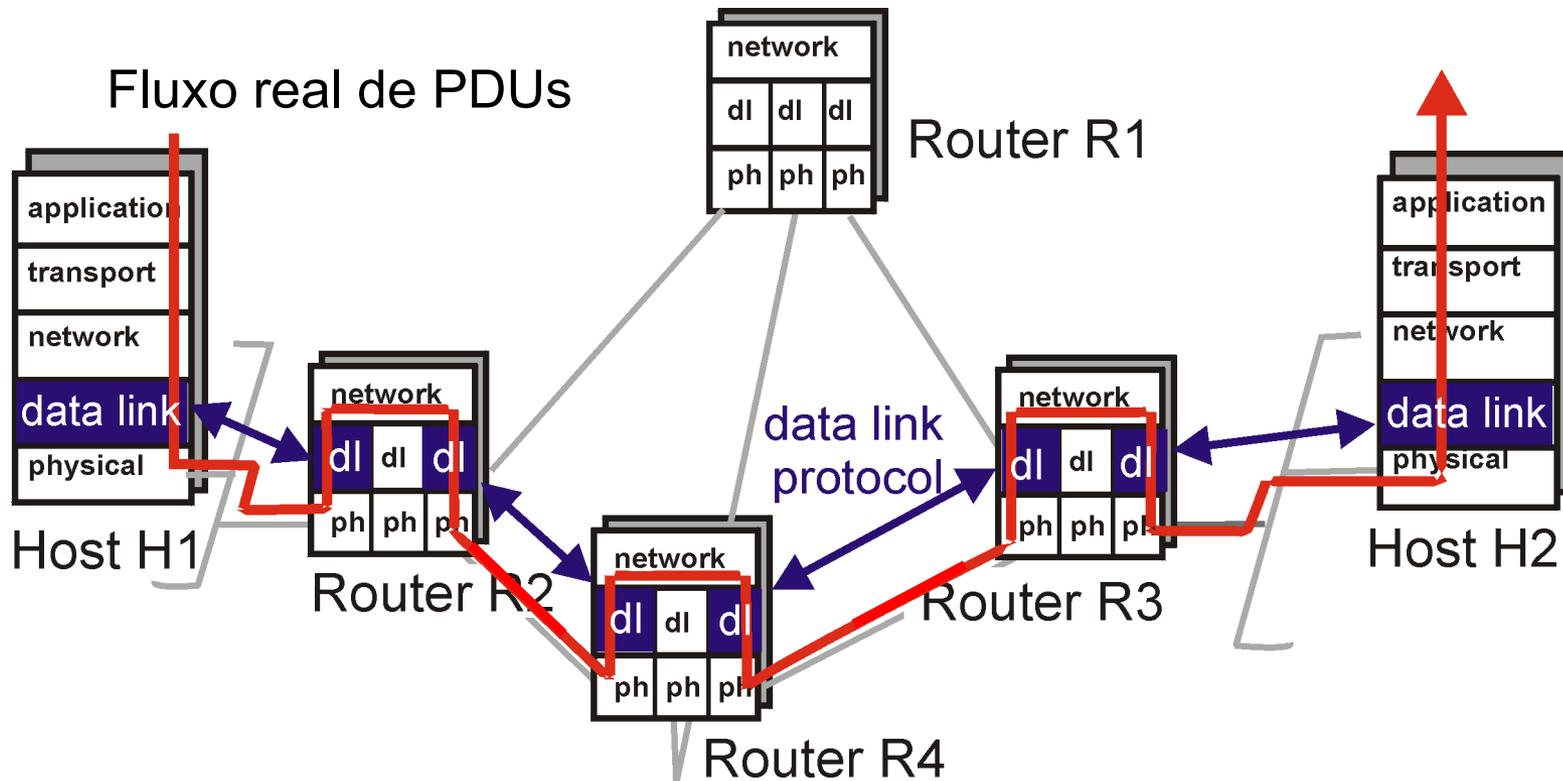


Redes de Computadores

Camada de Enlace

Rede de Computadores

Camada de Enlace



Sumário dos Protocolos MAC

- Como se faz com um canal compartilhado?
 - Particionamento de canal, no tempo, por frequência ou por código
 - Divisão temporal, divisão por código, divisão por frequência
 - Particionamento aleatório (dinâmico):
 - ALOHA, S-ALOHA, CSMA, CSMA/CD
 - Detecção de portadora: fácil em alguns meios físicos (cabos) e difícil em outros (wireless)
 - CSMA/CD usado na rede Ethernet
 - CSMA/CA usado em 802.11
 - Passagem de permissão
 - Polling a partir de um site central, passagem de token

Endereços de LAN

● Endereços IP de 32-bit:

- Endereços da *camada de rede*;
- Usados para levar o datagrama até a rede de destino;
- Estrutura hierárquica.

● Endereço de LAN (ou MAC ou físico):

- Usado para levar o datagrama de uma interface física a outra fisicamente conectada com a primeira (isto é, na mesma rede);
- Endereços MAC com 48 bits (na maioria das LANs) gravados na memória fixa (ROM) do adaptador de rede
- Endereço não-hierárquico e único.

Address Resolution Protocol - ARP

- Cada nó IP (hospedeiro, roteador) numa LAN tem um módulo e uma tabela ARP;
- Tabela ARP: mapeamento de endereços IP/MAC para alguns nós da LAN
 - < endereço IP; endereço MAC; TTL >
- TTL (*Time To Live*): tempo depois do qual o mapeamento de endereços será esquecido (tipicamente 20 min)

Funcionamento do ARP

- A quer enviar um datagrama para B, e o endereço MAC de B não está na tabela ARP de A;
- A faz *broadcast* de pacote de consulta ARP, contendo o endereço IP de B:
 - end. MAC de destino = FF-FF-FF-FF-FF-FF;
 - todas as máquinas na LAN recebem a consulta ARP.
- B recebe o pacote ARP, responde para A com seu endereço MAC (de B)
 - Quadro enviado para o endereço MAC de A (*unicast*)
- A faz um cache (salva) o par de endereços IP para MAC em sua tabela ARP até que a informação se torne antiga (expirada) *soft state*: informação que expira (é descartada) sem atualização.
- ARP é “plug-and-play”:
 - Nós criamos suas tabelas ARP sem intervenção do administrador da rede.

