

Redes de Computadores

Circuitos virtuais, frame relay, ATM e MPLS
(redes WAN)

Aula 14

Introdução

- ❑ Comunicação entre dois dispositivos exige um meio
 - Enlaces ponto-a-ponto ou multiponto (controle de acesso ao meio)
 - ...mas e se eles estiverem em locais (meios) diferentes?
- ❑ Virtualização da camada de enlace
 - Empregar uma rede como camada de enlace
 - Criação de um 'fio virtual'
 - Extensão do que já foi visto com enlaces wireless e com switches
 - É o que tipicamente acontece com as redes WAN (*Wide Area Networks*)

Como criar um "fio virtual"?

- ❑ fio virtual = caminho entre duas entidades
 - Composto por vários enlaces e nós intermediários
- ❑ Duas possibilidades:
 - Rede orientada a datagrama
 - Tipicamente empregada na camada de rede (nível 3)
 - Conceito de roteamento
 - Rede orientada a circuitos virtuais
 - Tipicamente empregada na camada de enlace
 - Conceito de comutação

Roteamento

- ❑ Tarefa da camada de rede (estudaremos mais tarde)
 - Não define um caminho pré-estabelecido
 - Há sub-caminhos alternativos
 - Nós armazenam e consultam uma tabela de roteamento
 - Mecanismo *stateless* e *connectionless*
- ❑ Rede orientada a datagrama
 - Caminho = conjunto não fixo de enlaces para chegar ao destino + nós intermediários
- ❑ Nós intermediários são roteadores
 - Tabelas são construídas com auxílio de protocolos de roteamento
 - Encaminhamento é feito analisando o endereço da rede de destino
 - Necessário "isolar" a informação da rede a partir do endereço de destino

Comutação

❑ Características

- Nós intermediários estabelecem um caminho sem sub-caminhos alternativos
- Nós armazenam e consultam uma tabela de comutação
- Mecanismo *statefull* e *connection oriented*

❑ Rede orientada a caminhos virtuais

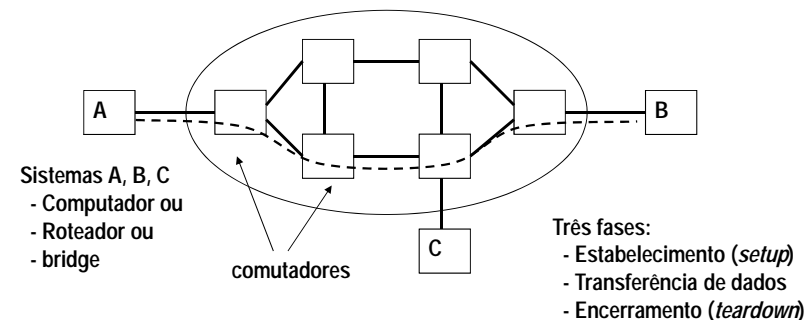
- Caminho virtual = enlace + nós intermediários
- Possui um identificador

❑ Nós intermediários são comutadores

- Tabela de comutação é construída por protocolos de sinalização
- Encaminhamento de pacotes é realizado com base no identificador
 - Custo computacional da comutação é menor que o do roteamento

Circuito virtual em redes WAN

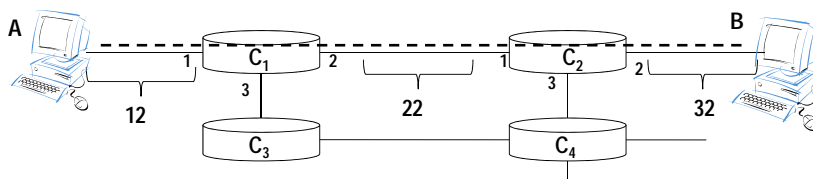
- ❑ Circuito virtual é um caminho (isto é, uma série de enlaces e comutadores de pacotes) entre sistemas finais origem e destino



Redes de circuitos virtuais

❑ Circuito virtual = enlaces + comutadores + tabelas

- Possui um identificador para cada enlace, então um circuito virtual é um conjunto de identificadores
- Exemplos: MPLS, ATM e frame relay



Interface entrada	Número CV (entrada)	Interface de saída	Número CV (saída)
1	12	2	22
2	63	1	18
3	7	2	17
2	22	3	7

Estabelecimento de circuito virtual

❑ Como definir um circuito virtual?

