

cin.ufpe.br



Infra-Estrutura de Comunicação
Módulo 5

Paulo Gonçalves



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

Módulo 5 – Camada Enlace

A Camada Enlace

Nossos objetivos:

- compreender os princípios por trás dos serviços da camada enlace:
 - detecção e correção de erro
 - compartilhamento de canal broadcast : acesso múltiplo
 - endereçamento na camada enlace
 - transferência confiável de dados, controle de fluxo: *já estudados!*
- instanciação e implementação de várias tecnologias da camada enlace

Camada Enlace



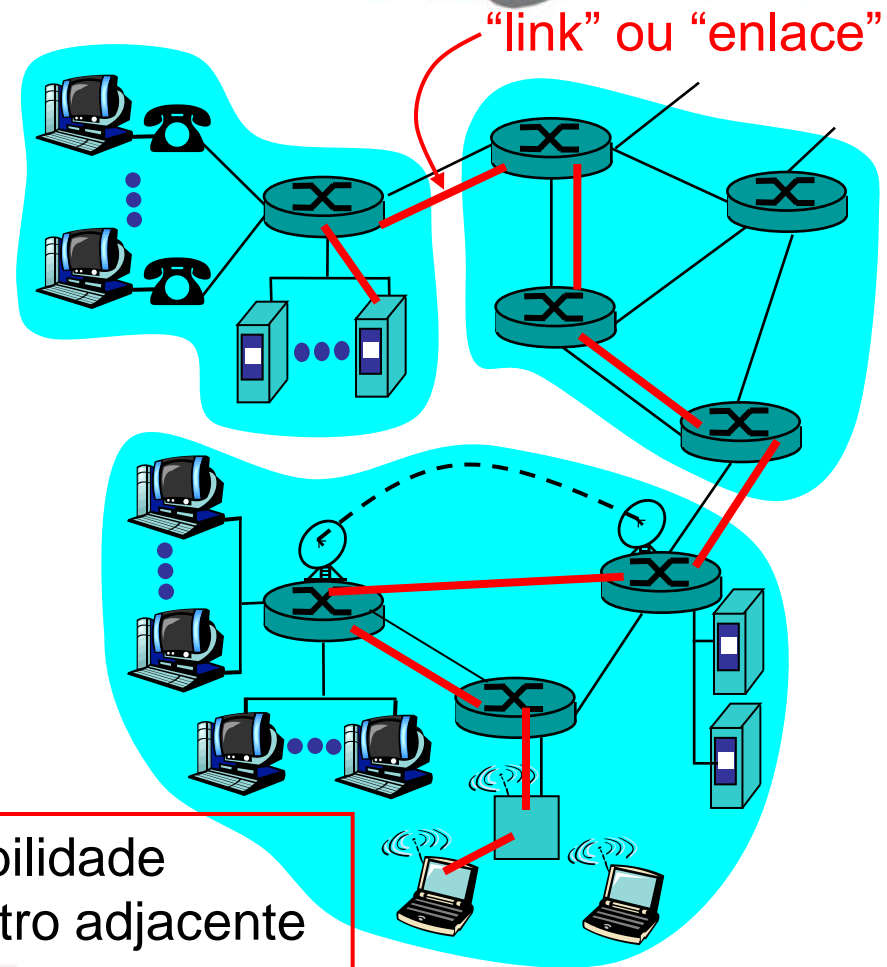
- 5.1 Introdução e serviços
- 5.2 Detecção e correção de erro
- 5.3 Protocolos de Acesso Múltiplo
- 5.4 Endereçamento na camada enlace
- 5.5 Ethernet
- 5.6 Hubs e switches



Camada Enlace: Introdução

Algumas terminologias:

- hosts e roteadores são **nós/nodos**
- canais de comunicação que interconectam nós adjacentes são **links ou enlaces**
 - enlaces cabeados
 - enlaces sem fio (wireless)
 - LANs
- Um pacote da camada 2 se chama **frame ou quadro** e encapsula um datagrama



a camada enlace tem como responsabilidade transferir um datagrama de um nó a outro adjacente através de um link

Camada enlace: contexto

- Datagrama transferido por diferentes protocolos da camada enlace sobre links diferentes:
 - e.g., Ethernet no 1º link, frame relay em links intermediários, 802.11 no último link
- Cada protocolo da camada enlace provê diferentes tipos de serviços
 - e.g., pode ou não prover rdt sob um link

Analogia

- Viagem de Recife para Lausana
 - limosine: Recife para REC
 - avião: REC para Genebra
 - trem: Genebra para Lausana
- turista = datagrama
- segmento de transporte = link de comunicação
- modo de transporte = protocolo da camada enlace
- agente de viagem = algoritmo de roteamento

- **Framing, acesso ao link:**

- encapsula datagrama em um quadro (frame), adicionando header, trailer
- acesso ao canal se meio compartilhado
- endereços “MAC” usados no header para identificar fonte, destino
 - diferente de endereços IP!

- **Transferência confiável entre nós adjacentes**

- Já aprendemos isso (módulo 3)!
- raramente usada em links com baixa taxa de erro de bit (fibra, alguns pares trançados)
- Links wireless: altas taxas de erro
 - Q: Por quê prover confiabilidade fim-à-fim e na camada enlace ao mesmo tempo?

Serviços da Camada Enlace



- **Controle de Fluxo:**

- Emissor não envia mais dados do que o receptor adjacente possa receber

- **Deteção de Erros:**

- erros causados por ruído e atenuação de sinal
- receptor detecta a presença de erros:

- Sinaliza emissor para fazer retransmissão ou descarta o frame

- **Correção de Erro:**

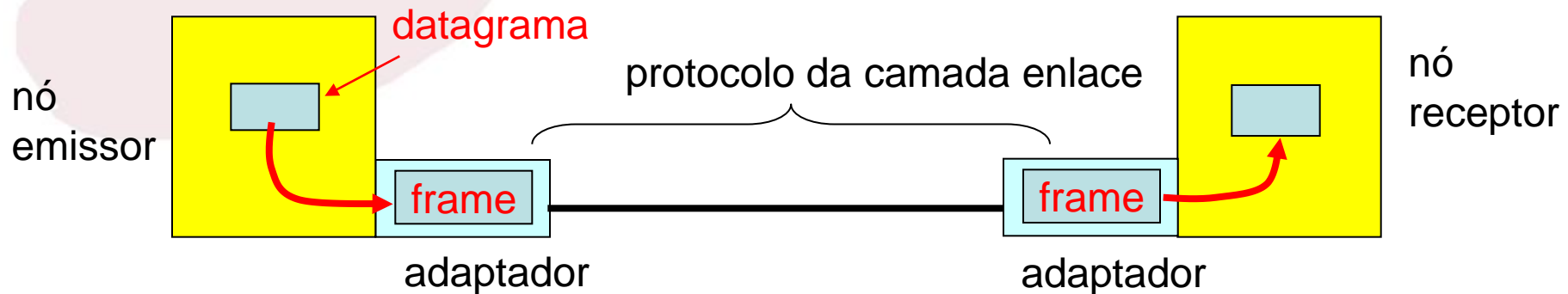
- receptor identifica e *corrige* erro(s) de bit sem ter que pedir retransmissões

- **Half-duplex e full-duplex**

- half duplex - nós na extremidade do link podem transmitir mas não ao mesmo tempo



Adaptadores



- Camada enlace implementada no adaptador de rede (aka NIC)
 - Placas Ethernet, IEEE 802.11 (Wi-Fi)
- Lado emissor:
 - encapsula datagrama em um quadro (frame)
 - adiciona bits para verificação de erro, rdt, controle de fluxo, etc.
- Lado receptor
 - Procura por erros, rdt, controle de fluxo, etc
 - extrai datagrama, passa-o para a camada de rede do nó receptor
- Adaptador é semi-autônomo
- Implementa camada física e enlace

Camada Enlace



- 5.1 Introdução e serviços
- 5.2 Detecção e correção de erro
- 5.3 Protocolos de Acesso Múltiplo
- 5.4 Endereçamento na camada enlace
- 5.5 Ethernet
- 5.6 Hubs e switches

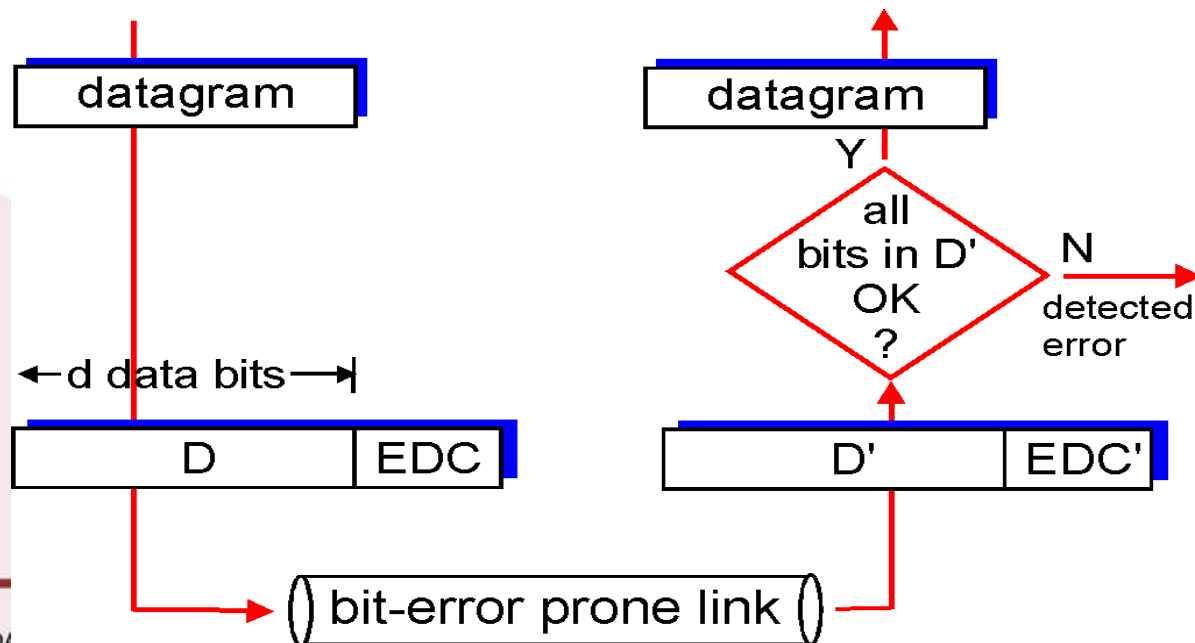


Detecção de Erro

EDC = bits de Detecção e Correção de erro (redundância)

D = Dado protegido pela verificação de erro, pode incluir campos de cabeçalho (header)

- Detecção de Erro não é 100% confiável!
 - protocolo pode não achar alguns erros, mas é raro
 - campo EDC grande permite melhor desempenho de detecção e correção

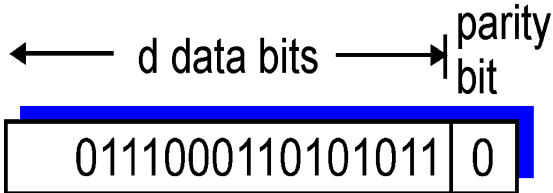


Verificação de Paridade

Bit de Paridade

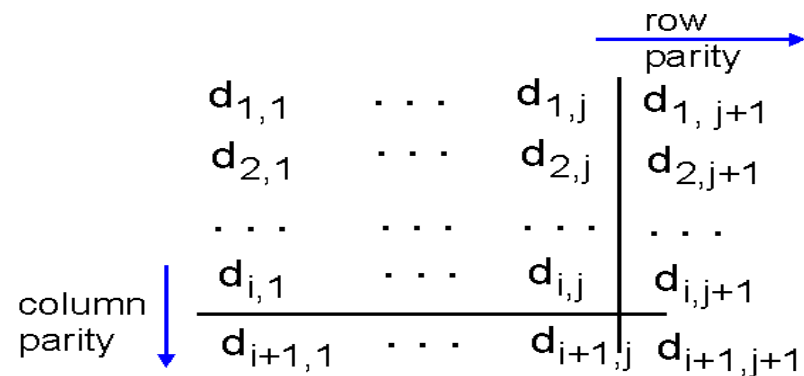
Único:

Detecta um único bit errado



Paridade Bidimensional:

Detecta e *corrige* erro em um único bit



10101 1
11110 0
01110 1
00101 0

no errors

10101 1
1 1100 0
01110 1
00101 0

parity error

*correctable
single bit error*

Internet checksum



Objetivo: detecta “erros” (e.g., bits trocados) em um segmento transmitido (nota: usado na camada transporte somente)

Emissor:

- Trata conteúdo de segmentos como seqüência de números inteiros de 16 bits
- checksum: adição (soma complemento 1) do conteúdo do segmento
- Emissor coloca o valor do checksum no campo checksum do UDP

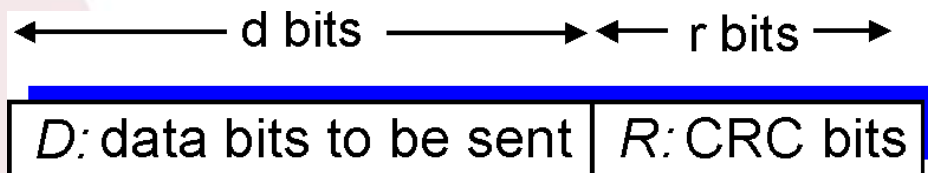
Receptor:

- computa checksum do segmento recebido
- verifica se checksum computado é igual ao informado no campo checksum:
 - **NÃO** - erro detectado
 - **SIM** - nenhum erro detectado.
Mas erros podem não ter sido notados



Checksumming: Cyclic Redundancy Check (CRC)

- Enxerga bits de dados, D , como um número binário
- escolhe padrão de $r+1$ bits (gerador), G
- objetivo: escolha r CRC bits, R , tal que
 - $\langle D, R \rangle$ é exatamente divisível por G (módulo 2)
 - Receptor conhece G , divide $\langle D, R \rangle$ por G . Se resto diferente de zero: erro detectado!
 - Pode detectar qualquer rajada de erro menor que $r+1$ bits
- Amplamente utilizado na prática (ATM, HDLC)



*bit
pattern*

$$D * 2^r \text{ XOR } R$$

*mathematical
formula*

CRC (Exemplo)

Deseja-se:

$$D \cdot 2^r \text{ XOR } R = nG$$

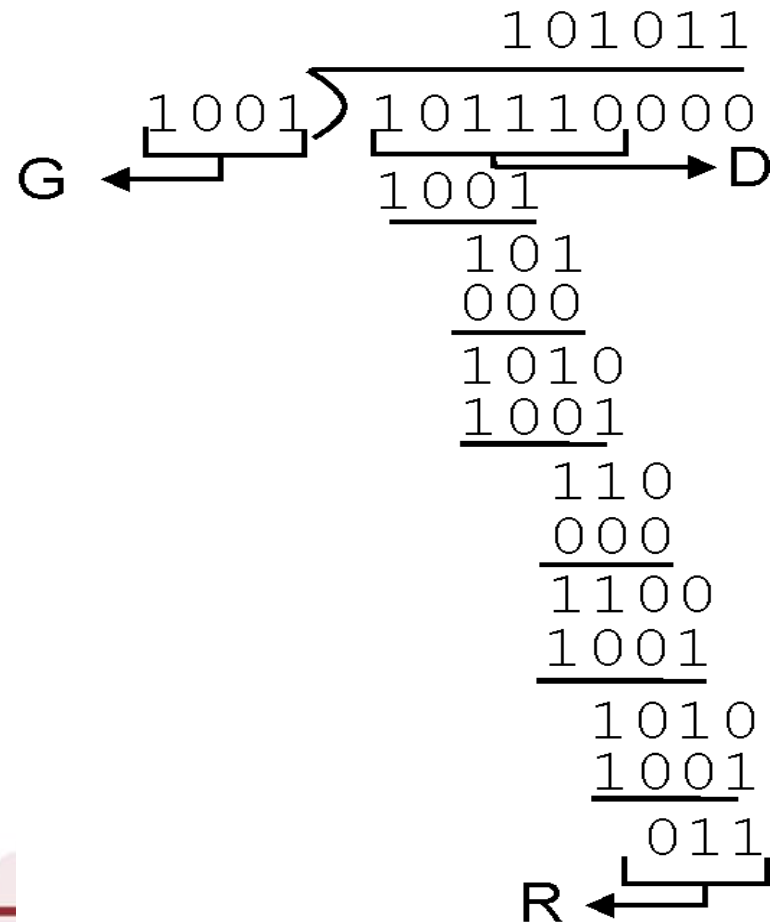
Equivale à:

$$D \cdot 2^r = nG \text{ XOR } R$$

e:

se dividimos $D \cdot 2^r$ por G ,
desejamos obter o resto R

$$R = \text{remainder} \left[\frac{D \cdot 2^r}{G} \right]$$



Camada Enlace



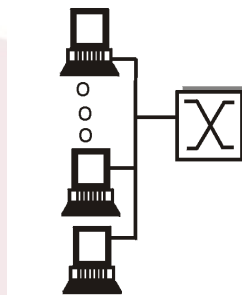
- 5.1 Introdução e serviços
- 5.2 Detecção e correção de erro
- 5.3 Protocolos de Acesso Múltiplo
- 5.4 Endereçamento na camada enlace
- 5.5 Ethernet
- 5.6 Hubs e switches



Enlaces e Protocolos de Acesso Múltiplo

Dois tipos de “links”:

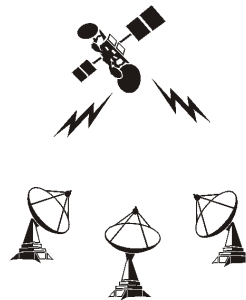
- Ponto-a-ponto (point-to-point)
 - ◆ PPP para acesso dial-up
 - ◆ Enlace ponto-a-ponto entre switch Ethernet e host
- broadcast (meio compartilhado)
 - ◆ Ethernet tradicional
 - ◆ upstream HFC (Hybrid Fiber-Coaxial)
 - ◆ LAN sem fio IEEE 802.11



shared wire
(e.g. Ethernet)



shared wireless
(e.g. Wavelan)



satellite



ZZZZZZZZZZZZZZZZZZ



cocktail party

Protocolos de Acesso Múltiplo



- Canal broadcast compartilhado único
- 2 ou mais transmissões simultâneas: interferência
 - Há colisão se nó recebe 2 ou mais sinais ao mesmo tempo

Protocolo de acesso múltiplo

- Algoritmo distribuído que determina como os nós compartilham o canal, i.e., determina quando o nó pode transmitir
- Comunicação sobre compartilhamento de canal deve usar o próprio canal!
 - Não há canal *fora de banda* (out-of-band) para coordenação de transmissões



Protocolo de Acesso Múltiplo Ideal



Canal broadcast com taxa de R bps

1. Quando 1 nó deseja transmitir, ele envia dados à taxa R .
2. Quando M nós desejam transmitir, cada um pode transmitir a uma taxa média R/M
3. Completamente descentralizado:
 - Não há nó especial para coordenar transmissões
 - Não há sincronização de relógios, slots
4. Simples



Protocolos MAC: taxonomia



3 classes:

- **Particionamento de Canal**

- divide canal em pequenas “partes” (slots de tempo, frequência, código)
- aloca “parte” para uso exclusivo do nó

- **Acesso Randômico**

- canal não é dividido e podem ocorrer colisões
- Precisa tratar colisões

- **“Taking turns”**

- Cada nó aguarda sua vez para transmitir. Um passa a vez para o outro. Nós que desejam enviar mais experimentarão maiores atrasos

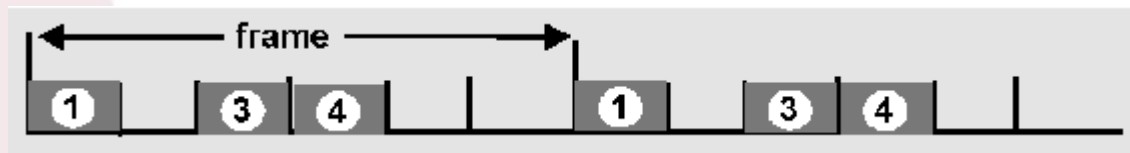


Particionamento de Canal: TDMA



TDMA: time division multiple access

- Acesso ao canal ocorre em "rounds"
 - Cada host recebe um slot de tamanho fixo em cada round
 - slots não utilizados são desperdiçados (ficam idles ou vazios)
 - exemplo: 6 hosts em um LAN, 1,3,4 possuem pkt, slots 2,5,6 idle (vazios)
-
- TDM (Time Division Multiplexing): canal dividido em N slots de tempo, 1 por usuário; ineficiente com usuários com baixo ciclo de trabalho e a altas cargas.



Particionamento de Canal: FDMA

FDMA: frequency division multiple access

- Espectro do canal dividido em bandas de frequência
 - Cada host recebe uma banda de frequência
 - Se não há transmissões na banda, ela é desperdiçada
 - Exemplo: 6 hosts em um LAN, 1,3,4 possuem pkt, bandas 2,5,6 sem uso
-
- FDM (Frequency Division Multiplexing): a frequência é subdivida.



Protocolos de Acesso Randômico



- Quando nó possui pacote para enviar
 - Transmite a taxa máxima R do canal.
 - Não há coordenação prévia entre nós
- 2 ou mais nós transmitindo ao mesmo tempo → “colisão”,
- Protocolos MAC de acesso randômico especificam:
 - Como detectar colisões
 - Como tratar colisões (e.g., atrasando retransmissões)
- Exemplos de protocolos MAC de acesso randômico:
 - slotted ALOHA
 - ALOHA
 - CSMA, CSMA/CD, CSMA/CA



Slotted ALOHA



Hipóteses

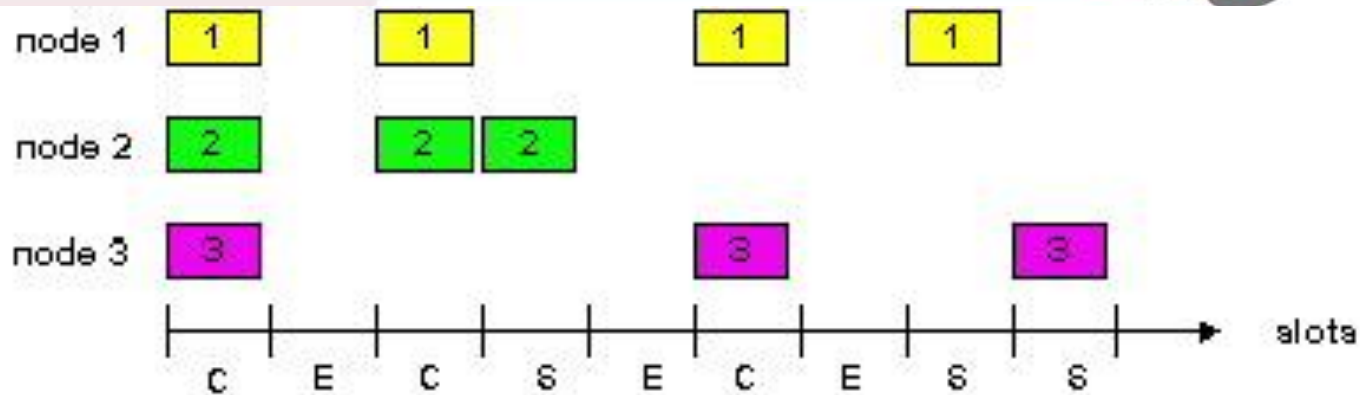
- frames de mesmo tamanho
- Tempo é dividido em slots de mesmo tamanho, tempo para transmitir um quadro da camada enlace
- Nós iniciam transmissão somente no início de um slot
- Nós estão sincronizados
- se 2 ou mais nós transmitem em um mesmo slot, todos detecam a colisão

