

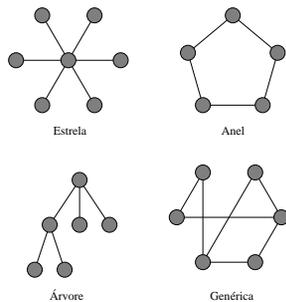
Cap. 3 - Subcamada de Acesso ao Meio ou MAC

- 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

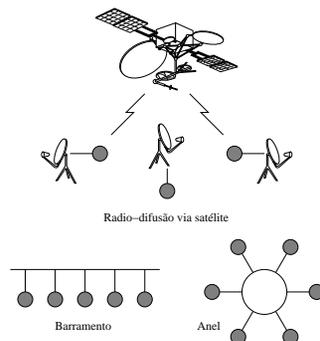
... Cap. 3 - Subcamada de Acesso ao Meio ou MAC

✧ 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.



Topologias típicas de Subredes Ponto-Ponto



Topologias típicas de Subredes de Difusão

... 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

✧ **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.

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.

... 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

- ✧ 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.

3.1.2 - 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.

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

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

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

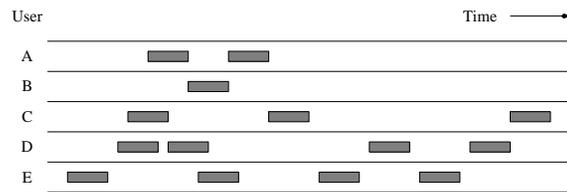
- ... ou seja, o atraso médio em FDM é N vezes pior se todos os *frames* fossem de alguma maneira enfileirados numa única fila.
- ✧ A mesma análise cabe para TDM, posto que, cada usuário tem o canal à sua disposição a cada N th *slots* de tempo.

... 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

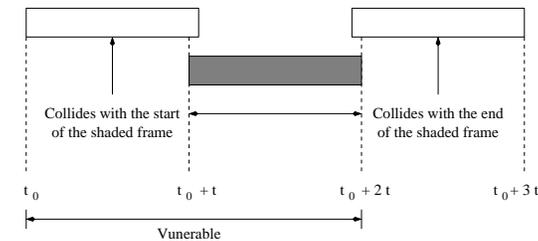
- ✧ Neste cenário, é claro que haverá colisões e *frames* destruídos como resultado das colisões, mas a questão é como medir a eficiência do método?
- ... seja *frame time* o tempo necessário para transmitir um *frame* de comprimento padrão, ou seja, tamanho do *frame* dividido pela taxa em bps;
- ... 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;
- ... assumamos 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

- ✧ Algoritmo do ALOHA Puro:
 - ① 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**);
 - ② o *host* gera um número aleatório r entre $[0;R]$
 - ③ 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

- ... 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

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

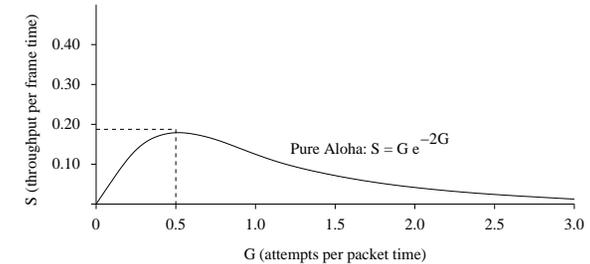
$$Pr[k] = \frac{G^k e^{-G}}{k!}$$

- ... 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

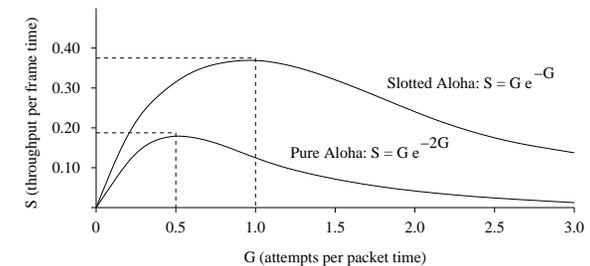
- ✧ **Slotted Aloha:** método variante do ALOHA Puro que impede interferências numa transmissão em curso, permitindo que transmissões se iniciem em intervalos de tempo bem definidos (partições).

- ✧ Algoritmo do Slotted Aloha:

- ① aguarda o *beep* do início da partição
 - ② 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.**);
 - ③ o *host* gera um número aleatório r entre $[0;R]$
 - ④ 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.

3.3.3 - 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 $s \geq p$:
 - transmiti 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.

