

INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
RIO GRANDE DO NORTE

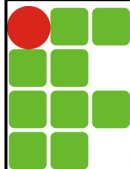


Infraestrutura de Redes de Computadores

Turma : TMS – 20171.3.01112.1M

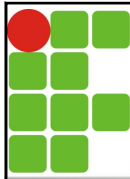
Camada de Enlace – Parte I

Prof. Thiago Dutra <thiago.dutra@ifrn.edu.br>



Agenda – Camada de Enlace

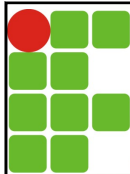
- Introdução
- Protocolos de Acesso Múltiplo
- Endereçamento
- Padrão Ethernet
- Padrão Wi-Fi



Agenda – Parte I

- Introdução
 - Visão Geral
 - Serviços
- Protocolos de Acesso Múltiplo
 - Particionamento de Canal
 - TDMA, FDMA e CDMA
 - Acesso Aleatório
 - CSMA/CD
 - Revezamento
 - Polling e Token

3

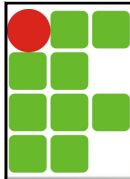


Visão Geral

■ Pilha TCP/IP

5. Aplicação
4. Transporte
3. Rede
2. Enlace
1. Física

4

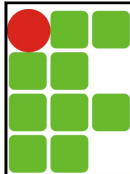


Visão Geral

■ Terminologias

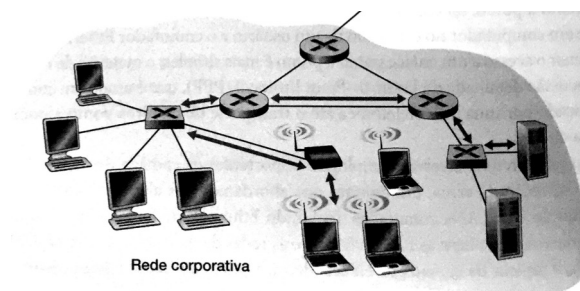
- **Nó** = qualquer dispositivo que implemente um protocolo de enlace (camada 2)
 - Ex.: Hosts, roteadores, switches, access points, ...
- **Enlace** = canais de comunicação que conectam nós adjacentes sobre o caminho de comunicação
 - Enlaces podem ser com ou sem fios
- Pacote = **quadro** ou **frame**
 - Encapsula um datagrama da camada 3 (rede)

5

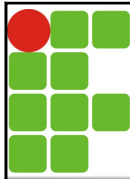


Visão Geral

- A camada de enlace tem a **responsabilidade de transferir um datagrama de um nó para o nó adjacente através de um enlace individual**
 - No caminho fim-a-fim, o datagrama passa por enlaces diferentes, que podem executar protocolos diferentes, cada qual com características distintas



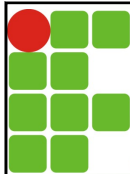
6



Visão Geral

- Analogia com transporte de pessoas
 - Turista viajando de Ceará-Mirim até Fortaleza guiado por um agente de viagens
 - Ceará-Mirim -> Natal = Trem
 - Natal -> Aeroporto = Carro
 - Aeroporto -> Fortaleza = Avião
- Entidades
 - Turista = **datagrama**
 - Segmento de transporte = **enlace**
 - Meio de transporte = **protocolo de enlace**
 - Agente de viagens = **protocolo de roteamento**

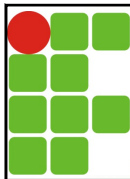
7



Serviços

- Embora o serviço básico de mover os datagramas entre nós adjacentes por um único enlace seja realizado por todos os protocolos de enlace, os detalhes do serviço podem variar de um protocolo para outro
- Principais serviços que podem ser ofertados pelos protocolos de enlace:
 - Enquadramento dos dados
 - Acesso ao enlace
 - Entrega confiável
 - Controle de fluxo
 - Detecção e Correção de erros
 - Modo de transmissão (Half-duplex ou Full-duplex)