Funcionamento

- Quando nó obtém um novo quadro da camada enlace para transmitir, ele o transmite no próximo slot
- Se não há colisão, nó pode enviar novo quadro da camada enlace no slot seguinte
- Se há colisão, nó retransmite quadro da camada enlace em cada slot subsequente com probabilidade p até o sucesso



Slotted ALOHA



Prós

- Um único nó ativo pode transmitir continuamente na taxa máxima do canal
- Altamente descentralizado: somente slots precisam estar sincronizados
- simples

Contras

- colisões, desperdício de slots
- Slots livres
- Nós precisam ter a habilidade de detectar colisões em um tempo menor que o necessário para transmitir um pacote
- sincronização

Eficiência do Slotted Aloha

Eficiência é a fração de slots utilizados com sucesso a longo-prazo quando há muitos nós, cada qual com muitos quadros a serem transmitidos

- Suponha N nós com muitos quadros a serem enviados, cada nó transmite em um slot com probabilidade p
- Probabilidade de que 1 nó tenha sucesso em um slot = $p(1-p)^{N-1}$
- Probabilidade de que qualquer nó tenha sucesso = $Np(1-p)^{N-1}$

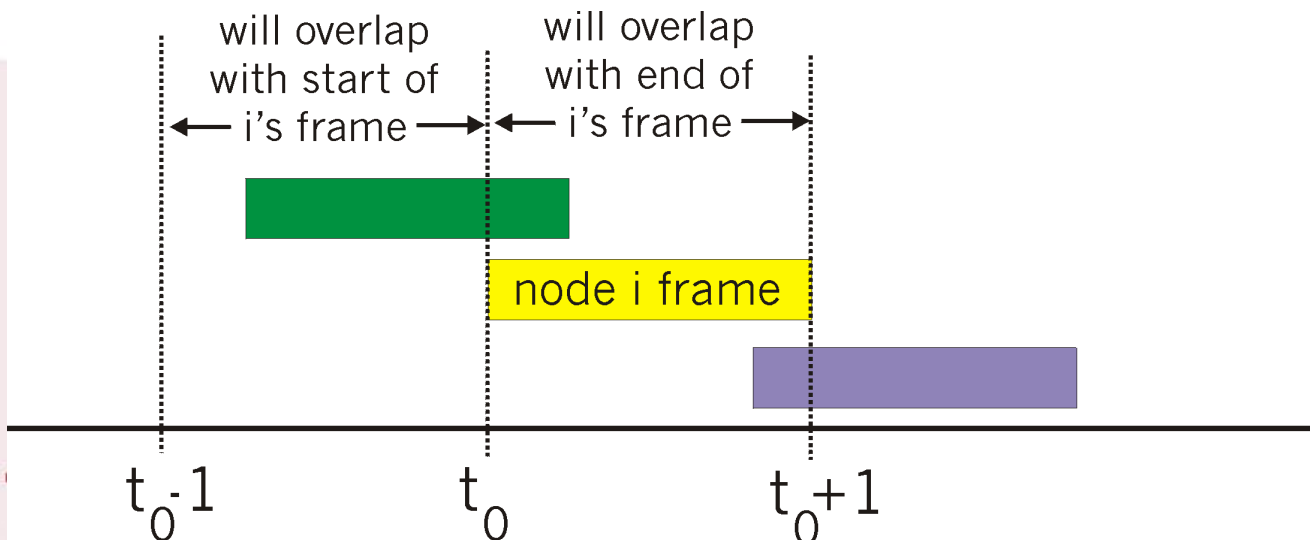
- Para obter a eficiência máxima com N nós, encontre p^* que maximiza $Np(1-p)^{N-1}$
- Quando há muitos nós, o limite de $Np^*(1-p^*)^{N-1}$ quando N vai a infinito, indica uma eficiência máxima de $1/e = .37$

No melhor dos casos:

Canal usado em transmissões úteis 37% do tempo!

ALOHA Puro (unslotted)

- unslotted Aloha: mais simples, sem sincronização
- Quando camada enlace possui quadros para transmitir
 - transmite-os imediatamente
- Probabilidade de colisão aumenta:
 - Quadro enviado em t_0 colide com outros quadros enviados em $[t_0-1, t_0+1]$



Aloha Puro: Eficiência



$P(\text{sucesso de um dado nó}) = P(\text{nó transmitir}) \cdot$

$P(\text{nenhum outro nó transmitir em } [t_0-1, t_0]) \cdot$

$P(\text{nenhum outro nó transmitir em } [t_0, t_0+1])$

$$= p \cdot (1-p)^{N-1} \cdot (1-p)^{N-1}$$

$$= p \cdot (1-p)^{2(N-1)}$$

... escolhendo p ótimo e fazendo $N \rightarrow$ infinito ...

Ainda pior!

$$= 1/(2e) = .18$$



CSMA (Carrier Sense Multiple Access)



CSMA: escuta antes de transmitir:

Se canal está “idle” (vazio): transmite o quadro completo

- Se canal está ocupado, adiar transmissão

- Analogia humana: não interrompa os outros!

Colisões no CSMA

colisões ainda podem ocorrer:

Ter atraso de propagação significa que dois nós podem não ouvir a transmissão um do

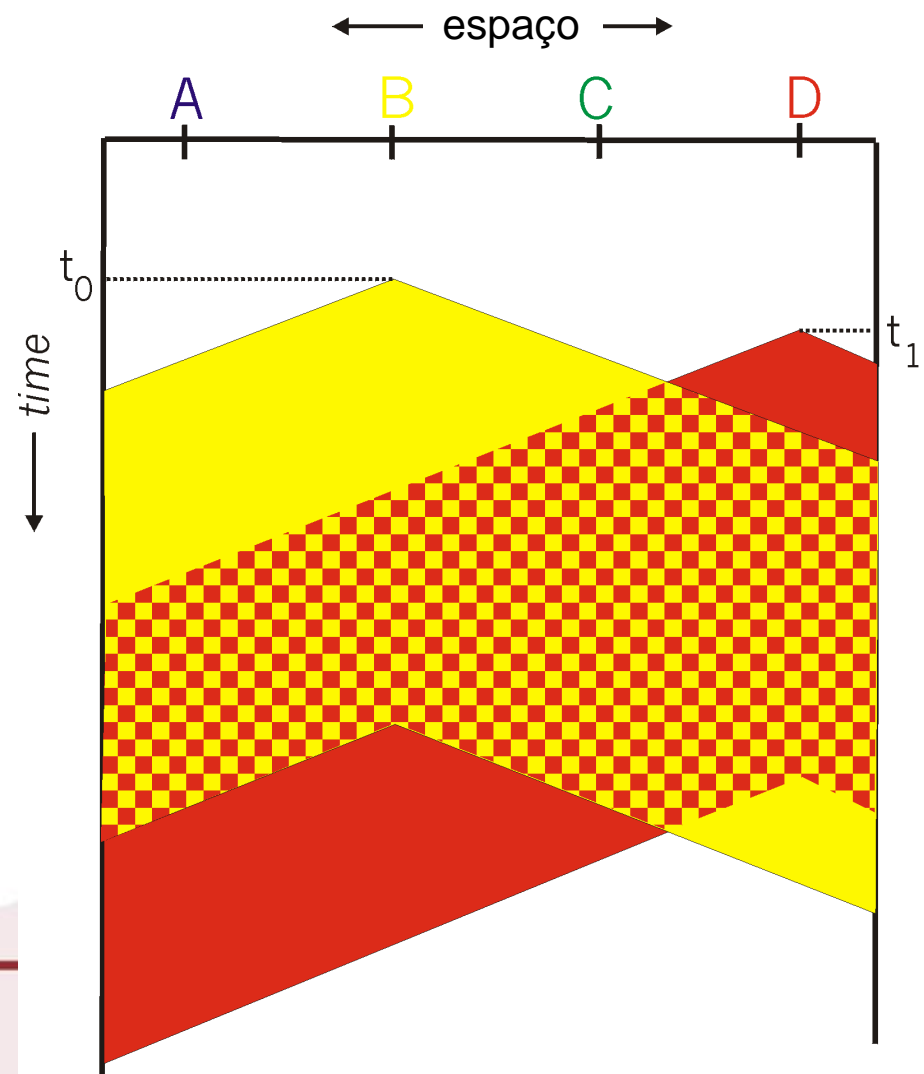
colisão:

Tempo total de transmissão do pacote é desperdiçado

nota:

distância & atraso de propagação são importantes para se determinar a probabilidade de colisão

Distribuição espacial dos nós



CSMA/CD (Collision Detection)

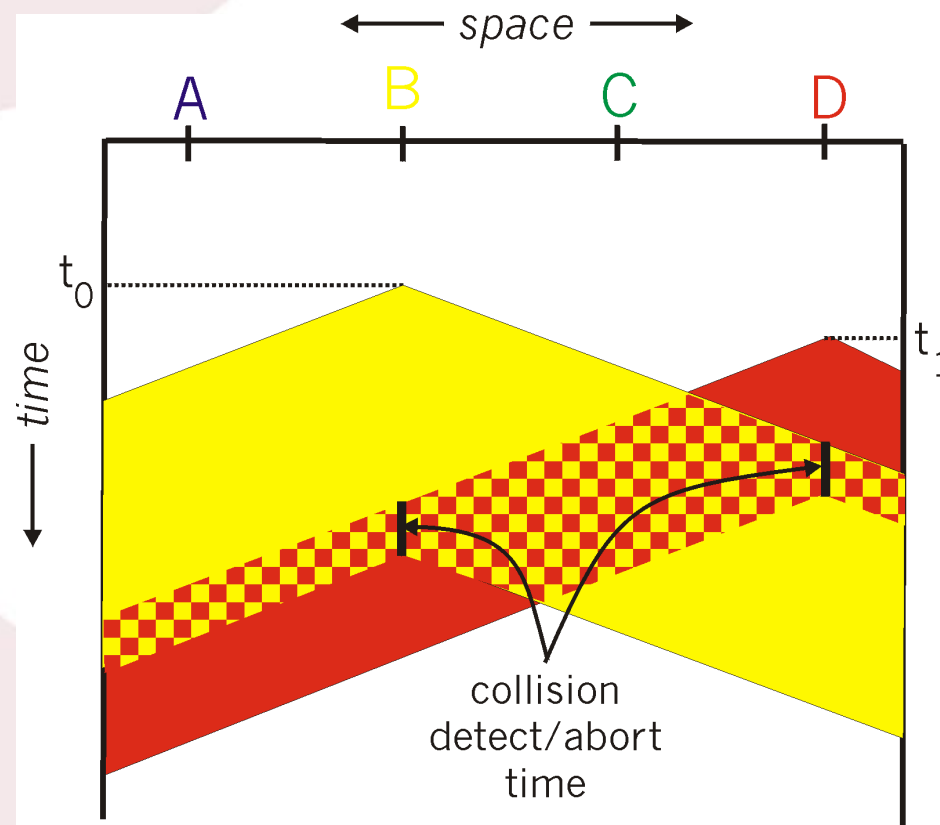


CSMA/CD: escuta portadora, adiamento como no CSMA

- colisões *detectadas* em um intervalo curto de tempo
- Transmissões colidindo são abortadas, reduzindo o desperdício do canal
- Detecção de colisão:
 - Fácil em LANs cabeadas: mede força de sinais, compara força do sinal transmitido com o recebido
 - Difícil em LANs sem fio: receptor desliga enquanto se transmite. Só receptor sabe se houve colisão ou não
- Analogia humana: uma pessoa educada com grande habilidade de conversação



CSMA/CD (collision detection)



Protocolo MAC “Taking Turns”



Protocolos MAC de Particionamento de Canal

- Compartilhamento eficiente do canal e justo com alta carga
- Ineficiente com baixa carga: atraso de acesso ao canal, $1/N$ da banda alocada mesmo se somente 1 nó estiver ativo!

