



Laboratório de Pesquisa em Redes e Multimídia

Subcamada MAC

O Controle de Acesso ao Meio



Universidade Federal do Espírito Santo
Departamento de Informática

Métodos de Acesso ao Meio

- As implementações mais correntes de redes locais utilizam um meio de transmissão que é compartilhado por todos os nós. Quando um nó emite dados, todos os outros nós os recebem. Cabe a cada nó analisar o endereço de destino para determinar se os dados lhe são destinados ou não.
- Pelo fato de todos os nós receberem os dados, este tipo de redes são conhecidas por redes *multiponto* ou "*broadcast*".
- Como o meio de transmissão é compartilhado, é necessário estabelecer uma ordem de acesso ao meio entre as estações que desejam transmitir.
- Na arquitetura de redes OSI, esta função é desempenhada por uma sub-camada da camada de enlace, designada por "Medium Access Control (MAC)". Esta sub-camada implementa os algoritmos de controle de acesso ao meio de transmissão.

Formas de Controle

- *Centralizado:*

- Uma única estação é designada como responsável pela seleção de qual terá o direito de acessar o meio.

- *Distribuído:*

- As estações coletivamente executam um algoritmo de seleção para determinar, dinamicamente, a ordem de transmissão.
- Contenção.

Controle Centralizado

- Vantagens
 - Maior controle sobre o acesso, podendo prover funcionalidades como atribuição de prioridades, garantia de capacidade, etc;
 - Permite o uso de uma lógica relativamente simples nas estações;
- Desvantagens
 - Cria um ponto central de falhas;
 - Pode agir como gargalo, reduzindo a performance da rede.

Acesso com Contenção

- Nenhum controle é exercido para se determinar de quem é a vez. Todas as estações competem pelo tempo de uma forma não ordenada.
- É simples de implementar e eficiente para cargas baixas a moderadas na rede.
- É uma técnica apropriada para tráfego randômico ou em rajada (*bursty traffic*).
- Tende a colapsar para cargas altas
 - Excesso de colisão.
- Exemplos: *Aloha*, *Slotted Aloha*, *CSMA* e *CSMA/CD*.

Colisão

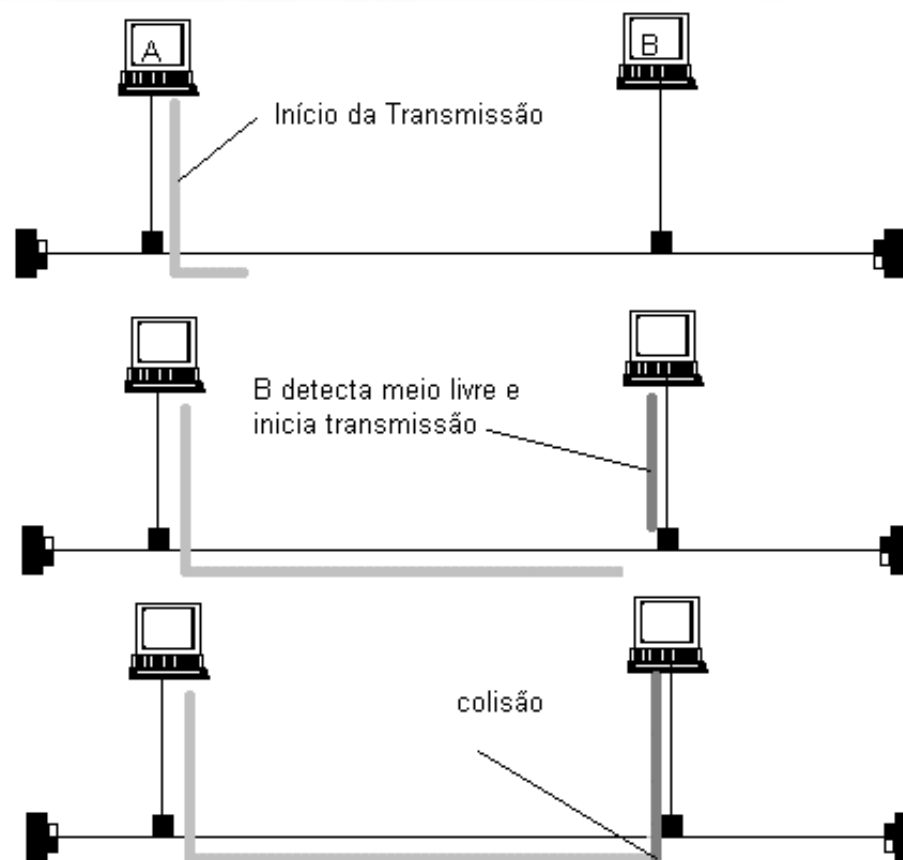


Figura 6.3: Colisão em Redes em Banda Básica

Aloha (Pure Aloha)

- Desenvolvida para redes de radiodifusão de pacotes, que se iniciou em 1970 na *University of Hawaii*.
- O propósito dessa rede era interligar o centro de computação a terminais espalhados por todas as ilhas do arquipélago.
- A rede Aloha não era propriamente uma rede local mas o seu protocolo de acesso é a base para os protocolos MAC baseados em contenção atuais.

Aloha (Pure Aloha)

