

Cap. 5 – Nível “Data-link”

“Data-link” ou ligação de dados
ou ainda o nível canal

Nota prévia

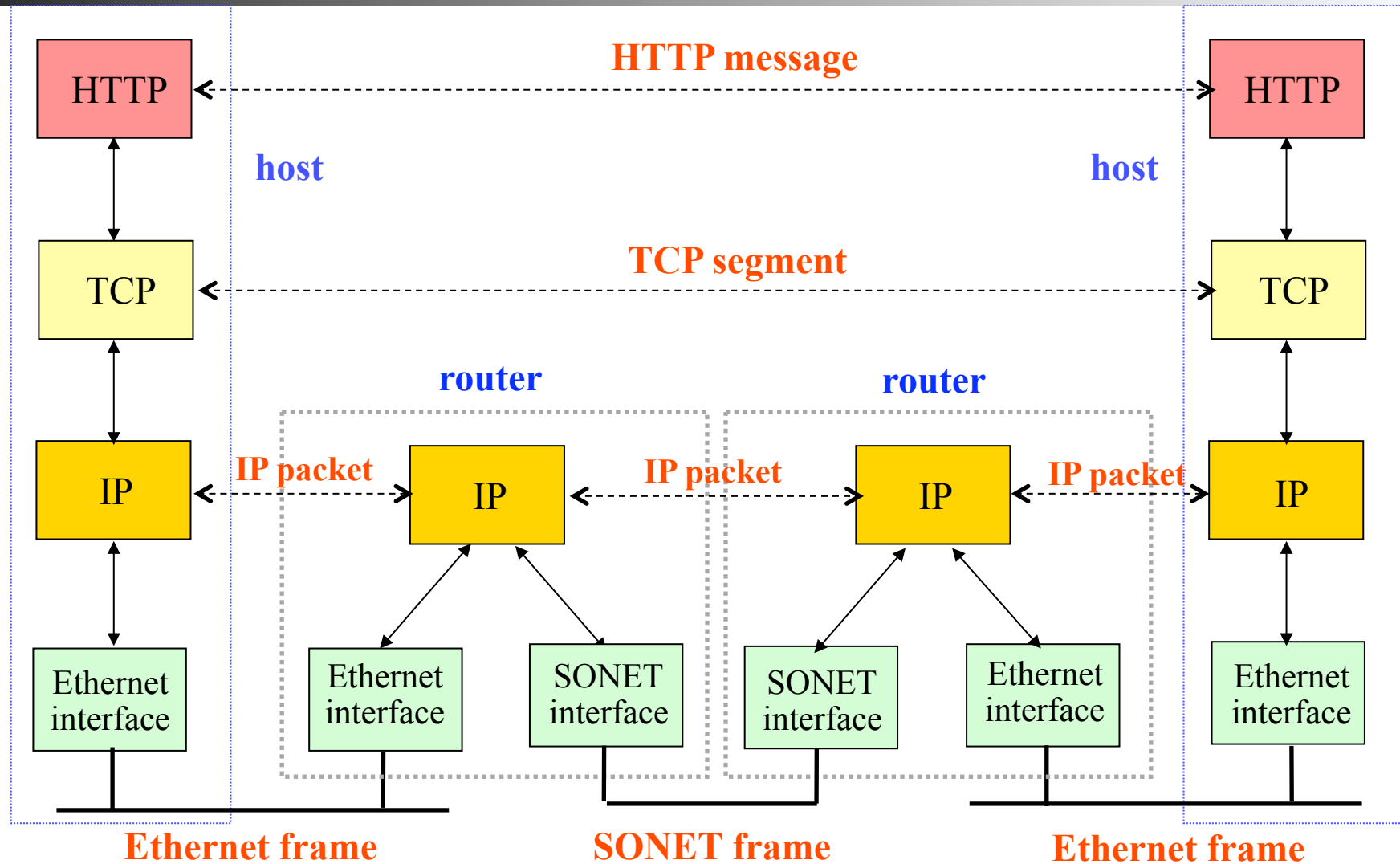
A estrutura da apresentação é semelhante e utiliza algumas das figuras, textos e outros materiais do livro de base do curso

James F. Kurose and Keith W. Ross, "Computer Networking - A Top-Down Approach Featuring the Internet," Addison Wesley Longman, Inc., 3rd Edition, 2005

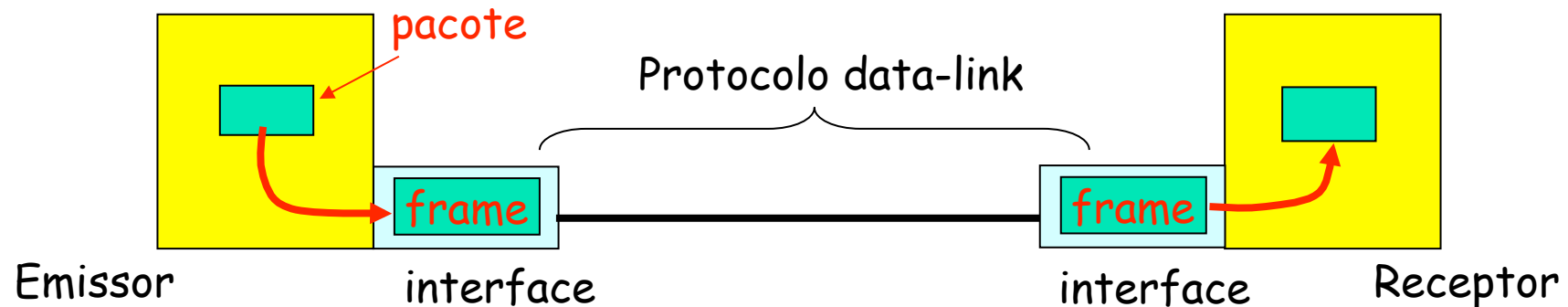
Organização do capítulo

- **Objectivos e serviços do nível *data-link***
- Tratamento de erros
- Controlo de acesso ao meio (MAC)
- A rede *Ethernet* e suas variantes
- Endereçamento em LANs e interconexão de *LANs*
- Redes *Ethernet* sem fios

Message, Segment, Packet, and Frame



Interfaces físicas de comunicação



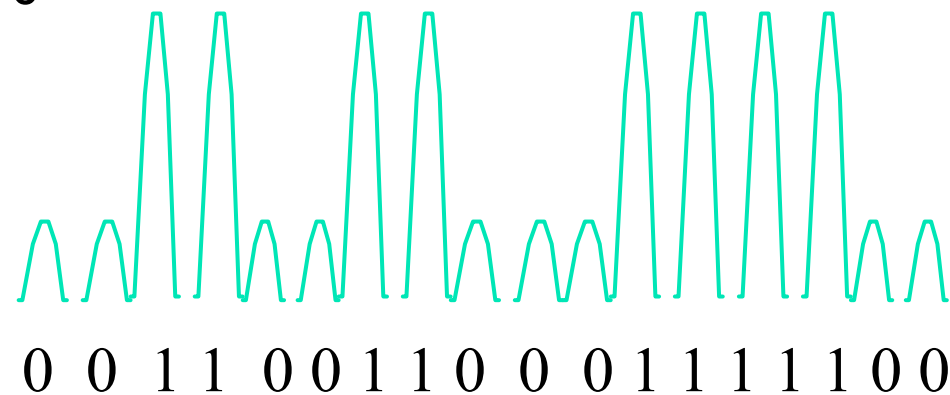
- O nível *data-link* é implementado na interface (“*adaptor*” ou NIC)
 - Ethernet card, PCMCIA card, 802.11 card
- Emissor:
 - Encapsula pacotes nos frames
 - Acrescenta *error checking* bits, endereços, etc.
- O receptor
 - Controla os erros, etc.
 - Extrai o pacote e entrega-o ao nível rede
- A interface é semi-autónoma
- Implementa os níveis *data-link* e físico

Serviços providenciados

- **Codificação (é mais um problema do nível físico)**
 - Representação da sequência de 0s e 1s
- ***Framing* (delimitação dos frames e sincronização)**
 - Encapsulamento do pacote num frame e juntar o cabeçalho e o sufixo (*trailer*)
 - Utilizar o endereçamento de nível canal (MAC addresses)
- **Detecção de erros**
 - Os erros são causados pela atenuação do sinal e pelo ruído.
 - O receptor deve detectar os erros
- **Correcção de erros (nem sempre está disponível)**
 - O receptor corrige os erros sem retransmissão (quando um canal tem uma elevada taxa de erros, o protocolo do nível canal pode incluir mecanismos de correcção de erros os quais requerem códigos com elevada redundância)
- **Controlo de fluxo (nem sempre está disponível)**
 - De forma a que emissores rápidos não afoguem receptores lentos

Codificação

- O sinal propaga-se pelo meio físico (*link*)
 - O emissor codifica os bits no sinal
 - O receptor descodifica o sinal e reconhece os bits
- Simplificando aspectos de Engenharia Electrotécnica
 - Assuma dois sinais discretos, Alto e Baixo
 - Por exemplo, duas voltagens diferentes (alta e baixa)
 - Alta codifica 1, baixa codifica 0



Problemas da aproximação simplista

- **Sequências longas de zeros e uns introduzem problemas**
 - Devido a não existirem transições do sinal
- **O receptor guarda a média do sinal recebido**
 - O receptor usa a média para distinguir alto de baixo; com sequências longas do mesmo sinal torna-se sensível a pequenas variações
- **As transições também são necessárias para sincronizar o relógio**
 - O receptor usa as transições para acertar o relógio; com sequências longas do mesmo sinal não consegue acertar o relógio e este pode derivar
- **Alternativas**
 - Por exemplo: *non-return to zero inverted* (NRZI) e *Manchester encoding*

Framing (ou enquadramento)

- Organizar as sequências de bits em *frames*
- ***Flag or Sentinel-based***
 - *O frame é enquadado por uma sequência especial (e.g., 01111110)*



- Problema: e se a *flag* ocorre na parte de dados?
- Solução: usar técnicas de exceção (*escaping*)
 - O emissor insere um 0 sempre que ocorrem 5 1s seguidos
 - ... e o receptor remove sempre o 0 que aparece a seguir a 5 1s seguidos

Framing (Continuação)

- Baseado na *flag* e um contador pelo que não necessita de excepções no *payload*
 - O tamanho do *payload* é colocado no cabeçalho (ao invés da *flag* no fim)
 - Problema: e se o cabeçalho fica corrompido ?
 - O receptor pode interpretar o erro formando um *frame* sem sentido
 - Solução: o mesmo será detectado pelo controlo de erros
 - e sincroniza quando encontrar a nova *flag* do início
- Baseado na codificação do sinal ou no relógio
 - O início de um *frame* é assinalado por uma sinal especial ou pela alternância entre ausência de sinal e a presença de sinal
 - Ou, cada *frame* é de uma dimensão fixa o que pode revelar-se um desperdício

Organização do capítulo

- Objectivos e serviços do nível *data-link*
- **Tratamento de erros**
- Controlo de acesso ao meio (MAC)
- A rede *Ethernet* e suas variantes
- Endereçamento em LANs e interconexão *de LANs*
- Redes *Ethernet* sem fios

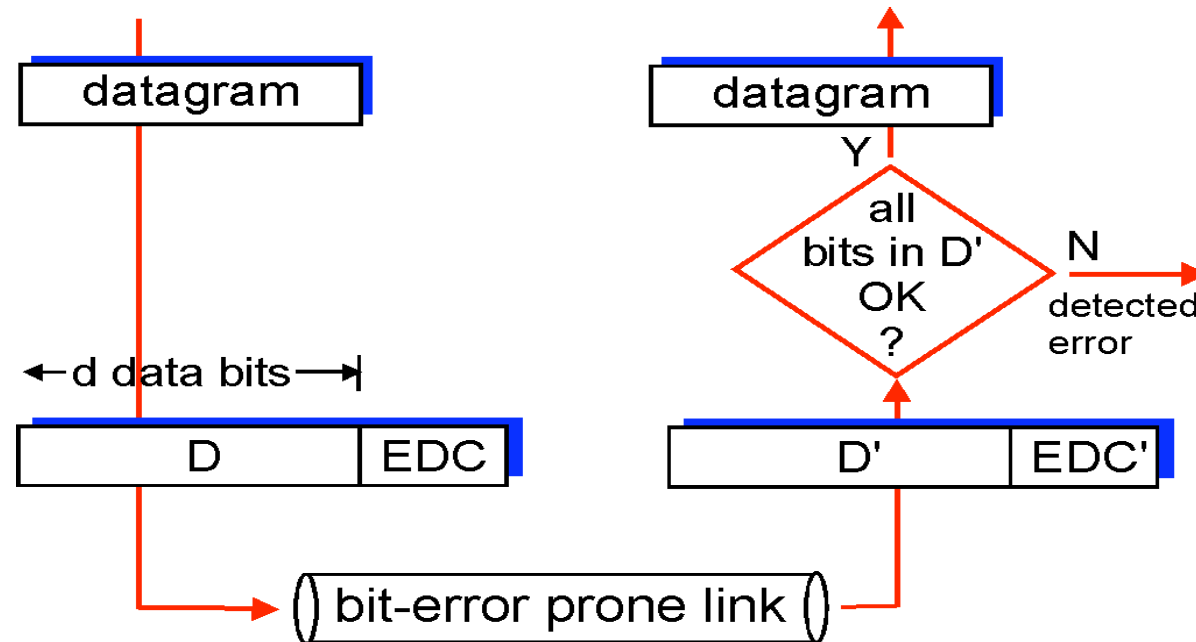
Detecção de erros

EDC= Bits de "Error Detection and Correction" (bits redundantes)

