

# Redes de Computadores

## Camada MAC

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

Departamento de Ciência da Computação  
Universidade Federal de Minas Gerais



# Contexto

- Protocolos para
  - ◆ Canais difusão, ou
  - ◆ Canais de acesso múltiplo, ou
  - ◆ Canais de acesso aleatório
  
- Problema básico a ser resolvido:
  - ◆ Como “gerenciar” o acesso a canais difusão

# Contexto

- Protocolos responsáveis por fazer esse gerenciamento:
  - ◆ Protocolos de acesso ao meio
  - ➔ MAC — *Medium Access Protocol*
- Sub-camada MAC está presente em quase todas as LANs
  - ◆ Importante seu estudo

# Problema de alocação de canal

- Problema:
  - ◆ Como alocar um único canal difusão entre vários usuários?
- Duas classes de algoritmos:
  - ◆ Alocação estática
  - ◆ Alocação dinâmica

# Alocação estática de canal

- FDM é a forma tradicional quando:
  - ◆ Existe um número pequeno e fixo de usuários
  - ◆ Cada um possui um tráfego pesado
- No entanto, o cenário típico é diferente:
  - ◆ Número de estações varia ao longo do tempo
  - ◆ Tráfego é em rajadas
- Além disso, há um sistema de contenção:
  - ◆ Sistema no qual vários usuários compartilham um canal comum de tal forma que pode levar a conflitos

# Alocação estática de canal

- Normalmente, FDM não é a solução:
  - ◆ Sub-canais ficam ociosos quando não há nada a transmitir
  - ◆ Em sistemas de computação, o tráfego é tipicamente em rajadas

# Alocação dinâmica de canal

## Premissas

### 1. Estações:

- ◆ Existem  $n$  estações independentes que geram quadros a serem transmitidos
- ◆ A estação fica bloqueada até o quadro ser totalmente transmitido

# Alocação dinâmica de canal

## Premissas

### 2. Único canal de comunicação:

- ◆ Todas estações compartilham um único canal de comunicação para transmissão e recepção
- ◆ Do ponto de vista de hardware, as estações são equivalentes
- ◆ Do ponto de vista de software, as estações podem ter prioridades
- ◆ Aspecto fundamental do estudo



# Alocação dinâmica de canal

## Premissas

### 3. Colisões:

- ◆ A transmissão “simultânea” de dois ou mais quadros por estações diferentes causa uma colisão
- ◆ Estações são capazes de detectar colisões
- ◆ Quadros envolvidos em colisões devem ser transmitidos posteriormente

# Alocação dinâmica de canal

## Premissas

4. Política de transmissão de quadros ao longo do tempo:
  - ◆ Qualquer instante (*continuous time*)
  - ◆ Instantes pré-determinados (*slotted time*)

# Alocação dinâmica de canal

## Premissas

5. Detecção de portadora para transmissão de quadro:
  - ◆ Com detecção (*carrier sense*)
  - ◆ Sem detecção (*no carrier sense*)

# Protocolos de acesso múltiplo

- Aloha:
  - ◆ Puro, *Slotted*
  
- CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*):
  - ◆ Persistente, não-persistente
  - ◆ Com detecção de colisão
  
- Vários outros

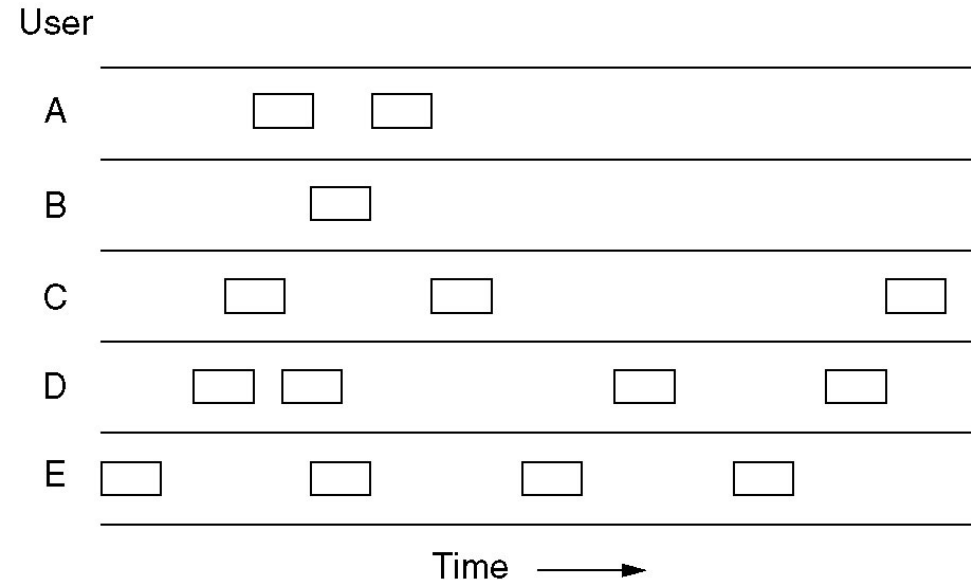
# Aloha

- Princípio:

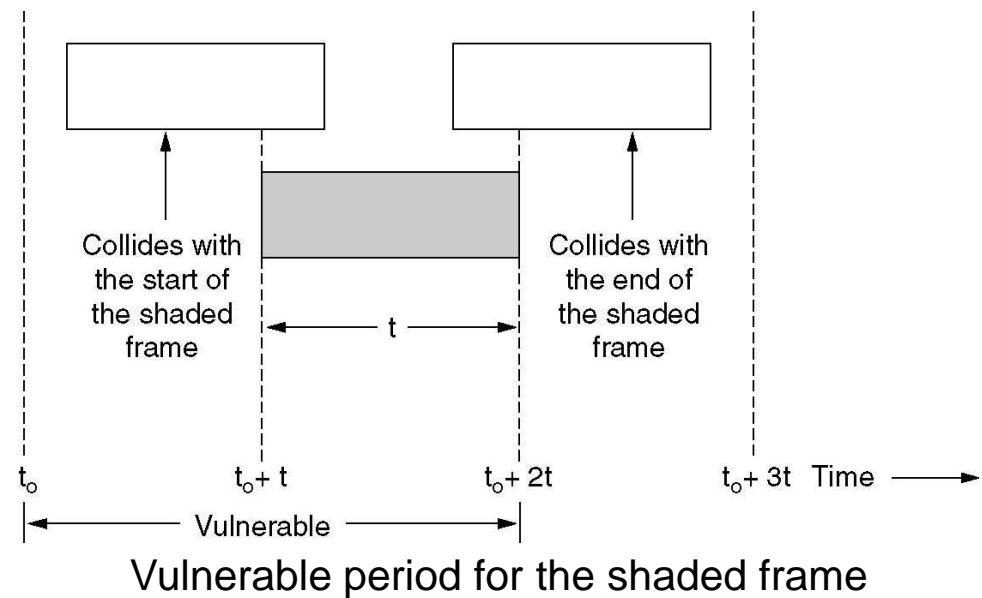
- ◆ Usuários transmitem quando têm dados a serem enviados

- Haverá colisões:

- ◆ Serão detectadas
- ◆ Deve-se esperar um tempo aleatório antes de tentar transmitir novamente



In pure ALOHA, frames are transmitted at completely arbitrary times



# Slotted Aloha

## ■ Princípio:

- ◆ Dividir o tempo em intervalos discretos, onde cada intervalo corresponde a um quadro
- ◆ Usuários devem ser capazes de identificar os limites desses intervalos:
  - ▶ Uma estação especial poderia emitir um sinal no início de cada intervalo

# Protocolo CSMA

- CSMA — *Carrier Sense Multiple Access*:
  - ◆ Protocolos de acesso múltiplo com detecção de portadora
  
- Três tipos básicos:
  - ◆ *1-persistent*
  - ◆ Não persistente (*nonpersistent*)
  - ◆ *p-persistent*

# Protocolo CSMA *1-persistent*

## Princípio

- Uma estação ao desejar transmitir escuta o canal
- Se estiver ocupado espera até ficar livre
- Transmite o quadro quando o canal fica livre
- Se ocorre uma colisão, a estação espera um tempo aleatório e começa o processo todo novamente



# Protocolo CSMA *1-persistent*

- É chamado 1-persistent porque sempre transmite ao verificar que o canal está desocupado, ou seja,
  - ◆ Probabilidade = 1 de transmitir, se canal está livre
- O tempo de propagação tem um efeito importante no desempenho do protocolo