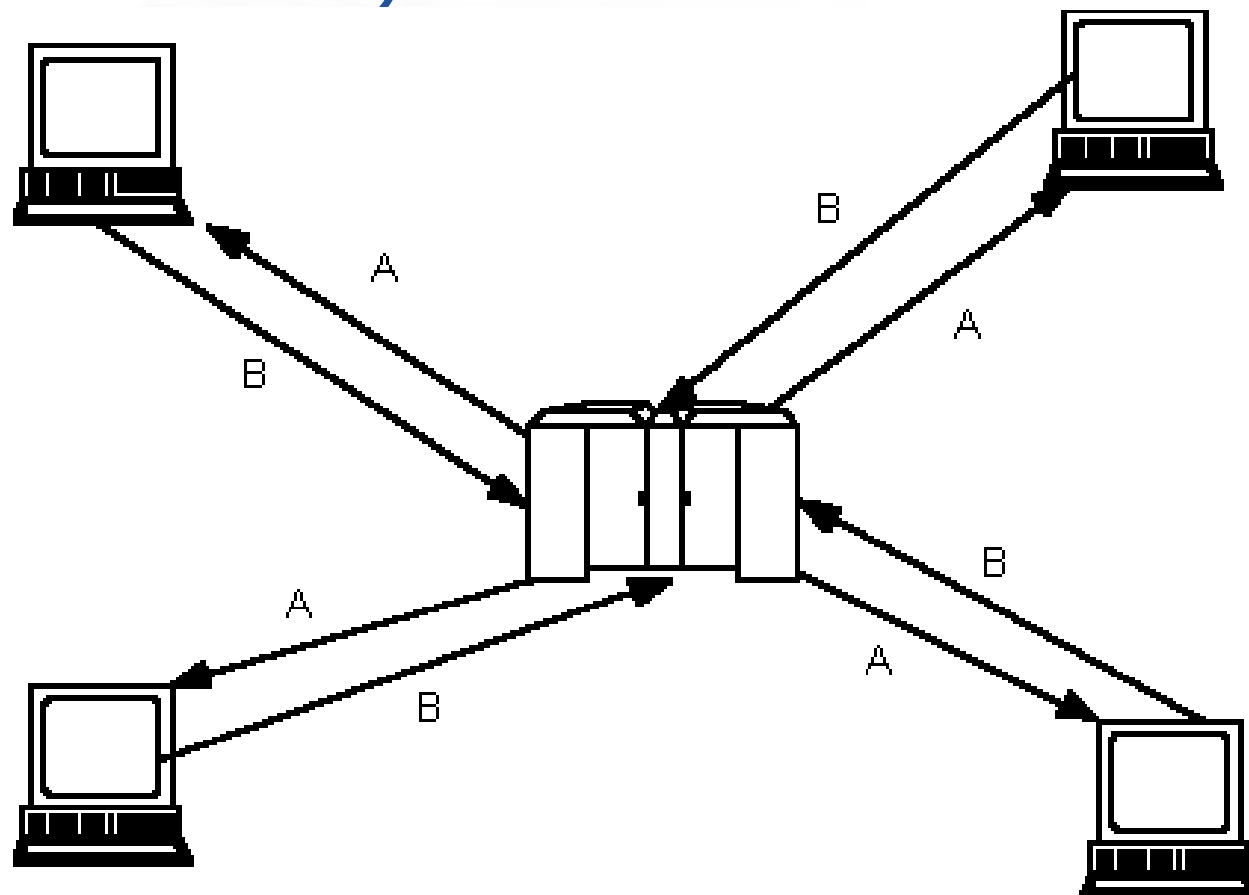
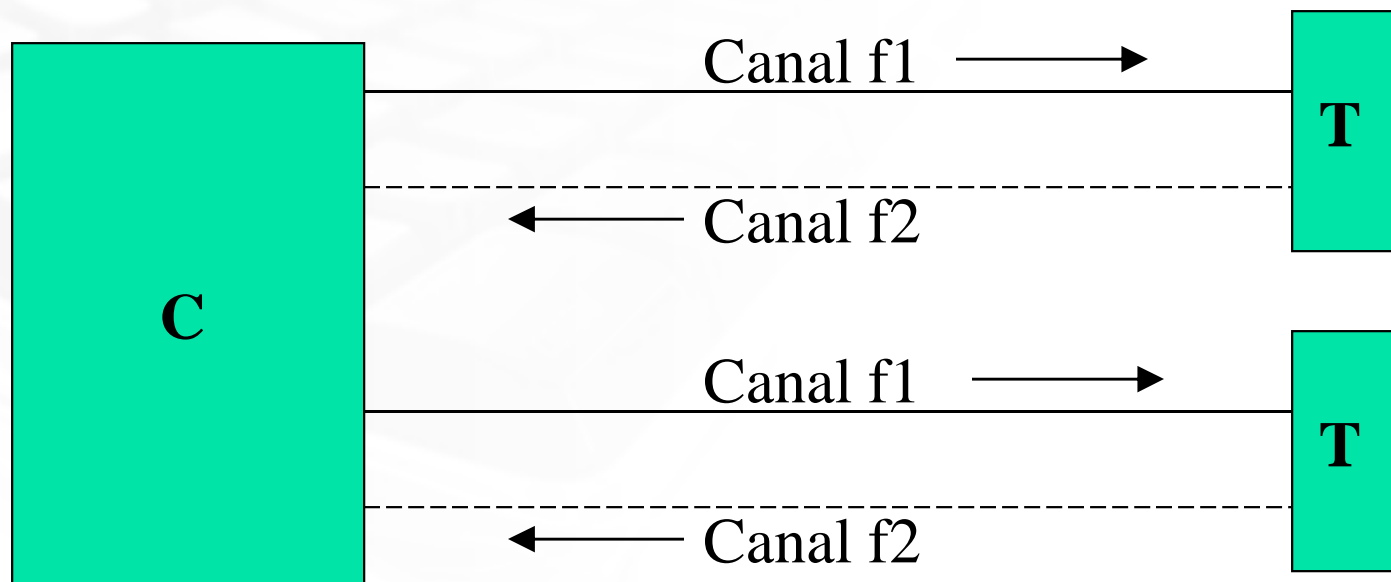


Figura 6.2: Canais na Rede Aloha

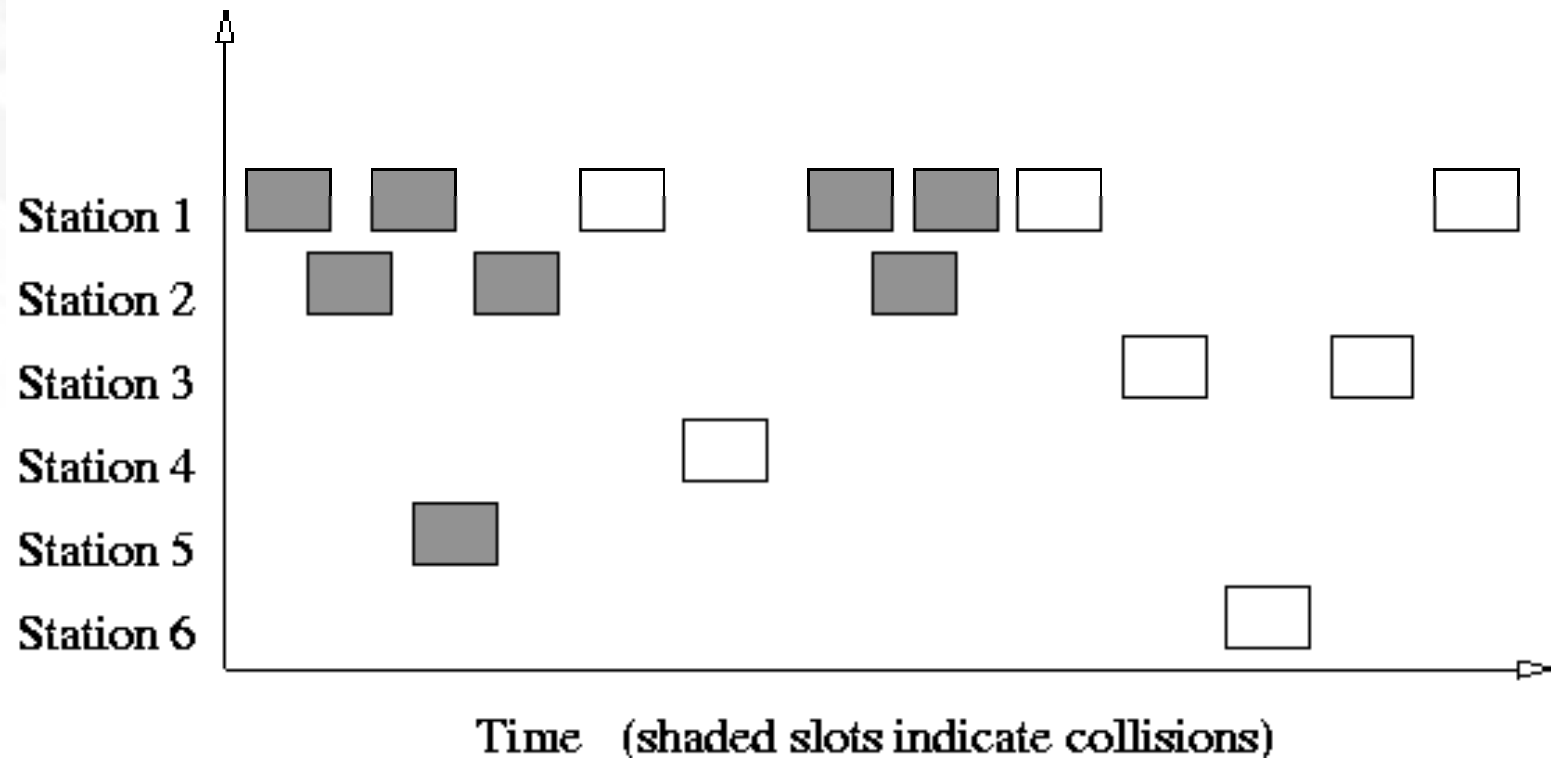
Aloha (Pure Aloha)

