

Sistemas de Conectividade

Aula 04 - Transmissão de informa es

Apresentação

Você já sabe que as redes de computadores transmitem informações entre computadores. Evidentemente, essas informações precisam ser representadas de alguma forma que os computadores entendam e que possam ser enviadas por meio de cabos ou do ar. Você também já sabe que os computadores trabalham com *bits*. Fica fácil perceber, portanto, que as informações são representadas por uma sequência de *bits*, os quais são transmitidos através dos enlaces de comunicação.

Nesta aula, estudaremos questões relacionadas ao modo como os enlaces de comunicação são utilizados para transmitirem esses *bits*. Veremos técnicas de multiplexação que permitem o compartilhamento de um enlace, de modo que possam ser realizadas várias transmissões simultaneamente. Como nem sempre existe um enlace direto entre duas máquinas que desejam se comunicar, estudaremos também alguns modos de utilização dos enlaces existentes em uma rede para criarmos um canal de comunicação entre elas. Os dois modos que você estudará são: comutação por circuitos e comutação por pacotes.



Vídeo 01 - Apresentação da aula

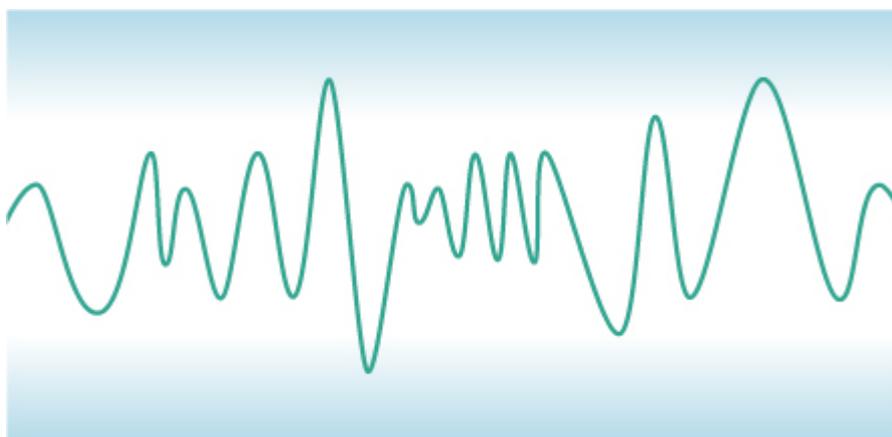
Objetivos

- Conceituar banda passante.
- Compreender como as técnicas de multiplexação são utilizadas para comunicação simultaneamente.
- Entender o que é comutação por pacotes e quais as vantagens das redes baseadas nessa abordagem.
- Entender o que é comutação por circuitos e quais as vantagens das redes baseadas nessa abordagem.

Sinal Analógico e Digital

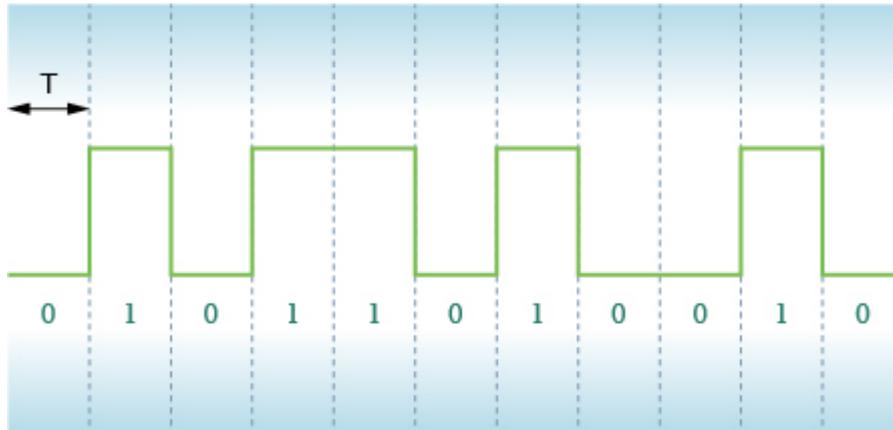
Os termos analógico e digital se referem à forma como o sinal transmitido varia com o tempo. Quando o sinal (sua amplitude) varia continuamente ao longo do tempo, ou seja, possui um valor diferente a cada instante de tempo, ele é dito analógico. Um exemplo desse tipo de sinal é a nossa voz. A **Figura 1** ilustra um sinal analógico.

Figura 01 - Sinal analógico



Quando o sinal (sua amplitude) sempre se mantém constante durante um intervalo de tempo, ele é dito digital. A transmissão de sinais digitais utiliza intervalos de tempo de mesma duração (chamado de intervalo de sinalização), e em cada intervalo o sinal pode ter um valor diferente, mas que é fixo dentro do intervalo. O número de possíveis valores que o sinal pode assumir é predeterminado. Um exemplo seria utilizar apenas dois possíveis valores, em que um deles representaria o número 0 (zero) e o outro o número 1 (um). A **Figura 2** ilustra um sinal digital que pode assumir apenas dois valores, sendo que cada coluna representa um intervalo de tempo. Os computadores são um exemplo de equipamento que utiliza sinal digital.

Figura 02 - Sinal digital



É interessante observar que uma coisa é a natureza da informação, ou seja, se ela é digital ou analógica; outra coisa é o modo como a representamos e transmitimos. Embora o mais natural seja transmitir uma informação analógica de modo analógico e uma digital de modo digital, qualquer combinação é possível. Ou seja, podemos pegar uma informação digital e a representarmos e transmitirmos em modo analógico. Do mesmo modo, podemos pegar uma informação analógica e a representarmos e a transmitirmos em modo digital.

Essa transformação acontece com a rede telefônica, por exemplo. A voz é uma informação analógica e, portanto, as redes de telefonia foram construídas de modo a transmitirem sinais analógicos. Com o surgimento dos computadores, que utilizam informação digital, as redes de telefonia começaram a ser utilizadas também para permitir a comunicação entre esses equipamentos. Para isso, os modems foram inventados (lembre-se que já falamos sobre eles na Aula 3), ou seja, para converterem as informações digitais em analógicas, de modo que pudessem ser enviadas pelas redes de telefonia.