Protocolos MAC de Acesso Randômico

- Eficiente com baixa carga: um único nó pode usar toda a capacidade do canal
- Alta carga: sobrecarga (overhead) de colisões

Protocolos “taking turns”

Olham para o melhor de ambos os mundos!

Protocolo MAC “Taking Turns”

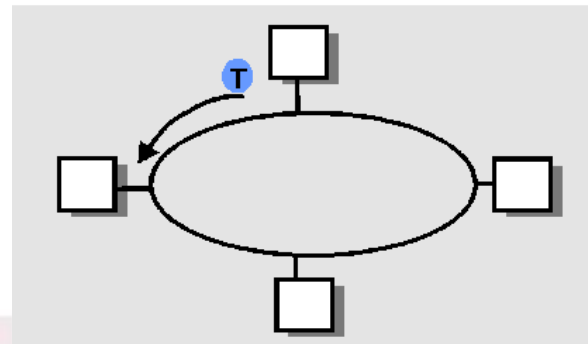


Polling:

- Nó mestre “convida” nós escravos a transmitirem e convite segue uma ordem ou seqüência
- fraquezas:
 - polling overhead
 - latência
 - Ponto único de falha (mestre)

Passagem de Token:

- **Token** de controle passado de um nó a outro sequencialmente
- Mensagem token
- fraquezas:
 - token overhead
 - latência
 - ponto único de falha (token)



Resumo dos protocolos MAC



- O que fazer com um meio compartilhado?
 - Particionamento de canal, no tempo, na frequência ou por código
 - Time Division, Frequency Division
 - Particionamento Randômico (dinâmico),
 - ALOHA, S-ALOHA, CSMA, CSMA/CD
 - Escuta de portadora: fácil com algumas tecnologias (cabeadas), difícil em outras (sem fio)
 - CSMA/CD usado no Ethernet
 - CSMA/CA usado no IEEE 802.11 (Wi-Fi)
 - Taking Turns
 - polling feito por um coordenador, passagem de token



Tecnologias de Redes Locais (LAN)



O que vimos sobre a camada enlace:

- serviços, detecção/correção de erro, acesso múltiplo

A seguir: tecnologias de LANs

- endereçamento
- Ethernet
- hubs, switches



Camada Enlace



- 5.1 Introdução e serviços
- 5.2 Detecção e correção de erro
- 5.3 Protocolos de Acesso Múltiplo
- 5.4 Endereçamento na camada enlace
- 5.5 Ethernet
- 5.6 Hubs e switches



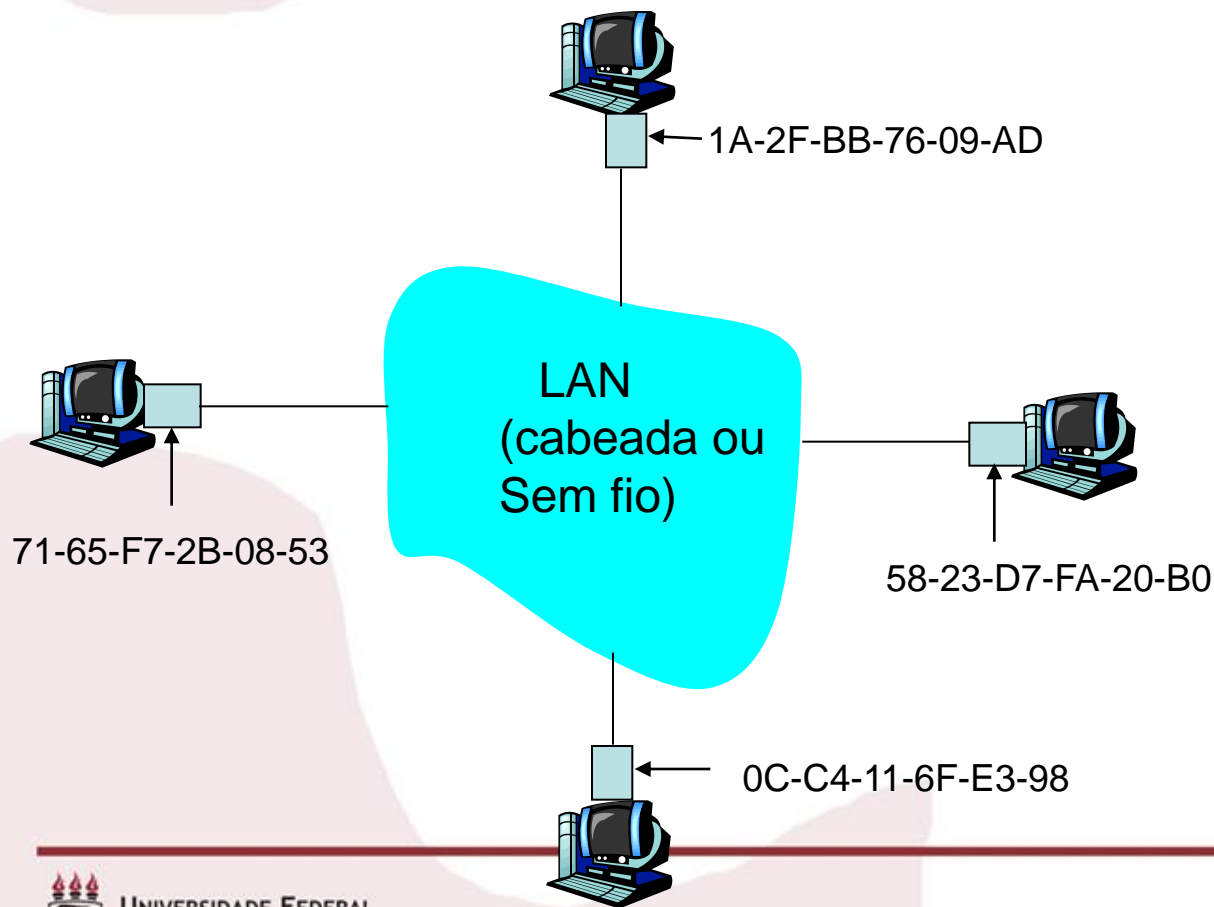
Endereços MAC e Protocolo ARP



- Endereços IP de 32 bits:
 - *Endereço da camada de rede*
 - Usado para enviar datagrama para a subrede IP de destino
- Endereço MAC (ou LAN ou físico ou Ethernet):
 - Usado para nos quadros enviados de uma interface a outra fisicamente conectada (mesma rede)
 - Endereço MAC de 48 bits (para a maiorias das LANs) gravado na memória ROM da placa de rede

Endereços em LANs e Protocolo ARP

Cada placa de rede (ou adaptador) na LAN possui um endereço MAC único



Endereço broadcast =
FF-FF-FF-FF-FF-FF

 = adaptador

Mais sobre endereços MAC



- alocação de endereços MAC administrada pelo IEEE
- Fabricantes compram faixa de endereços MAC (para garantir que endereços não sejam repetidos)
- analogia:
 - (a) **endereço MAC**: como o CPF (compreendido localmente no Brasil)
 - (b) **endereço IP**: como endereço postal (compreendido mundialmente)
-
- Endereço MAC plano → portabilidade
 - Pode mover placa de rede de uma LAN para outra
- Endereços IP hierárquicos não são portáveis
 - depende da subrede IP a qual o nó está conectado



ARP: Address Resolution Protocol

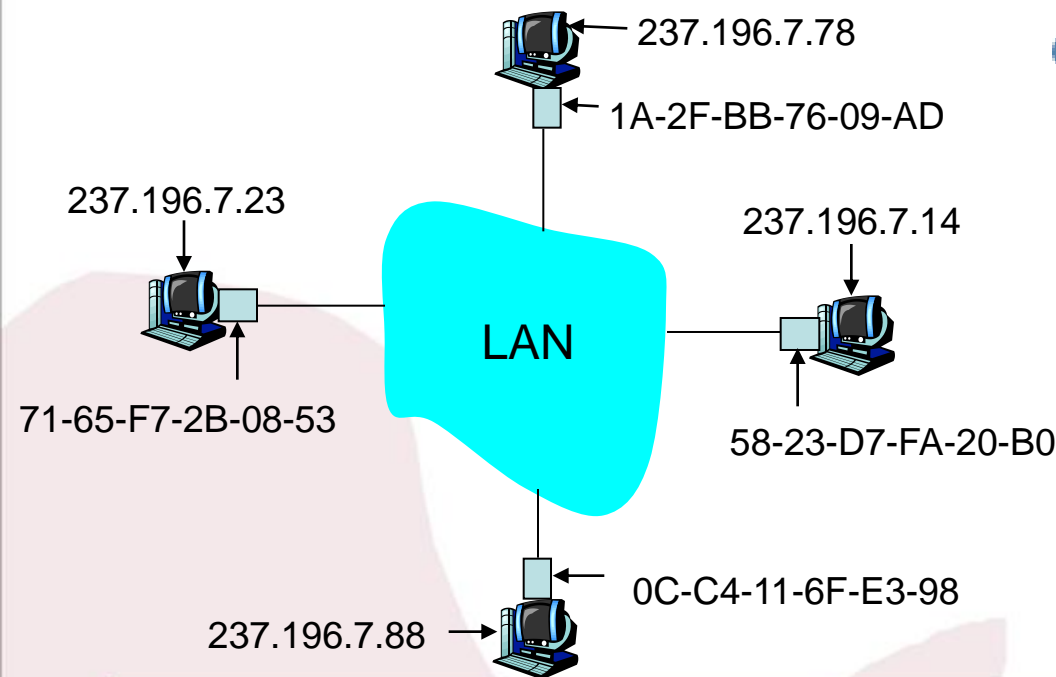
Q: como determinar o endereço MAC de B conhecendo o endereço IP dele?

