

Redes de Computadores

Camada Física

Luiz Filipe Menezes Vieira, PhD
lfvieira@dcc.ufmg.br

Departamento de Ciência da Computação
Universidade Federal de Minas Gerais

Análise teórica de transmissão de dados

- Informação pode ser transmitida variando-se uma propriedade física como tensão ou corrente
- A grandeza é representada por uma função do tempo, $f(t)$
 - ◆ Permite uma análise matemática do sinal
- Análise de Fourier:
 - ◆ Uma função periódica $g(t)$ com certas características e período T pode ser representada por uma série de senos e cossenos

Sinais limitados pela faixa de passagem

- Sinais perdem potência na transmissão
- Harmônicos diferentes têm perdas diferentes
 - ◆ Causa da distorção
- Normalmente, frequências na faixa $0-f_c$ são transmitidas sem perda e, acima, fortemente atenuadas
 - ◆ devido a propriedade física do meio de transmissão ou
 - ◆ filtro presente

Velocidade de sinalização

- Velocidade de sinalização:
 - ◆ número de vezes por segundo que o valor de um sinal é injetado na linha
 - ◆ Medido em bauds
- Uma linha de b bauds não transmite necessariamente b bits/s
- Exemplos:
 - ◆ dibit (2 bits/ baud)
 - ◆ tribit (3 bits/ baud)

Meios de transmissão

- Objetivo da camada física:
 - ◆ Transportar uma sequência de bits de uma máquina para outra
- Problema a ser resolvido:
 - ◆ Codificação de bits

Meios de transmissão

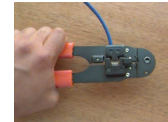
- O tipo de meio físico a ser usado depende, dentre outros fatores de:
 - ◆ Largura de banda (BW: *bandwidth*)
 - ◆ Atraso (*delay*) ou latência (*latency*)
 - ◆ Custo
 - ◆ Facilidade de instalação e manutenção
- Os meios podem ser agrupados em:
 - ◆ "Guiados": fio de cobre e fibra óptica
 - ◆ "Não-guiados": ondas de rádio e lasers

Meios ópticos/magnéticos

- Exemplos:
 - ◆ Discos óptico e magnético, fita magnética
- Como é feito o transporte:
 - ◆ Informações gravadas em meio magnético
 - ◆ Mídia levada de uma máquina para outra
 - ◆ Mídia lida na máquina destino
- Pode ser vantajoso em certos cenários mas não é o caso normalmente

Par trançado

- Meio de transmissão mais antigo e mais comum
- O que é:
 - ◆ Dois fios de cobre encapados (≈ 1 mm de espessura) que são trançados para evitar interferência elétrica
- Usado largamente no sistema de telefonia



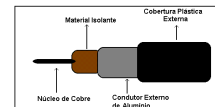
Crimpagem de par trançado

Par trançado

- Pode transmitir dados por alguns kms sem necessidade de amplificação
- Transmissão de dados analógicos e digitais
- Faixa de passagem: depende da espessura do fio e da distância
- Baixo custo
- Produzido em diversas modalidades:
 - ◆ Categoria 3
 - ◆ Categoria 5
 - ◆ *Shielded Twisted Pair*
 - ◆ Etc.

Cabo coaxial

- Possui melhor blindagem que o par trançado
 - ◆ Suporta distâncias maiores a velocidades mais altas
- Dois tipos de cabos:
 - ◆ 50 Ω : usado para TX digital (FE)
 - ◆ 75 Ω : usado para TX analógica (FL)
 - ◆ Distinção baseada em fatores históricos, ao invés de técnicos



Cabo coaxial

- Largura de banda depende do comprimento do cabo
- Usado frequentemente em TV a cabo e redes locais

Fibra óptica

- Tecnologia atual de fibra permite largura de banda na faixa de Tbps
- Problema: conversão sinal elétrico-sinal óptico
 - ◆ Solução: sistema óptico completo
- Componentes de um sistema de TX óptico
 - ◆ Fonte de luz:
 - ▶ bit 1: pulso de luz
 - ▶ bit 0: ausência
 - ◆ Detector: gera um pulso elétrico ao receber um pulso de luz



Espectro eletromagnético

- Espectro é uma “ferramenta conceitual” usada para organizar e mapear um conjunto de fenômenos físicos
- Campos elétrico e magnético produzem ondas eletromagnéticas que se propagam pelo espaço em frequências diferentes
- O conjunto de todas as frequências é chamado de espectro eletromagnético

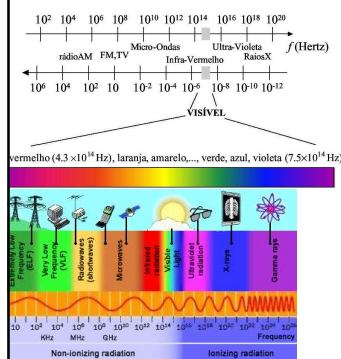
Espectro eletromagnético

- Frequência (f):
 - ◆ Número de oscilações por segundo de uma onda eletromagnética (medida em Hertz)
- Comprimento de onda (λ):
 - ◆ Distância entre dois pontos máximos (mínimos) consecutivos

