

# Redes de Computadores

## Capítulo 5 – Camada de Enlace e Redes Locais

Prof. Jó Ueyama  
Junho/2017



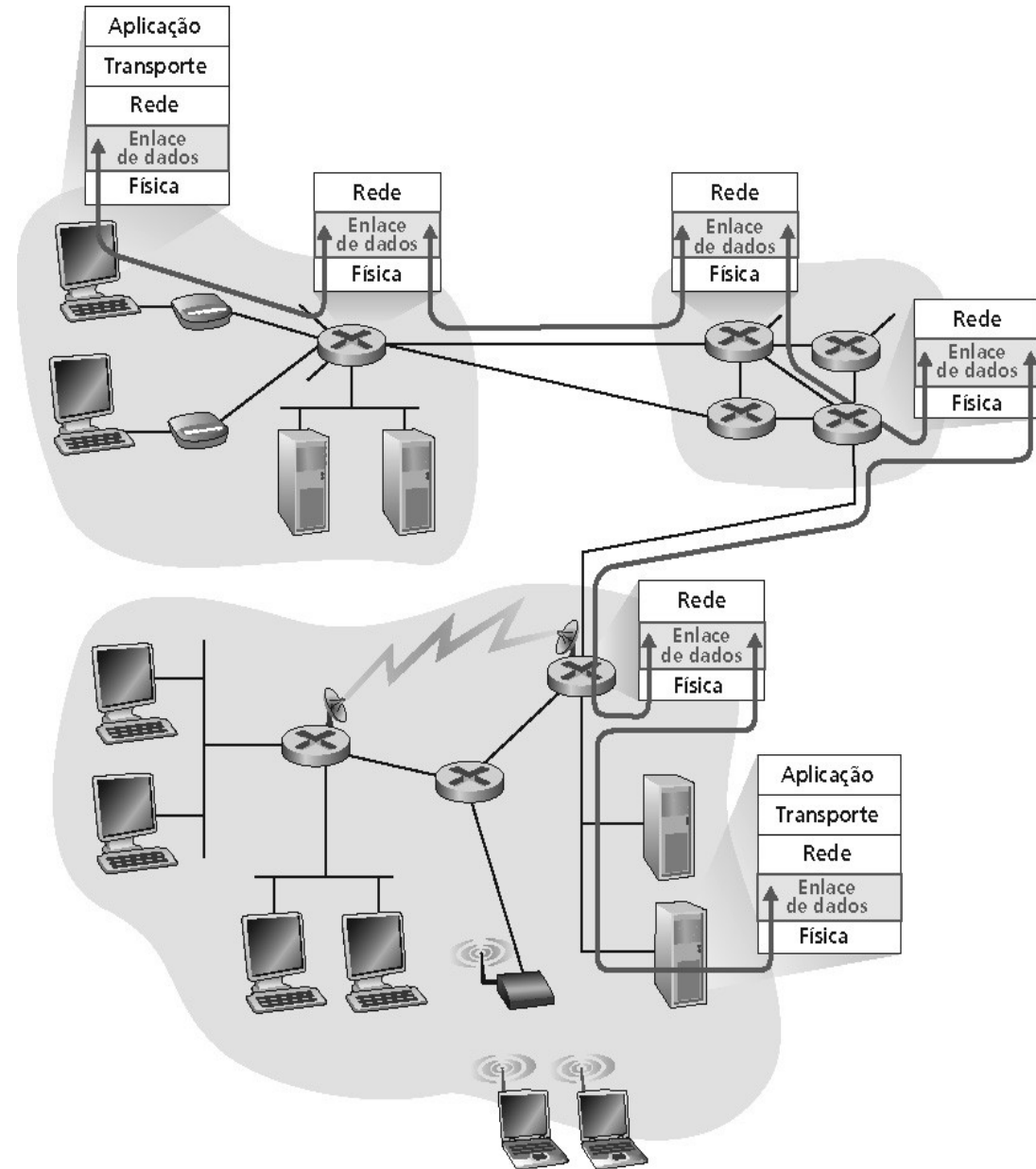
# Modelo Internet

- ! **Aplicação:** suporta as aplicações de rede.
  - FTP, SMTP, HTTP.
- ! **Transporte:** transferência de dados processo a processo (fim-a-fim).
  - TCP, UDP
- ! **Rede:** encaminhamento de datagramas da origem ao destino, determinação de rotas.
  - IP, protocolos de roteamento
- ! **Enlace:** transferência de dados entre elementos vizinhos da rede.
  - Ethernet, Wi-Fi
- ! **Física:** bits “nos fios dos canais” (sem software).