D = Dados protegidos (inclui os cabeçalhos)

A detecção de erros não é 100% fiável

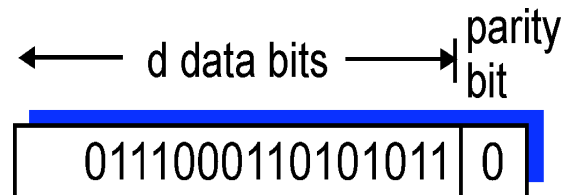
- Pode não detectar alguns erros mas com probabilidade tão baixa quanto se pretenda
- Quanto maior for o campo EDC menor é essa probabilidade



Sistemas baseados em paridade

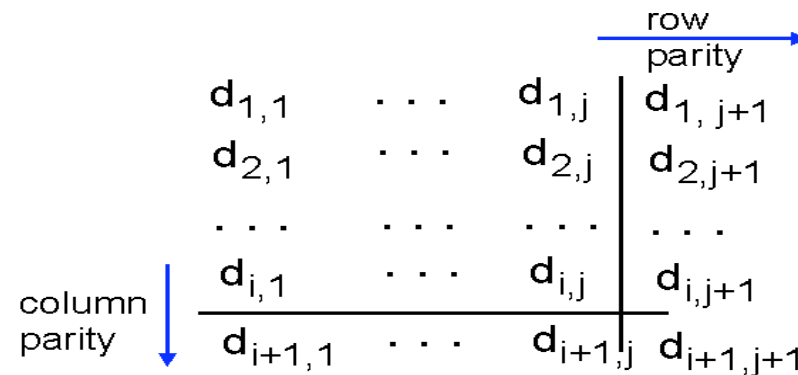
Paridade com 1 bit:

Detecta erros de 1 bit



Bits de paridade a duas dimensões:

Detectam e corrigem erros de 1 bit



1	0	1	0	1	1
1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	0	1
0	1	0	1	0	1

no errors

1	0	1	0	1	1
1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	0	1
0	1	0	1	0	1

parity error

correctable

single bit error

Internet checksum (soma de controlo)

Objectivo: detectar "erros" (como por exemplo bits invertidos) num segmento ao nível transporte

Emissor:

- Trata os segmentos como uma sequência de palavras de 16 bits
- **checksum:** soma complemento a 1 do conteúdo do segmento com *carry* circular
- O emissor coloca o complemento a 1 do resultado do cálculo no cabeçalho do segmento

Receptor:

- Calcula o *checksum* do segmento recebido
- Verifica se o valor XORed com o que está no cabeçalho é 111111111111..... :
 - NÃO - erro
 - SIM - não foram detectados erros (mas os mesmos podem estar presentes com uma probabilidade bastante baixa)

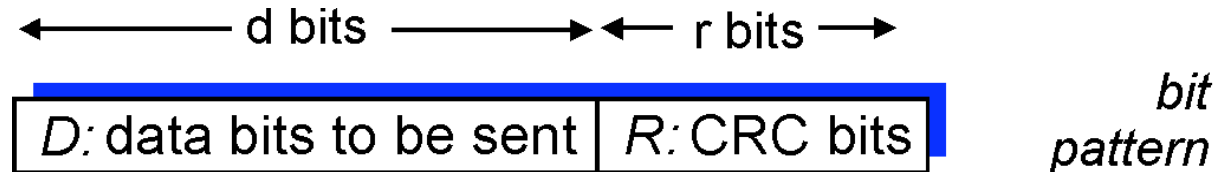
Internet checksum (exemplo)

- Nota
 - Quando se somam números, um carryout à esquerda tem de ser somado ao resultado
- Exemplo: somar 2 inteiros de 16 bits

	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
wraparound	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1
soma	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0
checksum	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1

CRC - Cyclic Redundancy Check

- Aproximação: interpretar os dados como um número inteiro, D
- Escolher um padrão especial de $r+1$ bits chamado gerador, G
- Objectivo: escolher r bits de CRC, R , tais que:
 - $\langle D, R \rangle$ é exactamente divisível por G (módulo 2)
 - O receptor conhece G , divide $\langle D, R \rangle$ por G . Se o resto for diferente de 0: erro detectado!
 - Pode detectar todos os erros do tipo "burst" de comprimento até $r+1$ bits seguidos, assim como todos os erros envolvendo um número ímpar de bits. Consegue ainda detectar erros de comprimento maior que r com a probabilidade $1 - 0,5^r$
- Usado actualmente por quase todos os protocolos data-link: Ethernet, ATM, HDLC, PPP, ...



$$D * 2^r \text{ XOR } R$$

mathematical formula

Como se calcula o CRC

Pretende-se que:

$$D \cdot 2^r \text{ XOR } R = nG$$

Equivalente a:

$$D \cdot 2^r = nG \text{ XOR } R$$

Equivalente a:

se se dividir $D \cdot 2^r$ por G ,
deve-se obter o resto R

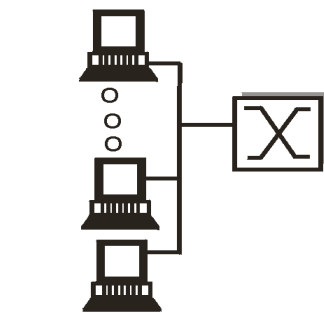
$$R = \text{resto de } \left[\frac{D \cdot 2^r}{G} \right]$$

Organização do capítulo

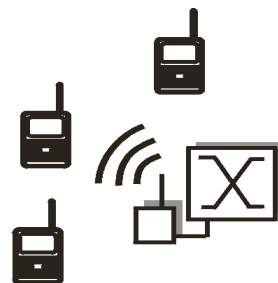
- Objectivos e serviços do nível *data-link*
- Tratamento de erros
- **Controlo de acesso ao meio (MAC)**
- A rede *Ethernet* e suas variantes
- Endereçamento em LANs e interconexão de *LANs*
- Redes *Ethernet* sem fios

Canais ponto a ponto e multi-ponto

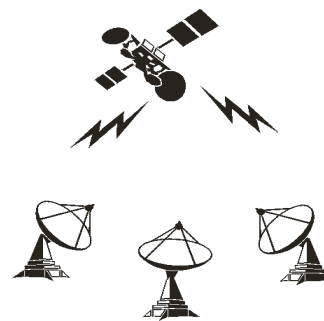
- **Exemplos de canais ponto a ponto**
 - PPP para acesso dial-up
 - Canal ponto a ponto entre um switch Ethernet e um host
- **Canais multi-ponto geralmente baseados em difusão - broadcast (shared wire or shared medium)**
 - Ethernet tradicional
 - 802.11 wireless LAN



shared wire
(e.g. Ethernet)



shared wireless
(e.g. Wavelan)



satellite

Canais multi-ponto

- Este tipo de canais são usados com muita frequência em redes locais - LAN ("Local Area Networks")
- Podem usar suportes guiados ("fios") ou não guiados ("atmosfera")
- Todas estas tecnologias exigem um meio de escalonar o acesso ao suporte da transmissão (MAC - Medium Access Control)
- Geralmente, o tipo de serviço oferecido é o simples envio de datagramas ponto a ponto ou multi-ponto (*multicasting*) com uma elevada probabilidade de entrega

Protocolo de Controlo de Acesso ao Meio

- **Canal broadcast simples partilhado**

- Tem de se evitar ter vários emissores simultâneos
- Senão existem colisões e os dados ficam distorcidos

- **MAC — Multiple Access Protocol**

- Algoritmo distribuído para partilha do canal
- O algoritmo fornece um mecanismo de arbitragem

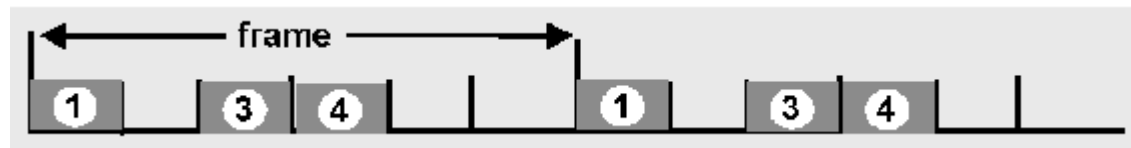
- **Classes de técnicas**

- Partilha do canal: divide o canal em partes
- Uma emissor de cada vez: usam um árbitro ou um testemunho que circula e dá o direito de emitir
- Acesso aleatório: se houver colisão, tentar de novo

Subdivisão do canal: TDMA

TDMA: time division multiple access

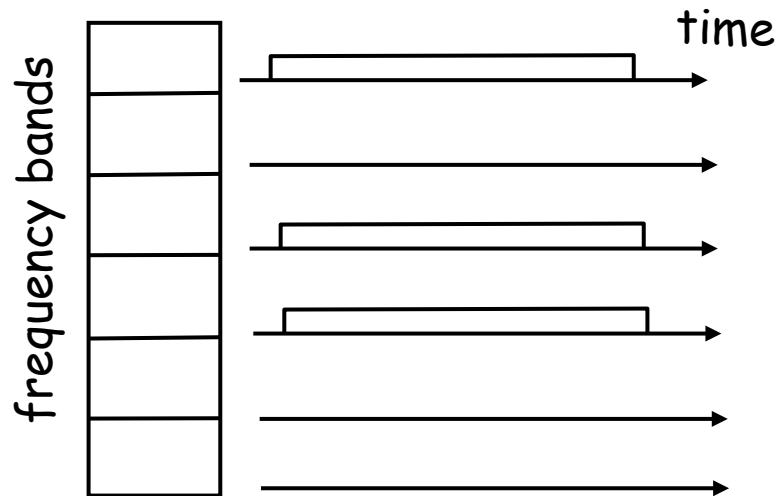
- **Acesso ao canal por "rondas"**
 - Cada estação tem uma parte fixa em cada ronda
- **O tamanho do *time slot* determina o pacote que pode ser transmitido**
 - Os *slots* sem utilização são desperdiçados
- **Exemplo: LAN com 6 estações com os *slots* 1, 3 e 4 ocupados e os restantes desperdiçados**



Subdivisão do canal: FDMA

FDMA: frequency division multiple access

- **O espectro do canal é dividido em bandas de frequências**
 - Cada estação recebe a sua frequência
 - As frequências sem utilização são desperdiçados
- **Exemplo: LAN com 6 estações com as frequências 1, 3 e 4 ocupadas e as restantes desperdiçadas**



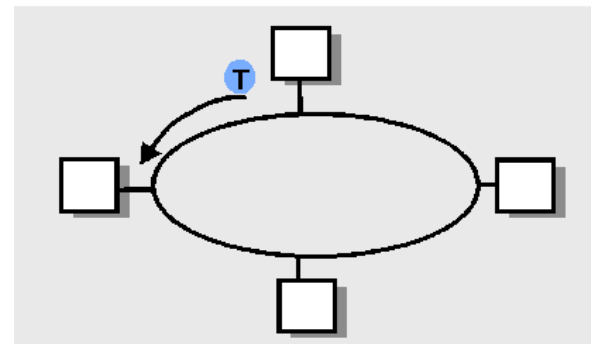
MAC Protocols - “Afecção de vez”

Polling

- Uma estação mestra convida cada uma das outras estações a transmitir e funciona como árbitro
- **Problemas:**
 - Polling overhead
 - Latência
 - Ponto de falha centralizado (estação mestra)

Token passing

- Um *token* de controlo passado de uma estação para a outra
- O *token* é uma mensagem especial
- **Problemas:**
 - *Token overhead*
 - Latência
 - Ponto de falha centralizado (*token*)



Protocolos de acesso aleatório

- **Quando uma estação tem um *frame* para transmitir**
 - Transmite à capacidade máxima do canal
 - Não existe coordenação a priori entre estações
- **Se duas ou mais transmitem simultaneamente → “colisão”**
- **O protocolo MAC aleatório especifica:**
 - Como detectar as colisões
 - Como recuperar das mesmas
- **Exemplos**
 - ALOHA e Slotted ALOHA
 - CSMA, CSMA/CD, CSMA/CA

Ideias base do acesso aleatório CSMA

- **Carrier sense (detecção do sinal)**

- *Ouvir antes de falar e não interromper*
- Isto é, testar se alguma estação está a transmitir e esperar até que essa transmissão termine

- **Detecção da colisão**

- *Se alguém começar a falar ao mesmo tempo cale-se*
- Se se detectar que outra estação está a transmitir (dado o sinal estar distorcido) parar imediatamente

- **Aleatoriedade**

- *Não comece a falar imediatamente*
- Espere um pequeno compasso de espera aleatório antes de tentar outra vez

