

Cap. 3 - Subcamada de Acesso ao Meio ou MAC

3.1 Redes Locais e Metropolitanas

3.2 Protocolo ALOHA

3.3 Protocolos de Redes Locais

3.4 Padrão IEEE 802 para Redes Locais

3.5 Redes de Fibra Ótica

3.6 Redes de Pacotes sem Fio

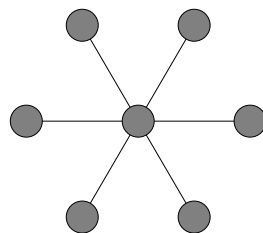
3.7 Exemplos da Subcamada MAC

... Cap. 3 - Subcamada de Acesso ao Meio ou MAC

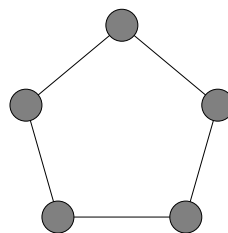
- ★ Andrew S. TANENBAUM; **Computer Networks**, Prentice-Hall International, Inc., Second Edition, 1989, ISBN 0-13-166836-6
- ★ Eleri CARDOZO; Maurício MAGALHÃES; **Redes de Computadores: Modelo OSI/X.25**, Departamento de Engenharia de Computação e Automação Industrial, Fac. de Engenharia Elétrica e de Computação, UNICAMP, 1996.
- ★ Eleri CARDOZO; Maurício MAGALHÃES; **Redes de Computadores: Arquitetura TCP/IP**, Departamento de Engenharia de Computação e Automação Industrial, Fac. de Engenharia Elétrica e de Computação, UNICAMP, 1994.

... Cap. 3 - Subcamada de Acesso ao Meio ou MAC

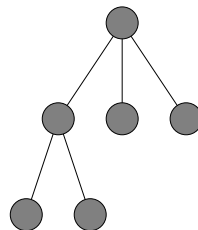
- ☆ Redes podem ser divididas em duas categorias: aqueles que utilizam de conexões ponto-a-ponto e aquelas que usam canais *broadcast*;
- ... este capítulo aborda as redes *broadcast* e seus protocolos.



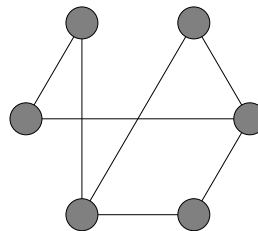
Estrela



Anel

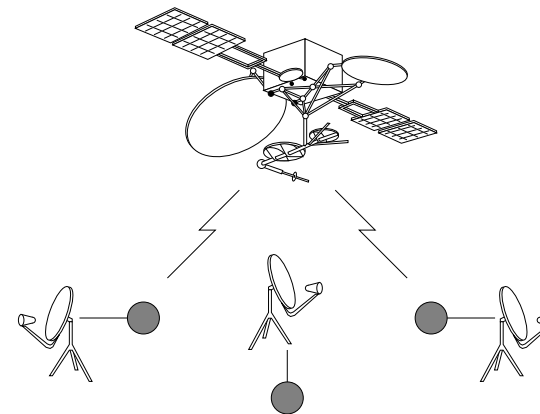


Árvore

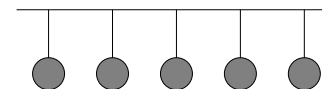


Genérica

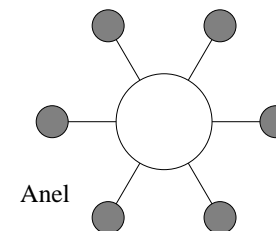
Topologias típicas de Subredes Ponto–Ponto



Radio–difusão via satélite



Barramento



Anel

Topologias típicas de Subredes de Difusão

... Cap. 3 - Subcamada de Acesso ao Meio ou MAC

- ✧ **problema:** como determinar quem irá utilizar o canal ou meio de transmissão **broadcast** quando houver mais de um *host* competindo por ele?
- ... na literatura, **canais broadcast** são freqüentemente referenciados como **canais de acesso múltiplo** ou **canais de acesso aleatório**;
- ✧ Nestes canais, determinar quem será o próximo a transmitir não é uma tarefa simples e, assim, várias são as abordagens utilizadas, dentre elas destacam:
 - ... abordagem **aleatória** e **determinística**.

... Cap. 3 - Subcamada de Acesso ao Meio ou MAC

☆ Técnicas mais difundidas de Controle de Acesso ao Meio:

- técnicas baseadas no acesso aleatório (contenção);
- técnicas baseadas na passagem de permissão.

☆ **Acesso Aleatório** - para redes de topologias de barramento

- a idéia básica é que, quando um *host* necessitar transmitir um quadro, o *host* simplesmente o faz.

☆ **Passagem de Permissão** - para redes de topologias em anel

- a idéia básica é ter-se uma ficha (*token*) circulando pelo anel, de *host* para *host*. O *host* que detiver o *token* está autorizado a transmitir.

... Cap. 3 - Subcamada de Acesso ao Meio ou MAC

- ★ Redes de Longa Distância - o Enlace se dá entre IMPs
 - ... ao decidir transmitir um quadro, o IMP simplesmente seleciona o segmento conectado ao destinatário e invoca os serviços da camada física referente ao segmento.
- ★ Redes Locais - meio físico é compartilhado por todos os *hosts*
 - ... a transmissão de um quadro requer um procedimento de acesso ao meio (MAC - *Medium Access Control*) que varia em complexidade em função da topologia e demais características da rede.

3.1 - Redes Locais e Metropolitanas

- ✧ A Camada MAC é especialmente importante nas LANs, que quase sempre utilizam-se do canal com acesso múltiplo como base para sua comunicação;
- ✧ LANs são normalmente caracterizadas por:
 - seu diâmetro não ultrapassa alguns quilômetros;
 - a taxa total de dados é de ao menos alguns Mbps;
 - é controlada, gerenciada e mantida por um único dono.
- ... em contra-partida, nas Redes WANs os *links* que são do tipo ponto-a-ponto proporcionam taxas mais baixas e são mantidas por múltiplas organizações.
- ✧ Entre as LANs e WANs encontramos as MANs, ou seja, redes que cobrem cidades mas se utilizam da tecnologia das LANs.

... 3.1 - Redes Locais e Metropolitanas

- ✧ Redes LANs diferem de suas primas WANs em vários aspectos, mas a principal razão é que projetistas de WANs são forçados quase sempre por razões políticas, econômicas e legais a usar a rede de telefonia pública;
- ... outro aspecto é que nas LANs as taxas de erros são 1000 vezes menores que nas WANs, o que diretamente impacta os protocolos;
- ... em WANs, a baixa confiabilidade significa que o tratamento de erros deve ser feito em cada camada e não somente nas camadas inferiores como nas LANs.

3.1.1 - Alocação Estática de Canal em LANs e MANs

- ✧ Um modo tradicional de alocar um único canal entre múltiplos competidores pode ser resolvido simplesmente utilizando-se FDM, entretanto na presença de variações contínuas no número de estações, alguns problemas aparecem;
- ... ou seja, assumir que o número de usuários possa de alguma forma manter-se constante e dividir o canal em sub-canais estáticos é inerentemente ineficiente.
- ✧ A baixa performance da multiplexação FDM estática pode ser facilmente constatada a partir da avaliação da teoria de filas:

$$T = \frac{1}{\mu C - \lambda}$$

- ... onde T é o atraso médio, C é a capacidade do canal em bps; λ é a taxa de chegada de pacotes em frames/segundo e comprimento médio do frame (exponencial) dado por $1/\mu$ bits/frame.