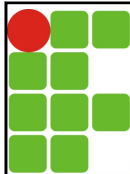
8



Serviços

- **Enquadramento dos dados:** encapsular os datagramas em quadros acrescentando cabeçalhos (no início do pacote) e trailers (no final do pacote). O formato dos quadros é específico de cada protocolo;
- **Acesso ao enlace:** controlados pelos protocolos MAC (Medium Access Control). Define as regras para escrita e leitura de dados no meio físico. Pode ser muito simples (ou até inexistente) nos meios com apenas um transmissor e receptor e bem complexo quando temos acesso múltiplo e compartilhado ao meio (ex.: Ethernet com único enlace de broadcast onde apenas um nó pode transmitir por vez);

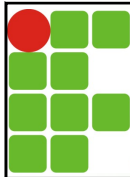
9



Serviços

- **Entrega confiável:** garantir a entrega de quadros entre nós adjacentes. Exige a implementação de confirmações de recebimento, retransmissões e numeração dos quadros (detectar quadros fora de sequência), gerando sobrecarga de processamento. Em geral utilizado por meios com altas taxas de erro (ex.: wireless) para evitar o aumento das retransmissões fim-a-fim.
- **Controle de fluxo:** busca garantir que um nó transmissor não "entupa" um nó receptor, evitando as perdas de pacote. O mecanismo mais comum é limitar o fluxo na origem, por exemplo, fazendo com que o transmissor pergunte ao receptor quanto pacotes pode enviar.

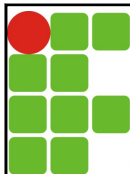
10



Serviços

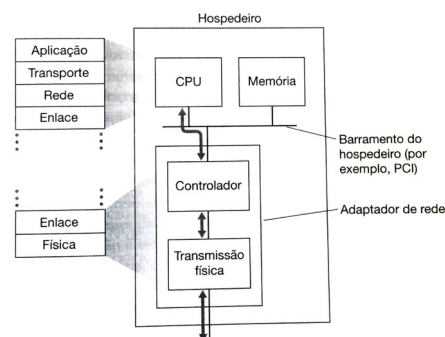
- **Deteccão de erros:** busca erros na transmissão dos bits que são introduzidos por atenuação e ruídos. Campos são adicionados para que o receptor verifique a existência de erros através de algum algoritmo específico (ex.: paridade, CRC, ...). Importante saber que não existem algoritmos 100% eficazes. Como não é necessário repassar o pacote, em geral quando um erro é detectado o receptor solicita ao transmissor que reenvie o quadro.
- **Correção de erros:** semelhante a deteção de erros com o acréscimo da possibilidade de corrigir o erro encontrado, evitando assim a necessidade de retransmissão. Em geral tanto a deteção e correção ocorrem em hardware.

11

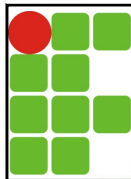


Serviços

- Onde esses serviços de enlace são executados nos nós?
 - Maior parte em hardware, nas placas de redes (NIC)
 - Mas também parte em software, CPU do hospedeiro
 - **Emissor:** ativa o controlador, encapsula o datagrama, inclui bits de verificação de erros, controle de fluxo, ...
 - **Receptor:** extrai o datagrama e repassa para a camada superior, procura erros, controle de fluxo, ...

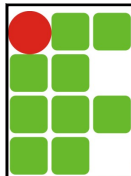
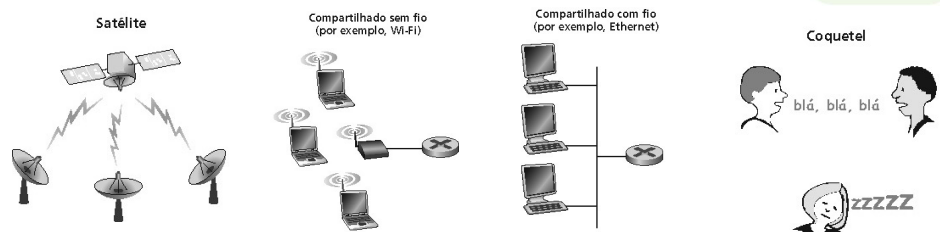