- Tabela de redirecionamento identificando o fluxo de quadros entre A e B

❑ Duas abordagens:

- *Permanent Virtual Circuit (PVC)*
- *Switched Virtual Circuit (SVC)*

❑ PVC

- A definição é feita pelo administrador do sistema e gravado em todos os comutadores
- Estabelece um circuito entre A e B, mesmo se não é usado
 - Representa custo (*leasing* do caminho) e desperdício
- Envolve exatamente um par de sistemas finais (identifica fonte e destino!!)
 - Havendo n destinos é necessário n PVCs

❑ Solução: uso de SVCs

Plano de controle e plano de dados

- ❑ Em redes de comutação de pacotes há dois tipos de pacotes
 - Controle: mensagens que informam aos nós como transferir os dados
 - Dados: mensagens dos usuários e/ou aplicações
- ❑ Conjunto de operações para tratar/manipular
 - Pacotes de dados: plano de dados
 - Pacotes de controle: plano de controle

Plano de controle

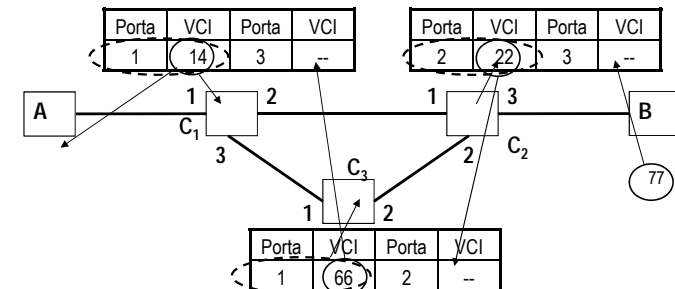
- ❑ Executa em background
- ❑ Possui um “tempo de vida” longo faz um processamento mais elaborado
- ❑ Objetivo é prover boas instruções para o plano de dados encaminhar os dados
 - Funções:
 - Error reporting
 - Configuração do sistema
 - Gerenciamento
 - Alocação de recursos
- ❑ Composto por protocolos e suas tabelas (e.g. protocolo de sinalização)

Plano de dados

- ❑ Executa em foreground
- ❑ Processar e encaminhar pacotes de dados e de controle
- ❑ Objetivo é desempenho
 - Quanto mais rápido encaminhar pacotes, melhor é
- ❑ Composto por um software de encaminhamento e suas tabelas
 - Faz apenas consulta e encaminhamento

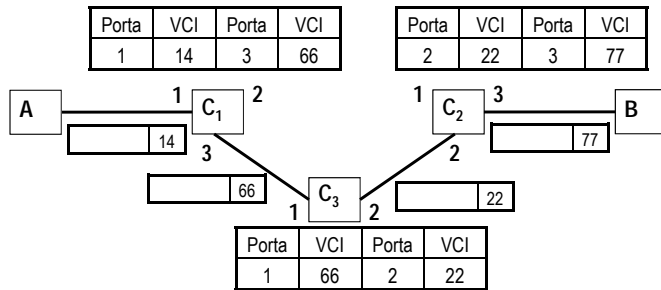
Switched Virtual Circuit

- ❑ Definição de um circuito virtual por demanda
- ❑ Necessário uma negociação entre os comutadores
 - Protocolo de sinalização
 - Estabelecimento → Requisição de setup/Reponse (ack)
 - Encerramento → *teardown request* / *teardown ack*



Transferência de dados

- Encaminhamento de um quadro até o destino é feito com base na tabela de redirecionamento (posicionamento do circuito virtual)