- Dois canais de frequência de rádio:
 - f_1 : difusão de mensagens de C para T;
 - f_2 : difusão de mensagens de T para C.
- Todos os terminais transmitem através do canal f_2 , resultando em problemas de contenção (cenário similar ao das LANs).
- Quando um terminal tem um quadro para transmitir, ele o transmite independentemente do canal estar sendo utilizado ou não.
 - \Rightarrow alta probabilidade de colisão.

Aloha (Pure Aloha)



Aloha (Pure Aloha)



Aloha (Pure Aloha)

- O transmissor dispara um temporizador no início da transmissão;
- Se um ack não chegar durante esse tempo, ele retransmite o quadro.
- O receptor (C) detecta que um quadro colidiu pela análise do seu CRC.

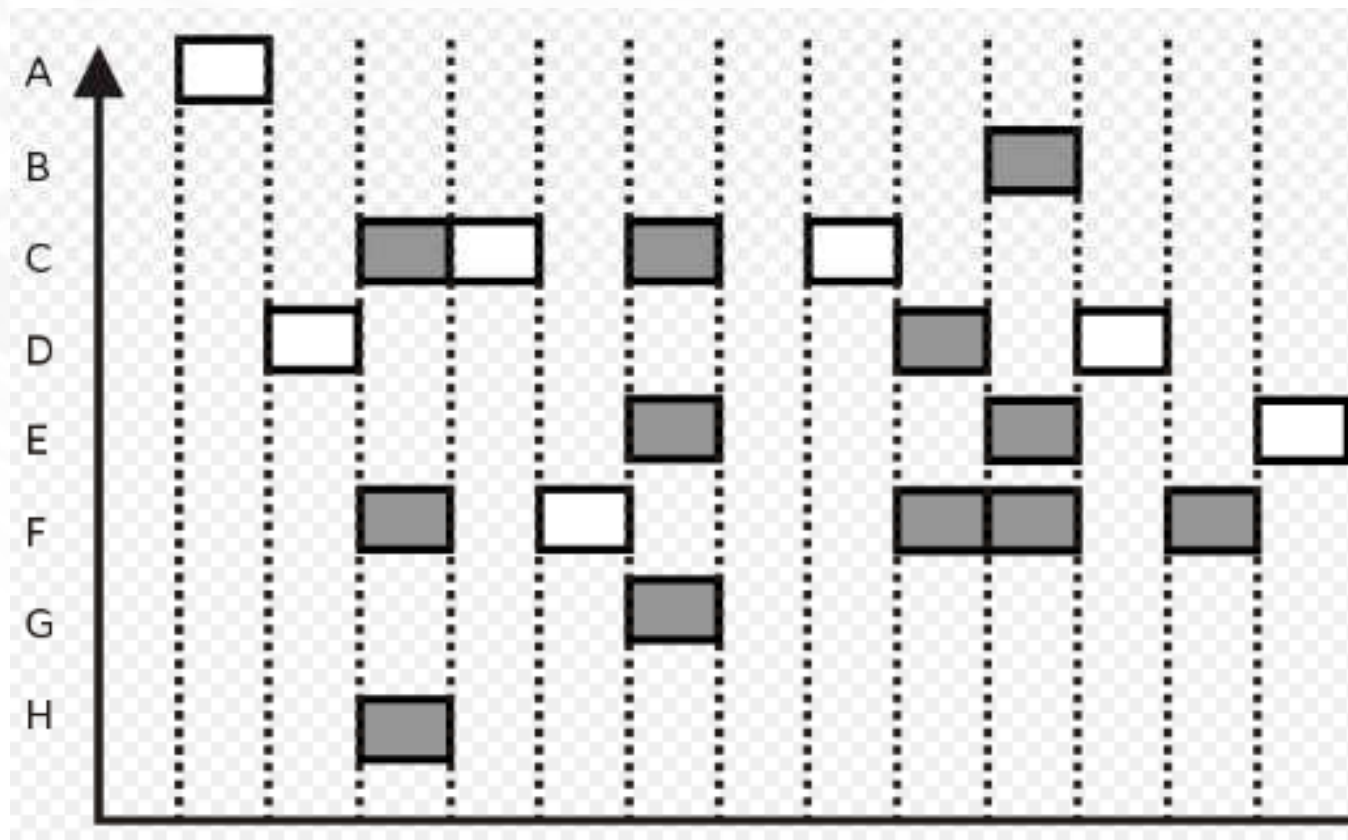
Aloha (Pure Aloha)

- É uma técnica muito ineficiente.
- A capacidade máxima de utilização do canal é da ordem de 18%.
- Muita informação inútil (quadros colididos) ocupando o canal durante muito tempo.
- Uma solução é sobrepor ao máximo os quadros colididos de modo que a informação inútil seja a menor possível \Rightarrow *Slotted Aloha*.

Slotted-Aloha

- Reduz o problema de colisão do *Pure Aloha*.
- A eficiência do sistema é dobrada (a utilização é aumentada de 18 para 37%).
- O tempo é dividido pelo sistema central em intervalos (*slots*) do mesmo tamanho.
- Cada terminal só pode começar a transmitir no início de cada intervalo.
- Quando os terminais decidem transmitir eles são sincronizados de modo que o tempo desperdiçado seja reduzido.

Slotted-Aloha



Slotted-Aloha

- O maior problema do esquema é que ele impõe um retardo no início da transmissão, pois antes de transmitir a estação tem que esperar pelo início do próximo *slot*, mesmo que o canal esteja disponível.
- Outras características:
 - Esquema simples de implementar (baixo custo).
 - Não existe prioridade de acesso nem garantia de retardo máximo de transferência.
- Adequado para aplicações onde o tráfego na rede é pequeno e onde a prioridade e o tempo de resposta não são importantes.

Observação

- Tanto o *Aloha* como o *Slotted-Aloha* não tiram vantagem de uma das propriedades mais importantes das redes locais e de pacotes:
 - “o tempo de propagação entre estações é usualmente muito pequeno comparado ao tempo de transmissão do quadro ($T_{prop} \ll T_{frame}$)”.
- Se T_{prop} é grande comparado a T_{frame} , após uma estação lançar um quadro decorrerá um longo intervalo de tempo até que as outras estações tenham ciência disso.
- Durante esse tempo, uma das estações pode querer enviar um quadro, causando colisão.

Observação

- Se T_{prop} é pequeno comparado a T_{frame} , quando uma estação lança um quadro as outras estações têm ciência disso quase que imediatamente.
- Assim, se as estações ficassem monitorando (“escutando”) o meio de transmissão, as colisões seriam raras pois bastaria não transmitir se ele estivesse ocupado.