12



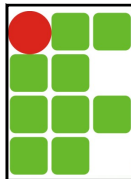
Protocolos de Acesso Múltiplo

- Basicamente existem dois tipos de “enlaces”:
 - **Ponto-a-ponto**: meio dedicado entre dois nós
 - PPP para acesso discado
 - Enlace ponto-a-ponto entre switch e nó
 - **Broadcast**: meio compartilhado por vários nós
 - Ex.: Ethernet tradicional, HFC, Wifi 802.11 e Satélite comunitário



Protocolos de Acesso Múltiplo

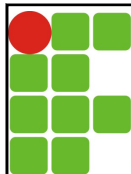
- A dificuldade existe nos enlaces broadcast
 - Duas ou mais transmissões simultâneas pelos nós -> interferência
 - **Colisão** = um nó recebendo dois ou mais sinais ao mesmo tempo
- Necessidade de controlar o acesso ao meio
 - **Protocolo de acesso múltiplo** = algoritmo distribuído que determina como as estações compartilham o canal, isto é, determinam quando cada estação pode transmitir
 - **Comunicação sobre o compartilhamento do canal deve usar o próprio canal**
 - Nenhum canal fora-de-banda para coordenação



Protocolos de Acesso Múltiplo

- Protocolo de Acesso Múltiplo Ideal para um Canal de broadcast de taxa R bps
 - 1. Quando um nó transmite sozinho, ele pode enviar a uma taxa R bps
 - 2. Quando M nós querem transmitir, cada um envia a uma taxa média R/M
 - 3. Totalmente descentralizada:
 - Nenhum nó especial para coordenar transmissões
 - Nenhuma sincronização de relógios e compartimentos
 - 4. Simples para proporcionar uma implementação barata

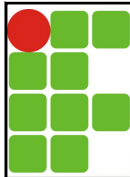
15



Protocolos de Acesso Múltiplo

- Existem três classes gerais
 - **Particionamento de canal**
 - Divide o canal em pedaços menores (compartimentos de tempo, frequência)
 - Aloca um pedaço para uso exclusivo de cada nó
 - **Acesso aleatório**
 - Canal não dividido, permite colisões
 - "Recuperação" das colisões
 - **Revezamento**
 - Nós transmitem nos seus turnos, porém nós com mais volume para enviar podem usar turnos mais longos

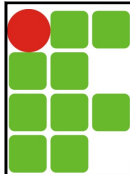
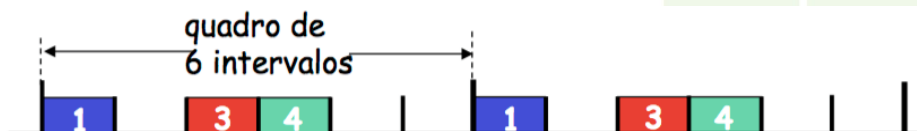
16



Particionamento de Canal

■ TDMA (Time Division Multiple Access)

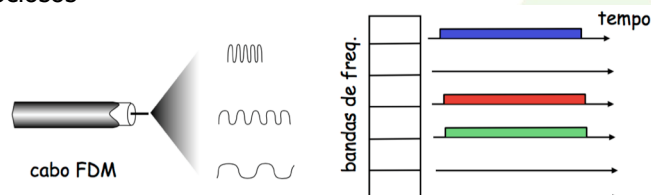
- Acesso ao canal em rodadas
- Cada estação controla um compartimento ("slot") de tamanho fixo a cada rodada
 - Tamanho = tempo para transmitir os pacotes
- Intervalos não usados ficam ociosos
 - Ex.: LAN com 6 estações -> 1,3,4 têm pacotes, 2,5 e 6 ficam ociosos



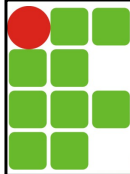
Particionamento de Canal

■ FDMA (Frequency Division Multiple Access)

- Espectro do canal dividido em bandas de frequência
- Cada estação recebe uma banda de frequência fixa
- Tempo de transmissão não usado nas bandas de frequência fica ocioso
 - Ex.: LAN com 6 estações -> 1,3,4 têm pacotes, 2,5 e 6 ficam ociosos