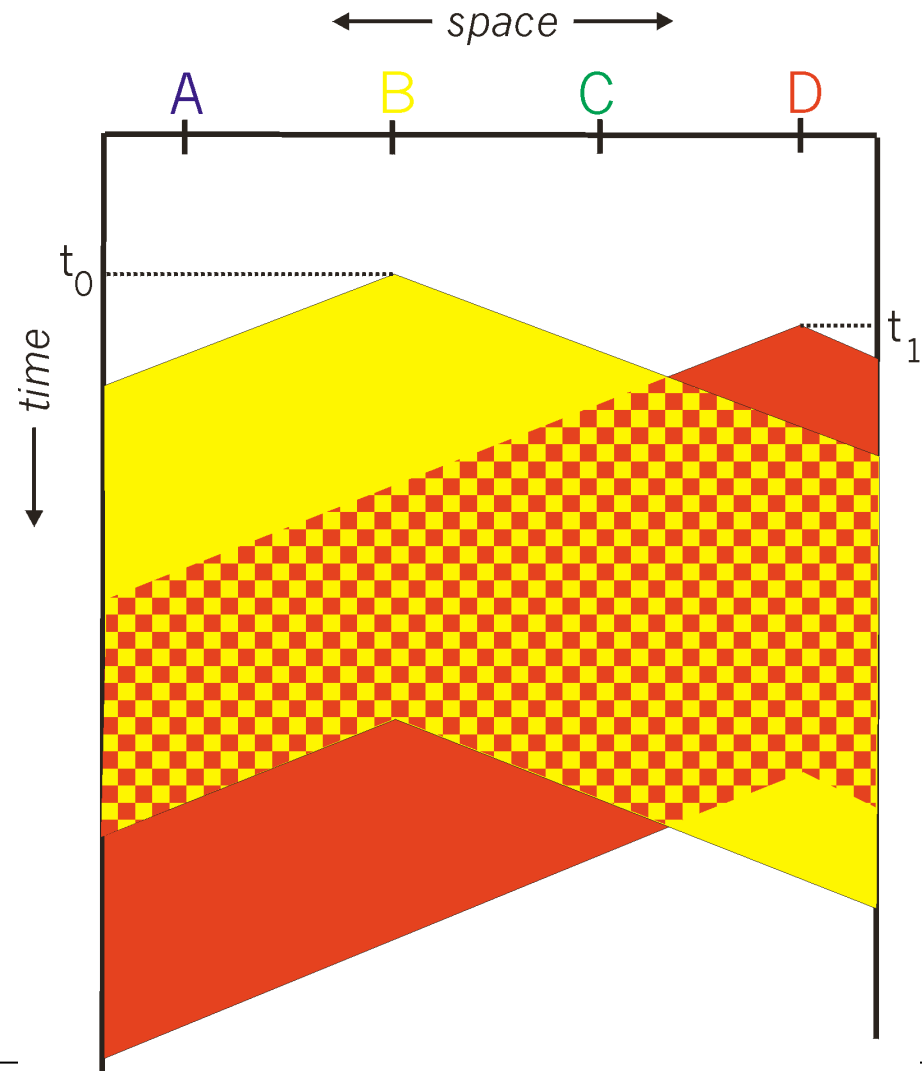
Colisões em CSMA

As colisões podem ainda ocorrer:

O Tempo de propagação faz com que duas estações possam não se aperceber de que ambas estão a transmitir

Em caso de colisão:

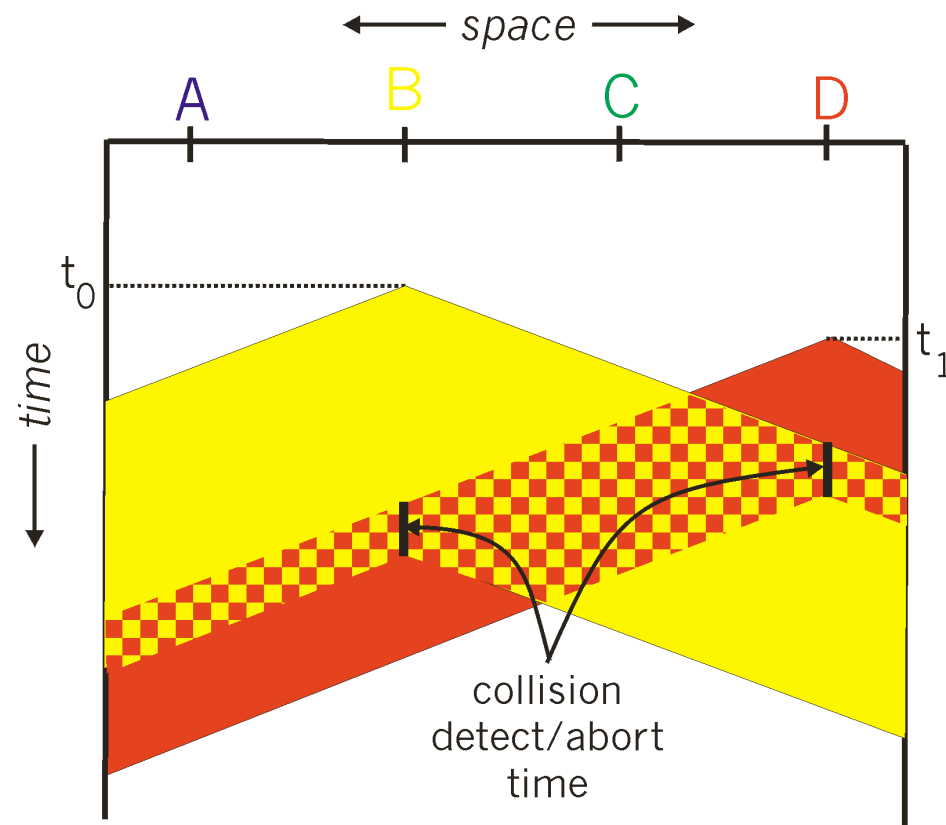
Todo o tempo de transmissão do frame foi desperdiçado



CSMA/CD (Collision Detection)

- CSMA/CD: carrier sensing
 - As colisões são detectadas rapidamente
 - Em caso de colisão, parar imediatamente de transmitir
- Detecção das colisões
 - Fácil nas redes baseadas em fios
 - Difícil nas redes sem fios

CSMA/CD Collision Detection



Em resumo: 3 formas de partilhar o meio

- **Protocolos MAC baseados na subdivisão estática do canal**
 - Partilham o canal eficientemente se a carga é elevada
 - Ineficientes com carga baixa: compasso de espera, $1/N$ da capacidade afectada mesmo quando uma só estação está activa
- **Protocolos MAC “afecção da vez”**
 - Eliminam os *slots* vazios sem provocarem colisões
 - Mas são vulneráveis a falhas (usam mecanismos centralizados)
- **Protocolos MAC baseados em aleatoriedade**
 - Eficientes se a carga é baixa: um só nó pode usar todo o canal
 - Com carga alta: muito *overhead* devido às colisões

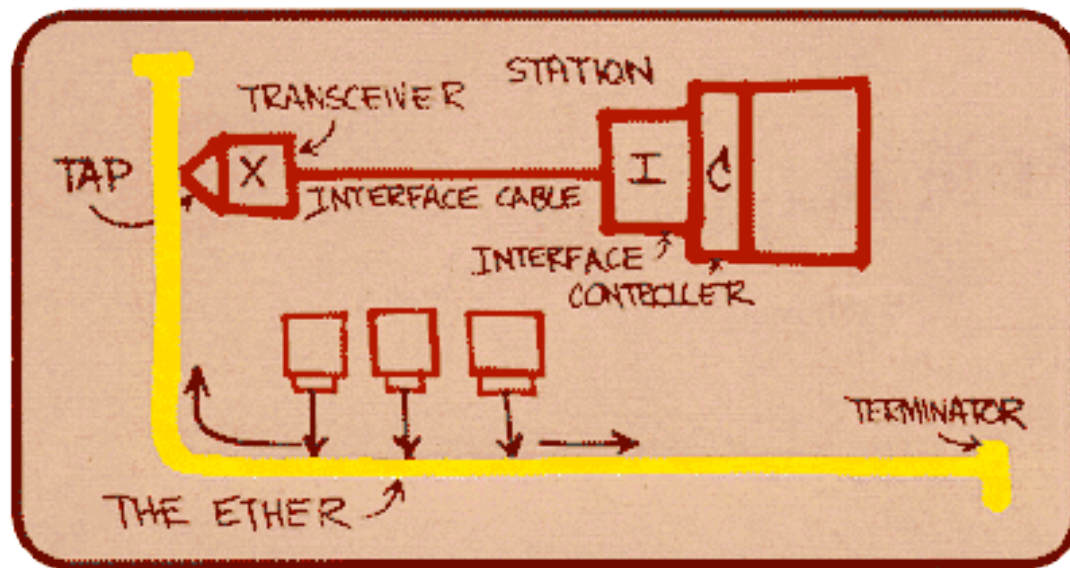
Organização do capítulo

- Objectivos e serviços do nível *data-link*
- Tratamento de erros
- Controlo de acesso ao meio (MAC)
- **Os canais *Ethernet* e suas variantes**
- Endereçamento em LANs e interconexão de *LANs*
- Redes *Ethernet* sem fios

O canal Ethernet (IEEE 802.3)

É a tecnologia "dominante" nas LAN:

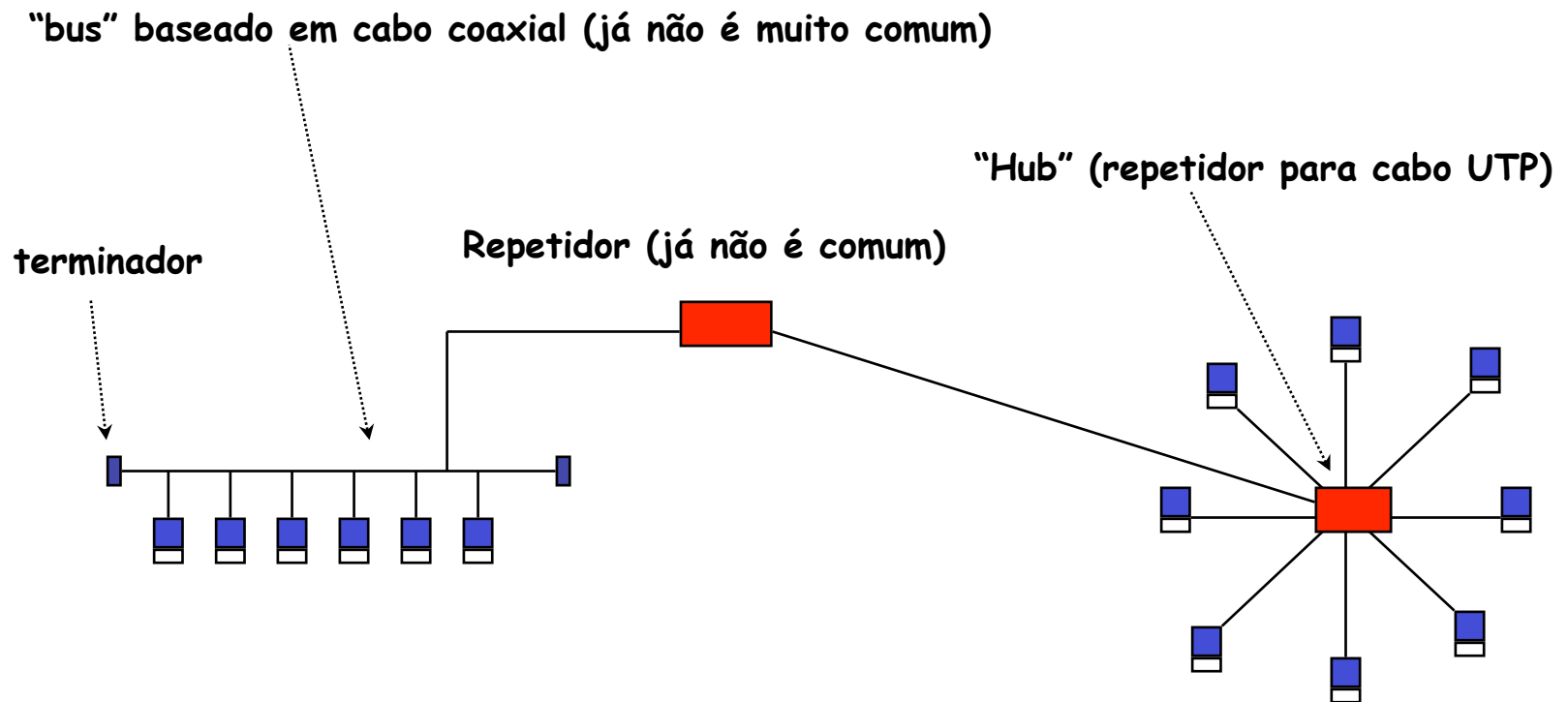
- Pouco dispendiosa e muito popular
- Mais simples do que as outras alternativas
- Não pára de evoluir: 10, 100, 1000 Mbps = 1 Gbps, 10 Gbps, ...
- Os Switchs Ethernet transformam-na numa rede completa