CSMA - *Carrier Sense Multiple Access*

- Os protocolos nos quais as estações procuram escutar uma portadora (i.e., se já existe uma transmissão no meio) e agir de acordo com o estado do meio são chamados protocolos com detecção de portadora (*carrier sense protocols*).

CSMA - Carrier Sense Multiple Access

- No CSMA, a estação ouve o meio antes de transmitir para saber se alguma transmissão está em curso.
- Se ninguém controla o meio ela transmite; caso contrário, ela espera por um período de tempo e tenta novamente.
- Uma colisão só ocorre se dois nós tentam transmitir aproximadamente no mesmo tempo.

CSMA

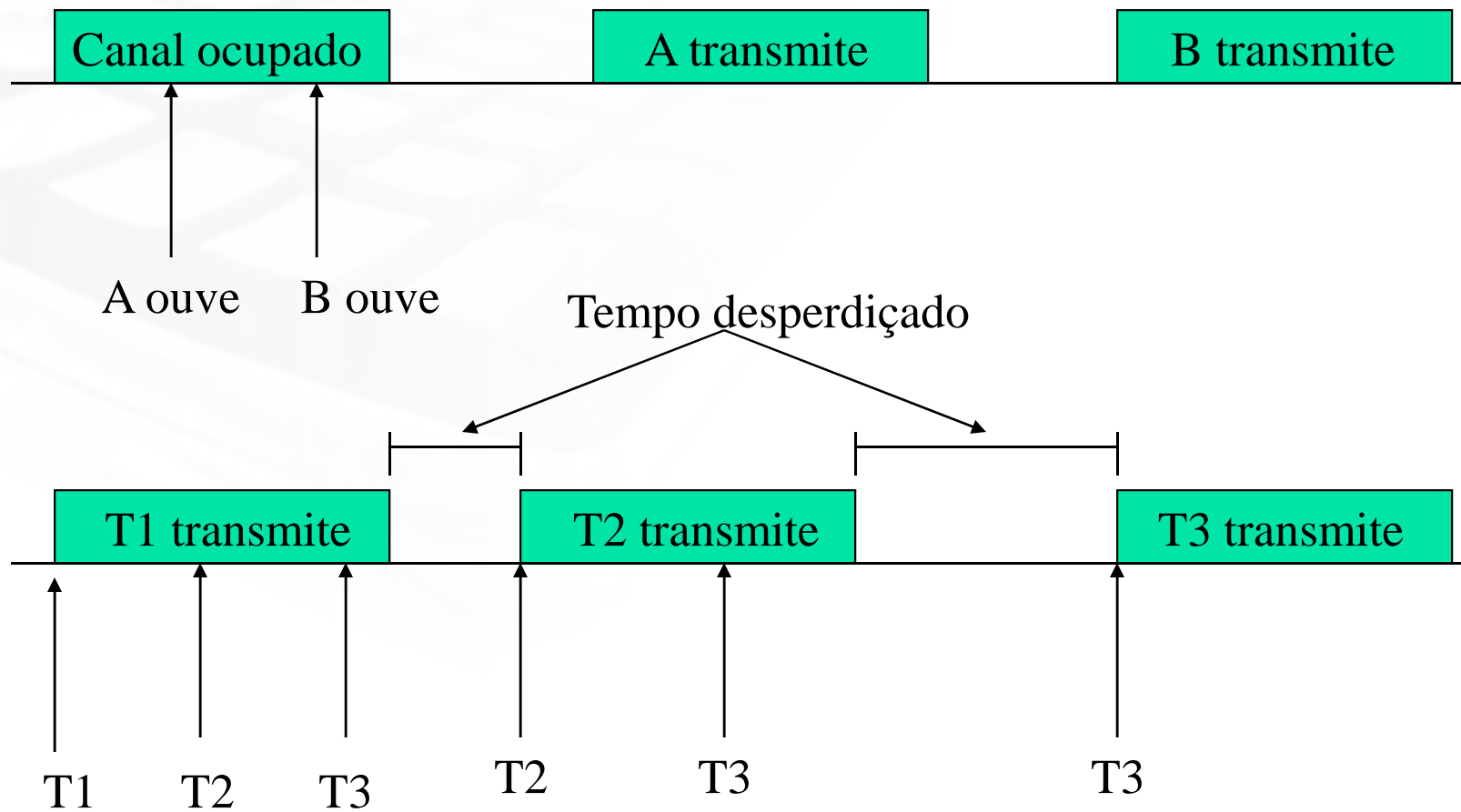
- Estratégias para quando o meio estiver ocupado:
 - Algoritmo não persistente (np-CSMA)
 - Algoritmo persistente (p-CSMA)
- Em ambas as estratégias, as estações, após transmitirem, esperam pelo *ack* por um tempo determinado, levando em conta o retardo de propagação de ida e volta mais o fato de que a estação que enviará o *ack* também disputará o direito de acesso ao meio.

np-CSMA

Algoritmo:

1. Se o meio estiver livre, transmita; caso contrário, vá para o passo 2.
2. Se o meio estiver ocupado, espere um período de tempo aleatório e repita o passo 1.

np-CSMA



np-CSMA

- O uso de um tempo aleatório de espera reduz a probabilidade de colisão.
- Problema do uso de um tempo aleatório:
 - As estações com dados para transmitir podem ficar esperando mesmo se o meio fica livre com o fim de uma transmissão (desperdício de tempo).

