

# Redes de Computadores

## Capítulo 5 – Camada de Enlace e Redes Locais

Prof. Jó Ueyama  
Junho/2013



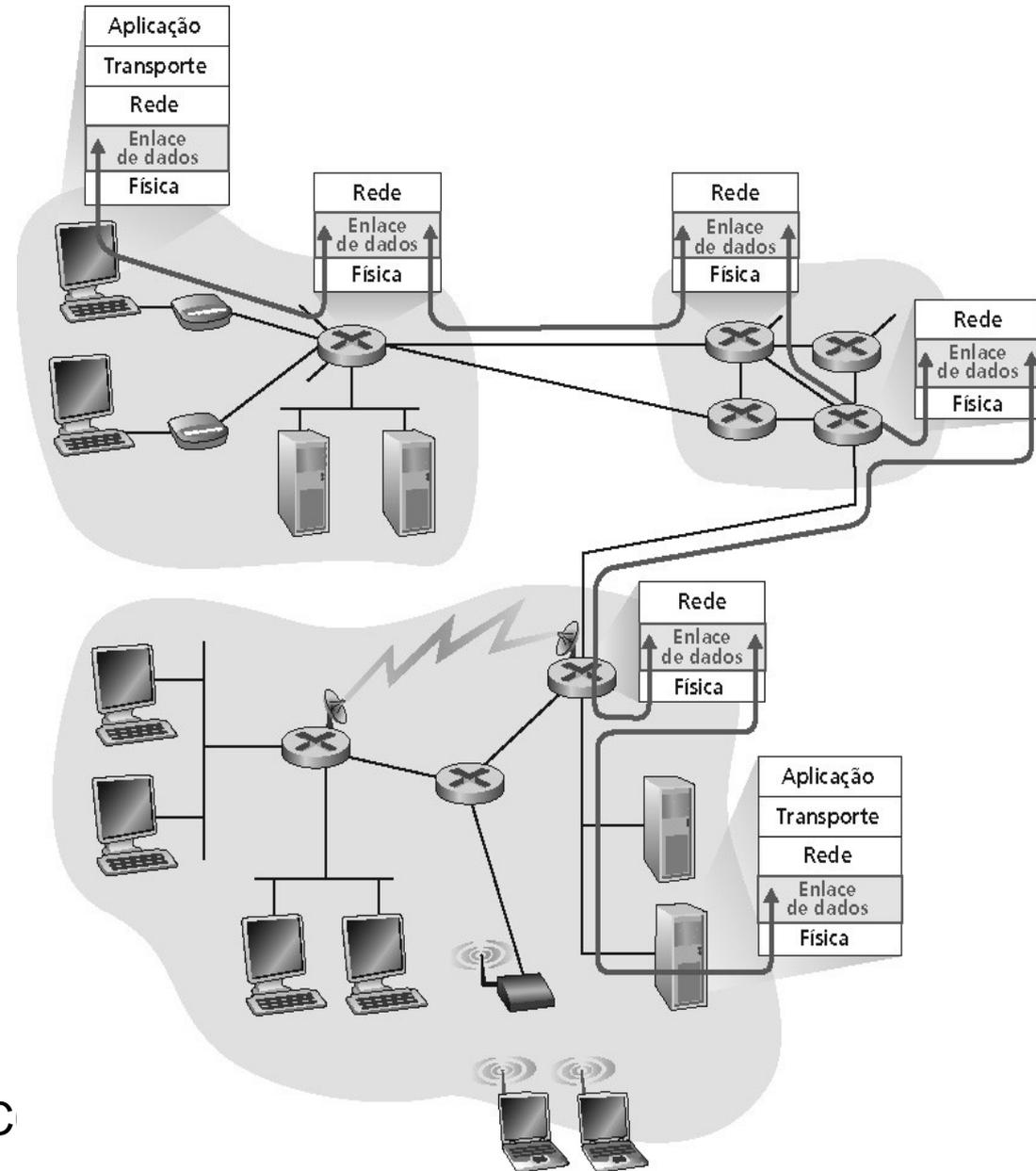
# Modelo Internet

- **Aplicação:** suporta as aplicações de rede.
  - FTP, SMTP, HTTP.
- **Transporte:** transferência de dados hospedeiro-hospedeiro (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.
  - PPP, Ethernet
- **Física:** bits “nos fios dos canais”.