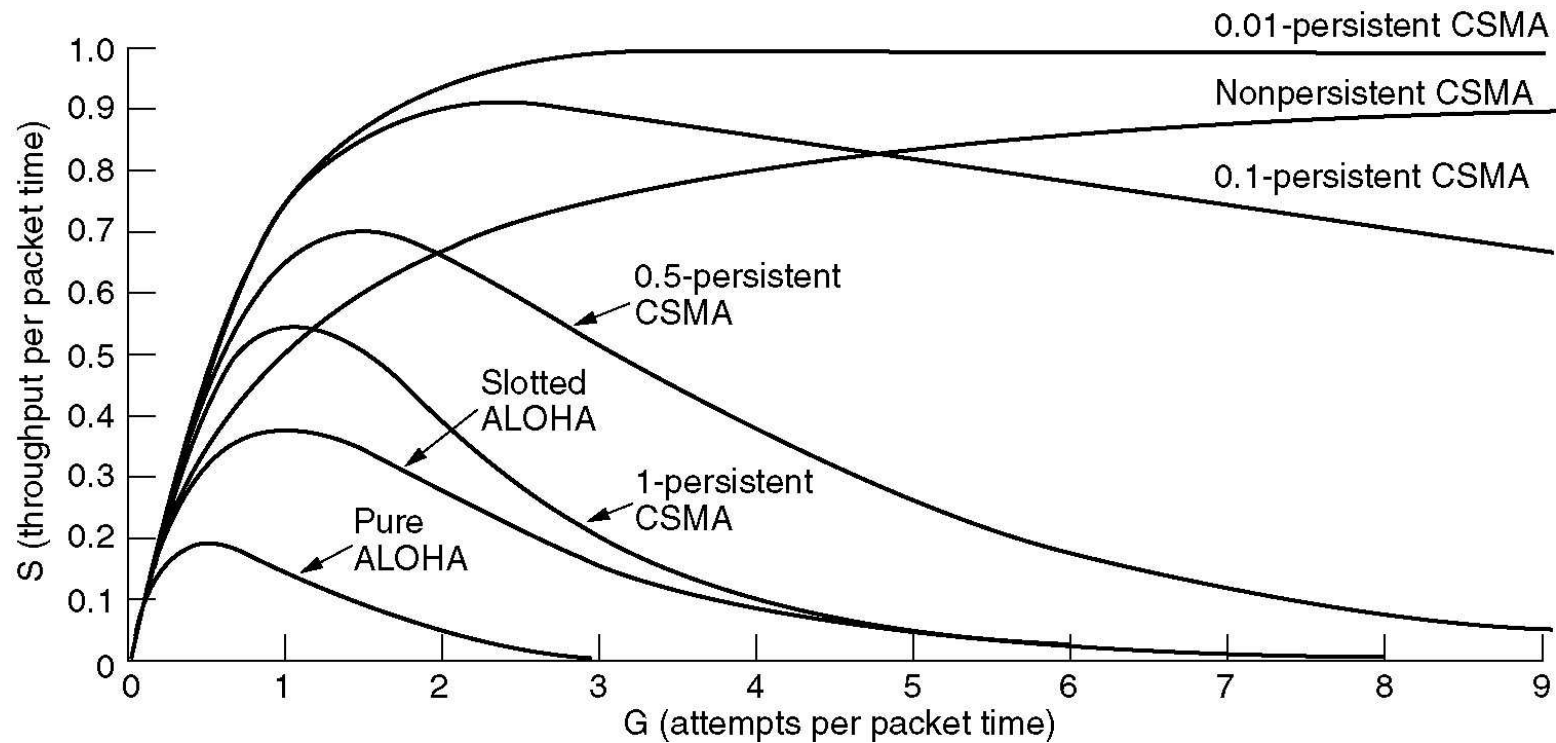
# Protocolo CSMA não persistente

- Similar ao *1-persistent*
- Diferença:
  - ◆ Ao verificar que o canal está ocupado espera um período de tempo aleatório e começa o processo novamente
  - ◆ Método menos guloso que tem um desempenho melhor que o *1-persistent*

# Protocolo CSMA *p-persistent*

- É usado em canais com *slots* (períodos de tempo)
- Princípio do *p-persistent*:
  - ◆ Estação escuta o canal
  - ◆ Se livre, transmite com probabilidade  $p$
  - ◆ Senão, espera até o próximo *slot* ( $q = 1 - p$ )
  - ◆ Repete o processo novamente no próximo *slot*
  - ◆ Se ocorre colisão, a estação espera um tempo aleatório e repete o processo

# Protocolo CSMA *p-persistent*

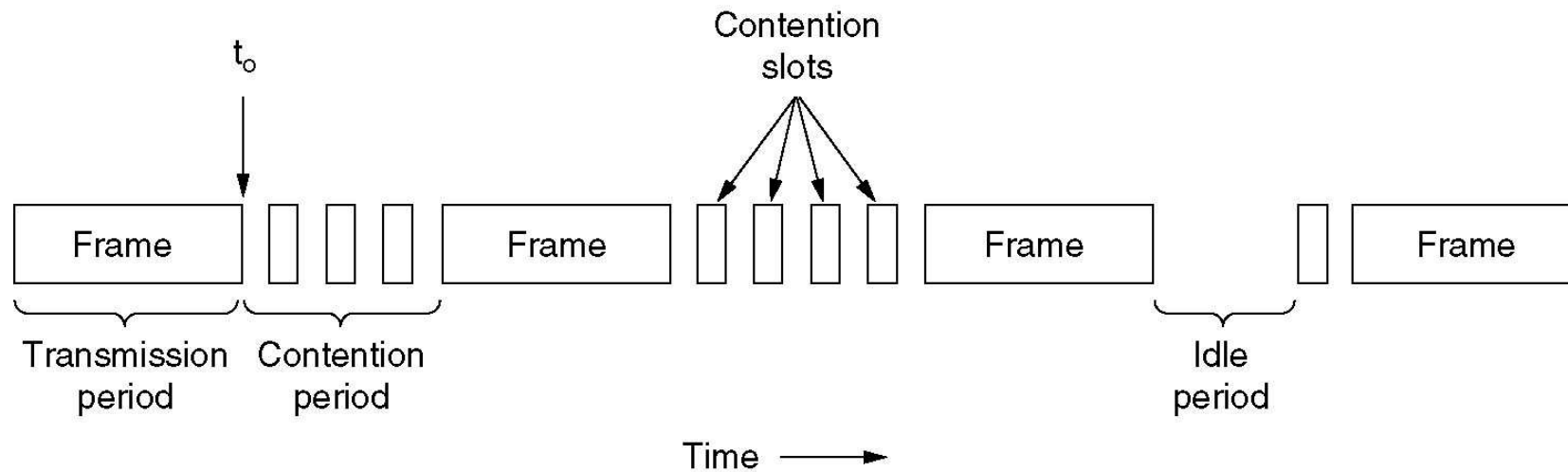


Comparison of the channel utilization versus load for various random access protocols