Roteamento para outra LAN

- A cria o pacote IP com origem A, destino B;
- A usa ARP para obter o endereço de camada física de R correspondente ao endereço IP 111.111.111.110;
- A cria um quadro *Ethernet* com o endereço físico de R como destino, o quadro *Ethernet* contém o datagrama IP de A para B;
- A camada de enlace de A envia o quadro *Ethernet*;
- A camada de enlace de R recebe o quadro *Ethernet*;
- R remove o datagrama IP do quadro *Ethernet*, verifica que ele se destina a B;
- R usa ARP para obter o endereço físico de B;
- R cria quadro contendo um datagrama de A para B e envia para B.

DHCP

- Protocolo cliente-servidor;
- Um cliente é um *host* que acabou de chegar e quer obter informações sobre a configuração de rede, incluindo um endereço IP para si mesmo;
- Algumas redes utilizam um *agent relay* DHCP (geralmente um roteador) que encaminha as mensagens de e para o servidor DHCP que se encontra em outra rede;

Etapas da Descoberta de um Endereço

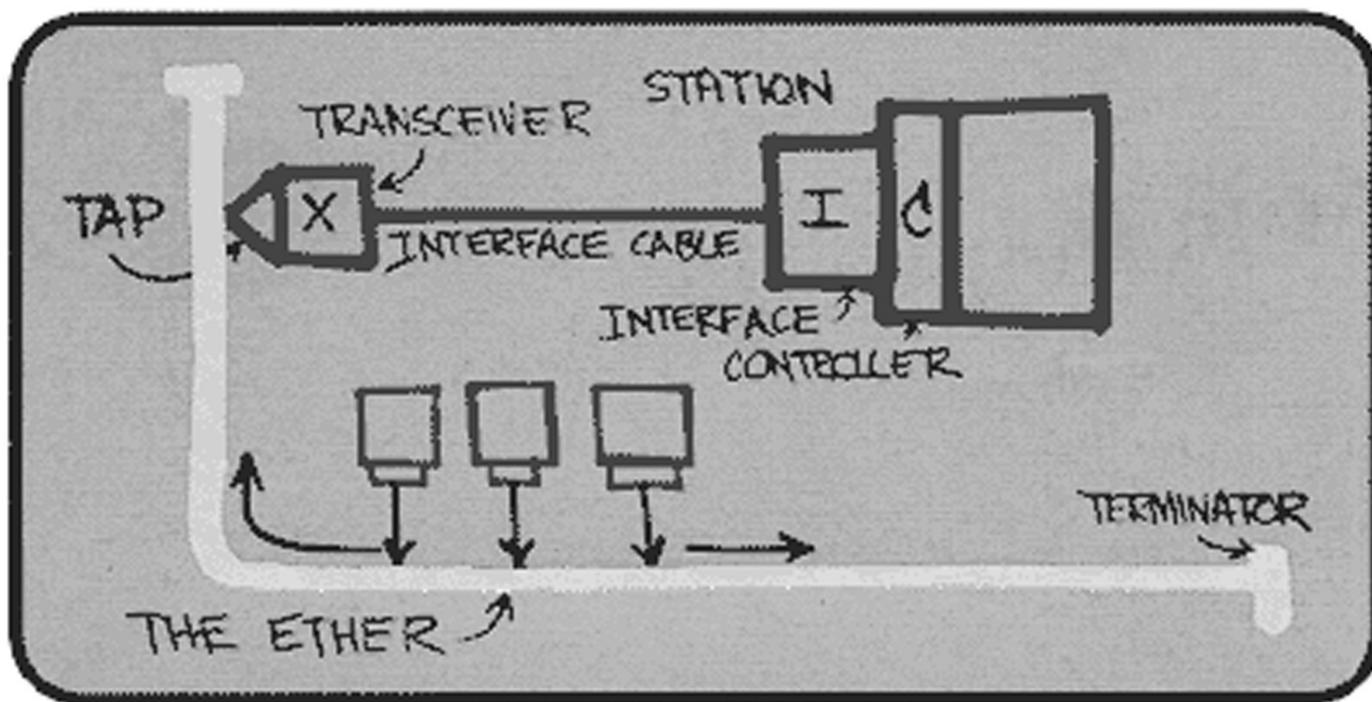
- Descoberta de servidor DHCP
 - Através de uma **mensagem de descoberta DHCP** que um cliente envia dentro de um pacote UDP à porta 67, é enviado pela rede com endereço de *broadcast* de destino e origem com 0.0.0.0;
- Oferta(s) de servidor DHCP
 - Um servidor DHCP que receba a mensagem de descoberta DHCP responde com uma **mensagem de oferta DHCP**, contendo um endereço IP, máscara de rede, tempo do aluguel do endereço IP e outras informações de rede (se necessário);
- Requisição DHCP
 - O cliente escolhe entre as ofertas e responde ao servidor da oferta selecionada com a **mensagem de requisição DHCP**;
- DHCP ACK
 - O servidor responde à mensagem de requisição DHCP com uma mensagem **DCHP ACK**, confirmando os parâmetros requisitados.

Ethernet

- Tecnologia de rede local “dominante” :
 - Barato R\$20 por 100 Mbps!
 - Primeira tecnologia de LAN largamente usada;
 - Mais simples e mais barata que LANs com token e ATM;
 - Velocidade crescente: 10 Mbps – 10 Gbps.

