	150 MHz	300	19,200	1993
					MBytes/second		

Conclusão: Não existe padrão!

Exemplo

- Compare uma rede única de 100Mbps com um switch de 10Mbps. Assuma que um pacote possui na média 250 bytes, a taxa de chegada é de 25000 pacotes por segundo, e que os tempos de chegada de pacotes são exponencialmente distribuídos.

Rede de 100 Mbps

- Taxa de serviço: $100 \times 10^6 / 250 \times 8 = 50000$
- Ts = 1 / 50000 = 20 us (tempo servidor)
- u = r x Ts = 25000 x 20 u = 0,5 (utilização)
- Tq = Ts x u / (1-u) = 20 x 0,5 / (1 - 0,5) = 20 us

- Tempo de resposta médio = 20 + 20 = 40 us

Switch c/ 10 redes de 10 Mbps

Seção 6.7

- Taxa de serviço: $10 \times 10^6 / 250 \times 8 = 5000$
- Ts = 1 / 5000 = 200 us (tempo servidor)
- u = r x Ts / m
  = 25000 x 200 u / 10 = 0,5 (utilização)
- Tq = Ts x u / m x (1-u)
  = 200 x 0,5 / 10 x (1 - 0,5) = 20 us

- Tempo de resposta médio = 20 + 200 = 220 us

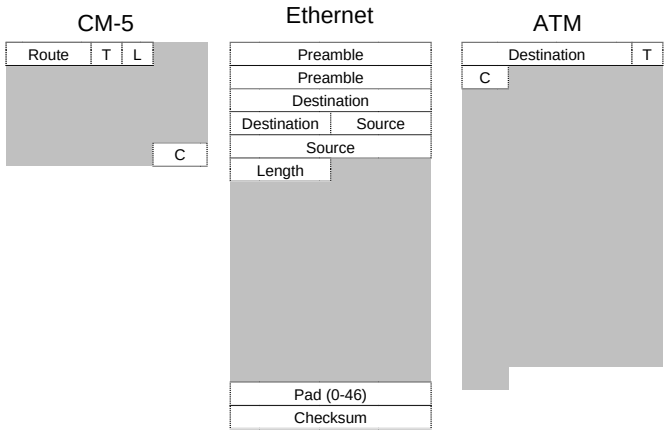
Interconexão Baseada em Conexão vs. Sem Conexão

- Telefone: central faz conexão entre dois aparelhos
  - Uma vez conexão é estabelecida, comunicação pode durar muito tempo
- Podemos utilizar switches para compartilhar linhas de transmissão por longas distâncias longas durante comunicação de diversos aparelhos
  - "Time division multiplexing" divide BW da linha de transmissão em um número fixo de slots, cada slot responsável por uma transmissão
- Problema: linhas ficam ocupadas pelo número de linhas conectadas, e não pela quantidade de informação enviada
- Vantagem: BW reservada

Interconexão Baseada em Conexão vs. Sem Conexão

- Sem conexão: cada pacote precisa ter endereço de destino
  - Cada pacote pode ser roteado para o destino baseado em seu endereço (parecido com sistema postal)
  - Barramentos do tipo *split phase* utiliza envio de pacotes
  - Multiplexação baseada na carga

Formato de Pacotes



- Campos: Destino, Checksum(C), Comprimento(L), Tipo(T)
- Tamanho de Dado/Cabeçalho em bytes: (4 a 20)/4, (0 a 1500)/26, 48/5

