

Camada de Enlace



Prof. Dr. Bruno Rodrigues



Introdução a camada de Enlaces e serviços

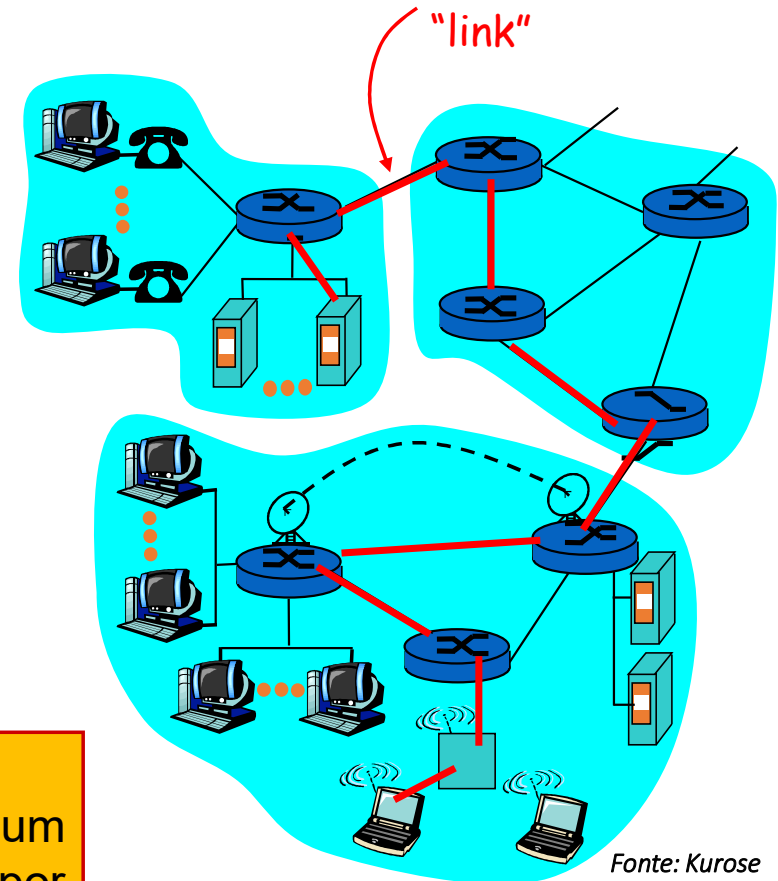


Camada de enlace

Alguma terminologia:

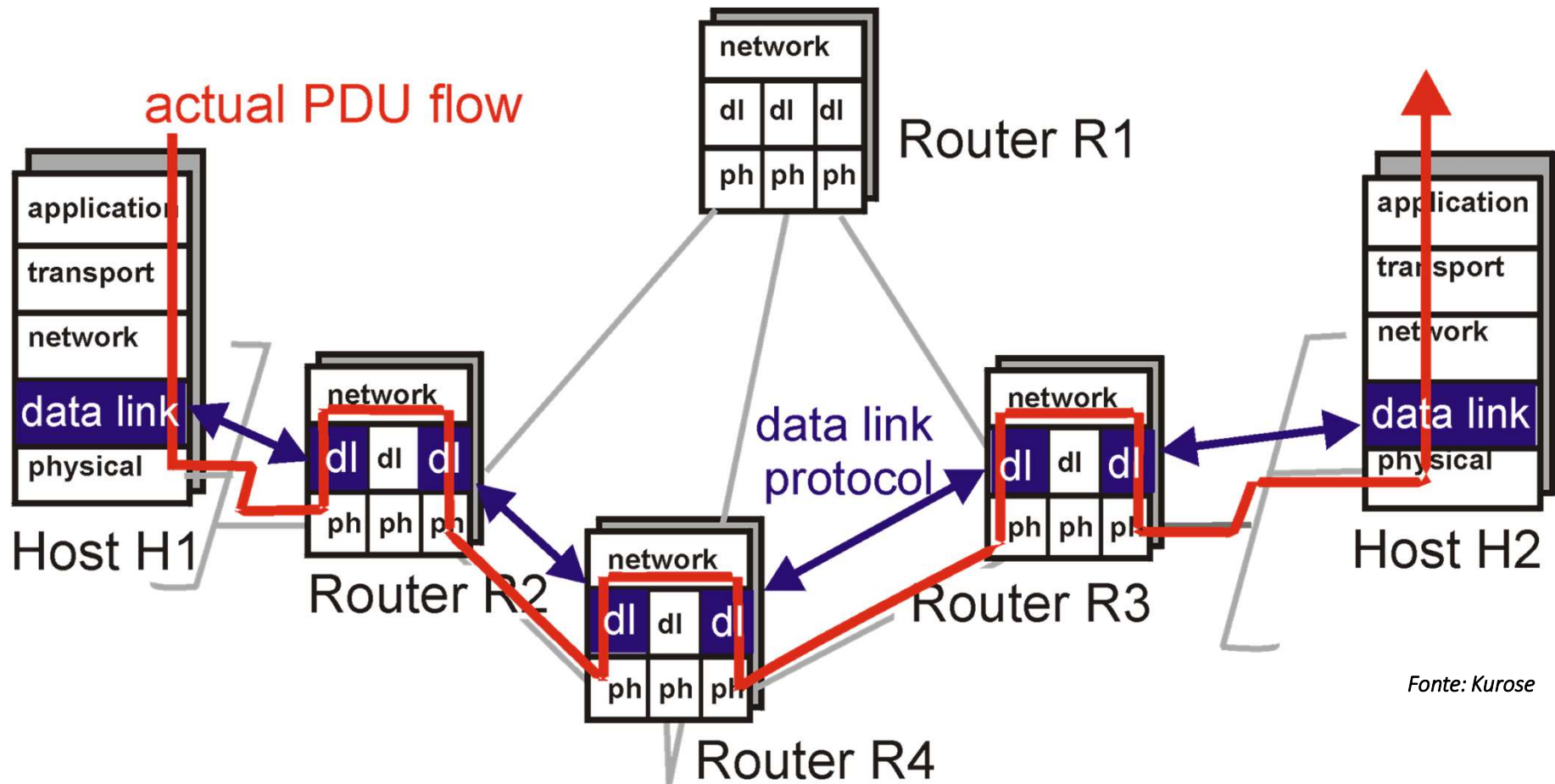
- Hospedeiros e roteadores são **nós**
- Canais de comunicação que se conectam a nós adjacentes pelo caminho de comunicação são **enlaces**
 - enlaces com fio
 - enlaces sem fio
 - LANs
- Pacote na camada-2 é um **quadro**, encapsula datagrama