- Cada nó IP (Host, Roteador) na LAN possui uma tabela ARP

- Tabela ARP: mapeamento de endereços para alguns nós da LAN

< end. IP ; end. MAC; TTL >

- TTL (Time To Live): tempo após o qual o mapeamento de endereço será descartado (tipicamente 20 min)



Protocolo ARP: na mesma LAN

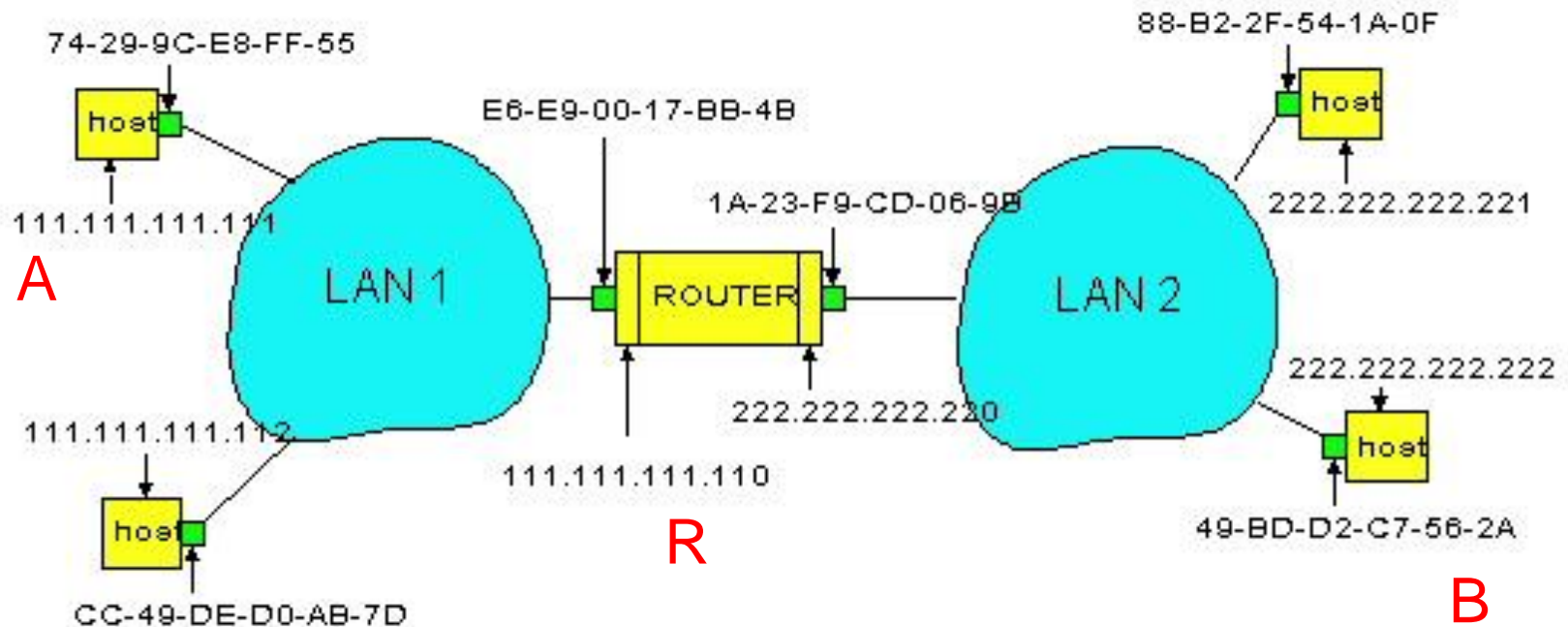


- A deseja enviar datagrama para B, e o endereço MAC de B não está na tabela ARP de A
- A envia em broadcast um pkt de query ARP, contendo o IP de B
 - Endereço MAC de destino = FF-FF-FF-FF-FF-FF
 - Todas as máquinas na LAN recebem o query ARP
- B recebe o pacote ARP, responde A com o seu (do B) endereço MAC
 - Quadro é enviado para o endereço MAC de A (unicast)
- “A” salva o mapeamento IP-MAC em sua tabela ARP até expiração
 - soft state: informação que expira a menos que seja renovada periodicamente
- ARP é “plug-and-play”:
 - Nós criam suas próprias tabelas ARP sem intervenção de administradores de rede



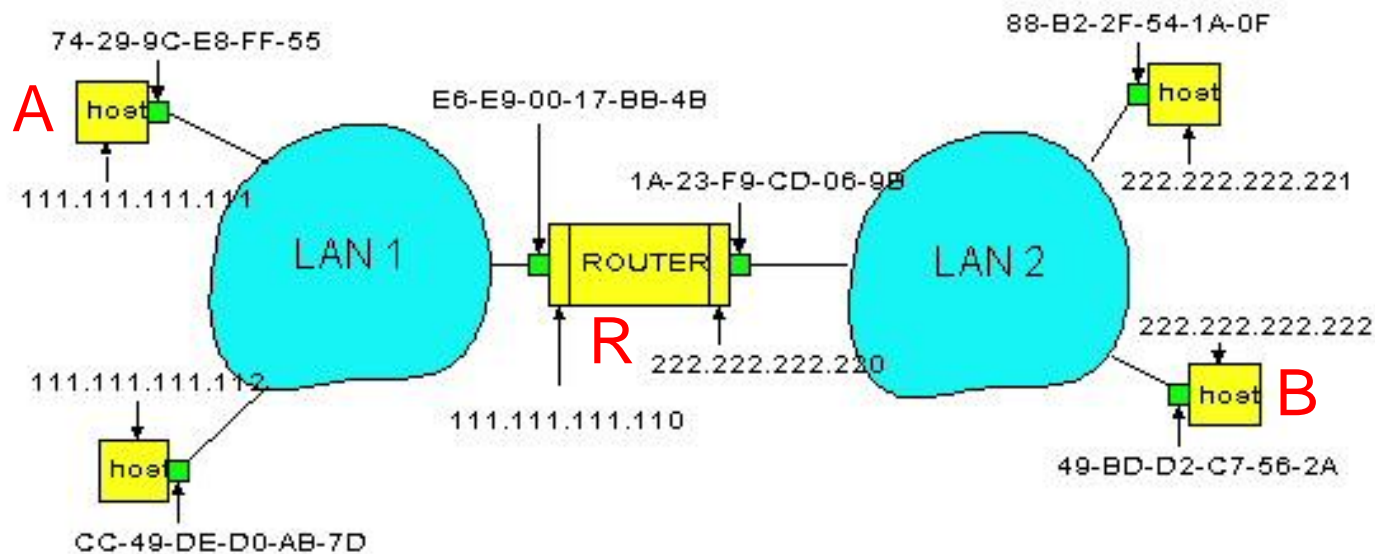
Roteamento para outra LAN

Passo-a-passo: enviar datagrama de A para B via R
assuma que A conhece o IP de B



- 2 tabelas ARP no roteador R, 1 para cada LAN IP

- A cria datagrama com endereço IP fonte de A e endereço IP de destino de B
- A usa ARP para descobrir o endereço MAC de R cujo IP é 111.111.111.110
- A cria quadro da camada de enlace com endereço MAC de R setado como endereço de destino, quadro encapsula o datagrama a ser enviado de A para B
- O adaptador de A envia o quadro
- O adaptador de R recebe o quadro
- R desencapsula o datagrama IP do quadro Ethernet, e verifica que o endereço de destino é para B
- R usa ARP para descobrir o endereço MAC de B
- R cria quadro contendo o datagrama IP de A para B e o envia a B



Camada Enlace



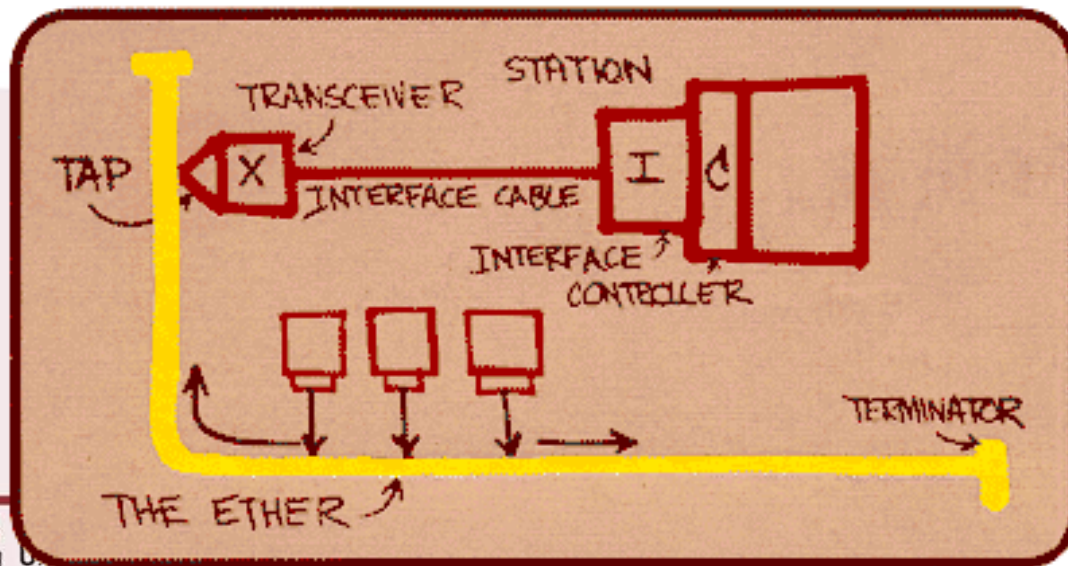
- 5.1 Introdução e serviços
- 5.2 Detecção e correção de erro
- 5.3 Protocolos de Acesso Múltiplo
- 5.4 Endereçamento na camada enlace
- 5.5 Ethernet
- 5.6 Hubs e switches



Ethernet

Tecnologia “dominante” para LANs cabeadas:

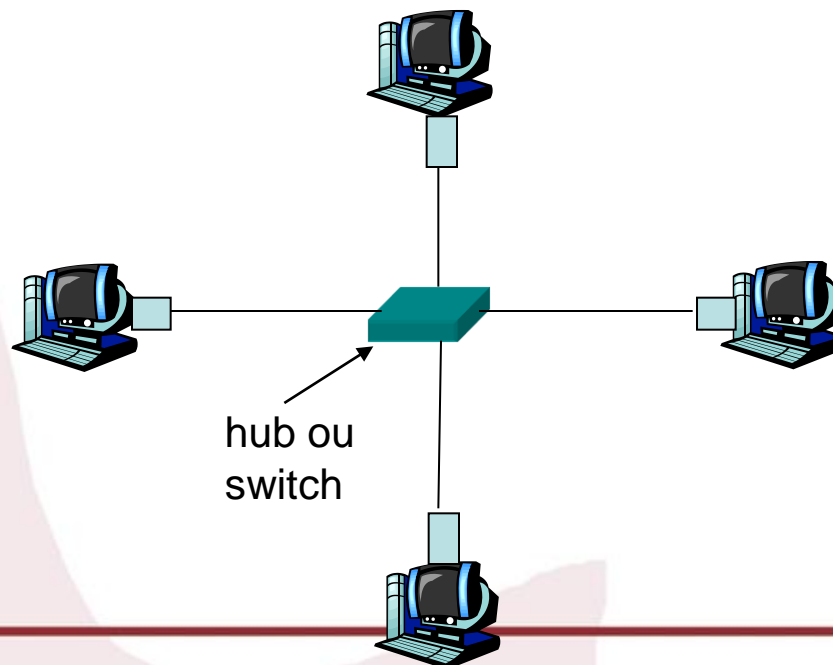
- barato - R\$ 20 para 100Mbps!
- Primeira tecnologia de rede local amplamente utilizada
- Mais simples, barata que outras LANs (token LANs e ATM)
- oferece taxas entre: 10 Mbps – 10 Gbps



Esboço do Ethernet
proposto por Robert
Metcalfe

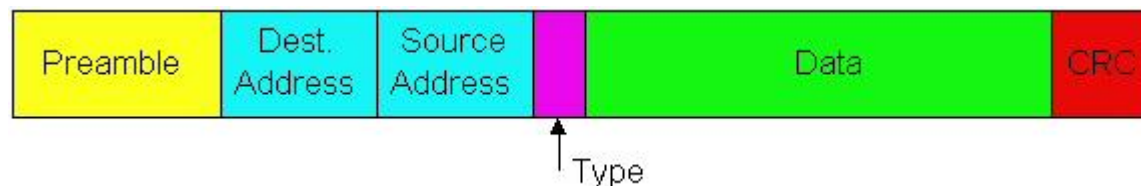
Topologia Estrela

- Topologia em barramento até meados dos anos 90
- Atualmente, topologia estrela prevalece
- Escolhas para conexão: hub ou switch (mais em breve)



Estrutura do Quadro Ethernet

Adaptador emissor encapsula datagrama IP (ou outro pacote de protocolo da camada de rede) no **quadro Ethernet**