... 3.1.1 - Alocação Estática de Canal em LANs e MANs

- ✧ Com a equação dada e considerando a divisão do canal em N independentes sub-canais, podemos recalcular T :

$$T_{FDM} = \frac{1}{\mu(C/N) - (\lambda/N)} = \frac{N}{\mu C - \lambda} = NT$$

- ... ou seja, o atraso médio em FDM é N vezes pior se todos os *frames* fossem de alguma maneira enfileirados numa única fila.
- ✧ A mesma análise cabe para TDM, posto que, cada usuário tem o canal à sua disposição a cada Nth *slots* de tempo.

3.1.2 - Alocação Dinâmica de Canal em LANs e MANs

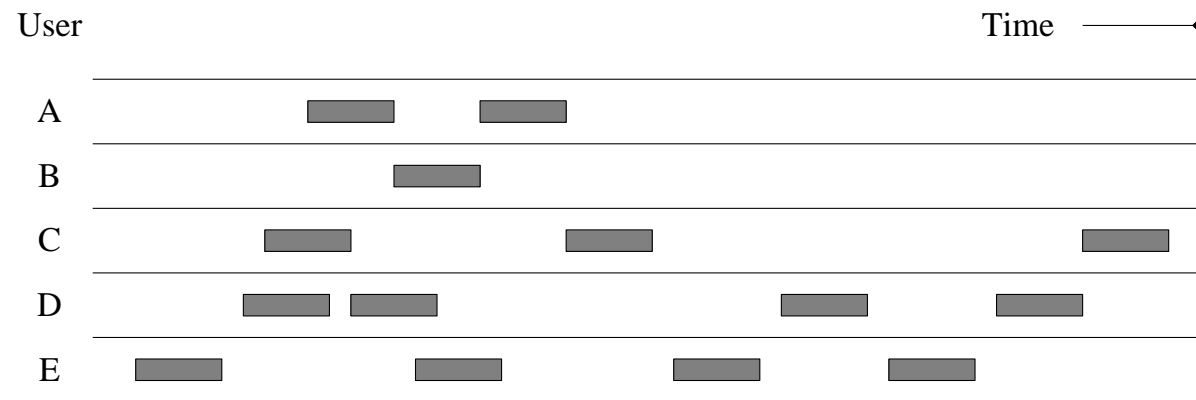
- ✧ Para discutirmos a alocação dinâmica do canal, ou seja, o uso do mesmo com um número variável de estações, faz-se necessário definirmos alguns termos:
- **station model:** o modelo consiste de N independentes estações, cada qual com o seu programa que gera *frames* para transmissão.
 - **single channel assumption:** um único canal está disponível para todos, ou seja, todas as estações podem transmitir e receber por ele.
 - **collision assumption:** se dois *frames* forem transmitidos simultaneamente, eles irão se sobrepor e o sinal resultante será coletado.
 - **continuous time:** transmissão de *frames* pode se dar a qualquer instante, ou seja, não há um relógio para dividir o tempo em intervalos discretos.

... 3.1.2 - Alocação Dinâmica de Canal em LANs e MANs

- **slotted time:** o tempo é dividido em intervalos discretos (*slots*) e, assim, toda transmissão deve iniciar no começo de um intervalo.
 - **carrier sense:** estações verificam se o canal está em uso antes de alocá-lo e, caso esteja sendo usado, nenhuma estação irá alocá-lo antes de ser liberado.
 - **no carrier sense:** estações não escutam o canal para ver se ele está sendo usado, simplesmente usam quando precisam transmitir.
- ☆ Nesta abordagem, a suposição de um único canal é o coração do problema, ou seja, não há outra maneira de se comunicar senão alocando o canal.

3.2 - Protocolo ALOHA e Slotted ALOHA

- ★ Em 1970, Norman Abramson da Universidade do Hawai desenvolveu um método para solucionar o problema de alocação de canal;
- ... embora o trabalho inicial tenha sido realizado sobre uma rede *broadcasting* de rádio, a idéia básica é aplicável a qualquer sistema onde usuários não coordenados competem pelo uso de um único canal.
- ★ **3.2.1 - ALOHA Puro e Slotted ALOHA:** tem como idéia básica permitir que usuários transmitam a qualquer momento que eles queiram transmitir.



... 3.2.1 - ALOHA Puro

☆ Algoritmo do ALOHA Puro:

- ❶ sempre que um *host* necessitar transmitir um quadro, o *host* simplesmente o faz e aguarda o reconhecimento da recepção por T unidades de tempo - (caso ocorra colisão, o quadro será propagado com erro, causando um descarte pelo destinatário, caso não ocorra colisão, **FIM**);
- ❷ o *host* gera um número aleatório r entre $[0;R]$
- ❸ se o emissor detectar colisão (não recebimento do reconhecimento), a próxima retransmissão se dará após um r unidades de tempo.

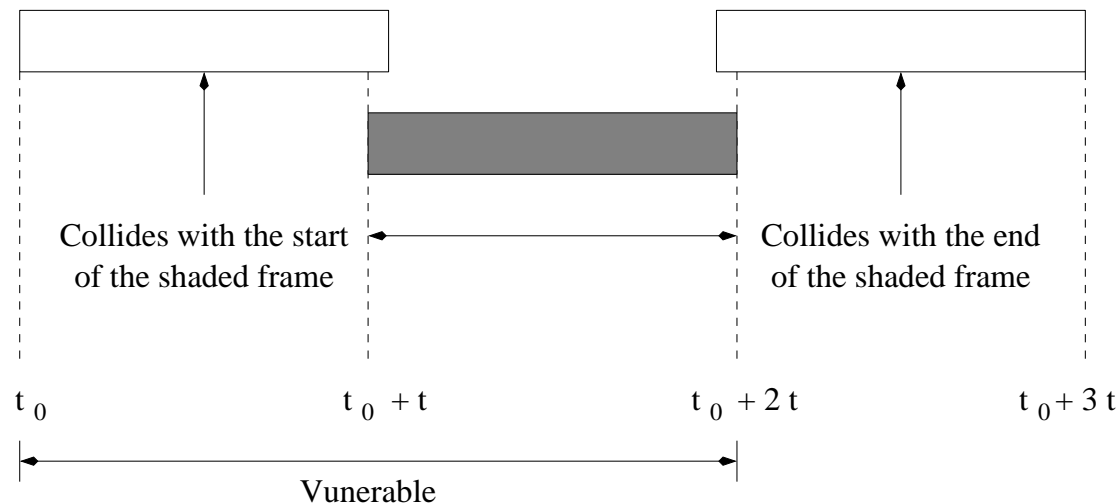
✗ A técnica **ALOHA Puro** apresenta **baixa eficiência**, dado que, uma transmissão em curso está sempre sujeita a interferência de outra que se inicia.

... 3.2.1 - ALOHA Puro

- ✧ Neste cenário, é claro que haverá colisões e *frames* destruídos como resultado das colisões, mas a questão é como medir a eficiência do método?
- ... seja *frame time* o tempo necessário para transmitir um *frame* de comprimento padrão, ou seja, tamanho do *frame* dividido pela taxa em bps;
- ... assume-se também que a população infinita de usuários gere novos *frames* segundo a distribuição de Poisson com média S *frames* por *frame time*;
- ... para que o sistema funcione, espera-se $0 < S < 1$, pois se $S > 1$, então *frames* são gerados a uma taxa superior aquela que o canal é capaz de processar;
- ... assuma também que a probabilidade de k tentativas de transmissão por *frame time* seja uma distribuição de Poisson com média G por *frame time*;

... 3.2.1 - ALOHA Puro

- ... o período de vulnerabilidade pode ser visto na figura abaixo:



- ... seja t o tempo para transmitir um *frame*, assim, se algum outro usuário gerar um *frame* entre o tempo t_0 e $t_0 + t$, o final deste *frame* irá colidir com o início do *frame* hachurado;
- ... o mesmo acontece se o *frame* for gerado entre $t_0 + t$ e $t_0 + 2t$, ou seja, o seu início irá gerar uma colisão.