Espectro eletromagnético

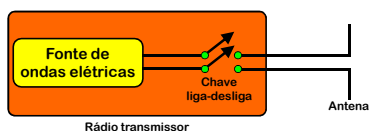
- Velocidade da luz:
 - ◆ Vácuo (c) $\approx 3 \times 10^8$ m/s
 - ◆ Cobre ou fibra = 2/3 vácuo
- Relação: $\lambda f = c$
 - ◆ Para $f = 1$ MHz, $\lambda = 300$ m (vácuo)
 - ◆ Para $f = 30$ GHz, $\lambda = 1$ cm (vácuo)

Espectro eletromagnético



- Frequências entre 3000 e 300 GHz:
 - ◆ Espectro de rádio
- Ondas de rádio podem ser propagadas no vácuo

Rádio transmissor Dado, voz, vídeo



Propagação de ondas

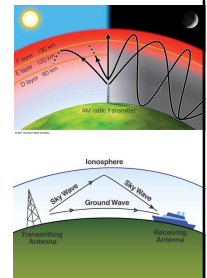
- Reflexão
- Absorção
- Desvanecimento com a distância:
 - ◆ Inverso do quadrado no espaço livre (teórico)
 - ◆ Na prática, pior que isso

Propriedades físicas de ondas

Frequência	Comprimento de onda	Propriedades interessantes	Usos típicos
10 kHz	30 km	Ondas penetram uma distância significativa na água	Comunicação sub-aquática
100 kHz	3 km		Navegação
1000 kHz (1 MHz)	300 m		Rádio AM
10 MHz	30 m	Reflexão pela ionosfera	Rádio CB Difusão HF
100 MHz	3 m		Rádio FM, TV
1000 MHz (1 GHz)	30 cm		Rádio celular, TV UHF (superior)
10 GHz	3 cm	Ondas bloqueadas por chuva intensa	TV satélite, comunicação ponto-a-ponto, radares

Ondas de rádio

- Fácil de gerar
- Se propagam por longas distâncias em todas as direções
 - ◆ TX e RX não precisam estar fisicamente alinhados
- Penetram edificações facilmente
 - ◆ Usadas para comunicação interna e externa



Ondas de rádio

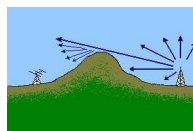
- Propriedades dependem normalmente da frequência
- Baixa:
 - ◆ passam facilmente por obstáculos
 - ◆ perdem potência rapidamente com a distância
- Alta:
 - ◆ tendem a se propagar em linha reta
 - ◆ são refletidas ao encontrarem obstáculos
 - ◆ são absorvidas pela chuva
- Qualquer:
 - ◆ sofrem interferências de motores e outros equipamentos elétricos

Microondas

- Ondas propagam em linha reta acima de 100 MHz
- Possuem uma taxa sinal/ruído mais alta
- Antenas (pratos) de TX e RX devem estar alinhados

Microondas

- Estações repetidoras são necessárias se TX e RX não são visíveis diretamente
- Não penetram edificações facilmente
- Ondas podem ser refratadas e levarem um pouco mais de tempo para chegarem que ondas diretas
 - ◆ Sinal pode ser cancelado--efeito multipath fading



Microondas

- Principal vantagem sobre fibra óptica:
 - ◆ Não é necessário ter o "direito de passagem" (right of way)
- Tecnologia relativamente barata
- Existem bandas específicas para finalidades industriais, científicas e médicas
 - ◆ Não estão sujeitas a regras de licenciamento
 - ◆ Exemplo: ISM (Industrial, Scientific, Medical) 2.4 GHz

Infravermelho e ondas milimétricas-não guiadas

- Muito utilizadas para comunicações a pequenas distâncias
 - ◆ Controle remoto de equipamento eletrônico (TV, VCR, som, etc)
 - ◆ Algumas interfaces atuais de computadores
- TX e RX precisam estar \pm alinhados
- São baratos e fáceis de instalar
- Não passam por objetos sólidos
 - ◆ Usado em ambientes de segurança

Infravermelho e ondas milimétricas-não guiadas

- Tendem a se comportar mais como luz visível e menos como ondas de rádio
- Tipo de tecnologia que não pode ser utilizada em ambientes externos
- Opção para comunicação numa LAN sem fio

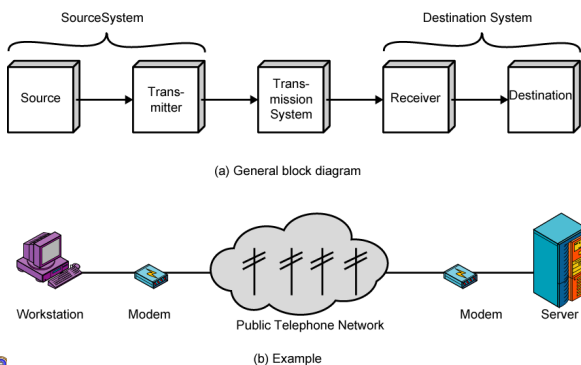
Comunicação no futuro

- Que tipo de comunicação predominará no futuro?
 - ◆ Fibra óptica para a parte fixa?!, e
 - ◆ Comunicação sem fio para a parte móvel?!