Rede de Computadores

Esboço da *Ethernet* por Bob Metcalf



Rede de Computadores

Topologia *Ethernet*

- Topologia de bus popular em meados dos anos 90;
- Agora a topologia em estrela prevalece;
- Opções de conexão: hub ou switch.



Quadro *Ethernet*

- Adaptador do transmissor encapsula o datagrama IP (ou outro pacote de protocolo da camada de rede) num quadro Ethernet;
- Preâmbulo: 8 bytes
 - 7 bytes com padrão 10101010 seguido por um byte com padrão 10101011;
 - usado para sincronizar as taxas de relógio do transmissor e do receptor.



Quadro *Ethernet*

- Endereços: 6 bytes
 - Se o adaptador recebe um quadro com endereço de destino coincidente ou com endereço de broadcast (ex., pacote ARP), ele passa o dado no quadro para o protocolo da camada de rede;
- Tipo: indica o protocolo da camada superior; geralmente é o protocolo IP, mas outros podem ser suportados, tais como Novell IPX e AppleTalk);
- CRC: verificado no receptor; se um erro é detectado, o quadro é simplesmente descartado.

Serviço *Ethernet*

- Sem conexão: não ocorre conexão entre o adaptador transmissor e o receptor;
- Não confiável: adaptador receptor não envia ACKs ou NACKs para o adaptador transmissor;
 - O fluxo de datagramas que passa para a camada de rede pode deixar lacunas;
 - Lacunas serão preenchidas se a aplicação estiver usando TCP;
 - Caso contrário, a aplicação verá as lacunas.

CSMA/CD

- CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access/Colision Detection* – Acesso múltiplo com detecção de portadora com detecção de colisão);
- Adaptador não transmite se ele detectar algum outro adaptador transmitindo, isto é, *carrier sense*;
- O adaptador transmissor aborta quando detecta outro adaptador transmitindo, isto é, *collision detection*;
- Antes de tentar uma retransmissão, o adaptador espera um período aleatório, isto é, *random access*;

10Base T e 100Base T

- Taxa de 10/100 Mbps; chamado mais tarde de “*fast ethernet*”;
- T significa “*Twisted Pair*” (par de fios trançados de cobre);
- Nós se conectam a um *hub*: “topologia em estrela”; 100 m é a distância máxima entre os nós e o *hub*;

HUBS

- *Hubs* são essencialmente repetidores de camada física:
 - Bits que chegam de um enlace se propagam para todos os outros enlaces;
 - Com a mesma taxa;
 - Não possuem **armazenagem de quadros**;
 - Não há CSMA/CD no hub: adaptadores detectam colisões;
 - Provê funcionalidade de gerenciamento de rede.

Gigabit *Ethernet*

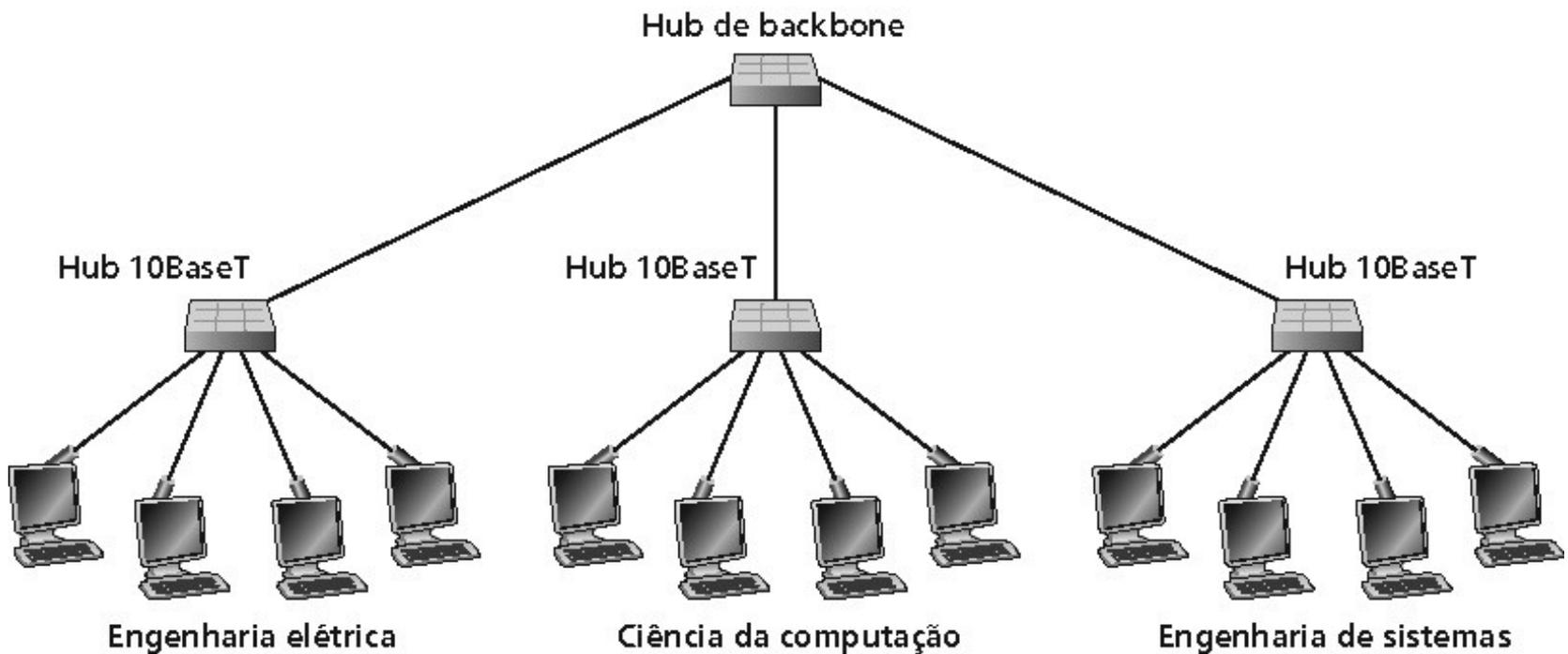
- Usa o formato do quadro do *Ethernet* padrão;
- Permite enlaces ponto-a-ponto e canais de múltiplo acesso compartilhados;
- No modo compartilhado, o CSMA/CD é usado; exige pequenas distâncias entre os nós para ser eficiente;
- Usa *hubs*, chamados aqui de Distribuidores com Armazenagem “*Buffered Distributors*”;
- *Full-duplex* a 1 Gbps para enlaces ponto-a-ponto;
- 10 Gbps agora!