p-CSMA

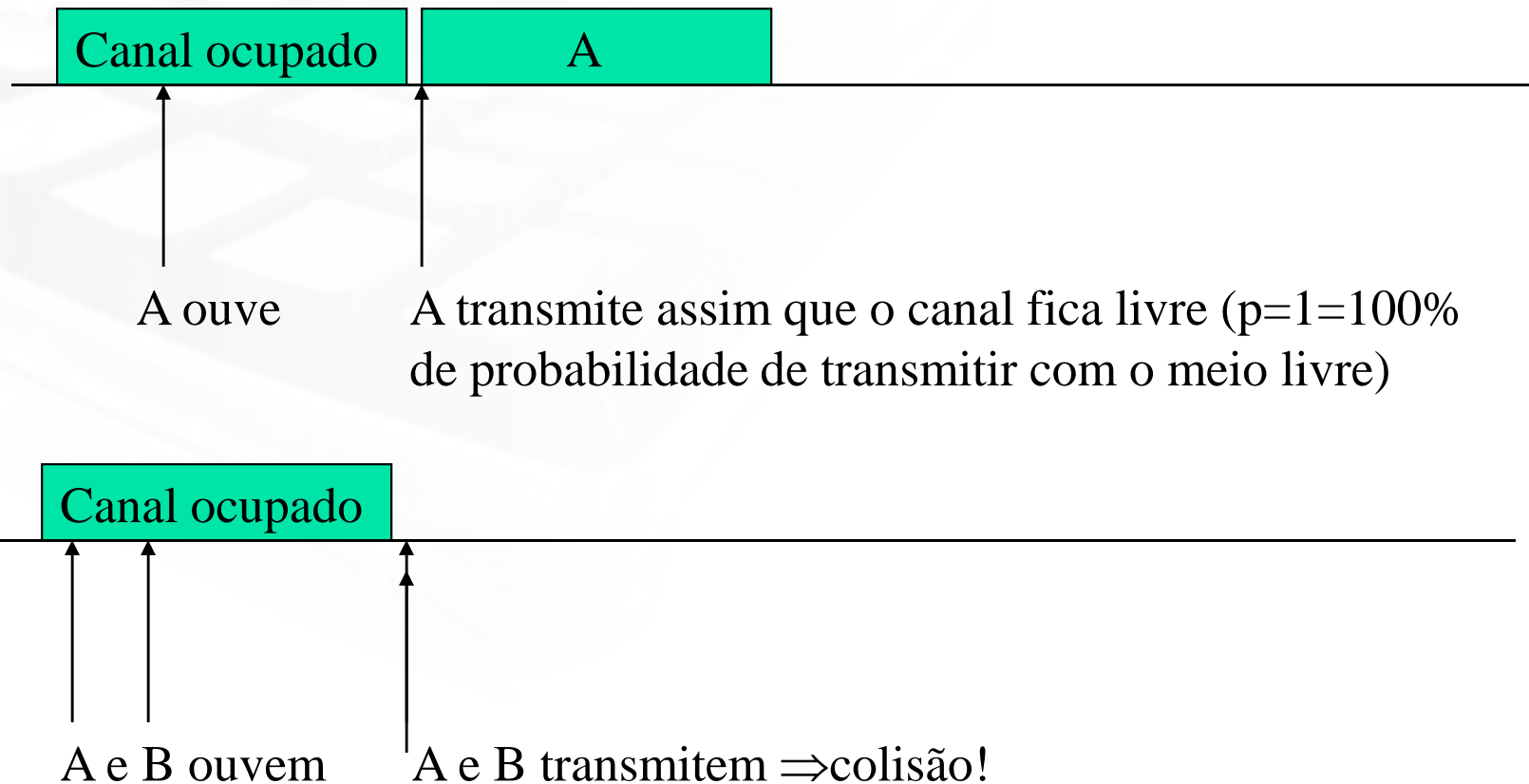
- Existem duas variantes:
 - 1-persistente;
 - p-persistente.
- Na variante *1-persistente* o desperdício de tempo é totalmente eliminado.
- A estação transmite imediatamente ao ficar o meio livre.
- Neste caso, uma colisão ocorrerá com certeza caso duas estações queiram transmitir.

CSMA 1-persistente

Algoritmo:

1. Se o meio estiver livre, transmita; caso contrário vá para o passo 2.
2. Se o meio estiver ocupado, continue a escutar até que o canal esteja livre; então, transmita imediatamente.

CSMA 1-persistente



CSMA p-persistente

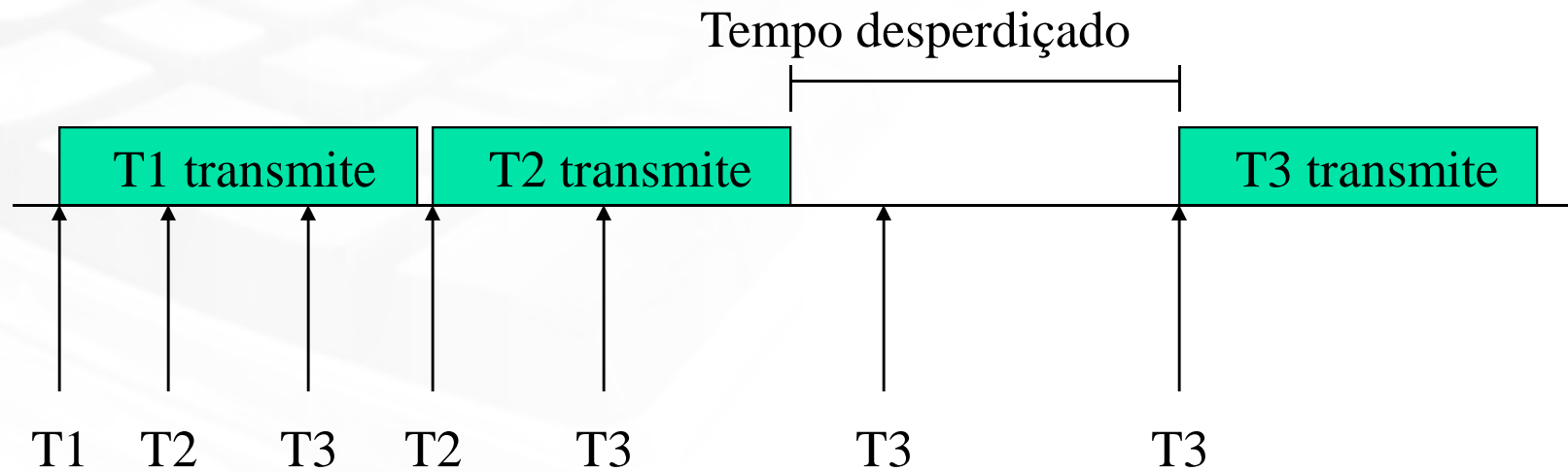
- É uma solução de compromisso, que reduz as colisões, como o não-persistente, e o tempo desperdiçado, como o 1-persistente.

CSMA p-persistente

Algoritmo:

1. Se o meio estiver livre:
 - Transmita com uma probabilidade p (isto quer dizer que o fato do meio estar livre não implica necessariamente na autorização de acesso ao meio); OU
 - Aguarde um período de tempo fixo com probabilidade $1-p$ (o período de tempo de espera é tipicamente igual ao retardo máximo de propagação).
2. Se o meio estiver ocupado:
 - Continue a ouvir até que o canal esteja livre e, então, repita o passo 1.

CSMA p-persistente



Qual é o melhor valor para p ?

- O principal objetivo é evitar instabilidade da rede sob cargas altas.
- Como exemplo, considere que n estações tenham dados para transmitir enquanto que uma transmissão está ocorrendo.
- No final da transmissão, o número esperado de estações que desejam transmitir é igual ao n° de estações prontas para a transmissão vezes a probabilidade de transmissão ($n * p$).
- Se $(n * p) > 1 \Rightarrow$ múltiplas estações desejam transmitir \Rightarrow colisão!

Qual é o melhor valor para p ?

- Pior, logo que elas detectarem a colisão elas tentarão novamente, garantindo novas colisões.
- Pior ainda, esses *retries* irão competir com novas transmissões, aumentando ainda mais a probabilidade de colisão.
- Eventualmente, todas as estações tentarão transmitir, causando colisões contínuas, com o *throughput* caindo a zero (colapso total).
- Para evitar essa situação catastrófica, $n * p$ deve ser menor que 1 para um esperado número máximo n de estações.

Qual é o melhor valor para p ? (cont.)

- Assim, se uma carga alta é esperada com regularidade, p deve ser pequeno.
- Observe, entretanto, que se p é pequeno as estações esperarão muito tempo para tentar a transmissão, aumentando o tempo desperdiçado. Para cargas baixas, isso pode resultar em longos retardos e, conseqüentemente, ineficiência.
- Por exemplo, considere que $p=10\%$ e uma situação de baixa carga, com apenas uma estação desejando transmitir. Nesse caso, a estação esperará, em média, nove unidades de tempo antes de tentar transmitir.