O diagrama inicial do inventor da Ethernet:

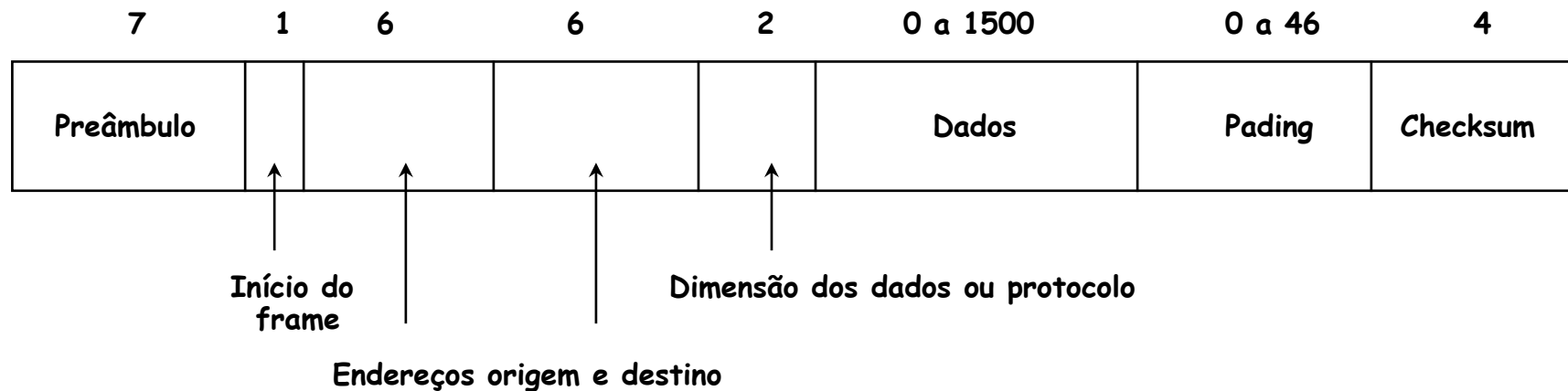
Metcalfe's Ethernet

Ethernet "clássica"



Os frames Ethernet

Nº de bytes



- **Preâmbulo:** 7 bytes com o padrão 10101010 seguidos de um byte com o padrão 10101011. Este preâmbulo serve para sincronizar os relógios do emissor e do receptor para iniciarem a amostragem
- **Endereços:** 6 bytes cada, os *frames* são recebidos por todas as interfaces numa mesma rede mas são suprimidos se o endereço não é o endereço do receptor (ou um endereço de multicasting / broadcasting)
- **Tipo:** indica o protocolo do nível superior (IP, ARP, Novell IPX, AppleTalk, ...) ou a dimensão em bytes da parte de dados
- **CRC:** testado pelo receptor; se está errado o *frame* é suprimido

Princípios de funcionamento (CSMA/CD)

Carrier Sense - se o canal estiver livre, uma estação pode começar a transmitir

Multiple Access (Broadcasting) - quando uma estação transmite, todas as outras recebem o sinal emitido; só aquela a quem o frame se destina, o regista; as outras ignoram-no; um endereço especial indica que o frame se destina a todas as estações

Collision Detection - uma estação que está a transmitir recebe também o sinal que está a emitir, o que lhe permite detectar uma colisão; neste caso deixa de transmitir e transmite um "*jaming signal*" para que a colisão seja rapidamente detectada por todas as outras estações

Algoritmo CSMA/CD na Ethernet

A: sense channel, if idle

then {

transmit and monitor the channel;

If detect another transmission

then {

abort and send jam signal;

update # collisions;

delay as required by exponential backoff algorithm;

goto A

}

else {done with the frame; set collisions to zero}

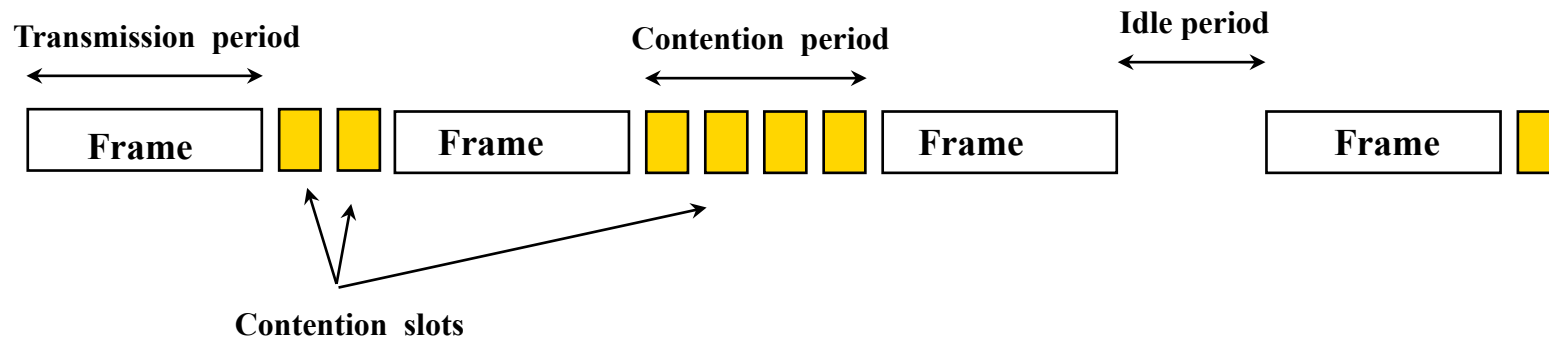
}

else {wait until ongoing transmission is over and goto A}

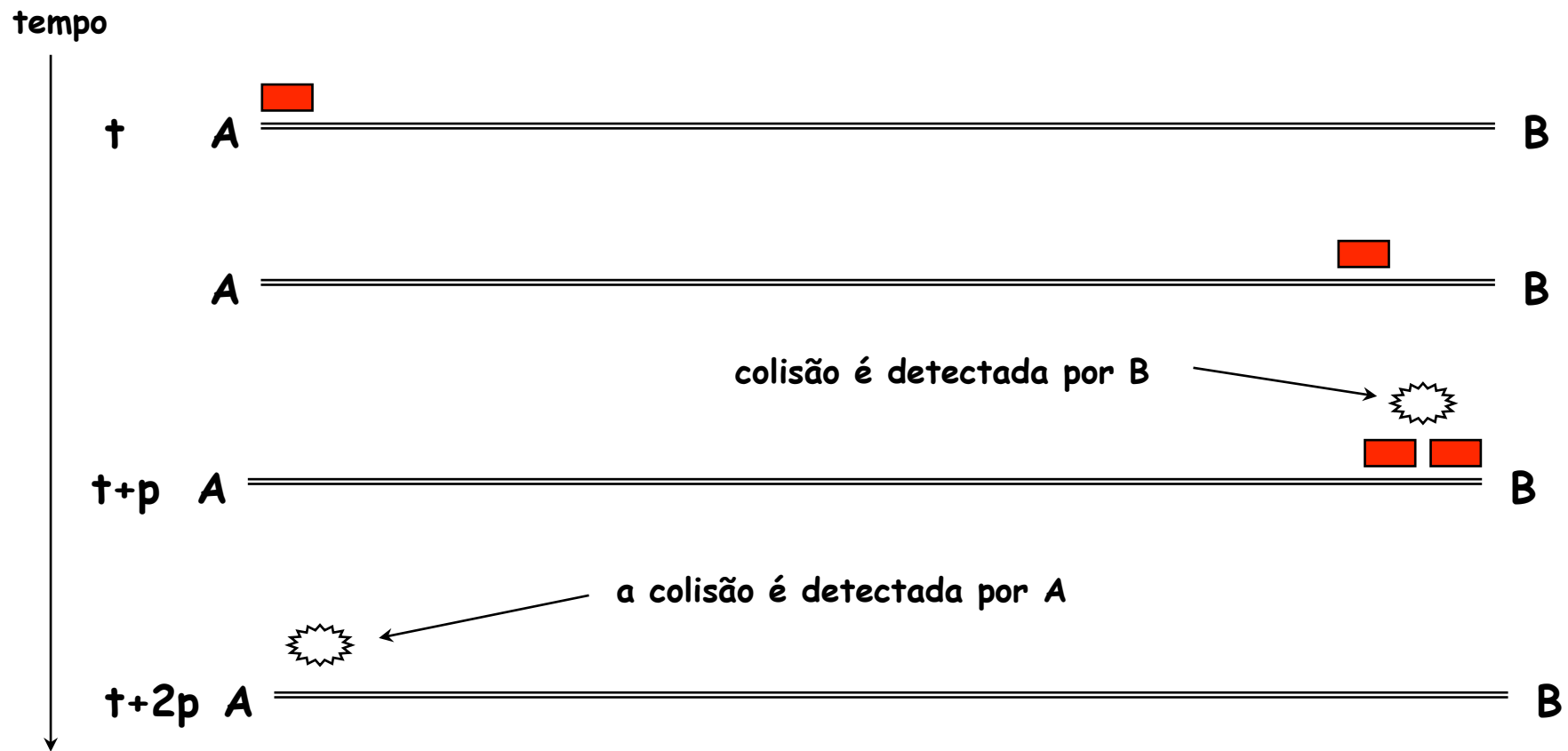
Ocupação do meio de transmissão

CSMA - Carrier Sense Multiple Access

CD - Collision Detection



Colisões e tempo de propagação



p - tempo de propagação ou *worst case transmission path delay*

Binary Exponential Backoff

O tempo é dividido em slots de dimensão superior a 2p ditos *collision windows* ou *collision slots*.

Segundo a norma IEEE 802.3 o *collision slot* vale 51,2 micro segundos ou 512 bits a 10 Mbps. Este valor é característico de um canal a 10 Mbps com 2.500 metros e 4 repetidores no máximo. Tal canal pode levar até 1024 hosts.

Cada *frame* tem de ter um mínimo de 512 bits ou 64 bytes, daí o campo de *pading* para o caso em que os dados são inferiores

Em caso de colisão, cada estação espera um número aleatório N de *collision slots*. O número N é gerado no intervalo 0 a $2^n - 1$, em que n toma valores 0, 1, 2, 3, ..., 10 e designa o número de tentativas de resolução da colisão.

Na primeira tentativa espera-se 0 ou 1 slots. Na segunda, 0, 1, 2 ou 3 slots. Na décima, esperam-se 0, 1, 2, 3, ... 1023 slots. Depois de 16 tentativas considera-se que há erro e o *frame* é rejeitado.

Observações (1)

Jam Signal — assegura que todos os emissores detectam a colisão; 48 bits;

Exponential Backoff

- **Objectivo**: adaptar o compasso de espera à carga actual da rede; se a carga é elevada, o intervalo tem de ser superior
- Primeira colisão: escolher K em $\{0,1\}$; o compasso de espera é $K \times$ o tempo de transmissão de 512 bit
- Segunda colisão: escolher K em $\{0,1,2,3\}$...
- Depois de 10 ou mais colisões: escolher K em $\{0,1,2,3,4,\dots,1023\}$

Observações (2)

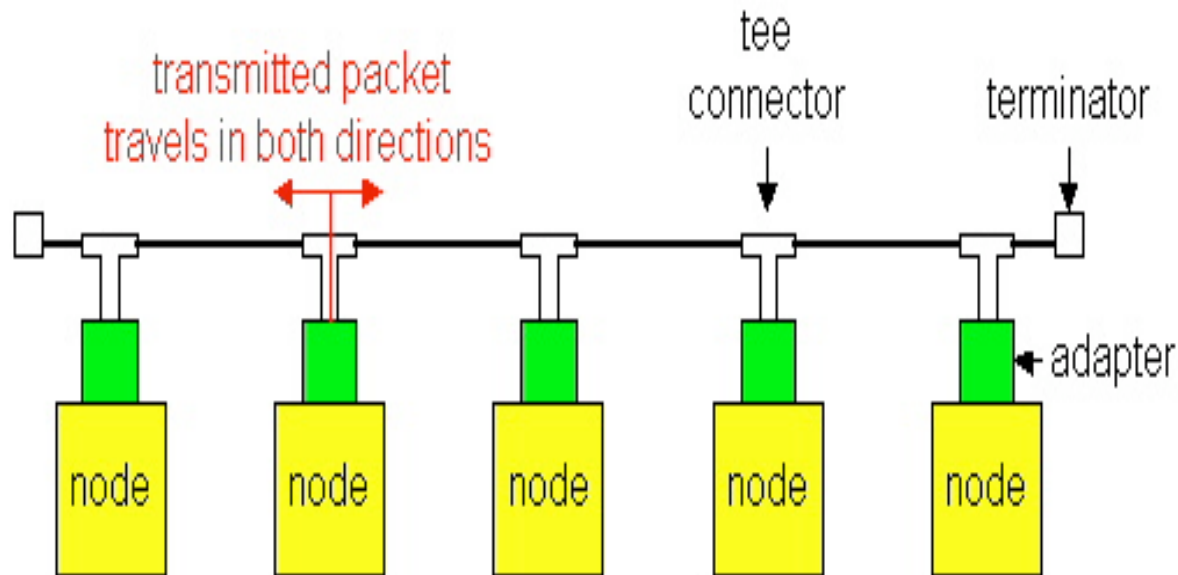
Caso o intervalo usado para gerar números aleatórios fosse 0 a 1023 em todas as circunstâncias, a probabilidade de 2 estações colidirem uma segunda vez seria geralmente baixa mas introduzir-se-ia uma espera inutilmente prolongada no caso geral. Por outro lado, se 100 estações a tentarem transmitir gerassem números aleatórios no intervalo 0 a 1, para que a colisão fosse resolvida era necessário que saísse 1 em 99 delas e 0 na outra. O algoritmo tal como está definido tenta adaptar-se à situação real de carga do canal.