Interconexão com *Hubs*

- *Hub de backbone* interconecta segmentos de LAN;
- Estende a distância máxima entre os nós;
- No entanto, domínios de colisão individuais tornam-se um único e grande domínio de colisão;
- Não pode interconectar 10BaseT e 100BaseT;

Rede de Computadores

Interconexão com *Hubs*

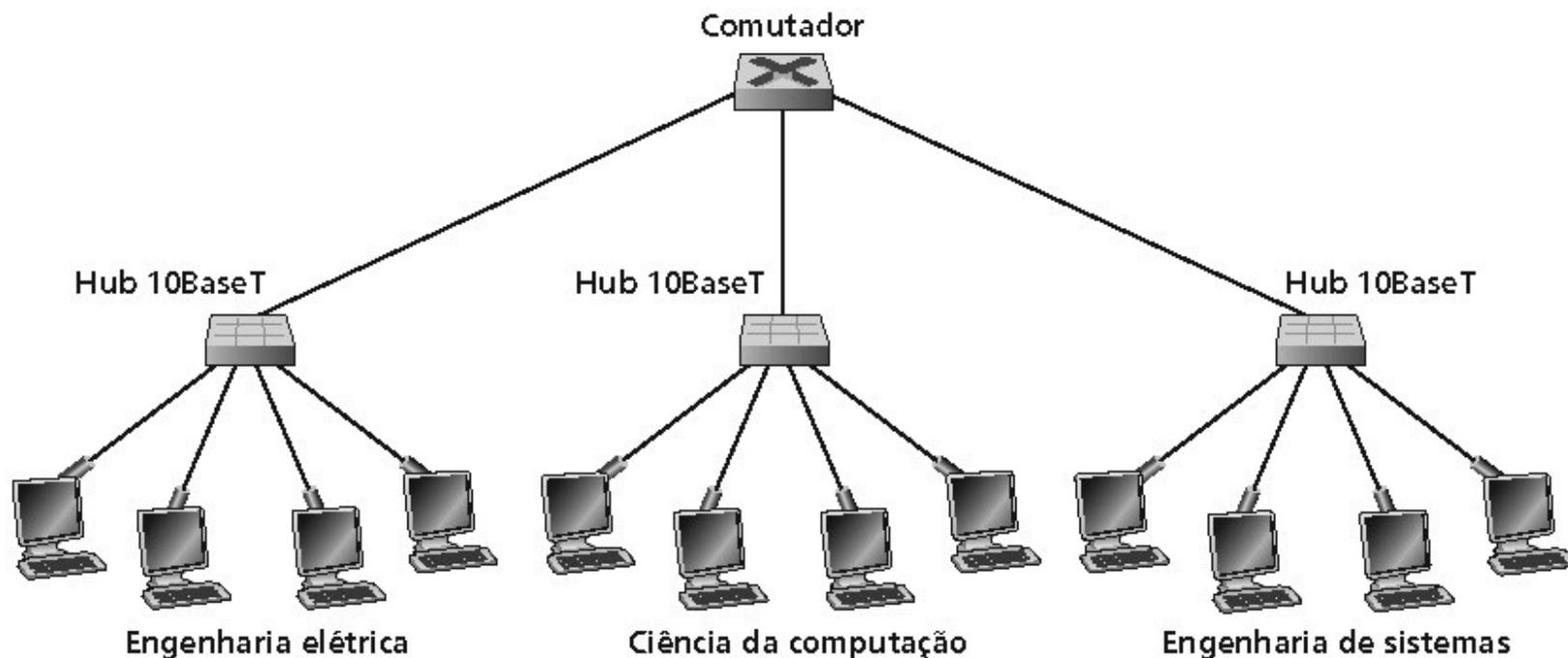


SWITCH

- Dispositivo de camada de enlace:
 - Armazena e encaminha quadros *Ethernet*;
 - Examina o cabeçalho do quadro e seletivamente encaminha o quadro baseado no endereço MAC de destino;
 - Quando um quadro está para ser encaminhado no segmento, usa CSMA/CD para acessar o segmento;
- Transparente:
 - Hospedeiros são inconscientes da presença dos *switches*
- *Plug-and-play, self-learning* (auto-aprendizado)
 - *Switches* não precisam ser configurados