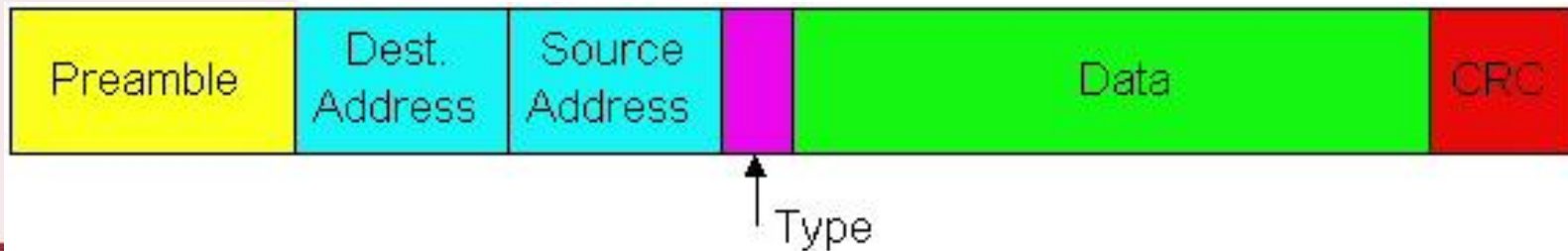
Preamble:

- 7 bytes com padrão 10101010 seguido de 1 byte com padrão 10101011
- usado para sincronizar relógios do receptor e do emissor

Estrutura do Quadro Ethernet (mais)



- **Addresses: 6 bytes**
 - Se adaptador recebe quadro com seu endereço físico de destino ou com endereço broadcast (e.g. pacote ARP), ele passa dados no quadro para o protocolo da camada de redel
 - Caso contrário, adaptador descarta quadro
- **Type:** indica o protocolo da camada superior a ser usado (IP na maioria das vezes mas outros podem ser suportados como IPX da Novell e o AppleTalk)
- **CRC:** verificado no receptor, se erro é detectado, o quadro é descartado



Serviço não-confiável e sem conexão



- **Sem conexão:** Não há handshaking entre o adaptador emissor e receptor
- **Não-confiável:** adaptador receptor não envia acks ou nacks ao adaptador emissor
 - Fluxo de datagramas passados para a camada de rede pode ter lacunas
 - Lacunas serão preenchidas se aplicação usa TCP como protocolo de transporte
 - Caso contrário, a aplicação verá as lacunas



Ethernet usa CSMA/CD



- Sem slots
- adaptador não transmite se ele escuta outro adaptador transmitindo, ou seja, **carrier sense (escuta da portadora)**
- Adaptadores transmissores abortam quando escutam outro adaptador transmitindo ao mesmo tempo, ou seja, **collision detection (CD)**
- Antes de tentar uma retransmissão, o adaptador espera um tempo randômico, ou seja, **acesso randômico**



Algoritmo CSMA/CD do Ethernet



1. Adaptador recebe datagrama da camada de rede & cria quadro
2. Se adaptador escuta canal vazio, ele inicia a transmissão do quadro. Se ele escuta o canal ocupado, aguarda até o canal ficar vazio e então transmite o quadro
3. Se adaptador transmite quadro completo sem detectar outra transmissão, o adaptador terminou de tratar o quadro!
4. Se adaptador detecta alguma outra transmissão enquanto estiver transmitindo, ele aborta a sua transmissão e envia no canal um sinal de “jam”
5. Após abortar, adaptador começa **backoff exponencial**: após a m -ésima colisão, o adaptador escolhe K randomicamente no intervalo $\{0, 1, 2, \dots, 2^m - 1\}$. Adaptador espera $K \cdot 512$ tempos de bit e retorna ao “Passo 2”



Mais sobre o CSMA/CD do Ethernet



Sinal de “Jam”: para ter certeza de que todos os outros adaptadores estão cientes da colisão; 48 bits

Tempo de Bit: .1 μ s para Ethernet 10 Mbps ;
para $K=1023$, tempo de espera é de aprox. 50 ms

Backoff Exponencial:

- *Objetivo:* adaptar tentativas de retransmissão à carga atual estimada
 - **Alta carga:** espera randômica será longa
- Primeira colisão: escolhe K no intervalo $\{0,1\}$; atraso é $K \cdot 512$ tempos de transmissão de bit
- Após segunda colisão: escolhe K no intervalo $\{0,1,2,3\}$...
- Após dez colisões, escolhe K no intervalo $\{0,1,2,3,4,\dots,1023\}$



Eficiência do CSMA/CD

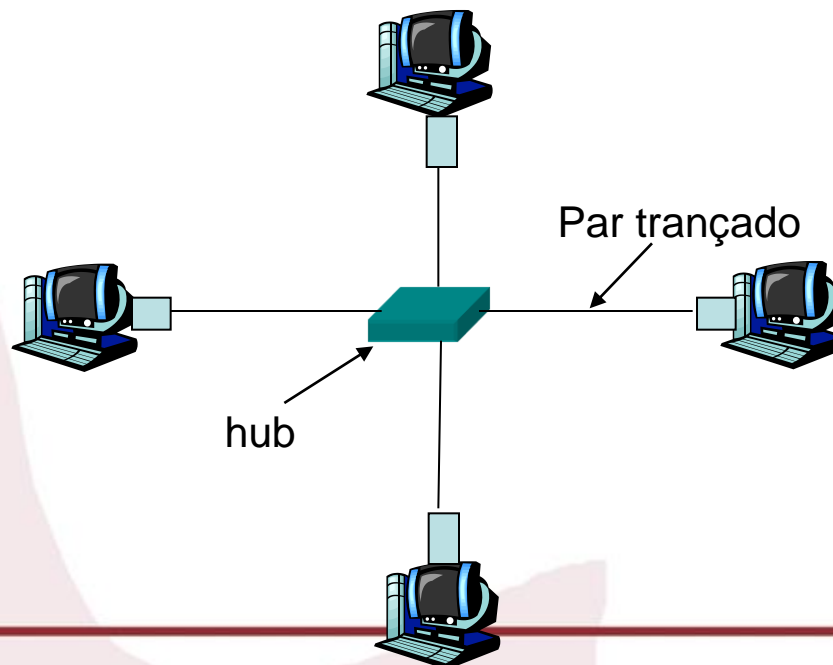
- $T_{\text{prop LAN}}$ = tempo máximo de propagação entre 2 nós na LAN
- t_{trans} = tempo para transmitir um quadro de tamanho máximo

$$\text{efficiency} = \frac{1}{1 + 5t_{\text{prop}} / t_{\text{trans}}}$$

- Eficiência tende a 1 quando T_{prop} tende a 0
- Eficiência tende a 1 quando t_{trans} tende a infinito
- Muito melhor que ALOHA, sendo ainda descentralizado, simples e barato

10BaseT e 100BaseT

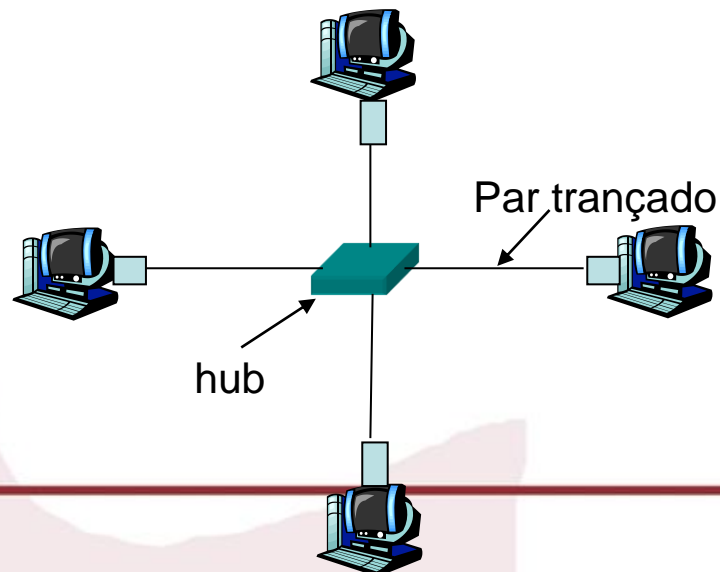
- Taxa de 10 e 100 Mbps; “fast ethernet” – 100 Mbps
- T deriva de Par Trançado
- Nós se conectam ao hub: “topologia estrela”; distância máxima de 100 m entre nós e hub



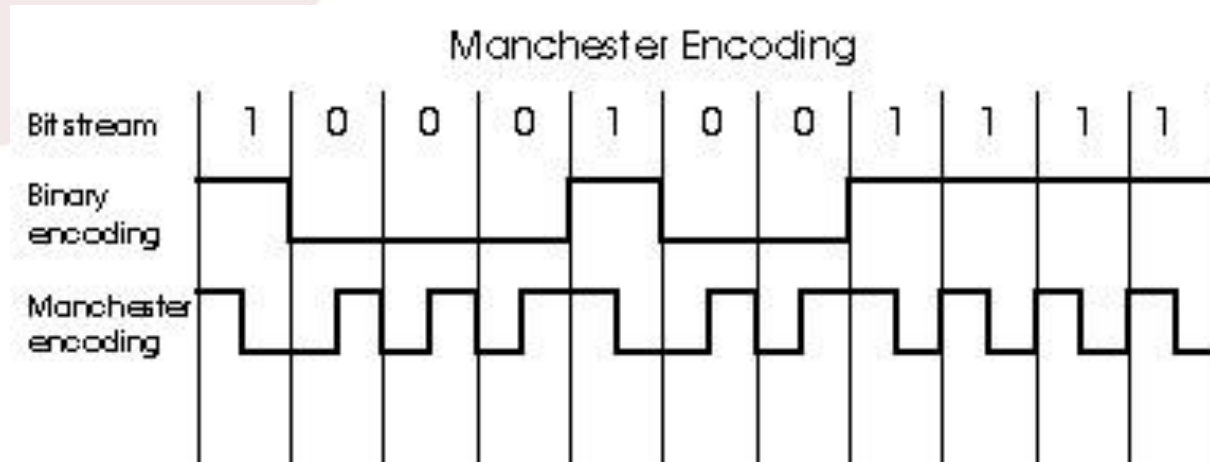
Hubs

Hubs são essencialmente repetidores que atuam na camada física:

- bits oriundos de um link são transmitidos para todos os outros links
- à mesma taxa
- sem buferização de quadros
- Não há CSMA/CD no hub: adaptadores detectam colisões



Codificação Manchester



- Usado no 10BaseT
- Cada bit possui uma transição
- Permite que relógios em nós emissores e receptores sejam sincronizados entre si
 - Sem necessidade de relógio global entre nós! Basta detectar transições
- Mas isto pertence à camada física!

Gbit Ethernet



- usa o formato padrão do Ethernet
- Permite links ponto-a-ponto e canais broadcast compartilhados
- No modo compartilhado, CSMA/CD é utilizado; distâncias curtas entre nós é necessária para maior eficiência
- usa hubs, chamados aqui de “Buffered Distributors”
- Full-Duplex a 1 Gbps para links ponto-a-ponto
- Já temos 10 Gbps !



