

Sistemas de Comunicações Digitais

Curso de Graduação em Engenharia de Telecomunicações

Universidade Federal do Ceará

Semestre 2017.2

Parte 8

Técnicas de múltiplo acesso

Conteúdo

- 1 **Introdução**
- 2 Topologias de múltiplo acesso
- 3 Técnicas de múltiplo acesso
- 4 Técnicas de acesso aleatório

Introdução

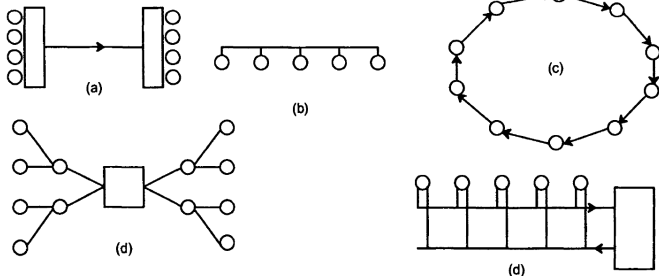
- Transição de um sistema de comunicação digital ponto-a-ponto para uma *rede de comunicações digitais*.
- Comunicação simultânea entre vários usuários.
- Métodos para compartilhar o meio de acesso entre diversos usuários.
- Compartilhamento de um único recurso: técnicas de *contenção*.
- Questões relacionadas a sincronismo entre usuários da rede.
- Aplicações práticas de múltiplo acesso:
 - Transmissão *full-duplex* em um meio comum.
 - Múltiplos canais compartilhando um enlace comum de transmissão: multiplexação.
- Ortogonalidade: tempo, frequência, código, espaço, etc.

Conteúdo

- 1 Introdução
- 2 Topologias de múltiplo acesso**
- 3 Técnicas de múltiplo acesso
- 4 Técnicas de acesso aleatório

Topologias de múltiplo acesso

- Topologia: configuração geométrica do meio de transmissão.
- Exemplos de topologias representativas:



- a) Meio unidirecional com mux/demux. b) Barramento. c) Anel. d) Árvore com nó central. e) Barramento com controle central.

Conteúdo

- 1 Introdução
- 2 Topologias de múltiplo acesso
- 3 Técnicas de múltiplo acesso**
- 4 Técnicas de acesso aleatório

Enlace ponto-a-ponto

- Conservação do tempo: a transmissão de cada amostra ocupa o canal de comunicação por somente uma fração do período de amostragem.
- Tempo entre amostras adjacentes fica livre para ser usado por outras fontes independentes de mensagem;

Sistema TDM

Permite a utilização conjunta de um canal de comunicação comum por uma pluralidade de fontes de mensagens independentes sem interferência mútua entre elas.

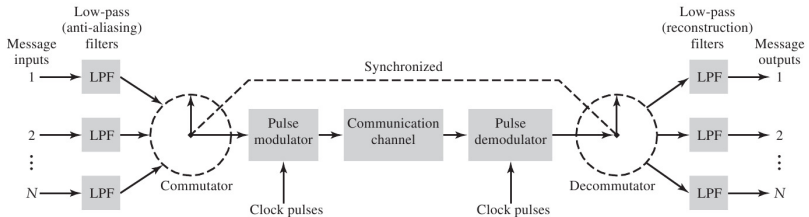


FIGURE 5.21 Block diagram of TDM system.

Múltiplo acesso - FDMA

- FDMA (Frequency Division Multiple Access)
- Caracteriza a primeira geração analógica da telefonia celular baseada em modulação FM
- A faixa total alocada para o sistema é dividida em canais para comunicação full-duplex
- Exemplo
 - Banda total: 25 MHz, banda de guarda: 5 MHz
 - Faixa para enlace direto: 800 a 812,5 MHz
 - Faixa para enlace reverso: 817,5 a 830 MHz
 - Canal de voz simplex: 30 kHz
 - Total de canais de voz full-duplex: $25 \times 10^3 / (2 \times 30) = 416$ canais
 - Canal 1: direto 800,000 MHz; reverso 817,500 MHz
 - Canal 2: direto 800,030 MHz; reverso 817,530 MHz ...