Vídeo 02 - Transmissão de Informações

Por outro lado, as redes de computadores, como a Internet, por exemplo, são digitais, mas têm sido muito utilizadas por aplicações de transmissão de voz, como o *Skype*, por exemplo, que utiliza *VoIP* - Voz sobre IP. Nesse caso, o sinal analógico da voz é convertido em sinal digital para ser transmitido pela rede.

Como as redes digitais fornecem mais controle do que as redes analógicas, no que se refere ao monitoramento e à própria configuração da rede, os sistemas digitais são cada vez mais utilizados nas redes de comunicação. As redes de telefonia já possuem grande parte de suas estruturas operando em modo digital.

Atividade 01

1. Pesquise sobre sinal analógico e sinal digital e explique com suas próprias palavras a diferença entre eles.
2. Quais serviços e/ou equipamentos utilizam sinais digitais e analógicos?
3. Pesquise sobre VoIP – Voz sobre IP – e cite suas características.

Banda Passante

Quando falamos sobre a transmissão de sinais, um conceito importante que deve ser compreendido é o de **banda passante**. Porém, para entender esse conceito, primeiro, é necessário conhecer o conceito de Hertz (Hz), que é a unidade de medida de **frequência** de um evento periódico dada em **ciclos por segundos**. Por exemplo, o coração de um humano saudável em repouso bate a, aproximadamente, 1,2 Hz (1,2 batidas por segundo). Já no caso de sinais analógicos, a frequência corresponde ao o número de oscilações (ou vibrações) por segundo.

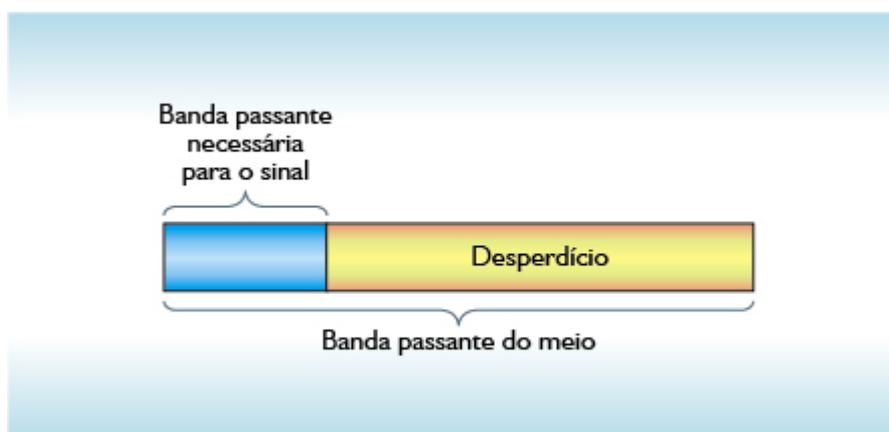
Diversas propriedades das transmissões de dados, como a própria **largura de banda** (que veremos a seguir), a **atenuação do sinal** e a [diafonia](#). (Ocorre quando o receptor, em um canal de comunicações, recebe, inadvertidamente, informação enviada pelo canal de comunicação adjacente - em telefonia, pode-se entender como linha cruzada.) são especificadas em função da frequência, que, em geral, é dada em [mega-hertz](#). (mega-hertz significa 1.000.000 hertz, o que daria 1 milhão de ciclos por segundo.)

A **banda passante de um sinal** é o conjunto de frequências que compõem esse sinal. Já a **largura de banda** de um sinal é o tamanho de sua banda passante, que é a diferença entre a maior e a menor frequência desse sinal.

Quando trazemos esses conceitos para o meio de transmissão, dizemos que a banda passante de um meio físico corresponde à faixa de frequência que pode ser transmitida por esse meio. Como vimos na Aula 2, a **largura de banda de um meio físico** (Bandwidth) é, normalmente, usada para se referir à capacidade de um canal ou equipamento, medida em milhares (kbps) ou milhões de *bits* por segundo (Mbps). Entretanto, a largura de banda não é uma medida de velocidade, mas a diferença entre as frequências máxima e mínima na qual um canal/equipamento pode operar. Dois meios de transmissão podem ter a mesma largura de banda, digamos 3kHz, mas cada meio físico pode ter uma banda passante diferente, por exemplo, um com banda passante de 1kHz a 4kHz, e outro com banda passante de 40kHz a 43 kHz.

Sempre que a largura de banda de um meio físico for maior ou igual à largura de banda de um determinado sinal, esse meio poderá ser utilizado para transmitir esse sinal. Na prática, a banda passante necessária para um sinal é, em geral, bem menor do que a banda passante dos meios físicos disponíveis. Desse modo, quanto maior a largura de banda, maior será a quantidade de sinal que poderá trafegar em um meio. A **Figura 3** apresenta uma visão simplificada da relação entre a banda passante de um sinal e a banda passante do meio de transmissão. Nesse caso, dizemos que parte da banda passante do meio está sendo desperdiçada.

Figura 03 - Subutilização de banda passante



Vídeo 03 - Transmissão de Informações

Alguns alunos confundem os termos *mega-hertz* e *megabits*, por segundo, quando se fala em largura de banda e taxa de transmissão de dados. Porém, esses dois termos **não** significam a mesma coisa.

Para transmitirmos um conjunto de dados digitais por meio de um sinal analógico, dizemos que a informação digital é codificada em um sinal analógico. A codificação permite que os *bits* de dados sejam compactados em faixas de frequência. A quantidade de dados (número de *bits*) que é transmitido em determinado grupo de frequência (hertz ou *mega-hertz*) é determinada pelo **esquema de codificação digital** utilizado.

Em alguns padrões, que utilizam esquemas de codificação antigos, como o padrão ethernet 10 base T que usa o esquema de codificação *manchester*, a relação de número de *bits* transmitidos e a faixa de frequência é de um para um, onde um megabit de dados é transmitido em uma faixa de um *mega-hertz* de frequência. Porém, isso não ocorre com todos os padrões, e padrões mais recentes conseguem compactar mais *bits* em uma mesma faixa de frequência.