# 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.

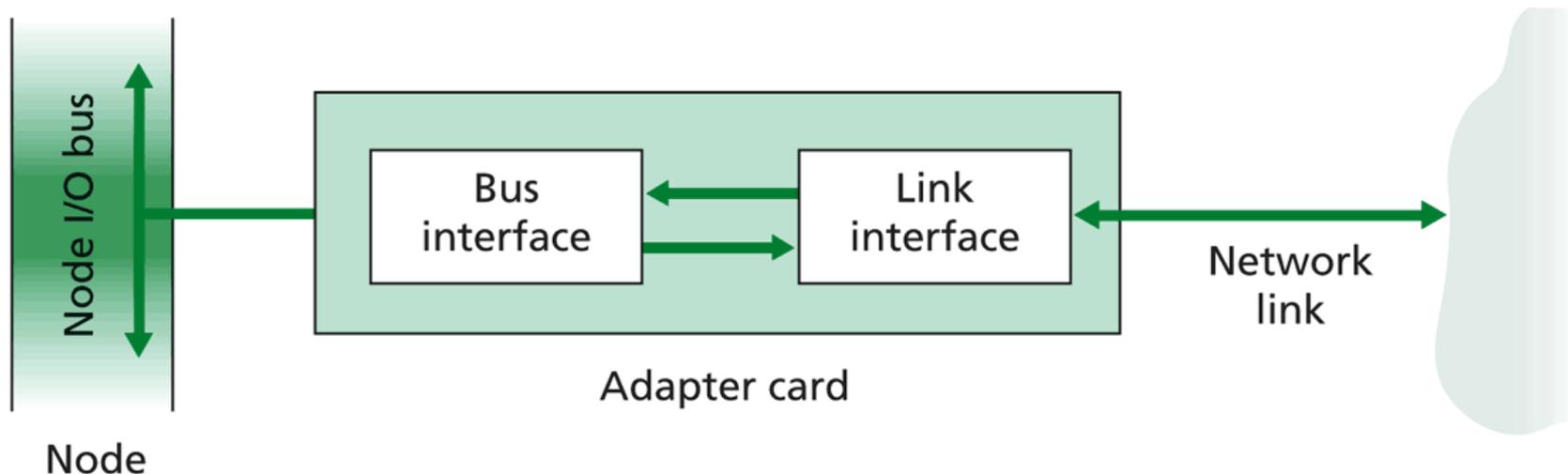


# Serviços da Camada de Enlace (cont.)

- 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





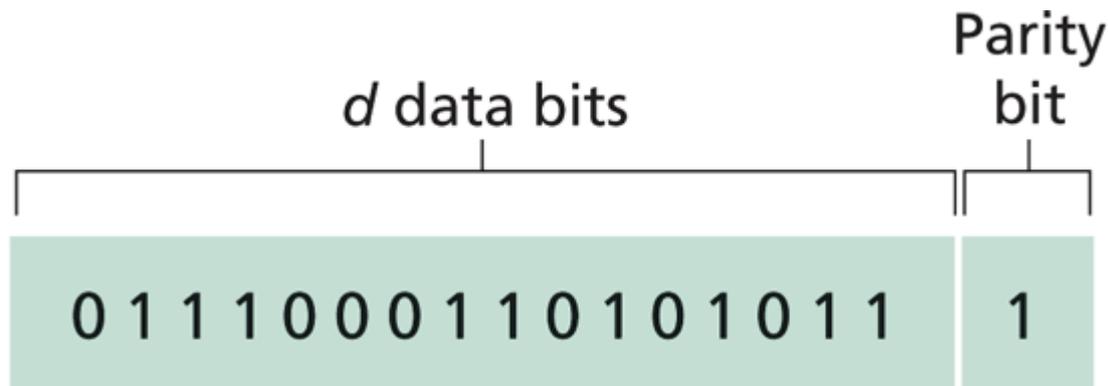
# Técnicas de Detecção de Erros

- Verificação de paridade:
  - idéias básicas de detecção e correção de erros.
- Somas de Verificação:
  - mais utilizados na camada de transporte.
- CRC (verificação de redundância cíclica):
  - normalmente empregadas na camada de enlace (NICs);
  - adotado em alguns protocolos (e.g. ATM).