# Introdução

- **Terminologias:**

- ! Nó = hospedeiro ou roteador
- ! Enlace = canal de comunicação que conecta nós adjacentes ao longo do caminho.
- ! Quadro = unidade de dados da camada 2, encapsula o datagrama.
- **A camada de enlace tem a responsabilidade de transferir um datagrama de um nó para o nó adjacente sobre um enlace.**





# Serviços da Camada de Enlace

- ! Enquadramento:
  - encapsula datagramas em quadros acrescentando cabeçalhos e trailer.
- ! Acesso ao enlace:
  - implementa acesso ao canal -> protocolos MAC (Medium Access Control).



# Serviços da Camada de Enlace (cont.)

- ! Entrega confiável:
  - ! implementado através de reconhecimentos e retransmissões.
  - ! raramente usado em enlaces com baixa taxa de erro (fibra, alguns tipos de par de fios trançados de cobre).
  - ! enlaces sem fio (wireless): altas taxas de erro.



# Serviços da Camada de Enlace (cont.)

- ! Controle de fluxo:
  - limitação da transmissão entre transmissor e receptor.
- ! Detecção de erros:
  - erros causados pela atenuação do sinal e por ruídos;
  - receptor detecta a presença de erros e avisa o transmissor para reenviar o quadro perdido.

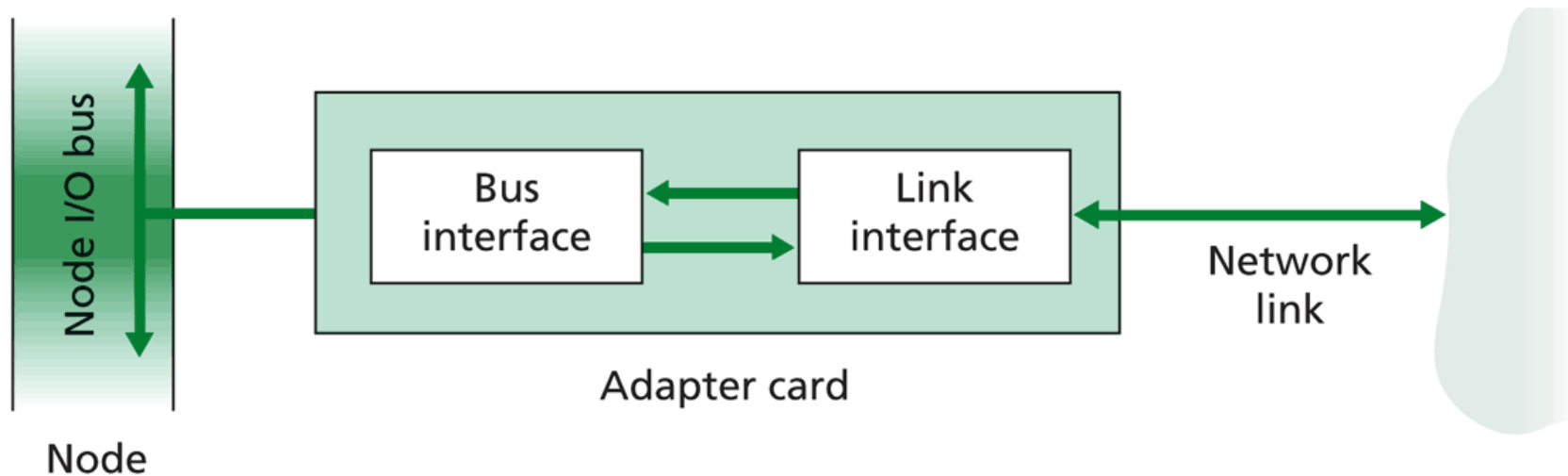


# Serviços da Camada de Enlace (cont.)

- ! Correção de erros:
  - receptor identifica e **corrige** o bit com erro(s) sem recorrer à retransmissão.
- ! Half-duplex e full-duplex:
  - com *half-duplex*, os nós em ambas as extremidades do enlace podem transmitir, mas não ao mesmo tempo.

# Comunicação por Adaptadores

- ! Camada de enlace implementada no “adaptador” (isto é, NIC)
  - ! placa Ethernet, 802.11.
- ! Adaptador é semi-autônomo.
- ! Camadas de enlace e física.