Camada de enlace de dados tem a responsabilidade de transferir um datagrama de um nó ao nó adjacente por um enlace.



Fonte: Kurose

Camada de enlace



Serviços da camada de enlace



Serviços da camada de enlace

✓ *Enquadramento, acesso ao enlace:*

- Encapsula datagrama no quadro(Frame), incluindo cabeçalho, trailer
- Acesso ao canal de meio compartilhado
- Endereços “MAC” usados nos cabeçalhos de quadro para identificar origem, destino
 - Diferente do endereço IP!

✓ *Entrega confiável entre nós adjacentes*

- Já aprendemos a fazer isso (Camada de transporte)!
- Raramente usado em enlace com pouco erro de bit (fibra, alguns pares trançados)
- Enlaces sem fio: altas taxas de erro

Serviços da camada de enlace

✓ *Enquadramento, acesso ao enlace:*

- Encapsula datagrama no quadro(Frame), incluindo cabeçalho, trailer
- Acesso ao canal de meio compartilhado
- Endereços “MAC” usados nos cabeçalhos de quadro para identificar origem, destino
 - Diferente do endereço IP!

✓ *Entrega confiável entre nós adjacentes*

- Já aprendemos a fazer isso (Camada de transporte)!
- Raramente usado em enlace com pouco erro de bit (fibra, alguns pares trançados)
- Enlaces sem fio: altas taxas de erro

Por que confiabilidade em nível de enlace e fim a fim?

Serviços da camada de enlace

✓ **Controle de fluxo:**

- Controle entre nós de emissão e recepção adjacentes

✓ **Detecção de erro:**

- Erros causados por atenuação de sinal, ruído.
- Receptor detecta presença de erros:
 - *pede ao remetente para retransmitir ou descarta quadro*

