

Redes de Computadores

Codificação de dados

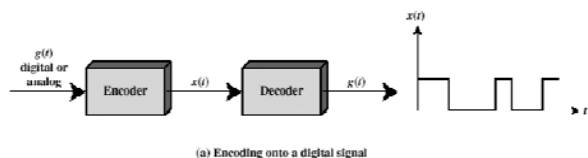
Aula 04

Introdução

- ❑ Informações digitais ou analógicas podem ser codificadas tanto em sinais analógicos como em sinais digitais.
 - ▶ Dados digitais, sinais digitais
 - ▶ Dados analógicos, sinais digitais
 - ▶ Dados digitais, sinais analógicos
 - ▶ Dados analógicos, sinais analógicos
 - ▶ Fora do contexto da disciplina
 - ▶ É o que acontece com estações de rádio e televisão

Dados digitais, sinais digitais: transmissão banda base

- ❑ Dados digitais são codificados em um sinal digital
 - ▶ Pulsos de tensão (discretos) durante um elemento de sinalização (baud)

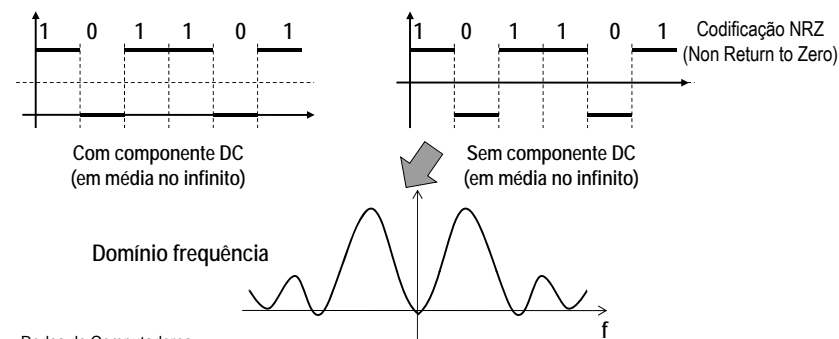


- ❑ Tipo de esquema de codificação depende de vários fatores
 - ▶ Existência de componente DC no sinal
 - ▶ Sincronização
 - ▶ Adequação do sinal na banda passante
 - ▶ Capacidade de detectar erros na transmissão

Para iniciar a análise
Bit 1: +V volts
Bit 0: 0 volts

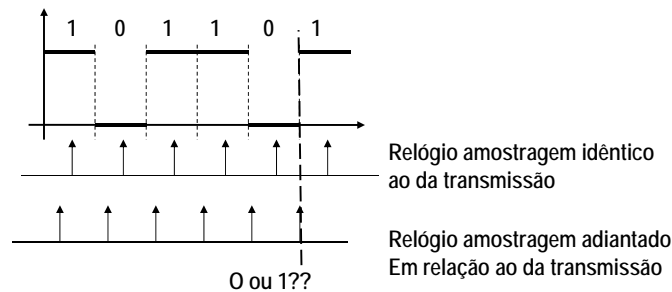
Componente DC

- ❑ Associada a frequência zero
- ❑ Deve ser evitada para permitir acoplamento indutivo do sinal via transformadores
 - ▶ Excursões positiva e negativas do sinal devem ser iguais



Sincronização de relógios

- ❑ Relógios do emissor e do receptor devem estar sincronizados para correta interpretação sinal
 - ▶ Amostragem no meio do tempo de bit
- ❑ Necessário manter a sincronização
 - ▶ Resincronização na presença de "bordas" do sinal

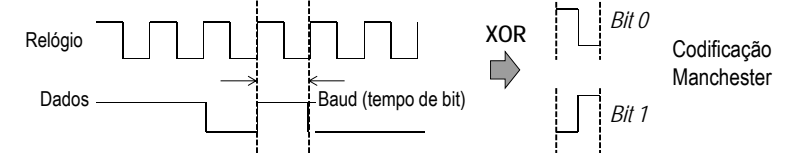


Redes de Computadores

5

Soluções para sincronização

- ❑ Empregar um fio a parte para enviar o sinal de relógio
 - ▶ Custo: necessário dois fios (um para os dados, outro para o relógio)
 - ▶ Sinal de relógio sofre atrasos, atenuações e interferências
 - ▶ Usando em barramentos de computadores, não para comunicação de dados
- ❑ Estratégias possíveis
 - ▶ Assíncrona: usar uma marca de início de dados para sinalizar o receptor do "início do tempo" e transmitir um conjunto de bits
 - ▶ Em quantidade para que desvios de relógios não se acumulem
 - ▶ Síncrono: "embutir" um sinal de relógio junto aos dados



