

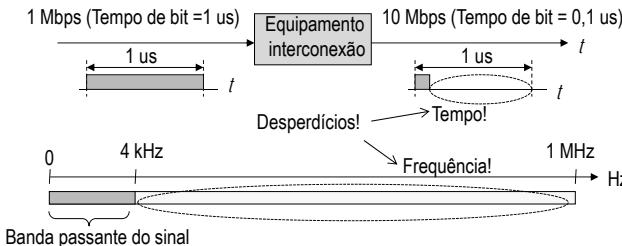
Redes de Computadores

Multiplexação

Aula 05

Introdução

- Transmissão é possível sempre que a banda passante do meio for maior ou igual que a banda passante do sinal
 - Banda analógica (espectro de frequência) ou banda digital (tempo)
- É comum a banda ser maior que a necessária
 - Desperdício da capacidade em tempo e/ou frequência



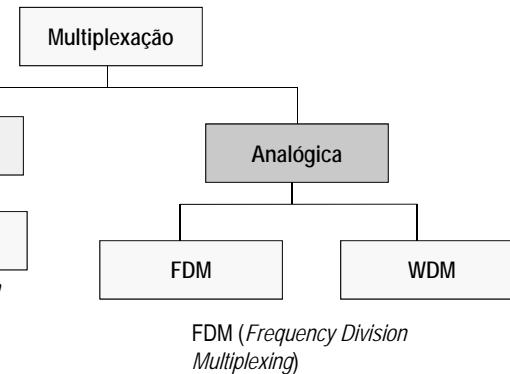
Redes de Computadores

Técnicas de multiplexação

- Ato de combinar duas ou mais fontes em um único sinal
- Solução para eliminar o desperdício de banda (análogica ou digital)
 - Multiplexação digital (em tempo)
 - Multiplexação analógica (em frequência)
- Princípio básico:
 - Permitir que n canais compartilhem um único enlace (caminho físico)
 - Canal = “porção” do enlace que transporta informação



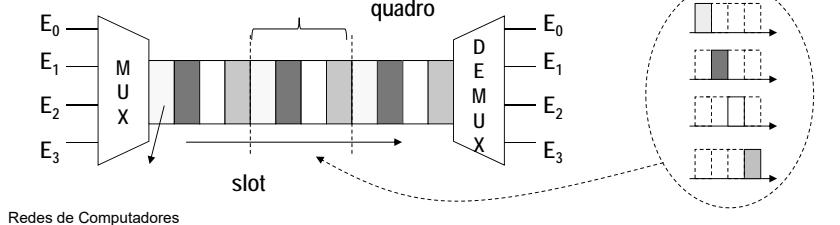
Redes de Computadores



Redes de Computadores

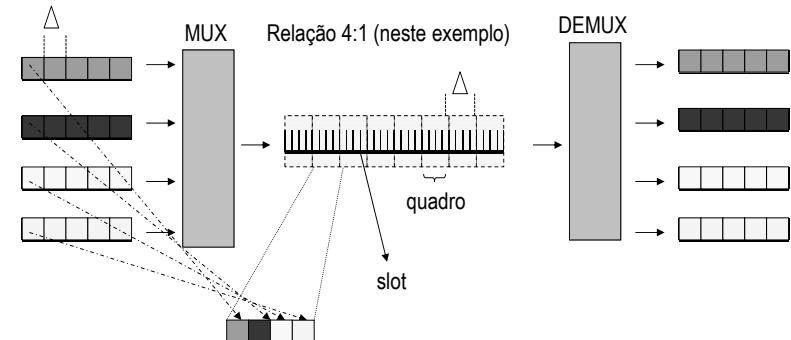
Time Division Multiplexing (TDM)

- Combinar várias fontes de informação para compartilhar o enlace de saída alternando seu uso no tempo
 - Capacidade do enlace de saída \geq a soma da capacidade das entradas
- Fluxo de bits no enlace é dividido em unidades de n bits ($n \geq 1$)
 - São os *slots*
 - Cada fonte de transmissão é associada a um ou mais *slots*
- Um padrão repetitivo de *slots* forma um quadro de transmissão

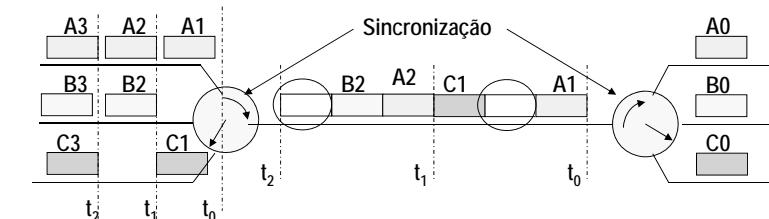


Outra forma de enxergar...