✓ **Correção de erro:**

- Receptor identifica *e corrige* erro(s) de bit sem lançar mão da retransmissão

✓ **Half-duplex e full-duplex**

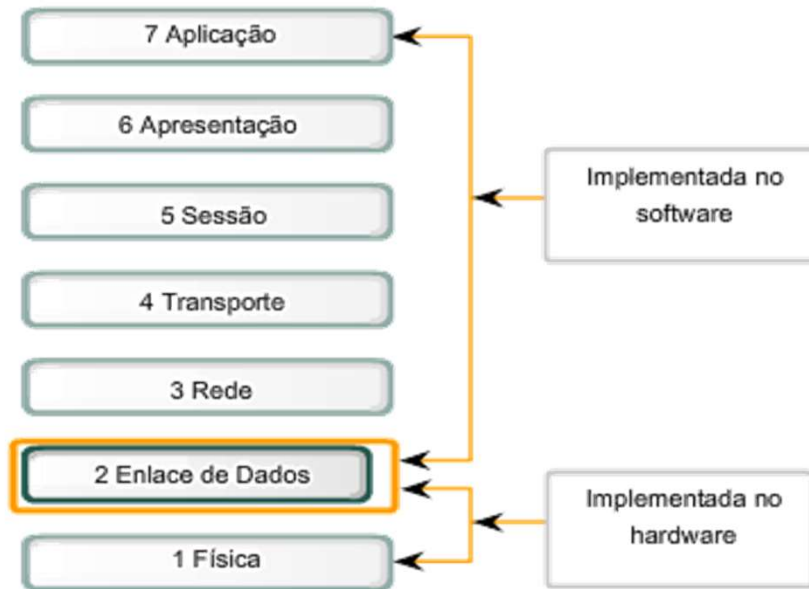
- Com *half-duplex*, os nós nas duas extremidades do enlace podem transmitir, mas não ao mesmo tempo

Camada de enlace

Conexão de Serviços da Camada Superior ao Meio

A camada de Enlace de Dados une as camadas de software e hardware.

Dispositivos físicos dedicados à camada de Enlace de Dados têm componentes de hardware e software.

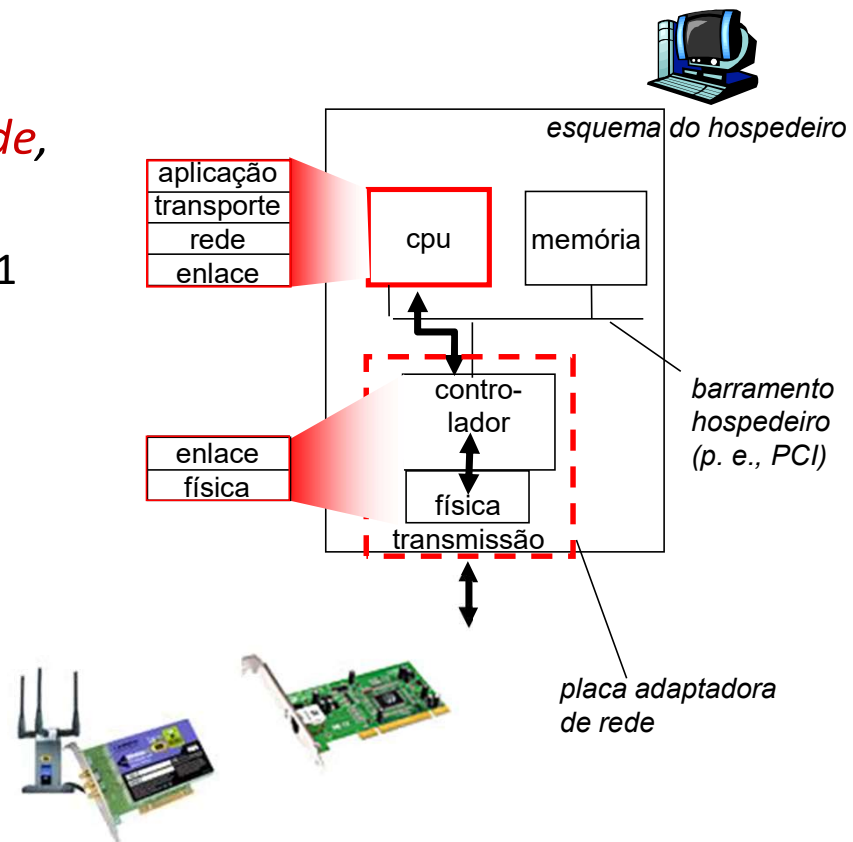


NIC do PC *Fonte: Cisco*

Camada de enlace

Implementação da camada

- Em todo e qualquer hosp.
- Camada de enlace implementada no “adaptador” (ou *placa de interface de rede*, NIC)
 - placa Ethernet, placa PCMCIA, placa 802.11
 - implementa camada de enlace, física
- Conecta aos barramentos de sistema do hospedeiro
- Combinação de hardware, software, firmware



Camada de enlace

Implementação da camada

A camada de enlace de dados da Ethernet consiste na *subcamada LLC* e na *subcamada MAC*.

- A *Subcamada LLC (Logic Link Control)* é responsável Controle de Fluxo e erros, pelo enquadramento.
- A *subcamada MAC (Media Access Control)* é responsável pela operação do método de acesso CSMA/CD e também pelo enquadramento.