Redes de Computadores

6

Banda passante e detecção de erro

- ❑ Banda passante
 - ▶ A banda passante do sinal deve ser adequada a banda do canal
 - ▶ Problema de "largura" da banda passante
 - ▶ Uso eficiente:
 - ▶ NRZ-I: para taxa de b bits, se necessita uma largura de $B/2$ Hz ($b = B \log_2 2$)
 - ▶ Manchester: para taxa de b bits, se necessita uma largura de B Hz
- ❑ Detecção de erros
 - ▶ Possibilidade do receptor identificar um erro de transmissão e assim abortá-la ou descartá-la.
 - ▶ NRZ-I: não há (um bit invertido por erro fornece um bit válido)
 - ▶ Manchester: ausência de transição no meio do tempo de bit é um erro

Redes de Computadores

7

Códigos pseudoternário e bipolar AMI

- ❑ Empregam 3 níveis (A, 0, -A)
 - ▶ Pseudoternário: bits em 0 corresponde a A e -A alternadamente, bit em 1 é 0
 - ▶ AMI: bits em 1 corresponde a A e -A alternadamente, bit em 0 é 0
- ❑ Características
 - ▶ Para um canal de b bits precisam de uma banda de 1.6 Hz/bit ($b = B \log_2 3$)
 - ▶ Introduzem transição em sequências de 1 (AMI) ou 0 (bipolar)
 - ▶ Auxilia a sincronização para longas sequencias de 1s (AMI) OU de 0s (pseudoternário)
 - ▶ Detecção de erro: não pode haver dois pulsos em A ou -A consecutivos
 - ▶ Sem componente DC



Redes de Computadores

8

Métodos de codificação banda base

Método	Regra de codificação	Prós e contras
NRZ-L	•Bit 0: pulso positivo (+V) •Bit 1: pulso negativo (-V)	• ver NRZ-I
NRZ-I	•Bit 0: ausência de transição no início do tempo de bit •Bit 1: presença de transição no início do tempo de bit	•Simplicidade •1 bit por baud •Perda de sincronismo (longas sequências) •Presença de componente DC residual •Sem detecção de erro
Manchester	•Bit 0: transição nível alto ao nível baixo •Bit 1: transição nível baixo ao nível alto	•Ausência de componente DC •Oferece sincronização •Permite detecção de erro •1 bit necessita dois elementos sinalização
AMI	•Bit 0: ausência de sinal (0 V) •Bit 1: Pulso positivo/negativo (alternado)	•Ver Pseudo-ternário
Pseudo-ternário	•Bit 0: Pulso positivo/negativo (alternado) •Bit 1: ausência de sinal (0 V)	•Ausência de componente DC •Problema de sincronização para longas sequências de bits em um (ou zero se AMI) •Permite detecção de erros •Reconhecer 3 níveis (+V, 0, -V)

Redes de Computadores

9

Em busca de algo mais....

- ❑ As codificações de banda base vistas ainda deixam a desejar em dois aspectos
 - ▶ Eficiência
 - ▶ Detecção de erros
- ❑ Novas técnicas
 - ▶ Embaralhamento (scrambling) e codificação em bloco
 - ▶ Tentam de forma diferente:
 - ▶ Produzir transições para permitir sincronização
 - ▶ Eliminar (reduzir) componente DC
 - ▶ Permitir algum nível de detecção de erro

