

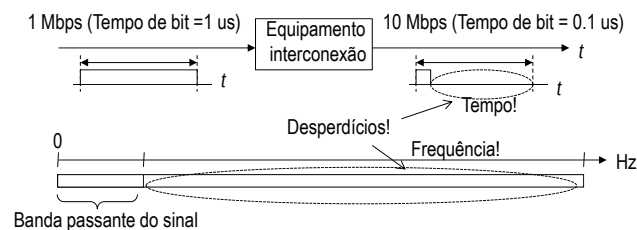
Redes de Computadores

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

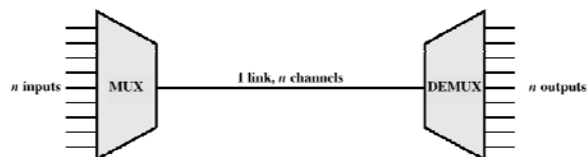


Redes de Computadores

2

Multiplexação

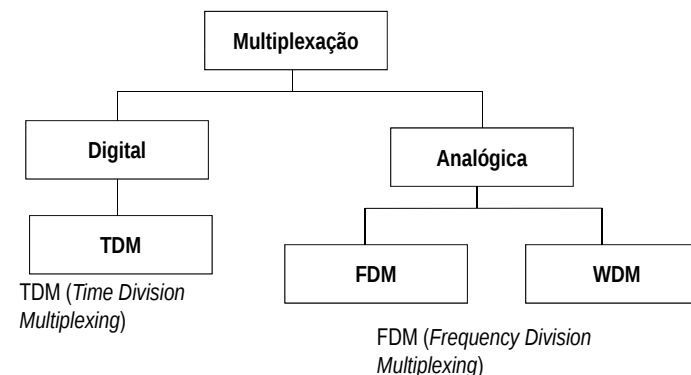
- Ato de combinar duas ou mais fontes em um único sinal
- Solução para eliminar o desperdício de banda (analógica ou digital)
 - Multiplexação digital (em tempo)
 - Multiplexação analógica (em frequência)
- Princípio básico:
 - Permitir que n canais compartilhem um único enlace (caminho físico)
 - Canal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



Redes de Computadores

3

Técnicas de multiplexação

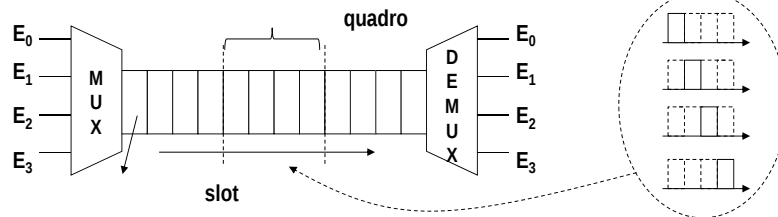


Redes de Computadores

4

Time Division Multiplexing (TDM)

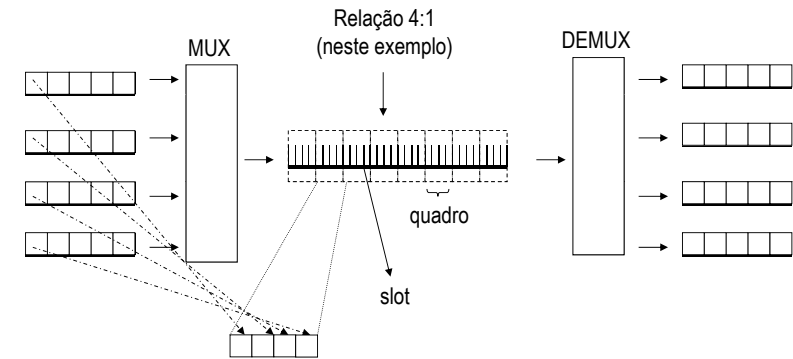
- Combinar várias fontes de informação para compartilhar o enlace de saída **alternando** seu uso no tempo
 - Capacidade do enlace de saída é $\geq$ a soma da capacidade das entradas
- Fluxo de bits no enlace é dividido em unidades de n bits ($n \geq 1$)
 - São os *slots*
 - Cada fonte de transmissão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



Redes de Computadores

5

Outra forma de enxergar...