# Protocolo CSMA/CD

- CD — *Collision Detection*
- Melhoria introduzida:
  - ◆ Uma estação ao detectar colisão pára de transmitir imediatamente o quadro
  - ◆ Economiza tempo e BW
- CSMA/CD consiste em alternar períodos de contenção e transmissão
- Foi padronizado como IEEE 802.3 (Ethernet)

# Protocolo CSMA/CD



CSMA/CD can be in one of three states: contention, transmission, or idle

# Protocolo CSMA/CD

- Questão importante: quanto tempo uma estação deve esperar para saber se houve uma colisão ou não?
  - ◆ 2x o tempo de propagação no cabo de ponta-a-ponta
- Conclusão importante:
  - ◆ Uma colisão não ocorre após esse período de tempo
- Colisões afetam o desempenho do sistema principalmente em cabos longos e quadros curtos

# Padrão IEEE 802 para LANs e MANs



IEEE 802 Working Group  
&  
Executive Committee Study Group  
Home Pages

<http://www.ieee802.org/dots.html>  
Outubro 2009

## Active Working Groups and Study Groups

- [802.1](#) Higher Layer LAN Protocols Working Group
  - [Link Security](#) Executive Committee Study Group is now part of 802.1
- [802.3](#) Ethernet Working Group
- [802.11](#) Wireless LAN Working Group
- [802.15](#) Wireless Personal Area Network (WPAN) Working Group
- [802.16](#) Broadband Wireless Access Working Group
- [802.17](#) Resilient Packet Ring Working Group
- [802.18](#) Radio Regulatory TAG
- [802.19](#) Coexistence TAG
- [802.20](#) Mobile Broadband Wireless Access (MBWA) Working Group
- [802.21](#) Media Independent Handoff Working Group
- [802.22](#) Wireless Regional Area Networks

## Inactive Working Groups and Study Groups

- [802.2](#) Logical Link Control Working Group
- [802.5](#) Token Ring Working Group

## Disbanded Working Groups and Study Groups

- 802.4 Token Bus Working Group (material no longer available on this web site)
- 802.6 Metropolitan Area Network Working Group (material no longer available on this web site)
- 802.7 Broadband TAG (material no longer available on this web site)
- 802.8 Fiber Optic TAG (material no longer available on this web site)
- 802.9 Integrated Services LAN Working Group (material no longer available on this web site)
- 802.10 Security Working Group (material no longer available on this web site)
- [802.12](#) Demand Priority Working Group
- 802.14 Cable Modem Working Group (material no longer available on this web site)
- QOS/FC Executive Committee Study Group (material no longer available on this web site)





# Padrão IEEE 802 para LANs e MANs

- Conjunto de normas para LANs e MANs
- Padrão adotado pelas seguintes organizações:  
ANSI, NIST e ISO
- É dividido em partes que são publicados como livros separadamente

# Padrão IEEE 802 para LANs e MANs

## ■ Padrões importantes:

- ◆ IEEE 802.3: Ethernet (LANs)

- ◆ IEEE 802.11: WLANs (WiFi)



<http://www.wi-fi.org/>

- ◆ IEEE 802.16: (WiMax)



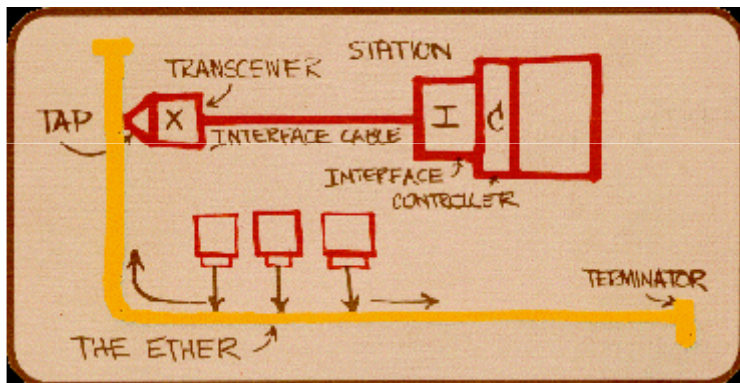
<http://www.wimaxforum.org/>

# IEEE 802.3: Funcionamento

- Estação escuta o canal antes de transmitir
- Se estiver ocupado espera até ficar livre
- Transmite o quadro se o canal estiver livre
- Se ocorre uma colisão, a estação espera um tempo aleatório e começa o processo todo novamente

# IEEE 802.3

- Baseado no padrão Ethernet de 10 Mbps proposto pela Xerox, DEC e Intel



This diagram was hand drawn by Robert M. Metcalfe and photographed by Dave R. Boggs in 1976 to produce a 35mm slide used to present Ethernet to the National Computer Conference in June of that year. On the drawing are the original terms for describing Ethernet.

Further information about the origins of Ethernet can be found in the reprinted from "Communications of the ACM" of Ethernet: Distributed Packet Switching for Local Computer Networks by Robert M. Metcalfe and David R. Boggs.