Mantendo a mesma dimensão máxima da rede, mantém-se a duração do *collision slot*. Se pretendermos introduzir um canal ethernet a maior velocidade, o menor *frame* possível seria de 640 bytes para um canal a 100 Mbps e de 6400 bytes para um canal a 1 Gbps. A outra opção é baixar a distância máxima de forma a manter o *collision slot* em termos de bits, mas diminuí-lo em termos de duração temporal

Esta opção foi seguida na norma *Fast Ethernet*, que corresponde a um canal ethernet que funciona a 100 Mbps, com a distância máxima de 200 metros para que o mais pequeno *frame* continue a ser de 64 bytes.

Tecnologia Ethernet: 10Base2

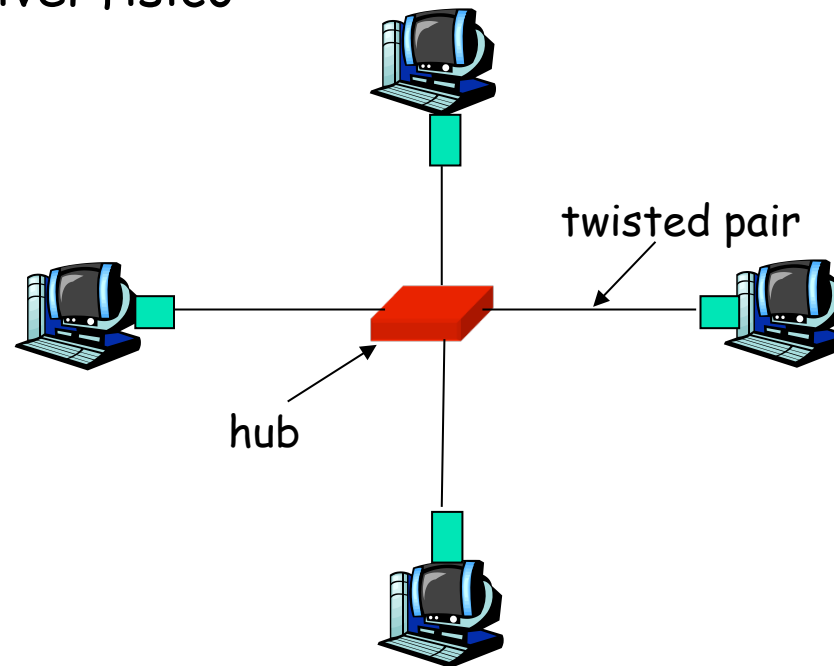
- 10: 10Mbps; 2: até 200 metros de distância máxima do cabo
- Cabo coaxial fino numa topologia dita em "bus"



- Usam-se repetidores para ligar vários segmentos
- Repetidor: repete os bits recebidos numa interface nas outras interfaces; trata-se de um dispositivo do nível físico

10BaseT e 100BaseT

- 10/100 Mbps, a 100 Mbps é designada "fast ethernet"
- T quer dizer "Twisted Pair"
- Tem um "Hub" central e uma configuração em estrela
- Um hub é um repetidor do nível físico

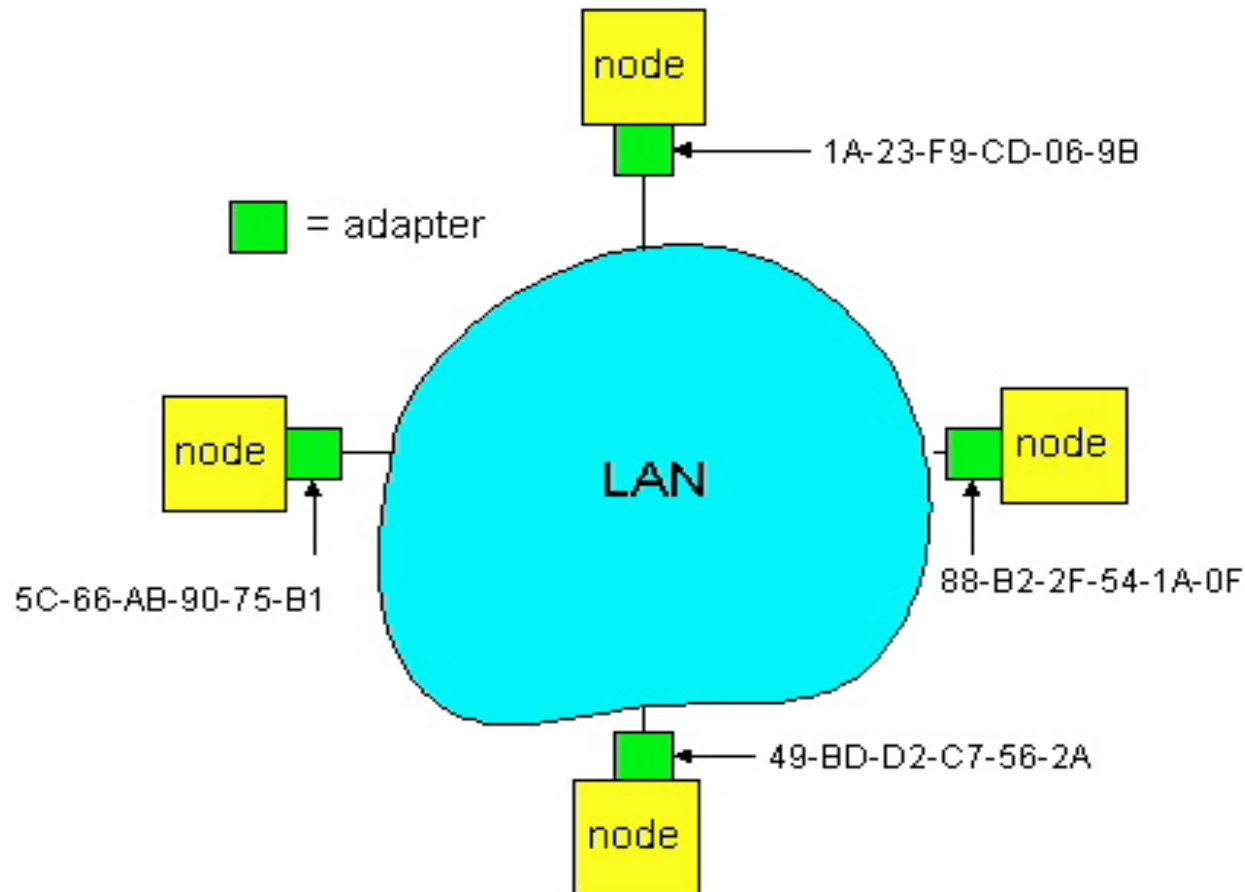


Organização do capítulo

- Objectivos e serviços do nível *data-link*
- Tratamento de erros
- Controlo de acesso ao meio (MAC)
- A rede *Ethernet* e suas variantes
- Endereçamento em LANs e interconexão de LANs
- Redes *Ethernet* sem fios

Os endereços nas LAN

Cada placa tem um endereço do nível MAC único



Endereços nas LAN

Os endereços do nível IP têm 32 ou 128 bits

- Tratam-se de endereços do nível rede
- São usados para identificar o destino do datagrama no Internetwork (com ou sem LANs)

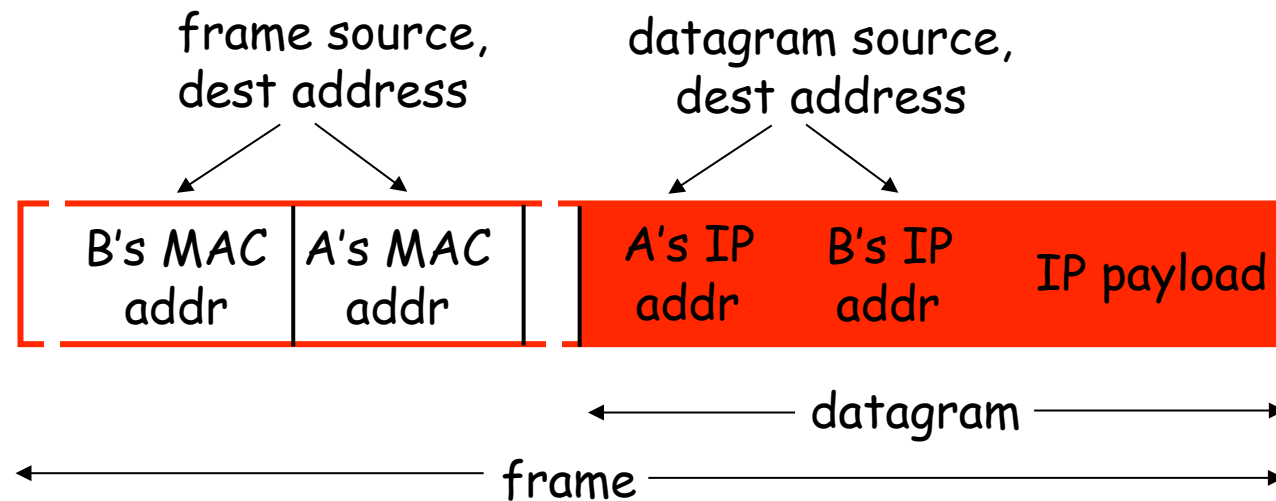
Endereços LAN (ou MAC ou físicos)

- São usados para indicar o destino do *frame* num canal multi-ponto (nível data-link); são endereços de nível canal
- Têm 48 bits na maior parte das LANS
- São registados em registos permanentes e persistentes das placas das interfaces; para evitar a sua administração, são únicos à saída da fábrica

Comparação endereços IP / MAC

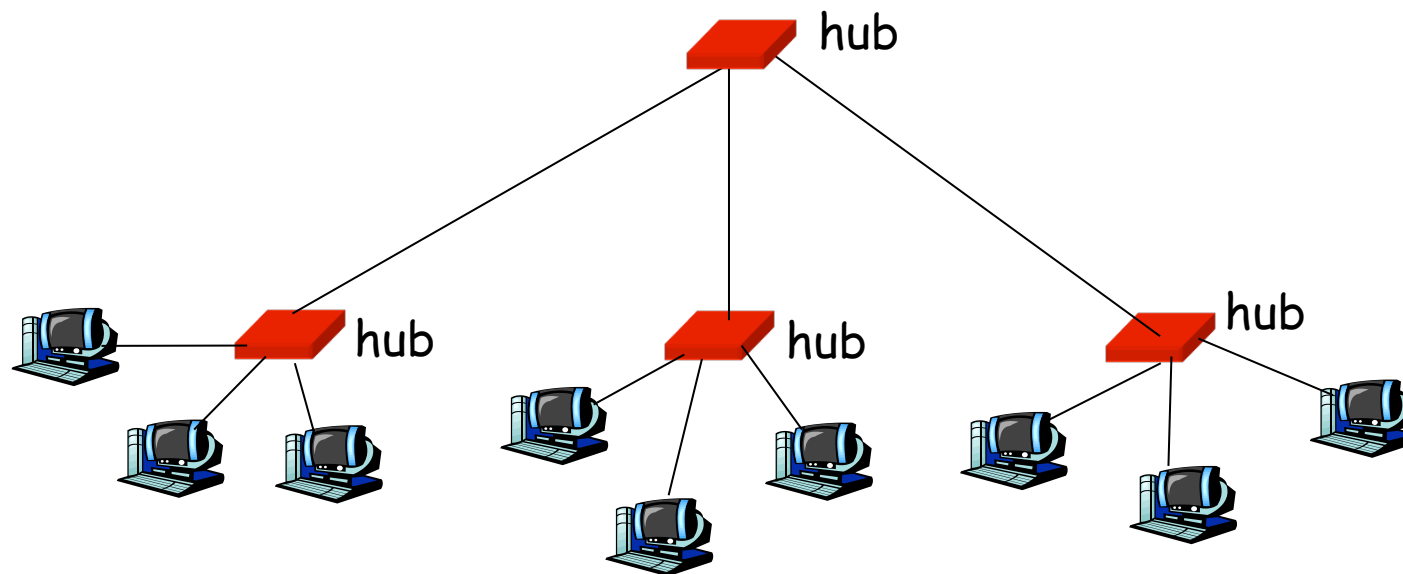
- A gestão dos endereços do nível MAC é realizada pela IEEE
- O fabricante compra uma porção do espaço de endereçamento para assegurar unicidade
- Analogia:
 - (a) Endereços MAC: tipo número de contribuinte
 - (b) Endereços IP: tipo endereço de correio (*snail mail addresses*)
- Endereços MAC são flat, sem estrutura => portabilidade
 - É possível levar uma carta de uma LAN para outra
- A hierarquia de endereços IP não é portátil
 - O endereço IP depende da rede a que se está ligado

