

CPE710: Redes Móveis

Prof. Miguel Elias Mitre Campista

<http://www.gta.ufrj.br/~miguel>

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

CPE710: Redes Móveis

PROTOCOLOS DE CAMADA DE ENLACE

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Camada de Enlace

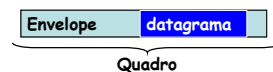
- Presta serviço para a camada de rede:
 - **Serviço básico:** Prover comunicações eficiente e confiável de unidades de informação entre dois nós adjacentes
 - O que é uma unidade de informação?
 - O que são nós adjacentes?

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Camada de Enlace

- **Unidade de informação:** Pacote de camada de enlace, também chamado de quadro (frame)
 - Quadros encapsulam datagramas da camada de rede



- **Nós adjacentes:** Nós conectados fisicamente por um canal de comunicação, também chamado de enlace
 - Enlace entrega todos os bits ao destinatário na mesma ordem de envio

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Camada de Enlace

- Para oferecer serviços, os protocolos consideram...
 - Tipos diferentes de canais de comunicação:
 - **Canal ponto-a-ponto**
 - Uma estação em cada extremidade
 - Requer controle simples de acesso
 - » Exs: Redes de acesso domiciliares e redes entre roteadores
 - **Canal de difusão (broadcast)**
 - Várias estações conectadas ao mesmo canal
 - Requer controle de acesso ao meio para coordenar as transmissões
 - » Ex. rede sem-fio

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Camada de Enlace

- Por que o tipo do canal influencia na definição do protocolo de comunicação?

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Camada de Enlace

- Por que o tipo do canal influencia na definição do protocolo de comunicação?

Principalmente porque a forma como o meio é acessado depende do tipo de canal...

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Camada de Enlace

- Por que o tipo do canal influencia na definição do protocolo de comunicação?



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Tipos de Protocolos

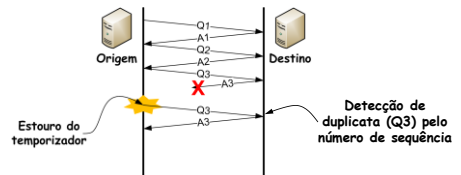
- Protocolos Simplex: "Utópico"
 - Pacotes enviados de um transmissor para um receptor
 - Todos os pacotes são recebidos pois assume-se que o meio é **sem perda** e o transmissor **não sobrecarrega** o receptor
- Protocolos Simplex: **Pare e Espere (stop-and-wait)**
 - Pacotes enviados de um transmissor para um receptor
 - Se o transmissor puder **sobrecarregar** o receptor, uma nova transmissão só pode ser feita após a recepção do reconhecimento
 - Caso haja **perda** no meio, é necessário acrescentar número de sequência no pacote e temporizador
 - Basta um bit (0 ou 1) como número de sequência

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Tipos de Protocolos

- Funcionamento do Pare e Espere
 - Transmissor só pode enviar um quadro por vez
 - Próximo quadro só pode ser transmitido após a recepção do reconhecimento positivo (ACK) do atual

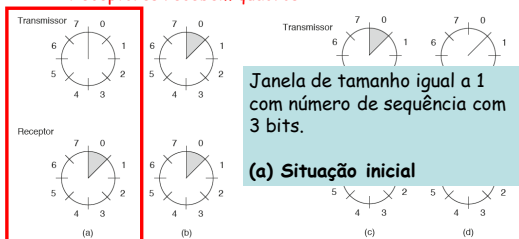


CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Tipos de Protocolos

- Protocolos de Janela Deslizante
 - Conjunto de números de sequência é alterado conforme:
 - Transmissores recebem os reconhecimentos positivos
 - Receptores recebem quadros

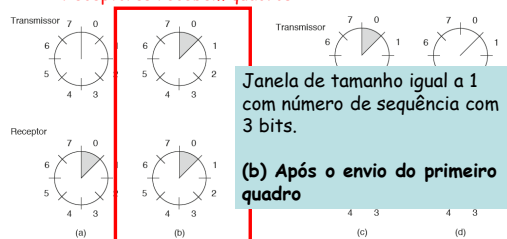


Janela de tamanho igual a 1 com número de sequência com 3 bits.

(a) Situação inicial

Tipos de Protocolos

- Protocolos de Janela Deslizante
 - Conjunto de números de sequência é alterado conforme:
 - Transmissores recebem os reconhecimentos positivos
 - Receptores recebem quadros

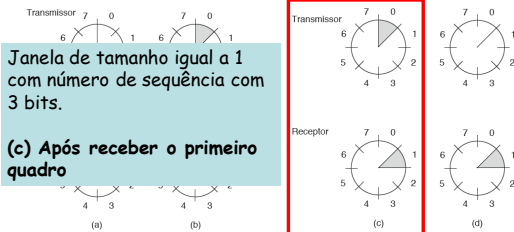


Janela de tamanho igual a 1 com número de sequência com 3 bits.

(b) Após o envio do primeiro quadro

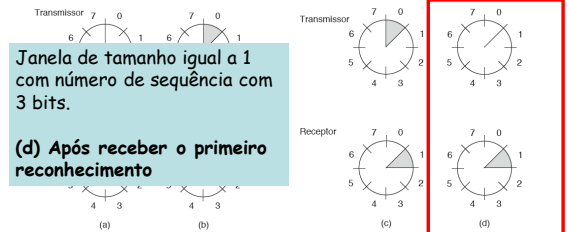
Tipos de Protocolos

- Protocolos de Janela Deslizante
 - Conjunto de números de seqüência é alterado conforme:
 - Transmissores recebem os reconhecimentos positivos
 - Receptores recebem quadros



Tipos de Protocolos

- Protocolos de Janela Deslizante
 - Conjunto de números de seqüência é alterado conforme:
 - Transmissores recebem os reconhecimentos positivos
 - Receptores recebem quadros



Tipos de Protocolos

- Protocolos de Janela Deslizante
 - Pare e Espere com número de seqüência usa janela deslizante
 - Transmissor e receptor possuem janelas de tamanho 1 com número de seqüência de 1 bit
 - Porém, números de seqüência maiores e tamanhos de janelas maiores podem ser usados
 - Pipeline de pacotes no meio torna o uso do canal mais eficiente
 - Especialmente interessante para meios com alto produto (largura de banda * atraso)

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

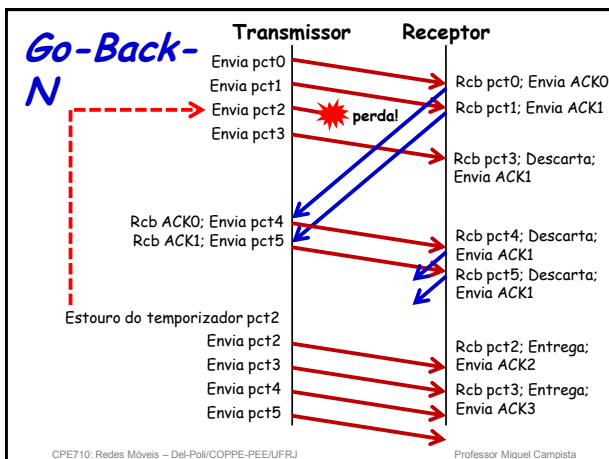
Professor Miguel Campista

Tipos de Protocolos

- Protocolos de Janela Deslizante: *Go-Back-N*
 - Transmissor pode enviar até N pacotes não reconhecidos ("em trânsito")
 - Janelas de transmissão e de recepção são iguais a N
 - Receptor envia apenas ACKs cumulativos
 - Não reconhece pacote se houver falha de seqüência
 - Transmissor possui um temporizador para o pacote mais antigo ainda não reconhecido
 - Se o temporizador estourar, retransmite todos os pacotes ainda não reconhecidos