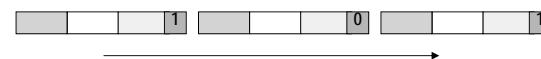
Ex: Cada entrada do MUX: 1 Mbps (1 bit=1us)
Enlace canal: 4 Mbps (1 bit = 0,25 us)



Princípio de funcionamento

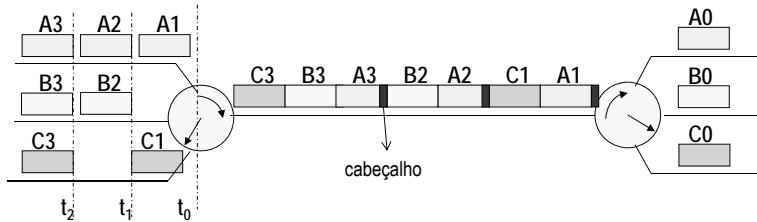


- TDM síncrono
 - Problema: manter a sincronização entre a fonte e o destino
- Solução: inserção de marcas para manter a sincronização
 - Padrão alternado de bits em 0 e 1 no início de cada quadro



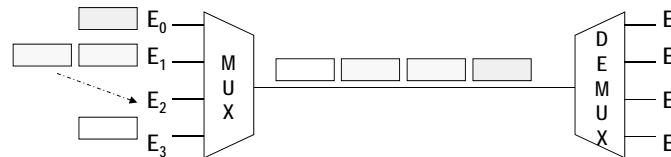
TDM assíncrono

- Solução para resolver problema do sincronismo e do desperdício de slots não usados
- Também chamado de “TDM por divisão estatística”

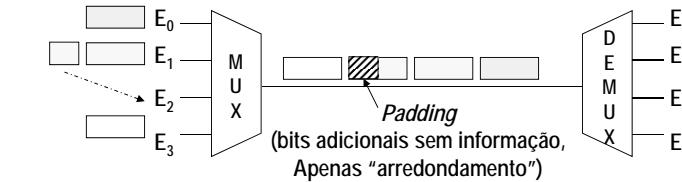


Padding

- Fontes podem possuir diferentes taxas de transmissão
- Caso I: taxas são múltiplas inteiros

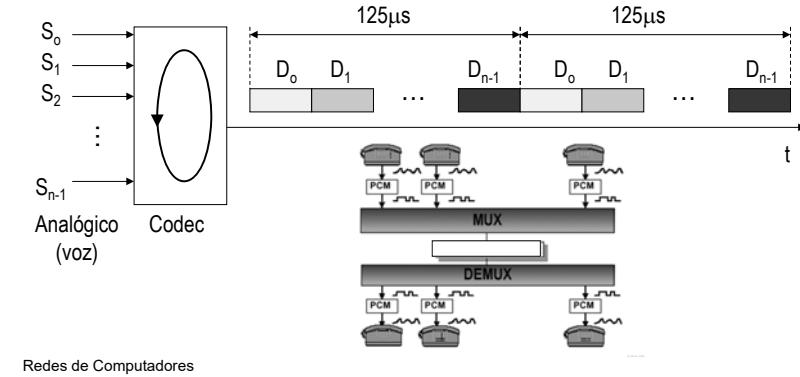


- Caso II: taxas não são múltiplos inteiros



Exemplo de TDM: sistema de telefonia digital

- Laço local é analógico, transmissão na rede telecom é digital
- 8000 amostragens/s (período entre amostragens é 125 us)
 - Quadros de 125 us, os quais são divididos em n slots



O que se faz em 125μs ?

- Sistema americano :
 - 24 canais (D), cada canal com amostras de 8 bits
 - Um bit de controle para cada conjunto de 24 canais
 - 193 bits em 125us ($24 \times 8 + 1$)
 - Taxa total: 1.544 Mbps (8000amostras x 193) → Canal DS1
- Sistema ITU-T (Europa, Brasil)
 - 32 canais (D), cada um com amostras de 8 bits
 - 256 bits em 125us (32×8)
 - Taxa total: 2.048 Mbps (256×8000) → Canal E1