# Verificação de Paridade

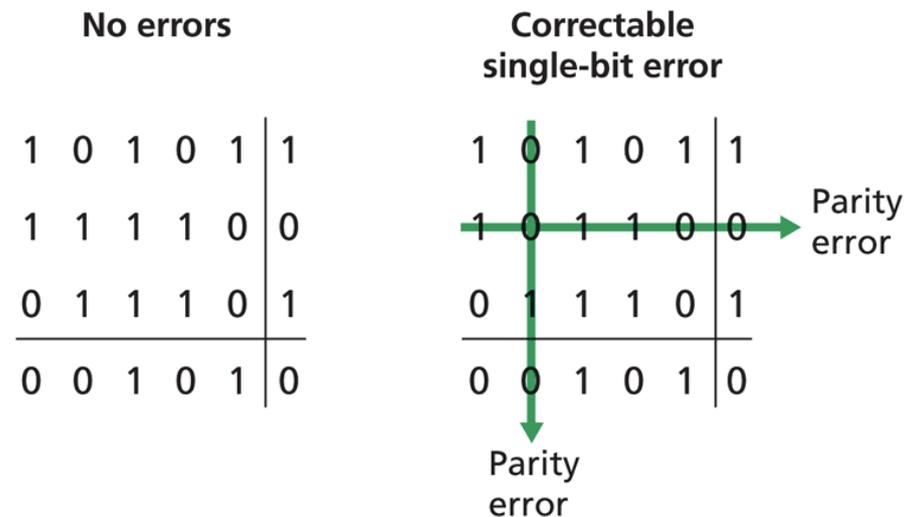
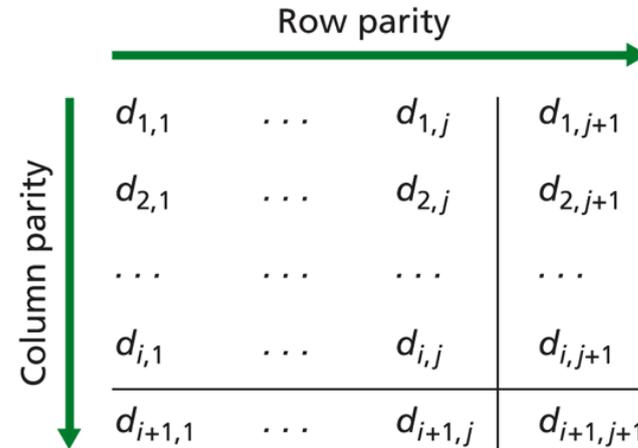
- **Paridade com bit único:** detecta erro de um único bit.
- **Esquema de paridade par:**  $d$  bits de dados + 1 de paridade devem conter número par de bits 1.



**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).





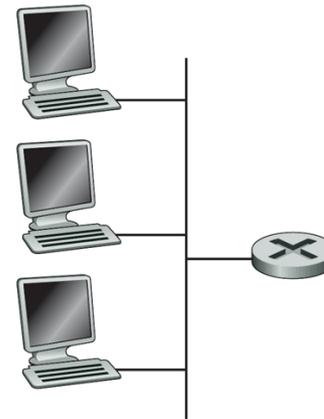
# Protocolos de Acesso Múltiplo

# 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).

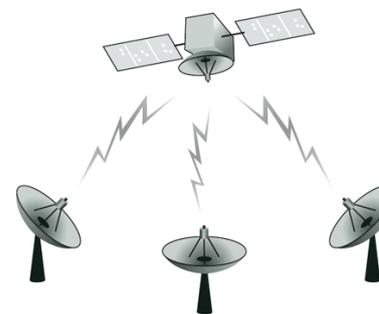
Shared wire  
(for example, Ethernet)



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.



# Taxonomia de Protocolos MAC

- ∇ Divisão de canal
  - divide o canal em compartimentos (tempo, frequência);
  - aloca um 'pedaço' para uso de cada nó.
- ∇ Acesso aleatório:
  - canal não dividido, permite colisões;
  - “recuperação” das colisões.
- ∇ 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 especifica:
  - 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.

