

WANTEC1

Tecnologias de Redes WAN

Redes de Comutação de Pacotes

Esta nota de aula e o material suplementar (slides da aula) podem ser obtidos em:

<https://drive.google.com/open?id=1jjwgfJu87pnVN6JaAumisIQxe1xfdY4t>

Nesta aula apresentamos de maneira geral características de quatro tecnologias utilizadas nas redes WAN: X.25, Frame Relay, ATM e Gigabit Ethernet. Todas elas estão vinculadas ao conceito de redes de comutação de pacotes, cuja grande vantagem é permitir que diferentes fluxos de tráfego possam compartilhar recursos por meio da multiplexação estatística. Atualmente a tecnologia Gigabit Ethernet é empregada largamente em conjunto com a tecnologia IP. As demais foram suplantadas e tornaram-se obsoletas.

Por que estudar tecnologias obsoletas? Nesta disciplina não vamos nos aprofundar em detalhes das tecnologias. Vamos abordar um amplo contexto, formado por diferentes tecnologias, cada uma exigindo vários cursos específicos para um conhecimento aprofundado. Temos a disciplina redes de computadores no BCT, que é um curso básico específico sobre as redes IP. Mais adiante, na nossa disciplina, serão abordados tópicos avançados, específicos de redes IP. Mas de forma geral, o objetivo da disciplina é que você conheça as características gerais das redes WAN e seja capaz de compreender e resolver problemas simples de tráfego. Dominando estas competências, você será capaz de compreender documentos técnicos, como os exemplos que estão lá nos links do site da disciplina. Isto facilitará que se aprofunde, posteriormente, neste ou naquele tópico, ou que acompanhe a rápida evolução tecnológica.

Muitos tópicos importantes atuais estarão obsoletos em pouco tempo. Por exemplo, você conhece o Wireless Application Protocol (WAP)? No ano 2000 era a tecnologia que permitiria acessar a Internet a partir dos dispositivos móveis e que estava obsoleta em 2007. Compreender este processo de evolução das tecnologias, não exige que você conheça profundamente os detalhes de seu funcionamento. Mas o entendimento do processo de evolução das redes trará a você uma visão mais aprofundada das redes em si. Fazendo uma analogia, em vez de estudar profundamente algumas espécies de plantas e animais de uma floresta isoladamente, vamos nos aprofundar na visão do ecossistema como um todo, o que exige compreensão dos seus aspectos básicos.

Arpanet

A tecnologia IP teve origem no projeto Arpanet, desenvolvido pelo órgão governamental americano “Defense Advanced Research Projects Agency – DARPA”. A ARPANET deu origem à Internet, mas não era a Internet que conhecemos hoje. Nas décadas de 1970 e 1980 era uma rede que interligava computadores tipo mainframe, que dominavam o cenário da computação, de universidades e centros de pesquisa. Computadores pessoais começavam a surgir e celulares eram comuns apenas nos episódios de jornada nas estrelas. O protocolo IP competia com vários outros protocolos no

contexto das redes locais. No contexto de redes WAN, havia a rede de Telex, uma evolução do telégrafo, a rede telefônica, que podia ser usada para transmissão de dados por meio dos modems, e as linhas privadas, circuitos dedicados interligando o ponto A ao ponto B. Este contexto ficará mais claro no próximo tópico. As tecnologia IP ganhariam relevância, no contexto das redes WAN, por volta do ano 2000, após a introdução das tecnologias WWW, ADSL e MPLS. Naquele momento iniciaria o processo de convergência das redes, tema discutido anteriormente neste curso. Abordaremos o tema das redes MPLS e SDN mais adiante. Por enquanto vamos deixar de lado as redes IP e vamos conhecer outras tecnologias.