Observações:

- Em tráfego baixo, as estratégias CSMA permitem uma utilização da ordem de 85%.
- A prioridade de acesso não existe.
- É impossível garantir um retardo máximo de transferência.
- Para tráfego pesado, ambas as técnicas são ineficientes (altas taxas de colisão ou grande retardo).

Resumindo ...

- Protocolos CSMA persistentes e não-persistentes são claramente uma melhoria com respeito ao ALOHA porque garantem que nenhuma estação começa a transmitir quando percebe que o canal está ocupado.

Entretanto ...

- Nas técnicas Aloha e CSMA quadro continua sendo transmitido mesmo que já tenha colidido com um outro.
- Isso acontece porque a detecção de colisão nesses métodos só é realizada depois da transmissão.
- Isso também significa que o meio permanece ocupado enquanto perdura a transmissão de quadros colididos/danificados.

Entretanto ... (cont.)

- Nessa situação, para o envio de quadros de grande tamanho, ocorre um considerável desperdício da capacidade de transmissão.
- Este desperdício poderia ser reduzido se a estação continuasse a escutar o meio durante a transmissão. Nesse caso, uma colisão poderia ser detectada durante a transmissão do quadro.
- Idéia: continuar escutando o meio e parar de transmitir se uma colisão for detectada.

CSMA/CD

- CSMA with Collision Detection”.
- O CSMA/CD é a técnica de acesso ao meio mais comum para as topologias em barra e em estrela.
- A versão original em banda base foi desenvolvida pela Xerox, como parte do seu projeto de LAN Ethernet.

CSMA/CD – Algoritmo Básico

1. Se o meio estiver livre, transmita; caso contrário, vá para o passo 2.
2. Se o meio estiver ocupado, continue a ouvir até que o canal esteja livre e, então, transmita imediatamente.
3. Se uma colisão for detectada durante a transmissão, transmita um pequeno sinal especial (*jam signal*) para garantir que todas as estações saberão da colisão e, então, pare de transmitir.
4. Após transmitir o *jam signal*, espere um tempo aleatório e tente transmitir novamente (volte ao passo 1).

CSMA/CD – Tempo de Detecção da Colisão

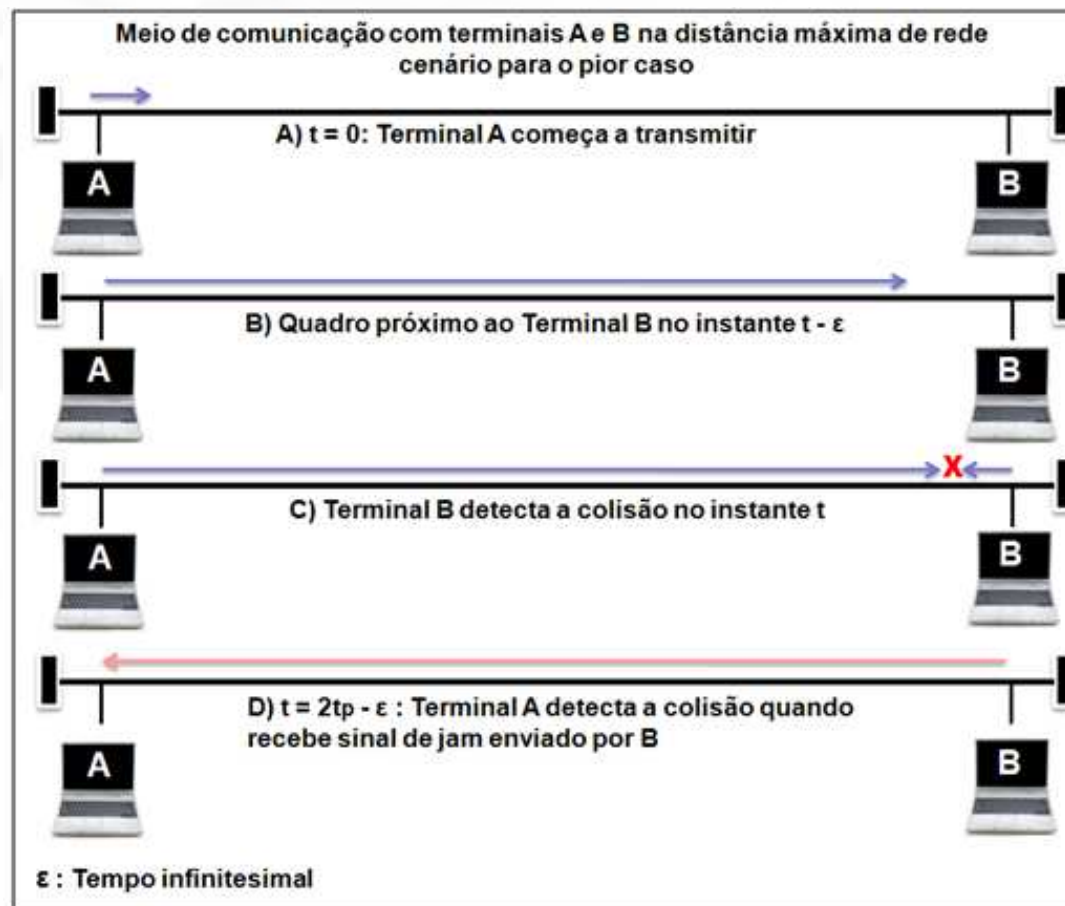
- Com o CSMA/CD, a quantidade de capacidade desperdiçada é reduzida ao tempo de detectar a colisão.
- Questão:
 - Qual é o valor desse tempo?

CSMA/CD – Slot Time

Exemplo:

- Nó A inicia a transmissão. Imediatamente antes do quadro chegar ao nó B , este está pronto para transmitir e, como ele ainda não está ciente da transmissão de A , inicia a sua transmissão.
- Uma colisão ocorre quase que imediatamente. Ela é reconhecida por B , que cessa imediatamente a sua transmissão. Esta colisão deve se propagar de volta até A para que este tome ciência dela.
- Por essa linha de raciocínio, para que uma colisão possa ser detectada, o tempo de transmissão de um quadro não pode ser menor do que duas vezes o retardo de propagação fim-a-fim. Esse tempo é conhecido como *slot time* da rede.
- Em outras palavras, o *slot time* é definido como sendo duas vezes o tempo que um pulso eletrônico (OSI nível 1) leva para atravessar a distância máxima entre dois nós da rede.

CSMA/CD – Slot Time (cont.)



CDMA/CD – Slot Time (cont.)

Velocidade Ethernet	Tempo de bit
10 Mbps	100 ns
100 Mbps	10 ns
1000 Mbps = 1 Gbps	1 ns
10,000 Mbps = 10 Gbps	.1 ns

Speed	Slot time*	Time Interval
10 Mbit/s	512 bit times	51.2 microseconds
100 Mbit/s	512 bit times	5.12 microseconds
1 Gbit/s	4096 bit times	4.096 microseconds
10 Gbit/s	Not applicable	Not applicable

- Nas redes Ethernet com taxa de transmissão de 10Mbps o tamanho mínimo dos frames foi fixado em 512 bits (64 bytes), o que corresponde a um tempo de transmissão de 51,2 microsegundos. Esse tamanho de quadro é uma decisão histórica e, na prática, impraticável a sua alteração.
- Obs: o *jam signal* tem tamanho 32 bits.