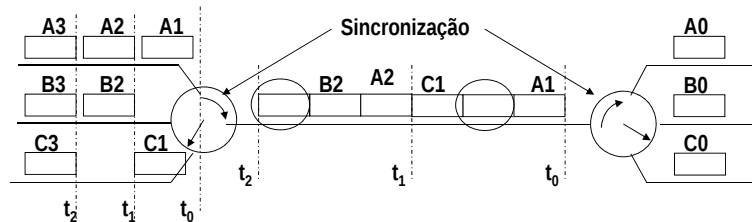


- Cada unidade pode ser um bit individual ou um conjunto de bits
- A duração em tempo de uma unidade de entrada serve ser igual a de um slot

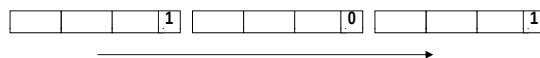
Redes de Computadores

6

Princípio de funcionamento



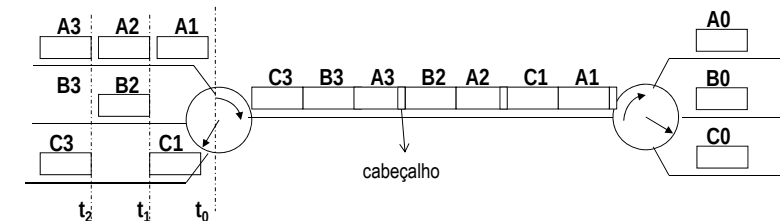
- TDM síncrono
 - Problema: manter a sincronização entre a fonte e o destino
- Solução: inserção de marcas para manter a sincronização
 - Padrão alternado de bits em 0 e 1 no início de cada quadro



Redes de Computadores

7

TDM assíncrono



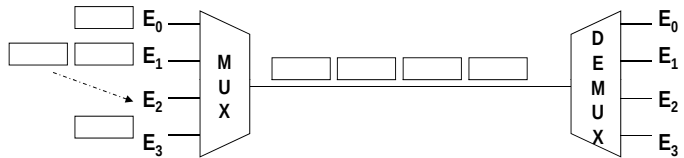
- Solução para resolver problema do sincronismo e do desperdício de slots não usados
- Também chamado de "TDM por divisão estatística"

Redes de Computadores

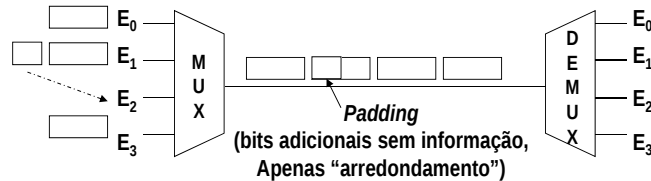
8

Padding

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



- Caso II: taxas não são múltiplos inteiros

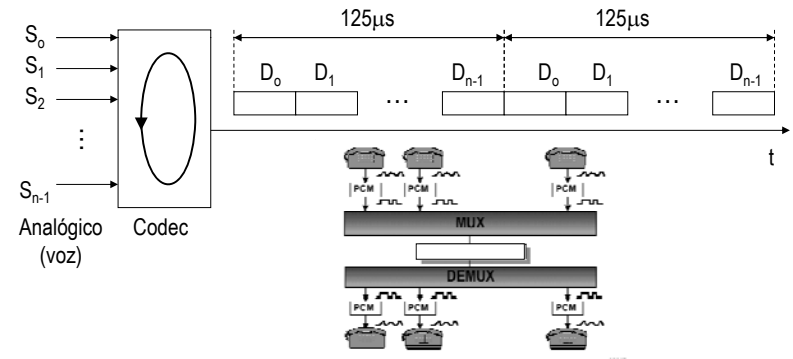


Redes de Computadores

9

Exemplo de TDM: sistema de telefonia digital

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



Redes de Computadores

10

O que se faz em 125μs ?

