

Redes de Computadores

Comutação de Pacotes (Cap. 3 do livro texto)

1

DCC/UFMG

Redes de Computadores

Comutação de Pacotes

Sumário

- Comutação e Repasse
- Pontes e Comutadores de LANs
- Comutação de Células
- Hardware de Comutadores/Chaves

2

Redes de Computadores

Comutação de Pacotes

Problema:

Nem todas as redes são conectadas diretamente.

Limites das redes conectadas diretamente:

- Quantidade máxima de hospedeiros (link ponto-a-ponto: 2 hosts; Ethernet: 1024 hosts.)
- Abrangência geográfica (ex. Ethernet só pode se estender por 1500 m; ponto-a-ponto pode se estender muito, mas não "cobre" a área entre os pontos)

Redes de Computadores

3

Comutação de Pacotes

- Sistema telefônico:
 - Centrais de comutação contêm comutadores de circuitos
- Redes de computadores:
 - Usam comutadores de pacotes para possibilitar pacotes irem de um ponto a outro da rede, mesmo sem existência de conexão direta
- A comutação de pacotes está no cerne das redes de computadores

Redes de Computadores

4

Técnicas de Comutação

- Duas técnicas diferentes são usadas em telecomunicações:
 - Comutação de circuito
 - Comutação de pacote

Redes de Computadores

5

Comutação de circuitos (1/3)

- O estabelecimento de um circuito é feito em fases:
 1. Pedido e resposta de estabelecimento de uma conexão
 2. Transferência de dados
 3. Término
- O estabelecimento da conexão deve obrigatoriamente ser confirmado

Redes de Computadores

6

Comutação de circuitos (2/3)

- Existe um circuito dedicado:
 - Uma vez que uma chamada tenha sido estabelecida
 - Enquanto a chamada existir
- Existe a necessidade de haver um circuito estabelecido antes de poder haver transferência de dados

7

Redes de Computadores

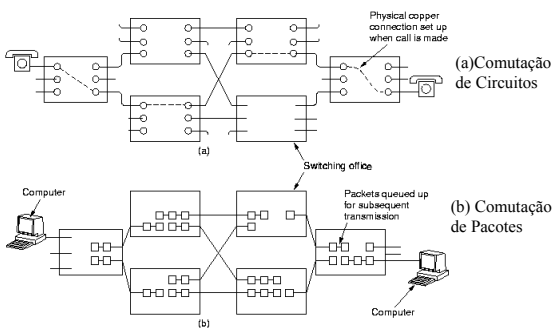
Comutação de circuitos (3/3)

- Enquanto existir o circuito dedicado:
 - O único atraso para transferência de dados é o tempo de propagação
 - Não existe problema de congestionamento
 - Não existe problema de roteamento
 - Não existe problema de “endereçamento”

8

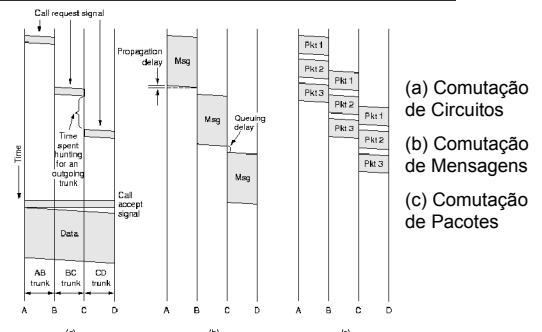
Redes de Computadores

Com. de circuitos x Com. de pacotes



9

Tipos de Comutação



10

Comutação de mensagens

- Não se estabelece a priori um caminho (circuito) entre origem e destino
- Unidade de transferência: mensagens que podem ter tamanho variável (ilimitado)
 - Buffers podem ter tamanhos arbitrariamente longos (podem ter que usar disco para armazenar)
 - Não é adequado para tráfego interativo
- Modalidade de transferência
 - Store-and-forward