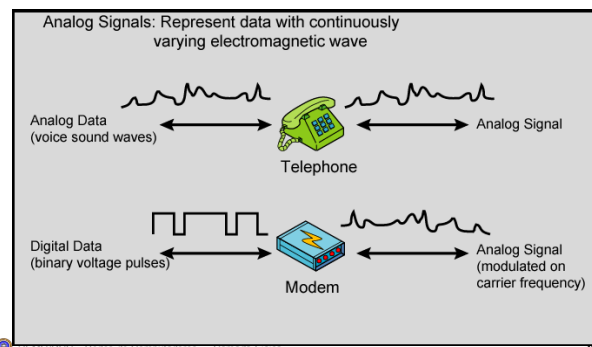
Rede pública

- Solução de comunicação quando é necessário enviar dados através de uma infra-estrutura pública
 - ◆ PSTN (*Public Switched Telephone Network*) projetada para transmitir voz
 - ◆ Fortemente ligada a redes de computadores de longa distância, principalmente no passado

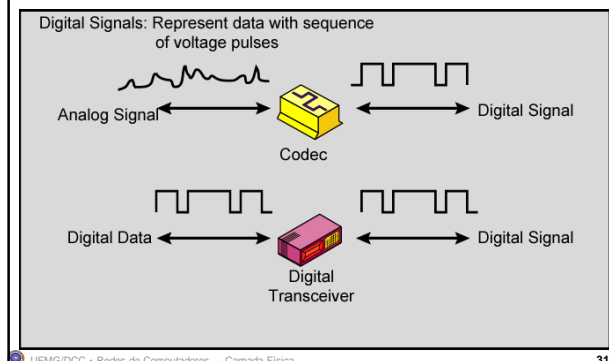
Rede pública



Sinais analógicos

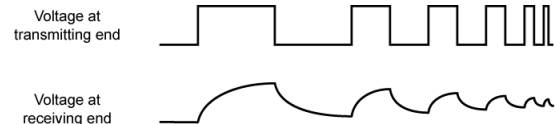


Sinais digitais

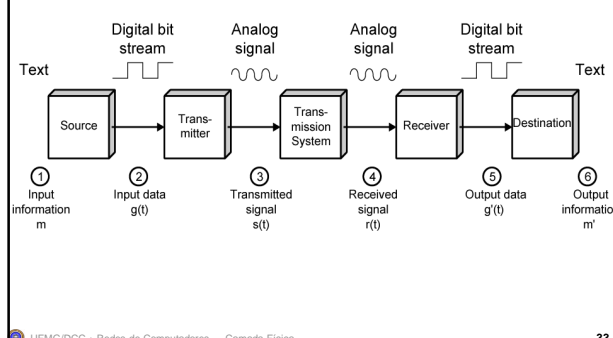


Sinais digitais

- + Mais barato
- + Menos susceptível a ruídos
- + Forma preferida atualmente
- Maior atenuação



Modelo de comunicação de dados



Capacidade do canal

- Taxa máxima de comunicação
- É função de:
 - ◆ Taxa de comunicação (bits/s)
 - ◆ Largura de banda (Hz)
 - ◆ Ruído no canal
 - ◆ Taxa de erros
- Limitações devido a propriedades físicas do canal

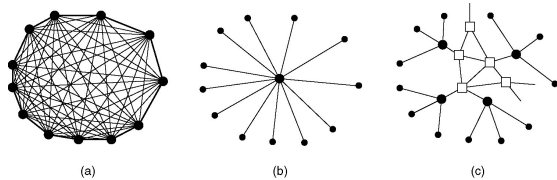
Capacidade do canal Nyquist

- Considera canal sem erro
- Se taxa de transmissão do sinal é $2B$ então pode transmitir um sinal com frequência até B
- Um sinal binário de $2B$ bps precisa de uma largura de banda de B Hz
- Pode-se aumentar a taxa usando M níveis de sinais
- Fórmula:
 - ◆ $C = 2B \log_2 M$
- Aumente a taxa aumentando os níveis de sinais:
 - ◆ Aumenta a complexidade do receptor
 - ◆ Limitado pelo aumento de ruído e outros problemas