Por exemplo, no esquema de codificação NRZI (Não Retorno ao Zero Invertido), a largura de banda corresponde à metade da taxa de *bits*, permitindo a transmissão do dobro de informação do que o esquema Manchester, enquanto que o TP-PMD FDDI em cobre), em que o esquema de codificação utilizado é o MLT-3, a largura de banda é $\frac{1}{4}$ da taxa de *bits*. Assim, apesar da taxa de dados do *TP-PMD* ser 125 Mbps (100 Mbps de dados mais 25 Mbps de controle de *bits*), a largura de banda é $\frac{1}{4}$ disso, ou seja, 31.25 Mhz.

Desse modo, para se determinar a **taxa de transmissão** (a quantidade de dados (*bits*) que um padrão é capaz de transmitir) é necessário considerar o meio físico, a banda passante do sinal, a largura de banda que esse meio físico tem que preservar o sinal e o esquema de codificação que será adotado. Matematicamente, a taxa de transmissão de dados é o produto da banda passante utilizada pelo número de *bits* por unidade de banda, dada da seguinte forma:

Taxa de Transmissão = (Banda passante) x (Mbits por Mhz da banda)

- Taxa de transmissão é dada em Mbps.
- (Banda Passante) em MHz.
- (Mbits por Mhz da banda) é o esquema de codificação.

Assim, por essa relação, temos duas formas de aumentar a taxa de transmissão:

- a. Aumentando a banda de frequências (passante).
- b. Melhorando a eficiência de codificação (mais *bits* na mesma largura de faixa).

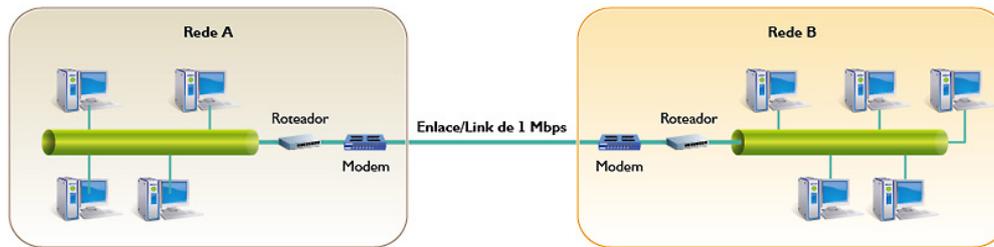
Atividade 02

1. Explique a diferença entre largura de banda de um sinal e largura de banda de um meio físico.
2. Pesquise e cite quais são as taxas de transmissão dos cabos categoria 3, 5, 5 e e 6.

Multiplexação

Quando pensamos em um enlace interligando dois pontos, devemos lembrar que esses pontos, ou seja, os equipamentos em cada extremidade do *link*, podem ser um conjunto de computadores, um roteador e um modem. Nesse caso, apesar do *link* conectar dois modems fisicamente, na verdade, podemos entender que esse *link* está conectando duas redes diferentes, porque as informações que irão trafegar pelo *link* não são apenas as informações geradas nos roteadores. A maior parte do tráfego no *link* será de informações geradas em cada uma das redes. A **Figura 4** ilustra essa situação.

Figura 04 - link interligando redes



Imagine que vários computadores da rede A estão se comunicando com vários outros computadores da rede B. É natural que o tráfego gerado por cada computador individualmente seja bem menor que a capacidade de transmissão do *link*. Para o nosso exemplo, suponha que o *link* é de 1 Mbps (1024 Kbps) e cada computador gera um tráfego de 128 Kbps. Se utilizarmos o *link* para transmitirmos as informações de apenas um computador por vez, desperdiçaremos a maior parte da banda disponível, pois 1024 kbps é igual a 8 x 128 kbps.



Vídeo 04 - Transmissão de Informações

Poderíamos, portanto, transmitir o tráfego de 8 computadores de uma vez, mas, para isso, é necessário alguma técnica que permita o compartilhamento do *link* de modo a transmitir, simultaneamente, o tráfego gerado pelos diversos computadores. Essa técnica é denominada multiplexação. A multiplexação permite que se transmita mais de um sinal em um mesmo meio físico.

Multiplexação por Divisão de Frequência (FDM)

Você já pensou como funcionam as rádios (AM e FM) que você escuta? A qualquer momento, você pode escutar uma rádio diferente, bastando, para isso, sintonizar na rádio desejada por meio dos controles do seu aparelho. Isso significa que os sinais de todas as emissoras estão sendo transmitidos ao mesmo tempo e você apenas escolhe o que quer ouvir.

Duas coisas interessantes estão acontecendo nesse exemplo. A primeira é que os sinais de todas as rádios estão sendo transmitidos através do mesmo meio físico (ar), ou seja, do mesmo enlace. Portanto, alguma técnica para compartilhamento do enlace está sendo utilizada. A segunda coisa é que os sinais de todas as emissoras chegam ao seu rádio. Portanto, sintonizar a rádio desejada significa filtrar os sinais de todas as outras emissoras para escutar apenas o da emissora desejada.

No referido exemplo das rádios, temos várias fontes gerando sinais: cada emissora de rádio é uma fonte emissora de sinal; os rádios das pessoas são receptores que captam esse sinal. Mas, o exemplo mostra que o mesmo meio físico pode ser utilizado para transmitir vários sinais simultaneamente, permitindo ainda a separação desses sinais no receptor. Podemos utilizar o mesmo princípio aqui apresentado para os enlaces ponto a ponto das redes de computadores. Ou seja, sempre que a largura de banda de um enlace (em *hertz*) for maior que a soma das larguras de banda de todos os sinais a serem transmitidos no enlace, os sinais podem ser combinados e transmitidos em conjunto. Essa técnica se chama multiplexação na frequência.