... 3.2.1 - ALOHA Puro

- ... assuma que a probabilidade que k *frames* sejam gerados durante um dado *frame time* seja uma distribuição de Poisson:

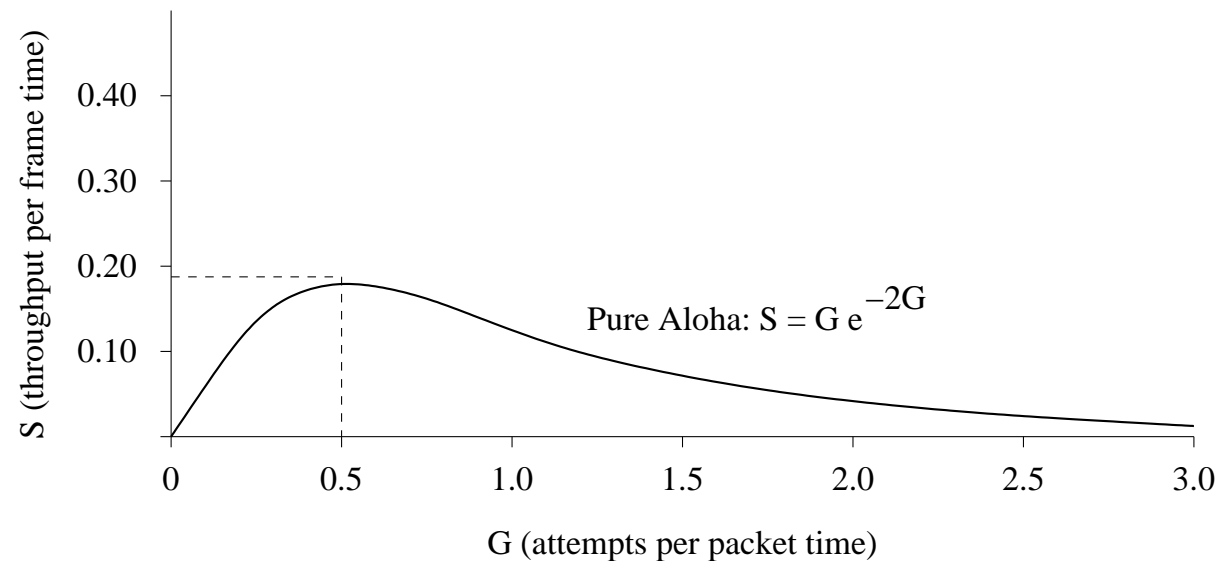
$$Pr[k] = \frac{G^k e^{-G}}{k!}$$

- ... então, a probabilidade de gerar 0 *frames* é de e^{-G} e o número médio de *frames* num intervalo de 2 tempos de *frame* é $2G$;
- ... logo a probabilidade de nenhum outro tráfego ser gerado durante o período de vulnerabilidade é $P_0 = e^{-2G}$ e usando $S = GP_0$, obtemos:

$$S = Ge^{-2G}$$

... 3.2.1 - ALOHA Puro

- ✧ Observe que a máxima vazão ocorre em $G = 0.5$, com $S = 1/(1e)$, ou seja, em torno de 0.184 (18% de utilização do canal).

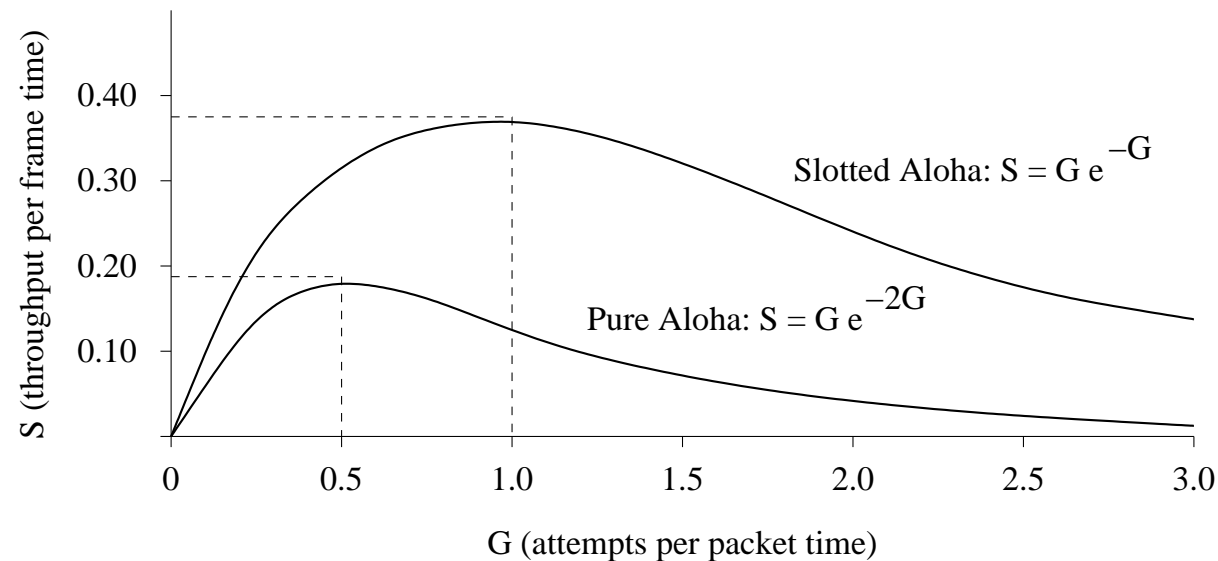


3.2.2 - Slotted ALOHA

- ☆ **Slotted Aloha:** método variante do ALOHA Puro que impede interferências numa transmissão em curso, permitindo que transmissões se iniciem em intervalos de tempo bem definidos (partições).
- ☆ Algoritmo do Slotted Aloha:
 - ❶ aguarda o *beep* do início da partição
 - ❷ transmite o quadro e aguarda o reconhecimento da recepção por T unidades de tempo - (se ocorrer colisão, o quadro será propagado com erro, causando um descarte pelo destinatário, caso não ocorra colisão, **FIM.**);
 - ❸ o *host* gera um número aleatório r entre **[0;R]**
 - ❹ se o emissor detectar colisão (não recebimento do reconhecimento), a próxima retransmissão se dará após um r unidades de tempo.
- ... se o período de transmissão for superior ao tempo de transmissão de um quadro, uma transmissão que iniciou sem colisão será concluída sem colisão, mas caso contrário, podemos ter colisão.

... 3.2.2 - Slotted ALOHA

- ✧ Para o Slotted Aloha, o melhor que podemos fazer é obter 37% dos *slots* vazios, 37% dos *slots* preenchidos e 26% de colisões.



3.3 - Protocolos de Redes Locais

- ☆ Em Redes Locais de Computadores é possível que uma estação detecte o que outra está fazendo e, assim, possa adaptar-se de acordo com o contexto.
- ☆ **3.3.1 - Carrier Sense Multiple Access Não Persistente:** o *host* somente inicia a transmissão se detectar o meio em repouso.
- ☆ Algoritmo do CSMA Não Persistente:
 - ❶ escute o meio físico
 - ❷ se o meio estiver em repouso (sem transmissão)
 - transmiti um quadro
 - aguarda o reconhecimento da recepção por T unidades de tempo - (caso ocorra colisão, o quadro será propagado com erro, causando um descarte pelo destinatário, caso não ocorra colisão, **FIM**);
 - vá para ❶
 - ❸ caso contrário (transmissão em curso)
 - o *host* gera um número aleatório r entre $[0;R]$
 - vá para ❶ após um r unidades de tempo.