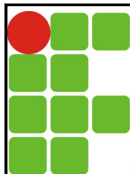
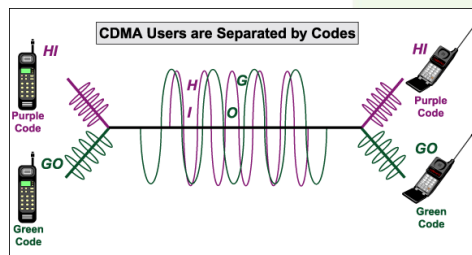


18



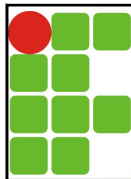
Particionamento de Canal

- **CDMA (Code Division Multiple Access)**
 - Atribuição de um código específico para cada nó
 - Cada nó utiliza seu código para codificar os bits que envia
 - Se os nós forem bem escolhidos, todos os nós podem transmitir simultaneamente
 - Analogia com o coquetel onde pares de pessoas conversam ao mesmo tempo, mas cada par falando em um idioma diferente



Acesso Aleatório

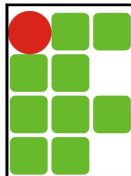
- Quando o nó tem um pacote a enviar:
 - Transmite com toda a taxa do canal R
 - Não há uma regra de coordenação a priori entre os nós
- Dois ou mais nós transmitindo -> "colisão"
- Um protocolo MAC de acesso aleatório especifica:
 - Como detectar colisões
 - Como as estações se recuperam das colisões (ex., via retransmissões atrasadas)
- Exemplos de protocolos MAC de acesso aleatório:
 - Slotted ALOHA, ALOHA, CSMA, CSMA/CD (Ethernet), CSMA/CA (Wi-fi)



CSMA/CD

- CSMA/CD
 - Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
 - Acesso múltiplo com detecção de portadora e detecção de colisão
- Mecanismo utilizado no Ethernet para envio dos dados
 - CS (sensor do sinal da portadora) : capacidade de saber se o canal de comunicação está livre, ocupado ou se houve colisão
 - MA (acesso múltiplo) : vários nós podem usar o canal de comunicação ao mesmo tempo
 - CD (detecção de colisão) : verificar se houve alguma colisão durante a transmissão dos dados

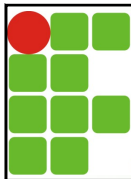
21



CSMA/CD

- Analogia humana
 - Acesso Múltiplo -> Conversas num coquetel
 - Detecção de Portadora -> Ouça antes de falar
 - Detecção de Colisão -> Se alguém começar a falar ao mesmo tempo que você, pare de falar
 - Fácil em LANs cabeadas: medição da intensidade do sinal, comparação dos sinais transmitidos e recebidos
 - Difícil em LANs sem fio: receptor desligado enquanto transmite, intensidade do sinal recebido abafada pelo sinal da transmissão local

22

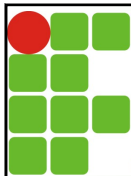


CSMA/CD

■ Funcionamento primário do CSMA/CD

1. Verificar se o meio está livre
2. Se o meio está livre -> inicia a transmissão
3. Caso esteja ocupado -> placa de rede aguarda um tempo aleatório
4. Passado o tempo -> volta ao passo 1

23



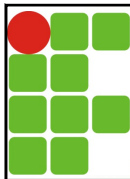
CSMA/CD



"A" verifica que o meio está livre e começa a transmitir



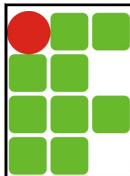
"B" recebe com sucesso a mensagem



CSMA/CD

- No CSMA/CD não existem prioridades
 - Acesso múltiplo
- Dessa forma, duas placas de rede podem perceber o meio livre ao mesmo tempo e iniciar uma nova transmissão
 - Nesse caso ocorrerá uma colisão!
- Como resolver uma colisão?
 - A transmissão é abortada e cada placa de rede aguarda um tempo aleatório para iniciar novamente a tentativa de transmissão