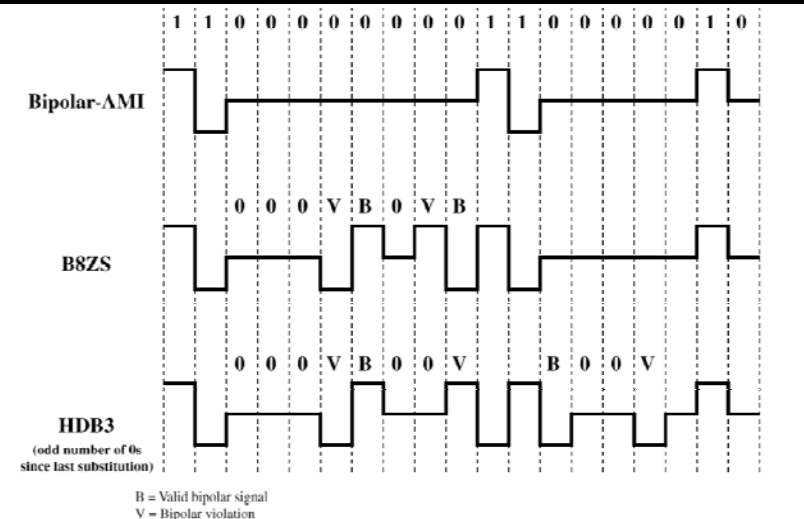
Redes de Computadores

10

Scrambling e codificação em blocos

- ❑ *Scrambling*
 - ▶ Substituir a sequência original por uma outra que evite sequências longas de zeros (ou uns), permita sincronização, reduza DC e permita detecção de erro
 - ▶ Não modificar o "tamanho" da sequência original
 - ▶ Exemplos: B8ZS, HDB3
- ❑ Codificação em blocos
 - ▶ Substituir a sequência original por uma outra que evite sequências longas de zeros (ou uns), permita sincronização, reduza DC e permita detecção de erro
 - ▶ Modificar o "tamanho" da sequência original (n bits) para m bits ($m > n$)
 - ▶ Seleciona combinações de 2^m visando sincronização e detecção de erro
 - ▶ Emprega qualquer codificação de banda base

Exemplo de scrambling: B8ZS e HDB3



Redes de Computadores

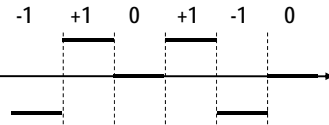
12

Exemplos de codificação em blocos: 4B/5B e 8B/6T

4B/5B (Parcial)				2 ⁴ (16) mapeados em 2 ⁵ (32)			
Data Input (4 bits)	Code Group (5 bits)	NRZI pattern	Interpretation	Data Input (4 bits)	Code Group (5 bits)	NRZI pattern	Interpretation
0000	11110		Data 0	0110	01110		Data 6
0001	01001		Data 1	0111	01111		Data 7
0010	10100		Data 2	1000	10010		Data 8
0011	10101		Data 3	1001	10011		Data 9
0100	01010		Data 4	1010	10110		Data A
0101	01011		Data 5	1011	10111		Data B

8B/6T (exemplo de um código)

00011111



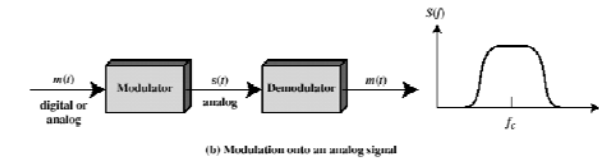
2⁸ (256) mapeados em 3⁶ (729)

Redes de Computadores

13

Dados digitais, sinais analógicos

- Transmissão de dados digitais através de sinais analógicos
- Modulação consiste em codificar os dados com base na portadora
 - conversão de um sinal analógico em outro sinal analógico de modo a transmiti-lo em um meio passa-faixa
 - Modulação em dados digitais se denomina *keying* (modulação digital)
 - Representar uma informação através de uma série de modificações em um sinal analógico (portadora)
 - Amplitude shift keying (n-ASK), Frequency shift keying (n-FSK), Phase shift keying (n-PSK), Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

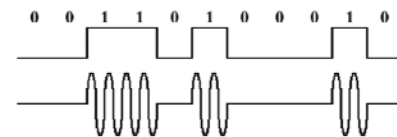


Redes de Computadores

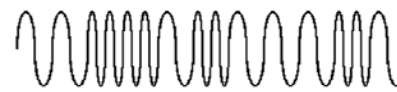
14

Modulação

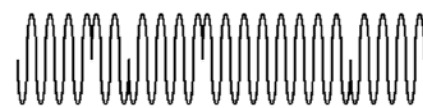
- Amplitude (n-ASK)
 - Dados são representados por diferentes amplitudes (n)
- Frequência (n-FSK)
 - Dados são representados por diferentes frequências (n)
- Fase (n-PSK)
 - Dados são representados por diferentes fases (n)