Rede de Computadores

Encaminhamento



Legenda:  Link-layer switch

Auto-Aprendizado

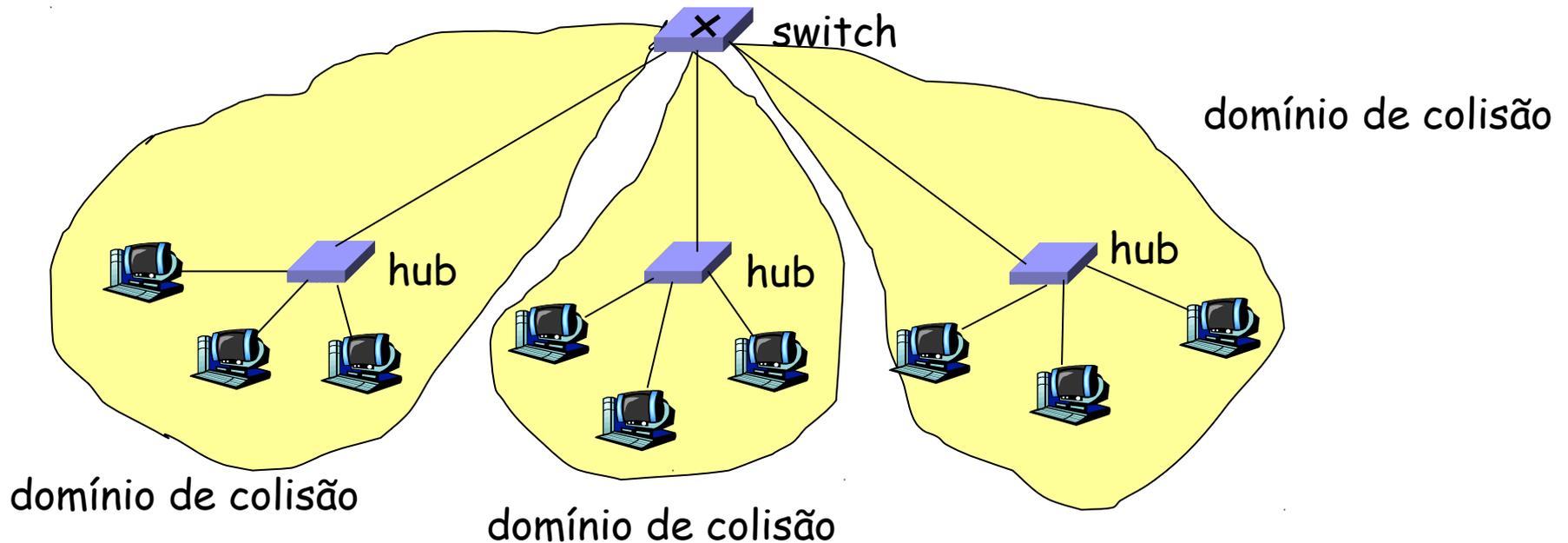
- Um *switch* possui uma tabela de *switch*;
- Entrada na tabela do *switch*:
 - endereço MAC, interface, marca de tempo;
 - Entradas expiradas na tabela são descartadas (TTL pode ser 60 min).
- *Switch aprende* quais hospedeiros podem ser alcançados através de suas interfaces:
 - Quando recebe um quadro, o *switch* “aprende” a localização do transmissor: segmento da LAN que chega;
 - Registra o par transmissor/localização na tabela.
- *Full-Duplex* e sem colisões.

Isolação de Tráfego

- A instalação do *switch* quebra as sub-redes em segmentos de LAN;
- *Switch* filtra pacotes:
 - Alguns quadros do mesmo segmento de LAN não são usualmente encaminhados para outros segmento de LAN;
 - Segmentos se tornam separados em domínios de colisão.