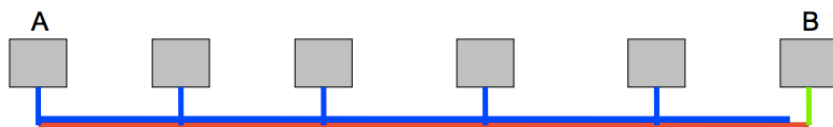
25



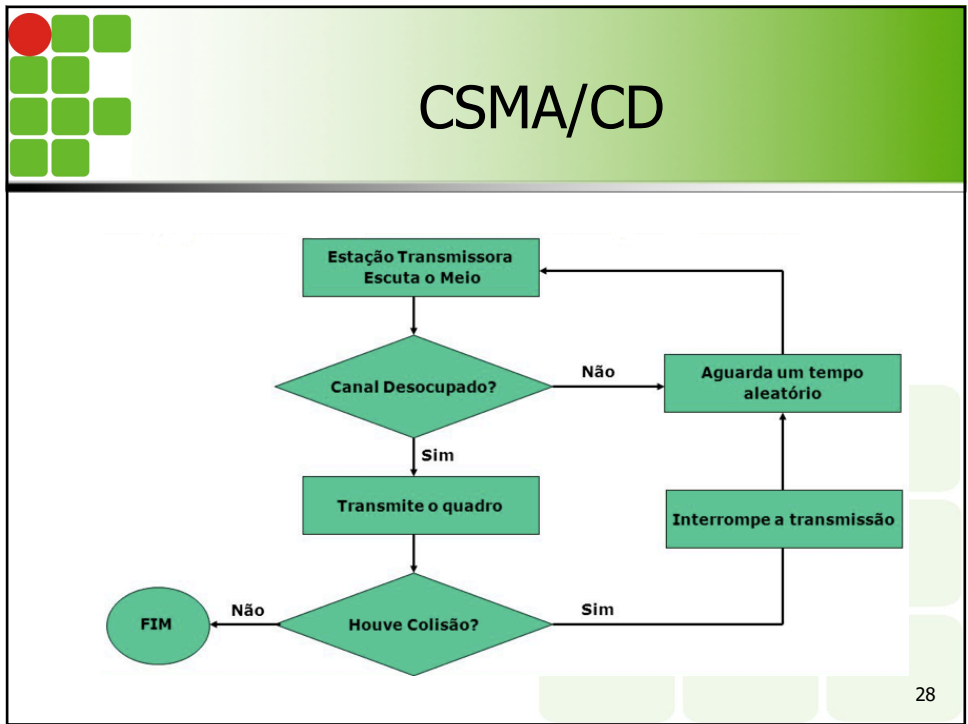
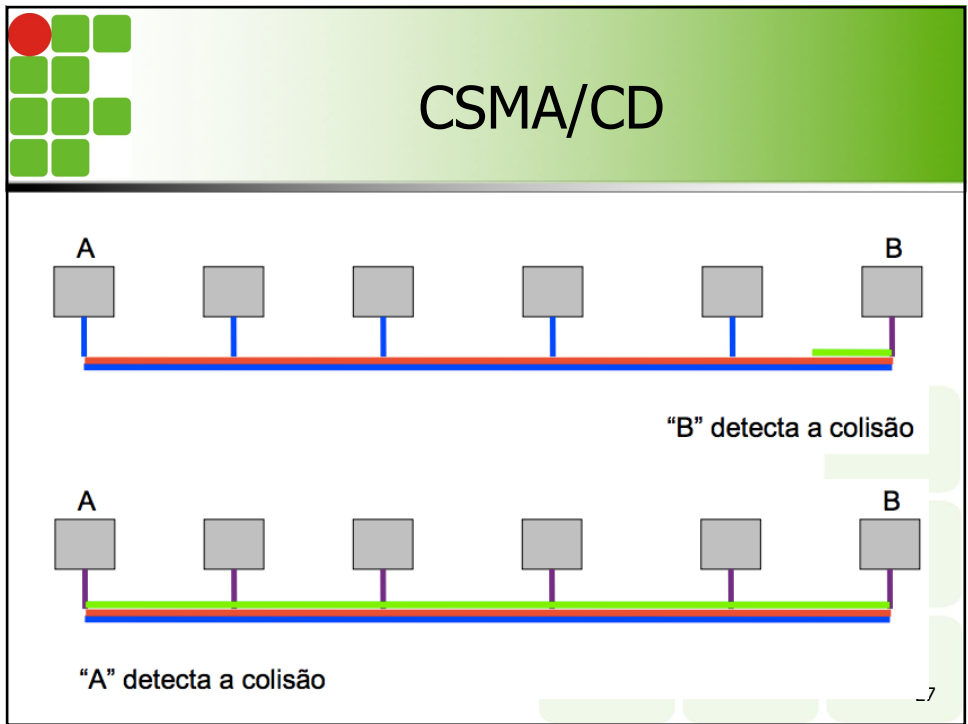
CSMA/CD