Capacidade do canal Shannon

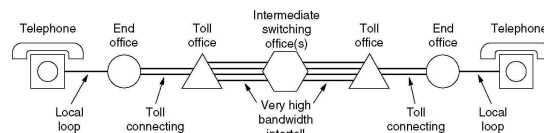
- Considere a relação de taxa de dados, ruído e taxa de erros:
 - ◆ Taxas de dados maiores diminuem o tempo de transmissão de cada bit e uma rajada de ruído afeta mais bits
 - ◆ Dado um nível de ruído, valores mais altos implicam taxas de erro maiores
- Shannon propôs uma fórmula que relaciona esses fatores a taxa sinal-ruído (em decibels)
 - ◆ $SNR_{dB} = 10 \log_{10} (\text{signal/noise})$
 - ◆ Capacidade máxima teórica do canal $C = B \log_2(1+SNR)$
 - ◆ Menor na prática

Estrutura do sistema de telefonia



- (a) Modelo inicial: cada um resolve o seu problema de conectividade
- (b) Primeiro modelo usando uma única central manual de comutação
- (c) Primeiro modelo hierárquico de dois níveis

Estrutura do sistema de telefonia

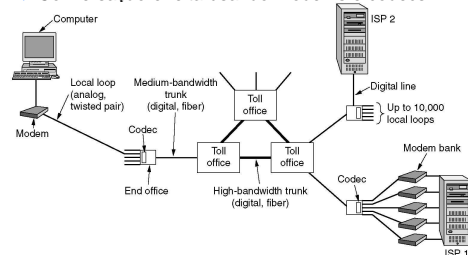


Estrutura do sistema de telefonia

- Centrais de comutação
 - ◆ Infra-estrutura de cabeamento ligando terminais telefônicos às centrais (*Local loops*)
 - ◆ Infra-estrutura de conexões entre centrais de comutação (*Trunks*)

Estrutura do sistema de telefonia

- Transmissões analógica e digital para uma chamada entre computadores
 - ◆ Conversação é feita usando modems e codecs

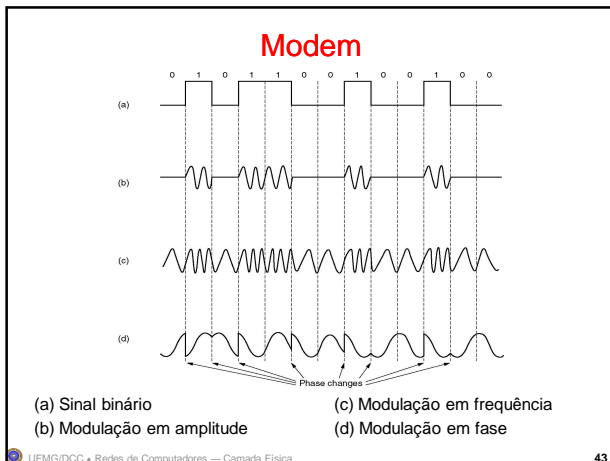


Problemas na transmissão num *local loop*

- Atenuação: perda de energia
 - ◆ Em meios guiados, o sinal cai logarithmicamente com a distância
 - ◆ Perda depende da frequência
 - ◆ Amplificadores devem ser introduzidos
- Distorção: harmônicos se propagam em velocidades diferentes causando interferências na recepção

Problemas na transmissão num *local loop*

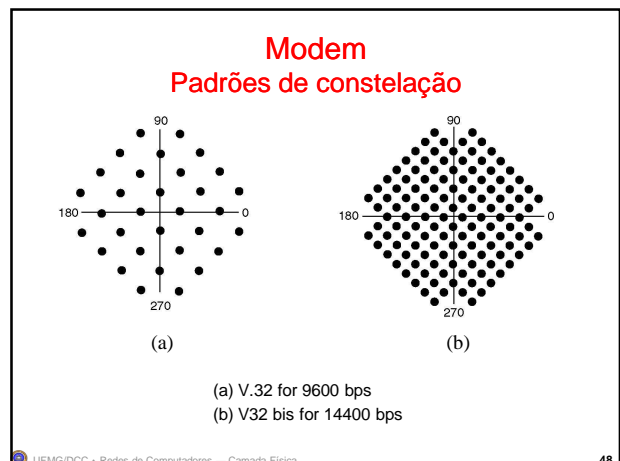
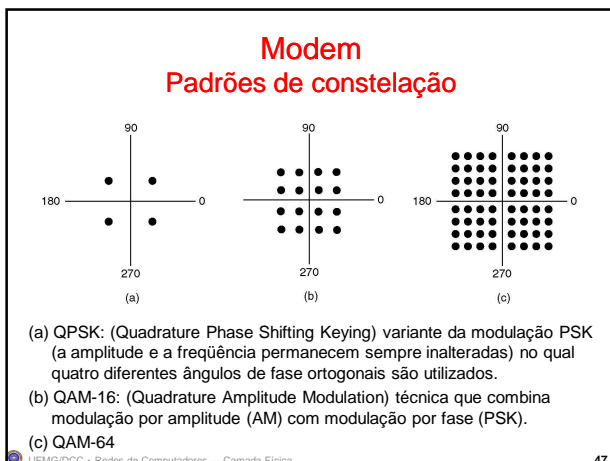
- Ruído: interferência de outras fontes no sinal enviado pelo TX
 - ◆ Ruído térmico: movimento randômico dos elétrons
 - ◆ *Cross talk*: acoplamento indutivo entre dois fios que estão perto
 - ◆ Ruído causado por descargas diversas