3.3.2 - CSMA 1-Persistente

- ✧ Idêntico ao anterior, apenas fazendo o intervalo aleatório $r = 0$, ou seja, escuta permanente do meio até cessar a transmissão em curso.
- ✕ **CSMA Não Persistente** - se a transmissão terminar logo após o início do intervalo aleatório, uma sub-utilização do meio é acarretada.
- ✧ **CSMA 1-Persistente** - evita as esperas com o meio físico em repouso quando comparado ao CSMA Não Persistente, aumentando portanto a taxa de utilização do canal.
- ✕ **CSMA 1-Persistente** - aumenta a utilização do canal, sob pena de um aumento da possibilidade de colisões quando 02 *hosts* estão sensoriando o meio ocupado por um terceiro *host*.

3.3.3 - CSMA p-Persistente

- ❶ escuta o meio até ser detectada a condição de repouso;
- ❷ o *host* gera um número aleatório s entre $[0;1]$
- ❸ se $s \geq p$:
 - transmissi um quadro
 - aguarda o reconhecimento da recepção por T unidades de tempo - (caso não ocorra colisão, **FIM**);
 - vá para ❶
- ❹ se $s < p$:
 - o *host* gera um número aleatório r entre $[0;R]$;
 - aguarde r unidades de tempo;
 - escute o meio; se em repouso vá para ❷;
 - caso contrário (transmissão em curso):
 - * o *host* gera um número aleatório u entre $[0;U]$;
 - * vá para ❶ após u unidades de tempo.

3.3.4 - CSMA Collision Detection

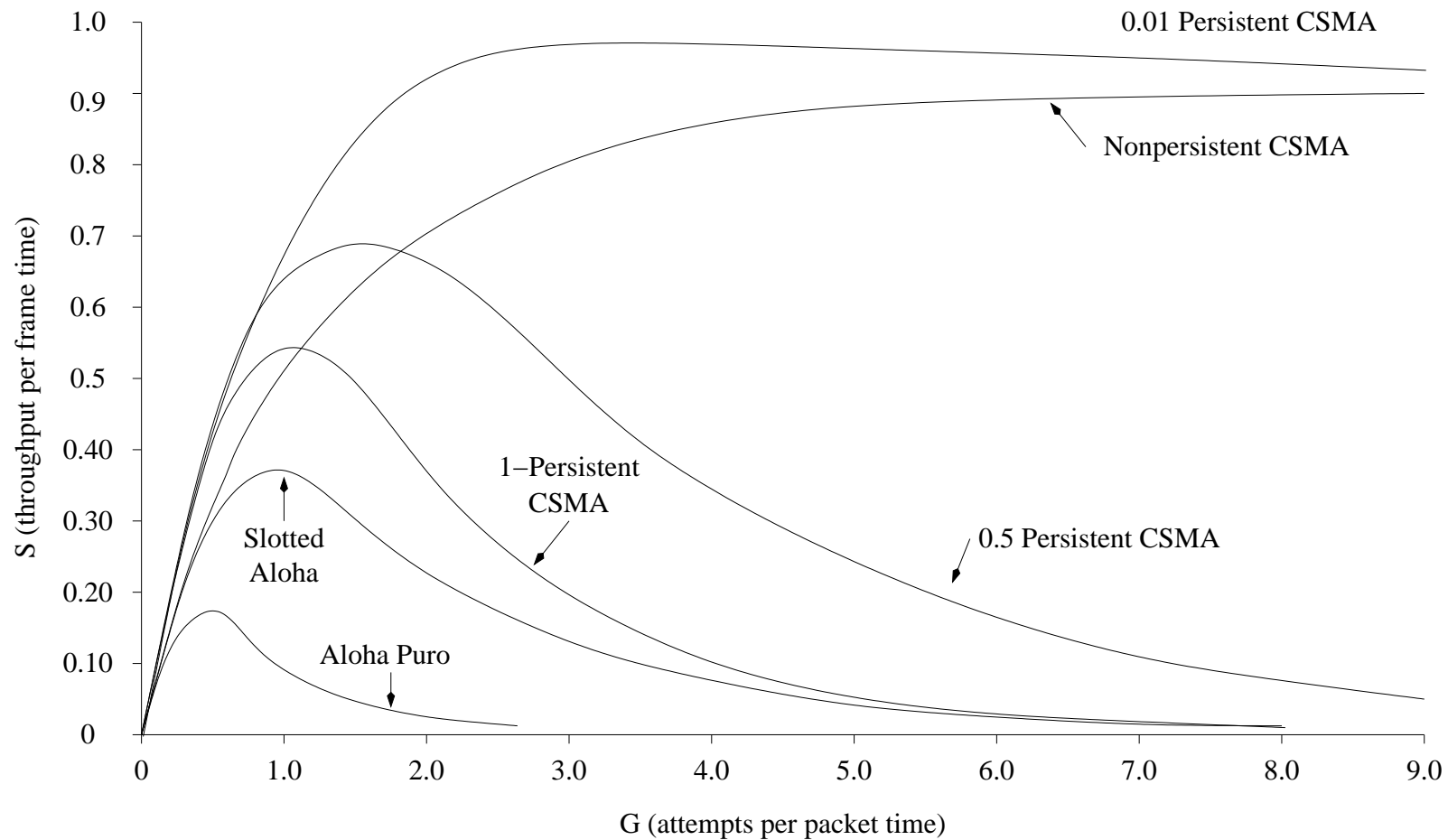
✧ **CSMA CD:** adiciona ao CSMA a detecção de colisões sem a necessidade de aguardar reconhecimento por parte do receptor, o que a permite suportar serviços de datagrama sem confirmação

✧ Algoritmo do CSMA-CD:

- ❶ escute o meio até ser detectada a condição de repouso;
- ❷ inicie a transmissão do quadro, escutando o meio para se certificar que apenas esta transmissão está em curso - (o *host* compara o sinal do meio com aquele sendo transmitido); encerrada a transmissão do quadro sem colisão, **FIM**;
- ❸ detectada uma colisão, o *host* reforça a colisão (*jamming*);
- ❹ caso o número de colisões **c** na transmissão deste quadro exceder um limite, sinalize um erro à camada superior e termine;
- ❺ o *host* gera um número aleatório **r** entre **[0;R.c]**;
- ❻ vá para ❶ após **r** unidades de tempo.

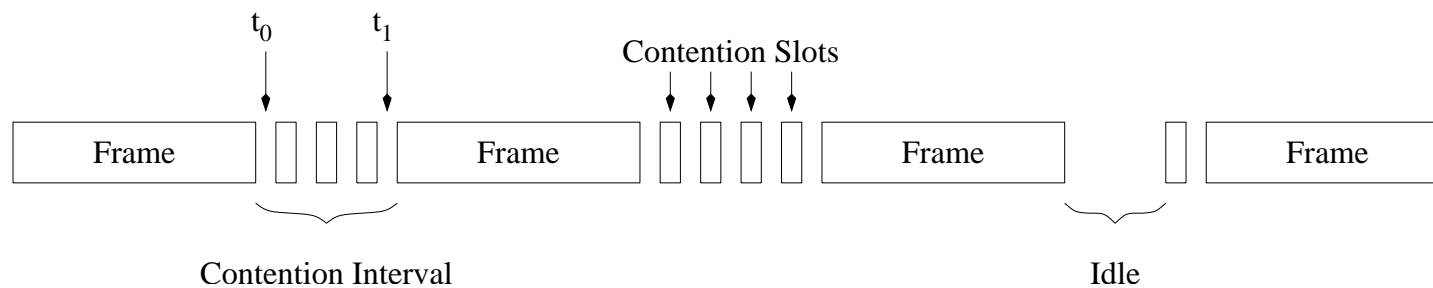
... 3.3.4 - CSMA Collision Detection

- ... a figura abaixo mostra a vazão *versus* o tráfego para todos os 03 protocolos, bem como para o Aloha Puro e Aloha Particionado.