**Figure 5.3** ♦ The adapter is a semi-autonomous unit.





# Comunicação por Adaptadores

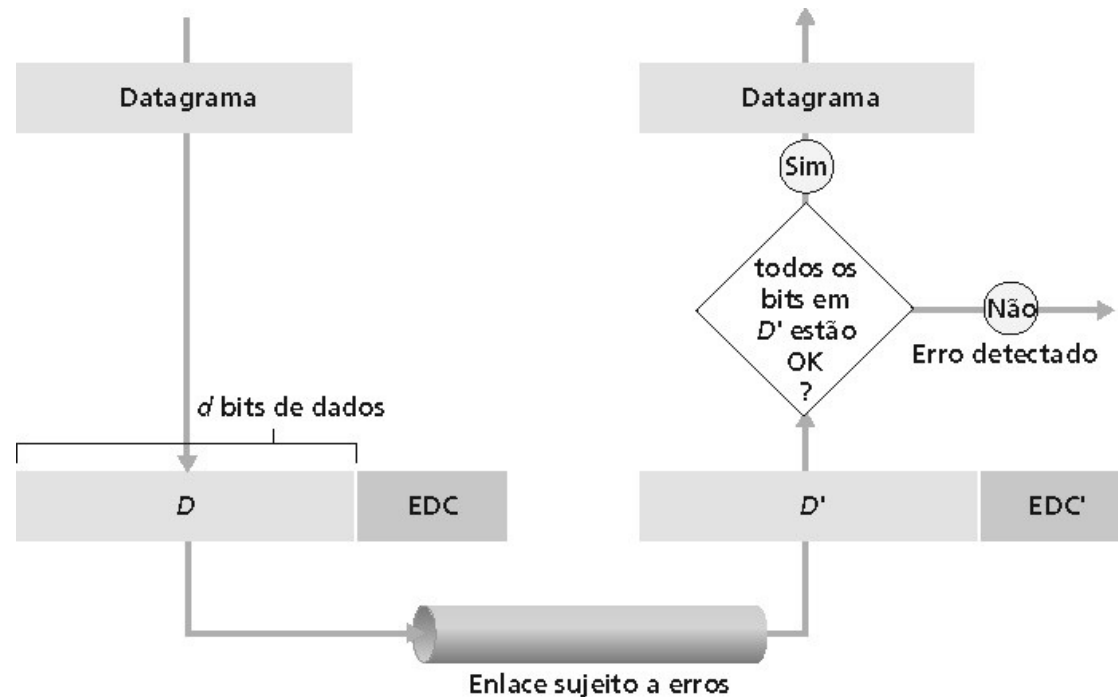
- ! Lado transmissor:
  - ! encapsula o datagrama em um quadro
  - ! adiciona bits de verificação de erro, transmissão confiável, controle de fluxo, etc.
- ! Lado receptor:
  - ! procura erros, transmissão confiável, controle de fluxo, etc.
  - ! extrai o datagrama, passa para o lado receptor.



# Técnicas de Detecção e Correção de Erros

# Detecção de Erros

- EDC= Bits de detecção e correção de erros.
- D = Dados protegidos pela verificação de erros; podem incluir os campos de cabeçalho.
- A detecção de erros não é 100% confiável!
- Protocolos podem deixar passar alguns erros, mas é raro...





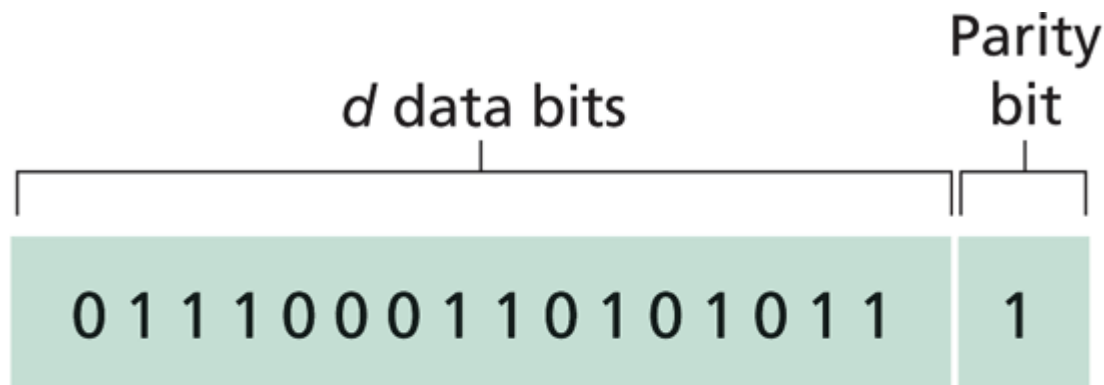
# Técnicas de Detecção de Erros

- Verificação de paridade:
  - ! idéias básicas de detecção e correção de erros.
- Somas de Verificação:
  - ! mais utilizados na camada de transporte.
- Implementados em hardware para melhorar o desempenho.
- Presentes na camada de enlace (nos NICs).



# Verificação de Paridade

- **Paridade com bit único:** detecta erro de um único bit.
- **Esquema de paridade par:**  $d$  bits de dados + 1 de paridade devem conter número par de bits 1.



**Figure 5.5** ♦ One-bit even parity

# Verificação de Paridade

- **Paridade Bidimensional:**

- ! permite identificar e corrigir **um** bit errado!
- ! também detecta qualquer combinação de dois erros.
- ! conhecida como FEC (Forward Error Correction).