Camada Enlace

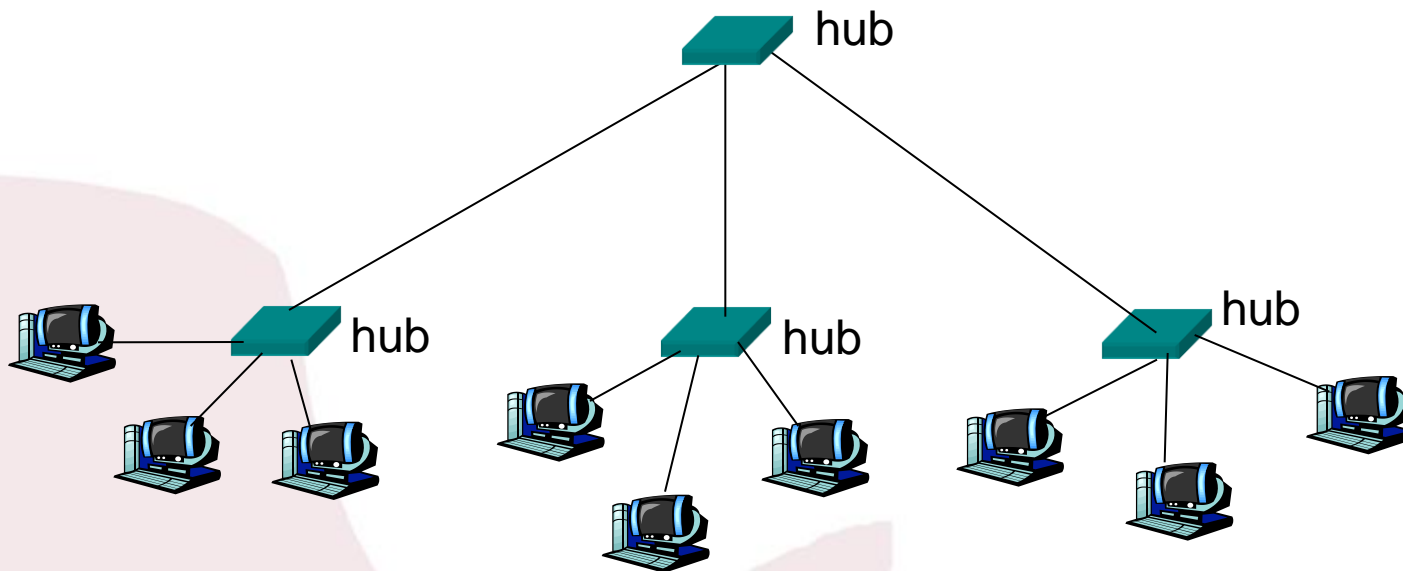


- 5.1 Introdução e serviços
- 5.2 Detecção e correção de erro
- 5.3 Protocolos de Acesso Múltiplo
- 5.4 Endereçamento na camada enlace
- 5.5 Ethernet
- 5.6 Hubs e switches



Interconexão usando hubs

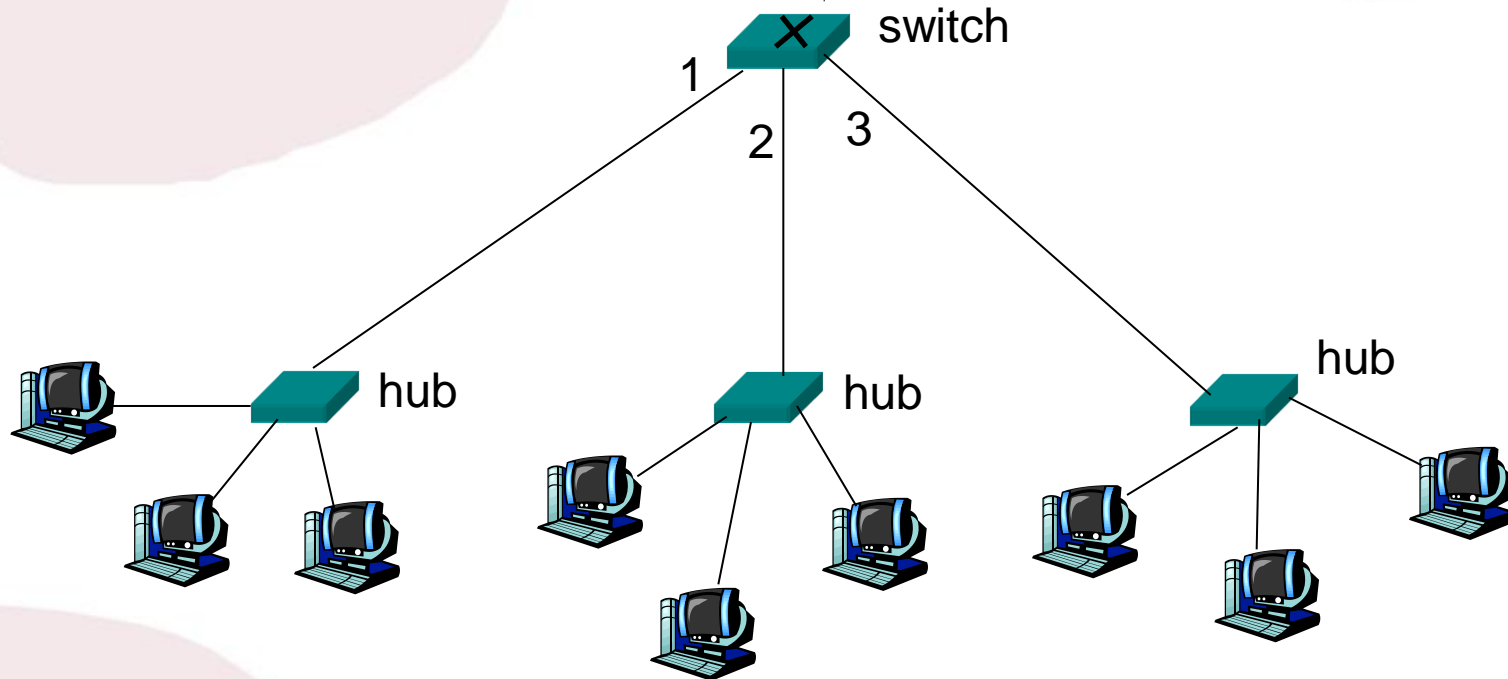
- Backbone hub interconecta segmentos da LAN
- Estende a distância máxima entre nós
- A colisão em um segmento se torna uma colisão em todos os segmentos
- Não pode interconectar 10BaseT & 100BaseT



Switch

- Dispositivo da camada enlace!
 - Armazena e encaminha quadros Ethernet
 - examina cabeçalho dos quadros e os encaminha seletivamente com base no endereço MAC de destino
 - Quando quadro deve ser enviado no segmento da rede, usa CSMA/CD para acessar o segmento
- transparente
 - hosts não estão cientes da presença de switches
- plug-and-play, self-learning
 - switches não precisam ser configurados

Encaminhamento (Forwarding)



- Como determinar sobre qual segmento da LAN se deve encaminhar um quadro?
- Parece um problema de roteamento ...

Self-learning



- Um switch possui uma tabela de encaminhamento
- Cada entrada na tabela é da forma:
 - (End. MAC, Interface, Timestamp)
 - Entradas expiradas na tabela são descartadas (TTL pode ser de 60 min)
- Switch *aprende* que hosts podem ser alcançados através de quais interfaces
 - Quando quadro é recebido, switch “aprende” a localização do emissor: segmento de LAN entrante
 - Armazena par emissor/localização na tabela de encaminhamento

Filtering/Forwarding



Quando switch recebe um quadro:

Procura endereço MAC de destino na tabela

if entrada encontrada para este destino

then{

if destino está no segmento pelo qual quadro chegou

then descartar quadro

else encaminhar quadro para a interface indicada pelo mapeamento na tabela

}

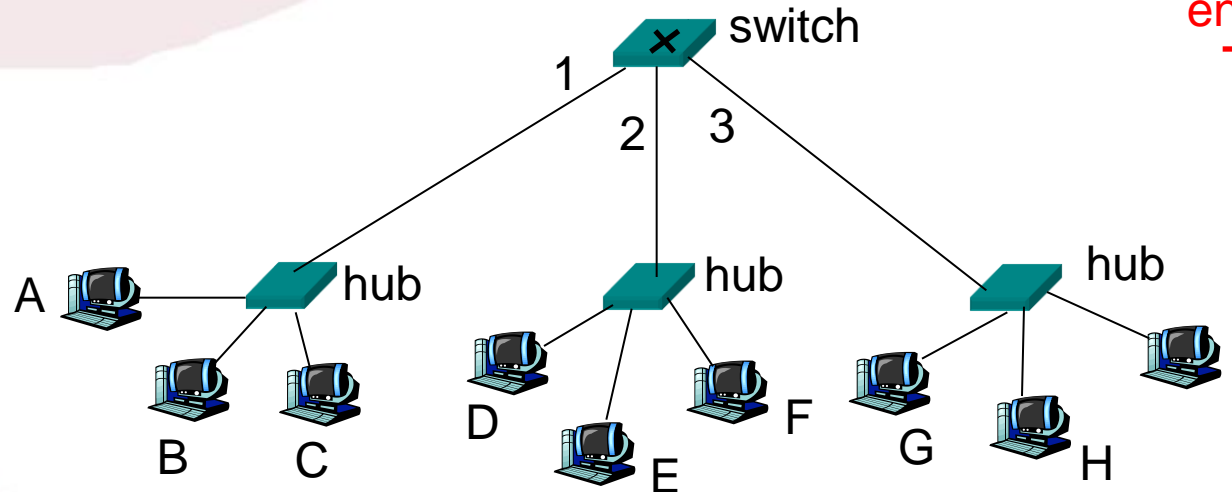
else inundar (flood)

Encaminhar para todas as interfaces exceto pela qual o quadro chegou



Switch (exemplo)

Suponha que C envie quadro para D

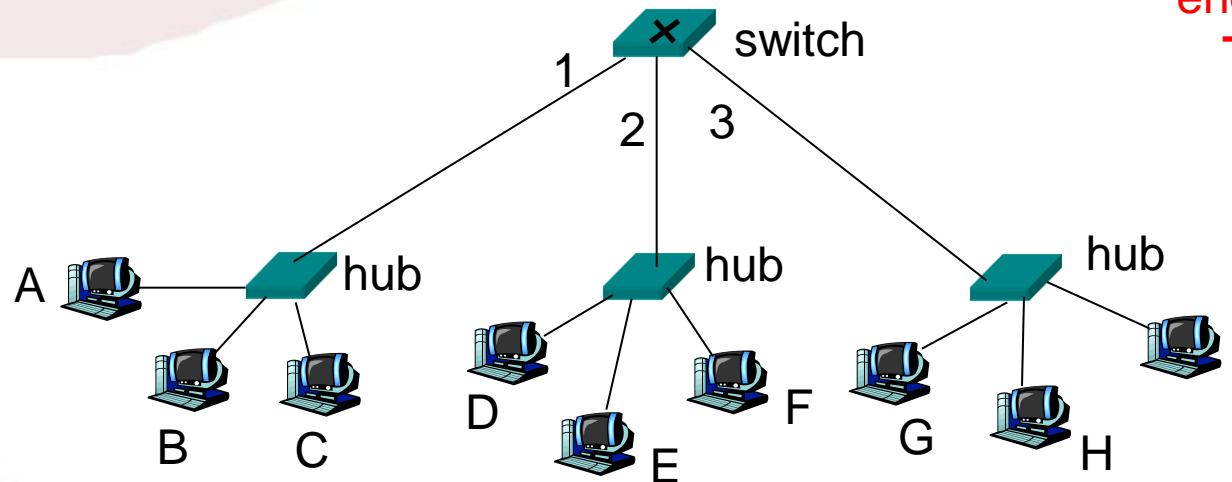


endereço	interface
A	1
B	1
E	2
G	3

- ❑ Switch recebe quadro oriundo de C
 - C é alcançável pela interface 1
 - Como D não está na tabela, o switch encaminha o quadro para as interfaces 2 e 3
- ❑ D recebe quadro

Switch (exemplo)

Suponha que D responda com um quadro para C.