- ### Modem
- Sinal não deve ter um grande número de frequências para evitar problemas de atenuação e distorção
 - Ondas quadradas (e.g., sinal digital) possuem um grande espectro
 - ◆ Sinalização banda base (DC) não é apropriada, exceto em baixas velocidades e pequenas distâncias
 - Sinalização AC é usada
- UFMG/DCC • Redes de Computadores — Camada Física 44

- ### Modem
- O que é?
 - ◆ Dispositivo que aceita uma sequência de bits de entrada e produz uma portadora modulada na saída, e vice-versa
 - Transmissão é feita modulando-se um dos parâmetros da portadora (*carrier*):
 - ◆ Amplitude: dois níveis de tensão são usados para representar 0 e 1
 - ◆ Frequência: dois tons são usados
 - ◆ Fase: a portadora é deslocada em diferentes ângulos
- UFMG/DCC • Redes de Computadores — Camada Física 45

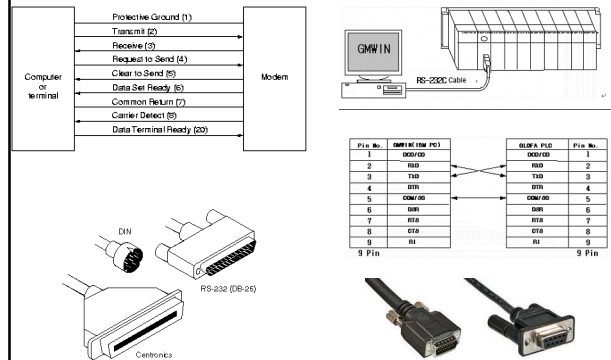
- ### Modem
- Como aumentar a velocidade de transmissão?
 - ◆ Transmitir mais bits em cada sinalização de linha, ou seja, por baud
 - Modems modernos usam diferentes técnicas de modulação
 - ◆ Tipicamente, amplitude e deslocamento de fase
- UFMG/DCC • Redes de Computadores — Camada Física 46



RS-232C e RS-449

- Interface computador/terminal-modem
- Exemplo de protocolo da camada física
- Partes:
 - ◆ DTE: *Data Terminal Equipment* (computador/terminal)
 - ◆ DCE: *Data Circuit-Terminating Equipment* (modem)

RS-232C



RS-232C

- Especificação mecânica
 - ◆ Conectores (25 pinos)
- Especificação elétrica
 - ◆ Níveis de tensão para o bit 1 (-3V) e bit 0 (+4 V)
 - ◆ Taxa máxima de dados (≤ 20 kbps)
 - ◆ Comprimento máximo dos cabos (≤ 15 m)

RS-232C

- Especificação funcional
 - ◆ Define como os pinos se conectam (circuitos) e o que eles significam
 - ◆ Circuitos pouco usuais: selecionar taxa de dados, testar o modem, detecção de sinais de tocar, etc.
- Especificação procedimental
 - ◆ Define o protocolo, ou seja, sequência lógica de eventos

RS-232C

- A conexão entre dois computadores (dentro da distância permitida) é feita através de um cabo "null modem"
- Problemas do padrão RS-232C
 - ◆ Taxa máxima de transferência de dados e comprimento máximo do cabo

RS-449

- Padrão RS-449 (três padrões):
 - ◆ RS-449: especificações mecânica, funcional e procedimental
 - ◆ RS-423A: especificação elétrica similar a RS-232C onde existe um terra comum (*unbalanced transmission*)
 - ◆ RS-422A: circuitos requerem dois fios e não existe um terra comum (*balanced transmission*)
 - ▶ Velocidades até 2 Mbps e cabos acima de 60 m

USB Universal Serial Bus

- Visão geral:
 - ◆ Padrão *plug-and-play* para interconexão de periféricos
 - ◆ Padronizado pelo "USB Implementers Forum"
- Detalhes técnicos:
 - ◆ Conexão *Host/Slave*
 - ▶ PC (*host*) gerencia todas transferências; periféricos (*slave*) apenas responde
 - ▶ Suporta 127 *slaves/host*
 - ◆ Conexão física:
 - ▶ Conexão de quatro fios
 - Dois fios para energia (+5 e GND)
 - Dois fios (par trançado) para *synchronous serial data*
 - ▶ Computador fornece energia (até 500 mA)