CSMA/CD – Algoritmo de *Backoff*

- Como visto, detectada uma colisão, a estação espera um tempo para retransmitir.
- Duas técnicas de retransmissão são usadas:
 - Espera aleatória exponencial truncada (*truncated exponential backoff*)
 - Retransmissão ordenada (*orderly backoff*)

CSMA/CD – Algoritmo de *Backoff* (cont.)

- Na primeira técnica, a estação ao detectar uma colisão espera por um tempo aleatório, que vai de zero até um limite superior.
- Este tempo é aumentado a cada colisão sucessiva. O tempo de retardo é calculado em unidades de *slot time*.
- De forma a evitar retardos muito altos, o incremento é detido em algum ponto.
- Se, após algumas retransmissões, as colisões ainda persistirem, a transmissão é finalmente abortada.
- Na segunda técnica, as estações só podem começar a transmitir em intervalos de tempo a elas pré-allocados.

CSMA/CD - Espera Aleatória Exponencial Truncada (Binary Truncated Exponential Backoff Algorithm)

[Wikipedia]

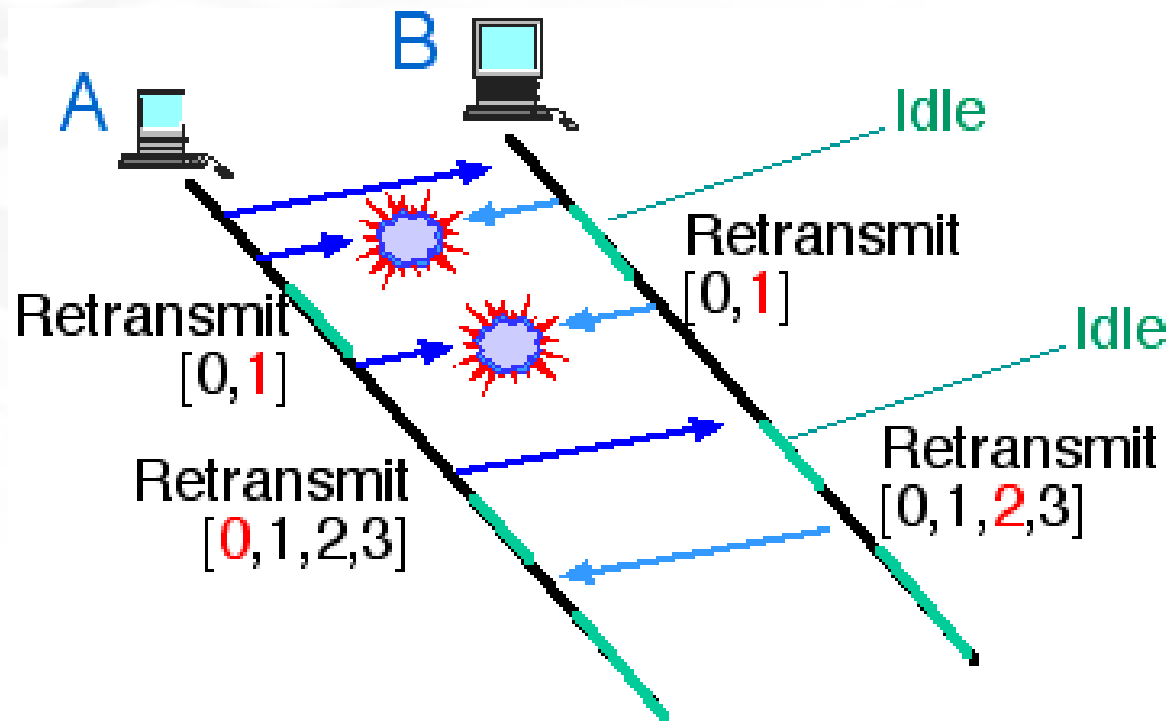
- Após c colisões, um número aleatório de slot times entre 0 e $2^c - 1$ é escolhido. Para a primeira colisão ($c = 1$), cada nó "que colidiu" (nó transmissor) esperará ou 0 ou 1 *slot time*. Após a segunda colisão ($c = 2$), eles esperarão entre 0 e 3 *slot times* ($2^2 - 1 = 3$). Após a terceira colisão, os transmissores vão esperar entre 0 e 7 slot times, e assim por diante.
- À medida que o número de tentativas de retransmissão é incrementado, o número de possibilidades de espera aumenta exponencialmente.
- O termo "*truncated*" significa que após um certo número de incrementos, a exponenciação é finalizada, isto é, o *timeou* de retransmissão chega a um teto (limite) e não é mais incrementado. Por exemplo, se $i = 10$, como é o caso do padrão IEEE 802.3 CSMA/CD, então o retardo máximo é de $2^{10} - 1 = 1023$ *slot times*.
- Devido ao fato de que esses retardos permitem que outras estações transmitam, há uma possibilidade, em uma rede carregada, que muitos nós possam ser pegos em um único conjunto de colisão. Devido a essa possibilidade, após 16 tentativas de retransmissão, o processo é abortado.

CSMA/CD - Espera Aleatória Exponencial Truncada (Binary Truncated Exponential Backoff Algorithm) (cont.)

- [Wikipedia: um exemplo]
(supor um slot time de $51.2\mu\text{s}$)
 1. Quando ocorrer a primeira colisão, envie um "*jamming signal*" para prevenir que mais dados sejam enviados (obs: jam signal = 32 bits).
 2. Retransmita o frame após 0 segundos ou $51.2\mu\text{s}$, escolhido randomicamente.
 3. Se houver falha (nova colisão), retransmita o frame após 0s, ou $51.2\mu\text{s}$, ou $102.4\mu\text{s}$, ou $153.6\mu\text{s}$.
 4. E isso ainda não funcionar, retransmita o frame após $k \cdot 51.2\mu\text{s}$, onde k é um número randômico entre 0 e $2^3 - 1$.
 5. Em geral, após uma *c-ésima* tentativa (falha), retransmita o frame após $k \cdot 51.2\mu\text{s}$, where k is a random number between 0 and $2^c - 1$.

CSMA/CD - Espera Aleatória Exponencial Truncada

(cont.)