Vamos entender como essa técnica funciona: Imagine que uma empresa possui três linhas telefônicas com uma determinada operadora de telefonia. Ao invés de instalar três cabos, uma para cada linha, entre a empresa e a operadora de telefonia, a operadora pode optar por instalar apenas um cabo e utilizar multiplexação para criar três canais nesse cabo, cada um correspondendo a uma linha. A **Figura 5** ilustra essa ligação

Figura 05 - Um enlace composto por um único cabo realizando a multiplexação de três canais



De acordo com a **Figura 5**, vamos imaginar que temos três sinais (linha1, linha2 e linha3) para transmitir nesse enlace e que cada um ocupa uma faixa de 5KHz, da seguinte maneira: sinal1 (50 a 55KHz), sinal2 (70 a 75KHz), e sinal3 (85 a 90KHz). Suponha também que temos uma largura de banda no meio físico disponível de 15 KHz para a transmissão de sinais. Como temos três sinais com largura de banda de 5KHz, e temos 15KHz de banda disponível no canal, é possível transmitir todos os sinais simultaneamente. Precisamos, contudo, definir uma forma de acomodar os três sinais dentro do canal de 15KHz de modo que um sinal não interfira nos outros, e que saibamos separar os sinais, quando chegarem ao destino.

A estratégia é dividir o canal de 15KHz em três canais de 5KHz, da seguinte forma: as frequências de 0 a 5KHz serão utilizadas para o primeiro sinal, as frequências de 6 a 10KHz serão utilizadas para o segundo sinal, e as de 10 a 15KHz serão utilizadas para o terceiro sinal. Para isso, precisamos deslocar cada sinal de sua faixa de frequência original para a sua nova faixa. Esse deslocamento chama-se modulação. Após a modulação, aplica-se um filtro para garantir que apenas componentes do sinal dentro da faixa de frequência de 5 KHz sejam utilizadas, para evitar interferência nos outros sinais.

No receptor, o processo ocorre na ordem inversa, ou seja, primeiro, ele desloca o sinal para sua faixa de frequência original e, depois, aplica o filtro. Desse modo, o sinal que for recebido na faixa de frequência de 0 a 5 KHz será deslocado (demodulado) para a faixa de 50 a 55 KHz, de acordo com o nosso exemplo. O mesmo ocorre para os outros dois sinais. O equipamento que realiza esse processo de MODulação e DEModulação é o modem (o qual você já viu em aulas anteriores). Evidentemente, os *modems* das duas pontas de um enlace estão de acordo sobre as faixas de frequências que serão utilizadas nos deslocamentos dos sinais.

Ainda na **Figura 5** identificamos o equipamento da esquerda como MUX e o da direita como DEMUX, como abreviaturas de multiplexador e demultiplexador, apenas para ilustrar como eles seriam utilizados quando o sentido da transmissão for da esquerda para a direita. Observe que o modem é um multiplexador, mas, como existem outros tipos de multiplexação além da FDM, às vezes, o termo MUX é utilizado para ressaltar que essa tarefa está sendo realizada independente do tipo de multiplexação sendo utilizada.

Atenção!

Apesar de serem capazes de realizar multiplexação de vários sinais através de um único enlace, nem sempre os *modems* são utilizados para essa finalidade. Na verdade, na grande maioria das vezes, eles são utilizados apenas para transmitir um único sinal no enlace. Observe que eles ainda são necessários nesse caso, pois precisam converter os sinais de digitais para analógicos no transmissor, e de analógicos para digitais no receptor.

Como os enlaces entre os *modems*, normalmente, são full-duplex, eles possuem tanto o modulador quanto o demodulador, e utilizam uma frequência para enviar os sinais e outra para receber. A frequência utilizada pelo modem de uma ponta do enlace para enviar os sinais é a utilizada pelo modem da outra ponta para recebê-los. Naturalmente, caso o modem seja utilizado para realizar multiplexação, ele utilizará várias frequências para transmitir e várias para receber.

Além das rádios (AM e FM), a distribuição de canais de TV e a primeira geração de telefonia celular também utilizam multiplexação por divisão de frequência.

Multiplexação por Divisão de Comprimento de Onda (WDM)

A WDM (*Wave-Division Multiplexing*) é uma técnica de multiplexação muito semelhante à FDM, tendo como principal diferença o fato de trabalhar com sinais óticos transmitidos sobre cabos de fibras óticas (sinais digitais). No multiplexador, são combinados diversos sinais óticos em um único sinal de luz e no receptor eles são separados novamente. O princípio dessa técnica é a utilização de prismas que desviam os sinais luminosos com base no ângulo de incidência e na frequência dos feixes de luz.

Você já estudou que as fibras óticas são capazes de transmitir sinais a velocidades altíssimas, e que, normalmente, o que limita a velocidade máxima utilizada são as tecnologias das placas de rede. Suponha, por exemplo, que a

velocidade máxima suportada por um dado padrão de rede é 1Gbps. Nesse caso, para possuímos uma ligação entre dois pontos com uma capacidade maior que 1Gbps, a alternativa seria utilizar várias fibras e transmitir 1Gbps em cada uma. Entretanto, isso ia requerer um gasto elevado com cada fibra adicional e, ainda assim, estaríamos subutilizando a capacidade de cada fibra individual.

A WDM é uma solução muito melhor, pois permite a criação de vários canais virtuais dentro da mesma fibra ótica. No nosso exemplo, seriam criados vários canais de 1Gbps dentro da fibra, de modo que quem fosse utilizar um desses canais iria pensar que existiam várias fibras separadas, cada uma com capacidade de 1Gbps.

Multiplexação por Divisão de Tempo (TDM)

Assim como a FDM, a TDM (*Time-Division Multiplexing*) é uma técnica para multiplexação de sinais analógicos. Porém, diferente da FDM e da WDM, nas quais os sinais são de fato transmitidos ao mesmo tempo no enlace, na TDM ocorre apenas uma transmissão por vez. Ou seja, cada transmissor tem o meio totalmente disponível para ele durante certo intervalo de tempo.

Você deve lembrar que afirmamos, anteriormente, que a multiplexação permite a transmissão de vários sinais, “simultaneamente”, no enlace. E agora dissemos que na TDM ocorre apenas uma transmissão por vez no enlace. Acontece que a palavra “simultaneamente”, nesse contexto, refere-se ao fato de haver um compartilhamento do enlace para o envio de sinais de vários transmissores.