Bit 1 = $A \cos(2\pi f_c t)$ Bit 0 = 0



Bit 1 = $A \cos(2\pi f_1 t)$ Bit 0 = $A \cos(2\pi f_2 t)$



Bit 1 = $A \cos(2\pi f_1 t + \pi)$ Bit 0 = $A \cos(2\pi f_c t)$

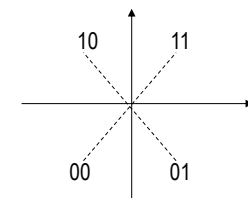
Redes de Computadores

15

Quadratura de fase (QPSK)

- Cada elemento de sinalização é caracterizado por uma fase própria
 - Esquema genérico é denominado de n-PSK (n = número de fases)
 - Um elemento de sinalização representa $\log_2 n$ bits
 - Limitação de hardware para detectar diferentes fases próximas
- Caso especial: n=4 (quadratura de fase)
 - 45, 135, 225 e 315 graus

$$S(t) = \begin{cases} \text{Bit 11} = A \cos(2\pi f_c t + \pi/4) \\ \text{Bit 10} = A \cos(2\pi f_c t + 3\pi/4) \\ \text{Bit 00} = A \cos(2\pi f_c t + 5\pi/4) \\ \text{Bit 01} = A \cos(2\pi f_c t + 7\pi/4) \end{cases}$$

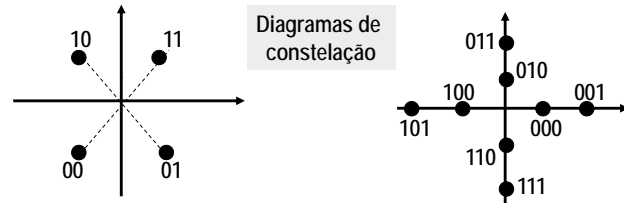


Redes de Computadores

16

Quadratura de Amplitude (QAM)

- ❑ Combinação de ASK e PSK
 - ▶ Variação em amplitude e em fase



- ❑ Possível definir várias amplitudes e fases (n -QAM)
 - ▶ Exemplos: 16-QAM, 64-QAM, 128-QAM e 256-QAM

17

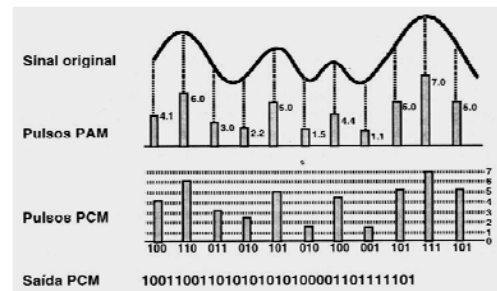
Dados analógicos, sinais digitais

- ❑ Digitalização do sinal, i.é., conversão do sinal analógico em digital
 - ▶ Dado pode ser transmitido usando um tipo qualquer de codificação digital
 - ▶ Conversão sinal analógico em seu equivalente digital (uma técnica de modulação)
- ❑ Codec (coder-decoder)
 - ▶ Conversão pode utilizar duas técnicas:
 - ▶ Pulse Code Modulation (PCM)
 - ▶ modulação delta
- ❑ Aplicação comum: rede de telefonia pública

Redes de Computadores

18

Pulse Amplitude Modulation (PAM) e Pulse Code Modulation (PCM)



Amostragem
↓
Quantização
↓
Geração PCM

- ❑ Quantização do sinal
 - ▶ Inclui erro e/ou ruído
 - ▶ Aproximação do sinal original, ou seja, é impossível de recuperar exatamente o sinal original

Redes de Computadores

19

Teorema de amostragem de Nyquist

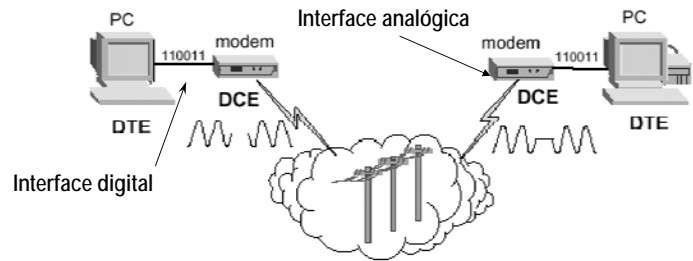
- ❑ Precisão de uma reprodução digital de um sinal analógico depende do número de amostras realizadas
- ❑ Teorema de Nyquist::
 - ▶ “Um sinal amostrado em intervalos regulares a uma taxa igual a duas vezes a da sua mais alta frequência contém toda a informação do sinal original”
 - ▶ Exemplo: Sinal de voz ocupa banda de 4 KHz (0–4KHz), o que implica em uma frequência de amostragem de 8 KHz
- ❑ Portanto, a taxa PAM deve ser duas vezes a frequência mais alta presente no sinal.
 - ▶ Um sinal com frequência x deve ser amostrado a cada $1/(2x)$ segundos.