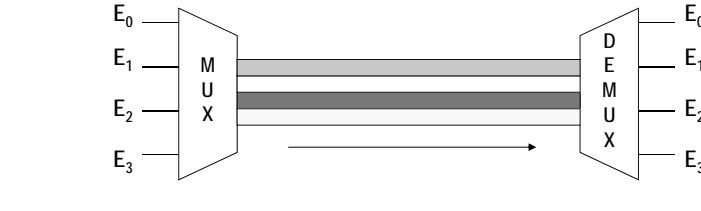
Canais DS1 (T1) e E1 podem ser agrupados gerando o que se denomina hierarquia digital e troncos T2/E2, T3/E3, T4/E4

Resumo das características do TDM

- Banda passante do meio é superior a banda passante necessária aos sinais a serem transmitidos
- Cada fonte envia seus bits em um determinado slot dentro do quadro
- Sinal transmitido é digital embora a informação possa ser tanto digital (dados) como analógicos (mas digitalizada!!)
- A alocação dos *slots* pode ser:
 - Estática: *slot* é alocado a uma fonte, mesmo que ela não esteja transmitindo em um dado momento
 - Dinâmica: os *slots* são alocados por demanda

Frequency Division Multiplexing (FDM)

- Vários canais compartilham o enlace simultaneamente no tempo
 - Lembre-se: no TDM o compartilhamento é alternadamente no tempo
- A banda passante do enlace é dividida em n sub-bandas
 - São os canais
 - Cada fonte de transmissão é associada a um ou mais canais



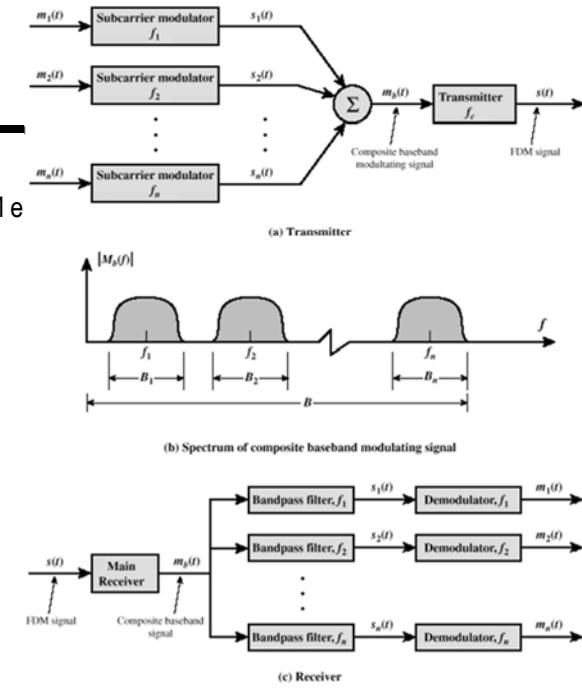
Redes de Computadores

13

Sistema FDM

- Exemplos típicos:
 - Estações de rádio (AM e FM) e de televisão
 - AM: 525 kHz a 1705 kHz
 - FM: 87,7 a 108,0 MHz

Redes de Computadores



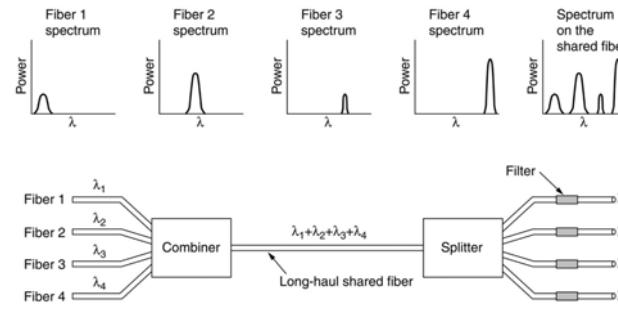
Wavelength Division Multiplexing (WDM)

- Banda passante do meio é superior a banda passante necessária aos sinais a serem transmitidos
- Cada fonte envia seu sinal modulado em uma portadora de frequência diferente (Canal)
- As portadoras são separadas entre si por uma faixa não utilizada do espectro para evitar interferência → bandas de guarda
- Sinal transmitido é analógico embora os dados possam ser tanto digitais como analógicos
- Canal é sempre alocado mesmo que não haja dados a serem transmitidos

