

Unidade III – Múltiplo Acesso

TP308 – Introdução às Redes de Telecomunicações

© Antônio M. Alberti 2007

Tópicos

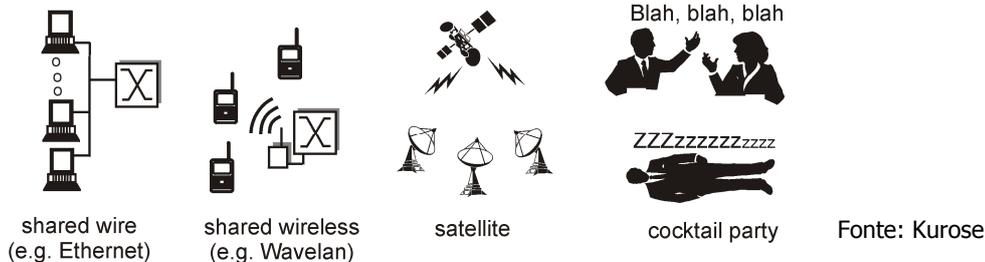
- ✓ Introdução
- ✓ Protocolos de Múltiplo Acesso
- ✓ FDMA
- ✓ TDMA
- ✓ Aloha
- ✓ Slotted Aloha
- ✓ CSMA
- ✓ CSMA-CD
- ✓ CSMA-CA
- ✓ Polling
- ✓ Comparação das Técnicas de Acesso Aleatório



© Antônio M. Alberti 2007

Introdução

- ✓ As redes de computadores podem ser divididas em **duas categorias** de acordo com o seu tipo de **enlace**:
 - As que usam **enlaces ponto a ponto**. Ex: PPP, ATM.
 - As que utilizam **enlaces de difusão**. Ex. Ethernet, WLAN.



- ✓ Em qualquer enlace de difusão, a questão fundamental é determinar **quem tem direito** de usar o canal quando há uma **disputa** por ele.

Introdução

- ✓ Existem vários protocolos destinados a solucionar este problema.
- ✓ Na literatura, os enlaces de difusão também são referidos por **canais de multiacesso** ou **canais de acesso aleatório**.
- ✓ Os protocolos usados para determinar quem será o próximo em uma canal de multiacesso pertencem a uma **subcamada** da **camada de enlace**, chamada **subcamada MAC (Medium Access Control Sublayer)**.
- ✓ Estes protocolo são chamados de **protocolos de acesso múltiplo**.

Protocolos de Múltiplo Acesso

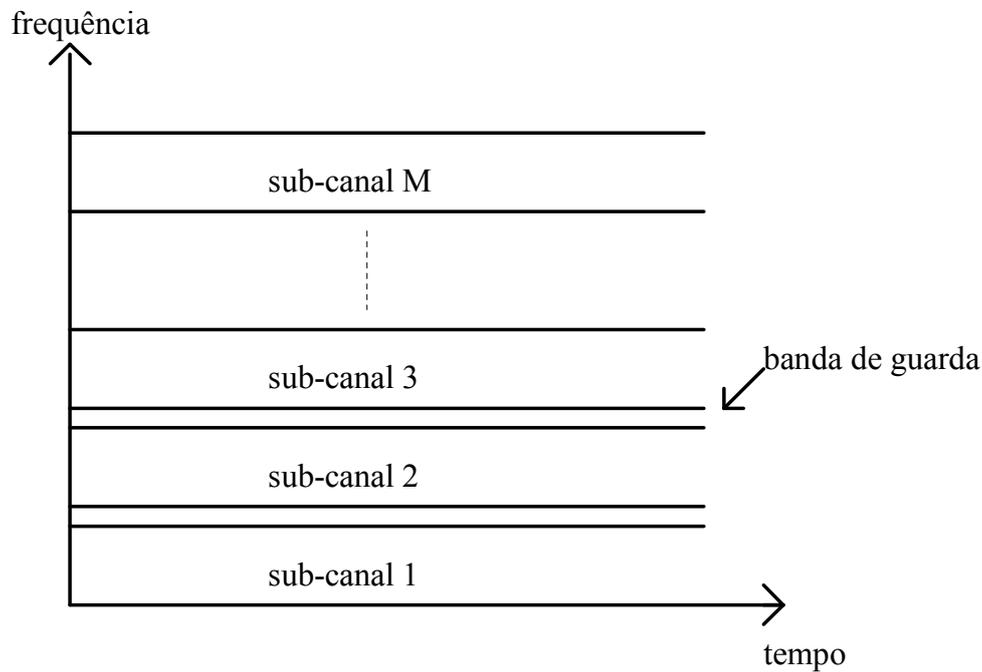
- ✓ Os protocolos de multiacesso podem ser classificados em **três** classes:
 - **Particionamento de Canal**
 - Dividem o canal em pedaços menores (compartilhamentos de tempo, frequência).
 - Alocam um pedaço para uso exclusivo de cada nó.
 - Ex. **TDMA, CDMA**.
 - **Acesso Aleatório**
 - Permite colisões e provê “recuperação” de colisões.
 - Ex. **Aloha, Slotted Aloha, CSMA, CSMA/CD, CSMA/CA**.
 - **Passagem de Permissão**
 - Compartilhamento estritamente coordenado para evitar colisões.
 - Ex. **Polling, Token Passing**.