Tecnologia X.25

Em 1986 o sistema financeiro estava introduzindo a automação bancária. Uma década antes, para depositar ou retirar um valor de uma conta de poupança, o cliente entregava sua caderneta para o caixa. O caixa buscava no arquivo a ficha do cliente, anotava na ficha e na caderneta a operação e fazia a retirada ou depósito em espécie. Na década de 80, os registros eram feitos por computadores e os caixas tinham terminais ligados em rede. Antes, você precisava ir à agência onde estava sua ficha para fazer uma operação. Agora podia sacar dinheiro de qualquer agência ou de um caixa automático num ponto comercial. Como fazer isso em 1986? Uma possibilidade era interconectar cada caixa automático a um centro de processamento por meio das linhas privadas, a principal solução para transmissão de dados da época. Num estudo de caso da época, interligar um caixa automático distante cerca de dois mil quilômetros do centro de processamento por meio de uma linha privada de 9600bps custaria da ordem de mil dólares por mês (uns três mil dólares de 2020). A tecnologia X.25 possibilitava uma solução mais econômica em que vários caixas de uma região eram interligados em rede, e esta rede interligada ao centro de processamento por até duas linhas privadas. No estudo de caso, a solução em rede custaria cerca de cento e cinquenta mil dólares, em dois anos, para sete caixas automáticos. A solução de linhas privadas custaria duzentos e cinquenta mil dólares. Além da vantagem de custo, a rede X.25 contava com um mecanismo de detecção de erros e retransmissão da informação, garantindo a recepção dos pacotes no destino na ordem correta. Característica essencial para operações financeiras. No Brasil, nesta mesma época, a Embratel inaugurou a Renpac, uma rede x.25 interligando as principais cidades do país a taxas de 64kbps.

As redes X.25 foram projetadas para operar neste cenário tecnológico de linhas de dados de baixa taxa de transmissão e alta taxa de erros. O primeiro padrão foi publicado pelo antigo CCITT, atual ITU em 1976. X.25 significa recomendação 25 da série X do CCITT. Ela pode ser obtida no link a seguir:

<https://www.itu.int/rec/T-REC-X.25-199610-I/>

O ITU chama os padrões (especificações, standards) de recomendações por uma questão histórica e diplomática. A primeira recomendação foi elaborada após a conclusão da investigação sobre o afundamento do Titanic. Houve problemas de comunicação entre os radiotelégrafos do Titanic e navios próximos. A recomendação do CCITT apresentava soluções para evitar os mesmos problemas no futuro. Você poderia baixar a recomendação X.25 para ter uma noção melhor de como

são especificadas as tecnologias, não é preciso estudar a norma. Todas as tecnologias possuem padrões proprietários, detidos por uma empresa (por exemplo Skype), ou possuem padrões abertos, como todos padrões das organizações internacionais e nacionais, como por exemplo ITU, IEEE, ABNT. A tecnologia X.25 não se resume a uma única recomendação, mas a um conjunto delas. O recomendação X.25 não especifica o funcionamento da rede como um todo, mas apenas a interligação do DCE com o DTE. Mas a tecnologia da rede por si acabou sendo identificada pelo código da norma. As redes X.25 foram as primeiras da era da informação. Tornou-se obsoleta na década de 1990, mas partes dela ainda são utilizadas, por exemplo no sistema de login da UFABC.

A tecnologia X.25 foi projetada para o cenário de redes WAN. Seu principal mercado foi a interligação de redes locais. De fato este mercado ainda domina o segmento corporativo até os dias atuais. Com o crescimento da Internet das coisas, computação em nuvem e outros avanços, o cenário começou a mudar recentemente. Na camada física (camada 1), a rede utiliza o protocolo X.21 ou RS232, que são compatíveis entre si. O RS232 era usado como interface serial padrão nos computadores pessoais até sua substituição pelas portas USB. Permite links de dezenas de metros. O X.21 permite links de com taxa de até 100kbps em linhas metálicas de até dois quilômetros. A camada de enlace (camada 2) utiliza o protocolo LACP, versão simplificada do HDLC. Já falamos dele no curso. Se você não lembra, dê uma revisada. Entender o HDLC vai dar uma compreensão muito maior de como a rede funcionava. Na camada de rede (camada 3) utilizava-se o sistema de endereçamento X.121. O sistema de comutação de pacotes era orientado à conexão. Para trocar pacotes entre dois terminais da rede era preciso estabelecer Circuitos Virtuais Permanentes (PVC) ou Circuitos Virtuais Comutados (SVC). Os pacotes podiam ter tamanho variável de até 110 bytes.