Redes de Computadores

15

Redes de Computadores



16

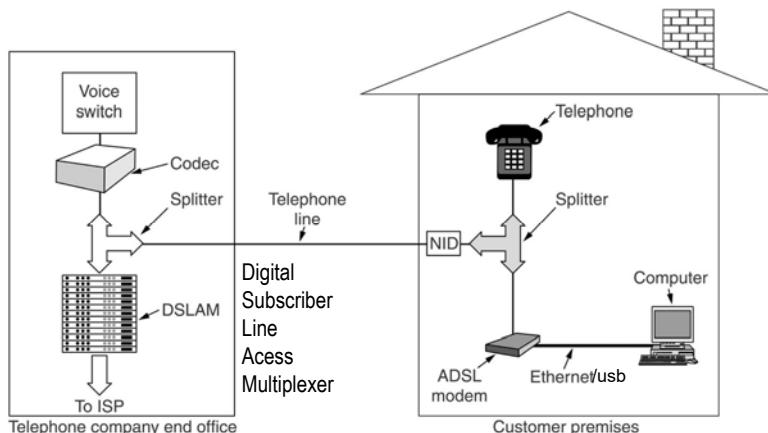
Estudo de caso: *Digital Subscriber Line (DSL)*

- DSL é uma técnica com o objetivo de oferecer ao assinante de rede telefônica pública uma alta taxa de transmissão dados
- O conjunto de diferentes técnicas é conhecido como xDSL
 - *Assymetrical DSL (ADSL)*
 - *High data rate DSL (HDSL)*
 - *Single line DSL (SDSL)*
 - *Very high data rate DSL (VDSL)*
 - etc
- Explora a capacidade do laço local
 - Banda passante de cerca de 1.1 MHz sendo que a voz ocupa apenas 4 kHz

Asymmetrical DSL (ADSL)

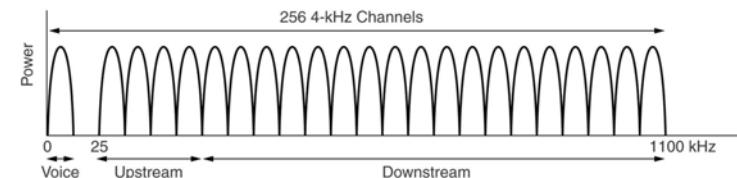
- Características gerais
 - Banda do meio (≈ 1.1 MHz) é dividido em três faixas de frequências
 - Modulação empregada é uma combinação de FDM e QAM
 - *Discrete Multitone Technique (DMT)*
 - Assimétrico: capacidade diferente nos fluxos *downstream* e *upstream*
 - Downstream: fluxo no sentido fornecedor de serviço \rightarrow cliente
 - Upstream: fluxo no sentido cliente \rightarrow fornecedor de serviço
- Aspectos (originais) de projeto
 - Funcionar em laços locais de pares trançados (cabo UTP cat. 3)
 - Não afetar aparelhos de fax e telefones
 - Oferecer uma taxa de transmissão superior a 56 Kbps
 - Estar sempre ativo mediante uma taxa mensal fixa

Configuração ADSL típica



Configurações de canais ADSL (G.992.1)

- 256 canais de 4312,5 Hz
- Canais de dados são alocados em qualquer número para os fluxos *upstream* e *downstream*
- Similar a se ter 250 modems (um em cada canal)
 - 4000 bauds, QAM-16 (15 dados + 1 erro)



Configurações típicas de canais ADSL (G.992.1)

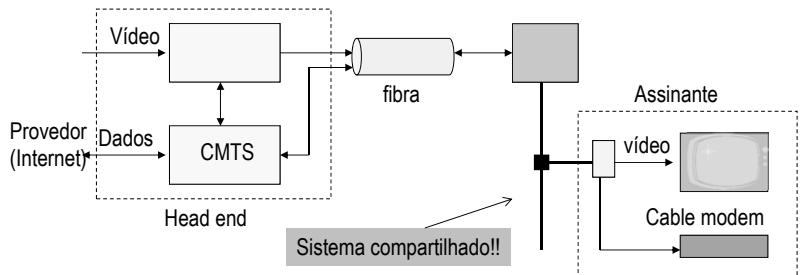
- Upstream (canais 6 a 30)**
 - 1 canal para controle
 - 24 canais de 4000 *bauds* (dados) → taxa total: $24 \times 4000 \times 15 = 1.44$ Mbps
- Downstream (canais 31 a 255)**
 - 1 canal para controle
 - 224 canais de 4000 *bauds* (dados) → taxa total: $224 \times 4000 \times 15 = 13.4$ Mbps
- Faixas de operação (comercial)**
 - *Upstream*: 64 Kbps até 1 Mbps
 - *Downstream*: 256 Kbps até 8 Mbps