... 3.3.4 - CSMA Collision Detection

- ✧ CSMA-CD assim como outros protocolos de LANs usam o modelo conceitual que consiste de períodos de transmissão e contenção alternados, com período vazios presentes quando todas as estações estão em repouso.



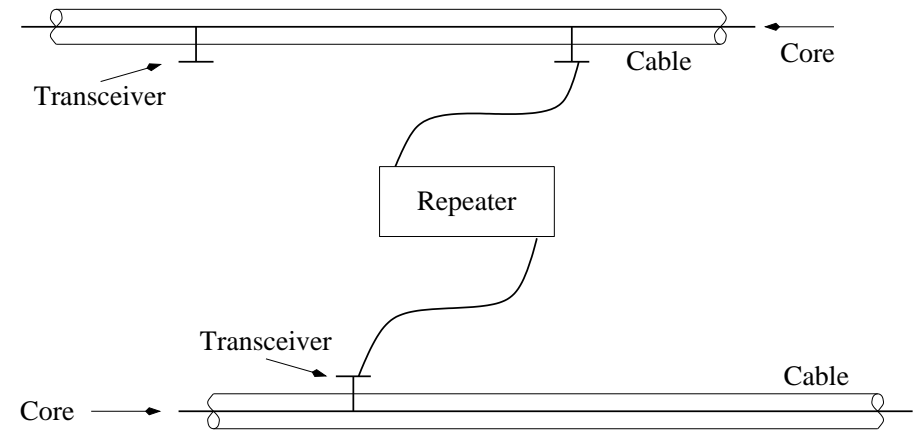
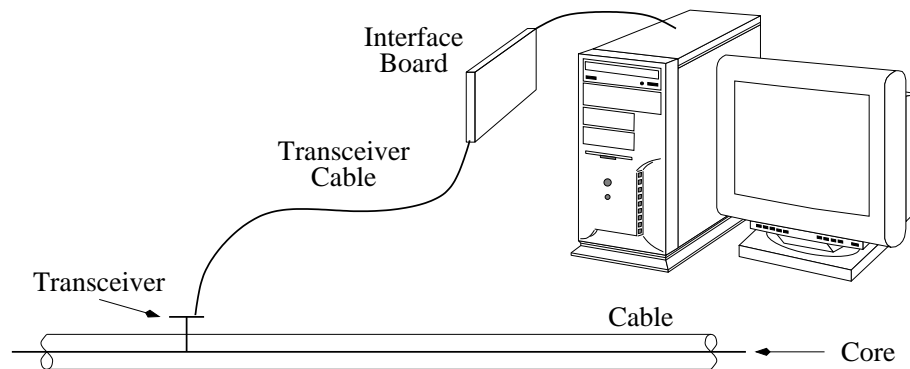
- ... seja τ o tempo de propagação do sinal entre as duas estações em extremos opostos da rede e t_0 o instante em que uma estação começa a transmitir;
- ... em $t - \epsilon$, um instante antes do sinal atingir a estação no extremo oposto, a estação no extremo oposto começa a transmitir;
- ... naturalmente que esta estação rapidamente detecta a colisão e para, mas para a estação que iniciou a transmissão recebe este sinal somente em $2\tau - \epsilon$.

3.4 - Padrão IEEE 802 para Redes Locais

- ✧ **IEEE 802.3 ou CSMA/CS:** A primeira rede CSMA/CD foi construída pela Xerox interligando 100 estações de trabalho através de um cabo de 1 Km e operava a 2,94 Mbps tendo sido chamada **Ethernet**.
- ... o nome vem do fato de que achava-se que a radiação eletromagnética se propagava no *luminiferous ether* (ou seja, cabo no qual as ondas propagavam);
- ... ainda hoje este é utilizado genericamente para referenciar todos os Protocolos CSMA/CD, embora de fato refere-se a um produto específico (802.3).
- ✧ Todas as implementações 802.3, incluindo a Ethernet, utilizam a codificação Manchester, pois a presença da transição no meio do intervalo possibilita ao receptor sincronizar-se com o transmissor.

... 3.4.1 - IEEE 802.3 ou CSMA/CD

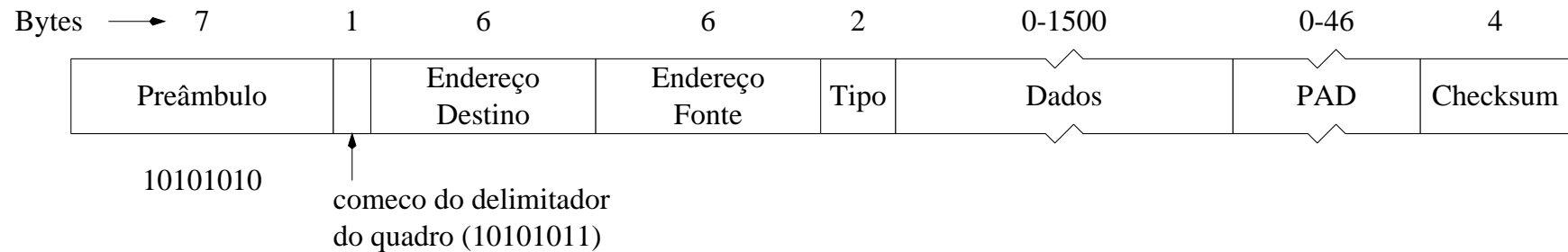
✧ Configuração usual para a Ethernet:



- ... o *transceiver* acomoda circuitos eletrônicos que tratam a detecção da portadora e de colisões e, no último caso, injeta um sinal inválido para assegurar que todos os outros *transceivers* irão detectar a colisão;
- ... o *transceiver cable* pode ser de até 50 metros e acomodar 5 pares trançados e blindados, sendo que 2 dos pares são para dados de entrada e saída.

... 3.4.1 - IEEE 802.3 ou CSMA/CD

☆ Estrutura do *frame* do Protocolo 802.3:



- ☆ PAD - caso o número de *bytes* seja insuficiente para atingir o tamanho mínimo de quadro (64 *bytes* a partir do *byte* de início), um *pad* de 0 a 46 *bytes* completa a informação do quadro.
- ☆ A imposição por um tamanho mínimo de quadro se dá por duas razões:
 - quadros muitos curtos nos extremos do cabo podem entrar em colisão sem que os respectivos emissores a detectem;
 - reforçar o *checksum*, diminuindo a probabilidade de diferentes arranjos de *bits* gerarem o mesmo *checksum*.

... 3.4.1 - IEEE 802.3 ou CSMA/CD

- ✧ Após uma colisão no CSMA/CD, o tempo é dividido em *slots* discretos cujo comprimento é igual ao pior caso do tempo de *round-trip*, ou seja, 2τ ;
- ... para acomodar o comprimento máximo permitido, ou seja, 2,5 Km e 4 repetidores, o *slot time* deve ser de 512 tempos de bit, ou $51,2 \mu s$.
- ... em geral, após i colisões, um número aleatório entre $[0; 2^{i-1}]$ é escolhido e então espera-se por este número de *slots* para transmitir novamente;
- ... entretanto, após 10 colisões o intervalo de escolha é congelado em 1024 *slots* e após 16 colisões o controlador interrompe o processo e reporta erro;
- ... este algoritmo é conhecido com **exponencial backoff** e adapta dinamicamente o número de estações tentando transmitir.