11

Redes de Computadores

Comutação de pacotes

- Unidade de transferência: pacote que tem um tamanho máximo
 - Buffer pode ser na própria memória principal, sem usar disco
- Adequado para tráfego interativo
- Em comparação com comutação de mensagem, oferece:
 - Atraso menor e vazão maior (tem que esperar menos para começar a retransmitir)

12

Redes de Computadores

Comentários sobre comutação

- Redes de computadores são normalmente baseadas em comutação de pacotes
- Algumas vezes baseadas em comutação de circuitos
- Não usam comutação de mensagens

13

Redes de Computadores

Com. de circuitos x Com. de pacotes

Item	Comutação de Circuitos	Comutação de Pacotes
Caminho de "cobre" dedicado	Sim	Não
Largura de banda disponível	Fixa	Dinâmica
Largura de banda potencialmente desperdiçada	Sim	Não
Transmissão <i>store-and-forward</i>	Não	Sim
Cada pacote segue o mesmo caminho	Sim	Não
Estabelecimento da chamada	Necessária	Desnecessária
Quando pode ocorrer congestionamento	Na fase de <i>setup</i>	A cada pacote
Cobrança	Por minuto	Por pacote

14

Redes de Computadores

Comutador ou Chave Computadora

- Um comutador (*switch*) é um dispositivo com várias entradas e saídas interconectando computadores
- Sua função básica é pegar pacotes que chegam numa entrada e repassá-los para uma saída correta, de forma a chegarem no destino apropriado
- A operação é chamada de
 - Comutação, repasse ou reencaminhamento
 - Forward ou *switching*

15

Redes de Computadores

Modelos de Comutação de Pacotes

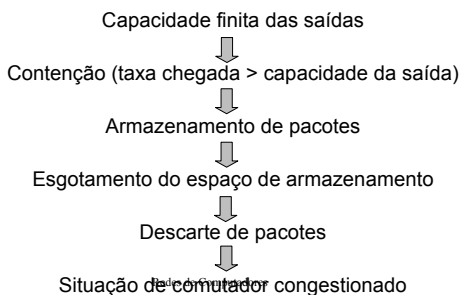
- São dois modelos:
 1. Comutação de pacotes no modo datagrama (modelo não orientado a conexão)
 2. Comutação de pacotes sobre circuitos virtuais (modelo orientado a conexão)

16

Redes de Computadores

Comutador ou Chave Computadora

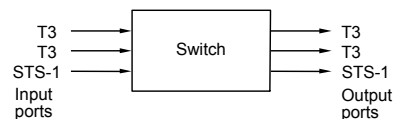
Problema fundamental



17

Redes Escaláveis (1/2)

- Comutador
 - repassa pacotes de uma porta de entrada para uma porta de saída
 - a porta é selecionada baseado no endereço contido no cabeçalho do pacote



18

Redes de Computadores

Redes Escaláveis (2/2)

- Vantagens
 - abrange uma grande área geográfica (vários computadores podem ser interligados)
 - suporta um grande número de *hosts* (largura de banda escalável) \implies a adição de um novo nodo conectando-o ao computador não significa necessariamente que os nodos já conectados sentirão uma piora no desempenho da rede (o que não ocorre nas redes de meio compartilhado).

19

Redes de Computadores

Redes Comutadas (1/2)

- Como o computador decide para qual porta o pacote deve ser repassado?

Existem três abordagens:

- Modelo de Datagramas (não orientado a conexão)
- Modelo de Circuitos Virtuais (orientado a conexão)
- *Source Routing*

20

Redes de Computadores

Redes Comutadas (2/2)

- Todas as abordagens necessitam de identificar:
 - Os nodos destino
 - As portas de entrada e de saída de cada computador

21

Redes de Computadores

Comutação de Datagramas (1/4)

- Idéia básica: todo pacote contém o **endereço completo** do destino
- Não há fase de estabelecimento de conexão
- Cada pacote é repassado independentemente
- Às vezes chamado de modelo *não orientado a conexão*

22

Redes de Computadores

Comutação de Datagramas (2/4)