USB: História

- USB 1.0 (Jan/1996), 1.1 (Set/1998)
 - ◆ Disponível para PCs com Windows 95 (OEM Service Release 2)
 - ◆ Low-Speed (1.5 Mbps) e Full-Speed (12 Mbps)
- USB 2.0 (Abr/2000)
 - ◆ Hi-Speed (480 Mbps)
- Extensões
 - ◆ USB On-The-Go (OTG)
 - ▶ Conexão direta entre periféricos
 - ◆ Wireless USB (WUSB)
 - ▶ Conexão sem fios
 - ▶ Baseado no Ultra Wide Band (UWB)

USB: Dispositivos

- Interface
 - ◆ Conectores série A e série B
 - ▶ Assegura conectividade correta
 - ▶ Evita concatenação de cabos
 - ◆ Transmissão de dados em par trançado
 - ◆ Fios para fornecimento de energia
- Definição de classes de dispositivos
 - ◆ Facilita o desenvolvimento e a adaptação de *drivers*
 - ◆ Quantidade e tipo de *endpoints*: obrigatórios na especificação
 - ◆ Descritores padrão e modo de utilização de dados são opcionais

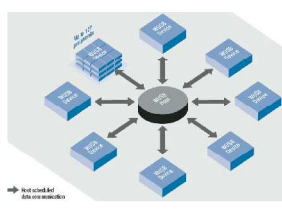
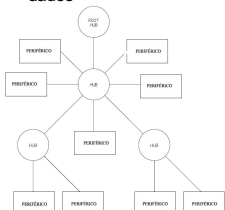
USB: Dispositivos

Series "A" Connectors	Series "B" Connectors
<ul style="list-style-type: none"> Series "A" plugs are always oriented upstream towards the <i>Host System</i> 	<ul style="list-style-type: none"> Series "B" plugs are always oriented downstream towards the <i>USB Device</i>
 <p>"A" Plugs (From the USB Device)</p>	 <p>"B" Plugs (From the Host System)</p>
 <p>"A" Receptacles (Downstream Output from the USB Host or Hub)</p>	 <p>"B" Receptacles (Upstream Input to the USB Device or Hub)</p>



USB: Topologia

- USB estrela em camadas (*Tiered Star*)
 - ◆ *Host* (centro da rede): inicia todas as transmissões de dados
- Wireless USB estrela
 - ◆ Ausência de hubs



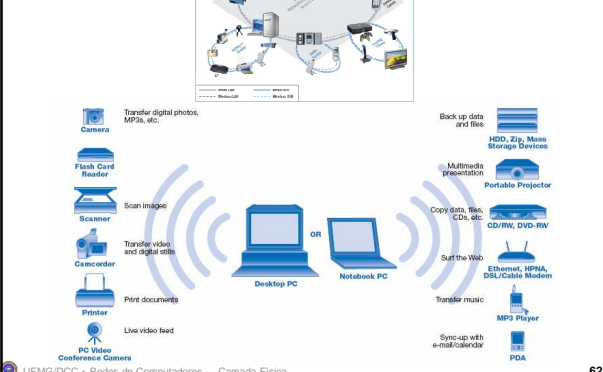
USB: Enumeração

- Procedimento de inserção de um dispositivo na rede USB
- Estados do dispositivo:
 - ◆ Energizado
 - ◆ Padrão
 - ◆ Endereçado
 - ◆ Configurado
 - ◆ Plugado
 - ◆ Suspenso

Razões para *Wireless USB*

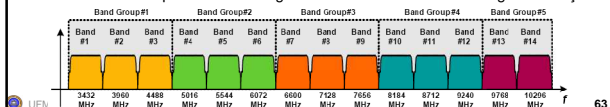
- Solução USB (com fio):
 - ◆ Cabos restringem conectividade
 - ◆ Podem se tornar um problema
 - ◆ No momento, fornece taxa de transferência menor que sem fio (WUSB)
- Soluções atuais de comunicação sem fio:
 - ◆ Bluetooth (PAN)
 - ▶ Taxa de até 3 Mbps não é suficiente para aplicações como vídeo, HDTV, etc
 - ◆ WiFi (LAN)
 - ▶ Solução "cara" quando comparada com o WUSB
 - ▶ Demanda maior consumo de energia para dispositivos móveis

Cenários para WUSB



WUSB: Projeto físico

- Velocidade/Alcance:
 - ◆ Taxas acima de 1 Gbps
 - ◆ Atualmente: 480 Mbps (3 m); 110 Mbps (10 m)
- Frequência: 3.1 GHz to 10.6 GHz
 - ◆ Dividida em 14 bandas; 5 grupos
 - ▶ Cada banda tem uma largura de 528 MHz
 - ▶ Sinalização OFDM em todas as bandas
 - ▶ Proteção contra interferência multi-path
- Utilização das bandas:
 - ◆ Band Groups 1 & 2: aplicações de mais longo alcance
 - ◆ Bands Groups 3 & 4: aplicações de mais curto alcance
 - ◆ Bandas podem ser "desligadas" em caso de conflito ou regulamentação