Outras técnicas de múltiplo acesso

- FDMA - utilizado nos sistemas analógicos de 1a geração
- Sistemas de 2^a. geração baseados em TDMA e CDMA
- TDMA – Time Division Multiple Access
 - Particiona cada canal em fatias no tempo (time-slots) que são alocadas para diferentes usuários
 - Transmissão digital da voz através de algoritmos de compressão
- CDMA – Code Division Multiple Access
 - Associa um código secreto para cada usuário, os quais podem transmitir ao mesmo tempo e na mesma frequência
 - O receptor conhece o código, sendo capaz de detectar o sinal
- SDMA – Space Division Multiple Access
 - Separação espacial dos usuários através de múltiplas antenas

Conteúdo

- 1 Introdução
- 2 Topologias de múltiplo acesso
- 3 Técnicas de múltiplo acesso
- 4 Técnicas de acesso aleatório**

Modelo multiacesso considerado

- Usuários:
 - Os quadros chegam de forma aleatória e independente em cada usuário.
- Canal:
 - Toda comunicação ocorre em um único canal e não há outra forma de comunicação entre usuários.
- Transmissão:
 - Erros só ocorrem devido a colisões, ou seja, quando quadros chegam sobrepostos temporalmente.
- Feedback:
 - Os usuários são capazes de detectar colisões após o envio de quadros, desconsiderando atrasos.

Protocolos Aloha

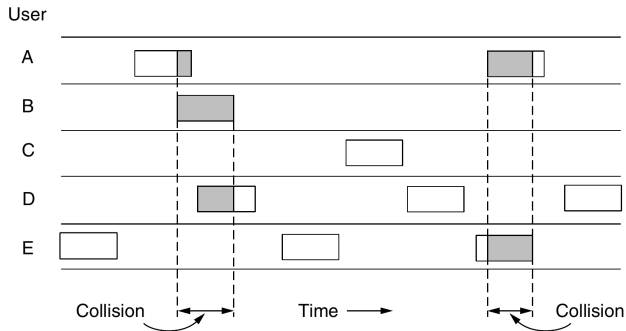
- Quando um usuário transmite, e não há outro usuário transmitindo ao mesmo tempo, não há colisão e o quadro é recebido com sucesso.
- Caso haja colisão?
 - Retransmissão simples não adianta, pois o outro usuário envolvido também retransmitiria.
 - Forma de evitar: cada usuário espera um tempo aleatório antes de retransmitir.
- Protocolo Aloha:
 - Desenvolvido na Universidade do Hawaii nos anos 70.
 - Base para muitos outros protocolos de contenção.

Aloha puro

- Usuários transmitem sempre que possuem dados.
- Transmissores esperam para saber se houve colisão (após o envio de toda a mensagem).
- Em caso de colisão, cada usuário envolvido espera um tempo aleatório e retransmite.
- Perguntas:
 - Qual o desempenho do protocolo?
 - Como escolher o tempo de espera?

Aloha puro

- Os quadros são transmitidos em tempos arbitrários:



Desempenho do Aloha

- Desempenho depende da carga do sistema
 - Quanto mais usuários tentam enviar informação, mais colisões ocorrem e maior a banda desperdiçada em colisões.
 - Vazão média como função da carga oferecida ao sistema.
- Para baixas cargas:
 - Baixa probabilidade de colisão.
 - Baixa vazão (pouco tráfego), comparável à alocação estática.
 - Atrasos muito menores (transmissão pode ocorrer logo).
- Para altas cargas
 - Grande número de colisões.
 - Baixa vazão (menor que a alocação estática).
- Desempenho em pontos intermediários?