- Sistema americano :
 - 24 canais (D_i), 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 ($8000 \text{ amostras} \times 193$) → Canal DS1
- Sistema ITU-T (Europa, Brasil)
 - 32 canais (D_i), 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

Redes de Computadores

11

Resumo das características do TDM

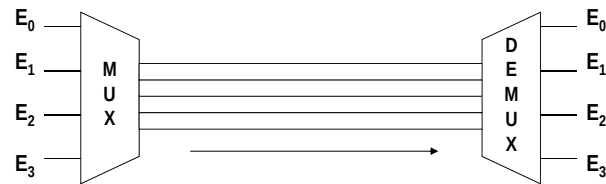
- Banda passante do meio é superior a banda passante necessária aos sinais a serem transmitidos
- Cada fonte envia seus bits em um determinado slot dentro do quadro
- Sinal transmitido é digital embora a informação possa ser tanto digital (dados) como analógicos (mas digitalizada!!)
- A alocação dos 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

Redes de Computadores

12

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

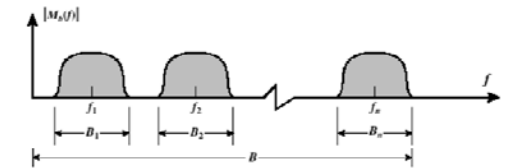
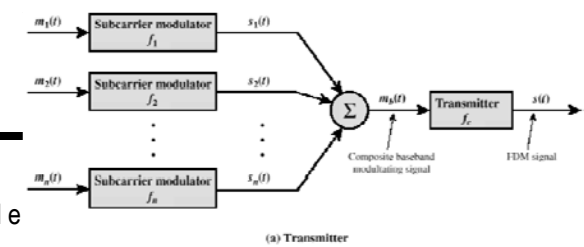


Redes de Computadores

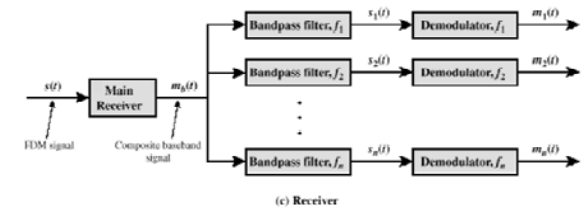
13

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



(b) Spectrum of composite baseband modulating signal



(c) Receiver

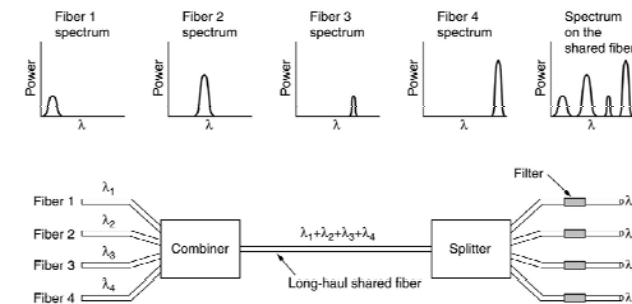
Redes de Computadores

Resumo das características do FDM

- ❑ 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

Wavelength Division Multiplexing (WDM)

- ❑ Variação da técnica de FDM empregado em grandes *backbones*
- ❑ Sistema óptico (amplificadores, comutadores, etc)
- ❑ DWDM (Dense WDM)



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
 - *Assimmetrical 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

17

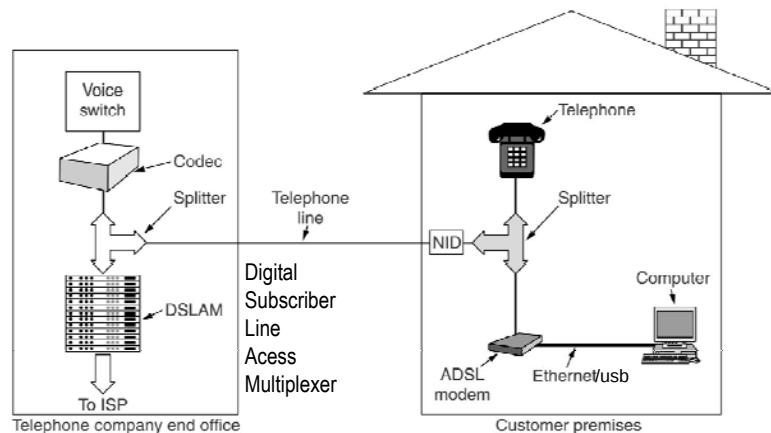
Asymmetrical DSL (ADSL)