Podemos fazer uma analogia para ilustrar essa noção de simultaneidade: quando você está utilizando um computador, você pode executar vários programas “simultaneamente”. Pode, por exemplo, escutar uma música enquanto faz um download de um arquivo e, ao mesmo tempo, ler uma página em algum site na internet. Mas, se seu computador tem apenas um processador, e, portanto, pode executar apenas uma instrução por vez, como isso é possível?

É que, na verdade, o computador executa um pequeno grupo de instruções de cada programa por vez. Inicia com algumas instruções de um programa, depois passa a executar algumas instruções de outro programa e assim sucessivamente,

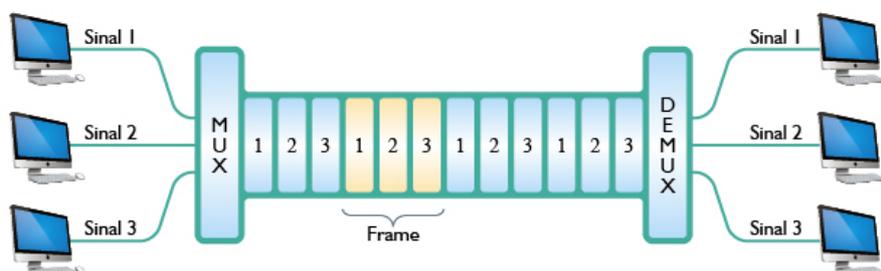
depois, retorna ao primeiro programa e tudo começa novamente. Você acaba tendo a “sensação” de que as coisas estão ocorrendo “simultaneamente”, mas, na verdade, elas não estão. O tempo foi dividido em intervalos e em cada um desses intervalos o processador está sendo usado totalmente por apenas um dos programas, mas como isso acontece a uma velocidade muito alta, temos a impressão de que tudo acontece ao mesmo tempo.

No TDM ocorre a mesma coisa. O tempo é dividido em pequenos intervalos e em cada um desses intervalos o enlace é utilizado, exclusivamente, para transmitir os sinais de apenas um transmissor. Evidentemente, no seu intervalo de tempo, o transmissor tem disponível toda a capacidade de transmissão do *link*. O TDM pode ser síncrono ou assíncrono, dependendo se os intervalos são pré-allocados ou não. Vejamos cada um deles.

TDM Síncrono

No TDM síncrono, os intervalos de tempo são pré-allocados a cada transmissor.

Figura 06 - Enlace realizando TDM com três canais



Fonte: Tanenbaum (2003)

Na **Figura 6**, o enlace foi dividido em três canais. Para isso, o tempo é dividido em intervalos, que chamamos *Frames*, e cada um desses intervalos é subdividido em três subintervalos, numerados de 1 a 3. Cada um dos subintervalos é alocado sempre para o mesmo transmissor. Ou seja, o primeiro subintervalo de cada frame é sempre alocado ao transmissor 1, o segundo intervalo ao transmissor 2 e assim sucessivamente. A junção de todos os subintervalos alocados para um mesmo transmissor é chamada de canal. Esses subintervalos são bem pequenos e,

normalmente, em apenas um segundo, cada transmissor terá acesso a diversos de seus subintervalos. Dizendo de outro modo, em apenas um segundo, diversos *Frames* são transmitidos.

A velocidade de um canal é calculada multiplicando-se quanto tempo o canal é alocado dentro de um segundo para um transmissor pela velocidade de transmissão do enlace. Por exemplo, se o enlace for de 8 Mbps e em cada segundo um dado transmissor tem acesso ao canal por um quarto desse tempo, a banda desse canal seria $0,25 \times 8\text{Mbps}$, ou seja, 2 Mbps.

Usamos como exemplo três canais, mas, evidentemente, pode-se fazer a multiplexação com qualquer número de canais desejados. Além disso, um canal pode ocupar mais de um [slot](#) (Slot é a unidade de tempo utilização do meio físico.). Por exemplo, se tivéssemos apenas dois canais mas três slots, teríamos canais com uma capacidade de transmissão em bits por segundo diferente. Nesse exemplo, se os dois primeiros slots fossem do canal 1, e o terceiro slot fosse do canal 2, o canal 1 teria o dobro da velocidade do canal 2.

Análise do TDM Síncrono

Na forma de TDM que acabamos de estudar, é utilizada a noção de tempo para a criação dos intervalos, de modo que os equipamentos nas extremidades do enlace precisam estar sincronizados. Tal sincronismo impõe uma maior complexidade a essa solução. Além de exigir uma maior complexidade dos equipamentos nas pontas dos enlaces para manterem o sincronismo de tempo, esse tipo de *TDM* pode gerar desperdício de banda de rede, caso uma máquina não tenha informações para transmitir no momento em que o *link* está alocado para ela. Veja que, nesse caso, ninguém mais pode usar o *link*, pois o receptor na outra ponta do enlace não teria como saber que a informação foi gerada por um transmissor diferente. Isso é verdade, uma vez que a identificação do transmissor é feita pelo instante de tempo em que a informação é recebida. Portanto, se um transmissor não tem informações para transmitir no seu intervalo de tempo, a rede fica ociosa.

Apesar desse efeito colateral de poder gerar ociosidade da rede, o *TDM* síncrono possui uma característica muito importante, que é a garantia da taxa de transmissão de um canal. Ou seja, o transmissor tem um canal de X bits por segundo alocado

para ele, ele pode contar que sempre terá essa banda disponível para transmitir suas informações. Essa característica é de fundamental importância para aplicações de voz e vídeo.

TDM Assíncrono

Para evitar os problemas de desperdício de banda que ocorrem quando uma estação não tem informações para transmitir no seu intervalo, foi criado um tipo de *TDM* chamado *TDM* assíncrono. No *TDM* assíncrono, não existe alocação prévia de canais, cada um transmite assim que detecta o meio de transmissão livre. Mas, cada transmissão só pode durar um tempo estabelecido para evitar que um único transmissor mantenha o controle sobre o enlace por um longo período de tempo. Se esse tempo não for suficiente para transmitir todas as informações, o transmissor a dividirá em partes e fará várias transmissões separadas. Para cada uma delas, terá que concorrer pelo acesso ao enlace com os demais transmissores.