... 3.4.1 - IEEE 802.3 ou CSMA/CD

- ✧ Para avaliarmos a performance do protocolo sob condições em que k estações estão sempre prontas para transmitir, podemos por simplicidade assumir uma probabilidade de retransmissão constante em cada *slot*, assim:
- ... se cada estação transmite durante o *slot* de contenção com probabilidade p , a probabilidade A que alguma estação aloque o meio durante aquele *slot* é:

$$A = kp(1 - p)^{k-1}$$

A assume o valor máximo quando $p = 1/k$, com $A \rightarrow 1/e$ e $k \rightarrow \infty$.

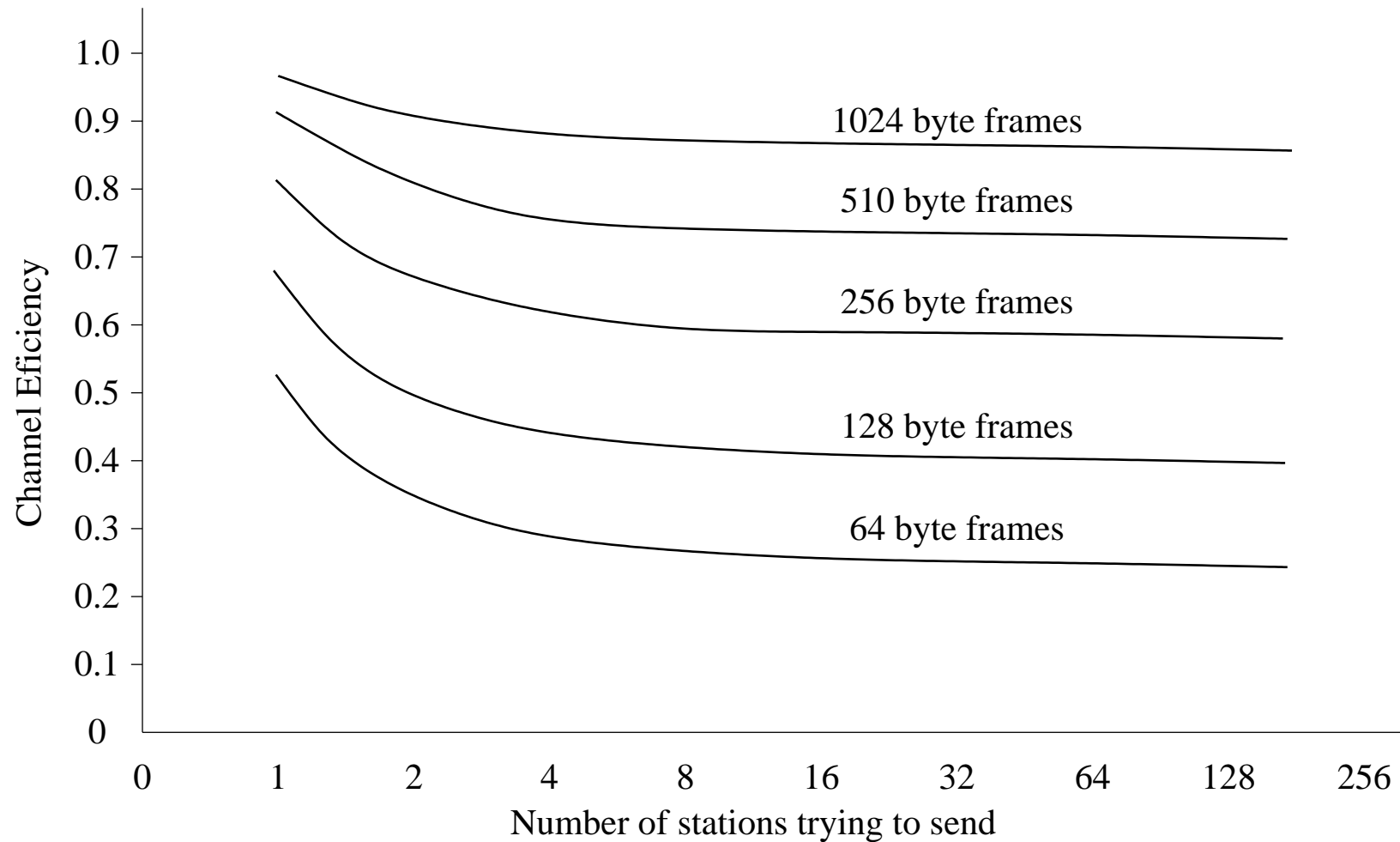
- ✧ A probabilidade que o intervalo de contenção tenha exatamente j *slots* é $A(1 - A)^{j-1}$, então o número médio de *slots* por contenção é dado por:

$$\sum_{j=0}^{\infty} jA(1 - A)^{j-1} = \frac{1}{A}$$

com cada *slot* tem duração 2τ , o intervalo médio de contenção, w é $2\tau/A$.

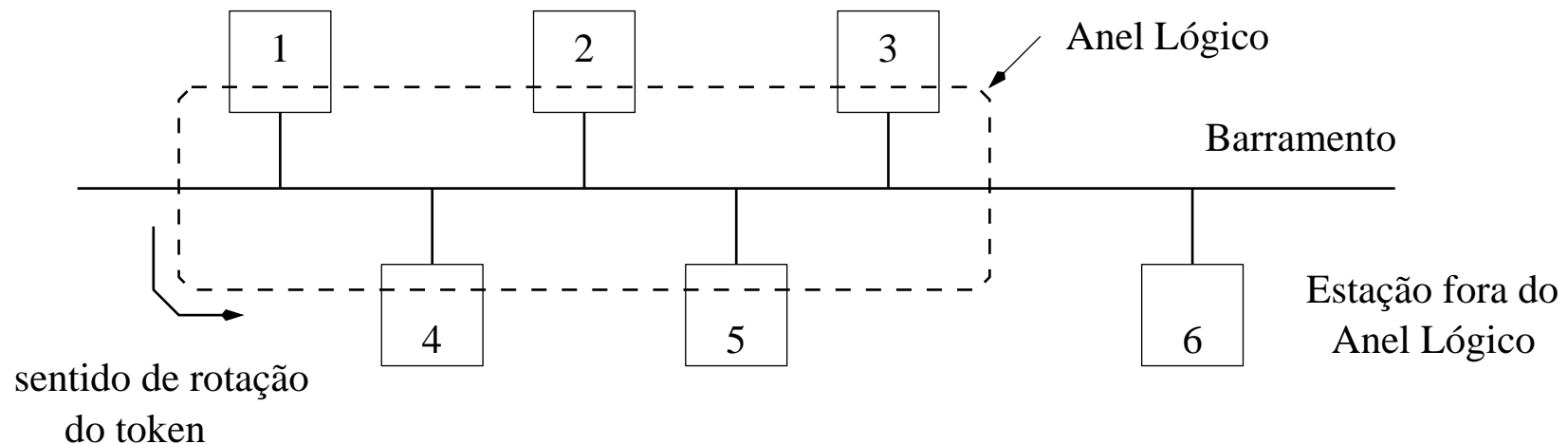
... 3.4.1 - IEEE 802.3 ou CSMA/CD

★ Eficiência do 802.3 a 10 Mbps com *slot times* de 512 bits:



3.4.2 - Padrão IEEE 802.4 ou Token Bus

- ✧ Embora a 802.3 fosse largamente utilizada, durante o seu desenvolvimento a General Motors e outras companhias interessadas na automação das fábricas tinham algumas reservas acerca do protocolo – tempo de espera pode ser alto.
- ... combinar a **robustez do Padrão 802.3**, mas adicionar determinismo para o tempo de espera de transmissão, ou seja, **se tivermos n estações e cada uma levar T segundos para enviar um frame, nenhum frame terá que esperar mais que nT segundos para transmitir — Token Bus.**



