

Subcamada de Acesso ao Meio (MAC)

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Considerações Gerais

- Barramentos são compartilhados por todas as estações. Como definir o acesso ao meio ?
- Discussão inicial

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Padrão IEEE 802

LAN Protocols and the OSI Reference Model

OSI	IEEE LAN Protocols				
UPPER LAYERS	LOGICAL LINK CONTROL IEEE 802.P				Logical Link Control (LLC)
DATA LINK LAYER	802.3 CSMA/CD	802.4 TOKEN BUS	802.5 TOKEN RING	802.6 MAN	Media Access Control (MAC)
PHYSICAL LAYER	10Base5 10Base2 10BaseT		MAU		Physical Specifications

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Alocação de canal estático Multiplexação em frequência

- Teoria das Filas

$$T = 1 / (\mu C - \lambda)$$
 onde T = tempo de retardo médio
 $\mu = 1/\text{comprimento de cada quadro}$
 C = capacidade do canal
 $\lambda = \text{taxa de chegada (quadros/s)}$
- supondo N canais multiplexados em frequência $C'=C/N$ e $\lambda'=\lambda/N$, logo

$$T' = NT$$

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Alocação Dinâmica de Canais

● Premissas:

- N estações independentes que podem gerar quadros (uma vez que quadro é gerado estação fica bloqueada)
- Canal único
- Colisão: dois quadros transmitidos simultaneamente => sinal resultante adulterado
- Tempo contínuo vs. tempo segmentado (slots)
- Com e sem portadora

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Fatores de Mérito

- Carga Baixa (poucas mensagens)
 - Pequeno retardo
- Carga alta (muitas estações querendo transmitir)
 - alta eficiência

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Estratégias de Acesso

- Com colisões
- Sem colisões
- Prioridade

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Acesso baseado em contenção

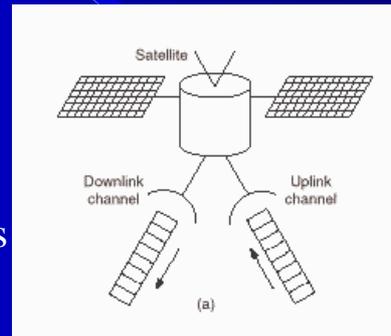
- Não existe uma ordem de acesso
- Dois ou mais nós podem transmitir simultaneamente ocasionando colisão (perda das mensagens)
- Técnicas de detecção de colisão e retransmissão são necessárias

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Protocolo ALOHA

- Histórico:
- Uni Hawai 1970
- Rede via satélite
- Interligação Centro de Computação com terminais espalhados na ilha



Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Protocolo ALOHA

- Dois canais de frequência
 - um para a difusão de mensagens do computador central para os terminais
 - outro dos terminais para o computador central
- Possibilidade de colisão no segundo canal
- Estratégia de acesso:
 - cada terminal somente pode 'ouvir' canal de transmissão do computador central
 - quando um terminal tem algo para transmitir ele transmite sem poder verificar se o meio está livre

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

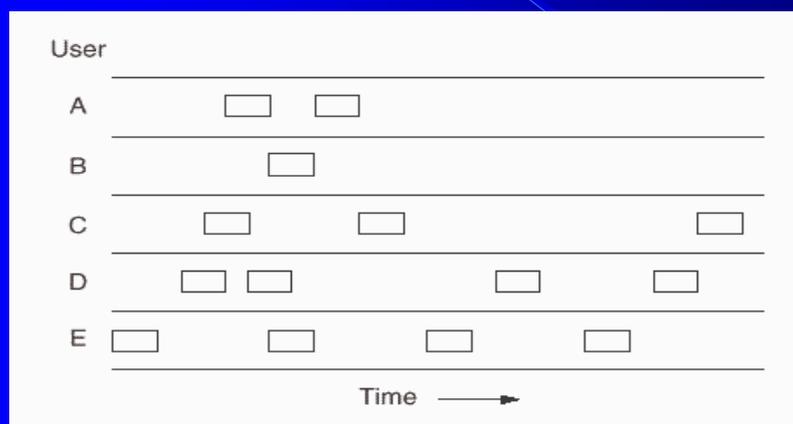
Protocolo ALOHA

- Técnica de detecção de colisão
 - nos terminais
 - relógio temporizador (time-out) para aguardar chegada do quadro de reconhecimento da recepção
 - caso reconhecimento da recepção não seja recebido: retransmissão
 - no computador central
 - análise do CRC