Source:

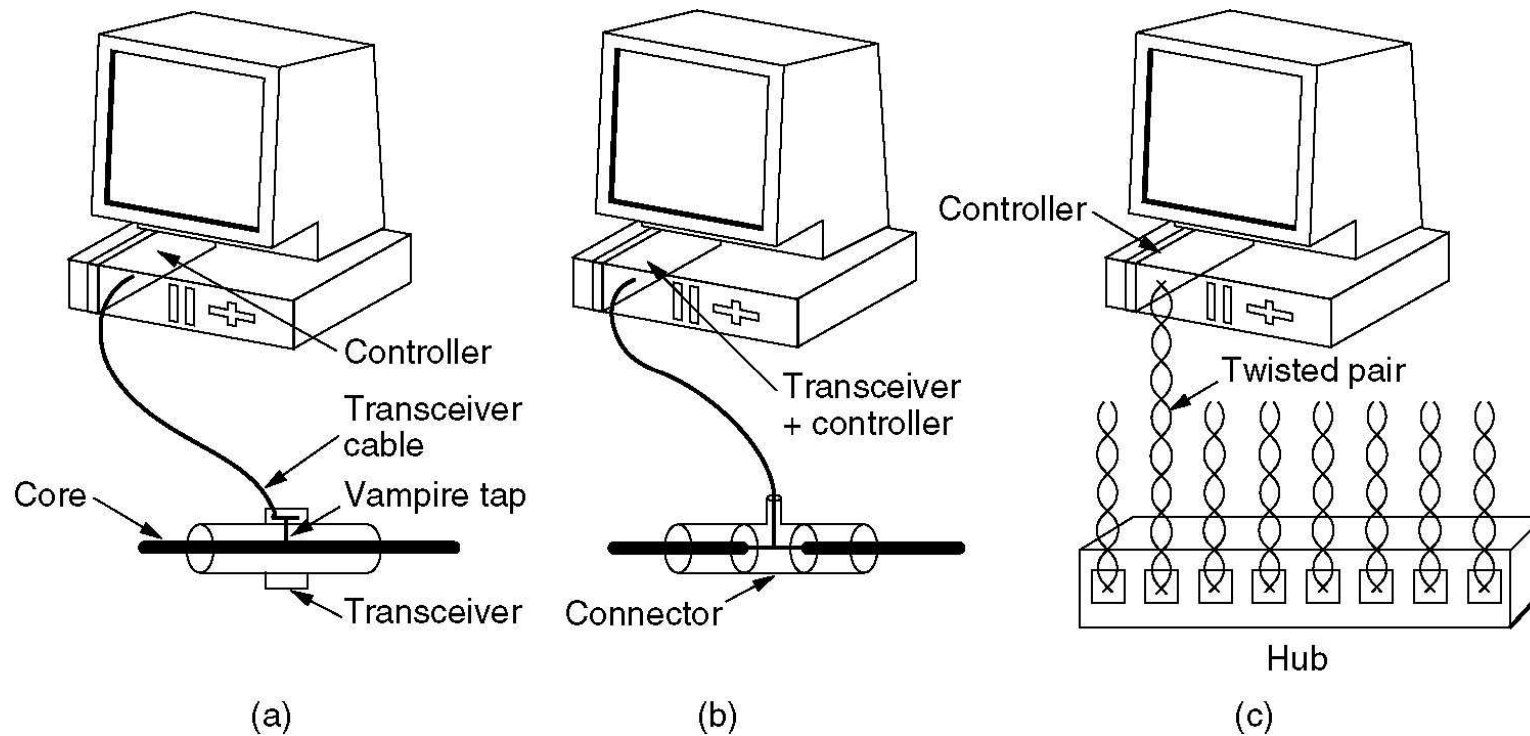
[http://grouper.ieee.org/groups/802/3/ethernet\\_diag.html](http://grouper.ieee.org/groups/802/3/ethernet_diag.html)

<http://www.acm.org/classics/apr96>

# IEEE 802.3

- Padrão define uma família de redes CSMA/CD 1-*persistent* com velocidades de
  - ◆ 10 Mbps – IEEE 802.3 (Ethernet)
  - ◆ 100 Mbps – IEEE 802.3u (Fast Ethernet)
  - ◆ 1 Gbps – IEEE 802.3z (Gigabit Ethernet)
  - ◆ 10 Gbps – IEEE 802.3a{knp} (10G Ethernet)