FDMA

- ✓ Nesta técnica o recurso de comunicação compartilhado (o *transponder* de um satélite, por exemplo) é dividido em sub-canais, sendo que **cada sub-canal ocupa uma banda de frequência e é alocado a uma estação**.
- ✓ Uma estação que deseje efetuar uma transmissão pode fazê-lo a qualquer instante, utilizando o sub-canal a ela associado.
- ✓ Por razões de implementabilidade, existe uma banda de guarda entre dois sub-canais adjacentes, resultando em perda de capacidade.

FDMA

- ✓ Estrutura Básica do FDMA



TDMA

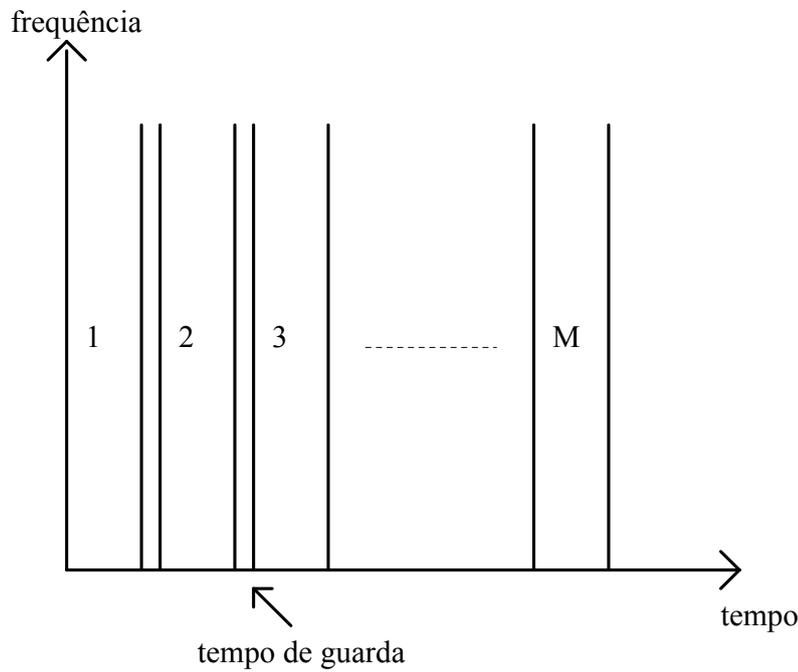
- ✓ Na técnica TDMA o tempo é dividido em períodos sucessivos chamados de quadros.
- ✓ Cada quadro é composto de M janelas sucessivas, e cada janela de tempo é alocada a uma estação.
- ✓ Cada estação da rede só pode transmitir durante sua janela de tempo, podendo haver um tempo de espera entre o instante em que uma estação deseja transmitir e o instante em que ela pode começar a fazê-lo.

Múltiplo Acesso

TDMA

- ✓ Estrutura Básica do TDMA

Unidade 3



© Antônio M. Alberti 2007

Múltiplo Acesso

Aloha

- ✓ Desenvolvido na década de 1970 por Norman Abramson e seus colegas na Universidade do Havaí.
- ✓ Existem duas versões do Aloha:
 - Puro
 - Slotted
- ✓ Elas diferem quanto ao fato de o tempo estar ou não dividido em *slots* discretos, nos quais todos os quadros devem ser ajustar.