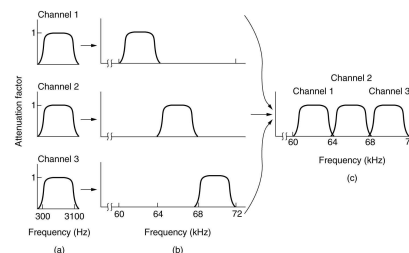
Multiplexação

- Custo para lançar cabos é dominado pela infraestrutura de valas e não do cabo
- Objetivo:
 - ◆ Maximizar o número de conexões (conversações) usando multiplexação
- Técnicas:
 - ◆ FDM: *Frequency Division Multiplexing*
 - ◆ TDM: *Time Division Multiplexing*

Multiplexação

- FDM:
 - ◆ Espectro de frequência é dividido em canais lógicos
- TDM:
 - ◆ Todo o espectro de frequência é alocado inteiramente para um usuário por um curto período de tempo

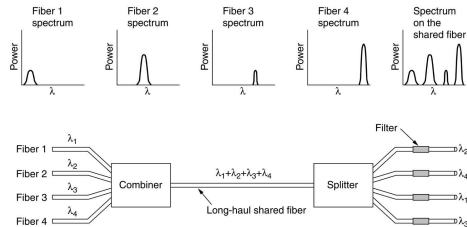
Multiplexação FDM



Multiplexação WDM

■ WDM: *Wavelength Division Multiplexing*

- ◆ Variação de FDM usada em fibra óptica



Multiplexação WDM

■ Requisitos para haver multiplexação WDM:

- ◆ Cada canal deve ter sua própria faixa de frequência
- ◆ Faixas devem ser disjuntas

■ Diferença para multiplexação FDM “elétrica”:

- ◆ Sistema óptico é usado para difração
 - ▶ Confiabilidade muito maior

Comutação

■ Duas técnicas diferentes são usadas no sistema de telefonia:

- ◆ Comutação de circuito
- ◆ Comutação de pacote

Comutação de circuito

■ Estabelecimento do circuito é feito em fases:

- ◆ Pedido e resposta de estabelecimento de uma conexão
- ◆ Transferência
- ◆ Término

■ Estabelecimento da conexão deve obrigatoriamente ser confirmado

Comutação de circuito

■ Existe um circuito dedicado:

- ◆ Uma vez que uma chamada tenha sido estabelecida
- ◆ Enquanto a chamada existir

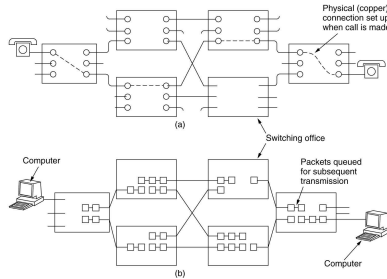
■ Existe a necessidade de haver um circuito estabelecido antes de poder haver transferência de dados

Comutação de circuito

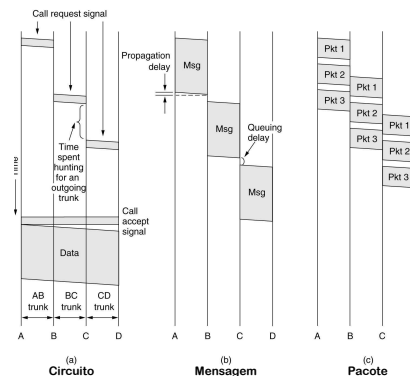
■ Enquanto existir o circuito dedicado:

- ◆ 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”

Comutação de circuito versus Comutação de pacotes



Tipos de comutação



Comutação de mensagem

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

Comutação de pacote

- Unidade de transferência:
 - ◆ Pacote tem um tamanho máximo
- Adequado para tráfego interativo
- Em comparação com comutação de mensagem oferece
 - ◆ Atraso menor
 - ◆ Vazão maior

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

Comutação de circuito versus Comutação de pacotes

Item	Circuit switched	Packet switched
Call setup	Required	Not needed
Dedicated physical path	Yes	No
Each packet follows the same route	Yes	No
Packets arrive in order	Yes	No
Is a switch crash fatal	Yes	No
Bandwidth available	Fixed	Dynamic
Time of possible congestion	At setup time	On every packet
Potentially wasted bandwidth	Yes	No
Store-and-forward transmission	No	Yes
Transparency	Yes	No
Charging	Per minute	Per packet

Circuito virtual versus Comutação de circuito

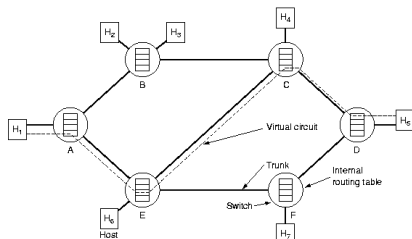


Fig. 2-43. The dotted line shows a virtual circuit. It is simply defined by table entries inside the switches.