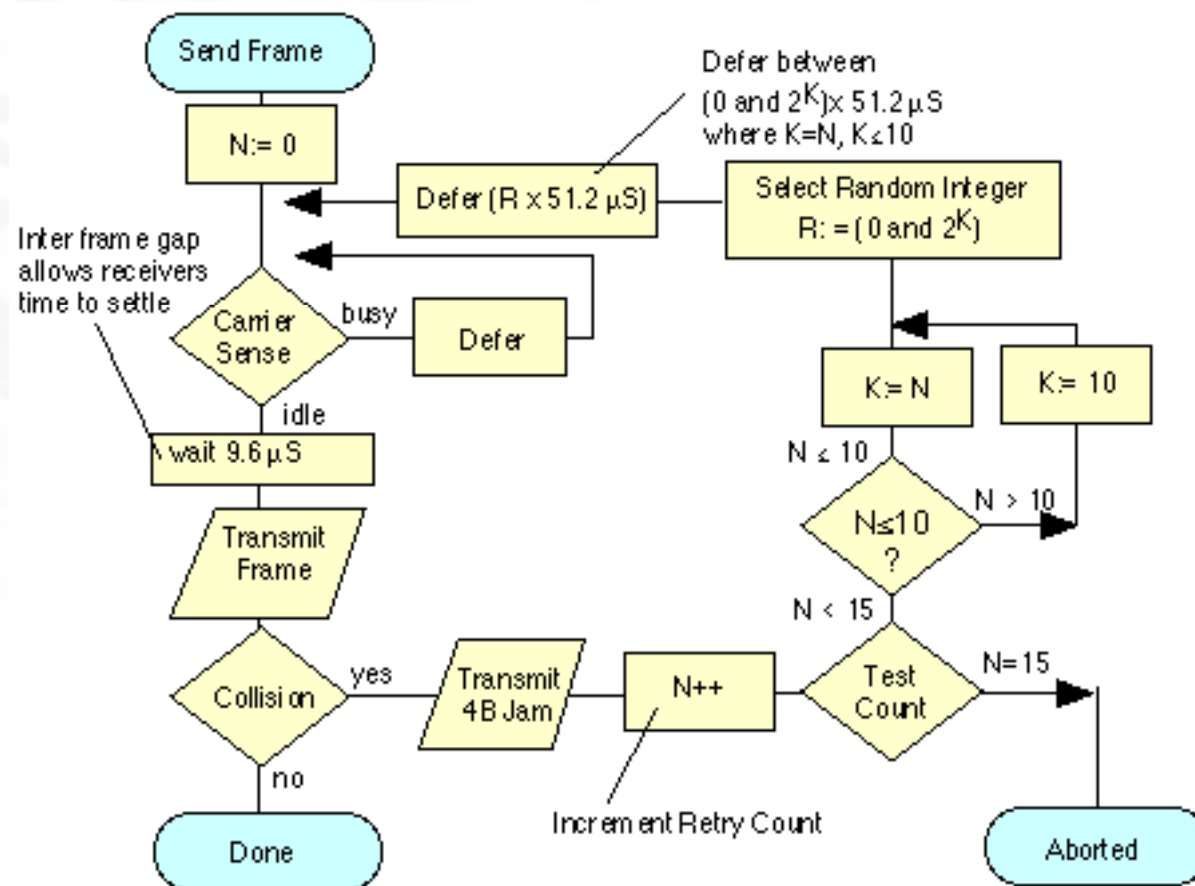


CSMA/CD – Espaçamento entre Frames (IFG, IPG)

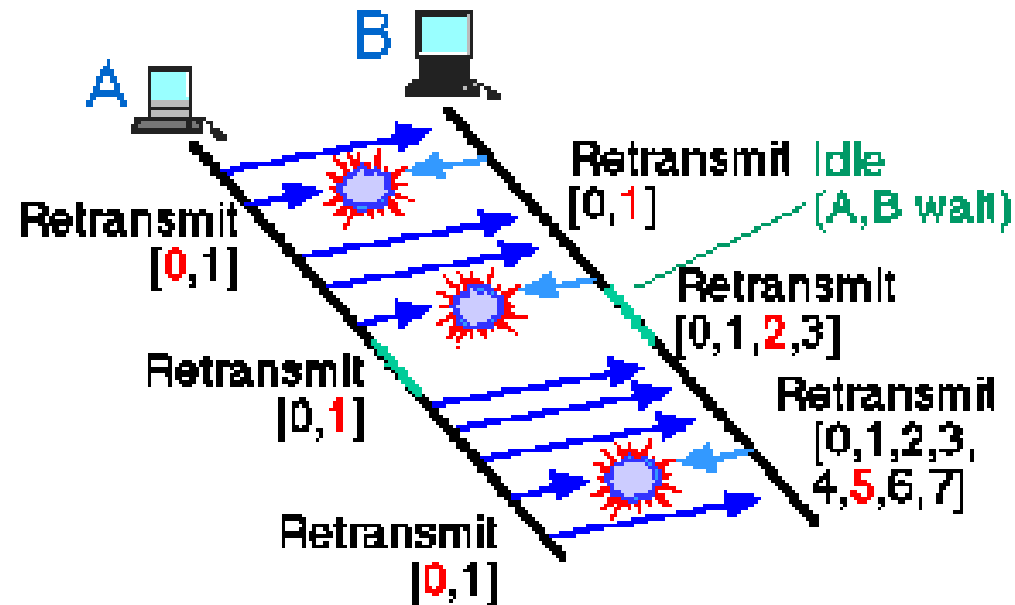
- Depois de um quadro ter sido transmitido, todos os nós da rede devem esperar no mínimo 96 tempos de bit antes que qualquer nó possa transmitir outro quadro.
- Este é um breve tempo de recuperação entre frames que permite aos nós se prepararem para a recepção do próximo frame.

Velocidade	Espaçamento Entre Quadros	Tempo necessário
10 Mbps	96 bit-times	9.6 μ s
100 Mbps	96 bit-times	0.96 μ s
1 Gbps	96 bit-times	0.096 μ s
10 Gbps	96 bit-times	0.0096 μ s

CSMA/CD – Algoritmo Detalhado



CSMA/CD – Problema: “Ethernet Capture”



CSMA/CD – Eficiência do Método

- A eficiência do método é aproximada por:

$$E = (1/(1+(3,4.T_{prop}.R/T_{amframe}))) \quad (1)$$

$$\text{Observação: } T_{amframe} = 2.T_{prop}.R \quad (2)$$

(R = taxa de dados, T_{prop} = tempo de propagação)

- Algumas observações de (1) e (2):
 - Quanto maior a distância, maior o tempo de propagação, menor a eficiência, e maior o tamanho mínimo do quadro para a detecção de colisão.
 - Quanto maior a taxa de transmissão, maior deve ser o tamanho mínimo do quadro e menor será a eficiência, e quanto maior se queira a eficiência, maior deverá ser o tamanho do quadro.
- A distância máxima entre nós é limitada não só pelo meio e topologia, mas também pelo MAC.

CSMA/CD 1-persistente

- Assim como o CSMA, o CSMA/CD emprega um dos três algoritmos de persistência.
- O mais comum é o 1-persistente (Ethernet e IEEE 802.3). Nesse caso, o desperdício de tempo de espera aleatório é eliminado ao custo do desperdício do tempo de colisão.
- Felizmente, o desperdício devido ao tempo de colisão é muito pequeno (obviamente, se os quadros forem grandes comparados ao tempo de propagação (isto é, $a \ll 1$)).

CSMA/CD – Detecção da Colisão em Redes UTP

- No caso de redes UTP (ex:10BASE-T) a detecção de colisão é muito mais simples e é baseada numa lógica e não no monitoramento de níveis de voltagem.
- Para qualquer *hub*, se existe atividade (sinal) em mais de uma entrada então uma colisão é assumida.
- Um sinal especial (*collision presence*) é gerado e enviado às outras portas enquanto a situação de colisão persistir. Esse sinal é interpretado pelos outros nós como uma ocorrência de colisão.

CSMA/CD – Consideração Finais

- Para baixas cargas, o CSMA/CD pode chegar a uma utilização de até 98%.
- Para grandes volumes de tráfego, o método exibe uma certa instabilidade.
- Retardo de transferência máximo também não pode ser garantido pelo método.
- CSMA/CD com espera aleatório exponencial truncada tornou-se um padrão internacional.