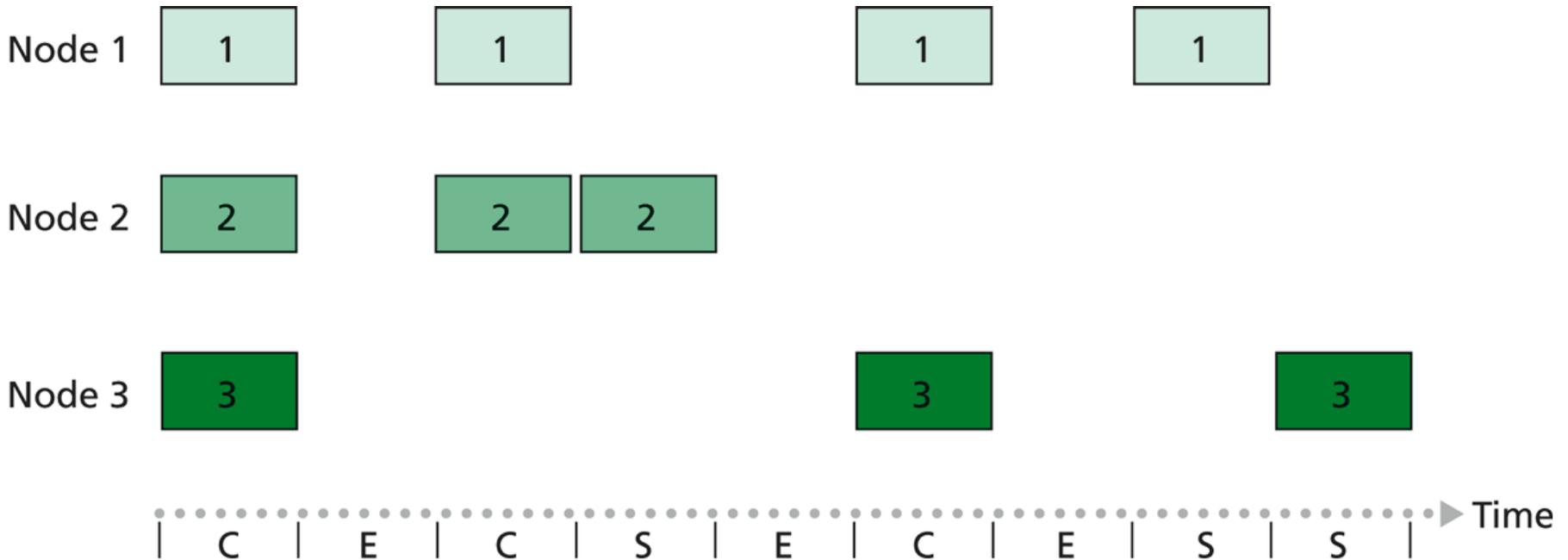


# Slotted Aloha - Operação

- ∇ 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

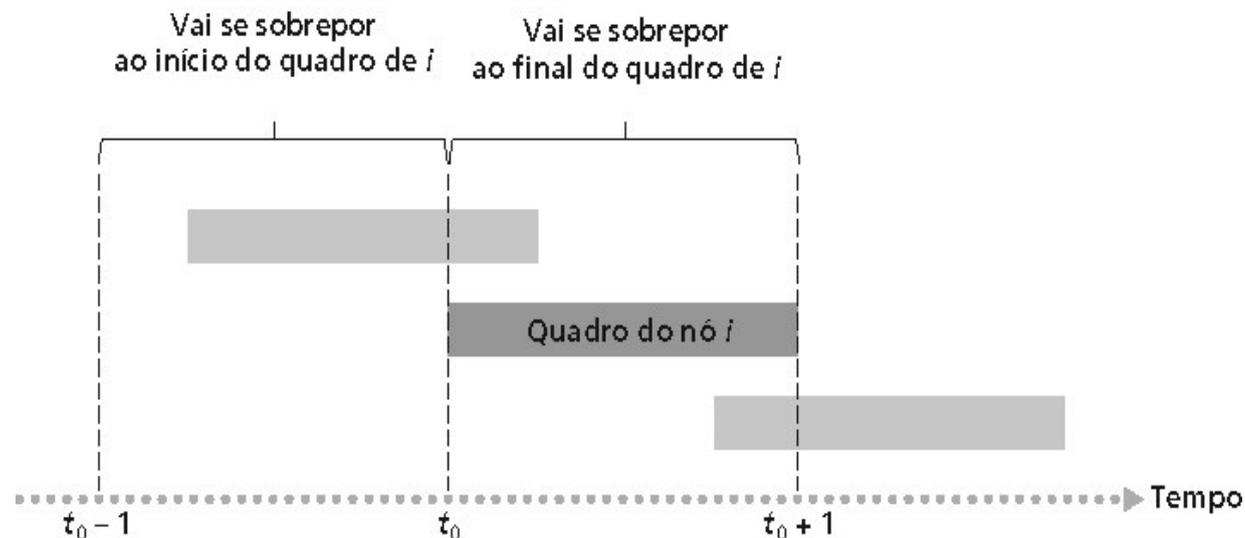
- **Vantagens:**
  - Um único nó ativo pode transmitir com a taxa completa de canal.
  - Altamente descentralizada: somente slots em nós precisam ser sincronizados.
  - Simple.
- **Desvantagens:**
  - Colisões, desperdício de slots.
  - Slots ociosos.
  - Sincronização de clock.