Unidade 3

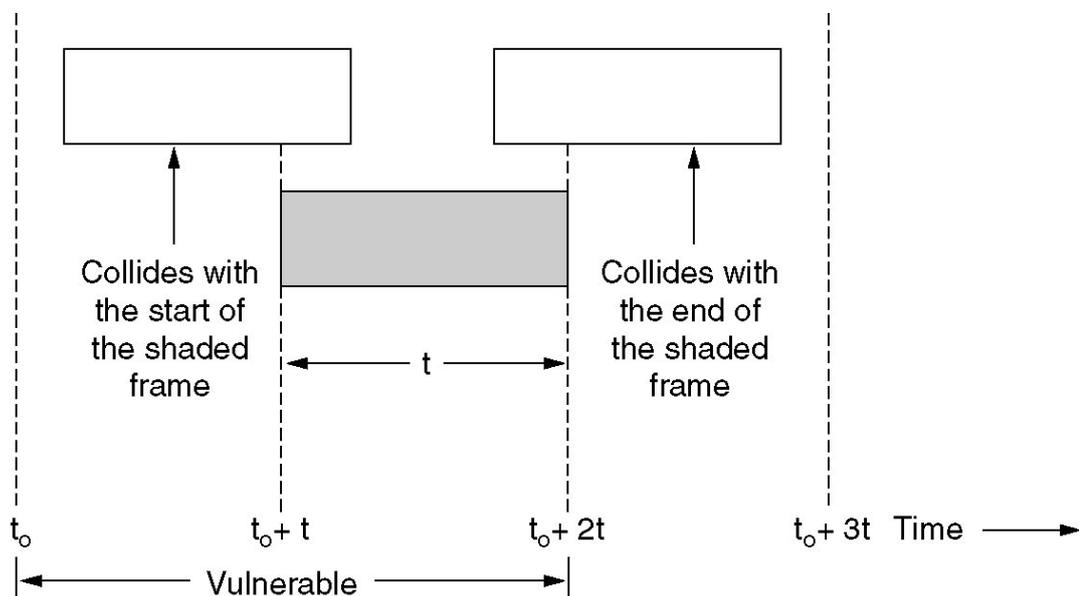
© Antônio M. Alberti 2007

Aloha

- ✓ Na técnica de acesso denominada **Aloha Puro** as estações transmitem no instante que desejarem, sem se importar com as demais estações da rede.
- ✓ Após transmitir um pacote, a estação passa a aguardar uma mensagem de reconhecimento positivo por parte do receptor.
- ✓ Caso esta mensagem não seja recebida dentro de um intervalo de tempo denominado *timeout*, uma colisão é caracterizada, e a estação retransmite após um intervalo aleatório de tempo.

Aloha

- ✓ Probabilidade de uma Transmissão bem Sucedida



Aloha

- ✓ Um quadro será transmitido com sucesso, se:
 - Se nenhum outro quadro for transmitido no intervalo de tempo entre t_0 e $t_0 + t$.
 - Se nenhum outro quadro for transmitido no intervalo de tempo entre $t_0 + t$ e $t_0 + 2t$.
- ✓ A probabilidade de **k quadros** serem submetidos durante um determinado tempo de quadro **t** é obtida pela distribuição de *Poisson*:

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

Aloha

- ✓ A probabilidade de não haver **nenhum** quadro em um intervalo de tempo **t** é dado por $P_t[0]$:

$$P_t[0] = \frac{G^0 e^{-G}}{0!} = e^{-G}$$

- ✓ Portanto, a probabilidade de que **nenhum** quadro seja gerado em dois intervalos de tempo **t** ($2t$) é:

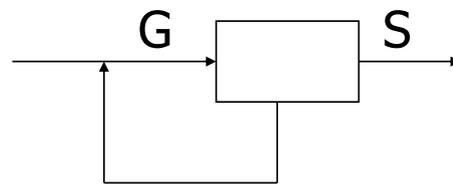
$$P_{2t}[0] = e^{-G} e^{-G} = e^{-2G}$$

- ✓ A vazão $S = G \cdot P[\text{transmissão com sucesso em } 2t]$:

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

Aloha

- ✓ S é o número médio de *bits* transmitidos com sucesso por segundo dividido pela taxa de transmissão no canal, definido como **vazão normalizada**.
- ✓ G é o número médio de *bits* transmitidos com e sem sucesso por segundo dividido pela taxa de transmissão no canal, definido como **carga total normalizada**.



$$S \leq G$$

Aloha

- ✓ O **valor máximo** de S ocorre quando:

$$\frac{dS}{dG} = 0$$

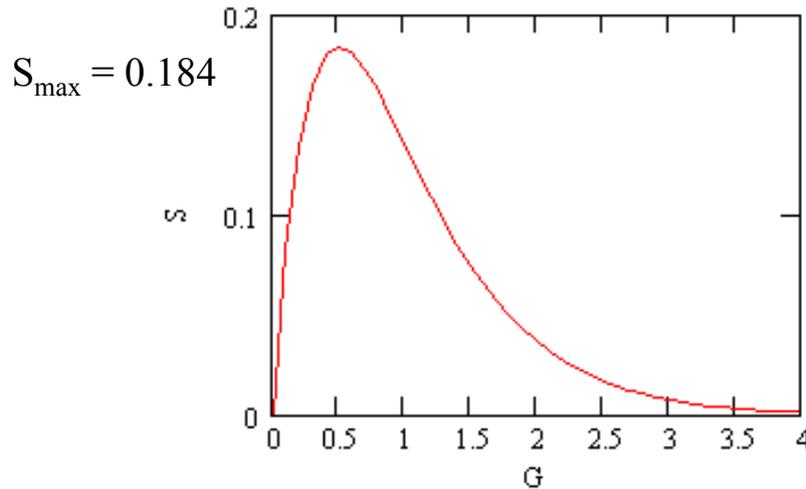
- ✓ Então:

$$\frac{dS}{dG} = e^{-2G} - 2Ge^{-2G} = 0$$

- ✓ Resolvendo tem-se $G = 0.5$. Assim, a vazão máxima será $S = 0.1839$ ou **$S = 18.39\%$** .