Análise do TDM Assíncrono

Diferente do *TDM* síncrono, em que o transmissor é identificado pelo instante do tempo onde a informação é recebida, no *TDM* assíncrono cada informação transmitida precisa conter um cabeçalho que identifique o transmissor e o receptor. Isso consome uma pequena porção da banda de rede disponível.

Além disso, como no *TDM* assíncrono não existe alocação fixa de canais, não existe garantia da banda de transmissão constante para cada transmissor, pois quando um equipamento quer transmitir o enlace pode estar ocupado com a transmissão de outro equipamento. Por outro lado, o meio só ficará ocioso se, realmente, não existir ninguém querendo transmitir. Portanto, olhando para a rede como um todo, o *TDM* assíncrono permite que um maior volume de tráfego seja transmitido.

Atividade 03

1. Quais são as principais diferenças entre multiplexação *TDM* e *FDM*?
2. Faça uma pesquisa e descreva em que situações são usadas as técnicas de multiplexação *TDM*, *FDM*, *WDM*.

Comutação de Circuitos e Pacotes

Quando falamos em multiplexação, estávamos analisando o que ocorre com um enlace isoladamente, e procurando a melhor forma de utilizá-lo. Mas, quando pensamos em uma rede, na maioria das vezes, a origem e o destino de uma comunicação estão separados por diversos equipamentos e, conseqüentemente, por diversos enlaces.

Desse modo, as informações transmitidas precisam atravessar diversos equipamentos e enlaces até atingir o destino desejado. A forma como esses recursos intermediários são alocados para permitir a comunicação é chamada de comutação, e pode ser de dois tipos: comutação de circuitos e comutação de pacotes. Vejamos cada uma delas.



Vídeo 05 - Comutação de Circuitos e Pacotes

Comutação de Circuitos

Na comutação de circuitos, um caminho dedicado (ou exclusivo) é estabelecido da origem até o destino. Para isso, são alocados recursos nos equipamentos e também é reservada banda de rede em cada enlace do caminho, de modo a garantir a taxa de transmissão desejada. A comunicação de um circuito envolve três fases, descritas a seguir:

1. **Estabelecimento do circuito:** essa fase compreende a descoberta do caminho (rota) até o destino e a alocação dos recursos necessários nos enlaces. O canal criado é mantido até a **Desconexão do circuito**.
2. **Transferência das informações:** uma vez que o canal esteja estabelecido, as informações podem ser transferidas por meio dele. Como as rotas já estão criadas, em cada equipamento intermediário, o encaminhamento das informações dentro de cada equipamento é bastante rápido, pois eles já sabem por onde (rota) elas devem ser enviadas.
3. **Desconexão do circuito:** quando não se deseja mais transmitir informações por meio do circuito, ele deve ser desfeito, de modo que todos os recursos alocados nos equipamentos e enlaces intermediários sejam liberados. Para isso, é enviada uma mensagem de controle para todos os equipamentos que fazem parte do caminho entre a origem e o destino, ou seja, do circuito.

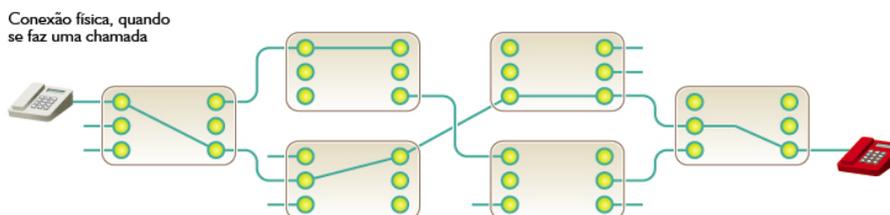
O caminho dedicado entre a origem e o destino pode ser, realmente, um caminho físico, onde chaves nos intermediários fecham um circuito ligando duas portas no momento da conexão. Mas, o caminho, normalmente, é formado por canais criados a partir de algum tipo de multiplexação. Portanto, um circuito pode, por exemplo, ser um conjunto de canais gerados a partir de TDM, um canal em cada enlace intermediário.

Como você pode ver, existe uma relação muito forte entre comutação por circuitos e multiplexação (com exceção do TDM assíncrono). Desse modo, ambos possuem as mesmas características no que diz respeito à possibilidade de ociosidade na rede e garantia de banda. Ou seja, a comutação por circuitos garante a banda de rede para cada circuito estabelecido, mas, por outro lado, subutiliza a rede, caso existam momentos em que não há informações a serem transmitidas no circuito.

Os primeiros sistemas de telefonia utilizavam comutação por circuito através de um caminho físico, no qual pessoas utilizavam cabos e conectores para estabelecer os circuitos. Posteriormente, à medida que os sistemas de telefonia passaram a ser cada vez mais digitais, o TDM vem sendo utilizado para o estabelecimento dos

circuitos. Na **Figura 7**, vemos a formação de um circuito fechado desde a origem até o destino, e os recursos nesse circuito permanecerão dedicados a essa ligação até o momento em que a conexão é finalizada.

Figura 07 - Comutação de circuitos

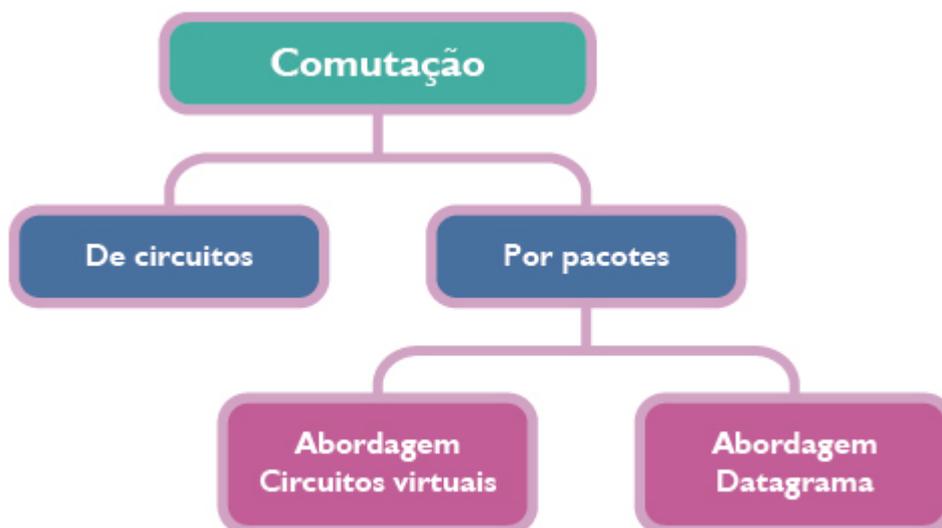


Fonte: Tanenbaum (2003).