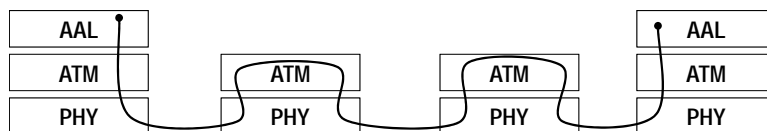


Estudo de casos

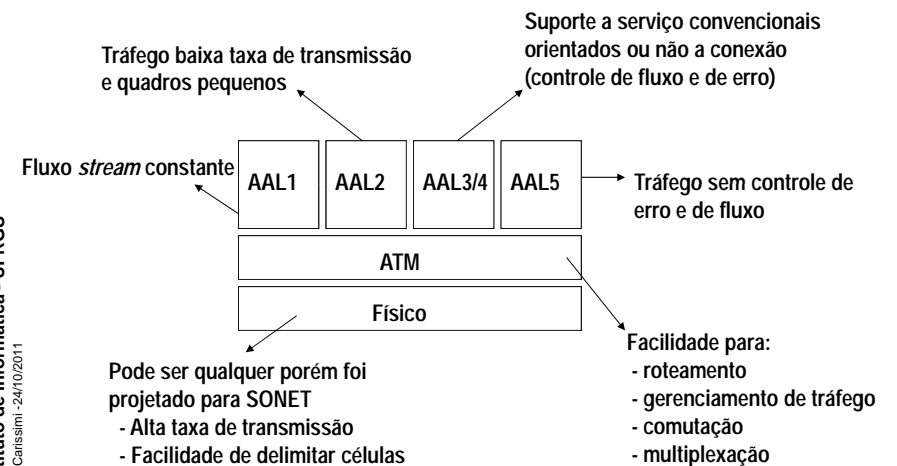
- Asynchronous Transfer Mode (ATM)
- Redes Frame relay
- Redes MPLS

Asynchronous Transfer Mode (ATM)

- Protocolo orientado a comutação de células
- Projetado pela ATM-forum e adotado pela ITU-T
- Arquitetura baseada em três camadas: AAL, ATM e PHY
- Uso típico em redes de telefonia e IP



Camadas ATM

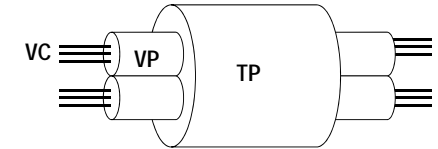


Application Adaptation Layer (AAL)

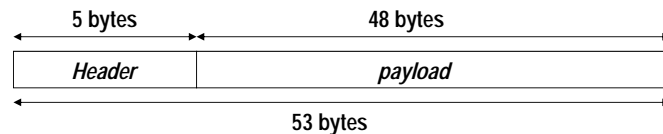
- ❑ Projetado para flexibilizar o uso do ATM para diferentes perfis de tráfego e uso.
 - Quatro tipos diferentes: AAL1, AAL2, AAL3/4 e AAL5
- ❑ Dividido em duas subcamadas:
 - **Convergence sublayer (CS)**
 - Aceita dados das camadas superiores e prepara-os para serem fragmentados pelo SAR
 - Funcionalidade depende do nível de AAL
 - **Segmentation e Reassembly (SAR)**
 - Responsável pela fragmentação na origem e pela remontagem no destino

Arquitetura ATM

- ❑ Dispositivos de usuários e comutadores ATM
 - User to Network Interface (UNI) → dispositivo a computador
 - Network to Network Interface (NNI) → computador a computador
- ❑ Elementos
 - Transmission Path (TP)
 - Virtual Paths (VP)
 - Virtual Circuit (VC)
- ❑ Conexão virtual
 - Identificada por um VPI (*Virtual Path Identifier*) e VCI (*Virtual Circuit identifier*)
 - Permite um roteamento hierárquico