Aloha

- ✓ Desempenho do Aloha (S x G)



A vazão máxima é de 18,4%

Slotted Aloha

- ✓ No *Slotted Aloha* as estações somente podem iniciar uma transmissão no **início** de cada *time slot*.
- ✓ Esta mudança, fez com que o **período de vulnerabilidade** do Aloha fosse **reduzido** pela **metade**, uma vez que somente existe a possibilidade de colisão no “tempo de quadro” t .
- ✓ Assim, a vazão $S = GP_0$ para o sistema *slotted* será:

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

Slotted Aloha

- ✓ O valor máximo de S pode ser encontrado fazendo-se $dS/dG = 0$.
- ✓ Neste caso, $G = 1$.
- ✓ Assim, a vazão máxima será:

$$S = Ge^{-G} = 1e^{-1} = 0.368$$

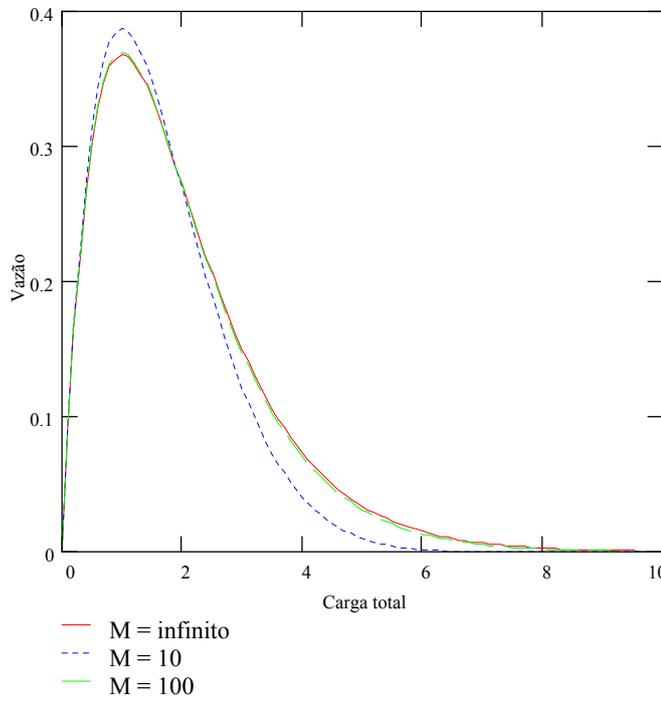
Slotted Aloha

- ✓ Em uma rede com M estações, a relação entre vazão e carga é dada por:

$$S = G \left(1 - \frac{G}{M} \right)^{M-1}$$

Slotted Aloha

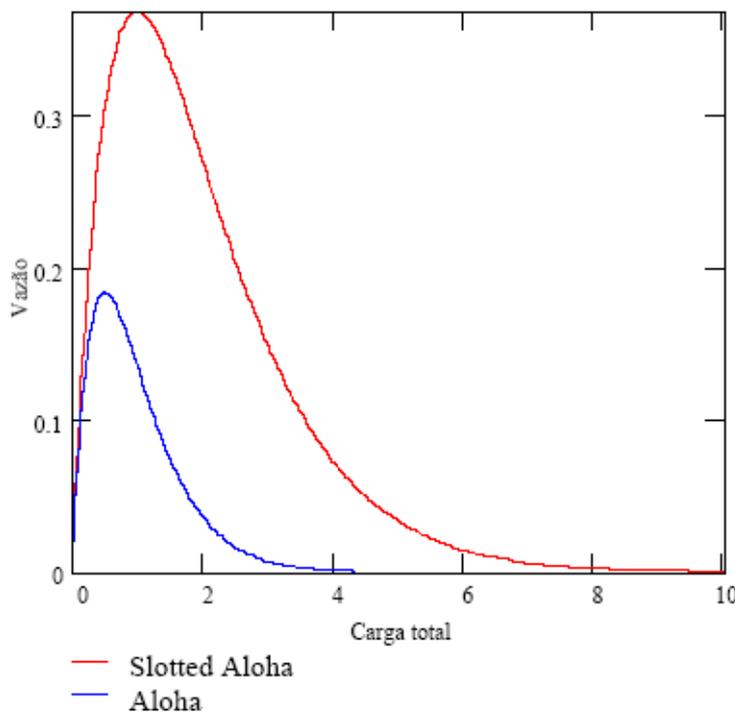
✓ Desempenho do Slotted Aloha ($S \times G$)



A vazão máxima é de 36,8%

Comparação Aloha x Slotted Aloha

✓ $S \times G$



- Múltiplo Acesso**
- CSMA**
- ✓ Os protocolos CSMA podem ser considerados um refinamento dos protocolos Aloha.
 - ✓ No CSMA as estações escutam o meio antes de transmitir, e só o fazem se detectarem o meio livre.
 - ✓ Assim como no Aloha, a operação dos protocolos CSMA pode ser com divisão do tempo em janelas (*slotted CSMA*) ou não (*unslotted CSMA*).
- Unidade 3**
- ✓ **Tipos**
 - P-persistente
 - 1-persistente
 - Não-persistente