... 3.4.2 - Padrão IEEE 802.4 ou Token Bus

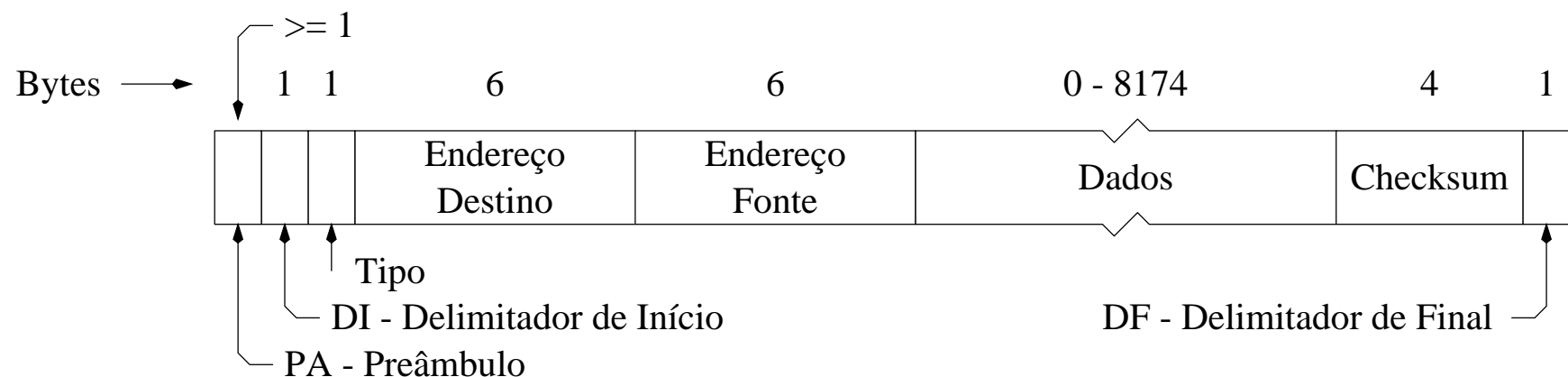
- ✧ Redes *Token Bus* apresentam um atrativo adicional a redes *token ring* - um *host* pode receber mensagens sem participar o anel lógico (*host 6*);
- ... esta característica de redes *token bus* viabiliza a inclusão de processadores de uma maneira extremamente simples sem dotá-los de capacidade plena de acesso ao meio, entretanto, é um protocolo bem mais complexo.
- ✧ Padrões 802.4 e 802.3 são escritos em diferentes estilos, o segundo apresenta o protocolo como procedimento em Pascal enquanto o primeiro como máquinas de estado finitos, com as ações escritas em Ada.

... 3.4.2 - Padrão IEEE 802.4 ou Token Bus

- ✧ Protocolo 802.4 é bastante complexo, pois cada estação deve manter 10 *timers* diferentes e mais de 2 dúzias de variáveis internas;
- ... na camada física, a rede *token bus* utiliza um cabo coaxial *broadband* de 75Ω usado em televisores, duplo ou simples com ou sem terminadores;
- ... 3 diferentes esquemas de modulação são permitidos: *phase continuous frequency shift keying*, *phase coherent frequency shift keying* e *multilevel duobinary amplitude modulated phase shift keying*;
- ... adicionalmente, os esquemas de modulação empregados não só oferecem uma maneira de representar os bits 0 e 1 ou o meio em repouso, mas também 3 outros símbolos usados no controle da rede;
- ... velocidade de 1, 5 e 10 Mbps são possíveis;

... 3.4.2 - Padrão IEEE 802.4 ou Token Bus

- ✧ Padrão IEEE 802.4: o anel lógico é estabelecido ordenando-se os *hosts* de acordo com os respectivos endereços, do maior para o menor:
- ... *token* circula no sentido do endereço mais alto para o mais baixo;
- ... o padrão define 04 prioridades para os quadros: 0, 2, 4 e 6 (a mais alta);



... 3.4.2 - Padrão IEEE 802.4 ou Token Bus

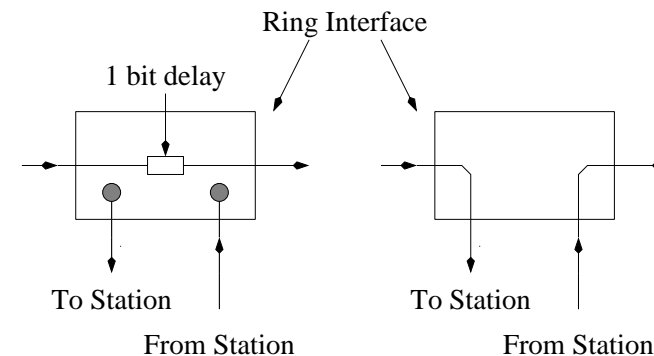
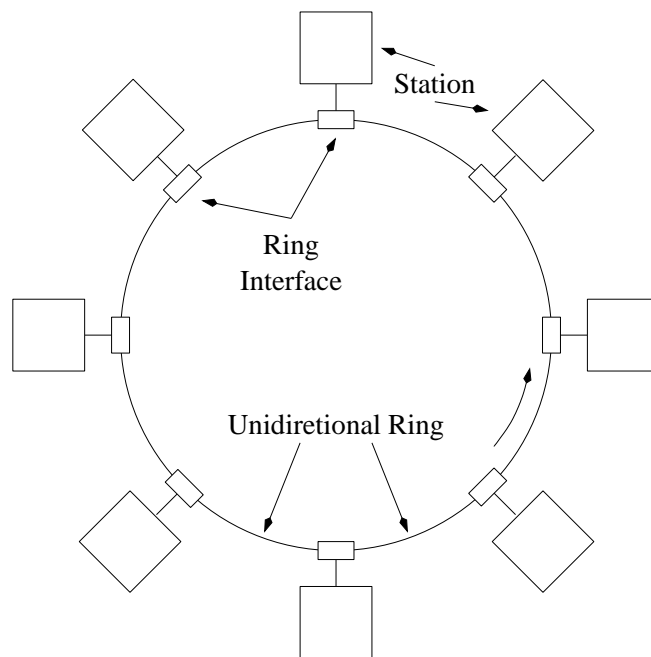
- **PA (Preâmbulo)** - com duração \geq a 1 *byte*, permite que os *hosts* se preparem para receber o quadro, sincronizando seus relógios com do *host* emissor;
- **DI (Delimitador de Início)** - identifica o início do *token* e é formado por transições **inválidas** do Código Manchester Diferencial;
- **Tipo** - contém os seguintes dados:
 - tipo de quadro (2 *bits*) - define 03 tipos de quadros: quadro de controle, de dados e de gerenciamento do anel;
 - prioridade (3 *bits*) - prioridade mínima dos quadros que podem ser transmitidos com a captura do anel;
- **Campo de Dados** pode conter no máximo **8174 bytes**;
- *Checksum* e **DF** são similares ao IEEE 802.5;
- **IEEE 802.4** não provê mecanismo de reserva como o **IEEE 802.5**.