Desempenho do Aloha

- “Tempo de quadro”: tempo necessário para transmitir um quadro de tamanho fixo (tamanho do quadro dividido pela taxa).
- Geração de novos quadros:
 - Segue distribuição de Poisson com média de N quadros por tempo de quadro.
- Se $N > 1$, então a taxa de geração de quadros é maior do que o canal consegue suportar e praticamente todo quadro sofrerá colisão.
- Para vazão razoável: $0 < N < 1$.
- Colisões geram retransmissões.
- Quadros novos e antigos modelados por distribuição de Poisson com média de G quadros por tempo de quadro.
- Vazão: $S = GP_0$, onde P_0 é a probabilidade de o quadro não sofrer colisão.

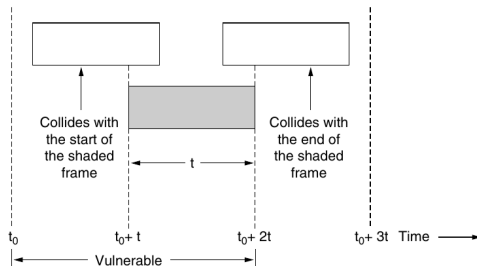
Desempenho do Aloha

- Probabilidade de sucesso:

- Não pode haver outra transmissão durante o tempo do quadro
- Intervalo de contenção: duas vezes o tempo do quadro
- Probabilidade de que nenhum outro quadro comece durante o intervalo de contenção

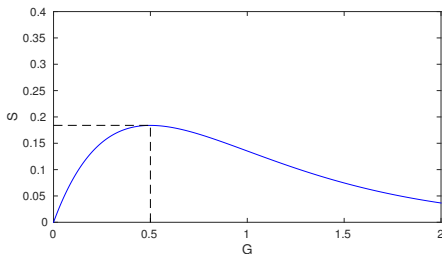
$$\Pr[k] = \frac{G^k e^{-G}}{k!}$$

$$P_0 = \frac{(2G)^0 e^{-2G}}{0!} = e^{-2G}$$



Desempenho do Aloha

- Portanto: $S = GP_0 = Ge^{-2G}$



- Ponto de máxima vazão:

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

- Resolvendo: $G^* = 0,5$ e $S^* = 1/(2e) = 0,184$

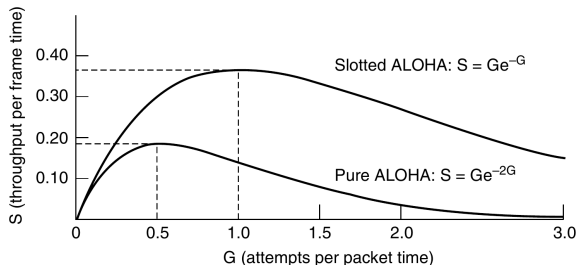
Slotted Aloha

- Mudança de tempo contínuo para tempo discreto
- Eixo temporal: sequência de slots de tempo T , dentro do qual pode ser enviado um quadro
- Sincronismo dos transmissores
- Se um quadro é gerado durante um slot, ele é enfileirado até o início do próximo slot
- Contenção só ocorre entre quadros gerados durante o mesmo slot
- Período de contenção reduzido de 2 para 1 tempo de quadro

$$P_0 = e^{-G}$$

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

Máximo: $\begin{cases} S^* = 0,368 \\ G^* = 1 \end{cases}$



CSMA

- **Aloha:** colisões são informadas após sua ocorrência
- **Carrier sensing:** capacidade de detectar que outros nós estão transmitindo após um pequeno atraso de propagação
- Não há sentido em transmitir quando se detecta previamente uma colisão
- **Protocolos CSMA:**
 - Carrier Sense Multiple Access
 - Variações quanto à persistência
 - Transmissão só ocorre se canal for detectado como desocupado
- **Colisões:** ocorrem somente quando dois usuários começam a transmitir muito próximo um do outro, de forma que não haja tempo de realizar a detecção