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

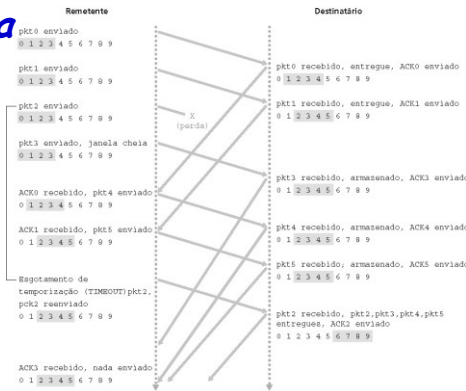
Tipos de Protocolos

- Protocolos de Janela Deslizante: **Retransmissão Seletiva**
 - Receptor reconhece individualmente todos os pacotes recebidos corretamente
 - Armazena pacotes no buffer, conforme necessário, para posterior entrega ordenada à camada superior
 - Transmissor apenas reenvia pacotes para os quais um ACK não foi recebido
 - Temporizador no remetente para cada pacote sem ACK
 - Janela de transmissão
 - N números de seqüência consecutivos
 - Outra vez limita números de seqüência de pacotes enviados, mas ainda não reconhecidos

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Retransmissão Seletiva



Tipos de Protocolos

- Em redes sem fio é comum a denominação:
 - Protocolos livres de contenção (*contention free*)
 - Protocolos baseados em contenção (*contention based*)

Contenção é sinônimo de espera para acessar o meio. Importante principalmente quando mais de um nó pode acessar o meio ao mesmo tempo

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Tipos de Protocolos

- Protocolos livre de contenção:
 - Fazem reserva de recursos
 - Nós não precisam realizar contenção para acessar o meio
 - Por exemplo, TDMA, CDMA, FDMA, polling e token-based
 - São empregados para garantir atraso fim-a-fim limitado e largura de banda mínima
 - Privilegia aplicações sensíveis a atrasos
 - Por exemplo, aplicações interativas
 - Podem ser ineficiente e levar a ociosidade do meio

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Tipos de Protocolos

- Protocolos baseados em contenção
 - São mais apropriados para redes com transferências esporádicas de dados
 - Aplicações não sensíveis a atrasos e que não tenham requisitos mínimos de banda passante são boas candidatas à contenção
 - Redes sem fio dinâmica também dada a natureza temporária da topologia
 - Podem trazer maior eficiência no uso dos recursos caso o número de nós não seja muito elevado
 - Muitos nós podem levar a muitas colisões

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Protocolos de Camada de Enlace: Canal de Difusão

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Controle de Acesso ao Meio

- Protocolos de múltiplo acesso usados em canais de difusão
 - Coordenação de transmissores e de receptores em um canal de difusão compartilhado
 - São algoritmos distribuídos que determinam como os nós compartilham o canal
 - Determinam quando um nó pode transmitir
 - Comunicação sobre o compartilhamento do canal deve usar o próprio canal!
 - Não há canal fora da faixa para coordenar a transmissão

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Por que o Acesso ao Meio Precisa Ser Controlado?

- Para evitar interferência entre transmissões simultâneas
 - Quando dois ou mais nós transmitem ao mesmo tempo, uma **colisão** pode ocorrer no nó receptor caso dois ou mais sinais cheguem ao mesmo tempo...

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Protocolo Ideal de Acesso Múltiplo

- Para um canal de difusão com taxa de R b/s:
 1. Quando apenas um nó tem dados para enviar, esse nó obtém uma vazão de R b/s
 2. Quando M nós têm dados para enviar, cada um desses nós poderá transmitir em média a uma taxa de R/M b/s
 3. O protocolo é completamente descentralizado
 - Nenhum nó especial (mestre) para coordenar as transmissões e se tornar um ponto de falha
 4. O protocolo é simples para que sua implementação seja barata

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Classes de Protocolos de Acesso Múltiplo

- Protocolos baseados em contenção
 - Protocolos de Acesso Aleatório
 - Canal não é dividido, podem ocorrer colisões
 - "Recupera" as colisões
- Protocolos livres de contenção
 - Protocolos de Divisão de Canal
 - Divide o canal em pequenos "pedaços" (*slots* de tempo, frequências, códigos...)
 - Aloca pedaços a um nó para seu uso exclusivo
 - Protocolos de Revezamento
 - Nós se revezam no acesso ao meio
 - Alternam oportunidades de acesso ao meio sem que ninguém tente acessar ao mesmo tempo

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Protocolos Baseados em Contenção (Acesso Aleatório)

EEL878: Redes de Computadores 1 – Del-Poli/UFRJ

Professor Miguel Campista

Protocolos Baseados em Contenção

- Quando um nó tiver um quadro a transmitir...
 - Tenta transmitir à taxa máxima do canal sem nenhuma coordenação *a priori* entre os nós
- Entretanto, se dois ou mais nós transmitirem ao mesmo tempo:
 - Há uma colisão!
 - Acesso ao meio é realizado de forma não determinística
- Nesse cenário, o protocolo de acesso aleatório especifica:
 - Como detectar colisões e como se recuperar delas
 - Através de retransmissões retardadas, por exemplo

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Protocolos Baseados em Contenção

- Aloha
- *Slotted* Aloha
- CSMA persistente
- CSMA não persistente
- CSMA p-persistente
- CSMA/CD
- Outros

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Rede Aloha

- Criada por Norman Abramson em 1960
- Primeira rede baseada em pacotes
- Interligação de computadores em várias ilhas do Havaí compartilhando um meio (RF)
 - Comunicação com um computador central
 - Disputa do meio

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Protocolo Aloha

- Estação transmite quando desejar
 - Não há escuta do meio...
 - Se o quadro for recebido sem erros
 - Um reconhecimento positivo é enviado ao remetente
 - Se duas ou mais estações transmitirem ao mesmo tempo
 - Colisão!
 - Colisão inferida ao não receber o reconhecimento positivo após um intervalo de tempo pré-definido
 - Se o quadro for recebido com erro
 - Remetente também não recebe reconhecimento positivo

EEL878: Redes de Computadores 1 – Del-Poli/UFRJ

Professor Miguel Campista

Protocolo Aloha

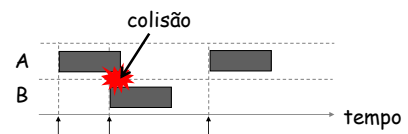
- Se o reconhecimento positivo não for recebido...
 - Quadro é retransmitido...
 - Retransmissão após um tempo aleatório para redução da probabilidade de nova colisão
 - Processo é repetido continuamente até que o reconhecimento positivo seja recebido pelo remetente