... 3.4.2 - Padrão IEEE 802.4 ou Token Bus

- ... não existe **estação mestre**, cada estação guarda o endereço de sua antecessora e de sua sucessora no anel;
- ... o anel é iniciado quando a primeira estação termina o *boot*;
- ... se nenhuma atividade for detectada, a estação emite um quadro de controle do tipo "CLAIM_TOKEN", e não havendo contestação, a estação se torna detentora do *token*;
- ... processo que dá chance a inclusão de novas estações no anel lógico (quadro do tipo "SOLICIT_SUCESSOR");
- ... processo de saída de uma estação - a estação propaga um *token* do tipo "SET_SUCESSOR" dirigida a sua antecessora com o endereço de sua sucessora no quadro;
- ... passagem do *token* é um processo mais delicado podendo usar dois tipos de quadros: "WHO_FOLLOWS" ou "SOLICIT_SUCESSOR2";

3.4.3 - Padrão IEEE 802.5 ou Token Ring

- ☆ Dentre os principais atrativos, destaca-se que o anel não é na verdade um meio *broadcast*, mas uma coleção de *links* que em conjunto formam o anel;
- ... anéis são quase que totalmente digitais, enquanto um canal broadcast como o 802.3 acomoda uma grande quantidade de componentes analógicos necessários para detecção das colisões;



... 3.4.3 - Padrão IEEE 802.5 ou Token Ring

- ✧ Um dos principais aspectos de projeto e análise de uma rede em anel é o comprimento físico de um bit, ou seja, para uma taxa de dados de R Mbps, um bit é emitido a cada $1/R \mu s$;
- ... para uma velocidade típica de propagação do sinal de $200 m/\mu s$, cada bit irá ocupar $200/R$ metros no anel, o que significa que num anel de 1 Mbps e circunferência de 1000 metros poderá conter até 5 bits;
- ... cada bit que atinge a interface é copiado para um buffer de 1 bit e então para o anel novamente, mas enquanto no buffer o bit é inspecionado e/ou modificado para só depois ser copiado para o anel;
- ... quando cada bit que circula no anel retorna ao ponto de origem, o mesmo é removido do anel para ser descartado ou armazenado;

... 3.4.3 - Padrão IEEE 802.5 ou Token Ring

- ✧ Uma das implicações do projeto de uma rede em anel é que o anel deve acomodar suficiente atraso para conter um *token* completo;
- ... assim o atraso tem 2 componentes: o atraso de 1 bit introduzido por cada estação; e o atraso de propagação do sinal;
- ✧ Redes em Anel não impõem limite ao tamanho do *frames*, pois o *frame* nunca aparece por completo no anel o que não é válido quando se trata do *token*.
- ✧ Uma das críticas de redes em anel é que se o cabo se rompe em algum ponto, o anel se abre e tudo se acaba, entretanto, este problema pode ser resolvido elegantemente usando **wire center**.

... 3.4.3 - Padrão IEEE 802.5 ou Token Ring

✧ Padrão IEEE 802.5 ou **Token Ring**: duas características estão presentes: prioridade de acesso ao meio e reserva do meio.

- ... o *token* é composto de 3 *bytes*: DI, CA e Tipo



... 3.4.3 - Padrão IEEE 802.5 ou Token Ring

- **DI (Delimitador de Início)** - identifica o início do *token* e é formado por transições **inválidas** do Código Manchester Diferencial;
- **CA (Controle de Acesso)** - é utilizado para controle de acesso ao meio, sendo composto de agrupamentos de *bits* em 04 categorias;
 - status (1 *bit*) - *token* livre ou não;
 - monitor (1 *bit*) - se o *token* passou pela estação mestre, ele é ativado, caso contrário, não;
 - prioridade (3 *bit*) - estipula que apenas quadros com prioridade \geq ao valor neste campo podem ser transmitidos com a captura deste *token*;
 - reserva (3 *bit*) - determina a prioridade do próximo *token* livre;
- **Tipo** - estipula o tipo de informação que o quadro carrega: dados oriundos das camadas superiores ou controle;
- **Redes Token Ring são determinísticas**, ou seja, apresentam um tempo de acesso ao meio dentro de valores pré-definidos, somente se o esquema de prioridade e reserva não for utilizado.

... 3.4.3 - Padrão IEEE 802.5 ou Token Ring

- **Endereço e Checksum** - idênticos ao IEEE 802.3;
- **DF (Delimitador de Final)** - também composto por transições **inválidas** do Código Manchester Diferencial;
- **ST (Status)** - contém 02 *bits* **A** e **C**:
 - *bit A* ativado pelo *host* destino, informa o *host* fonte que o destinatário tomou conhecimento do quadro a ele endereçado;
 - *bit C* é ativado se o destinatário aceitou o quadro (pode tê-lo rejeitado por falta de área de armazenamento).
- ☆ IEEE 802.5 não define tamanho do quadro, assim o campo de dados começa 14 *bytes* após o campo **DI** e termina 4 *bytes* antes do campo **DF** do quadro;
- ☆ Campo **DF** deve obrigatoriamente preceder o campo **ST** - o destinatário está em condições de aceitar um quadro somente após computar o *checksum*, que só estará definido após o recebimento do campo **DF**.

... 3.4.3 - Padrão IEEE 802.5 ou Token Ring

- ... uma das estações do anel é rotulada como **estação mestre (em)** - via de regra é a primeira estação a completar o procedimento de *boot*; e caso esta estação falhe, uma nova estação é eleita;
- ... periodicamente, a **estação mestre** circula um *token* com o campo **Tipo** = "ACTIVE_MONITOR_PRESENT" - se o *token* ficar em circular por determinado tempo, inicia-se o procedimento de escolha de uma nova estação;
- ... assim que uma **estação mestre** termina o procedimento de *boot*, ela aguarda a passagem do *token* ou um quadro com "ACTIVE_MONITOR_PRESENT";
- ... expirado o tempo de espera, a estação gera um quadro de controle com a informação "CLAIM_TOKEN". Se este quadro circular sem alteração, a estação que o emitiu se torna a **estação mestre**, caso contrário, não;

... 3.4.3 - Padrão IEEE 802.5 ou Token Ring

- ☆ Para manter o anel segundo uma abordagem descentralizada, a *Token Ring* pressupõe que uma das estações seja monitora do anel com as seguintes funções:
 - drenar quadros corrompidos do anel;
 - drenar quadros órfãos do anel;
 - verificar se o *token* não se perdeu.
- ... quando de uma pane na estação monitora, um protocolo de contenção garante que rapidamente uma nova estação monitora seja eleita (qualquer estação pode se tornar a estação monitora);
- ☆ Quando um *host* suspeita de ruptura no anel, toma-se as seguintes ações:
 - injeta um *token* de controle com a informação “BEACON” no campo **Tipo**;
 - se o quadro voltar ao emissor, este supõe que o problema foi sanado;
 - caso contrário, estação assume o estado de *standby* e fica aguardando o reestabelecimento do anel.

3.5 - Redes de Fibra Ótica



... 3.5 - Redes de Fibra Ótica



3.6 - Packet Radio Networks



... 3.6 - Packet Radio Networks



3.7 - Exemplos da Subcamada MAC

- ✧ **3.7.1 - MAC nas Redes Públicas:** praticamente todas as redes públicas utilizam o Protocolo X.25 para as três primeiras camadas, protocolo este projetado para redes ponto-a-ponto;
- ... assim nestas redes não encontramos a subcamada MAC.
- ✧ Possivelmente o único local onde um canal *broadcast* poderia ser usado em Redes Públicas é nos *links* ponto-a-ponto por satélite;
- ... invariavelmente esses canais são operados como troncos TDM possibilitando a conexão de *carrier switching offices*.

3.7.2 - Subcamada MAC na ARPANET

- ✧ Praticamente todas as conexões IMP-IMP na ARPANET são linhas telefônicas ponto-a-ponto, portanto, não acomodam subcamada MAC;
- ... se, no entanto, englobarmos a ARPA Internet, vários são os locais onde a subcamada MAC aparece, p.ex.: redes de campus de universidades conectadas a Internet através de um gateway;
- ... outro local onde a subcamada MAC está presente é nas Redes experimentais de Satélite (SATNET) que tem por função conectar nós da Europa à Internet bem como experimentar novas tecnologias e protocolos;
- ... a subcamada MAC também está presente nas Redes experimentais de Rádio por Pacote (PRNET) para propiciar infra-estrutura de testes de novas tecnologias de rádio e protocolos.