- Múltiplo Acesso**
- CSMA**
- CSMA p-Persistente**
- ✓ Se aplica a canais segmentados (*slotted*).
 - ✓ Uma estação, quando pronta para transmitir, escuta o canal.
 - ✓ Daí seguem duas possibilidades: canal disponível e canal ocupado.
 - ✓ Se ele estiver disponível, a estação poderá transmitir com uma **probabilidade p**.
 - ✓ Ou seja, existe um **probabilidade $q = 1 - p$** de que haja adiamento da transmissão até o início do próximo *slot*.
- Unidade 3**

- Múltiplo Acesso CSMA
- ### CSMA p-Persistente
- ✓ Supondo que tenha havido um adiamento, se o próximo *slot* também estiver desocupado, **poderá** haver uma **transmissão** ou um novo **adiamento** com as probabilidades **p** e **q**, respectivamente.
 - ✓ Este processo **se repete** até o quadro ser transmitido ou até que outra estação **inicie** transmissão.
 - ✓ Neste último caso, a estação **age** como se tivesse havido uma **colisão** (ou seja, aguarda durante um intervalo de tempo aleatório e reinicia as tentativas de transmissão).
 - ✓ Se o canal estiver **ocupado**, a estação esperará pelo próximo *slot* e reiniciará o algoritmo anterior.
- Unidade 3

© Antônio M. Alberti 2007

- Múltiplo Acesso CSMA
- ### CSMA 1-Persistente
- ✓ Quando uma estação tem dados a transmitir ela primeiro **escuta** o canal **continuamente** para ver se mais alguém está transmitindo no momento.
 - ✓ Se o canal estiver **ocupado**, a estação **espera** até que ele fique **ocioso**.
 - ✓ Quando o canal estiver **desocupado**, a estação **transmite** um quadro.
- Unidade 3

© Antônio M. Alberti 2007

- Múltiplo Acesso CSMA
- ### CSMA 1-Persistente
- ✓ Se ocorrer uma **colisão**, a estação **espera** um intervalo de tempo **aleatório** e **começa** tudo de novo.
 - ✓ É denominado **1-persistente** porque **transmite** com probabilidade 1 sempre que encontra o canal desocupado.
 - ✓ *Vazão (unslotted)*

Unidade 3

$$S = \frac{G[1 + G + aG(1 + G + aG/2)] \cdot e^{-G \cdot (1+2a)}}{G(1 + 2a) - (1 - e^{-aG}) + (1 + aG) \cdot e^{-G \cdot (1+a)}}$$

© Antônio M. Alberti 2007

- Múltiplo Acesso CSMA
- ### CSMA Não-Persistente
- ✓ Antes de transmitir uma estação escuta o canal.
 - ✓ Se ninguém mais estiver **transmitindo**, a estação iniciará a transmissão.
 - ✓ Entretanto, se o canal já estiver sendo utilizado, a estação não permanece **escutando continuamente** a fim de se apoderar de **imediate** do canal após **detectar** o fim da transmissão anterior.
 - ✓ Em vez disso, a estação **aguarda** durante um intervalo de tempo **aleatório** e, em seguida **verifica** a ociosidade do canal.

Unidade 3

© Antônio M. Alberti 2007

Múltiplo Acesso

CSMA

CSMA Não-Persistente

✓ Vazão:

$$S = \frac{Ge^{-aG}}{G(1+2a)+e^{-aG}} \quad \text{unslotted}$$

$$S = \frac{aGe^{-aG}}{(1-e^{-aG})+a} \quad \text{slotted}$$

Unidade 3

Onde: **a** é o atraso de propagação normalizado com relação ao atraso de transmissão de um pacote.

$$a = \frac{\tau_{prop.}}{\tau}$$

Múltiplo Acesso

CSMA

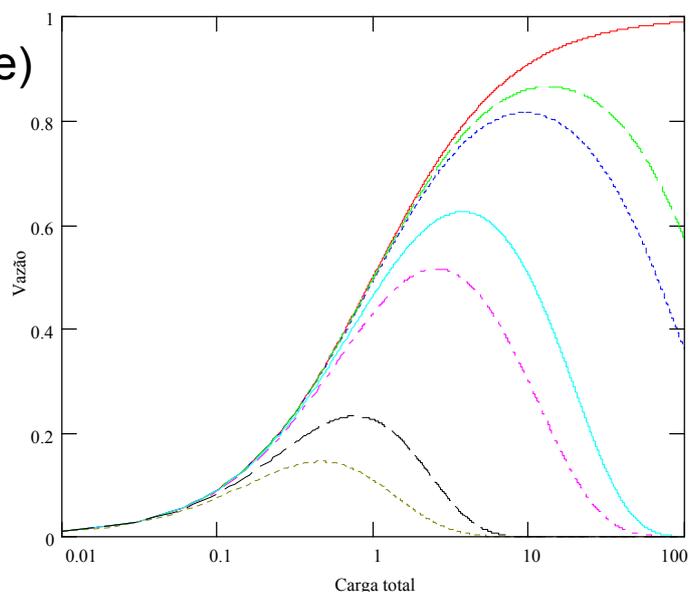
Comparação CSMA

✓ **S** x **G** (Não-persistente)