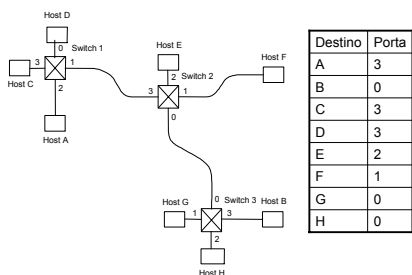


Tabela de Roteamento do computador 2

Destino	Porta
A	3
B	0
C	3
D	3
E	2
F	1
G	0
H	0

Analogia: sistema postal
Cada computador mantém uma tabela de roteamento

23

Redes de Computadores

Comutação de Datagramas (3/4)

Características

- Não há o atraso de um RTT esperando pelo estabelecimento da conexão; um *host* pode enviar dados assim que estiver pronto para tal.
- O *host* fonte não tem como saber se a rede é capaz de entregar um pacote e nem sequer sabe se o *host* destino está ativo.

24

Redes de Computadores

Comutação de Datagramas (4/4)

- Uma vez que os pacotes são tratados independentemente, é possível desviar de canais ou nodos defeituosos. (robustez; aplicações militares)
- Cada pacote é repassado independentemente dos pacotes anteriores enviados para o mesmo destino. Assim, dois pacotes sucessivos do nodo A para o nodo B podem seguir caminhos completamente diferentes.
- Uma vez que todo pacote deve conter o endereço completo do destino, o *overhead* por pacote é mais alto que no modelo orientado a conexão.

25

Comutação sobre Circuito Virtual (1/8)

- Às vezes chamado de *modelo orientado a conexão*
- Necessita de prévio estabelecimento de uma conexão virtual entre o nodo fonte e o nodo destino. Assim, o processo é constituído por 2 fases:
 - Estabelecimento da conexão
 - Transferência de dados
- Pacotes subseqüentes seguem o mesmo circuito
- Analogia: ligação telefônica

Redes de Computadores

26

Comutação sobre Circuito Virtual (2/8)

- Fase de estabelecimento da conexão: criação do *estado de conexão*
 - Configurado (e removido) pelo Administrador da Rede: *Permanent Virtual Circuit (PVC)*
 - Estabelecido e removido pelos próprios nodos, sem interferência do administrador de rede. Envio de mensagens pelos nodos (*signalling*): *Switched Virtual Circuit (SVC)*
- Estado de conexão: consiste em ter 1 entrada na tabela de circuitos virtuais (*VC table*) para cada conexão
- Entrada na tabela: interface de chegada, VCI dos pacotes que chegam, interface de saída, VCI dos pacotes que saem

Redes de Computadores

27

Comutação sobre Circuito Virtual (3/8)

Comutador 1

Interf. Cheg.	VCI de Cheg.	Interf. Saída	VCI de Saída
2	5	1	11
...

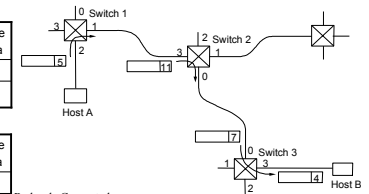
Comutador 2

Interf. Cheg.	VCI de Cheg.	Interf. Saída	VCI de Saída
3	11	0	7
...

Comutador 3

Interf. Cheg.	VCI de Cheg.	Interf. Saída	VCI de Saída
0	7	3	4
...

Cada combinação de Interface de Chegada e VCI Chegada identificam unicamente uma conexão virtual



Redes de Computadores

28

Comutação sobre Circuito Virtual (4/8)

- O administrador da rede pode configurar as tabelas "na mão", mas em redes de tamanho considerável isto se torna muito complexo.
- O próprio administrador pode utilizar mensagens de sinalização para estabelecer os estados de conexão. Assim, tanto PVC quanto SVC podem ser criados por sinalização.
 - PVC: sinalização feita pelo administrador da rede
 - SVC: sinalização feita por um dos nodos

Redes de Computadores

29

Comutação sobre Circuito Virtual (5/8)

- Sinalização
 - "A" envia mensagem com endereço completo de "B" (é enviada como um datagrama; estabelec estado de conexão ao longo do caminho)
 - Ao receber a mensagem, o comutador cria uma entrada na tabela com a porta de chegada, a porta de saída e escolhe um valor para o VCI de CHEGADA. Repassa a mensagem.
 - Ao receber a mensagem, "B" também aloca um VCI para identificar os pacotes vindos de "A". Envia um ACK que contém este valor de VCI adotado.