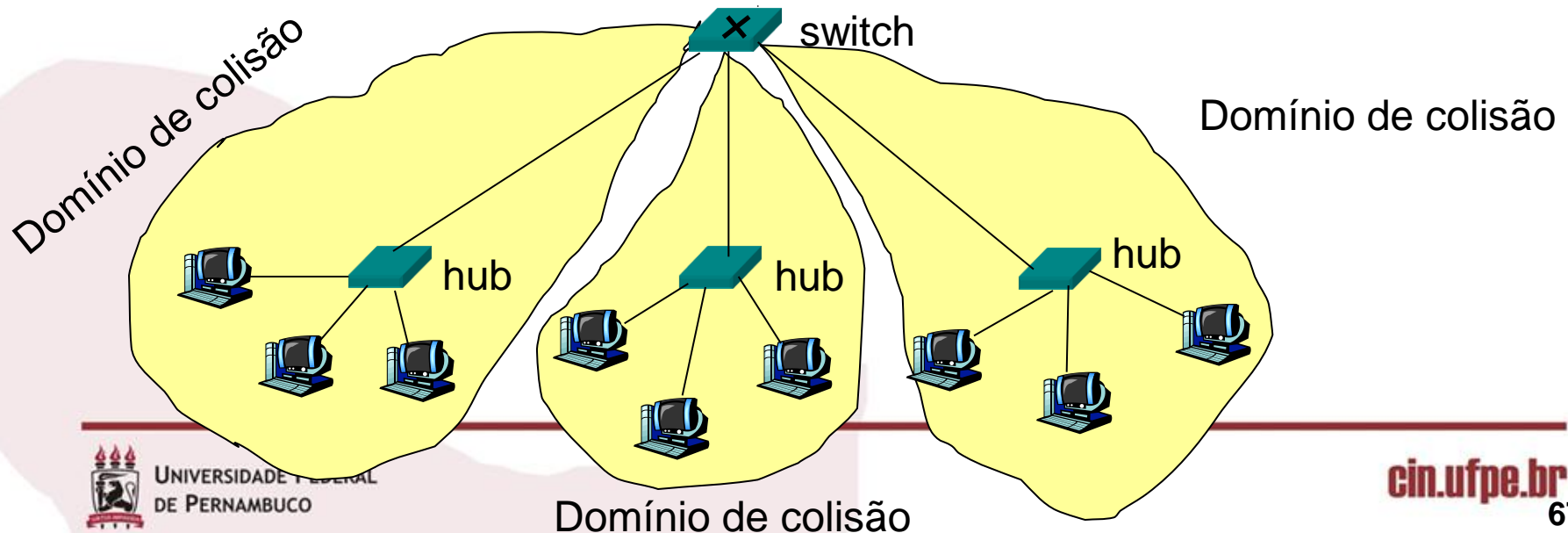


endereço	interface
A	1
B	1
E	2
G	3
C	1

- ❑ Switch recebe quadro de D
 - D é alcançável pela interface 2
 - Como C está na tabela, o switch encaminha o quadro somente para a interface 1
- ❑ C recebe quadro

Switch: isolamento de tráfego

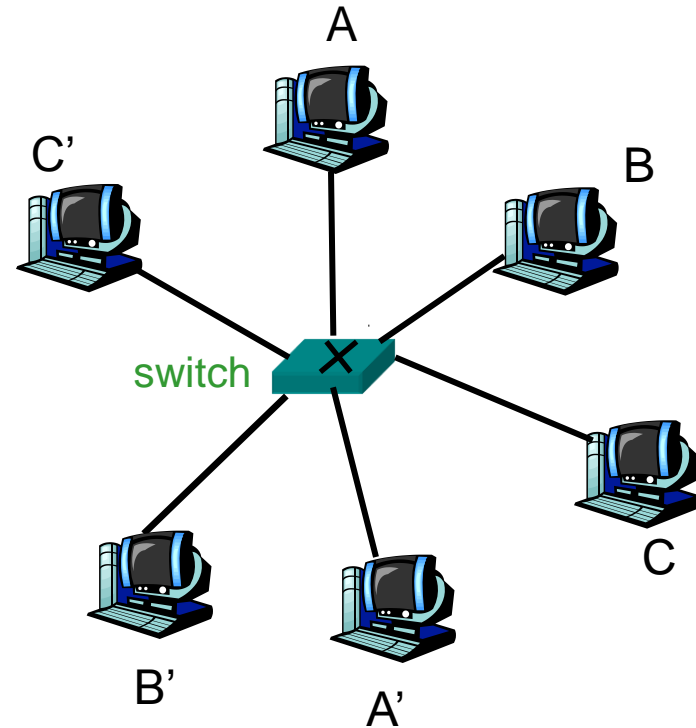
- Instalação de switch quebra subrede em segmentos de LAN
- switch **filtra** pacotes:
 - Quadros de um mesmo segmento da LAN não são encaminhados para outros segmentos
 - segmentos se tornam domínios separados de colisão



Switches: acesso dedicado

- Switch com diversas interfaces
- Hosts possuem conexão direta ao switch
- Sem colisões; full-duplex

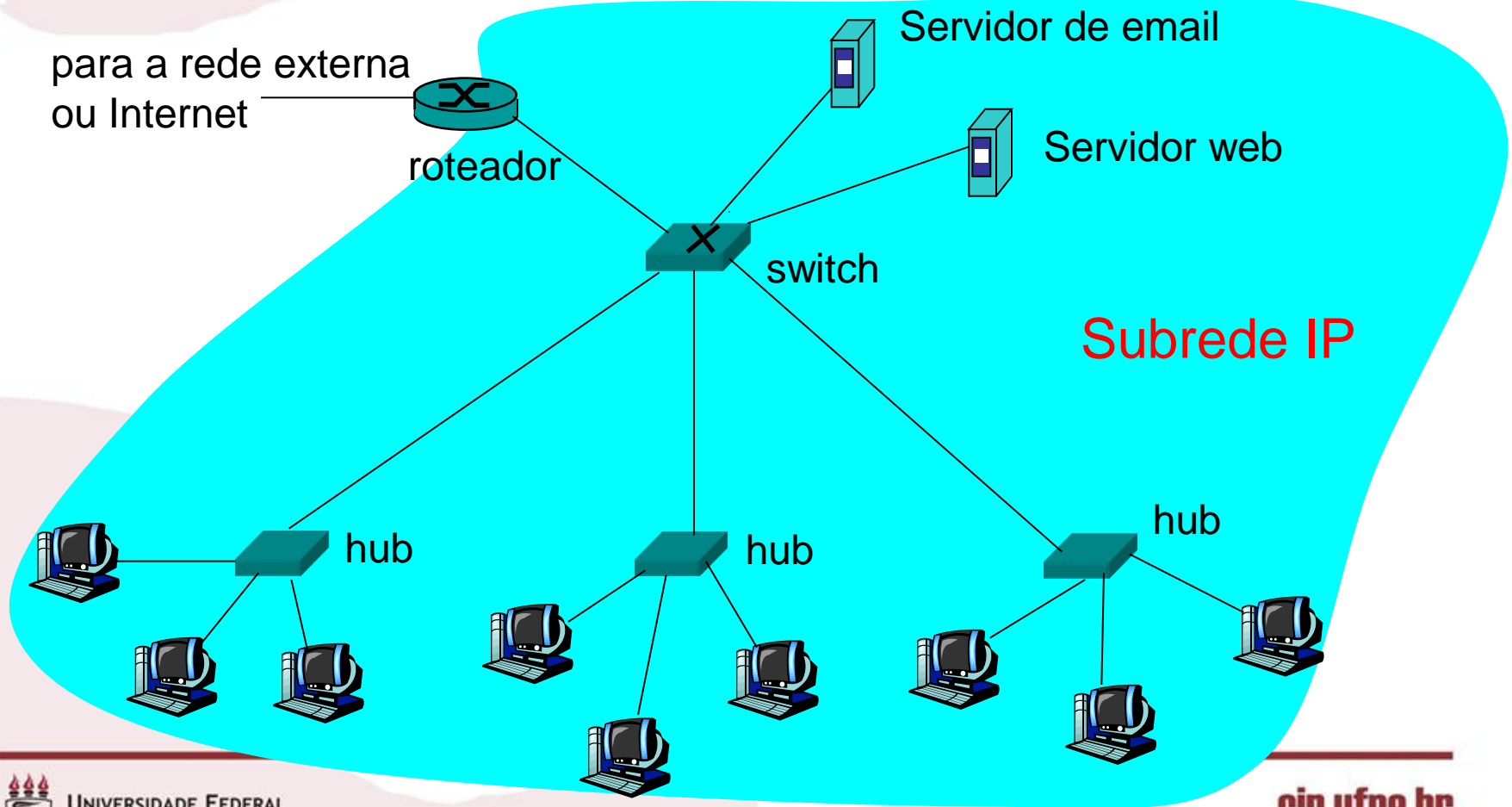
Switching: A-para-A' e B-para-B' simultaneamente, sem colisões



Mais sobre Switches

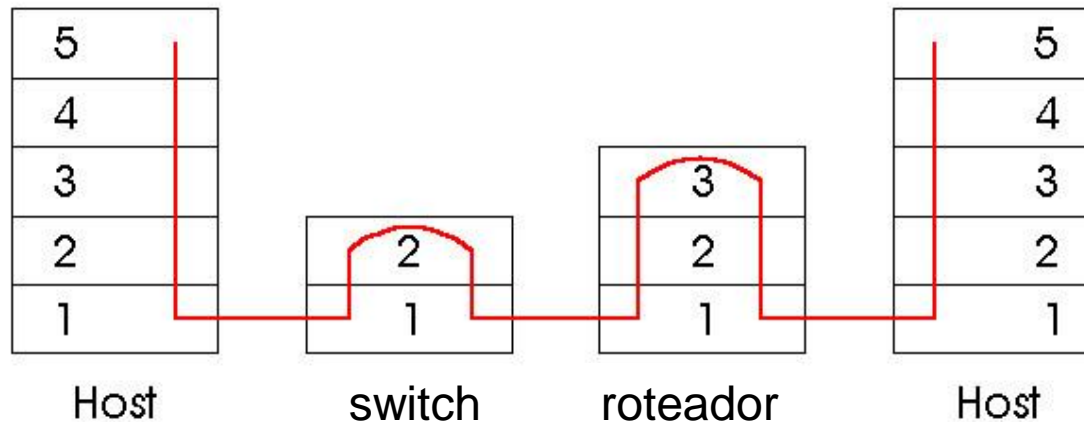
- **cut-through switching:** quadro encaminhado da porta de entrada para a porta de saída antes da recepção do quadro completo (precisa ter recebido o cabeçalho para saber o destino)
 - **redução suave no atraso**
- combinação de interfaces compartilhadas/dedicadas de 10/100/1000 Mbps

Rede Institucional



Switches x Roteadores

- Ambos são dispositivos store-and-forward
 - roteadores: dispositivos da camada de rede (examinam cabeçalhos da camada de rede)
 - switches são dispositivos da camada enlace
- roteadores mantêm tabelas de roteamento, implementam algoritmos de roteamento
- switches mantêm tabelas de encaminhamento, implementam filtragem, algoritmos de “self-learnig”



Sumário de comparações



hubs

roteadores

switches

isolamento
de tráfego

não

sim

sim

plug & play

sim

não

sim

Roteamento
ótimo

não

sim

não

Cut
through

sim

não

sim



Parte 5: Sumário



- princípios por trás dos serviços da camada enlace:
 - Detecção e correção de erro
 - Compartilhamento de canal broadcast: acesso múltiplo
 - Endereçamento na camada enlace
- Instanciação e implementação de tecnologias de rede
 - Ethernet
 - LANS com switches