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

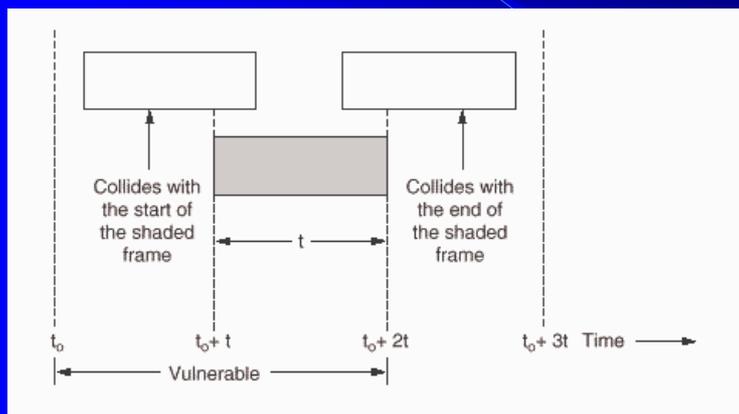
Protocolo ALOHA



Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

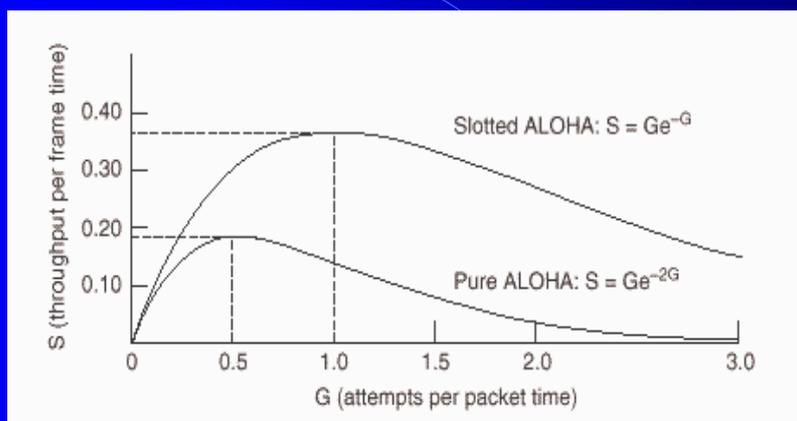
Protocolo ALOHA



Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Desempenho



Capacidade máxima de utilização do canal 18 e 37 %

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Slotted ALOHA

- Maximização dos períodos de colisão
=> reduz tempo morto de canal
- tempo é dividido pelo sistema central em intervalos (slots): terminais somente podem iniciar transmissão no começo de cada intervalo

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Slotted Aloha

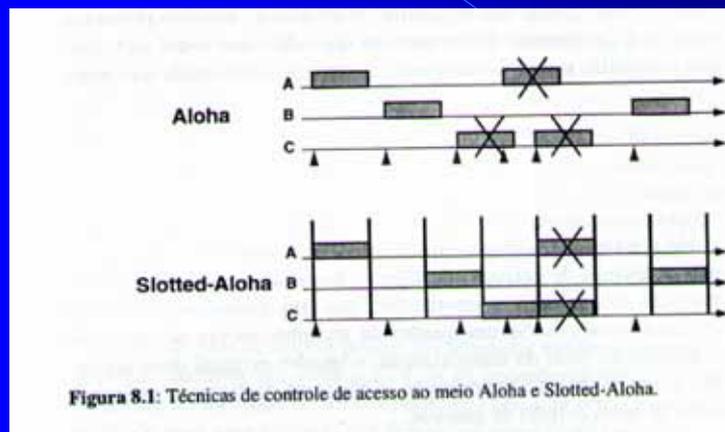
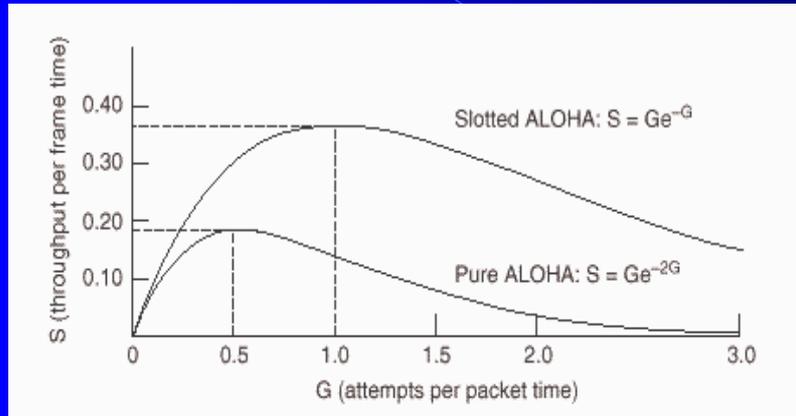


Figura 8.1: Técnicas de controle de acesso ao meio Aloha e Slotted-Aloha.

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Comparação Aloha puro x slotted



Capacidade máxima de utilização do canal 18 e 37 %

Protocolo CSMA

- Também adota a sincronização dos quadros em colisão, fazendo com que se superponham desde o início
- Estações 'escutam' o meio para verificar se há alguma estação transmitindo
- **C**arrier **S**ense **M**ultiple **A**ccess

np-CSMA e p-CSMA

- Estações, após transmitirem, esperam o reconhecimento da mensagem por um tempo determinado
- Não chegada de recebimento implica em retransmissão
- Diferença está no algoritmo que especifica o que faz uma estação quando deseja transmitir e o meio está ocupado

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

CSMA - não persistente

- caso o canal esteja ocupado, estação não fica constantemente esperando, mas espera um tempo aleatório e, em seguida, repete o algoritmo

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

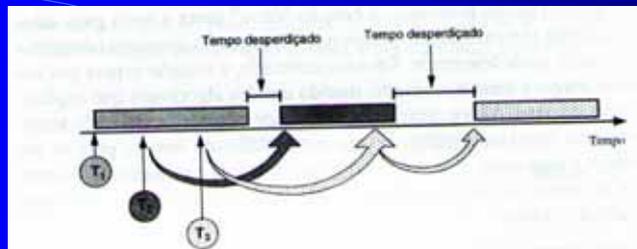


Figura 8.2: Método de acesso np-CSMA.

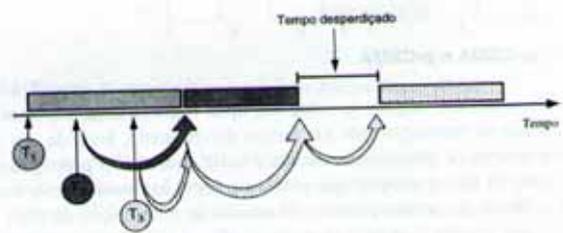


Figura 8.3: Método de acesso p-CSMA.