# IEEE 802.3: Cabeamento



Three kinds of Ethernet cabling. (a) 10Base5, (b) 10Base2, (c) 10Base-T

# IEEE 802.3: Codificação Manchester

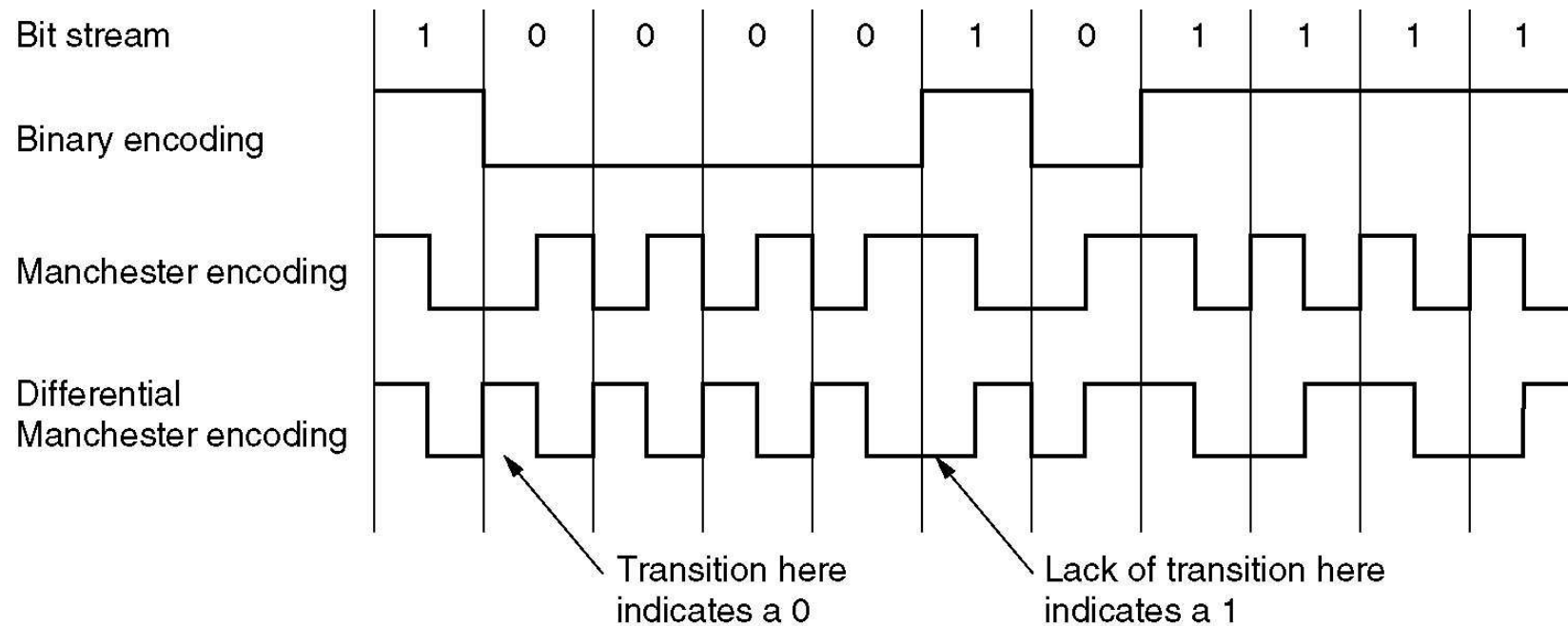
- Baseado em métodos que não fazem referência a um *clock* externo
- Cada período de transmissão de um bit é dividido em dois intervalos idênticos
  - ◆ Princípio: sempre ocorre uma transição entre os intervalos
- Requer o dobro de BW comparado com codificação direta em binário

# IEEE 802.3: Codificação Manchester

- Codificação Manchester:
  - ◆ Formato fixo
- Codificação Manchester Diferencial:
  - ◆ Bit 0: transição no início de um bit
  - ◆ Bit 1: não há transição

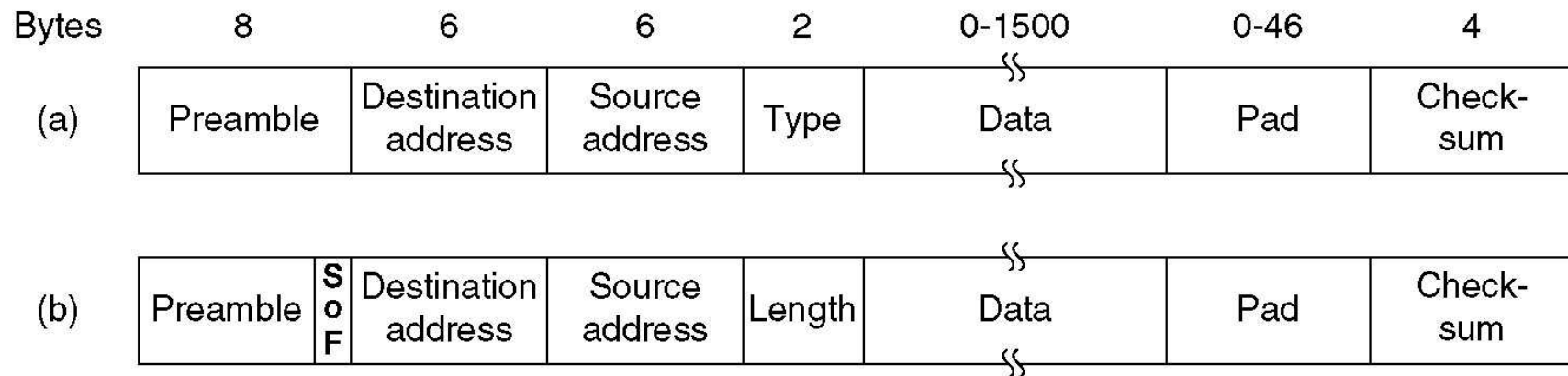


# IEEE 802.3: Codificação Manchester



(a) Binary encoding, (b) Manchester encoding, (c) Differential Manchester encoding

# IEEE 802.3: Quadro



Frame formats. (a) DIX (DEC, Intel & Xerox) Ethernet, (b) IEEE 802.3

# Protocolo IEEE 802.3

- Preâmbulo (10101010) usado para sincronização entre RX e TX
- Início de quadro: 10101011
- Endereço:
  - ▶ bit 47 = 0: para outra estação
  - ▶ bit 47 = 1: *multicast*
  - ▶ todos bits = 1: *broadcast*
  - ▶ bit 46 = endereço local ou global