Se $a = \frac{\tau_{prop.}}{\tau} = 0.1$

então $\tau = 10 \cdot \tau_{prop}$

Unidade 3

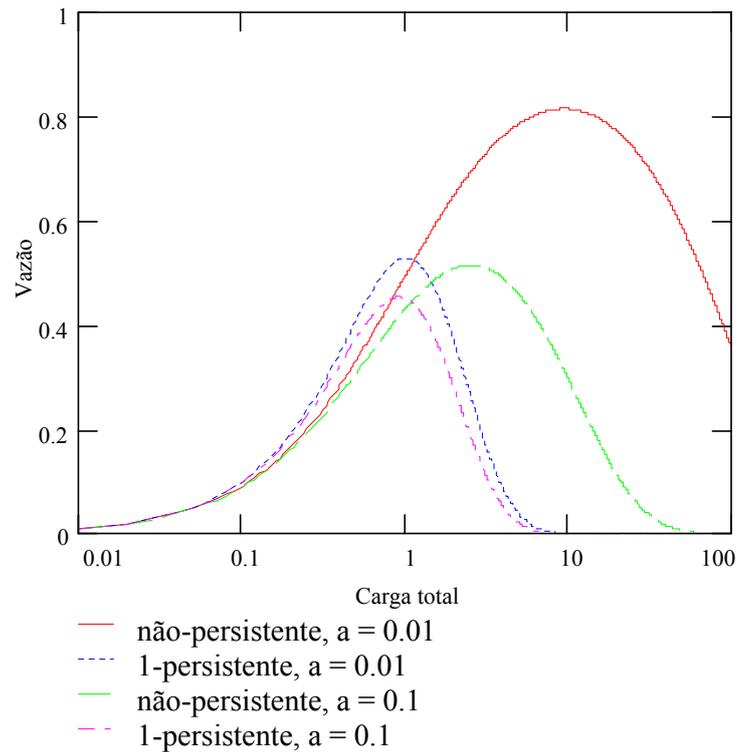


- unslotted e slotted, a = 0
- - - unslotted, a = 0.01
- - - slotted, a = 0.01
- - - unslotted, a = 0.1
- slotted, a = 0.1
- - - unslotted, a = 1
- slotted, a = 1

CSMA

Comparação CSMA

✓ S x G



© Antônio M. Alberti 2007

CSMA-CD

- ✓ A diferença do CSMA para o CSMA-CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*) está na forma como as colisões são detectadas.
- ✓ No CSMA-CD as estações permanecem escutando o meio durante sua transmissão para detectar possíveis colisões.
- ✓ Se uma colisão ocorre, as estações abortam a transmissão de seus pacotes, transmitem um sinal de reforço de colisão, e geram um atraso aleatório, após o qual as estações voltam a escutar o meio para uma tentativa de retransmissão do pacote.

© Antônio M. Alberti 2007

CSMA-CD

- ✓ A transmissão do sinal de reforço de colisão garante que todas as estações que participaram da colisão a perceberam.
- ✓ Para garantir que as estações possam perceber se seus pacotes sofreram colisão, os mesmos devem ter um comprimento mínimo igual a duas vezes o máximo tempo de propagação na rede.
- ✓ As formas de implementação do CSMA-CD são similares às do CSMA, ou seja, não-persistente, p-persistente e 1-persistente, com divisão do tempo em janelas (*slotted*) ou não (*unslotted*).

CSMA-CD

- ✓ A expressão a seguir permite calcular a vazão (S) em função da carga total (G) para o CSMA-CD *unslotted* não-persistente, considerando-se uma rede com infinitas estações:

$$S = \frac{Ge^{-aG}}{Ge^{-aG} + \gamma aG(1 - e^{-aG}) + 2aG(1 - e^{-aG}) + (2 - e^{-aG})}$$

- ✓ γ representa o tempo de transmissão do reforço de colisão normalizado em relação ao tempo de propagação.

- Múltiplo Acesso
- Unidade 3
- ## CSMA-CA
- ✓ A **Detecção de Colisão** (*Collision Detection*) é uma boa idéia para redes cabeadas, entretanto não pode ser usada em redes *wireless*:
 - A implementação da detecção de colisão exigiria rádios que podem **receber** e **transmitir** ao mesmo tempo. Isto encareceria o custo consideravelmente.
 - Em um ambiente *wireless* **não se pode garantir** que todas as estações conseguem ouvir as demais estações da rede. Detectar o meio livre não significa que não haja um sinal de rádio nas redondezas da estação.