Redes de Computadores

30

Comutação sobre Circuito Virtual (6/8)

- Ao receber a confirmação, o comutador completa sua entrada na tabela com o valor do VCI de saída (contido no ACK).
- Após esta fase, passa-se ao envio dos dados. Cada comutador, ao repassar o pacote, altera o valor do VCI de chegada para o de saída.
- Quando "A" não deseja mais enviar dados, envia uma mensagem de fechamento da conexão, que é repassada até "B" e causa a remoção da respectiva entrada nas tabelas dos comutadores ao longo do caminho

31

Comutação sobre Circuito Virtual (7/8)

- Tipicamente espera por um RTT completo pelo estabelecimento da conexão antes de enviar o primeiro pacote de dados.
- Ao passo que a requisição de conexão contém o endereço completo do destino, cada pacote de dados possui somente um pequeno identificador, o que torna pequeno o *overhead* gerado pelo cabeçalho de pacote.

32

Redes de Computadores

Comutação sobre Circuito Virtual (8/8)

- Se um comutador ou canal falha, a conexão é desfeita e torna-se necessário o estabelecimento de uma nova conexão.
- Uma vez estabelecida a conexão, sabe-se que existe uma rota até o destino e que este está apto a receber dados.
- O estabelecimento da conexão proporciona uma oportunidade de se reservar recursos (QoS).

33

Redes de Computadores

Source Routing (1/4)

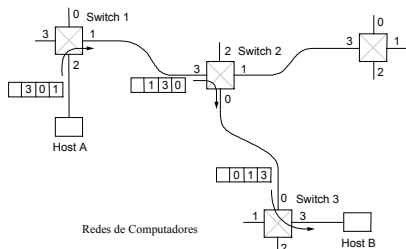
- Pode ser usado em redes com comutação de datagramas ou com comutação de circuitos virtuais (IP possui opção de *source route*, mas a maioria dos pacotes são repassados como datagramas convencionais).
- Toda a informação sobre a topologia da rede necessária para o repasse do pacote é fornecida pelo nodo fonte (*source*).
- Atribuir um número a cada saída de um comutador e colocar este número no cabeçalho do pacote.

34

Redes de Computadores

Source Routing (2/4)

- Ao receber um pacote, o comutador lê o número no cabeçalho e repassa o pacote para aquela saída.



35

Redes de Computadores

Source Routing (3/4)

- Cabeçalho contém uma lista com os números das saídas. Após ler o número de sua saída, o comutador:
 - Rotaciona a lista
 - OU
 - Muda o apontador para a próxima entrada

36

Redes de Computadores

Source Routing (4/4)

Problemas:

- Nodo fonte deve conhecer muito sobre a topologia da rede → não é escalável
- Não se tem como saber quão grande será o cabeçalho, pois ele deverá conter informação para cada comutador no caminho.

37

Redes de Computadores

Seção 3.2 – Pontes e Comutadores LAN

38

DCC/UFMG

Redes de Computadores

Pontes e LANs Estendidas

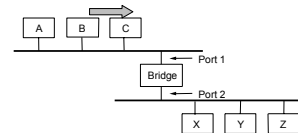
- LANs de meio compartilhado, como a Ethernet, têm limitações físicas (ex., 2500m)
- Conectar duas ou mais LANs de meio compartilhado com uma *ponte* LAN estendida
 - Estratégia “accept and forward” (ponte fica em modo promíscuo, aceitando pacotes de ambas as LANs e repassando para todas as portas)

39

Redes de Computadores

Pontes e LANs Estendidas

- Conexão no nível 2, enlace (não adiciona cabeçalho ao pacote)



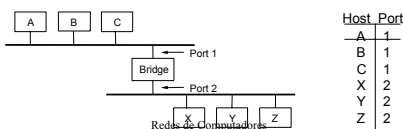
- Mas nem todos os pacotes precisam sair de sua LAN...