Redes de Computadores

20

Estudo de caso: Modem linha discada (*Modulador-demodulador*)

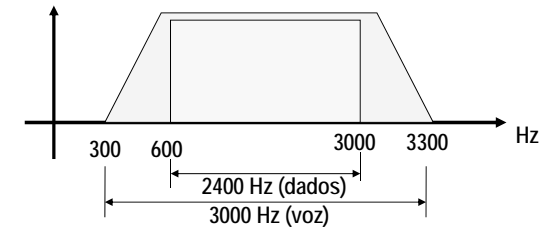
- ❑ Converte dados binários em sinal analógico e vice-versa
 - Transmissão de dados através do laço local da rede de telefonia pública



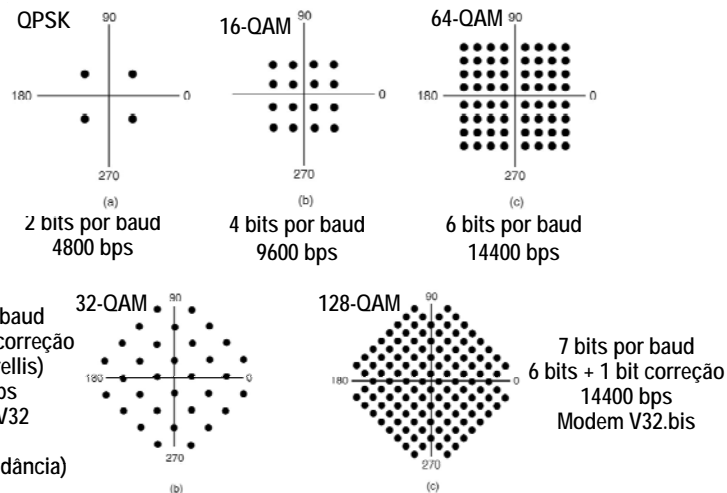
DTE: Data Terminal Equipment DCE: Data Communication Equipment

Banda passante da linha telefônica

- ❑ Passa-banda 300Hz a 3300 Hz (banda passante 3000 Hz)
 - Bordas são suscetíveis a distorções, tolerados na transmissão de voz mas não para a transmissão de dados
 - Solução: empregar uma faixa (banda) mais estreita



Modem: diagramas de constelação



Limitação de velocidade de transmissão

- ❑ Linha telefônica apresenta uma limitação na sua capacidade máxima de transmissão (Shanon)
 - Supondo S/N=30 dB e canal de 3 kHz

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

$$C = 3000 \times \log_2 (1 + 1000)$$

$$C = 3000 \times \left(\frac{\log 1001}{\log 2} \right)$$

$$C = 3000 \times \frac{3}{0.3} = 30000 \text{ bps}$$

- ❑ Como então existem modems de capacidade superior a este limite?
 - Dados são compactados antes de transmitir
 - Sistemas assimétricos

Padrões de Modem: série V (standard ITU-T)

- ❑ Modem V32 (9600 bps)
 - ▶ 32-QAM, 2400 baud, código de trellis
- ❑ Modem V32bis (até 14400 bps)
 - ▶ 128-QAM, 2400 baud, inclusão de *fall-back* e *fall-forward*
- ❑ Modem V34 (até 28800 bps)
 - ▶ 12 bits dados /baud
- ❑ Modem V34bis (até 33600 bps)
 - ▶ 14 bits dados/baud
- ❑ Modem V90 e V92 (até 56000 bps para *downloading*)
 - ▶ Sistemas assimétricos (duas velocidades: *uploading* e *downloading*)
 - ▶ *Uploading* V90 é até 33.6 Kbps, *uploading* V92 é até 48 Kbps