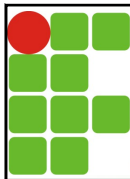


"A" verifica que o meio está livre e começa a transmitir



"B" verifica que o meio está livre e também começa a transmitir

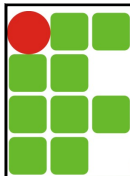




Revezamento

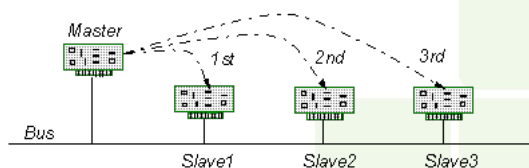
- Protocolos MAC com particionamento de canais:
 - Compartilham o canal eficientemente quando a carga é alta e bem distribuída
 - Ineficiente nas cargas baixas: atraso no acesso ao canal.
 - A estação consegue uma banda de $1/N$ da capacidade do canal, mesmo que haja apenas 1 nó ativo!
- Protocolos MAC de acesso aleatório
 - Eficiente nas cargas baixas: um único nó pode usar todo o canal
 - Cargas altas: excesso de colisões
- Revezamento
 - Buscam unir o melhor dos dois mundos!

29

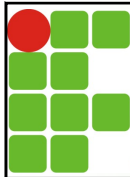


Revezamento

- Polling (seleção)
 - Nó mestre convida os "escravos" a transmitirem um de cada vez
 - Normalmente utilizado com nós escravos "burros"
 - Problemas
 - Sobrecarga da seleção (overhead polling)
 - SPOF (Único ponto de falha) no mestre
 - Latência



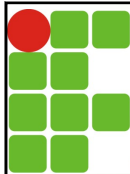
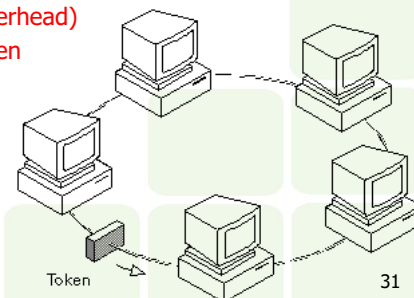
30



Revezamento

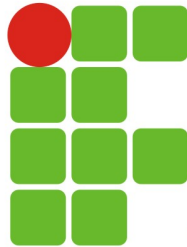
■ Passagem de Permissão

- Permissão de controle (token) passada de um nó para o próximo sequencialmente
- Um nó só "segura" a permissão se tiver dados para transmitir
- Problemas
 - Sobrecarga da permissão (token overhead)
 - SPOF (Único ponto de falha) no token
 - Latência



Referências

- KUROSE, J. F. e ROSS, K. - **Redes de Computadores e a Internet** – 6a Ed., Pearson, 2013.
- KUROSE, J. F. e ROSS, K. - **Redes de Computadores e a Internet** – 5a Ed., Pearson, 2010.



**INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
RIO GRANDE DO NORTE**



Infraestrutura de Redes de Computadores

Turma : TMS – 20171.3.01112.1M

Camada de Enlace – Parte I

Prof. Thiago Dutra <thiago.dutra@ifrn.edu.br>