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Protocolo Aloha

- Baixa eficiência
 - Cálculo a seguir

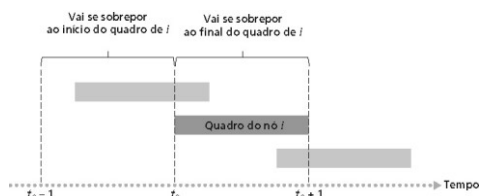


CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Eficiência do Aloha

- Probabilidade de colisão
 - Quadro enviado em t_0 colide com outros quadros enviados em $[t_0-1, t_0+1]$

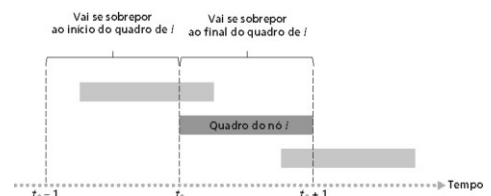


CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Eficiência do Aloha

- $P(\text{sucesso de um nó}) = P(\text{nó transmite})$
 - * $P(\text{nenhum outro nó transmite em } [t_0-1, t_0])$
 - * $P(\text{nenhum outro nó transmite em } [t_0, t_0+1])$



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Eficiência do Aloha

- $P(\text{sucesso de um nó}) = P(\text{nó transmite})$
- $P(\text{nenhum outro nó transmite em } [t_0-1, t_0])$
- $P(\text{nenhum outro nó transmite em } [t_0, t_0+1])$

$$P(\text{sucesso de um nó}) = p \cdot (1-p)^{n-1} \cdot (1-p)^{n-1} = p \cdot (1-p)^{2(n-1)}$$

Eficiência baixa... ☹

$$P(\text{sucesso por um dado nó}) = 1/2e \approx 18\%$$

Considerando p ótimo (p^*) e n tendendo ao infinito...

Eficiência do Aloha

- Cálculo do p ótimo (p^*):

$$d[n \cdot p^* \cdot (1-p^*)^{2(n-1)}] / dp = 0$$

$$\Rightarrow n \cdot (1-p^*)^{2(n-1)} + n \cdot p^* \cdot 2 \cdot (n-1) \cdot (1-p^*)^{2(n-1)-1} \cdot (-1) = 0$$

$$\Rightarrow n \cdot (1-p^*)^{2(n-1)} - n \cdot p^* \cdot 2 \cdot (n-1) \cdot (1-p^*)^{2(n-1)-1} = 0$$

$$\Rightarrow n \cdot (1-p^*)^{2(n-1)} - n \cdot p^* \cdot 2 \cdot (n-1) \cdot (1-p^*)^{2(n-1)-1} / (1-p^*) = 0$$

$$\Rightarrow [n \cdot (1-p^*)^{2(n-1)}] [1 - 2 \cdot p^* \cdot (n-1) / (1-p^*)] = 0$$

$$\Rightarrow 1 - p^* = 2 \cdot p^* \cdot (n-1) \Rightarrow 1 = p^* \cdot (2 \cdot n - 2) + p^*$$

$$\Rightarrow 1 = p^* \cdot (2 \cdot n - 2 + 1) \Rightarrow p^* = 1 / (2n - 1)$$

- Substituindo p^* em $n \cdot p \cdot (1-p)^{2(n-1)}$:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} [n / (2n - 1)] \cdot [(1 - 1 / (2n - 1))^{2(n-1)}]$$

$$\Rightarrow \lim_{n \rightarrow \infty} [n / (2n - 1)] \cdot \lim_{n \rightarrow \infty} [(1 - 1 / (2n))^{2(n-1)}] = 1/2 \cdot 1/e = 1/2e$$

• Lembrando que $\lim_{n \rightarrow \infty} [(1 - 1/n)^n] = 1/e$

Slotted Aloha

- Hipóteses:

- Todos os quadros têm o mesmo tamanho (L bits)
- Tempo é dividido em *slots* de tamanho igual
 - Tempo para transmitir 1 quadro (L/R seg)
- Nós começam a transmitir quadros apenas no início dos intervalos (*slots*)
- Nós são sincronizados
 - Problema...
- Se dois ou mais nós transmitirem em um *slot*, todos os nós envolvidos detectam a colisão

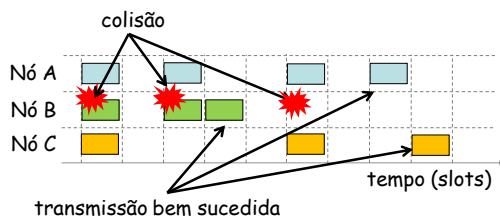
Slotted Aloha

- Operação

- Quando o nó obtém um novo quadro, ele espera até o início do próximo *slot* e transmite o quadro inteiro
 - Se não houver colisão, o nó poderá enviar um novo quadro no próximo *slot*
 - Caso haja uma colisão (detectada antes do final do intervalo), o nó retransmite o quadro em intervalo subsequente com probabilidade p até obter sucesso

Slotted Aloha

- Operação



Slotted Aloha

- Vantagens

- Único nó ativo pode transmitir continuamente na taxa máxima do canal
- Altamente descentralizado
 - Apenas os *slots* nos nós precisam estar sincronizados
- Simples

Slotted Aloha

- Desvantagens
 - Quando há colisões
 - Slots desperdiçados
 - Slots ociosos
 - Desperdício
 - Retransmissões em slots aleatórios podem gerar slots ociosos
 - Requer a sincronização dos relógios

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Eficiência do Slotted Aloha

- Eficiência
 - Fração de longo prazo de slots bem sucedidos quando há muitos nós cada um com muitos quadros para transmitir
- Assuma n nós com muitos quadros para enviar
- Cada um transmite num slot com probabilidade p
- Probabilidade que nó 1 tenha sucesso em um slot
 - $p(1-p)^{n-1}$
- Probabilidade que qualquer nó tenha sucesso
 - $np(1-p)^{n-1}$

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Eficiência do Slotted Aloha

- Para eficiência máxima com n nós
 - Encontrar p^* que maximiza $np(1-p)^{n-1}$
- Para muitos nós, faça limite para $np(1-p)^{n-1}$
 - Quando $n \rightarrow \infty$, eficiência = $1/e = 37\%$

Mais eficiente, mas ainda é baixa!