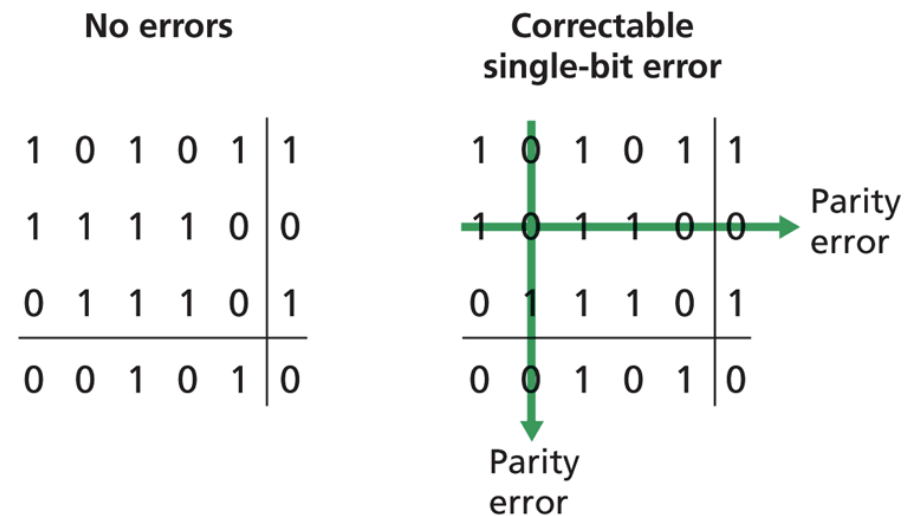
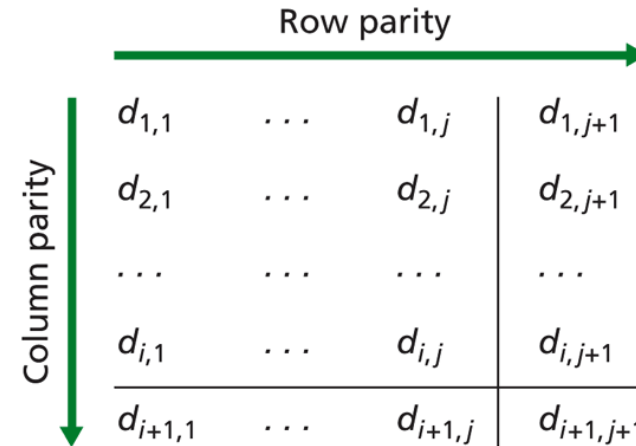


Figure 5.6 ♦ Two-dimensional even parity



# Protocolos de Acesso Múltiplo

# Enlaces e Protocolos de Múltiplo Acesso

! Dois tipos de enlace

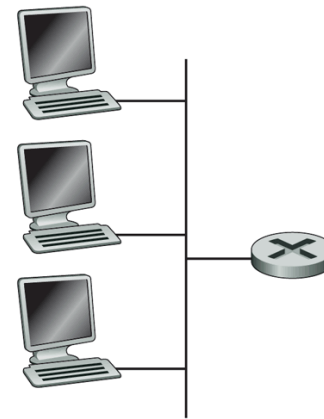
! Ponto-a-ponto (fio único).

- PPP (prot. ponto a ponto dedicado)

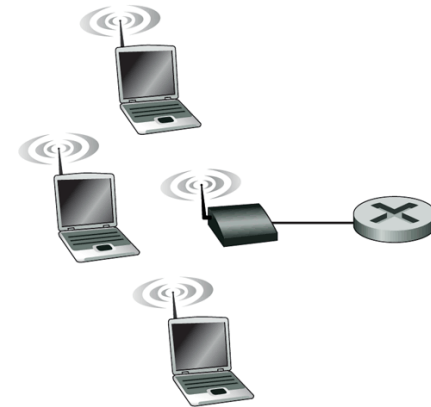
! Broadcast (meio compartilhado);

- Ethernet;
- rede sem fio (IEEE 802.11).

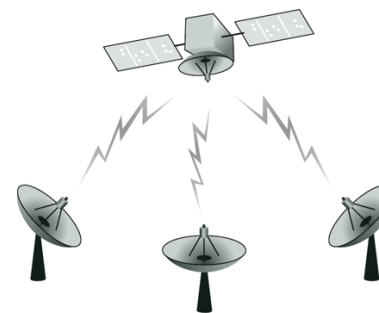
Shared wire  
(for example, Ethernet)



Shared wireless  
(for example, Wifi)



Satellite



Cocktail party



Figure 5.9 ♦ Various multiple access channels





# Acesso ao Meio Compartilhado

- ! Canal de comunicação único e compartilhado.
- ! Duas ou mais transmissões simultâneas pelos nós geram interferência.
- ! Se um nó receber dois ou mais sinais ao mesmo tempo ocorre **colisão!**
- ! Assim, é necessário coordenar o acesso ao meio!
  - papel dos protocolos MAC (Medium Access Control).