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

CSMA - p persistente

- aplicável a canais segmentados (slotted)
- se o canal está ocupado, estação continua a escutar o meio até que este fique livre
- Então transmite com uma probabilidade p . Com uma probabilidade $q=1-p$ há um adiamento até o próximo slot. Processo se repete até que a estação transmita ou que o canal esteja ocupado (neste último caso, estação aguarda um tempo aleatório)

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

CSMA-1 persistente

- quando estação tem dados a transmitir ela primeiro escuta o canal. Se o canal estiver livre ela transmite (probabilidade = 1). Caso detecte canal ocupado, a estação espera até que o canal fique ativo.
- problema: tempo de retardo vs. tamanho do quadro

Comparação

- Não persistente: bom para evitar colisões em tráfego alto
- 1-persistente: minimiza o tempo perdido (em caso de poucas estações querendo transmitir), porém gera número elevado de colisões
- p-persistente: busca um compromisso entre ambos

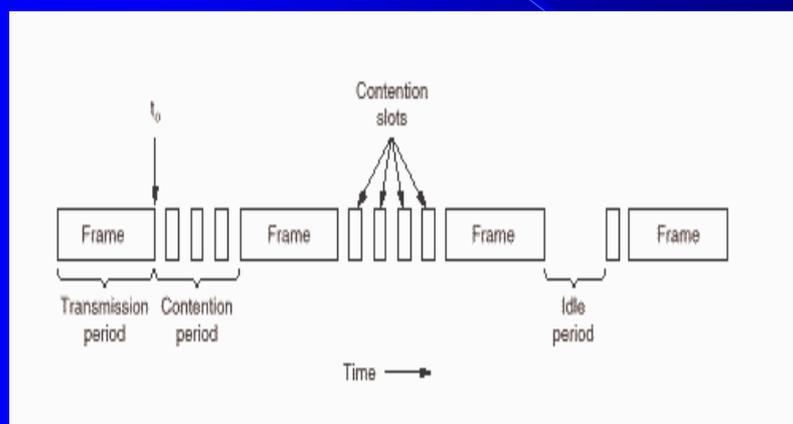
CSMA-CD

- Collision Detection
- estações continuam 'escutando' o canal durante o envio, cancelando por um período de tempo aleatório caso detectem colisão
- redução do período de colisão = aumento do uso efetivo do canal
- tempo mínimo de detecção de uma colisão = tempo de propagação

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

CSMA-CD



Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

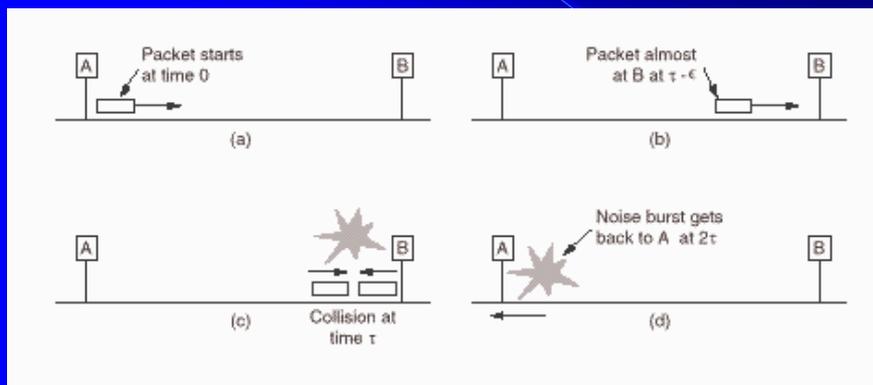
GCAR

CSMA-CD

- Tamanho de quadro
 - t_p : tempo de propagação
 - M : tamanho do quadro
 - C : taxa de transmissão
 - $M \geq 2 C t_p$ (para redes banda básica)
 - $M \geq 4 C t_p$ (redes banda larga)

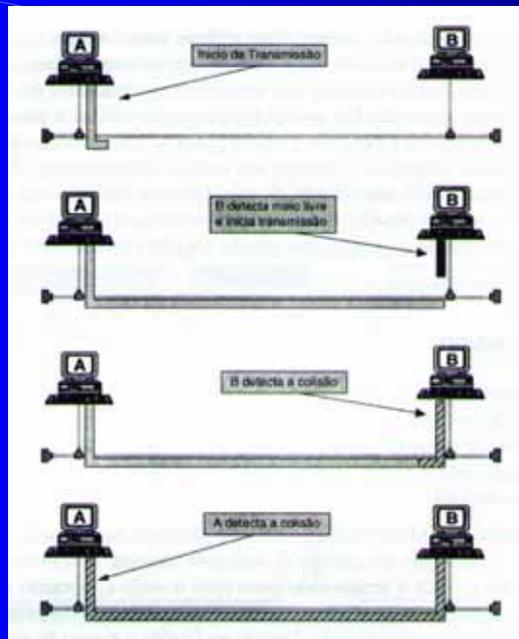
Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR



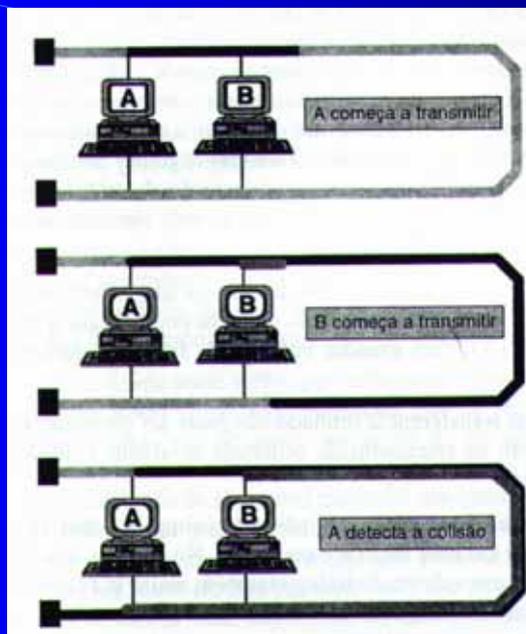
Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR



Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR



Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

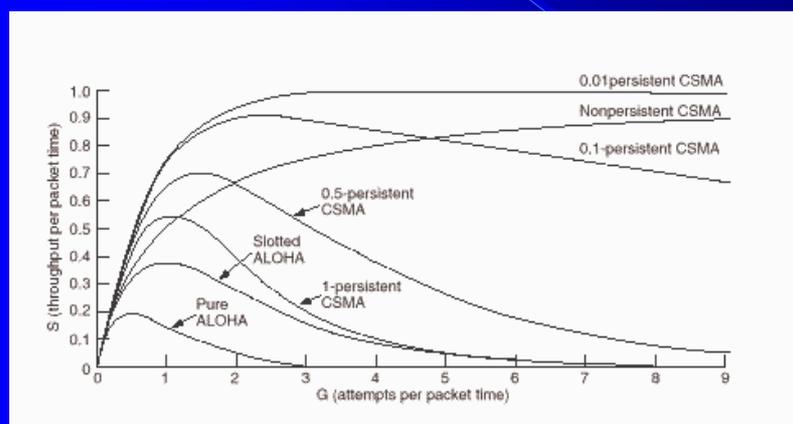
Eficiência CSMA-CD

- $E = 1 / (1 + (3.4 * t_p * C / M))$
- quanto maior a distância, maior t_p , menor a eficiência e maior o M mínimo para a detecção de colisão
- quanto maior C , maior M e menor E
- conclusão: distância da rede pode também ser determinada pelo método de acesso ao meio

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Comparação



Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

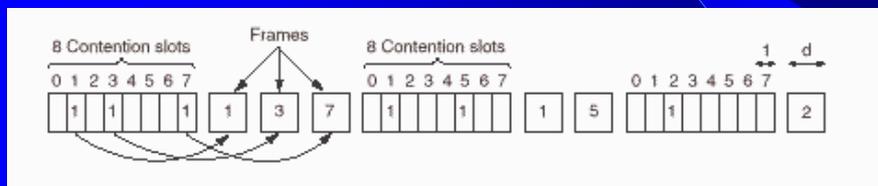
Protocolos livres de colisão: Protocolo de mapa de bits

- Numa fase inicial cada estação tem sua oportunidade de informar se quer ou não transmitir
 - N slots de contenção (1 bit para cada estação)
- No final desta fase, todas já sabem quantas estações transmitirão e inicia-se a transmissão dos quadros (em ordem numérica)

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Protocolos livres de colisão: Protocolo de mapa de bits



Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Protocolos livres de colisão: Protocolo de mapa de bits

- **Eficiência:**

- em média, estações com numeração baixa esperam $N/2$ slots (final varredura atual) e mais N slots completos (para completar segunda varredura)
- estações com numeração alta esperam apenas $N/2$
- ou seja, em média esperam N slots
- logo eficiência para d bits de dados é $d/(N+d)$

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

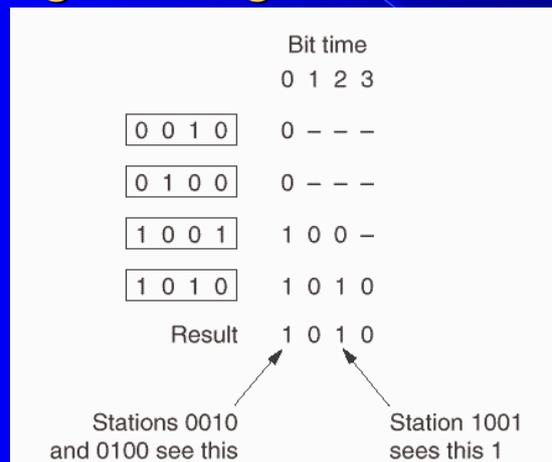
Protocolos livres de colisão: Contagem Regressiva Binária

- similar ao anterior, usa porém código binário para as estações (1 predomina sobre 0 = OR)
- eficiência:
 $d / (d + \ln N)$

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Protocolos livres de colisão: Contagem Regressiva Binária



Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Reconhecimento de Difusão com prioridades alternantes (BRAP)

- Assim que estação insere seu bit 1 em sua abertura, ela pode iniciar a transmissão
- varredura de permissão inicia sempre da estação seguinte à última que transmitiu

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Protocolos com Contenção Limitada

- procuram combinar as vantagens das outras abordagens (com contenção tem bom desempenho em carga baixa e livres de colisão tem bom desempenho em carga alta)
- idéia: divide-se as estações em N grupos e os grupos dividem os N slots

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

G CAR

CSMA-CA

- CA: collision avoidance
- depois de cada transmissão (com ou sem colisão), estações somente podem começar a transmitir em intervalos a elas pré-alocados (ordenação do acesso e maior prioridade à primeira estação)
- se todos os intervalos não são utilizados, método CSMA comum é utilizado