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Eficiência do Slotted Aloha

- Cálculo do p ótimo (p^*):

$$d[n.p^*. (1-p^*)^{(n-1)}] / dp = 0$$

$$\Rightarrow n.(1-p^*)^{(n-1)} + n.p^*. (n-1).(1-p^*)^{(n-1)-1} \cdot (-1) = 0$$

$$\Rightarrow n.(1-p^*)^{(n-1)} - n.p^*. (n-1).(1-p^*)^{(n-1)-1} = 0$$

$$\Rightarrow n.(1-p^*)^{(n-1)} - n.p^*. (n-1).(1-p^*)^{(n-1)} / (1-p^*) = 0$$

$$\Rightarrow [n.(1-p^*)^{(n-1)}] [1 - p^*. (n-1) / (1-p^*)] = 0$$

$$\Rightarrow 1-p^* = p^*. (n-1) \Rightarrow 1 = p^*. (n-1) + p^*$$

$$\Rightarrow 1 = p^*. (n-1+1) \Rightarrow p^* = 1/n$$
- Substituindo p^* em $n.p(1-p)^{(n-1)}$:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} [(1-1/n)^{(n-1)}]$$

$$\Rightarrow \lim_{n \rightarrow \infty} [(1-1/n)^n] / \lim_{n \rightarrow \infty} [1-1/n] = 1/e$$
 - Lembrando que $\lim_{n \rightarrow \infty} [(1-1/n)^n] = 1/e$

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

CSMA (Carrier Sense Multiple Access)

- Uso de escuta de portadora (sinal no meio)
 - Escuta o meio antes de transmitir
 - Se o canal estiver livre, transmite o quadro
 - Se o canal estiver ocupado, adia a transmissão
 - Objetivo \rightarrow evitar colisões
- Analogia humana: não interrompa os outros!
 - Escute antes de falar
 - Escuta de portadora
 - Se alguém começa a falar junto de você, pare de falar
 - Detecção de colisão (nem sempre é possível)

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

CSMA Vs. Aloha

- Aloha não escuta o meio
- Aloha não detecta colisão

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Tipos de CSMA

- **Motivação: aumentar a eficiência**
- Vários tipos
 - CSMA persistente
 - CSMA não-persistente
 - CSMA p-persistente
 - CSMA/CA
 - CSMA/CD

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Colisão de Quadros

- Se todos os nós escutam o meio antes de transmitir, ainda existem colisões?

Sim!
Mas por quê?

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Colisão de Quadros

- Estação que quer transmitir um quadro ouve o meio
- Mesmo com a escuta da portadora, ainda podem ocorrer colisões
- Duas ou mais estações escutam o meio
 - Não escutam a transmissão da outra devido ao atraso de propagação do sinal



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Colisão de Quadros

- Estação que quer transmitir um quadro ouve o meio
- Mesmo com a escuta da portadora, ainda podem ocorrer colisões
- Duas ou mais estações escutam o meio
 - Não escutam a transmissão da outra devido ao atraso de propagação do sinal

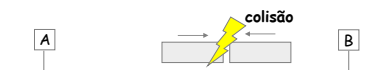


CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Colisão de Quadros

- Estação que quer transmitir um quadro ouve o meio
- Mesmo com a escuta da portadora, ainda podem ocorrer colisões
- Duas ou mais estações escutam o meio
 - Não escutam a transmissão da outra devido ao atraso de propagação do sinal



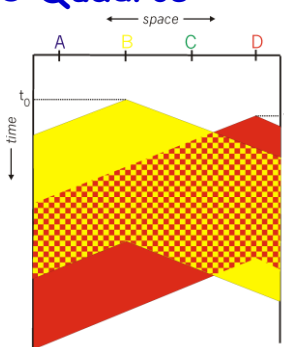
CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Colisão de Quadros

- Exemplo:
 - 4 estações: A, B, C e D
 - Em t_0 , B escuta o meio
 - Para B, o meio está livre
 - Em t_1 , D escuta o meio
 - Para D, o meio também está livre
 - Os bits enviados por B não chegaram a D

Colisão!



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Colisão de Quadros

- Mesmo com a escuta da portadora, ainda podem ocorrer colisões...
 - Devido à "memória" do meio físico
 - Quanto maior o tamanho da rede
 - Maior o atraso de propagação de uma extremidade à outra
 - Maior a probabilidade de ocorrerem colisões
 - Quanto menor o tamanho da rede
 - Mais efetiva é a escuta de portadora
 - Explica o sucesso do CSMA para redes locais

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Colisão de Quadros

- **Inferida:** Através do não recebimento de um reconhecimento positivo em um tempo T
 - CSMA persistente, CSMA não-persistente e CSMA p-persistente
 - MACA (Multiple Access with Collision Avoidance)
 - MACAW (Multiple Access with Collision Avoidance for Wireless)
 - FAMA (Floor Acquisition Multiple Access)
 - CSMA/CA (Collision Avoidance)
- **Detectada**
 - CSMA/CD (Collision Detection)

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

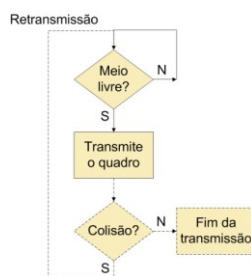
CSMA Persistente

- Quando a estação tem um quadro para transmitir...
 - Primeiro escuta o meio:
 - Se o meio estiver livre → Transmite
 - Se o meio estiver ocupado → Continua escutando o meio até que ele fique livre
- Se houver uma colisão
 - Espera um tempo aleatório para recomeçar o processo

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

CSMA Persistente



Pode haver nova colisão após o meio ficar livre!

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

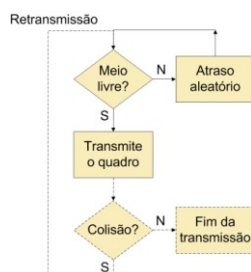
CSMA Não-persistente

- Quando a estação tem um quadro para transmitir...
 - Primeiro escuta o meio:
 - Se o meio estiver livre → Transmite
 - Se o meio estiver ocupado → Estação espera um tempo aleatório e só depois volta a escutar o meio
 - Diferente do modo persistente, no qual a estação permanece escutando o meio até que ele fique livre
- Se houver uma colisão
 - Espera um tempo aleatório para recomeçar o processo

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

CSMA Não-persistente



Evita colisão após o meio ficar livre...

Em compensação, possui um maior retardo de acesso ao meio devido ao atraso aleatório

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

CSMA p-persistente

- Tempo dividido em *slots*
 - Definição de *slot* diferente da usada no *Slotted Aloha*
 - Quadro em geral ocupa vários *slots*
 - *Slot* de $T_s \rightarrow$ tempo máximo de propagação
- Ideia
 - Probabilidade p de transmitir o quadro no início de um *slot*

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

CSMA p-persistente

- Quando a estação tem um quadro para transmitir...
 - Primeiro escuta o meio:
 - Se o meio estiver livre
 - Estação transmite o quadro com probabilidade p
 - Espera pelo próximo *slot* com probabilidade $q = 1-p$
 - » Se o meio estiver livre, novo sorteio com probabilidade p
 - » Se o meio estiver ocupado, espera um tempo aleatório e reinicia o processo (Como se tivesse acontecido uma colisão)
 - Se o meio estiver ocupado \rightarrow Espera até o próximo *slot* e repete o algoritmo

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

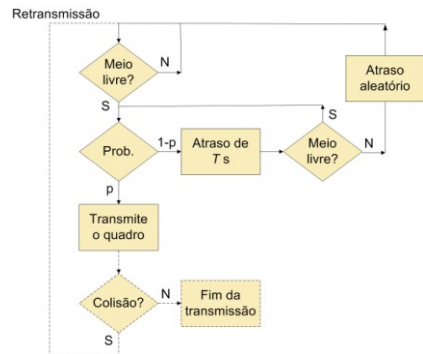
CSMA p-persistente

- Em caso de colisão após a transmissão...
 - Espera um tempo aleatório e o processo recomeça