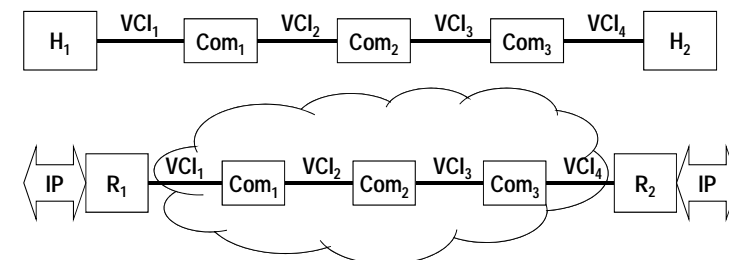
Célula ATM



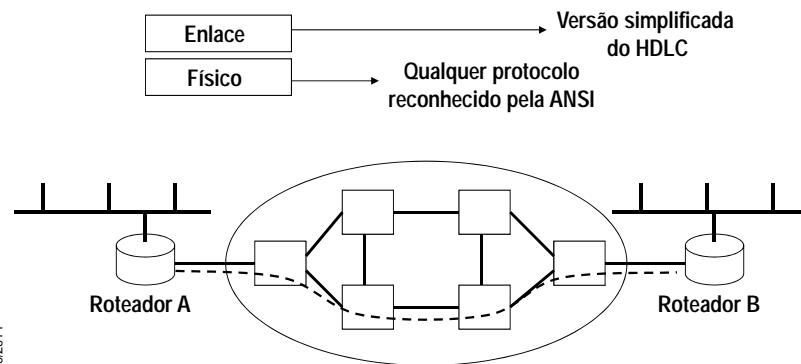
- ❑ Cabeçalho da célula (*header*):
 - ▶ 28 bits para determinação de VPI/VCI (modificado de enlace a enlace)
 - ▶ 3 bits para tipo do *payload*
 - ▶ 1 bit para determinar tráfego de alta ou baixa prioridade
 - ▶ 8 bits para código de detecção de erro

Princípio de funcionamento

- ❑ Antes de enviar células é necessário criar um canal virtual
 - Canal virtual é uma sequência de enlaces ATM
 - Pode ser permanente ou dinâmico
- ❑ Protocolo de sinalização Q.2931
 - Executado por comutadores ATM e por sistemas finais



Arquitetura de *frame relay*

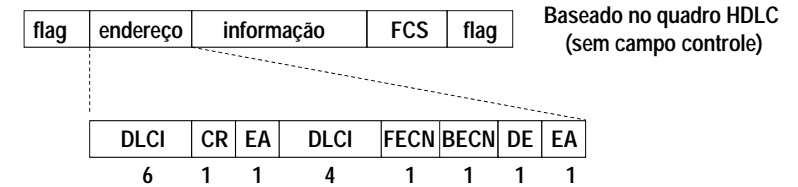


- ❑ Circuitos virtuais → *data link connection identifier* (DLCI)
- ❑ Computadores *frame relay* → tabela de redirecionamento de DLCI

Redes de computadores

21

Formato do quadro *frame relay*

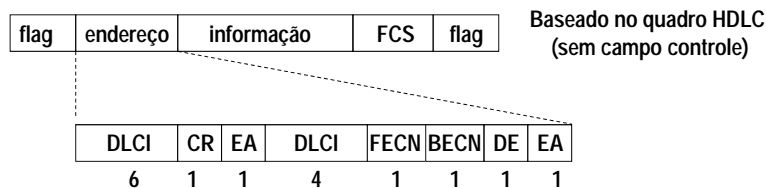


- ❑ DLCI: identificador do circuito virtual (10 bits)
- ❑ C/R: indicação se o quadro é comando ou resposta
 - Não é usado pelo *frame relay* em si, é disponibilizado para os níveis superiores
- ❑ EA (*extended address*): define formatos em 2, 3 ou 4 bytes para o campo de endereços (EA=1, indica último byte)

Redes de computadores

22

Formato do quadro *frame relay* (cont.)



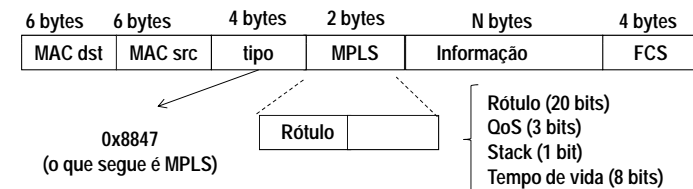
- ❑ Forward Explicit Congestion Notification (FECN):
 - Informa o destino da ocorrência de congestionamento na rede
- ❑ Backward Explicit Congestion Notification (BECN):
 - Informa a origem da ocorrência de congestionamento na rede
- ❑ Discard Eligibility (DE)
 - Prioridade do quadro *frame relay* → utilizada como critério para descartar quadros em caso de congestionamento

Redes de computadores

23

MultiProtocol Label Switching (MPLS)

- ❑ Introduz um cabeçalho (*shim**) entre o cabeçalho da camada de enlace e o cabeçalho da camada de rede
- ❑ Para uma rede IEEE 802.3



Redes de computadores

* Material colocado entre partes para nivelar ou completar (preencher) espaços

24

Leituras complementares

- ❑ Stallings, W. *Data and Computer Communications* (6th edition), Prentice Hall 1999.
 - Capítulo 11
- ❑ Tanenbaum, A. *Redes de Computadores* (4^a edição), Campus, 2003.
 - Capítulo 1, seção 1.5
 - Capítulo 2, seção 2.5.5