O modelo da rede possui três elementos:

- Data terminal equipment (DTE), que é o equipamento pertencente ao cliente;
- Data circuit-terminating equipment (DCE), que é o equipamento da rede, que fica nas instalações do cliente;
- Packet-switching exchange (PSE), que é o roteador da rede que fica nas instalações do provedor da rede.

Frame Relay

A tecnologia Frame Relay foi projetada uma década depois do X.25. O problema a resolver era o mesmo. Agora num contexto diferente. A rede telefônica analógica estava fazendo a transição para uma rede digital. Os custos da eletrônica digital estavam caindo, a lei de Moore já estava valendo. A tecnologia DSL permitia transmitir dados em cabos metálicos a taxas de até 2Mbps por alguns quilômetros com maior confiabilidade.

O modelo da rede Frame Relay possui apenas dois elementos: Data terminal equipment (DTE) e Data circuit-terminating equipment (DCE). Para conectar os dois elementos podia-se empregar diferentes interfaces, desde X.21, a mesma da rede X.25, modems de diferentes velocidades. Muito comuns eram os troncos digitais E1 ou T1, utilizados em escala na rede telefônica a partir da década de 1980.

A concepção da rede passou por um processo de simplificação em relação ao X.25. Uma das simplificações foi a eliminação da camada 3. Na camada 2, utiliza-se o protocolo Link Access Procedure to Frame Mode Bearer Service (LAPF), que é uma simplificação do protocolo LAPD. O LAPD, que por sua vez é uma evolução do HDLC, é o protocolo que controla as linhas telefônicas digitais da Rede Digital de Serviços Integrados (ISDN), que você nunca viu porque nunca chegaram a ser instaladas em escala no Brasil. O Frame Relay também é uma Rede de Pacotes Orientada à Conexão. É portanto uma rede que possibilita a Multiplexação Estatística e rajadas de tráfego. Incorpora os conceitos de Circuitos Virtuais Permanentes (PVC) e Circuitos Virtuais Comutados (SVC).

Em comparação às redes X.25, redes Frame Relay tem as seguintes vantagens:

- Elimina a complexidade da Camada 3 (ARQ)
- Melhor adaptado a meios de transmissão confiáveis e de alta taxa de transmissão
- Melhor adaptado para o tráfego IP (Grandes Pacotes)
- LAPF em vez do LAPB
- Menor custo

Serviços Frame Relay operaram com sucesso até o início da década de 2010.

As especificações do Frame Relay estabelecem o mecanismo para início e término dos circuitos virtuais, que podem ser permanentes ou comutados. No caso dos circuitos virtuais permanentes há dois estados: ativo e livre. No caso dos circuitos virtuais comutados há um procedimento de troca de mensagens (sinalização) para o estabelecimento do circuito virtual. Neste caso há dois estados adicionais que é o estado de estabelecimento da chamada e o estado de encerramento da chamada.

A rede Frame Relay simplesmente estabelece links virtuais entre uma interface física da rede num ponto A e outra interface no ponto B. Cada interface física é associada a um número, a exemplo do que ocorre nas redes telefônicas. A cada circuito virtual é atribuído um identificador denominado DLCI, que tem significado local. Na figura do exemplo, há um circuito virtual entre Peanut e Butter. Quando Peanut transmite, usa o DLCI 110, que só tem significado naquele enlace físico, a porta serial s0. A mesma porta serial, que conecta Peanut à rede, é usada para o circuito virtual identificado pelo DLCI 220. Uma grande vantagem da tecnologia Frame Relay é sua compatibilidade com o protocolo IP. A interligação das redes locais IP pode ser feita por uma associação direta entre o endereço IP de cada interface do Gateway a um endereço da rede Frame Relay.