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

G CAR

Refinamentos CSMA-CA

- 1) se nenhuma estação transmitir, primeira estação transmite quadro sem conteúdo para reinicializar processo
- 2) busca tornar mais justo o esquema de acesso: depois de transmitir, estação somente pode tentar nova transmissão depois que todas as outras tiverem oportunidade
- 3) permite diálogo: estação que recebe tem direito de transmitir

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Protocolo adaptável de percurso em árvore

- Todas as estações podem transmitir no slot0, somente a 'metade inferior' no slot1 e a 'metade superior' no slot2

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Acesso Ordenado sem Contenção: Polling

- Controlador (arbitrador) determina quem transmite
- Diferentes estratégias
 - fisicamente mais distante primeiro
 - numeração
 - estações solicitam transmissão (em canal independente)

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

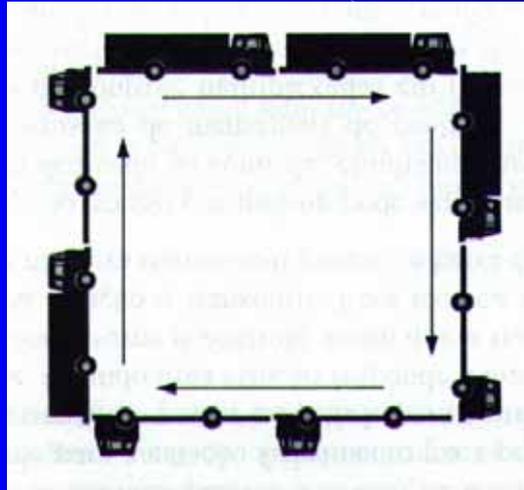
Slots

- Topologia em anel
- divide o espaço de comunicação em número inteiro de pequenos segmentos
- cabeçalho da mensagem circulando no segmento contém informação se está vazio ou cheio
- estação que quer transmitir aguarda slot vazio

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

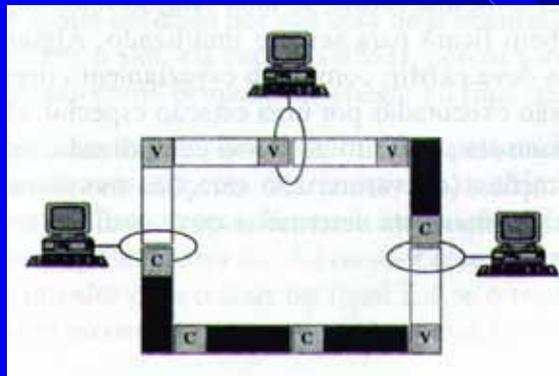
Analogia



Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Acesso ao Anel



Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Passagem de permissão (token)

- Permissão de transmissão é passada de uma estação para outra
- ordem lógica de transmissão pode ser distinta da ordem física

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Passagem de token em barramento

- Permissão identifica quem recebe
- Anel virtual
- requer funções de gerenciamento:
 - adição e retirada de estações no anel virtual
 - gerenciamento de falhas
 - inicialização do anel
- Desvantagem: overhead quando tráfego é baixo

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

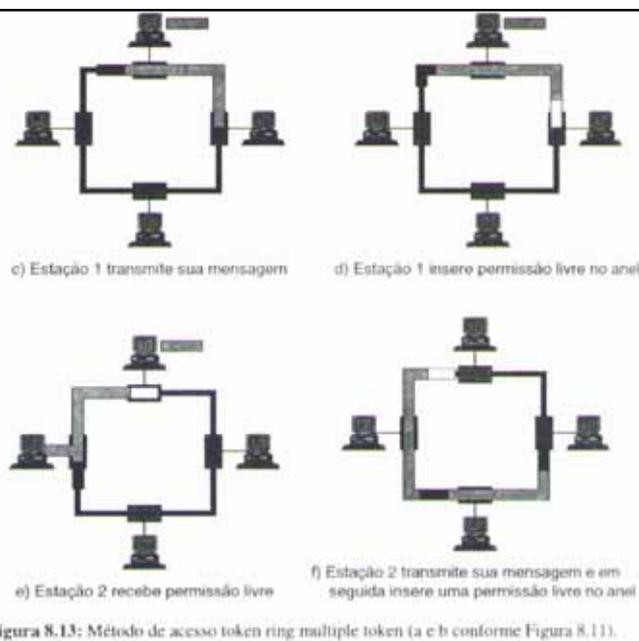
GCAR

Passagem de token em anel

- Permissão para transmissão é enviada para anel (sem identificação de quem recebe)
- Possibilidade de múltiplos tokens