25

Modems tradicionais *versus* modems 56K

- ❑ Núcleo da rede de telefonia pública é digital, laço local é analógico
- ❑ Modems tradicionais:
 - ▶ Após modulação (emissor) há uma conversão analógico → digital (entrada)
 - ▶ O mesmo vale para a resposta enviada pelo destino
 - ▶ Conversões = ruído de quantização (afeta relação S/R de Shannon)
- ❑ Modems 56K (V90 e V92)
 - ▶ Comunicação é para a Internet com presença de um provedor de serviço
 - ▶ Provedor (de qualidade) possui uma linha digital com a companhia telefônica
 - ▶ Elimina a conversão na ponta do provedor (resposta) - *downloading*
 - ▶ Assinante possui uma linha analógica (laço local) com a companhia telefônica
 - ▶ Ruído de quantização na ponta assinante (requisição) – *uploading*
 - ▶ Velocidade de *downloading* pode ser maior que a de *uploading*

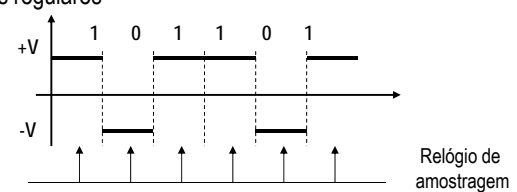
26

Leituras adicionais

- ❑ Tanenbaum, A.; Wethreall, D. Redes de Computadores (5ª edição), Editora Pearson Education, 2011.
 - ▶ Capítulo 2 (2.5.1 e 2.5.2)
- ❑ Carissimi, A.; Rochol, J.; Granville, L.Z.; Redes de Computadores. Série Livros Didáticos. Bookman 2009.
 - ▶ Capítulo 3 (3.2.2 a 3.2.4)

27

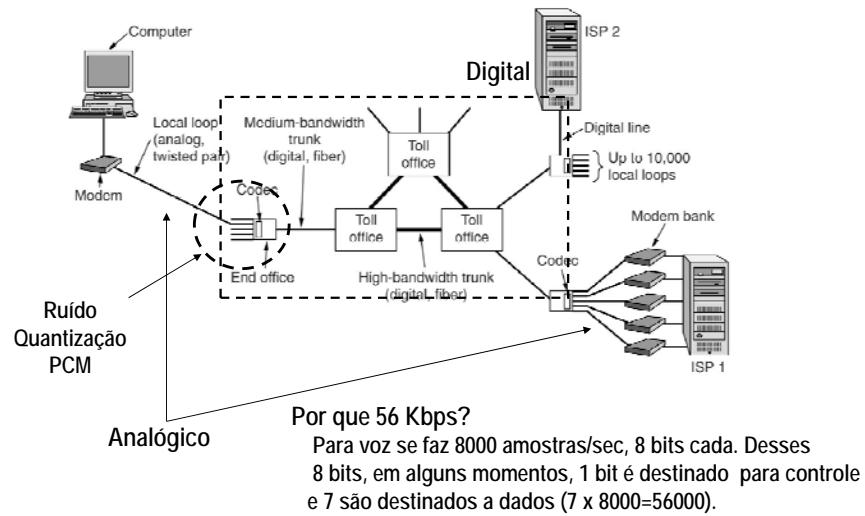
Sincronização de relógio

- ❑ No receptor
 - ▶ O sinal é convertido para bits fazendo a amostragem do sinal em intervalos de tempos regulares
- 
- ❑ Necessário “sincronizar” relógio do receptor com o do transmissor
 - ▶ Os relógios individuais de cada máquina defasam

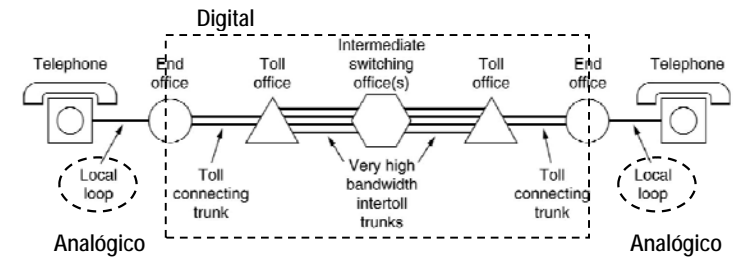
Redes de Computadores

28

Outra visão da rede de telefonia pública



Visão simplificada da rede de telefonia pública



□ Sistema típico:

- ▶ Amostras em 8 bits (fornece 256 níveis discretizados diferentes)
- ▶ 8000 amostras por segundo o que gera 64kbps (8000 x 8 bits/amostra)