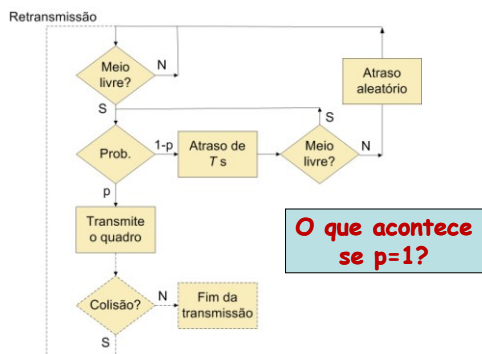
CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

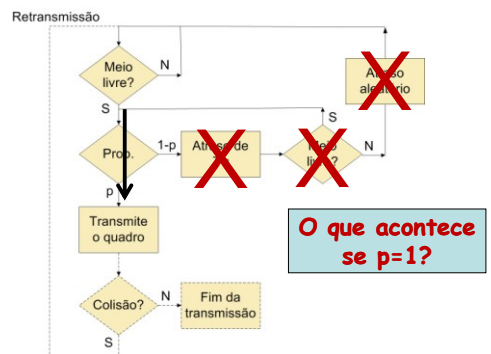
CSMA p-persistente



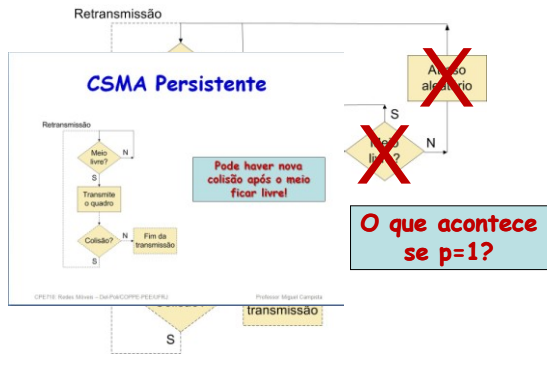
CSMA p-persistente



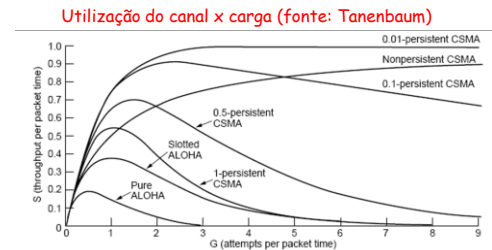
CSMA p-persistente



CSMA p-persistente



Eficiência



O eixo X descreve o número de nós que querem acessar o meio ao mesmo tempo, assumindo que o número total de nós na rede tende ao infinito.

CSMA/CD

- Escuta de portadora
 - Como o CSMA persistente
- Detecção de colisão
 - Realizada pelo transmissor durante a transmissão do quadro
 - Transmissor escuta o meio enquanto transmite
 - Estação cancela a transmissão assim que detecta a colisão
 - Reduz o desperdício!

CPET10: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

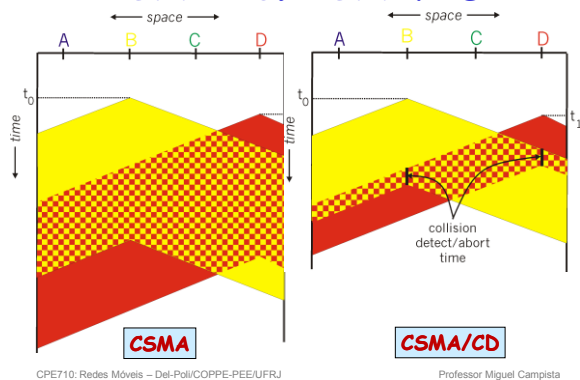
CSMA/CD

- Caso haja colisão...
 - Nova tentativa de transmissão após um tempo aleatório
 - Semelhante ao CSMA p-persistente
- Analogia humana: bate papo educado!
- Detecção de colisões
 - Fácil em redes locais cabeadas
 - Mede a potência do sinal, comparando o sinal recebido com o transmitido
 - Difícil em redes locais sem fio
 - O receptor é desligado durante a transmissão

CPET10: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

CSMA Vs. CSMA/CD



CPET10: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Por que o CSMA/CD não é Usado em Redes Sem Fio?

CPET10: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

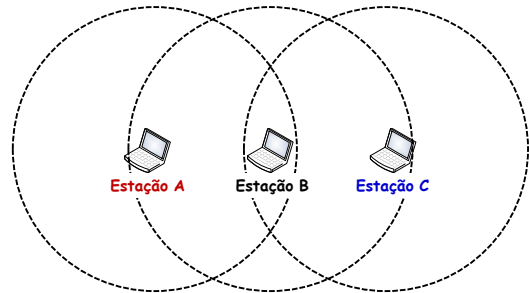
Por que o CSMA/CD não é Usado em Redes Sem Fio?

- Grande diferença de potência entre transmissor e receptor
 - Atenuação não permite que todos os nós escutem a transmissão uns dos outros
 - Separação entre sinal e ruído é difícil e a escuta de portadora não é suficiente para evitar colisões
- Problema do terminal escondido e do terminal exposto
 - Escuta de portadora é feita no transmissor e não no receptor

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

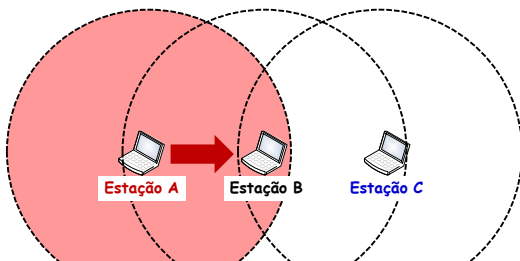
Problema Terminal Escondido



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Problema Terminal Escondido

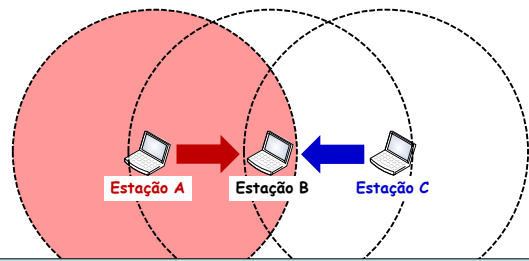


Caso A queira falar com B, apenas as estações vizinhas de A escutarão o meio ocupado...

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Problema Terminal Escondido

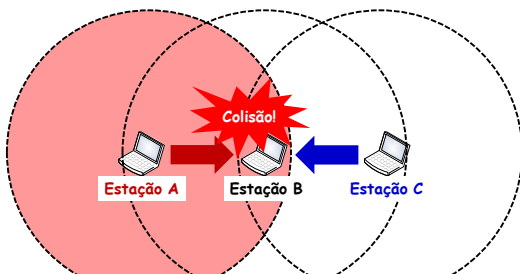


Caso C queira falar com B também, ele poderá ir em frente pois para ele o meio estará livre...