Comutação de Pacotes

A comunicação de pacotes é dividida em duas abordagens ou métodos: **por datagramas** e **por circuitos virtuais**, conforme ilustra a **Figura 8**:

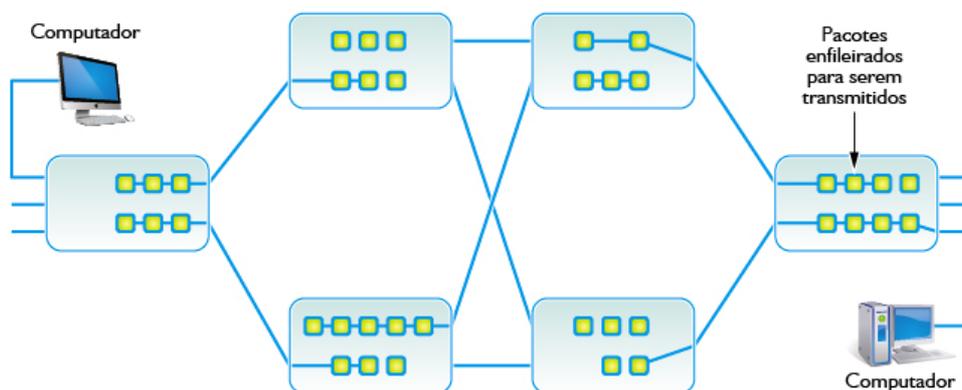
Figura 08 - Esquema de como é feita a comutação



Fonte: Tanenbaum (2003).

Na comutação por pacotes, as informações a serem transferidas são divididas em unidades menores e de mesmo tamanho, chamados pacotes. Veja um esquema na **Figura 9**:

Figura 09 - Comutação por pacotes



Fonte: Tanenbaum (2003).

Esses pacotes são formados por um cabeçalho e um conjunto de dados e cada pacote recebe o endereço completo do destino para onde deve ser enviado e é essa característica que os tornam independentes uns dos outros. Nesse método de comutação, os equipamentos intermediários (roteadores) trabalham armazenando e reenviando os pacotes por meio da rede baseados em rotas que são calculadas a partir dos endereços contidos em cada pacote. Quando os pacotes chegam ao destino, o receptor da mensagem remonta os pacotes obtendo, assim, a mensagem original.

A comutação de pacotes é eficiente para transmissão de dados através de longas distâncias e é mais flexível que a comutação de circuitos, pois permite a transmissão de dados entre dispositivos de velocidades diferentes. Porém, depois que uma mensagem é dividida em pacotes, não tem como garantir que eles seguirão pelo mesmo percurso (rota) e chegarão ao destino final na mesma ordem que foi enviada. Mas, cada pacote tem, além do seu endereço, um número de sequência e o destinatário usa esse campo para checar a ordem dos pacotes na hora de remontar a mensagem.

Como você já viu anteriormente, existem dois métodos diferentes na comutação de pacotes para a escolha de um percurso: **datagrama** e **circuitos virtuais**. Na comutação de pacotes por datagramas, o destino e o número de sequência do pacote são inseridos nas informações de identificação da mensagem a qual o pacote pertence. Cada pacote é manipulado independentemente e uma rota é escolhida para sua transmissão, assim que ele é aceito na rede. Perceba que há a possibilidade de cada parte da mensagem (pacote) viajar na rede por um caminho

diferente. No ponto de destino, todos os pacotes pertencentes à mesma mensagem são reagrupados de acordo com o número de sequência e a mensagem reconstruída é entregue ao destinatário. Como a mensagem não pode ser entregue até que todos os pacotes tenham chegado, é de responsabilidade do receptor solicitar o reenvio de algum pacote que não tenha chegado ou tenha vindo com erro.

Esse método de roteamento possui duas vantagens: reduz a incidência de congestionamento (os pacotes são enviados por rotas menos sobrecarregadas) e é mais confiável (rotas alternativas podem ser escolhidas no caso de problema em algum nó). Nos circuitos virtuais, continuamos dividindo as mensagens em pacotes, porém, no lugar de colocar em cada pacote o endereço de destino, coloca-se o identificador do circuito virtual ao qual aquele pacote pertence. Veja que, assim como a comutação por circuitos, aqui também formamos um circuito completo entre o remetente e o destinatário, antes que a transmissão se inicie – e todos os pacotes pertencentes à mesma mensagem irão usar a mesma rota, que é calculada previamente. Sendo assim, você deve estar se perguntando qual é a diferença entre os dois métodos, não é? Bem, nessa abordagem, um mesmo nó pode seguir vários circuitos virtuais para chegar a qualquer um dos outros nós.

A vantagem dos circuitos virtuais sobre os datagramas é que a decisão sobre o melhor percurso é feita apenas uma vez para todos os pacotes pertencentes à mesma mensagem – o que agiliza a transmissão de mensagens muito longas, por outro lado, quando um nó apresenta problemas, todos os circuitos virtuais que passam por ele tornam-se indisponíveis. Além disso, quando um nó é submetido a um tráfego muito intenso, o congestionamento é mais difícil de ser resolvido.

Como você deve ter percebido, essa técnica utiliza alguns princípios da comutação de circuitos, mas o circuito é meramente lógico. Existem, igualmente, três fases na comunicação, descritas a seguir.