© Antônio M. Alberti 2007

- Múltiplo Acesso
- Unidade 3
- ## CSMA-CA
- ✓ Para contornar este problema é utilizada a técnica de **Prevenção de Colisão** (*Collision Avoidance*) junto com um mecanismo de confirmações positivas.
 - ✓ Uma estação que deseja transmitir “sente” o meio.
 - ✓ Se ele estiver ocupado a estação adia a transmissão por um **tempo aleatório** dado pelo **algoritmo de backoff exponencial binário**.
 - ✓ Se o meio estiver livre por um certo tempo (chamado **DIFS** - *Distributed Inter Frame Space*) a estação pode transmitir.

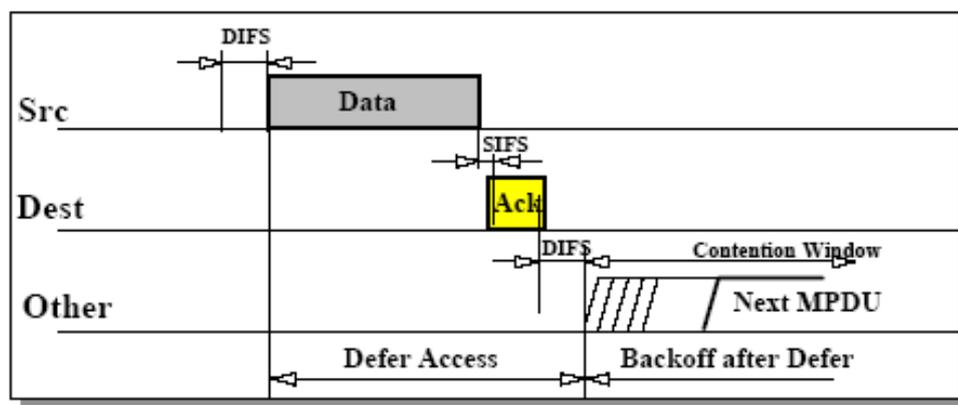
© Antônio M. Alberti 2007

CSMA-CA

- ✓ A estação destinatária irá **verificar** o quadro transmitido e enviar uma **confirmação positiva** (ACK) se estiver tudo ok.
- ✓ A recepção desta confirmação indica ao transmissor que **não houve colisão**.
- ✓ Agora, se a estação transmissora não receber o ACK, então ela assume que **houve uma colisão** e retransmite o quadro após um intervalo de **tempo aleatório**.

CSMA-CA

- ✓ O adiamento é baseado na **Deteção de Portadora** (*Carrier Sense*)



Fonte: Diepstraten

Múltiplo Acesso

Unidade 3

Polling

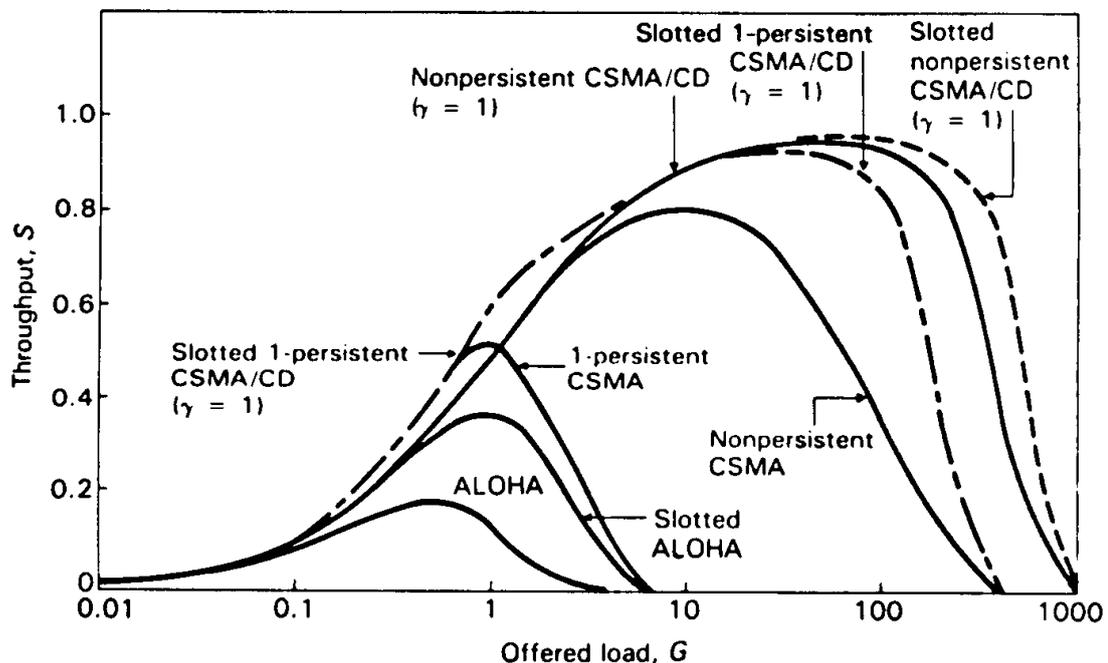
- ✓ O **Rodízio** de estações é uma técnica determinística de múltiplo acesso que evita colisões.
- ✓ Existe um **nó controlador** que executa o rodízio, determinando que estações estão **autorizadas** a transmitir e por **quanto tempo**.
- ✓ O nó controlador deve divulgar a decisão para todas as estações da rede. Normalmente, em rede sem fio isto feito via **broadcast**.
- ✓ Assim, toda estação que deseje transmitir deve **solicitar** autorização ao nó controlador, que baseado em políticas determina a ordem de transmissão.