A informação é transmitida em quadros de tamanho variável. Os quadros são delimitados por flags, como no caso do protocolo HDLC. Há um campo de endereço contendo o identificador do link DLCI. Há também bits específicos para controle de congestionamento e gerência de tráfego na rede. Não há ainda o conceito de qualidade de serviço incorporado à estrutura da rede.

A rede Frame Relay recebeu modificações importantes que ajudaram a impulsionar seu sucesso comercial. Essas modificações permitiram criar redes maiores, que podiam ser melhor gerenciadas. O pacote de modificações recebeu a denominação “Local Management Interface”. Os principais melhoramentos foram: sistema para endereçamento global da rede, monitoramento contínuo do estado dos circuitos virtuais e ligações do tipo ponto-multiponto.

ATM

Na década de 1980 surgiu a tecnologia de fibra óptica, elemento fundamental da era da informação. As redes ATM foram projetadas para este cenário. A rede seria formada pelos nós ATM interligados pela rede de fibras ópticas. Esta rede deveria ser capaz de atender a qualquer tipo de serviço: celular, smartphones, video streaming, navegação WWW, e-mail, etc. Era um projeto muito ambicioso. Pretendia ser a tecnologia das redes banda larga de serviços integrados do futuro. Futuro neste caso significa o atual presente nosso. Hoje ATM é uma tecnologia obsoleta. Ela era demasiadamente complexa, cara e não atendia bem as necessidades dos usuários. Foi projetada antes do surgimento da WWW, que teve crescimento exponencial, quando o tráfego que dominava as redes era o tráfego telefônico. Para nós, vale a pena estudar os erros e acertos do projeto. Analisando o modelo de referência das redes ATM percebe-se imediatamente o contraste com as tecnologias que vimos anteriormente. O modelo abrange:

a camada física (camada 1),

a camada ATM, que possui camada de enlace (camada 2) e camada de rede (camada 3),

e a camada AAL (ATM adaption Layer).

O acrônimo ATM deriva de Asynchronous Transfer Mode, o que está relacionado ao fato de que é uma rede de comutação de pacotes. A transmissão de pacotes, chamados de células no ATM é, de fato, contraditoriamente feito de modo síncrono. É uma tecnologia de rede WAN que pretendia ser a base da rede digital de serviços integrados de banda larga (B-ISDN). O acrônimo ISDN recebeu a jocosa interpretação de “I still don't need”, fazendo menção ao fato que a tecnologia não atendia as necessidades dos clientes da rede. O projeto foi feito para o cenário de transmissão a altas taxas em redes ópticas, com baixíssima taxa de erro. O conceito de qualidade de serviço foi incorporado de forma orgânica ao projeto, como ponto básico para convivência de serviços heterogêneos numa rede convergente. É uma rede de comutação de pacotes orientada à conexão. Para poder rotear os pacotes, antes é preciso criar caminhos virtuais (VP) e canais virtuais (VC), conceitos novos do ATM. Um pouco mais adiante veremos que ainda há o conceito de circuito virtual, existente nas tecnologias anteriores.

Em relação a tecnologia FrameRelay o ATM:

- Permite garantia de QOS.
- Melhor adaptado a meios confiáveis e de alta taxa.

- Inclui a camada 3. Permite comutação VP e VC.
- É muito mais caro.

Na especificação da camada física temos a Physical Medium-Dependent Sublayer com as seguintes características:

- Recuperação do Relógio a partir do sinal de linha
- Códigos de linha: bit-by-bit; 4B/5B; 8B/10B
- Fluxo contínuo de bits em modo síncrono.