# Protocolos de Múltiplo Acesso

- ! Algoritmo distribuído que determina como as estações compartilham o canal, isto é, determinam quando cada estação pode transmitir.
- ! Comunicação sobre o compartilhamento do canal deve utilizar o próprio canal!  
Nenhum canal fora-de-banda para coordenação.



# Protocolo Ideal de Acesso

Canal de broadcast de taxa  $R$  bps.

Quando um nó quer transmitir, ele pode enviar a uma taxa  $R$ .

Totalmente descentralizada:

nenhum nó especial para coordenar transmissões;

nenhuma sincronização de relógios e compartimentos.



# Formas de Acesso Múltiplo

## 1) Divisão de canal

Divide o canal em compartimentos (tempo, frequência);

Aloca um 'pedaço' para uso de cada nó.

## 2) Acesso aleatório:

Canal não dividido, permite colisões;

“Recuperação” das colisões.

## 3) Passagem de revezamento:

Seleção (*polling*): nó coordenador;

Passagem de permissão (*token*).



# Protocolos de Divisão de Canal: TDMA

TDMA: acesso múltiplo por divisão temporal.  
Acesso ao canal é feito por “turnos” (TDM).  
Cada estação controla um compartimento (“slot”) de tamanho fixo em cada turno.  
Compartimentos não usados são desperdiçados.



# Protocolos de Divisão de Canal: FDMA

FDMA: acesso múltiplo por divisão de frequência.

O espectro do canal é dividido em bandas de frequência (FDM).

Cada estação recebe uma banda de frequência.

Tempo de transmissão não usado nas bandas de frequência é desperdiçado.



# Protocolos de Acesso Aleatório

- ! Quando o nó tem um pacote a enviar:
  - ! transmite com toda a taxa do canal R;
  - ! não há uma regra de coordenação *a priori* entre os nós.
- ! Múltiplas transmissões -> “colisão”!
- ! Protocolo MAC de acesso aleatório específica:
  - ! como detectar colisões;
  - ! como as estações se recuperam das colisões.
- ! Exemplos:
  - ! slotted ALOHA, ALOHA, CSMA e CSMA/CD.



# Slotted Aloha - Suposições

- ! Todos os quadros de mesmo tamanho.
- ! Tempo dividido em slots de mesmo tamanho, tempo para transmitir 1 quadro.
- ! Nós começam a transmitir quadros apenas no início dos slots.
- ! Nós são sincronizados.
- ! Se 2 ou mais nós transmitem no slot, todos os nós detectam a colisão.