# 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!



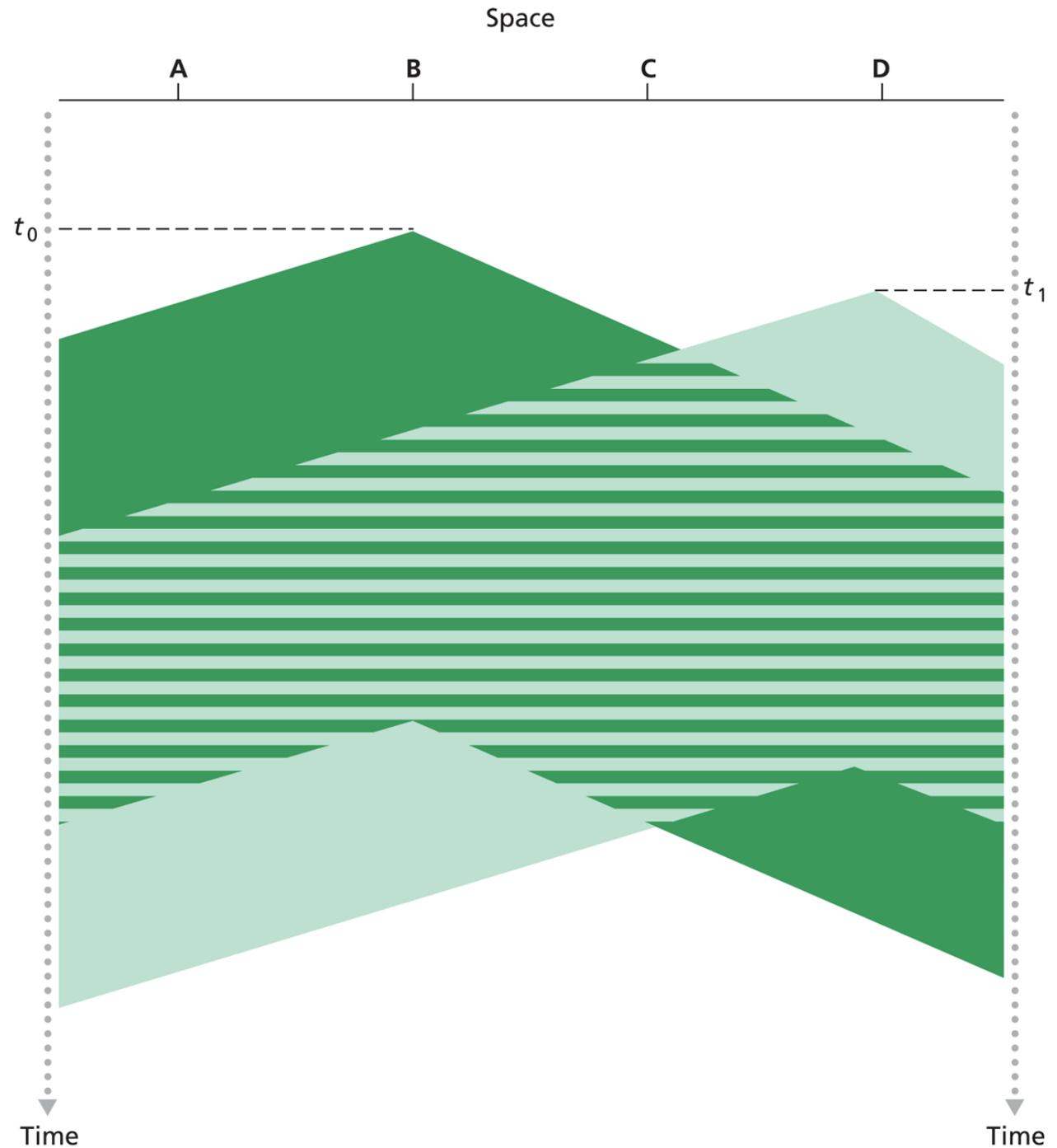
# CSMA - Colisões

- 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