# Protocolo IEEE 802.3

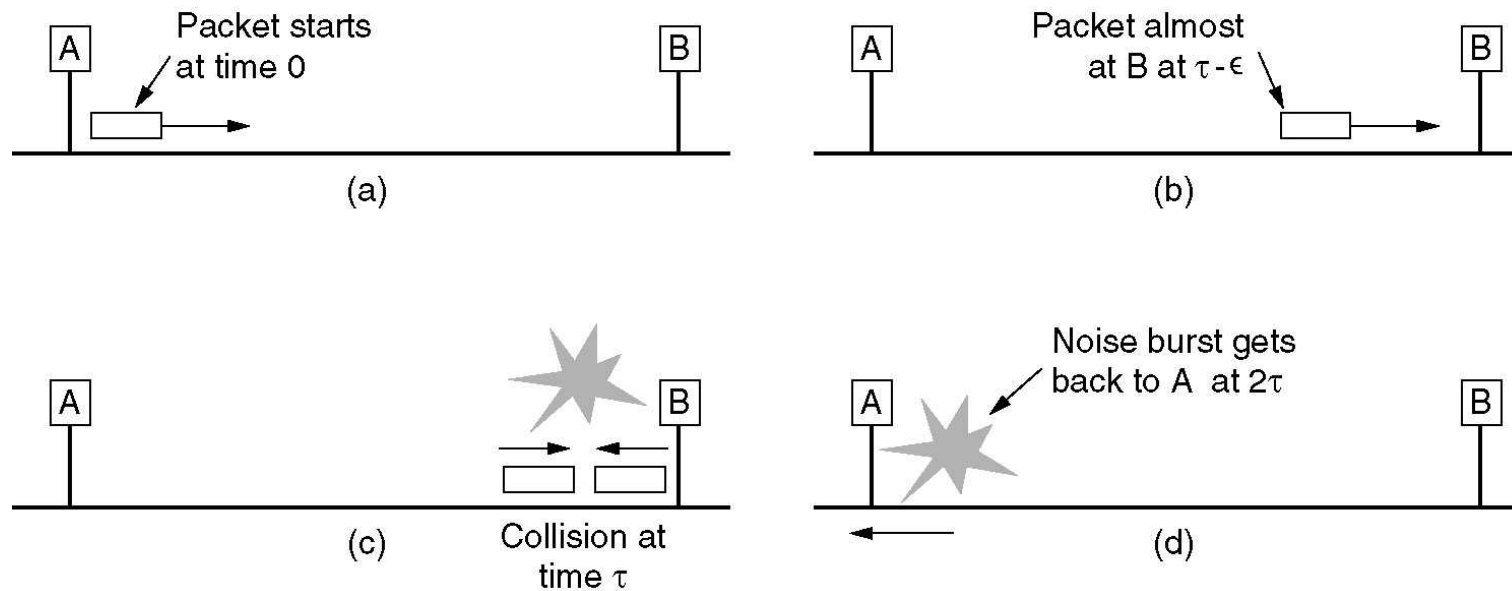
- Endereço:
  - ◆ Camada de rede responsável por localizar estação no caso endereço global
- Comprimento do campo de dados  $\leq 1500$  bytes

# Protocolo IEEE 802.3

## ■ *Pad*:

- ◆ Campo de dados deve ser  $\geq 46$
- ◆ Caso contrário,  $pad = 46 - \text{esse valor}$
- ◆ Prevenir que uma estação termine de transmitir um quadro antes do primeiro bit chegar no extremo do cabo e ocorra uma colisão

# Protocolo IEEE 802.3



Collision detection can take as long as  $2\tau$

# Protocolo IEEE 802.3

- Por que 64 bytes?
- Para uma rede a
  - ◆ 10 Mbps,
  - ◆ comprimento máximo de 2500 metros, e
  - ◆ quatro repetidores
  - ◆ Tempo mínimo de transmissão = 51  $\mu$ s
  - ◆ Tamanho mínimo do quadro = 64 bytes

# Protocolo IEEE 802.3:

## Algoritmo de espera

- Ao ocorrer uma colisão, as estações devem esperar (sortear) um intervalo de tempo de espera
- Modelo:
  - ◆ Tempo é dividido em intervalos (*slots*) =  $51.2 \mu\text{s}$
- Algoritmo (*binary exponential backoff*)



# Protocolo IEEE 802.3:

## Algoritmo de espera

- *Slots* de espera:
  - ◆ Número inteiro no intervalo  $[0 .. 2^c - 1]$ , onde  $c$  é o número de colisões consecutivas
  - ◆ Para  $c$  de 10 a 16 o nº máximo de *slots* é 1023
  - ◆ Valor máximo de  $c$  é 16, quando a tentativa de transmitir é encerrada