A camada física do ATM adere aos padrões das redes ópticas, que veremos em breve no curso.

Na camada de enlace encontramos a Transmission Convergence Sublayer com as funções:

- Geração e Verificação dos HEC (códigos de verificação de erro no cabeçalho),
- Transmissão de células idle, caso não haja tráfego suficiente,
- Delineamento de células

Na camada de rede encontramos a aplicação dos conceitos de caminhos virtuais (VP) e canais virtuais (VC). Este esquema é uma sofisticação do DLCI do Frame Relay, usado para identificar um circuito virtual, chamado de conexão virtual no ATM. Suponhamos que um cliente da rede deseja interligar uma porta 1 num ponto A e outra porta 2 num ponto B. Para isso é preciso estabelecer uma conexão virtual que obrigatoriamente irá passar por um ponto intermediário C. É possível fazer isto de duas formas. Na primeira forma são criados um caminho virtual VP e um canal virtual VC associado ao caminho, que são mantidos de A até B. Esta forma utiliza a comutação de VP, em que o roteador C não necessita usar o VC. A segunda forma é terminar os caminhos e canais virtuais no ponto C e criar novos caminhos e canais virtuais até o ponto de destino. Esta forma utiliza a comutação de VC e VP.

Nas redes ATM os canais virtuais são unidirecionais. Para estabelecer uma conexão virtual bidirecional ponto-a-ponto, é preciso criar canais nos dois sentidos.

É possível criar conexões ponto-multiponto, com emprego de mais de dois canais virtuais.

As conexões virtuais podem ser permanentes (PVC) ou comutadas (SVC).

O sistema de comutação das células (pacotes) ATM foi projetado para utilizar células de tamanho fixo, sem controle de erro ou controle de fluxo. Este contexto foi escolhido para simplificar e baratear a camada ATM. Utilizando redes ópticas, a taxa de erro seria pequena demais para se investir em mecanismo de controle. Taxas altas de transmissão em conjunto com o contexto

escolhido deveria resultar em valores muito reduzido de perdas de pacotes por congestionamento nas filas dos roteadores. Em sistemas de banda larga, breves momentos de falha ou congestionamento resultam na perda de um volume enorme de informação.

Cada célula ATM possui 5 octetos de cabeçalho e 48 octetos de carga útil (payload), totalizando um tamanho fixo de 53 octetos. Há dois formatos de cabeçalho, um utilizado na interface com o usuário (User Network Interface UNI) e outro na interface de rede (Network-Network Interface NNI). Mais adiante ficará claro que o termo carga útil é em relação a camada ATM. A camada AAL exigirá um ou mais octetos para funcionamento da camada AAL e o tráfego do cliente da rede utilizará menos de 48 octetos por célula.

Os campos do cabeçalho são os seguintes:

cell loss priority (CLP) – 1 bit

header error control (HEC) – CRC – 8 bits

generic flow control (GFC) - 4 bits – Controle de fluxo na UNI

virtual path identifier (VPI) - 8 bits na célula UNI e 12 na NNI

virtual channel identifier (VCI) - 16 bits

payload type indicator (PTI) – 3 bits – Identifica se é tráfego OAM, do cliente ou de gestão de recursos

Códigos PTI

000 User data cell, cong. not experienced, SDU type = 0

001 User data cell, cong. not experienced, SDU type = 1

010 User data cell, cong.n experienced, SDU type = 0

011 User data cell, cong. experienced, SDU type = 1

100 Segment OAM flow-related cell

101 End-to-end OAM flow-related cell

110 RM cell

O modelo ATM inclui o conceito de Categorias de Qualidade de Serviço (QOS). Cada categoria tem um conjunto de parâmetros de QOS e um conjunto de parâmetros de descrição de tráfego. As classes são:

constant bit rate (CBR)

real-time variable bit rate (RT-VBR),

non-real-time variable bit rate (NRT-VBR),
available bit rate (ABR) - Taxa Alocada Dinamicamente,
unspecified bit rate (UBR) - Best Effort,
guaranteed frame rate (GFR).