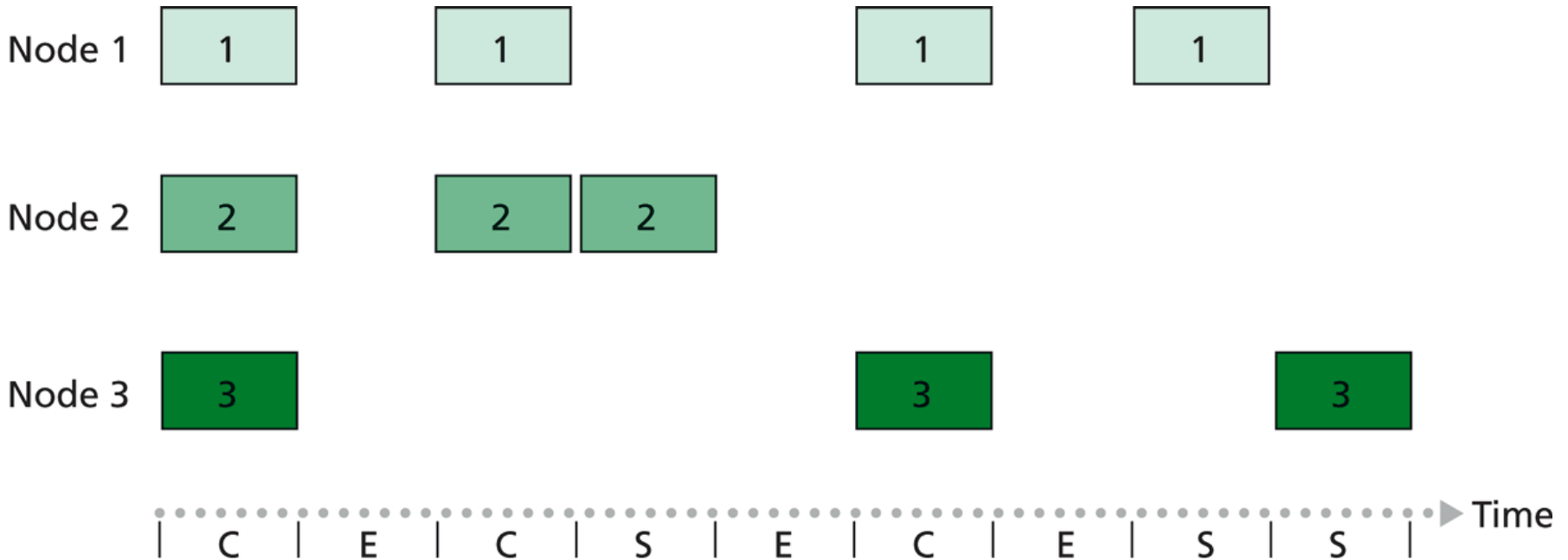


# Slotted Aloha - Operação

- ! Quando um nó obtém um novo quadro, ele transmite no próximo slot.
- ! Sem colisão, o nó pode enviar o novo quadro no próximo slot.
- ! Se há colisão, o nó retransmite o quadro em cada slot subsequente com probabilidade  $p$  até o sucesso.



# Slotted Aloha - Operação



Key:

C = Collision slot

E = Empty slot

S = Successful slot

**Figure 5.11** ♦ Nodes 1, 2, and 3 collide in the first slot. Node 2 finally succeeds in the fourth slot, node 1 in the eighth slot, and node 3 in the ninth slot.



# Slotted Aloha

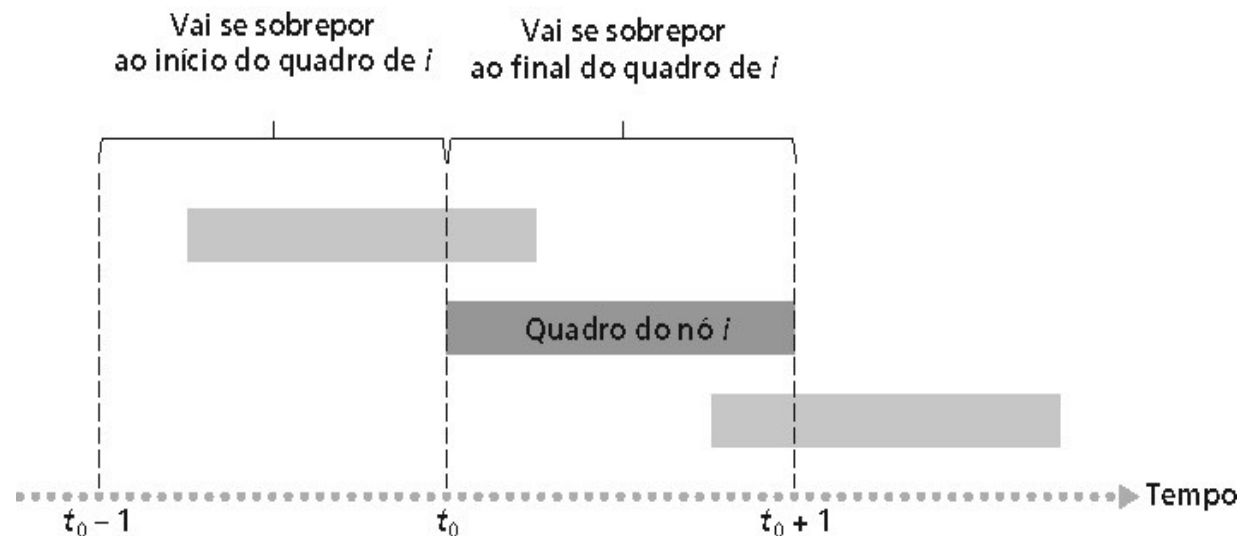
- **Vantagens:**
  - Um único nó ativo pode transmitir com a taxa completa de canal.
  - Altamente descentralizada: somente slots em nós precisam ser sincronizados.
  - Simple.
- **Desvantagens:**
  - Colisões, desperdício de slots.
  - Slots ociosos.
  - Sincronização de clock.



# Aloha puro (unslotted)

- ! Operação mais simples, não há sincronização.
- ! Quando um pacote precisa de transmissão é enviado sem esperar pelo início de um compartimento.
- ! A probabilidade de colisão aumenta:

Pacote enviado em  $t_0$  colide com outros pacotes enviados em  $[t_0-1, t_0+1]$





# CSMA

## Carrier Sense Multiple Access

Escuta antes de transmitir:

Se o canal parece vazio: transmite o pacote.

Se o canal está ocupado, adia a transmissão.

Analogia humana:

não interrompa os outros!