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Problema Terminal Escondido

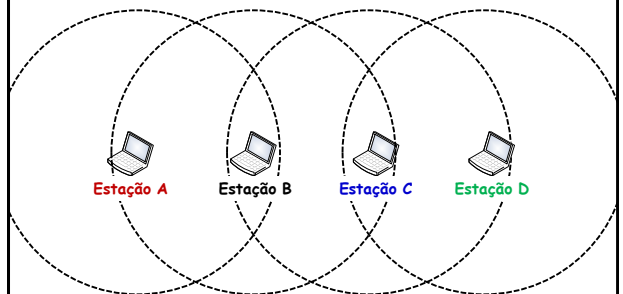


Resultado: COLISÃO em B!

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

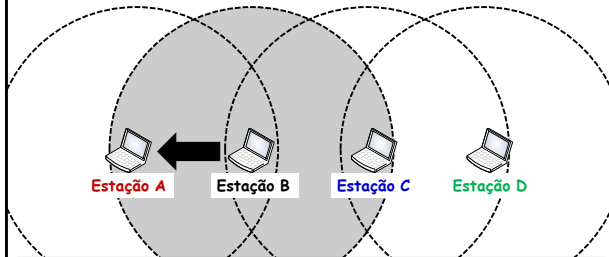
Problema Terminal Exposto



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Problema Terminal Exposto

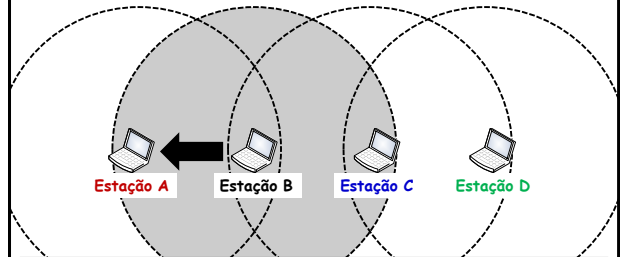


Caso B queira falar com A, todas as estações vizinhas de B escutarão o meio ocupado...

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

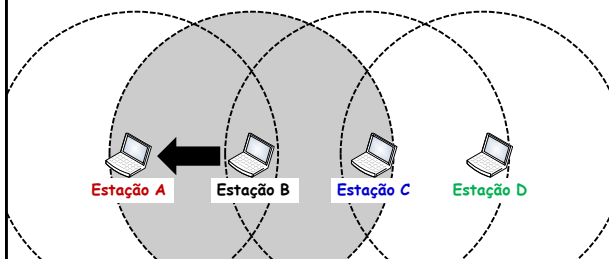
Professor Miguel Campista

Problema Terminal Exposto



Isso significa que C também não pode acessar o meio... Mas será que teria problema se C quisesse falar com D?

Problema Terminal Exposto



Resposta: NÃO... Porém, C está exposta à B e a transmissão C→D não ocorre enquanto o meio estiver ocupado por B.

MACA (Multiple Access with Collision Avoidance)

- Não escuta o meio
 - Assume que a contenção faz sentido apenas no receptor
 - Escuta do meio por parte do transmissor é ineficiente pois as colisões são no receptor
- Realiza reserva do meio tanto no transmissor quanto no receptor
 - Usa quadros de sinalização pequenos e de tamanho fixo
 - RTS (*Request-To-Send*): requisição do transmissor
 - CTS (*Clear-To-Send*): confirmação do receptor

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

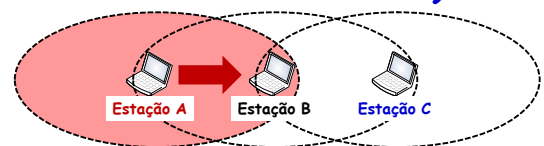
MACA (Multiple Access with Collision Avoidance)

- RTS (*Request-To-Send*)
 - Reserva o meio por tempo suficiente até que o CTS seja recebido + uma folga
 - Evita colisões no transmissor
- CTS (*Clear-To-Send*): confirmação do receptor
 - Reserva o meio por tempo suficiente até que os dados sejam transmitidos
 - Evita colisões no receptor

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

MACA (Multiple Access with Collision Avoidance)



Nenhum vizinho de A pode transmitir até que A receba o CTS...



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

MACA (Multiple Access with Collision Avoidance)

Nenhum vizinho de B pode transmitir até que B receba os dados...

RTS
CTS

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ Professor Miguel Campista

MACA (Multiple Access with Collision Avoidance)

Resolve o problema do terminal escondido

RTS
CTS

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ Professor Miguel Campista

MACA (Multiple Access with Collision Avoidance)

Como a colisão é problema no receptor, basta o meio ficar reservado em B

RTS
CTS
dados

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ Professor Miguel Campista

MACA (Multiple Access with Collision Avoidance)

Isso resolve o problema do terminal exposto?

RTS
CTS
dados

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ Professor Miguel Campista

MACA (Multiple Access with Collision Avoidance)

B envia RTS para A

RTS

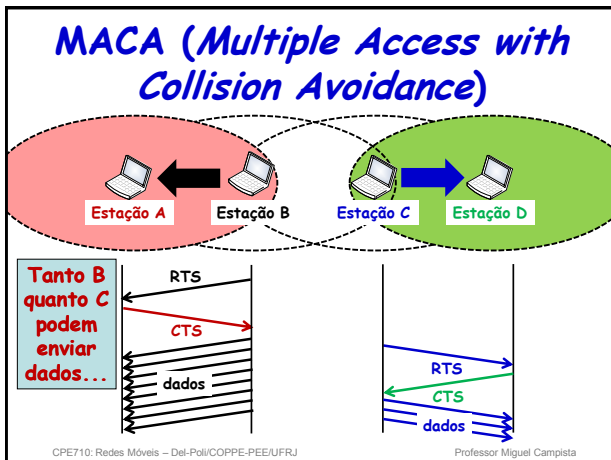
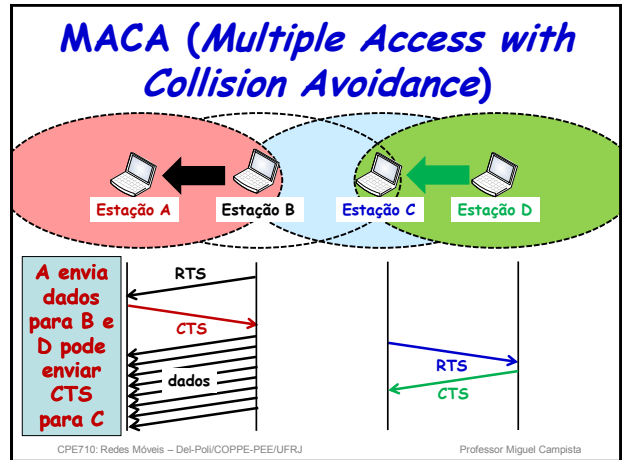
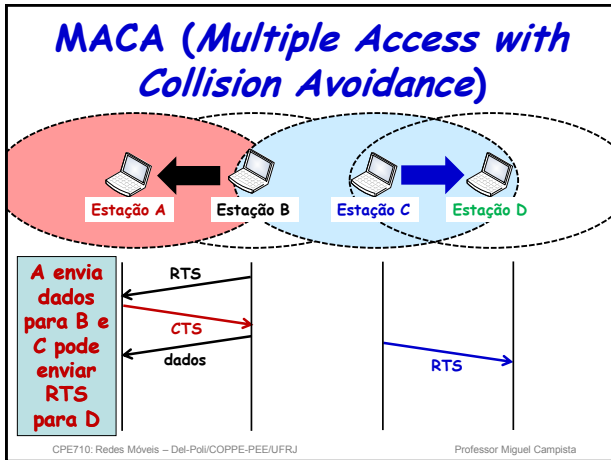
CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ Professor Miguel Campista