ATM

- Comutação de células e não de circuito
- Funciona sobre diferentes infra-estruturas de comunicação
- Comutadores/roteadores atuais não funcionam para ATM e teriam que ser substituídos
- Existe um investimento imenso feito para ser deixado de lado de um momento para outro
- Solução do futuro?!

Transmissão em redes ATM

- ATM: *Asynchronous Transfer Mode*
- Células são transferidas assincronamente de fontes diferentes, ao contrário de um canal T1

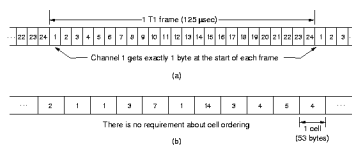


Fig. 2-44. (a) Synchronous transmission mode. (b) Asynchronous transmission mode.

Chaves (Comutadores) ATM

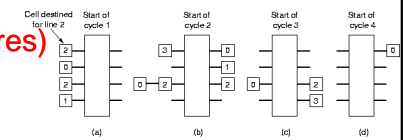


Fig. 2-46. Input queuing at an ATM switch.

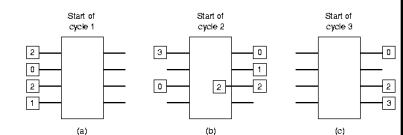
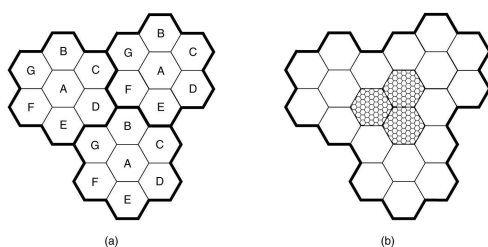


Fig. 2-47. Output queuing at an ATM switch.

Telefonia celular moderna

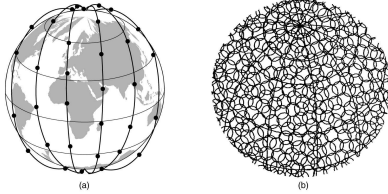


Telefonia celular moderna

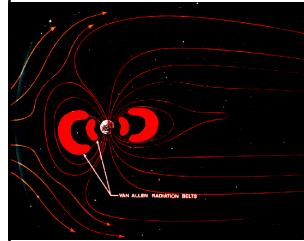
- Problema importante:
 - Localização de uma estação rádio-base (ERB)
- ERB:
 - Computador, TX e RX, antena
- Diferentes padrões e estágios de desenvolvimento:
 - 2G, 2.xG, 3G, 4G

Satélites de comunicação

- Existem acordos internacionais para uso de órbitas e frequências
- Tendência atual: *Low-Orbit Satellites*



Satélites de comunicação e Anéis de van Allen



Altitude (km)	Type	Latency (ms)	Sats needed
35,000	GEO	270	3
10,000 - 15,000	MEO	35-85	10
0 - 1,000	LEO	1-7	50

Exercícios

- (Tanenbaum, Cap 2, #11) Radio antennas often work best when the diameter of the antenna is equal to the wavelength of the radio wave. Reasonable antennas range from 1 cm to 5 meters in diameter. What frequency range does this cover?
- (Tanenbaum, Cap 2, #22) A modem constellation diagram similar to Fig. 2-25 [Slide 47] has data points at the following coordinates: (1,1), (1,-1), (-1,1), and (-1,-1). How many bps can a modem with these parameters achieve at 1200 baud?
- (Tanenbaum, Cap 2, #39) What is the essential difference between message switching and packet switching?
- (Tanenbaum, Cap 2, #41) Three packet-switching networks each contain n nodes. The first network has a star topology with a central switch, the second is a (bidirectional) ring, and the third is fully interconnected, with a wire from every node to every other node. What are the best-, average-, and-worst case transmission paths in hops?

Exercícios

- (Tanenbaum, Cap 2, #42) Compare the delay in sending an x -bit message over a k -hop path in a circuit-switched network and in a (lightly loaded) packet-switched network. The circuit setup time is s sec, the propagation delay is d sec per hop, the packet size is p bits, and the data rate is b bps. Under what conditions does the packet network have a lower delay?
- (Tanenbaum, Cap 2, #43) Suppose that x bits of user data are to be transmitted over a k -hop path in a packet-switched network as a series of packets, each containing p data bits and h header bits, with $x \gg p + h$. The bit rate of the lines is b bps and the propagation delay is negligible. What value of p minimizes the total delay?