40

Redes de Computadores

Learning Bridges (1/3)

- Não repassam quando não é necessário
- Mantêm uma tabela (*forwarding table*): aprende as entradas baseando-se no endereço **fonte**
 - Sempre que chega um quadro, a ponte olha o remetente e associa-o à porta pelo qual o quadro chegou.



41

Learning Bridges (2/3)

- A tabela é uma otimização; não é necessário que seja completa:
 - Começa vazia e é preenchida à medida que recebe quadros
 - Entradas sofrem timeout
- Quando a ponte recebe um quadro destinado a um nodo que não está na tabela, ela repassa o quadro para todas as suas saídas
- Sempre repassa quadros de *broadcast*

42

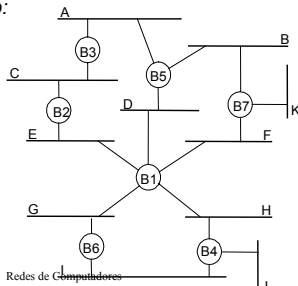
Redes de Computadores

Learning Bridges (3/3)

- Funcionam muito bem até que a LAN estendida apresente um *loop*:

quadros podem ficar dando voltas na LAN estendida para sempre.

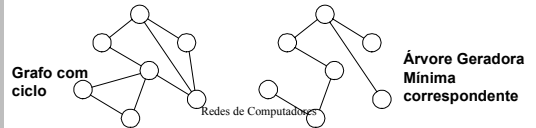
ex. de LAN estendida com loops (ex: pontes B1, B4 e B6)



43

Algoritmo da Árvore Geradora Mínima

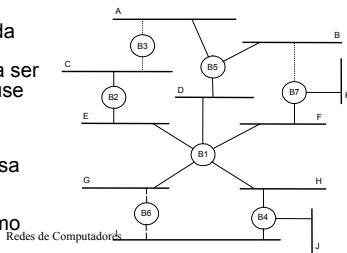
- A LAN pode ser representada por um grafo
- Pontes executam um algoritmo distribuído de *árvore geradora mínima* (sub-grafo que cobre todos os vértices, mas não contém ciclos)
 - Seleciona as portas através das quais as pontes irão repassar quadros
 - Desenvolvido por Radia Perlman
 - Serviu de base para a especificação IEEE 802.1



44

Descrição Geral do Algoritmo

- Cada ponte tem um identificador único(ex., B1, B2, B3)
- Selecione a ponte com menor identificador para ser a raiz da AVG
- Selecione em cada LAN a ponte mais próxima da raiz para ser a ponte escolhida (use id como critério de desempate)
- Cada ponte repassa quadros nas portas correspondentes às LANs que a tem como ponte escolhida



45

Detalhes do Algoritmo (1/4)

- Pontes têm que trocar mensagens de configuração entre si para decidirem se são a raiz ou a ponte escolhida de uma LAN
- As mensagens de configuração contêm:
 - id da ponte que envia a mensagem
 - id daquela que a ponte remetente acredita ser a ponte raiz
 - distância (em passos) da ponte remetente até a ponte raiz
- Cada ponte armazena a melhor mensagem de configuração para cada porta
- Inicialmente, cada ponte acredita ser a raiz e envia mensagens de configuração como tal (tem id, id, 0 nos campos citados acima)

46

Detalhes do Algoritmo (2/4)

- Uma mensagem de configuração é melhor que a informação correntemente armazenada se:
 - ela identifica uma raiz com id menor ou
 - ela identifica a raiz com mesmo id mas com uma distância menor (há um caminho mais curto até a raiz) ou
 - o id da raiz e a distância são os mesmos, mas a ponte remetente tem um id menor