ADSL 2 e ADSL 2+

- ADSL 2 (ITU-T G.992.3)**
 - Distância de até 5.5 Km
 - Canal de upstream 3.5 Mbps (máx) e downstream 12 Mbps (máx)
- ADSL 2+ (ITU-T G.992.5)**
 - Distância de até 1.5 km
 - Canal de upstream 1.0 Mbps (máx) e downstream 24 Mbps (máx)
 - ITU G.992.5 annex M: ADSL2+ 3.5 Mbps (up) e 24 Mbps (down)
 - Frequência de até 2.2 MHz

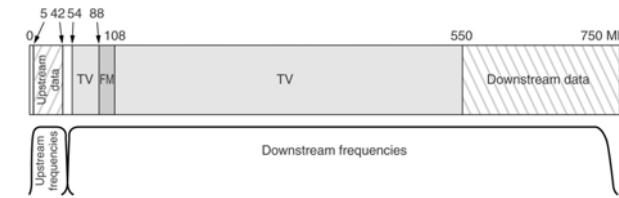
Estudo de caso: Internet a cabo

- Aproveita o cabo coaxial da TV a cabo para envio de dados
 - Emprega multiplexação em frequência e em tempo
- Baseado em dois sistemas:
 - CM (*cable modem*)
 - CMTS (*cable modem Transmission System*)



A parte multiplexação em frequência

- Divide a banda passante do cabo:
 - Banda passante do cabo é dividida em canais de 6 MHz ou 8 MHz
 - Agrupados em duas faixas de frequências
 - upstream : canais de controle e dados (QPSK a QAM-128)
 - Downstream: canais de TV, FM e dados (QAM-64 ou QAM-256)



Banda passante do sistema a cabo

- ❑ Dividido em canais de 6 MHz (sistema americano)
- ❑ Banda vídeo
 - Frequências de 54 a 550 MHz (6 MHz x 80 canais + banda de guarda)
- ❑ *Downstream* (550 a 750 MHz)
 - Modulação QAM-64 (também é possível QAM-256)
 - 6 bits/baud (5 dados + 1 bit erro)
 - Padrão é 1 baud/Hz (5 x 6 MHz = 30 Mbps por canal)
- ❑ *Upstream* (5 a 42 MHz)
 - Modulação QPSK (ou até QAM-128 devido a faixa de freqüência)
 - 2 bits/baud
 - Padrão é 1 baud/Hz (2 x 6 MHz = 12 Mbps por canal)

A parte multiplexação em tempo

- ❑ Usada para compartilhar banda no canal de *upstream*
 - Cable modem (CM) transmitem dados para o *headend* (CMTS)
 - Tempo é dividido em *slots* e diferentes assinantes enviam em diferentes *slots*
- ❑ Funcionamento
 - Na inicialização cada modem recebe um *minislot* de forma não exclusiva
 - São usados para solicitar banda do canal *upstream* (*slots*)
 - Pode haver disputa (conflito de acesso) para usar o *minislot*. Solução:
 - CDMA (o mesmo dos telefones celulares): permite o envio simultâneo no mesmo canal sem “embaralhar” os dados.
 - Variante de ALOHA: envia requisição e espera resposta, se não vier, espera tempo aleatório e reenvia
- ❑ Canal de *downstream*
 - Não há disputas pois é apenas o *headend* (CMTS) que transmite

Cable Modem Termination System (CMTS)

- ❑ Sistema inteligente
 - Integra usuários a uma rede de transmissão de dados
 - Atua como um multiplexador/demultiplexador
- ❑ Um CMTS suporta cerca de 2000 usuários
 - Mais usuários requer subdivisão da rede em mais de um CMTS
- ❑ Sistema hierárquico
 - CMTS são interconectados a um ponto central (*hub*)
 - *Hubs* são interconectados a *super-hubs*
- ❑ Super-hubs oferecem uma série de serviços típicos a redes Internet
 - e.g.; DHCP, DNS, e-mail, *chat*, *proxy*, páginas WEB

Leituras complementares

- ❑ Stallings, W. *Data and Computer Communications* (6th edition), Prentice Hall 1999.
 - Capítulo 8 seções 8.1, 8.4, apêndice A
- ❑ Tanenbaum, A. *Redes de Computadores* (4^a edição), Campus 2003.
 - Capítulo 2, seções 2.5.3, 2.5.4, 2.6.2 e 2.7
- ❑ ADSL
 - <http://www.adsl.com> (tutorial e *white papers*)
- ❑ Cable modems
 - <http://www.cable-modems.org/tutorial/08.htm>