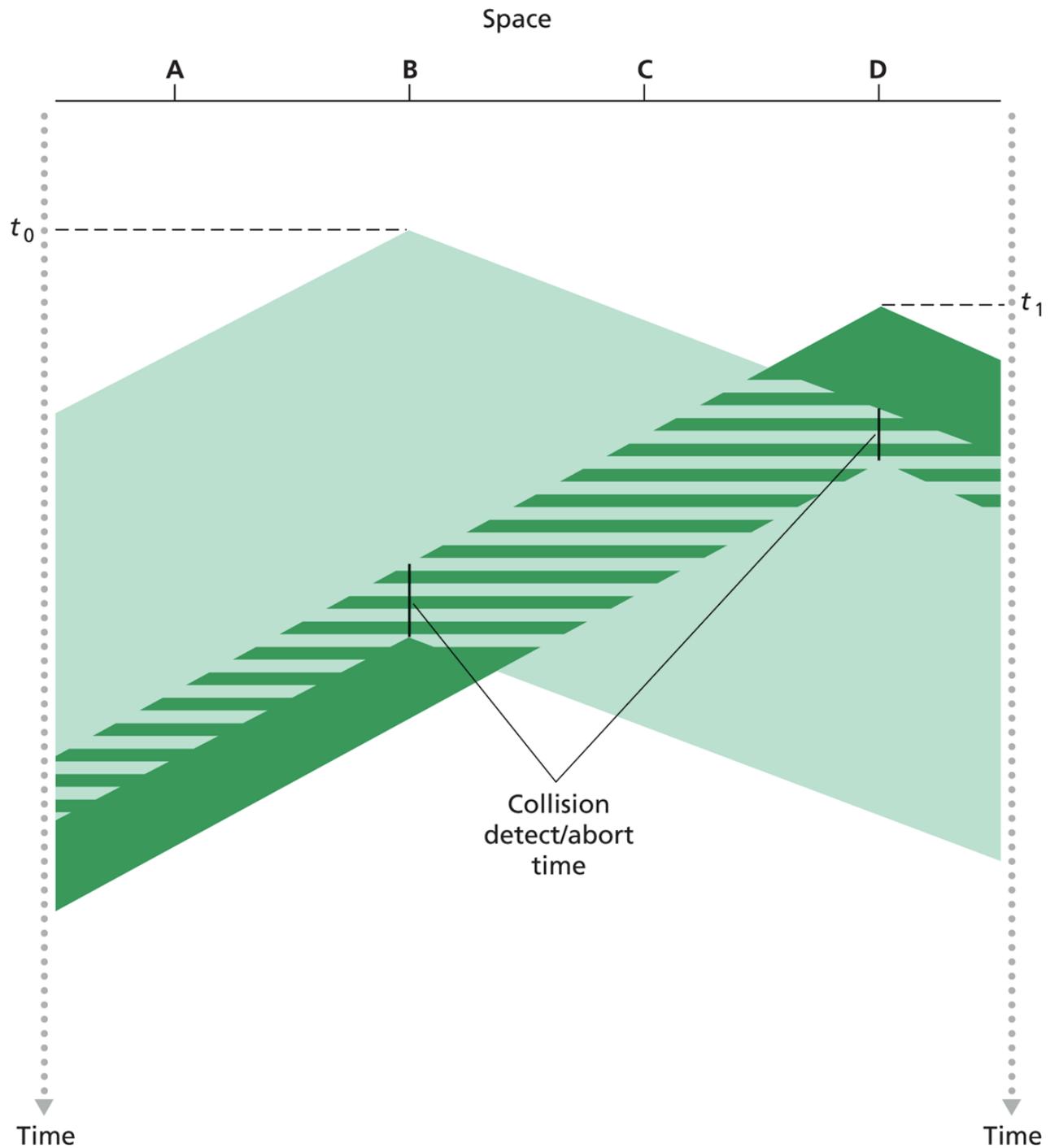
Detecção de portadora, deferência como no CSMA.

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.