Redes de Computadores

47

Detalhes do Algoritmo (3/4)

- Quando descobre que não é a raiz (recebe mensagem com id menor) pára de gerar mensagens de configuração
 - No estado estável, somente a raiz gera mensagens de configuração
- Quando descobre que não é a ponte escolhida (há outra ponte mais próxima da raiz ou com mesma distância porém com menor id), pára de repassar mensagens de configuração
 - No estado estável, somente as pontes escolhidas repassam mensagens de configuração

48

Detalhes do Algoritmo (4/4)

- Raiz continua enviando mensagens de configuração periodicamente
- Se alguma ponte não receber uma mensagem de configuração por um certo tempo, ela começa a gerar mensagens de configuração reivindicando ser a raiz

49

Redes de Computadores

Broadcast e Multicast

- Repasse de todos os quadros de *broadcast/multicast* para todas as portas ativas (exceto na que recebeu)
 - Prática corrente
- Entretanto, nem todas as LANs pertencentes à LAN estendida possuem nodos que fazem parte de um específico grupo de *multicast*
- Para melhorar o *multicast*, as pontes “aprendem” de forma semelhante aos *unicasts*:
 - Observa o remetente de mensagens de *multicast*: se um nodo faz parte de um grupo G, então ele envia periodicamente mensagens para todas as pontes (endereço *multicast* das pontes) com o endereço de *multicast* de G como remetente
- Esta otimização não é muito adotada

50

Limitações das Pontes (1/5)

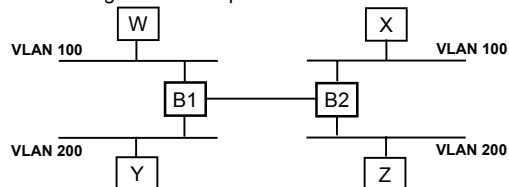
- A utilização de pontes destina-se somente a conectar algumas LANs similares
- Não são escaláveis
 - Algoritmo da árvore geradora mínima não é escalável
 - *Broadcast* não é escalável (todas as mensagens de broadcast atingem todas as LANs)
- Para resolver problemas de escalabilidade são utilizadas LANs virtuais (VLANs)

51

Redes de Computadores

Limitações das Pontes (2/5)

- VLANs – Virtual Lan:
 - Cada LAN recebe um identificador de LAN virtual.
 - A porta de uma ponte ligada a uma VLAN é configurada como pertencente a esta VLAN.



52

Redes de Computadores

O canal entre B1 e B2 foi considerado como pertencente a ambas VLANs

Limitações das Pontes (3/5)

- Ao chegar em uma ponte vindo do nodo remetente, o pacote é analisado. Entre seu cabeçalho Ethernet e o payload acrescenta-se um cabeçalho de VLAN com o identificador da VLAN de origem.
- As pontes só repassam pacotes para suas portas de saída que têm o mesmo número de VLAN contido no cabeçalho do pacote.

53

Redes de Computadores

Limitações das Pontes (4/5)

- Não suportam heterogeneidade: ligam Ethernet a Ethernet, 802.5 a 802.5 e Ethernet a 802.5. As redes devem possuir exatamente o mesmo formato de endereço.
- Transparência: LANs são conectadas sem utilização de protocolos adicionais. Nodos nem têm conhecimento da conexão: acham que é uma só rede. (Isso é uma vantagem)

54

Redes de Computadores

Limitações das Pontes (5/5)

- **Atenção:** tomar cuidado com a transparência
 - Aplicações ou protocolos de transporte atuam como se fosse uma rede única:
 - Atrasos podem ser maiores e mais variáveis que o esperado em uma única LAN.
 - Pontes podem descartar quadros, o que é muito raro de acontecer em uma única Ethernet.
 - É possível (apesar de improvável) que quadros sejam reordenados durante a transmissão. Isso nunca aconteceria em uma única Ethernet.