3.3.2 - CSMA 1-Persistente

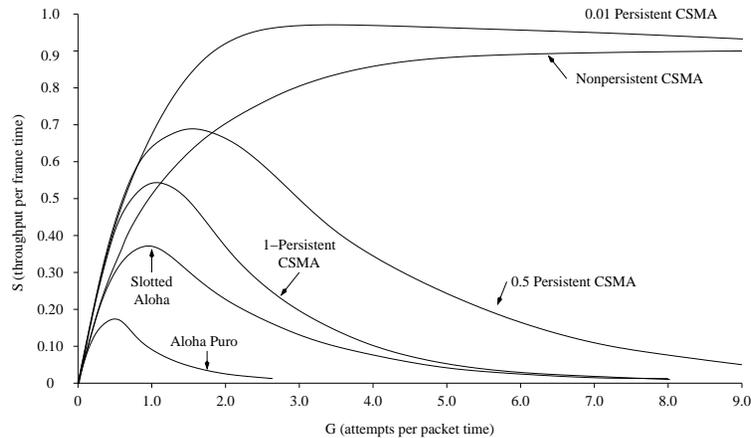
- ✧ Idêntico ao anterior, apenas fazendo o intervalo aleatório $r = 0$, ou seja, escuta permanente do meio até cessar a transmissão em curso.
- ✧ **CSMA Não Persistente** - se a transmissão terminar logo após o início do intervalo aleatório, uma sub-utilização do meio é acarretada.
- ✧ **CSMA 1-Persistente** - 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*.

3.3.4 - 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.

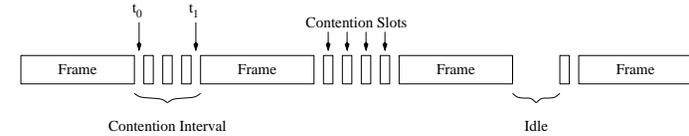


3.4 - Padrão IEEE 802 para Redes Locais

- ✧ **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.

... 3.3.4 - CSMA Collision Detection

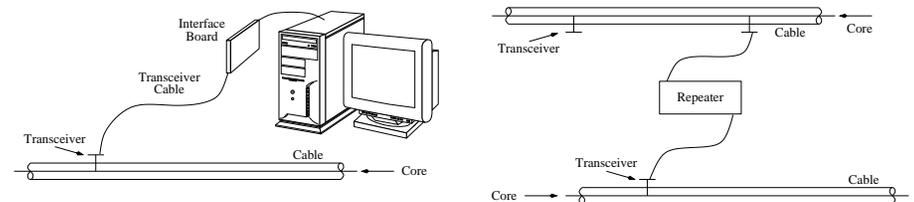
- ✧ CSMA-CD assim como outros protocolos de LANs usam o modelo conceitual que consiste de períodos de transmissão e contenção alternados, com período vazios presentes quando todas as estações estão em repouso.



- ... 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 $2\tau - \epsilon$.

... 3.4.1 - IEEE 802.3 ou CSMA/CD

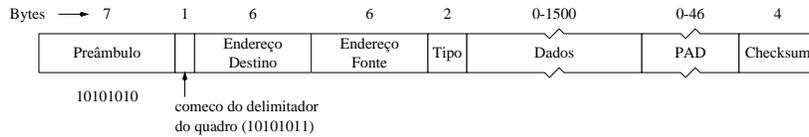
- ✧ Configuração usual para a Ethernet:



- ... 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 muito 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 μs .
- ... 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 $k \rightarrow \infty$.

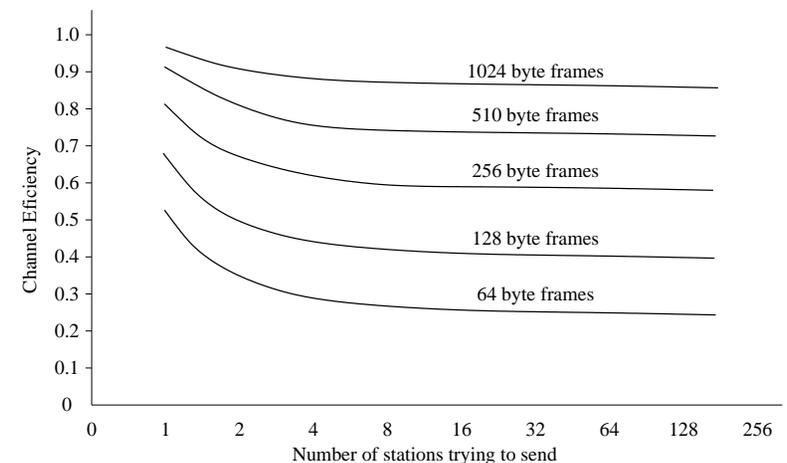
✧ A probabilidade que o intervalo de contenção tenha exatamente j *slots* é $A(1 - A)^{j-1}$, então o número médio de *slots* por contenção é dado por:

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

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

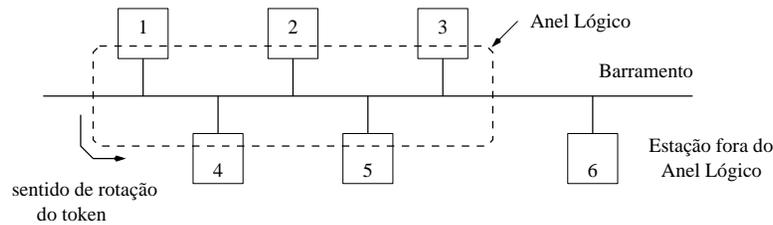
... 3.4.1 - IEEE 802.3 ou CSMA/CD

✧ 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

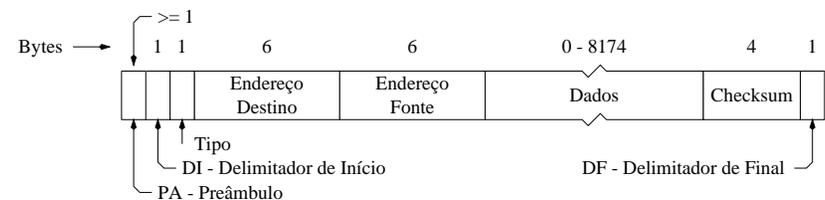
- ✧ Protocolo 802.4 é bastante complexo, pois cada estação deve manter 10 *timers* diferentes e mais de 2 dúzias de variáveis internas;
- ... na camada física, a rede *token bus* utiliza um cabo coaxial *broadband* de 75Ω usado em televisores, duplo ou simples com ou sem terminadores;
- ... 3 diferentes 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

- ✧ 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

- ✧ 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

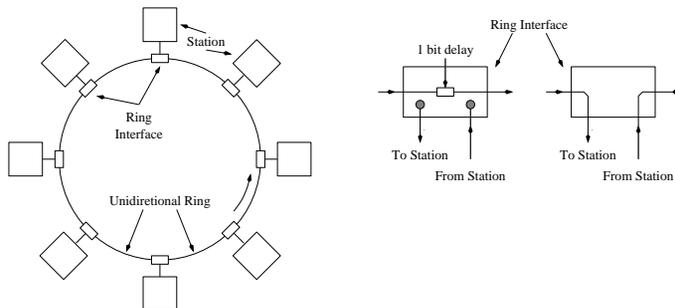
- **PA (Preâmbulo)** - com duração ≥ 1 *byte*, permite que os *hosts* se preparem para receber o quadro, sincronizando seus relógios com do *host* emissor;
- **DI (Delimitador de Início)** - identifica o início do *token* e é formado por transições **inválidas** do Código Manchester Diferencial;
- **Tipo** - 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

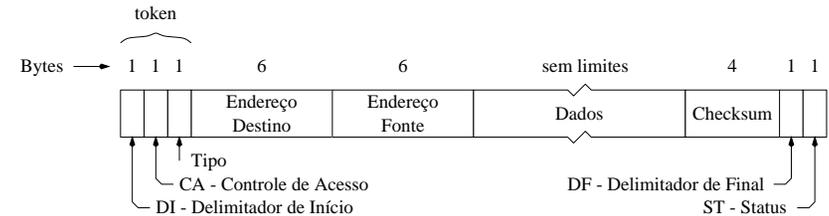
- ✧ Uma das implicações do projeto de uma rede em anel é que o anel deve acomodar suficiente atraso para conter um *token* completo;
 - ... assim o atraso tem 2 componentes: o atraso de 1 bit introduzido por cada estação; e o atraso de propagação do sinal;
- ✧ Redes em Anel não impõem limite ao tamanho 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

- **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

- ✧ 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

- **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;

3.5 - Redes de Fibra Ótica

✧

... 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

✧

3.6 - 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*.

... 3.6 - Packet Radio Networks

✧

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.