# Protocolo IEEE 802.3:

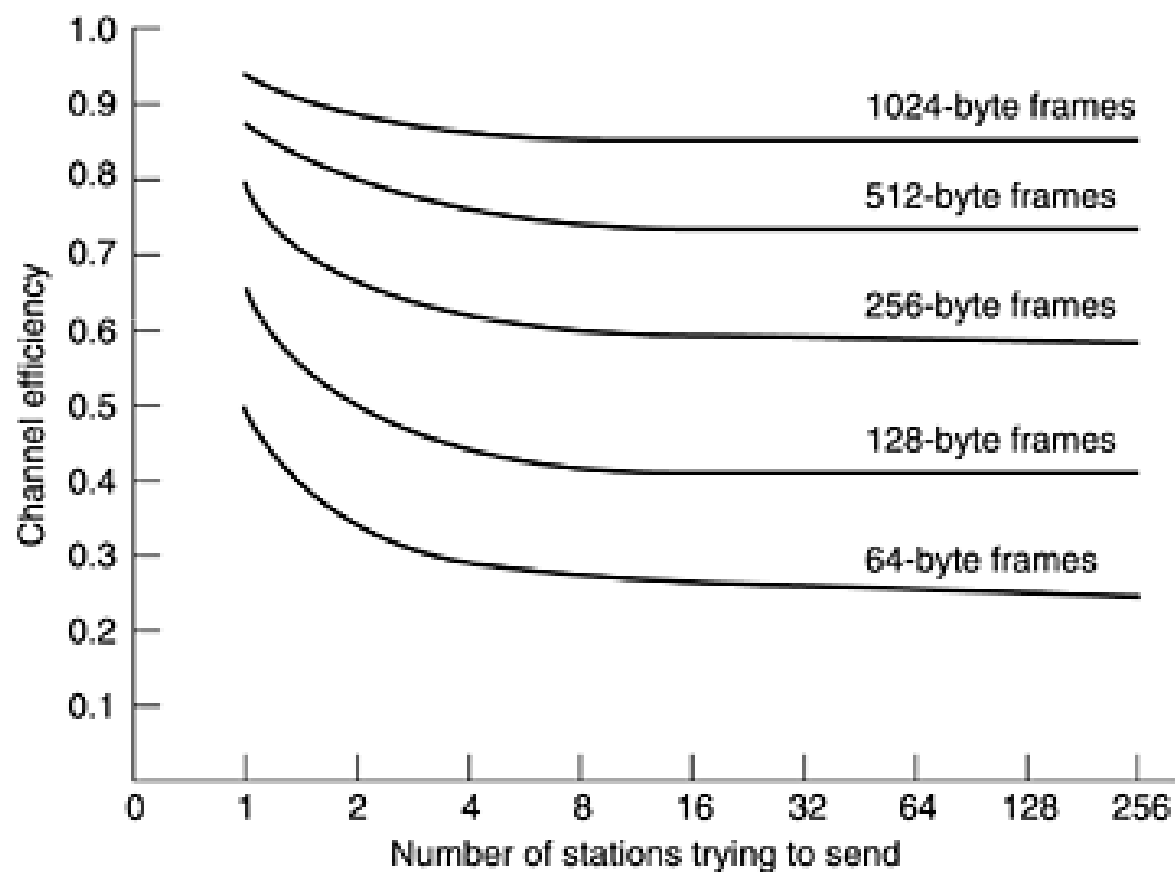
## Algoritmo de espera

- Ausência de colisão não garante recepção correta
  - ◆ Pode ocorrer erro de *checksum*
- CSMA/CD não provê confirmação
- Forma simples e rápida de permitir confirmação:
  - ◆ Reservar o primeiro *slot*, após uma transmissão com sucesso, para o destinatário

# Observações sobre o desempenho do padrão 802.3

- Muito estudo analítico foi feito considerando que o tráfego segue uma distribuição de Poisson
  - ◆ Tráfego real é auto-similar (*self-similar*)
- Auto-similaridade significa, por exemplo, que:
  - ◆ Variância do número médio de pacotes transmitidos em cada minuto de uma hora é similar ao número médio de pacotes transmitidos em cada segundo de um minuto

# Desempenho do padrão 802.3



# Lista de Exercícios 4

20. (Tanenbaum, Cap 4, #16). What is the baud rate of the standard 10-Mbps Ethernet?
21. (Tanenbaum, Cap 4, #17). Sketch the Manchester encoding for the bit stream: 0001110101.
22. (Tanenbaum, Cap 4, #18). Sketch the differential Manchester encoding for the bit stream of the previous problem. Assume the line is initially in the low state.
23. (Tanenbaum, Cap 4, #19). A 1-km-long, 10-Mbps CSMA/CD LAN (not 802.3) has a propagation speed of 200 m/ $\mu$ sec. Repeaters are not allowed in this system. Data frames are 256 bits long, including 32 bits of header, checksum, and other overhead. The first bit slot after a successful transmission is reserved for the receiver to capture the channel in order to send a 32-bit acknowledgement frame. What is the effective data rate, excluding overhead, assuming that there are no collisions?

# Lista de Exercícios 4

24. (Tanenbaum, Cap 4, #22.) An IP packet to be transmitted by Ethernet is 60 bytes long, including all its headers. If LLC is not in use, is padding needed in the Ethernet frame, and if so, how many bytes?
25. (Tanenbaum, Cap 4, #23. Ethernet frames must be at least 64 bytes long to ensure that the transmitter is still going in the event of a collision at the far end of the cable. Fast Ethernet has the same 64-byte minimum frame size but can get the bits out ten times faster. How is it possible to maintain the same minimum frame size?