MACA (Multiple Access with Collision Avoidance)

A envia CTS para B

RTS
CTS

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ Professor Miguel Campista



MACA (Multiple Access with Collision Avoidance)

- Caso uma colisão aconteça (colisão de RTS)
 - Estação espera um intervalo de tempo = $b \cdot \text{tempo_slot}$
 - b é um inteiro em $[0, BO]$
 - BO é chamado de contador de *backoff* e o valor é ajustado dependendo do número de colisões
 - $BO = \min(2c - 1, BO_{\max})$, onde c é o número de colisões
 - Sempre que uma transmissão bem sucedida acontecer...
 - $BO = BO_{\min} = 0$ (depende do valor mínimo)

Esse mecanismo é chamado de *backoff* exponencial binário

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ Professor Miguel Campista

MACAW (MACA for Wireless LANs)

- Parte de 4 premissas:
 - Assim como o MACA não escuta o meio
 - Assume que a contenção faz sentido apenas no receptor e que a escuta do meio pelo transmissor é ineficiente
 - Assume que congestionamentos são dependentes da posição geográfica
 - Assume que informações de congestionamento devem ser divulgadas pela rede toda
 - Assume que os nós devem propagar informações sobre sincronismo para contenção mais eficiente

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ Professor Miguel Campista

MACAW (MACA for Wireless LANs)

- Modificações em relação ao MACA
 - Cada quadro insere o valor de seu contador de backoff
 - Nós podem ajustar o seu contador da mesma forma para evitar ganhos sucessivos do meio pelo mesmo nó
 - Contador de backoff é ajustado de forma diferente para evitar oscilações rápidas em seu valor
 - Sucesso: $BO = \max(c - 1, BO_{\min})$
 - Colisão: $BO = \min(1,5c - 1, BO_{\max})$

Preocupação maior é com a justiça do acesso ao meio

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ Professor Miguel Campista

MACAW (MACA for Wireless LANs)

- Modificações em relação ao MACA
 - Introduz reconhecimento positivo (ACK)
 - MACA deixa o ACK para camadas superiores
 - Perda do ACK: Retransmissão do RTS é respondida com ACK perdido ao invés do CTS
 - Problema do terminal exposto retorna
 - Transmissões só podem ocorrer do nó exposto após o recebimento do ACK

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

FAMA (Floor Acquisition Multiple Access)

- Escuta de portadora
 - Assume que não é viável evitar colisões sem escuta de portadora
- Espera por tempo suficiente entre mensagens diferentes
 - Tempo proporcional ao tempo de propagação na rede
 - Tempo é chamado de "espaços entre quadros" (*inter-frame spaces*)

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

FAMA (Floor Acquisition Multiple Access)

- Operação:
 - Depois de escutar um RTS de outra estação:
 - Estação deve esperar tempo suficiente para que o CTS seja enviado pelo receptor e recebido pelo transmissor
 - Depois de escutar um CTS de outra estação:
 - Estação deve esperar tempo suficiente para que a outra estação tenha tempo de receber os dados
 - Depois de escutar um pacote de dados:
 - Estação deve esperar um tempo definido pelo ACK
 - Depois de escutar ruído (colisão de pacotes):
 - Estação deve esperar o ruído terminar e ainda por um tempo suficiente para que uma estação receba um pacote com o tamanho máximo possível

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

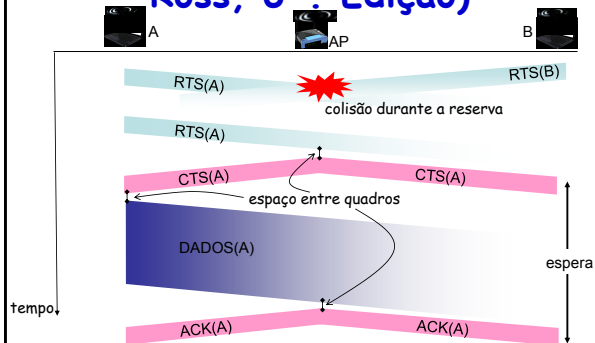
CSMA/CA

- Combina características de outros protocolos:
 - CSMA: Escuta de portadora
 - MACA: Usa opcionalmente RTS/CTS e backoff exponencial binário
 - MACAW: Usa ACKs
 - FAMA: Espaços entre quadros

EEL878: Redes de Computadores 1 – Del-Poli/UFRJ

Professor Miguel Campista

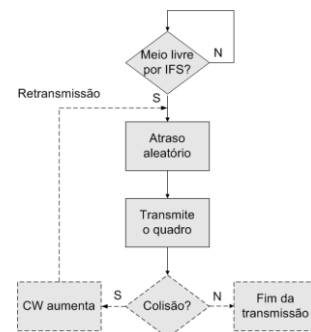
CSMA/CA (Fonte: Kurose e Ross, 6ª. Edição)



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

CSMA/CA



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Protocolos Livre de Contenção (Divisão do Canal)

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Protocolos de Divisão do Canal

- Acesso ao meio é dividido entre as estações
 - Não podem ocorrer colisões
- Estação divide a taxa máxima do canal com outras estações
- Exemplos:
 - TDMA
 - FDMA
 - CDMA

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

TDMA

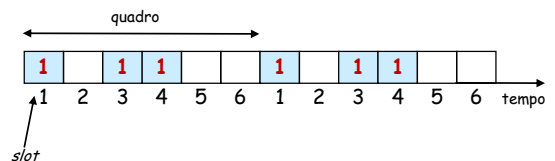
- Acesso múltiplo por divisão de tempo (*Time Division Multiple Access*)
- Acesso múltiplo feito em função do tempo
- Tempo é dividido em *slots*
 - Geralmente de tamanho fixo e igual ao tempo para transmitir um pacote
- Em cada *slot* somente uma estação pode transmitir
 - Acesso ao canal em "turnos"

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

TDMA

- Exemplo
 - Rede local com 6 estações
 - *Slots* 1, 3 e 4 com pacotes
 - *Slots* 2, 5 e 6 ociosos

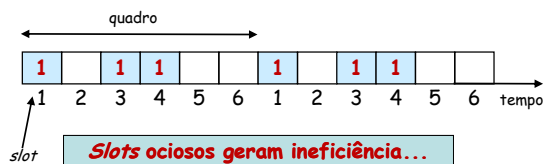


CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

TDMA

- Exemplo
 - Rede local com 6 estações
 - *Slots* 1, 3 e 4 com pacotes
 - *Slots* 2, 5 e 6 ociosos