1. Estabelecimento do circuito virtual: o nó de origem pede à rede um circuito virtual para ligação a um dado endereço de destino, a rede define um caminho e atribui-lhe um identificador que devolve ao nó.
2. Transmissão: as informações são enviadas, mas em vez do endereço de destino, o pacote contém o identificador do caminho (identificador do circuito virtual) que as informações devem ser transmitidas. Desse modo, todas as informações seguem o mesmo caminho, estando, por isso, a ordem assegurada.
3. Terminação do circuito virtual.

Atividade 04

1. Pesquise e descreva onde são empregadas as técnicas de comutação por circuitos e comutação por pacotes.
2. Cite as vantagens e as desvantagens da comutação por circuitos e da comutação por pacotes.

Comutação de Pacotes: Atrasos e Perdas de Pacotes

Em geral, os comutadores, que são os responsáveis por encaminhar os pacotes, estão ligados a vários enlaces. Para cada um desses enlaces, o roteador mantém um buffer de saída (uma fila de saída), que serve para armazenar os pacotes que estão para serem enviados pelo roteador por aquele enlace. O papel dos *buffers* é muito importante nos roteadores, pois, se os pacotes que estão chegando para serem transmitidos encontrarem o enlace ocupado, eles serão armazenados nesses *buffers* de saída.

Perceba que isso acrescenta mais um atraso além do já conhecido para armazenar e reenviar os pacotes. Esses atrasos variam de acordo com o nível de ocupação da rede. Como o espaço dos *buffers* é finito, é possível e até comum que um pacote que está chegando o encontre completamente lotado de outros pacotes

que chegaram antes e estão esperando para serem encaminhados. Nesse caso, ocorrerá uma perda de pacote – o pacote que está chegando ou algum dos que estão esperando na fila é descartado.



Vídeo 06 - Transmissão de Informações

Técnicas de Detecção de Erros

Quando enviamos *bits* por meio de um enlace, é possível que ocorram erros de transmissão que alterem o valor de um, ou mais desses *bits*, fazendo com que a mensagem representada por esses *bits* seja recebida de forma incorreta. Como não se pode evitar que os erros ocorram, é preciso que a rede forneça mecanismos para detectar quando eles acontecem.

As informações são transmitidas pelas placas de rede em grupos de *bits*, denominados de quadro (ou Frame). Se a informação que se deseja transmitir não cabe dentro de um quadro, ela é dividida em várias partes, de modo que cada parte possa ser transmitida dentro de um quadro. Cada quadro é composto tanto pela informação propriamente dita, como por campos de controle, como os endereços de origem e destino.

Para detectar se houve erro em algum bit de um quadro durante a transmissão, são inseridos *bits* adicionais em cada quadro transmitido, que formam um novo campo de controle no quadro. A quantidade de *bits* depende do algoritmo que será utilizado. Diferentes algoritmos conseguem detectar erros em um número diferente de *bits* do quadro.

Como regra geral, quanto maior o número de erros que consegue detectar, maior o número de *bits* inseridos. Esses *bits* adicionais são retirados no receptor logo após a verificação de erros, de modo que não interferem na mensagem transmitida. Podemos observar que a detecção de erros possui um custo, tanto de processamento nos equipamentos quanto de consumo de banda de rede. Assim sendo, deve-se procurar reduzir o número de *bits* inseridos e a complexidade da

operação a ser realizada com eles. Por isso, embora seja possível realizar a correção dos *bits* com erro em um quadro, como o custo dessa tarefa é bem maior que apenas detectar o erro, normalmente, é realizada apenas a detecção.

Nesse método, quando um quadro com erro é identificado pelo receptor, o transmissor envia o quadro novamente. A probabilidade de ocorrer um erro na transmissão depende do tipo de enlace utilizado, mas, de modo geral, é bem pequena. Portanto, vale mais a pena retransmitir os quadros que apresentam erros, do que inserir mecanismos para correção, que gastam mais banda de rede e processamento para todos os quadros transmitidos, uma vez que a maioria deles não vai apresentar erros. Esses algoritmos de detecção de erros geram os *bits* a serem inseridos no quadro, realizando algum cálculo sobre todos os seus *bits*. O resultado do cálculo é inserido como um campo adicional no quadro a ser transmitido.

O receptor do quadro realiza o mesmo cálculo no quadro (sem considerar os *bits* que foram inseridos) e compara o resultado obtido com os *bits* inseridos pelo transmissor. Se todos os *bits* forem iguais, o quadro foi transmitido corretamente, se forem diferentes, é porque houve erro na transmissão. Veja que o cálculo realizado é padronizado para uma dada tecnologia de rede, ou seja, todas as placas de rede de uma dada tecnologia realizam o mesmo cálculo.

Resumo

Nesta aula, você estudou a forma como os sinais são transmitidos através dos enlaces de dados e os tipos de sinais analógicos e digitais. Viu ainda que por meio das várias técnicas de multiplexação que existem podemos dividir um único meio físico para transmitir vários sinais ao mesmo tempo, sem que um interfira no outro. Estudou também sobre banda passante de um sinal e do meio físico, taxa de transmissão e, ainda, as técnicas de comutação de pacotes e de circuitos.

Autoavaliação

1. Com base no conteúdo estudado nesta aula, explique como se dá o compartilhamento de um meio físico através da multiplexação FDM.
2. Faça uma relação entre comutação de pacotes e comutação de circuitos. É possível afirmar que um deles é o melhor que o outro? Explique.
3. Explique o que são técnicas de detecção de erros.

Referências

FOROUZAN, B. **Comunicação de dados e redes de computadores**. 3. ed. São Paulo: Editora Bookman, 2004.

KUROSE, J.; ROSS, K. **Redes de computadores e a internet**. 3. ed. São Paulo: Addison Wesley, 2006.

SOARES, L. F. G. **Redes de computadores das LANs, MANs e WANs às redes ATM**. 2. ed. São Paulo: Editora Campus, 1995.

TANEMBAUM, Andrew S. **Redes de computadores**. 4. ed. São Paulo: Campus. 2003.