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

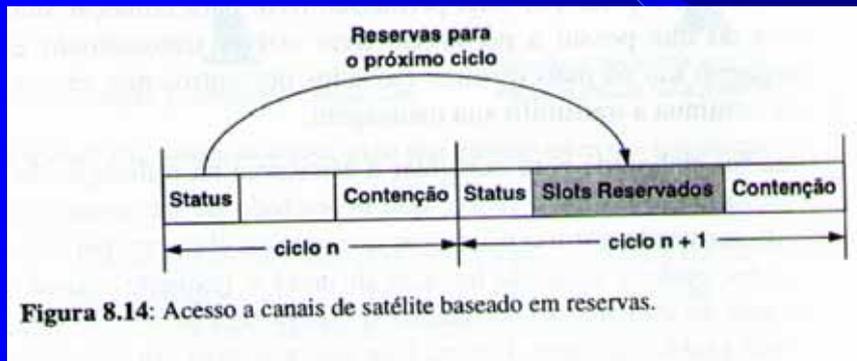
GCAR



Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Acesso baseado em reservas



Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Padrão IEEE 802

LAN Protocols and the OSI Reference Model

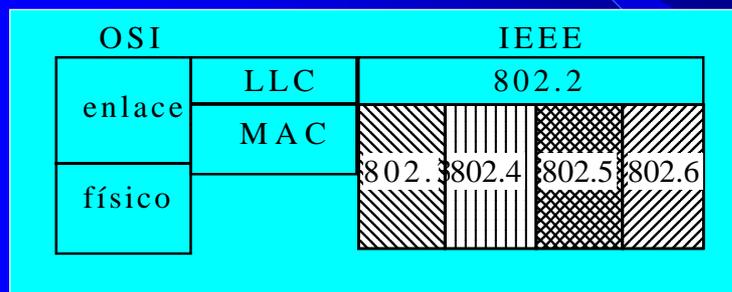
OSI	IEEE LAN Protocols				
UPPER LAYERS	LOGICAL LINK CONTROL IEEE 802.2				Logical Link Control (LLC)
DATA LINK LAYER	802.3 CSMA/CD	802.4 TOKEN BUS	802.5 TOKEN RING	802.6 MAN	Media Access Control (MAC)
PHYSICAL LAYER	10Base5 10Base2 10BaseT		MAU		Physical Specifications

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Padrão IEEE 802

- padroes para redes locais



Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Padrão 802.3 e Ethernet

- LAN CSMA-CD 1-persistente
- **Ethernet**: referência ao 'éter luminífero' através do qual se acreditava ocorria a propagação das ondas eletromagnéticas
- Ethernet foi um padrão criado pela Xerox em 1976 (usava CSMA-CD a 2,94 Mbps e permitia a conexão de 100 estações em um cabo de até 1km)

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Padrão 802.3

- descreve uma família inteira de sistemas CSMA-CD 1-persistente com velocidades entre 1 e 10 Mbps em diversos meios
- maior distância entre dois transceptores = 2.5Km e 4 repetidores

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

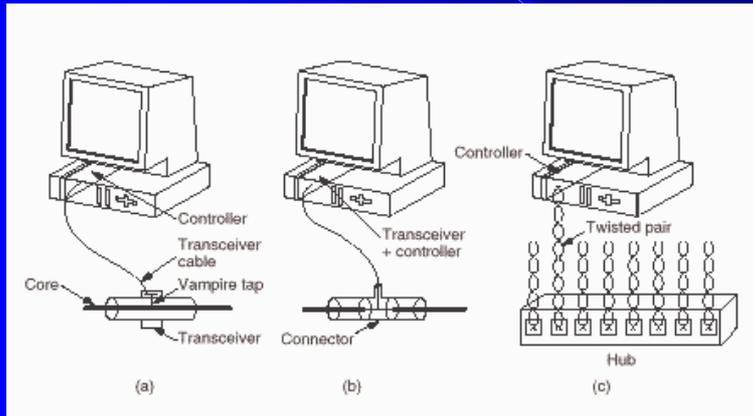
Padrão 802.3 - Cabeamento

- cinco tipo de cabos
 - 10Base5 (10Mbps, sinalização de banda básica e slots de 500 m), coaxial grosso (geralmente amarelo), 100 nós por slot, conectores tipo vampiro
 - 10Base2, coaxial fino, conectores BNC formando junções T
 - 10Base-T, par trançado (em geral conectados a um hub)
 - 10Base-F, fibra ótica
- codificação Manchester Diferencial (nível alto = 0.85V, nível baixo = -0.85V)

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Camada Física



Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Algoritmo de recuo binário exponencial

- havendo colisão, estação espera por 0 ou 1 tempo de abertura (51.2 micro s = 512 tempos de 1 bit)
- se colidir novamente, espera 0 ou 1 ou 2 ou 3 tempos de abertura
- i-ésima colisão 2^{i-1}
- após 10 colisões: 0 a 1023 (0 ou 1 ou ... ou 1023)
- após 16 colisões erro
 - busca obter compromisso entre 1-persistente (baixo tráfego) e p-persistente (alto tráfego)

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

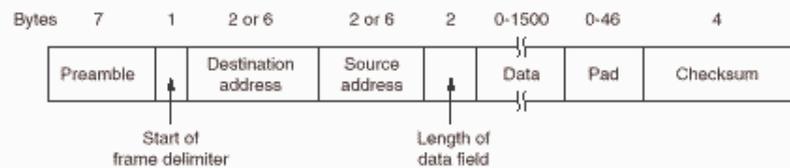
GCAR

Quadro do Protocolo MAC 802.3

- preâmbulo de 7 bytes, cada um contendo o padrão 10101010 (uma onda quadrada, Manchester, para sincronização de relógio entre transmissor e receptor)
- início de quadro: 10101011
- endereço de destino: 2 ou 6 bytes (banda básica 6). MSB em 1 sinaliza endereço de grupo.
- FF significa broadcast.
- Bit 46 (2o mais significativo) distingue entre endereços locais e globais $2^{46} = 7 \cdot 10^{13}$ endereços
- Endereço de origem (2 ou 6 bytes): 10M usa 6 bytes

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR



Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Protocolo MAC 802.3

- dois modos de endereçamento definidos
 - **endereços locais:** organização que instala a rede atribui endereços
 - **endereços globais:** endereços distintos distribuídos aos fabricantes. Garante que não haverá colisão mesmo quando duas redes distintas forem conectadas
- CRC: $x^{32}+x^{26}+x^{22}+x^{16}+x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^8+x^7+x^5+x^4+x^2+x+1$