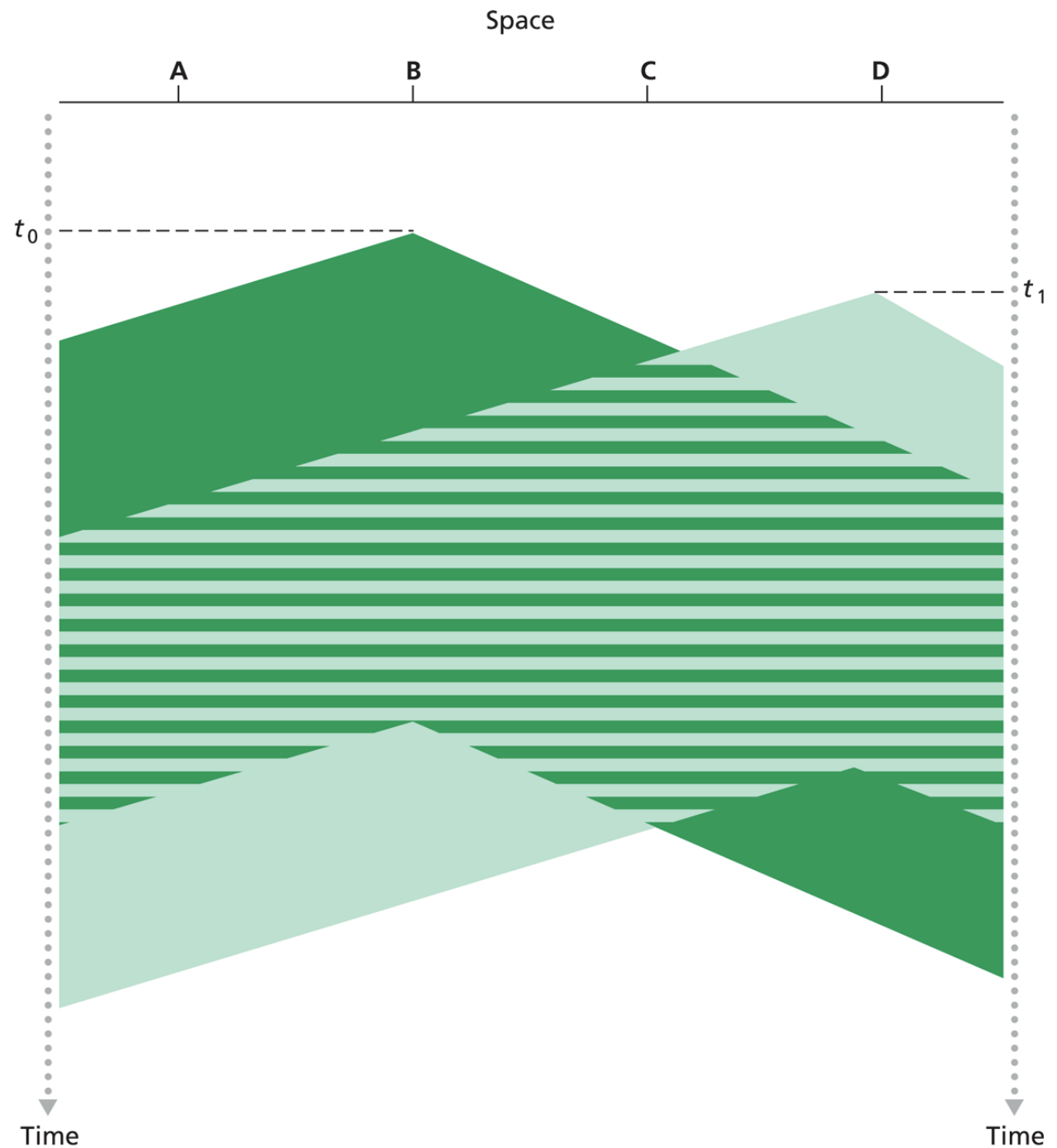
# CSMA - Colisões

- Colisões podem ocorrer:
  - o atraso de propagação implica que dois nós podem não ouvir as transmissões do outro!
- Colisão:
  - todo o tempo de transmissão do pacote é desperdiçado.



# CSMA

Observe o papel da distância e do atraso de propagação na determinação da probabilidade de colisão.



**Figure 5.13** ♦ Space-time diagram of two CSMA nodes with colliding transmissions



# CSMA/CD

CD = Collision Detection

Detecção de portadora, deferência como no CSMA.