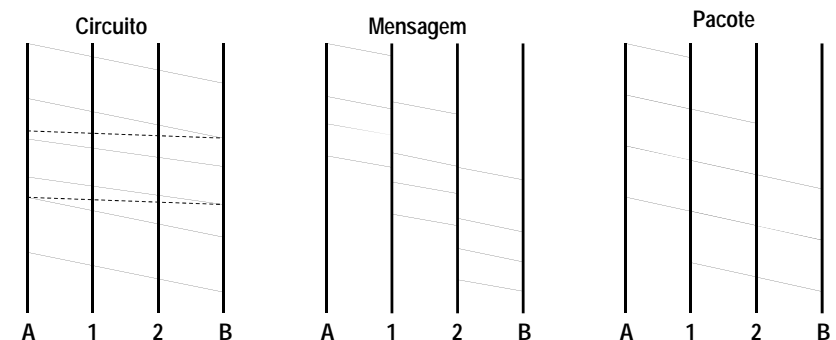
Tipos de infraestrutura de rede

- ❑ Três paradigmas para conectar fonte ao destino:
 - Comutação de circuitos (*Circuit switching*)
 - Comutação de pacotes (*Packet switching*)
 - Comutação de mensagens (*Message switching*)
- ❑ Diferença é a reserva ou não de recursos da rede (*buffers*, largura de banda dos enlaces, etc) e o uso compartilhado do meio ou não

Comutação de circuitos, de pacotes e de mensagens

- ❑ Comutação de circuitos
 - Em nível físico: usa TDM ou FDM (originalmente projetado para telefonia)
 - Criação de um caminho “real” entre fonte e destino
 - Recurso está alocado havendo ou não informação sendo enviada
- ❑ Comutação de pacotes
 - Adequado para o envio de dados
 - Informação é dividida e enviada em unidades de tamanho fixo (pacotes)
 - Duas abordagens: circuito virtual e datagrama
- ❑ Comutação de mensagens
 - Similar a comutação de pacotes porém, agora, pacotes possuem tamanho variável (mensagem)

Comparação entre os tipos de comutação



- ❑ Retardos variáveis e imprevisíveis (circuito/mensagem) contra fixos e previsíveis (pacote)
- ❑ Adaptação de velocidades (pacote/mensagem) versus velocidade fixa
- ❑ Melhor aproveitamento da capacidade dos enlaces (pacote) versus desperdícios temporais

Redes de comutação de pacotes

- ❑ Redes de circuitos virtuais
 - Define um caminho os sistemas finais origem e destino
 - Composto por uma série de enlaces entre comutadores de pacotes
 - Dados entre sistemas finais “fluem” sempre pelo mesmo caminho (isto é, passam pelos mesmos enlaces e comutadores)
- ❑ Redes datagramas
 - Não há caminho pré-estabelecido entre os sistemas finais origem e destino
 - Dados entre sistemas finais podem usar caminhos diferentes para chegar ao seu destino

Frame relay

- ❑ Rede WAN baseada em circuitos virtuais
- ❑ Alternativa para substituir protocolo X.25
 - X.25 envolve controle em níveis de enlace e de rede
 - Oferece taxas de transmissão de até 64 kbps
 - Define uma camada de rede (X.25) sobre outra camada de rede (Internet)
 - Implica em custos de gerenciamento e processamento
- ❑ Alternativa a *leasing* de linhas telefônicas
 - n locais $\rightarrow n(n-1)/2$ linhas (full-duplex)
 - Linhas = troncos T1 e T3
 - Linhas T1 possui taxa fixa (1.544 Mbps)
 - Perfil de tráfego não é esse

Características do *frame relay*

- ❑ Oferece taxas maiores que o X.25 (1.544 Mbps – 44.376 Mbps)
- ❑ Opera nos níveis físico e de enlace
 - Funciona como backbone para qualquer nível de rede
- ❑ Permite tráfego por demanda (*bursty*)
- ❑ Faz detecção de erro mas não faz controle de fluxo, nem de erro
 - Quadros frame relay com erros são “silenciosamente” descartados
- ❑ Oferece suporte para circuitos PVC e SVC