- ❑ 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 → cliente
 - Upstream: fluxo no sentido cliente → fornecedor de serviço
- ❑ Aspectos 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

Redes de Computadores

18

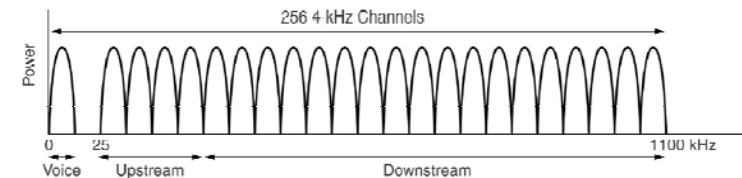
Configuração ADSL típica



19

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)



Redes de Computadores

20

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

21

ADSL 2 e ADSL 2+

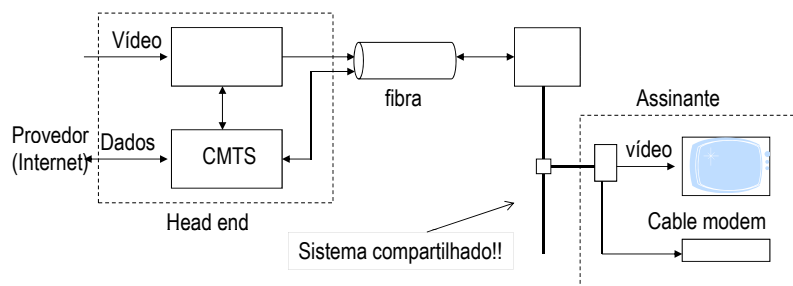
- ❑ ADSL 2 (ITU-T G.992.3)
 - Distância de até 5.5 Km
 - Canal de upstream 3.5 Mbps (máx) e downstream 12 Mbps (máx)
- ❑ ADSL 2+ (ITU-T G.992.5)
 - Distância de até 1.5 km
 - Canal de upstream 1.0 Mbps (máx) e downstream 24 Mbps (máx)
 - ITU G.992.5 annex M: ADSL2+ 3.5 Mbps (up) e 24 Mbps (down)
 - Frequência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

Redes de Computadores

22

Estudo de caso: Internet a cabo

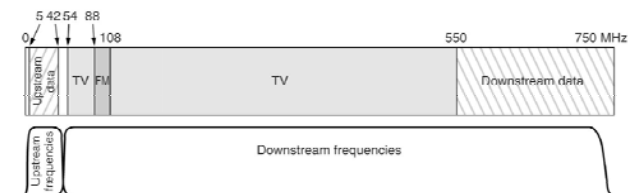
- ❑ Aproveita o cabo coaxial da TV a cabo para envio de dados
 - Emprega multiplexação em frequência e em tempo
- ❑ Baseado em dois sistemas:
 - CM (*cable modem*)
 - CMTS (*cable modem Transmission System*)



23

A parte multiplexação em frequência

- ❑ Divide a banda passando 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)



Redes de Computadores

24

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 frequência)
 - 2 bits/ baud
 - Padrão é 1 baud/Hz (2 x 6 MHz = 12 Mbps por canal)