Relação entre os dois endereços



Interligação de canais Ethernet com *hubs*

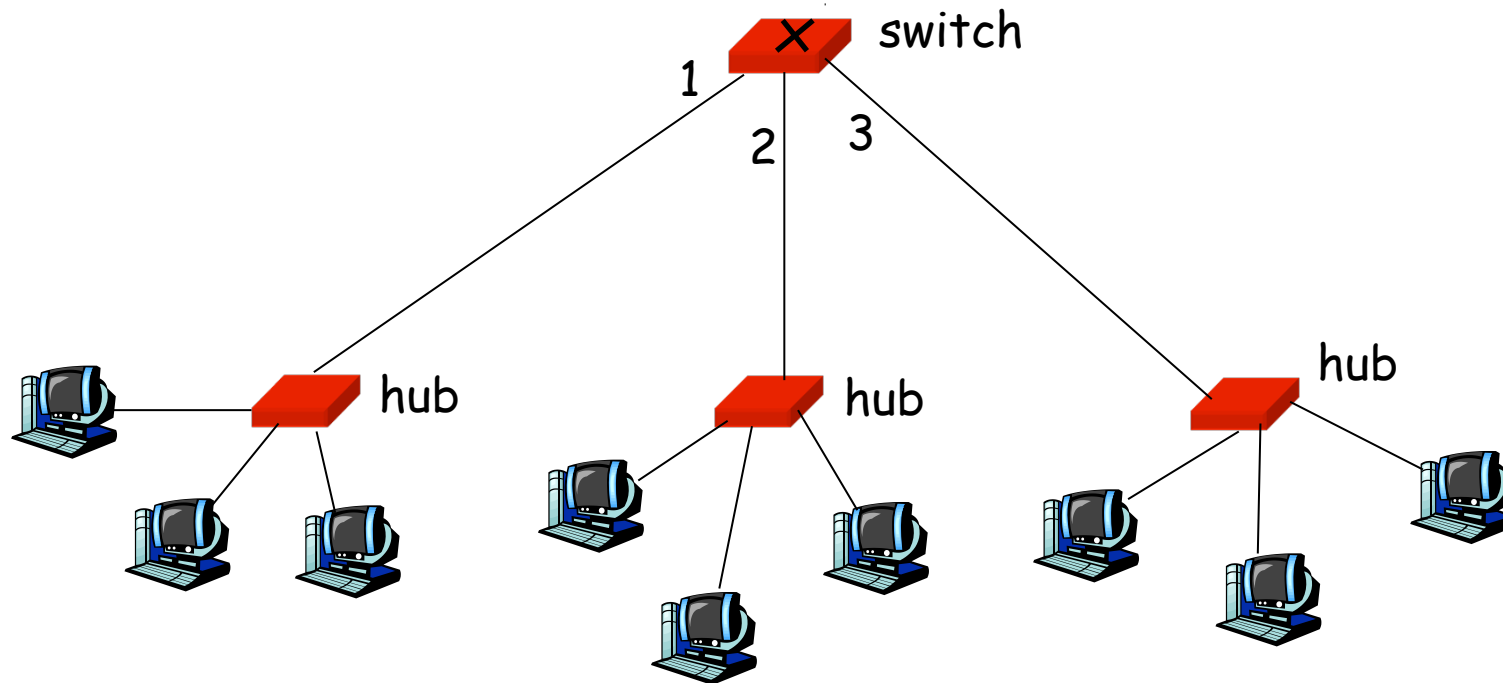
- Um *hub* de *backbone* que interliga vários segmentos
- Estende o âmbito do canal para além de cada segmento
- Mas o conjunto forma um domínio de colisões único
- Não pode ligar a diferentes velocidades 10BaseT & 100BaseT



Switch ou comutador Ethernet

- Dispositivo do nível canal (nível 2)
 - Trabalha no modo store and forwards de frames
 - Examina o header do frame e realiza encaminhamento selectivo com base no endereço de destino
 - Quando o frame é enviado para um dado segmento, usa CSMA/CD nesse segmento de forma independente dos outros
- transparente
 - Os hosts não detectam a presença dos switches
- plug-and-play, self-learning
 - Não necessitam de ser configurados

Comutação de frames



Como determinar o segmento para que deve ser encaminhado cada frame ?

Auto aprendizagem (Self learning)

- Um switch tem uma **switch table**
- Cada entrada na tabela do switch tem:
 - (MAC Address, Interface, Time Stamp)
 - Quando o TTL expira, a entrada é suprimida (30 minutos por exemplo)
- O switch **descobre** que interfaces estão por detrás de cada uma das suas interfaces da seguinte forma:
 - Quando um *frame* é recebido pela interface A, o switch descobre que a interface com o MAC address do emissor está acessível via a interface A
 - Essa informação é registada na tabela do switch

Comutação e filtragem

Quando o switch recebe o frame

Descobrir qual a entrada correspondente ao *MAC address* de destino (MAD) na tabela do switch

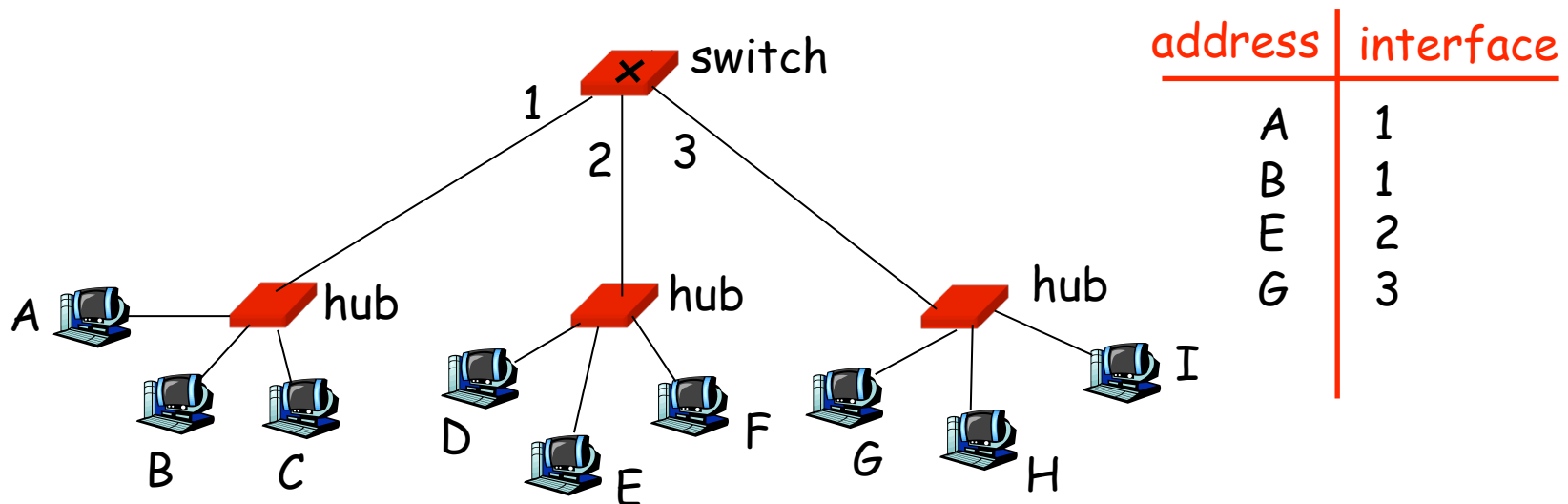
```
if se existir uma entrada para MAD, seja I a interface associada
then{
    if MAD está por detrás da interface pela qual se recebeu
    then ignorar o frame
    else enviar o frame pela interface I
}
else inundar (flood)
```



forward em todas as interfaces
com excepção daquela pela qual se
recebeu o *frame*

Exemplo

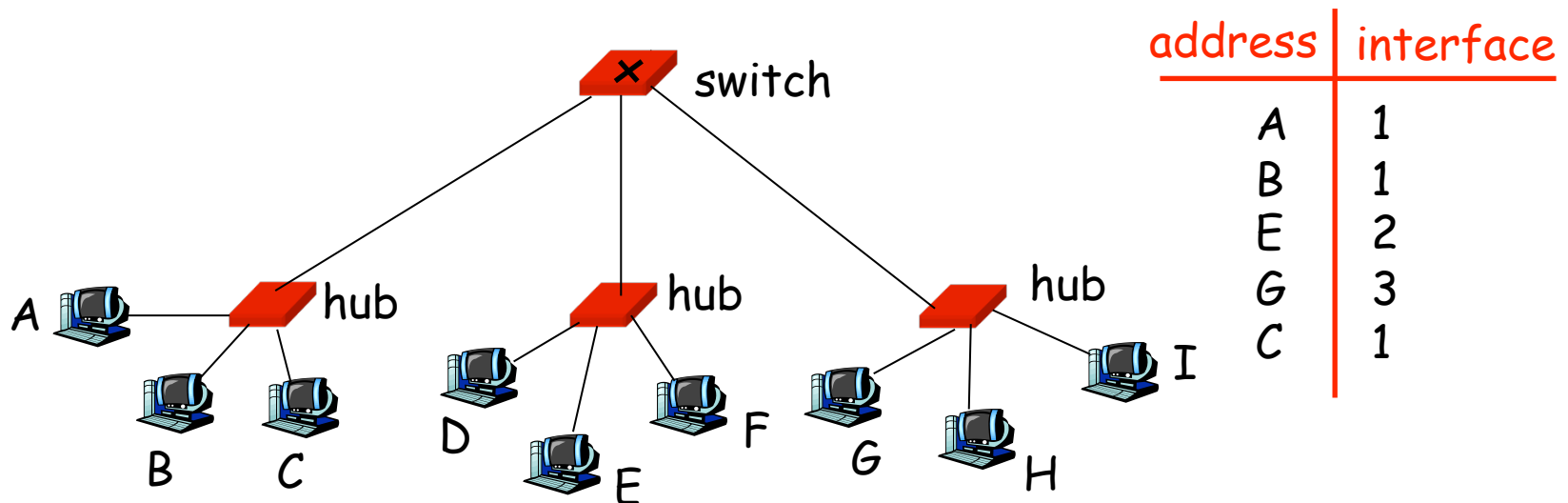
Suponha que C envia um frame para D



- Switch recebe o frame de C
 - Regista na tabela que C está por detrás da interface 1
 - como D não está na tabela, o frame é enviado para as interfaces 2 and 3
- O frame chega finalmente a D

Exemplo (continuação)

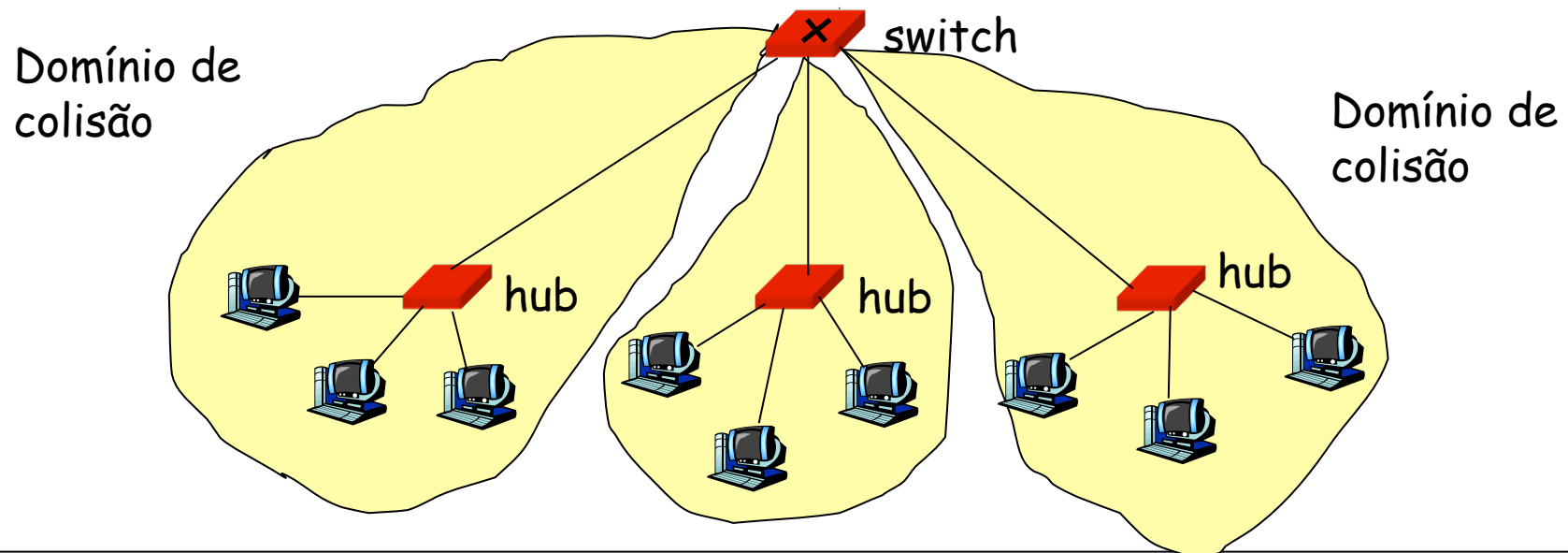
Suponha que D responde enviando a resposta a C.