Rede de Computadores

Segmentação

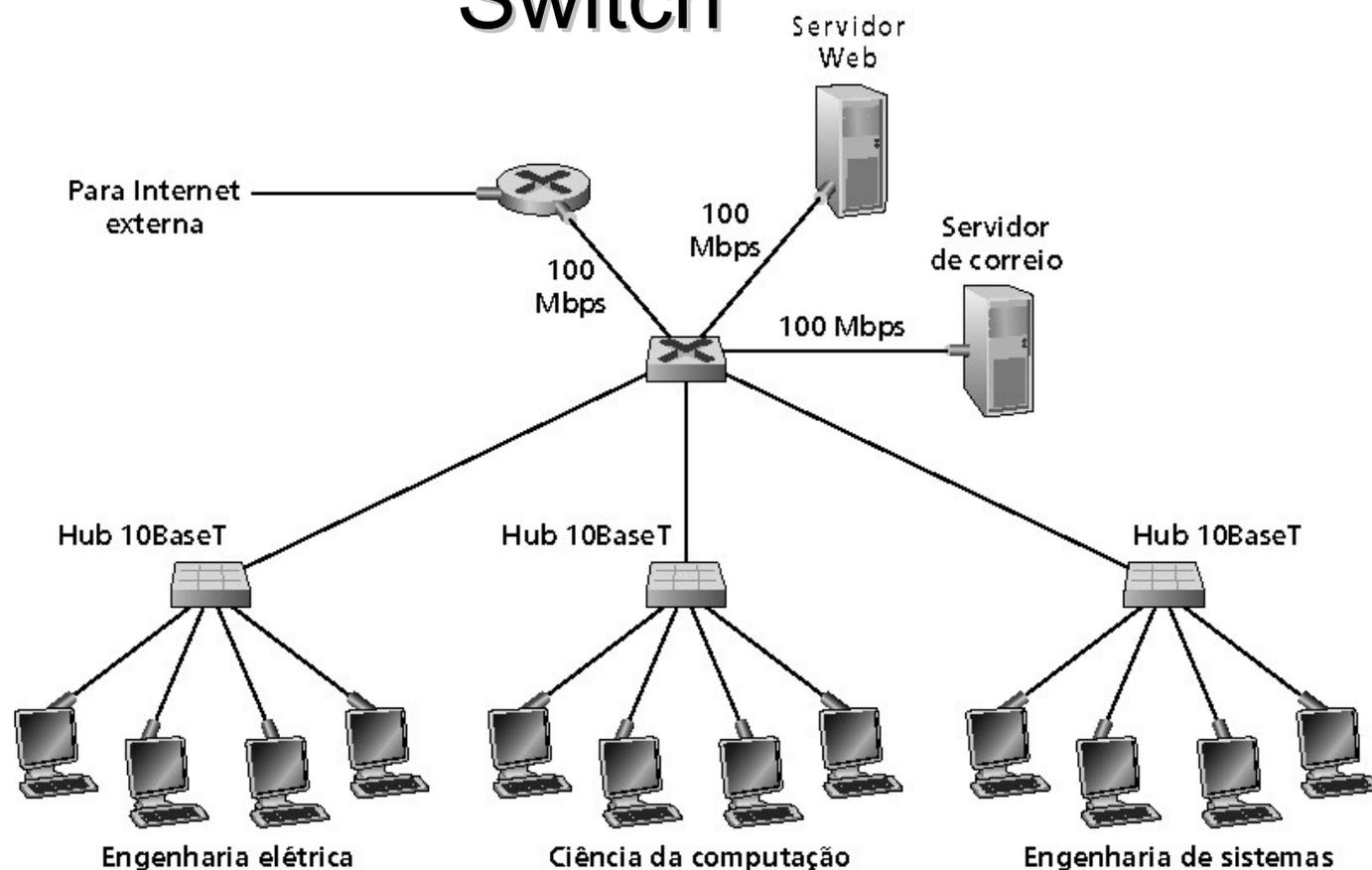


Características de *Switches*

- *Cut-Through*: O *switch* lê somente a parte do cabeçalho que contém os endereços e o encaminha ao destino (mais rápido que o *store-and-forward*);
- *Store-and-Forward*: Tipo mais comum de funcionamento, o *switch* lê todo o quadro antes de enviá-lo.

Rede de Computadores

Exemplo de Rede Segmentada com Switch



Switches versus Roteadores

- Ambos são dispositivos *store-and-forward*:
 - Roteadores: dispositivos de camada de rede (examinam cabeçalhos da camada de rede);
 - *Switches* são dispositivos da camada de enlace.
- Roteadores mantêm tabelas de roteamento, implementam algoritmos de roteamento;
- *Switches* mantêm tabelas de *switch*, implementam filtragem, algoritmos de aprendizagem

Switches versus Roteadores

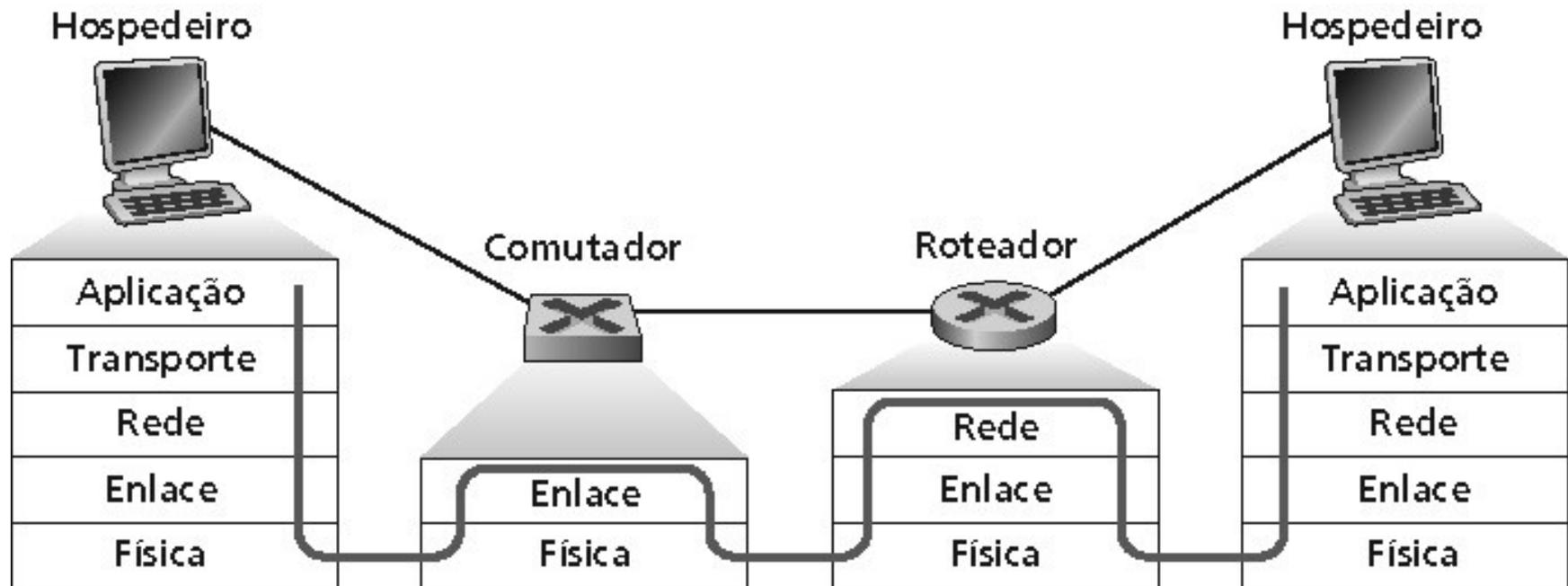


Tabela de Comparação

	<u>hubs</u>	<u>roteadores</u>	<u>switches</u>
isolação de tráfego	não	sim	sim
<i>plug & play</i>	sim	não	sim
roteamento ótimo	não	sim	não
<i>cut through</i>	sim	não	sim