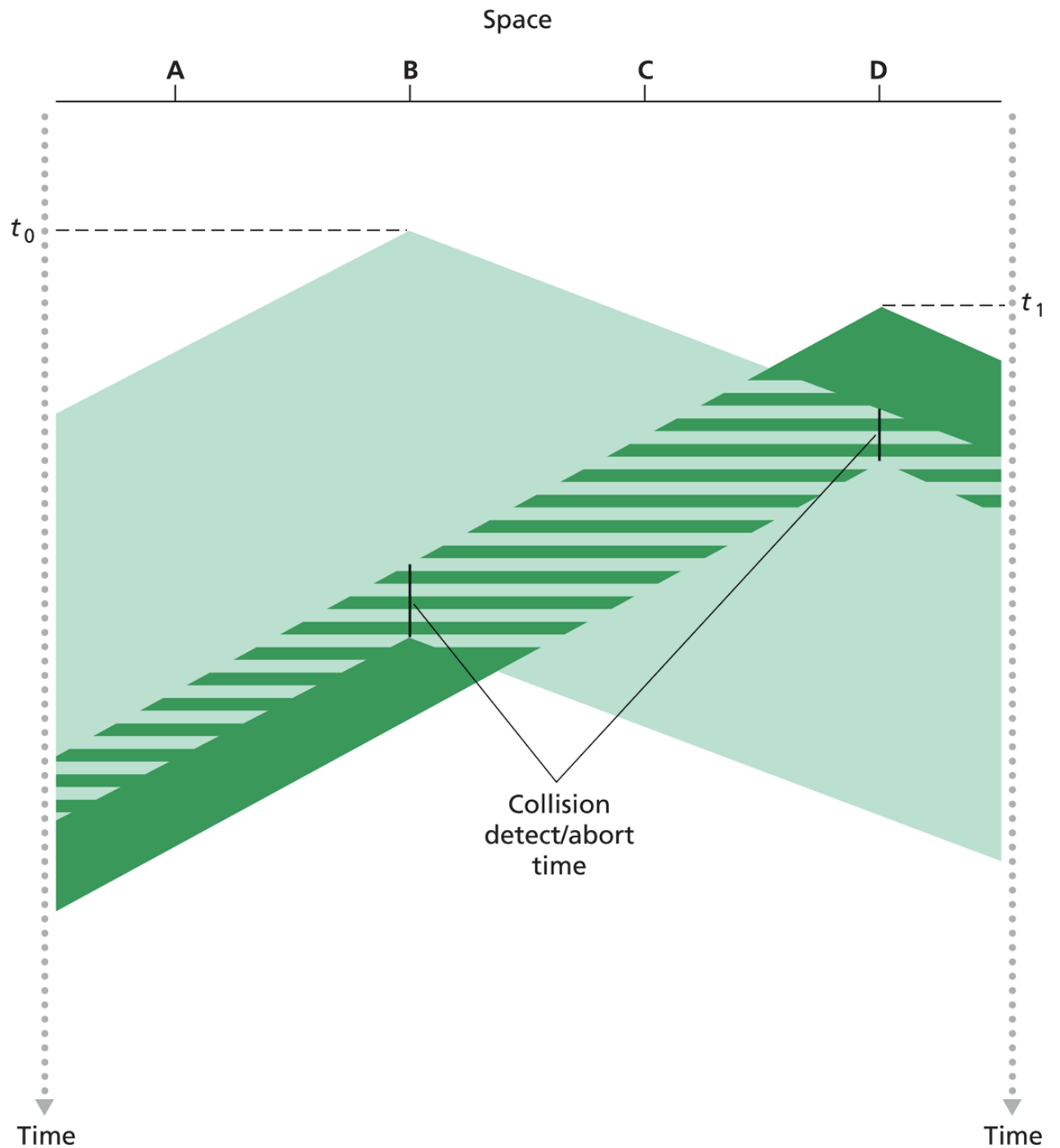
Colisões **detectadas** num tempo mais curto.

Transmissões com colisões são interrompidas, reduzindo o desperdício do canal.





# CSMA/CD



**Figure 5.14** ♦ CSMA with collision detection



# Protocolos MAC de Revezamento

Quando existir apenas um nó ativo: vazão de  $R$  Bps

Quando existirem  $n$  nós ativos: vazão de  $R/n$  (desejável)

Dois protocolos para maximizar a vazão, conhecidos como protocolos de revezamento

- Protocolo de polling

- Protocolo de passagem de permissão (token)



# Protocolos MAC de Revezamento

- Seleção (polling):  
Nó-mestre “convida” os escravos a transmitirem um de cada vez.  
  
Problemas: overhead; latência; ponto único de falha (mestre).
- Passagem de token (permissão):  
Controla um **token** passado de um nó a outro seqüencialmente.  
  
Problemas: overhead; latência; ponto único de falha (token).



# Protocolos MAC - Resumo

- ! Como se faz com um canal compartilhado?
- ! Divisão de canal:  
TDMA, FDMA
- ! Acesso aleatório (dinâmico):  
ALOHA, S-ALOHA, CSMA, CSMA/CD  
Detecção de portadora: fácil em alguns meios físicos (cabos) e difícil em outros (wireless)!  
CSMA/CD usado na rede Ethernet.
- ! Revezamento:  
Polling a partir de um site central, passagem de token.