25

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

26

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

27

Leituras complementares

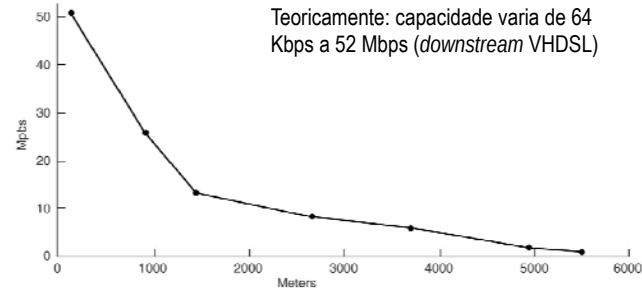
- ❑ Stallings, W. *Data and Computer Communications* (6th edition), Prentice Hall 1999.
 - Capítulo 8 seções 8.1, 8.4, apêndice A
- ❑ Tanenbaum, A. *Redes de Computadores* (4^a edição), Campus 2003.
 - Capítulo 2, seções 2.5.3, 2.5.4, 2.6.2 e 2.7
- ❑ ADSL
 - <http://www.adsl.com> (tutorial e *white papers*)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

Redes de Computadores

28

Capacidade do laço local

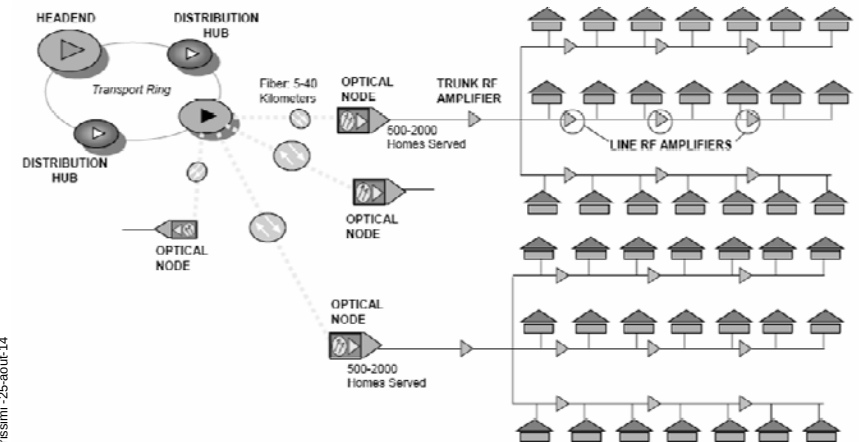
- Depende do comprimento, espessura e qualidade



- Porque modems de linha discada não exploram(vam) essa capacidade?
 - Sistema concebido para voz → filtro passa-baixa na entrada
 - Permitir o uso de hierarquia analógica (grupo)

29

Hybrid Fiber-Coaxial (HFC)

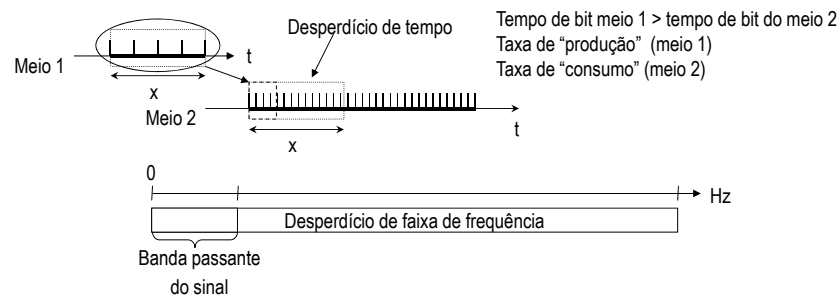


Redes de Computadores

30

Introdução

- Transmissão em um meio físico é possível sempre que a banda passante do meio for maior ou igual que a banda passante do sinal
 - Banda (espectro de frequência) ou banda digital (tempo)
- Pode haver desperdício de banda passante



Redes de Computadores

31

Multiplexação

- Solução para eliminar o desperdício de banda (analógica ou digital)
 - Multiplexação em tempo e multiplexação em frequência
- Consiste em permitir que várias fontes de informações compartilhem um único meio físico
- Princípio básico:
 - Permitir que n canais compartilhem um único enlace (caminho físico)
 - Canal = "porção" do enlace que transporta informação



Redes de Computadores

32

Exemplos de aplicação de Multiplexação

❑ TDM

- Telefonia
- SONET/SDH
- Cable modem (*mix* com multiplexação em frequência)

❑ FDM

- Estações de rádio (AM, FM) e televisão
- Telefonia celular
- ADSL
- Cable modem (*mix* com multiplexação em tempo)