Múltiplo Acesso

Unidade 3

Comparação das Técnicas de Acesso Aleatório

- ✓ **S x G** (atraso de propagação normalizado $a = 0.1$)

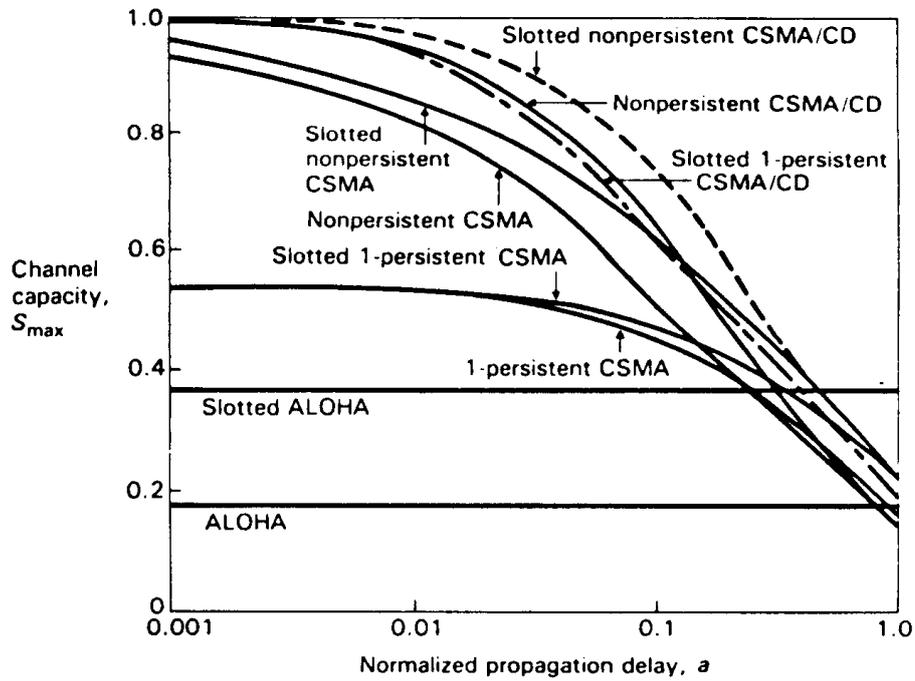


Múltiplo Acesso

Comparação das Técnicas de Acesso Aleatório

✓ S Máximo

Unidade 3



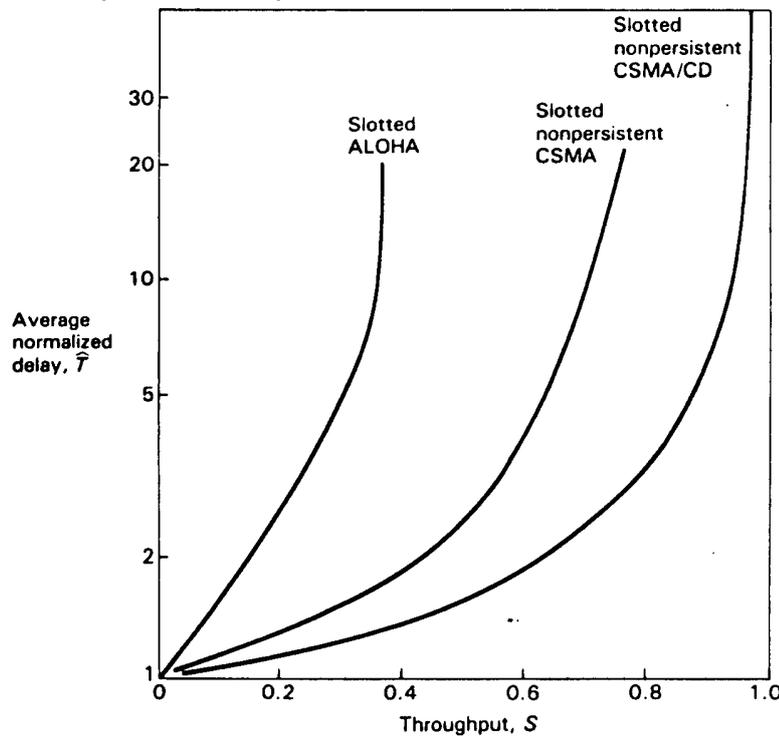
© Antônio M. Alberti 2007

Múltiplo Acesso

Comparação das Técnicas de Acesso Aleatório

✓ Atraso ($a = 0,01$)

Unidade 3



© Antônio M. Alberti 2007