Controle de Congestionamento

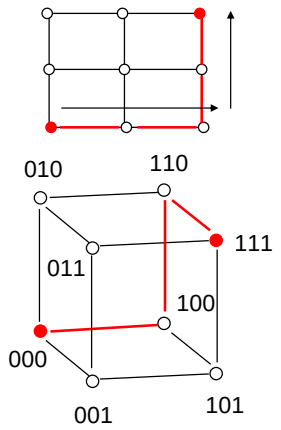
- Redes com chaveamento de pacotes não reservam BW; por isso apresentam congestionamento
- Solução: recusar pacotes a entrar na rede até congestionamento ser resolvido
- Opções:
  - Packet discarding: Se um pacote chega no switch e não existe espaço no buffer, pacote é descartado
  - Flow control: entre pares de tx/rx; rx avisa tx quando pode receber mais pacotes
    - Back-pressure: utiliza canais separados para avisar quando parar
    - Window: permite tx enviar N pacotes de cada vez
  - Choke packets: aka "rate-based"; Cada pacote recebido por switch ocupado é retornado para fonte marcado como pacote recusado. Fonte reduz tráfego para destino por uma % fixa (ATM Forum)

Store and Forward vs. *Cut-Through*

- Store-and-forward: cada switch aguarda pacote ser recebido para reenviá-lo para o próximo switch
- Cut-through ou worm hole: switch examina o cabeçalho do pacote e decide para aonde enviar o pacote, e então o envia imediatamente
- Vantagem: Latência é dada por
  - Store and Forward:
    número de switches intermediários X tamanho do pacote
  - Cut-Through:
    tempo para primeira parte do pacote ser utilizada para negociar rota + tamanho do pacote ÷ BW da rede de interconexão

Roteamento

- Determinístico—segue rota pré-especificada
  - mesh: roteamento por dimensão
    - (x_1, y_1) (x_2, y_2)
    - primeiramente $\Delta x = x_2 - x_1$,
    - depois $\Delta y = y_2 - y_1$,
  - hypercube: roteamento por aresta
    - $X = x_o x_1 x_{2\ldots} x_n$ $Y = y_o y_1 y_{2\ldots} y_n$
    - R = X xor Y
    - Precisa buscar rota em que x_i xor $y_i = 1$ (diferem)
  - tree: ancentral comum
- Adaptativo— baseia-se no estado da rede de interconexão (e.g., congestionamento)



Questões Práticas

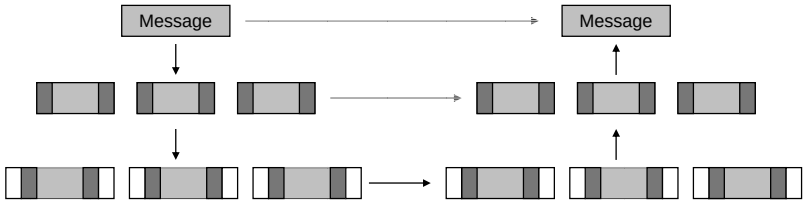
Tipo	MPP	LAN	WAN
Exemplo	CM-5	Ethernet	ATM
Padrão	Não	Sim	Sim
Tolerância falhas	Não	Sim	Sim
Hot Insert	Não	Sim	Sim

- Padrão: requerido para WAN, LAN!
- Tolerância a falhas: Pode um nó falhar e o sistema continuar a funcionar?
- *Hot Insert*: Se a interconexão pode suportar falhas, ela também pode continuar a operação enquanto um novo nó é adicionado a rede?

Protocolos: Interface de HW/SW

- *Internetworking*: permite computadores em redes independentes e incompatíveis a se comunicarem de modo confiável e eficiente;
  - *Enabling technologies*: Padrões de SW que permitem comunicação confiável em redes não confiáveis
- *Transmission Control Protocol/Internet Protocol* (TCP/IP)
  - Base da internet

Protocolo



- Chave para família de protocolos é que comunicação ocorre logicamente no mesmo nível do protocolo (*peer-to-peer*), mas é implementada como serviços no nível mais baixo
- Cada nível adicional aumenta a latência
  - TCP/IP sobre Ethernet e redes de alta velocidade

Resumo: Interconexões

- Comunicação entre computadores
- Implementação: comprimento, meio de tx
- Performance: overhead, latência, BW
- Topologias: muitas para escolher, mas overhead de SW fazem todas elas parecerem iguais, mas com diferentes custos