- O switch recebe o frame de D destinado a C
 - O switch regista na tabela que D está por detrás da interface 2
 - Como C está na tabela, o switch envia o frame pela interface 1
- O frame chega a C

Isolamento do tráfego

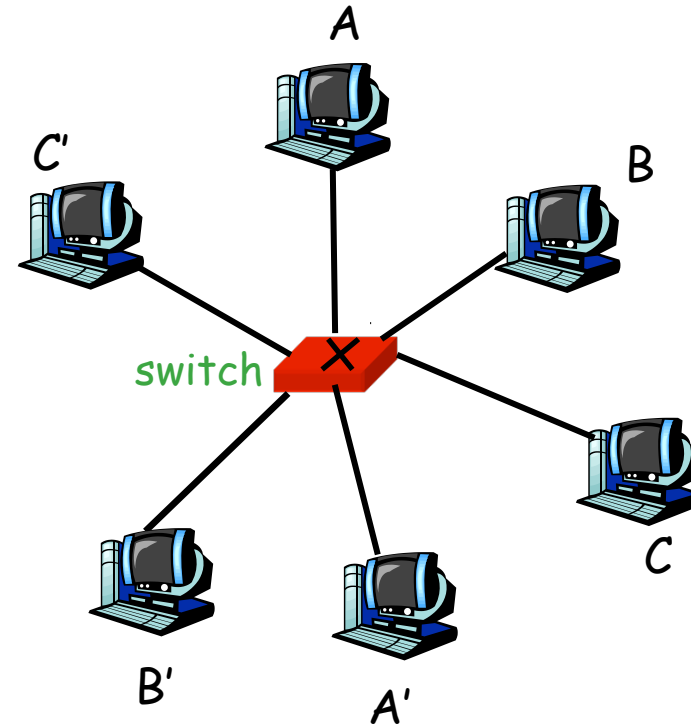
- Um switch divide a rede em vários segmentos
- O conjunto constitui uma rede de nível 2 com uma forma de "encaminhamento" baseada em inundação (flood routing)
- Um switch **filtra frames**:
 - Os *frames* do mesmo segmento não são em geral transmitidos para os outros segmentos
 - Cada segmento é um domínio de colisão independente



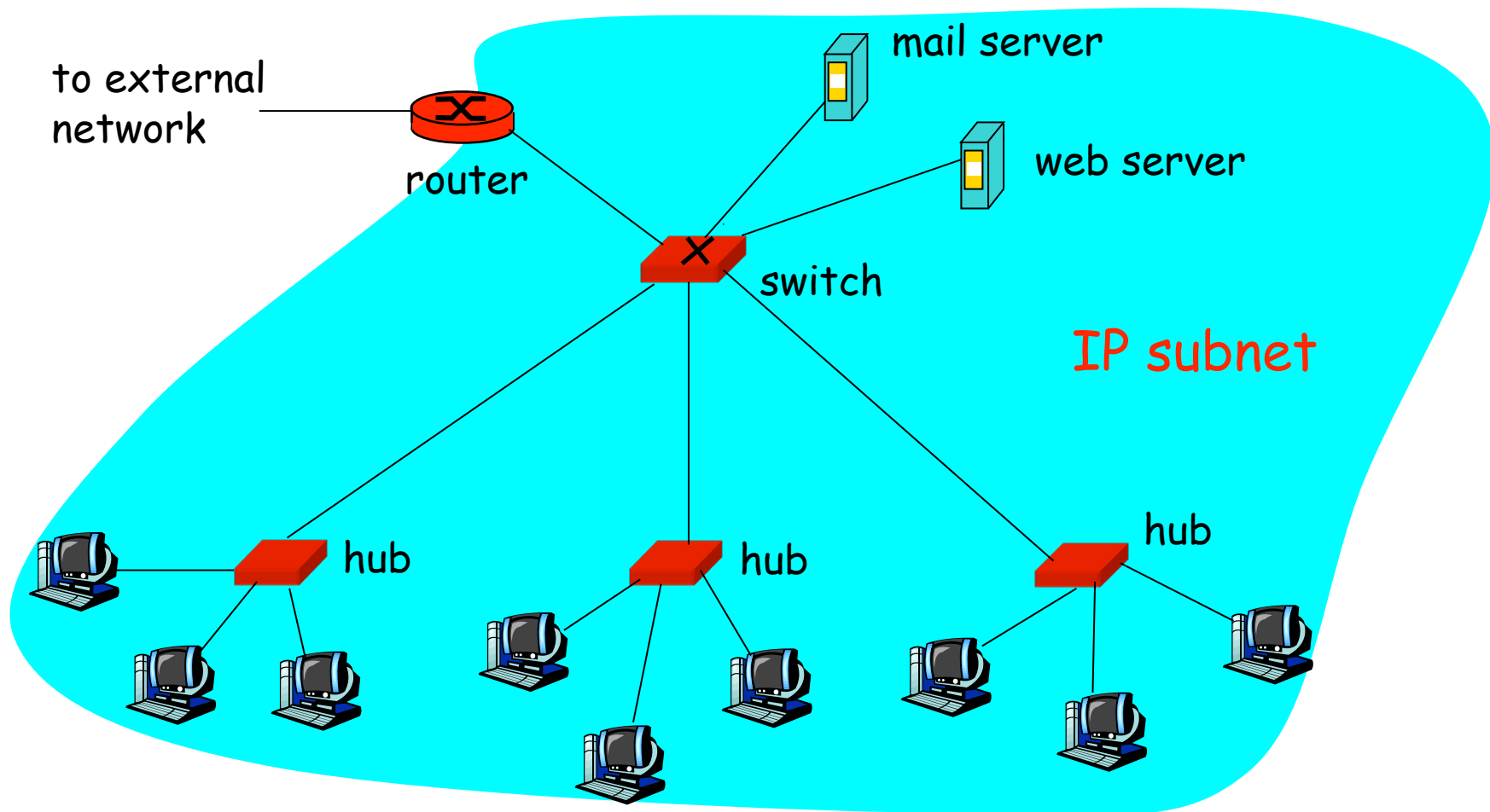
Acesso dedicado

- Um switch com muitas interfaces
- Cada host tem uma interface dedicada
- Sem colisões; full-duplex

Comutação: A-para-A' and B-para-B' simultaneamente, sem colisões



Rede departamental típica



Organização do capítulo

- Objectivos e serviços do nível *data-link*
- Tratamento de erros
- Controlo de acesso ao meio (MAC)
- A rede *Ethernet* e suas variantes
- Endereçamento em LANs e interconexão de LANs
- Redes *Ethernet* sem fios

Redes locais sem fios — WIFI

- Norma IEEE 802.11 - Wireless LAN ou WLAN
- WIFI é a designação comercial dos fabricantes cuja inter-operação está certificada
- Funciona a 11 Mbps e 54 Mbps (802.11b e 802.11g) mas também a velocidades inferiores
- 30 metros de diâmetro máximo de cada “célula” com obstáculos (“debaixo de telha”) e 150 metros em linha de vista
- Usam frequências “livres”, isto é, não sujeitas a licenciamento (2.4 GHz, ...)
- Incorporam um protocolo MAC do tipo CSMA/CA
- Configurações ad-hoc e com *wired acces points*

Características dos canais sem fios

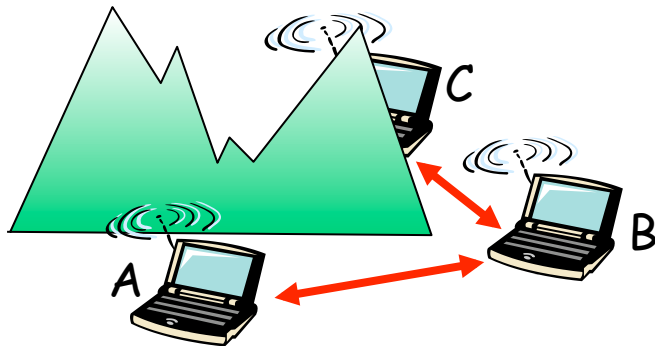
São muito diferentes dos suportes guiados

- **Potência decrescente do sinal ("decreased signal strength"):** o nível do sinal de rádio atenua-se exponencialmente durante a propagação através da matéria ("path loss")
- **Interferências de outras fontes:** as frequências usadas são muitas vezes públicas (e.g., 2.4 GHz) e partilhadas por outros dispositivos (e.g., telefones sem fios, micro ondas, motores) que interferem na comunicação
- **propagação multi caminho ("multipath propagation"):** os sinais de rádio reflectem-se nos objectos e nos obstáculos o que faz com que o receptor receba vários sinais com ligeiros desfasamentos temporais

.... Tornam as comunicações através de um canal sem fios muito mais difíceis e sujeitas a erros (mesmo num canal ponto a ponto baseado em antenas direccionais)

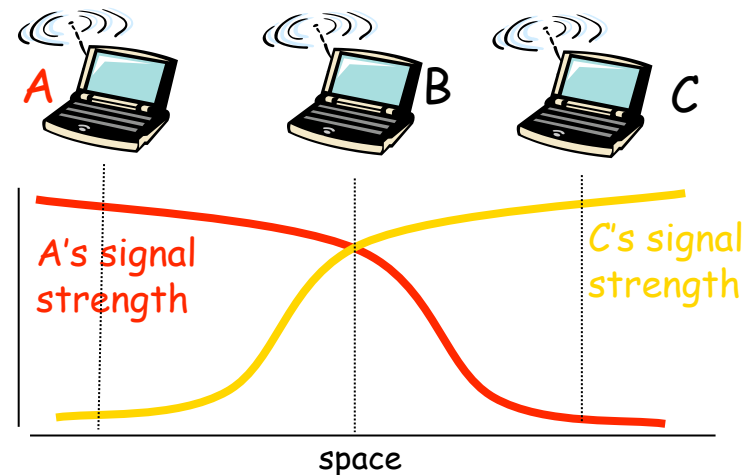
Características dos canais sem fios

A existência de múltiplos emissores, para além dos problemas de partilha do canal, criam outros problemas suplementares:



Problema do terminal escondido:

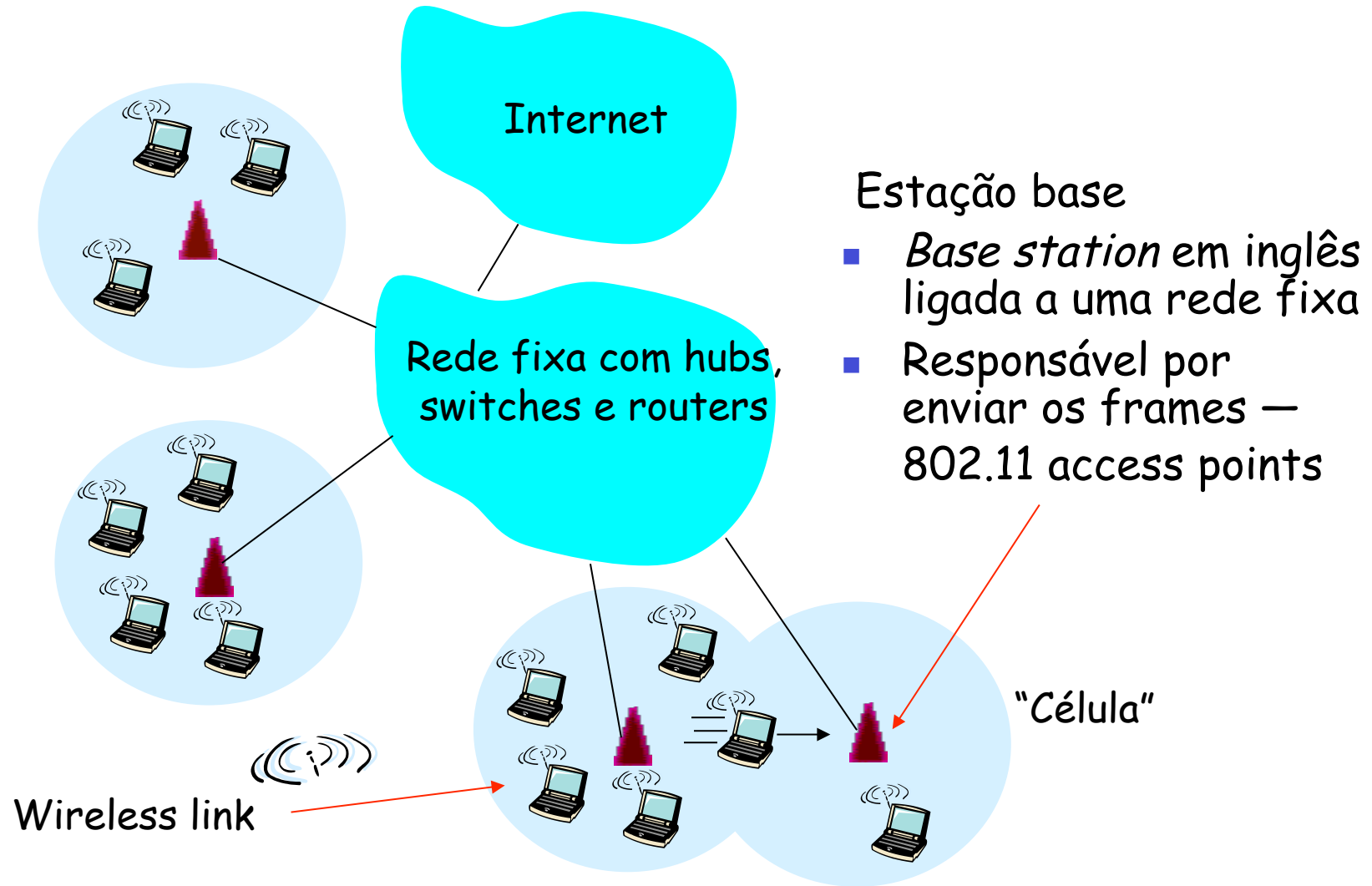
- B e A detectam-se mutuamente
- B e C detectam-se mutuamente
- A e C não se detectam, o que quer dizer que A e C não se apercebem da interferência vista por B (colisão)