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

FDMA

- Acesso múltiplo por divisão de frequência (*Frequency Division Multiple Access*)
- Acesso múltiplo feito em função da frequência
- Espectro do canal dividido em bandas de frequência
 - Cada estação está associada a uma banda de frequência diferente
- Problema semelhante ao TDMA
 - Tempo de transmissão não usado nas bandas permanecem ociosos

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

CDMA

- Acesso múltiplo por divisão de código (*Code Division Multiple Access*)
- Acesso múltiplo feito em função do código
 - Cada estação está associada a um código diferente
 - Destino deve conhecer o código da fonte
- Muito usado em redes sem fio
- Vantagem
 - Estações podem transmitir simultaneamente usando códigos diferentes

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Multiplexação

- Tem por objetivo compartilhar o meio físico
 - Divisão do meio ocorre na camada física
 - Geralmente centralizada em um dispositivo denominado multiplexador
- Pode ser classificada em função da variável usada para separar as fontes
 - Divisão de tempo (*Time Division Multiplexing* - TDM)
 - Divisão de frequência (*Frequency Division Multiplexing* - FDM)
 - Divisão de comprimentos de onda (*Wavelength Division Multiplexing* - WDM)

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Duplexação

- Tipo especial de multiplexação
- Comunicação entre duas estações pode ser classificada em:
 - *Simplex* → único sentido
 - *Half-duplex* → dois sentidos, não simultaneamente
 - *Full-duplex* → dois sentidos, simultaneamente
- Também pode ser classificada em função da variável usada para separar as fontes
 - Divisão de tempo (*Time Division Duplexing* - TDD)
 - Divisão de frequência (*Frequency Division Duplexing* - FDD)

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Protocolos Livre de Contenção (Revezamento)

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Protocolos de Revezamento

- Divisão de canal
 - Eficiente para carga alta
 - Compartilhamento justo do canal
 - Ineficiente para carga baixa
 - Atraso no canal de acesso
 - Divisão da largura de banda mesmo com apenas 1 nó ativo
- Acesso aleatório
 - Ineficiente para carga alta
 - Sobrecarga causada por colisões
 - Eficiente para carga baixa
 - Um único nó pode utilizar completamente o canal

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Protocolos de Revezamento

- Divisão de canal
 - Eficiente para carga alta
 - Compartilhamento justo do canal
 - Ineficiente para carga baixa
 - Atraso no canal de acesso
 - Divisão da largura de banda mesmo com apenas 1 nó ativo
- Acesso aleatório
 - Ineficiente para carga alta
 - Sobrecarga causada por colisões
 - Eficiente para carga baixa
 - Um único nó pode utilizar completamente o canal

Revezamento une o melhor dos dois mundos!

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Protocolos de Revezamento

- Geralmente o acesso ao meio é realizado em função de uma **estação centralizadora**
 - Determina quando uma dada estação pode transmitir
 - Garante a ausência de colisões
- Estação compartilha a taxa do canal com outras estações

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Protocolos de Revezamento

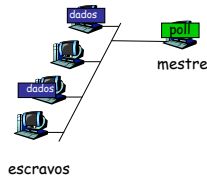
- Varredura (*polling*)
- Reserva
- Passagem de ficha de permissão (*token*)
- Outros

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Varredura (*polling*)

- Estação controladora envia mensagens a outras
 - Convidando-as a transmitir dados
- Estações ao serem consultadas podem transmitir dados
- Ordem das consultas-convites
 - Lista salva na estação controladora
- Desvantagens
 - Introduz um atraso de seleção
 - Sobrecarga de controle
 - Ponto único de falha



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Reserva

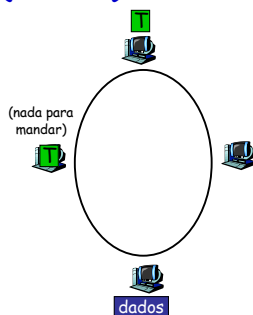
- Estações reservam o direito de acessar o meio compartilhado
- Pedidos de reserva são enviados pelas estações
 - Processados pela estação centralizadora que escalona o posterior acesso ao meio
 - Dependendo do protocolo, pode haver colisões de pedidos

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Passagem de Ficha de Permissão (*token*)

- Não existe estação centralizadora
- Ficha é a permissão para a transmissão de dados
- Ficha é passada de estação a estação obedecendo uma ordem
 - Ao obter a ficha, a estação pode transmitir dados
- Usada no Token Ring e no FDDI



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Passagem de Ficha de Permissão (*token*)

- Desvantagens
 - Sobrecarga com a passagem da permissão
 - Aumento da latência
 - Falha em uma estação pode derrubar o canal inteiro
 - Ficha pode ser "perdida" em uma estação

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Resumo dos Protocolos MAC

- Protocolos baseados em contenção
 - Acesso Aleatório: ALOHA, S-ALOHA, CSMA, MACA/MACAW, FAMA, CSMA/CA, CSMA/CD
 - Alguns usam escuta da portadora
 - Fácil em algumas tecnologias (cabeadas), mas difícil em outras (sem fio)
 - Outros fazem reserva do meio para transmissão
 - E alguns confirmam a recepção de quadros
 - CSMA/CD usado no Ethernet
 - CSMA/CA usado no IEEE 802.11 (WiFi)

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Resumo dos Protocolos MAC

- Protocolos livres de contenção
 - Divisão do canal por tempo, frequência ou código
 - Divisão de tempo, Divisão de frequência
 - Revezamento
 - Varredura (*polling*) a partir de um ponto central, reserva, passagem de permissões

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Leitura Recomendada

- Capítulo 3 do livro
 - Andrew S. Tanenbaum e David J. Wetherall, "Computer Networks", 5a. Edição, Editora Pearson, 2011
- Capítulo 5 e 6 do livro
 - Jim Kurose and Keith Ross, "Computer Networking: A Top Down Approach", 5a. Ed., Editora Pearson, 2010
- Capítulo 2 do livro
 - Miguel Elias M. Campista e Marcelo G. Rubinstein, "Advanced Routing Protocols for Wireless Networks", 1ª Edição, Wiley-Inte

EEL878: Redes de Computadores 1 – Del-Poli/UFRJ

Professor Miguel Campista

Leitura Recomendada

- L. Kleinrock e F. Tobagi, "Packet Switching in Radio Channels: Part I - Carrier Sense Multiple-Access Modes and Their Throughput-Delay Characteristics", Em IEEE Transactions on Communications, vol. 23, no. 12, pp. 1400-1416, Dezembro de 1975
- Phil Karn, "MACA: A New Channel Access Method for Packet Radio". Em proceedings of the 9th ARRL Computer Networking, 1990
- Vaduvur Bharghavan, Alan Demers, Scott Shenker, e Lixia Zhang, "MACAW: a media access protocol for wireless LAN's". Em Conference on Communications architectures, protocols and applications (SIGCOMM '94), 1994

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

Material Utilizado

- Notas de aula dos professores:
 - Igor Monteiro Moraes: <http://www2.ic.uff.br/~igor>
 - Marcelo Gonçalves Rubinstein: <http://www.lee.eng.uerj.br/~rubi/>

EEL878: Redes de Computadores 1 – Del-Poli/UFRJ

Professor Miguel Campista