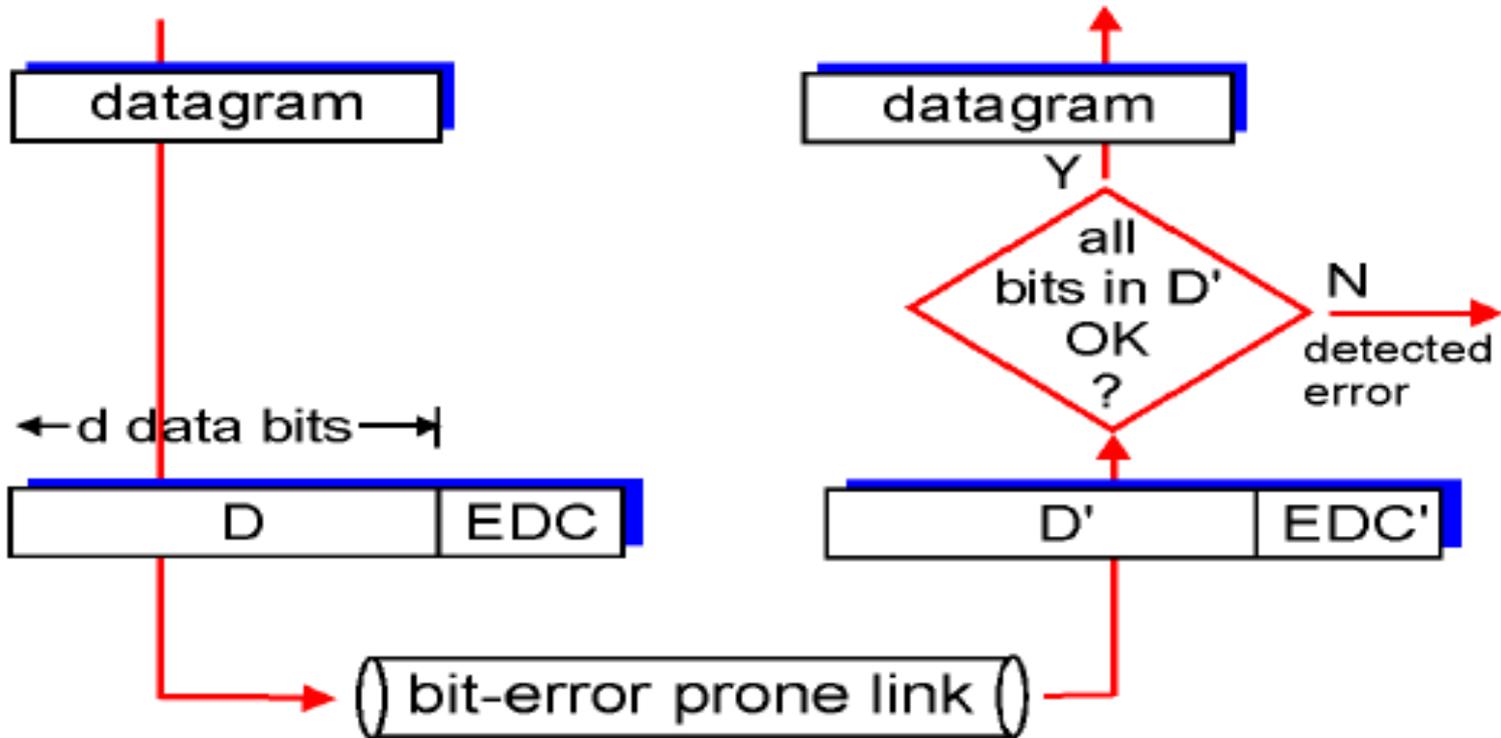
Detecção e Correção de Erros

- Detecção e Correção de Erros no nível de bits
 - Detecção da corrupção de bits em um quadro da camada de enlace enviado de um nó para outro nó vizinho fisicamente ligado a ele.
- Para que os dados enviados fiquem protegidos contra erros de bits, eles são aumentados com bits de detecção e de correção (*Error Detection-and-Correction bits* – EDC).
- Além dos dados enviados, vários campos do cabeçalho são protegidos.

Rede de Computadores

- Mesmo com a utilização de bits de detecção de erros, ainda há a possibilidade de ocorrência de erros de bits não detectados.
- Técnicas mais sofisticadas de detecção e correção de erros ficam sujeitas a uma sobrecarga maior.

Rede de Computadores



EDC – *Error Detection and Correction bits* (Redundância)

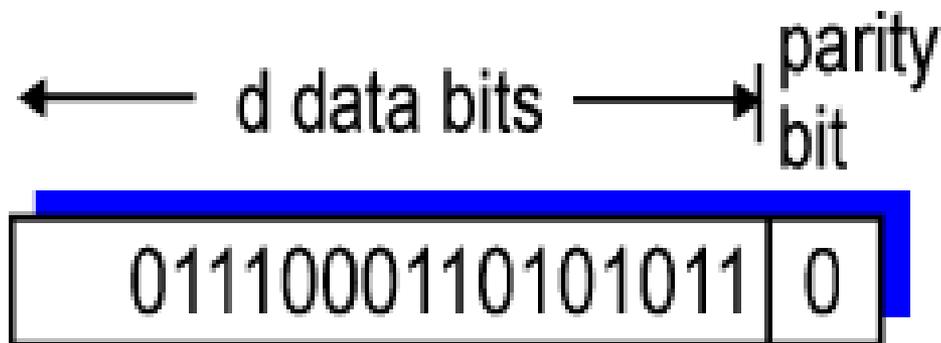
D - Dados

Verificação de Paridade

- Maneira mais simples de detectar erros é utilizar um único bit de paridade.
- Paridade Par
 - Acrescenta um bit para que o somatório dos 1's seja par.
- Paridade Impar
 - Acrescenta um bit para que o somatório dos 1's seja impar.

Rede de Computadores

- Não detecta um número par de erros na mesma sequência de bits.



Rede de Computadores

- Como é comprovado que a maioria dos erros ocorrem em rajadas, é necessário um esquema de detecção de erros mais robusto.
- **Paridade Bidimensional**, generalização bidimensional do esquema de paridade de bit único.
- O receptor não somente pode detectar que ocorreu um erro de um bit único, como identificar o bit e corrigí-lo.