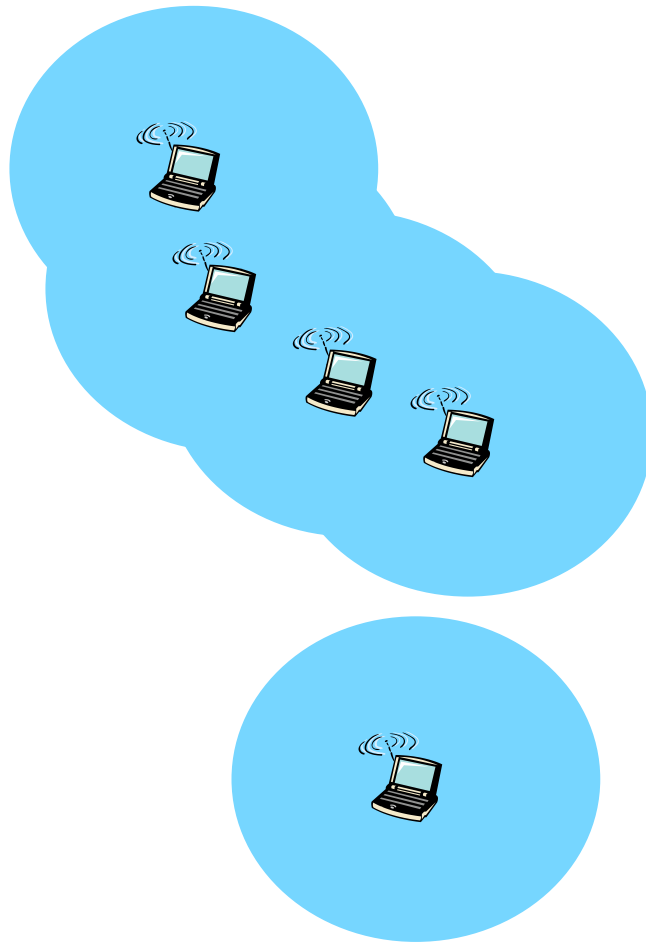
"Signal fading":

- B e A detectam-se mutuamente
- B e C detectam-se mutuamente
- A e C não se detectam, o que quer dizer que A e C não se apercebem da interferência vista por B (colisão)

Elementos de uma rede sem fios



Elementos de uma rede sem fios

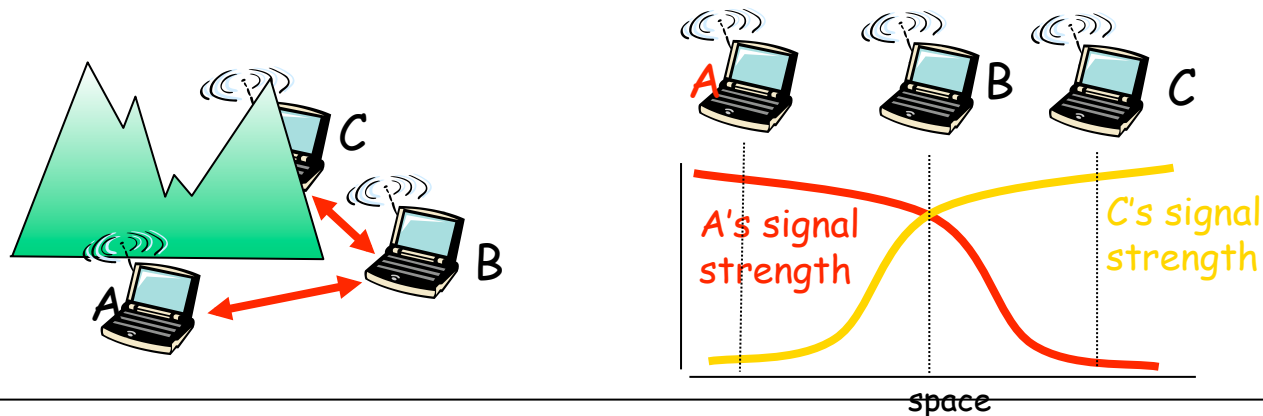


Modo Ad hoc

- Sem estações base
- As estações (nós) só alcançam as estações que estão no seu perímetro de cobertura
- Os nós organizam-se como uma rede e encaminham pacotes entre eles
- Bom para teatros de guerra, meetings ao ar livre ou cenários de desastres

MAC IEEE 802.11 — CSMA/CA

- Objectivo: tentar evitar colisões o mais que possível (CSMA/CA - Collision Avoidance)
- De qualquer forma usa "carrier sense" para evitar tentar evitar colidir o mais que possível
- 802.11: não há detecção de colisões pois durante a transmissão tal não é possível, só no fim, através de um ACK se sabe se tudo correu bem



IEEE 802.11 MAC Protocol

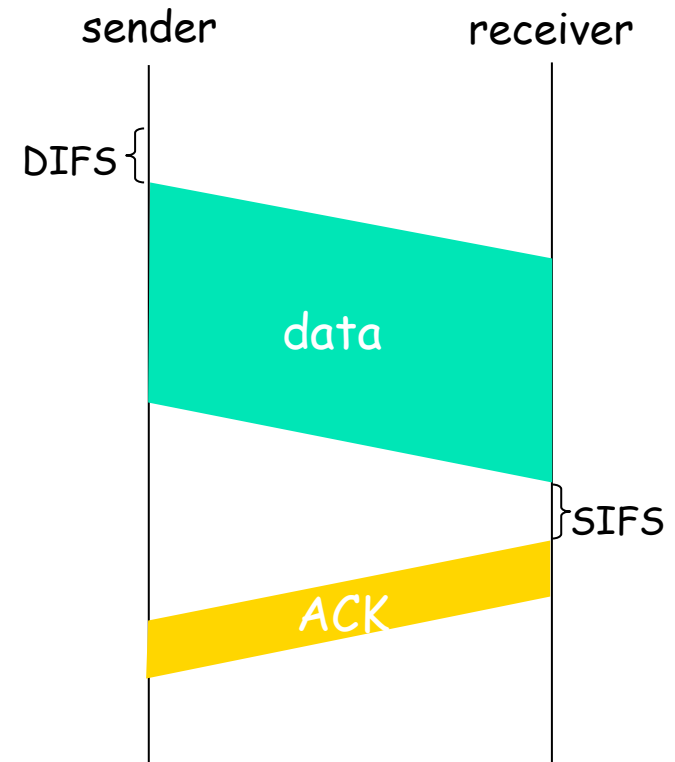
802.11 sender

- if sense channel idle for DIFS then transmit entire frame (no Collision Detection)
- if sense channel busy then start random backoff time, timer counts down while channel idle and transmit when timer expires,
- if no ACK, increase random backoff interval, repeat previous step for up to three or four times

802.11 receiver

- if frame received OK, return ACK after SIFS (ACK needed due to hidden terminal problem)

Backoff interval starts at [0, 31] and doubles in each round

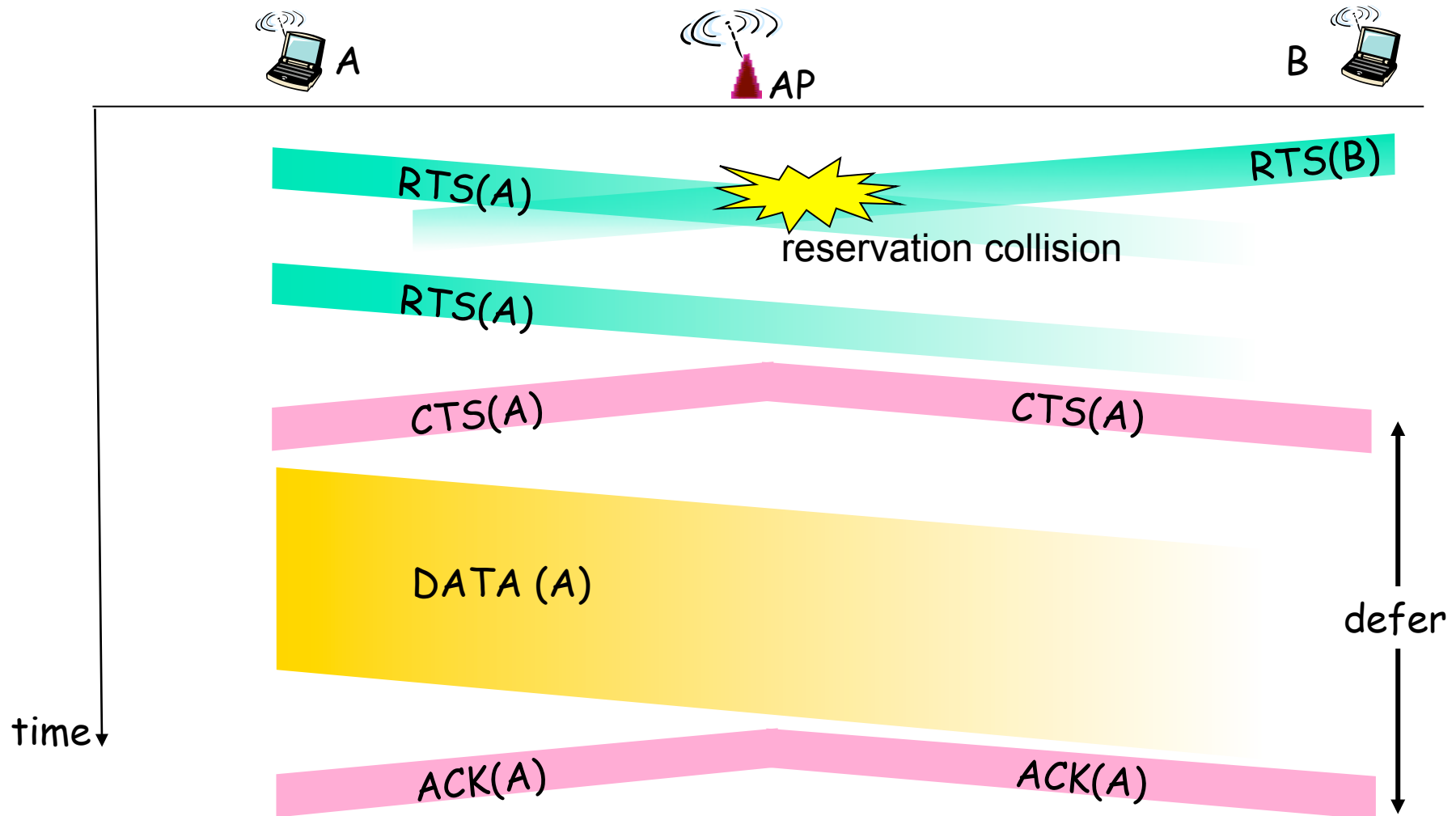


RTS / CTS opcional

- Começar por enviar um frame (RTS - Request to Send) curto para o AP usando CSMA
 - Ainda pode haver colisões mas estes frames são curtos
- O AP difunde um frame CTS (Clear to Send) em resposta ao RTS
- RTS detectado por todos os nós (espera-se)
 - O emissor transmite o frame
 - As outras estações libertam o canal durante o tempo de transmissão do frame (o CTS contém a duração do frame que se quer transmitir)

Tentar evitar as colisões com frames grandes,
enviando previamente frames pequenos de reserva

Funcionamento: RTS-CTS exchange



Link Layer Protocol for Each Hop

- IP packet transferred over multiple hops
 - Each hop has a link layer protocol
 - May be different on different hops
- Analogy: trip from Princeton to Lausanne
 - Limo: Princeton to JFK
 - Plane: JFK to Geneva
 - Train: Geneva to Lausanne
- Refining the analogy
 - Tourist == packet
 - Transport segment == communication link
 - Transportation mode == link-layer protocol
 - Travel agent == routing algorithm