Protocolo MAC 802.3

- Tamanho do campo de dados (2 bytes): mínimo 0 e máximo de 1500 (existe um tamanho de quadro mínimo para garantir colisão). Todos os quadros devem levar mais de 2T para que sejam enviados (em LAN de 10Mbps, com comprimento máximo de 2500 m, temos quadro mínimo levando 51.2 microseg, o que leva a um comprimento mínimo = 64 bytes).
- À medida que velocidade da rede cresce, ou quadro mínimo aumenta ou comprimento máximo deve diminuir (1 Gbps, 2500 m, teria quadro de 6400 bytes)
- Checksum

Eficiência

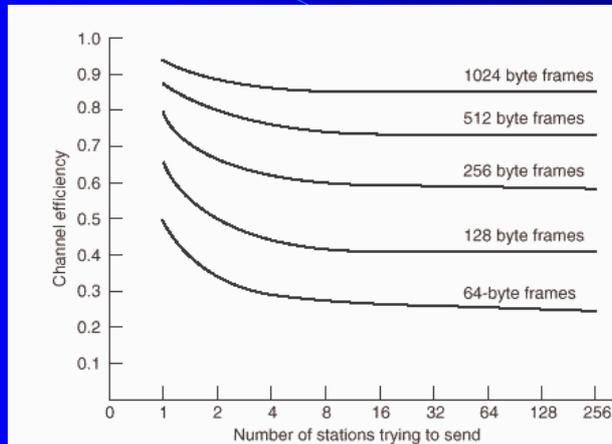


Fig. 4-23. Efficiency of 802.3 at 10 Mbps with 512-bit slot times.

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

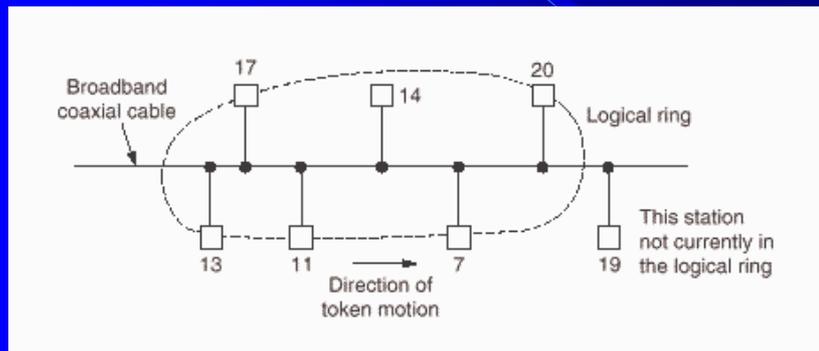
GCAR

IEEE 802.4: Token Bus

- Surgiu como resposta ao sistema probabilístico da 802.3 (não próprio para aplicações industriais tempo-real): General Motors
- Fisicamente é um cabo em forma de árvore ou linear. Logicamente as estações são organizadas em anel (cada estação conhece suas duas vizinhas)
- Passagem de token
- Cada estação deve manter em torno de 10 temporizadores diferentes e mais de duas dúzias de variáveis internas

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR



Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

IEEE 802.4: Token Bus

- usa o cabo coaxial de banda larga de 75 ohms (usado em TV a cabo)
- permite diversos esquemas analógicos de modulação (fsk-fase contínua, fsk fase coerente), ...
- permite velocidades de 1.5 e 10 Mbps
- esquemas de modulação permite não apenas representar 0, 1 e desocupado, mas também outros 3 símbolos
- norma tem mais de 200 páginas

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

IEEE 802.4: Token Bus

- **Inicialização do anel:** estações inseridas do endereço mais alto para mais baixo
- passagem do token também é feita do endereço mais alto para mais baixo
- cada vez que estação recebe token, pode transmitir por um determinado intervalo e depois deve passar o token adiante (pode transmitir vários quadros curtos). Caso não tenha quadros, passa logo adiante

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

IEEE 802.4: Token Bus

- 4 classes de prioridades são definidas (0,2,4 e 6). 6 é a de mais alta prioridade.
- 4 subestações dentro de 1 estação
- prioridades garantem tempo mínimo de retenção de um dado na prioridade 6 (primeira fila de transmissão a ser esvaziada)

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

IEEE 802.4: Formato do quadro

- preâmbulo (1 byte): para sincronismo de relógio
- delimitador de início (1 byte): símbolos não binários (dispensam campo com tamanho quadro)
- controle do quadro (1 byte): usado para distinção entre quadros de dados e quadros de controle (gerenciamento de token e supervisão)
- endereço de origem e de destino (2 a 6 bytes).
Endereçamento local e global, bem como individual ou de grupo é idêntico ao usado na 802.3

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

IEEE 802.4: Formato do quadro

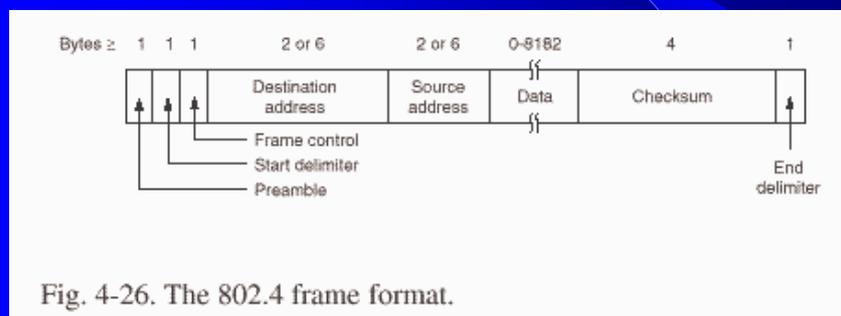


Fig. 4-26. The 802.4 frame format.