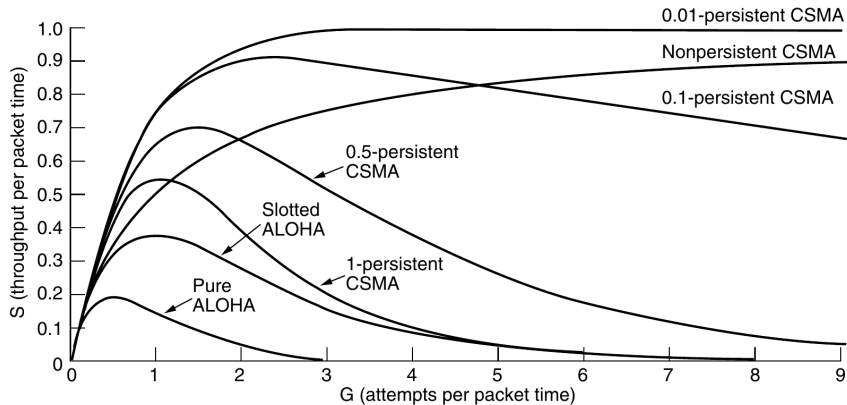
CSMA

- CSMA persistente:
 - 1) Se o canal estiver desocupado, transmita.
 - 2) Se o canal estiver ocupado, espere desocupar e transmita.
 - 3) Em caso de colisão, espere um tempo aleatório e volte para 1.
- Outras variações do CSMA modificam os 2 primeiros passos
- Não-persistente:
 - 1) Se o canal estiver desocupado, transmita.
 - 2) Se o canal estiver ocupado, espere um tempo aleatório e volte para 1.
- p – persistente: (sistema com slots)
 - 1) Se o canal estiver desocupado, transmita com probabilidade p . Espere um slot com probabilidade $1 - p$, repita passo 1.
 - 2) Se o canal estiver ocupado, espere desocupar e volte para 1.

CSMA

- CSMA persistente:
 - Se múltiplas estações estão esperando o canal ficar desocupado, haverá colisão
 - Não-persistente ou p-persistente reduz essa probabilidade de colisão, às custas de maiores atrasos
- Parâmetro de desempenho:
 - Tempo máximo entre um nó começar a transmitir e outro nó ser capaz de detectar essa transmissão
 - Depende de: atraso de propagação e atraso de detecção
 - Queda de desempenho em caso de aumento desses atrasos

Desempenho dos algoritmos



CSMA

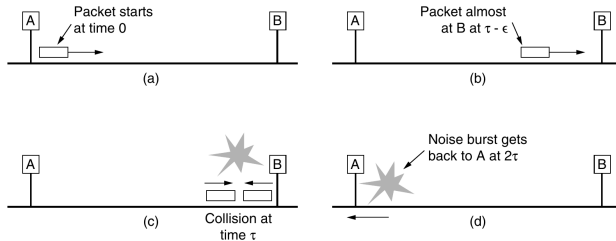
- Claramente, CSMA é melhor que o Aloha.
- Como escolher a persistência?
 - Depende da carga oferecida em que se deseja operar, e
 - Também depende do atraso médio desejado.
- Todos esses esquemas aleatórios possuem um atraso menor do que o TDMA até que se aproximem do seu limite de vazão.
- Quanto maior a carga total $G(n)$ no ponto de operação, maior o atraso.
- 1 – Persistente resulta na melhor característica de atraso para um mesmo $G(n)$.

CSMA/CD

- Em algumas situações, os nós podem ouvir uns aos outros mesmo quando estão transmitindo. (ex. barramento compartilhado)
- Em caso de colisão, todos os nós a detectam em um máximo atraso de propagação 2τ .
- Se o nó sabe que está ocorrendo colisão, ele pode parar de transmitir para minimizar a quantidade de tempo perdida na colisão
- Essa modificação do CSMA é conhecida como CSMA/CD (CSMA com detecção de colisão)
- No CSMA/CD as colisões são detectadas antes que o pacote inteiro seja transmitido.
- Uma vez que um nó começa a transmitir, quanto tempo leva até que ele saiba que ocorreu uma colisão?

CSMA/CD

• Detecção de colisão



• Estados do CSMA/CD