Rede de Computadores



1	0	1	0	1	1
1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	0	1
1	0	1	0	1	0

no errors

1	0	1	0	1	1
1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	0	1
1	0	1	0	1	0

parity
error

parity
error

*correctable
single bit error*

Rede de Computadores

- A paridade bidimensional pode detectar qualquer combinação de dois erros em um pacote.
- A capacidade do receptor para detectar e corrigir erros é conhecida como **correção de erros de repasse** (*Forward Error Correction – FEC*).
- As técnicas FEC são importantes pois reduzem o número de retransmissões.

Soma de Verificação (*Check Sum*)

- Nas técnicas de somas de verificação, os bits são tratados como uma sequência de números inteiros de k bits.
- Um método simples é somar os inteiros de k bits e usar o total resultante como bits de correção de erros, a **soma de verificação da Internet** usa essa abordagem.

● Soma de Verificação da Internet, RFC 1071

- Bytes de dados são tratados como inteiros de 16 bits e somados.
- O complemento de 1 dessa soma então forma a soma de verificação da internet, que é carregada no cabeçalho do segmento.
- O receptor verifica a soma de verificação calculando os complementos de 1 da soma dos dados recebidos e verificando se o resultado contém somente bits 1.

Rede de Computadores

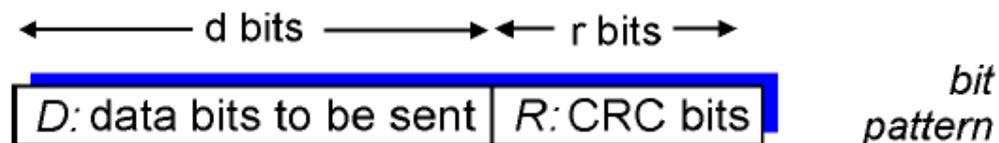
- Métodos de soma de verificação exigem relativamente pouca sobrecarga de pacote.
- Oferecem proteção relativamente baixa contra erros.
- É utilizada na camada de transporte devido a facilidade de implementação via software.

Verificação de Redundância Cíclica

- *Cyclic Redundancy Check* – CRC.
- Também conhecido como código polinomial
 - Considera a cadeia de bits como um polinômio cujos coeficientes são os valores 0 e 1.
 - As operações na cadeia de bits interpretadas como aritmética polinomial.

Rede de Computadores

- Enxerga os bits de dados , D, como um número binário.
- Escolhe um gerador de $r + 1$ bits (G)
- Encontrar os bits CRC, R, tal que:
 - $\langle D, R \rangle$ sejam divisíveis por G
 - O receptor saiba que G divide $\langle D, R \rangle$, resto diferente de 0 caracteriza um erro.
 - Pode detectar erros de rajada menores que $r + 1$ bits
- Largamente utilizado



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

mathematical formula

Rede de Computadores

Exemplo de CRC

Want:

$$D2^r \text{ XOR } \mathcal{R} = nG$$

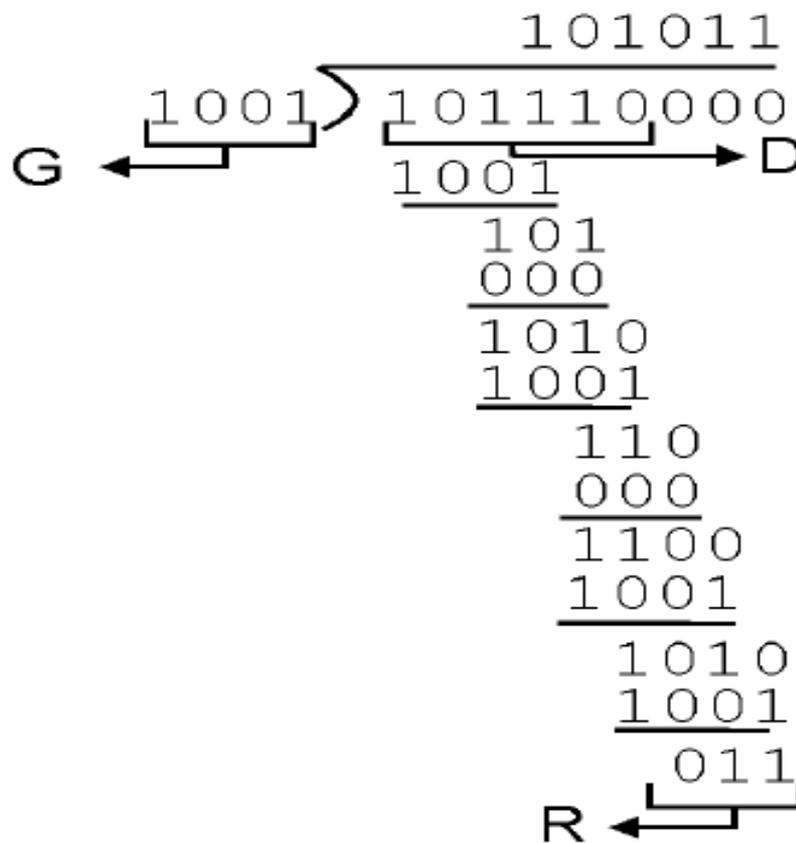
equivalently:

$$D2^r = nG \text{ XOR } \mathcal{R}$$

equivalently:

*if we divide $D2^r$ by G ,
want remainder \mathcal{R}*

$$\mathcal{R} = \text{remainder} \left\{ \frac{D2^r}{G} \right.$$



Rede de Computadores

- Padrões internacionais foram definidos para geradores (G) de 8, 12, 16 e 32 bits.
- Uma CRC de 8 bits é utilizada para proteger o cabeçalho de 5 bytes em células ATM.
- Uma série de protocolos do IEEE da camada de enlace usa o um padrão CRC 32 de 32 bits.