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

IEEE 802.4: Formato do quadro

- campo de dados pode ter até 8182 bytes (5 vezes maior que o maior quadro 802.3)
- checksum: usa mesmo polinômio e algoritmo da 802.3

IEEE 802.4: Quadros de controle

Frame control field	Name	Meaning
00000000	Claim_token	Claim token during ring initialization
00000001	Solicit_successor_1	Allow stations to enter the ring
00000010	Solicit_successor_2	Allow stations to enter the ring
00000011	Who_follows	Recover from lost token
00000100	Resolve_contention	Used when multiple stations want to enter
00001000	Token	Pass the token
00001100	Set_successor	Allow station to leave the ring

IEEE 802.4: Manutenção do anel lógico

- Estações conhecem predecessora e sucessora
- Entrada de novas estações:
 - Periodicamente estação com token inicia pesquisa se nova estação deseja entrar (entre seu número e o número da sucessora)
'solicita_sucessora_1' (quadro inclui endereço da transmissora e sua sucessora)
 - 1 estação por vez
 - caso haja colisão na entrada: 'resolve contenção' (contagem regressiva binária)

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

IEEE 802.4: Manutenção do anel lógico

- Estação deseja sair do anel: envio do quadro 'atribua sucessora' a sua antecessora
- Início do anel: primeira estação envia 'reinvoca token' e passa a permitir entrada das outras
- Após passar token, estação monitora barramento para garantir que sucessora está OK. Caso falha, retransmite uma vez. Nova falha, controle 'quem segue' é gerado

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

IEEE 802.4: Manutenção do anel lógico

- Caso estação com token falhe, temporizador da sucessora acusará erro ('token rotation time') e quadro 'reinvindica_token' será enviado

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

IEEE 802.5 - Token Ring

- IBM
- tecnologia de anéis é toda digital (somente bits e retardo de bits)
- cada bit que chega é copiado para um buffer e analisado
- questão importante no projeto é o tempo físico de 1 bit.
 - Ex: anel 1Mbps com circunferência de 1000 metros, conterá apenas 5 bits

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

IEEE 802.5 - Token Ring

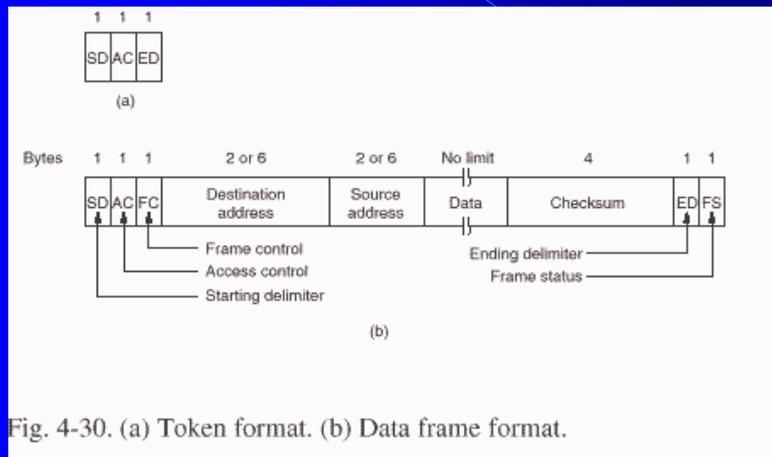


Fig. 4-30. (a) Token format. (b) Data frame format.

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Quadro Token Ring

- Delimitadores: Manchester inválidos HH e LL
- Byte de Controle de acesso: bit de token, bits de prioridade, ...
- Endereços de origem e destino: similar ao 802.3 e 802.4

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Quadro Token Ring

- Verificação: idêntico ao 802.3/802.4
- Status do Quadro: bits A e C, modificados pela estação destino e lidos pela transmissora para checar se quadro foi aceito e se estação de destino está presente
- Bits A e C são transmitidos duas vezes para aumento de confiabilidade, uma vez que estão fora da checagem de CRC
- Delimitador de fim contém bit que indica erro

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Control field	Name	Meaning
00000000	Duplicate address test	Test if two stations have the same address
00000010	Beacon	Used to locate breaks in the ring
00000011	Claim token	Attempt to become monitor
00000100	Purge	Reinitialize the ring
00000101	Active monitor present	Issued periodically by the monitor
00000110	Standby monitor present	Announces the presence of potential monitors

Carlos E. Pereira - UFRGS/DELET

GCAR

Resumo

- 802.3

- Vantagens:

- algoritmo simples
- fácil adição de novas estações
- retardo sob baixa carga tende a zero

Resumo

- 802.3

- Desvantagens

- detecção de colisão requer circuito analógico
- menor quadro válido tem 64 bytes (para permitir detecção de colisão): overhead
- não determinístico
- não possui prioridades

Resumo

- 802.4

- Vantagens

- meio físico confiável e de fácil aquisição
- determinismo
- suporta prioridades

- Desvantagens

- protocolo complexo e com retardo em baixa carga

Resumo

- 802.5

- Vantagens

- conexão ponto a ponto e digital
- diversos meios de transmissão possíveis
- fácil detecção e localização de falhas no cabo

- Desvantagens:

- função monitora centralizada

Formatos de Quadros do Padrão 802