Os parâmetros de descrição de tráfego são:

peak cell rate (PCR),
sustained cell rate (SCR),
maximum burst size (MBS),
minimum cell rate (MCR),
maximum frame size (MFS),
cell delay variation tolerance (CDVT) .

Os parâmetros de QOS são

cell loss rate (CLR),
cell transfer delay (CTD),
maximum cell transfer delay (max CTD).
peak-to-peak cell delay variation.

Parâmetros x Categorias de QOS

Vide Tabela

Call Admission Control - CAC

É um mecanismo preventivo de controle de Congestionamento.

Determina se uma conexão pode ser aceita sem que haja violação do nível mínimo de qualidade das conexões estabelecidas na rede. O cálculo de ocupação dos recursos pode utilizar métodos de alocação estatística ou alocação determinística (PCR).

Policiamento de Tráfego - Generic Cell Rate Algorithm (GCRA)

É um mecanismo reativo de controle de congestionamento. Há um algoritmo que determina se uma célula viola ou não o contrato de QOS. O algoritmo emprega os seguintes parâmetros:

theoretical arrival time (TAT)

instante de chegada de uma célula (t s)

$$T = 1/PCR, 1/SCR,$$

$$\tau = CDVT, (MBS - 1)(t_s - T) + CDVT,$$

Algoritmo GRCA

vide diagrama.

ATM Block Transfer

É uma classe de tráfego que possui um esquema de alocação rápida de banda. Permite solicitações de incremento e decremento de banda durante a conexão. A banda deve permanecer entre 0 e PCR, as solicitações são enviadas a todos nós do caminho. Os incrementos ocorrem se houver unanimidade de todos os nós. A comunicação entre os nós emprega o fast reservation protocol (FRP).

Camada AAL.

Esta camada tem como função receber o tráfego dos clientes e transformá-lo num fluxo de células que possam ser transmitidos pela camada ATM. Possui uma parte comum de convergência e outra também comum de segmentação e remontagem da informação. Comum significa que o mesmo procedimento é aplicado a qualquer tipo de tráfego.

Convergence Sublayer, composta de duas partes: Service Specific Convergence Sublayer e Common Part Sublayer.

Segmentation and Reassembly Sublayer

Há uma terceira parte específica para cada tipo de tráfego do cliente.

O ATM possui quatro tipos de AAL: AAL1(CBR), AAL2, AAL3-4 e AAL5

	Class A	Class B	Class C	Class D
Timing between Source and Destination	Required		Not Required	
Bit Rate	Constant	Variable		
Connection Mode	Connection - oriented			Connectionless
	AAL 1	AAL 2	AAL 3/4	AAL 5

AAL1 – Para fontes de taxa constante e tempo real. Um octeto do payload de cada célula é usado para numeração das células que permite ordenamento na recepção e verificação de perda de células.

AAL2 – Para fontes de taxa variável, tempo real, com multiplexação de fluxos. Há um algoritmo para fazer a segmentação, remontagem e multiplexação dos fluxos.

AAL5 – Para tráfego NRT (Non Real Time). O tráfego é encapsulado num pacote com formato específico de tamanho sempre múltiplo de 48 octetos, posteriormente segmentado e entregue à camada ATM.

Classical IP and ARP over ATM

A camada AAL5 permite que pacotes IP sejam transportados na rede ATM, o que é chamado de IP over ATM. Mas o que os clientes desejavam era algo mais. Foi preciso desenvolver uma espécie de extensão ao ATM para que fosse possível criar uma subrede de terminais IP ligados à rede ATM. Neste caso a rede ATM deveria ser capaz de processar a sinalização ARP.

Ethernet

Vide Diagramas