Camada de enlace

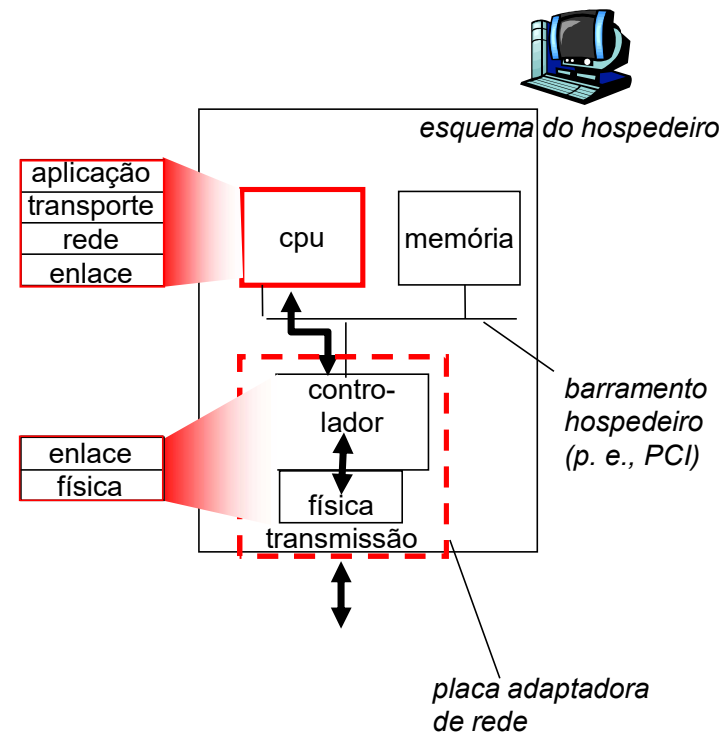
Implementação da camada

LLC:

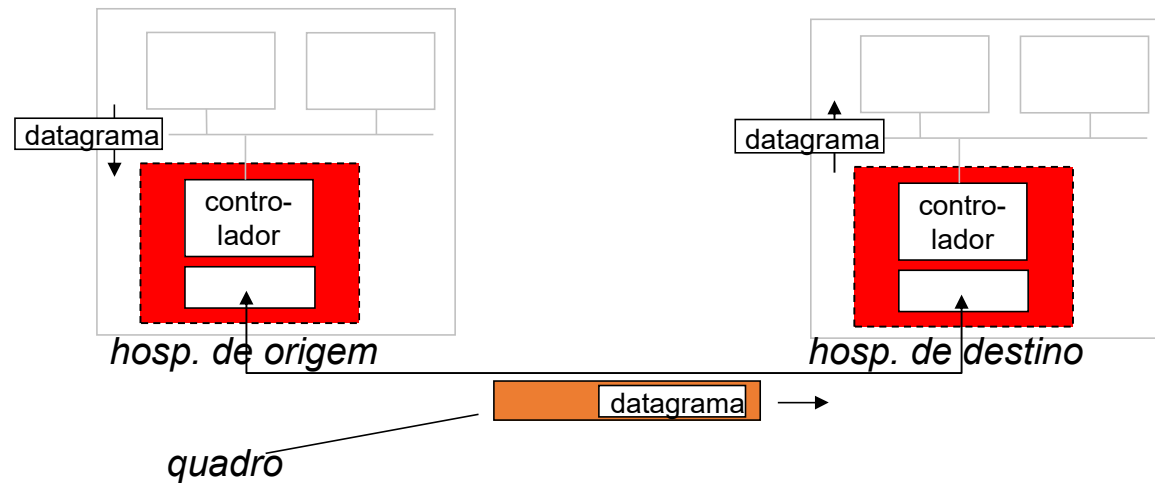
- Trata da comunicação entre as camadas superiores e as camadas inferiores.
- O LLC é implementado no software, e sua implementação independe do hardware. Em um computador, o LLC pode ser considerado o software do driver para a placa de rede.

MAC:

- Constitui a subcamada inferior da camada de enlace de dados.
- O MAC é implementado pelo hardware, normalmente na placa de rede do computador.
- Os detalhes estão especificados nos padrões IEEE 802.3.



Serviços da camada de enlace



Fonte: Kurose

- **Lado emissor:**

- Encapsula datagrama no quadro
- Inclui bits de verificação de erro, rdt, controle de fluxo etc.

- **Lado receptor**

- Procura erros, rdt, controle de fluxo etc.
- Extrai datagrama, passa para camada superior no lado receptor

Detecção e correção de erros



Camada de Enlace: Detecção e correção de erros

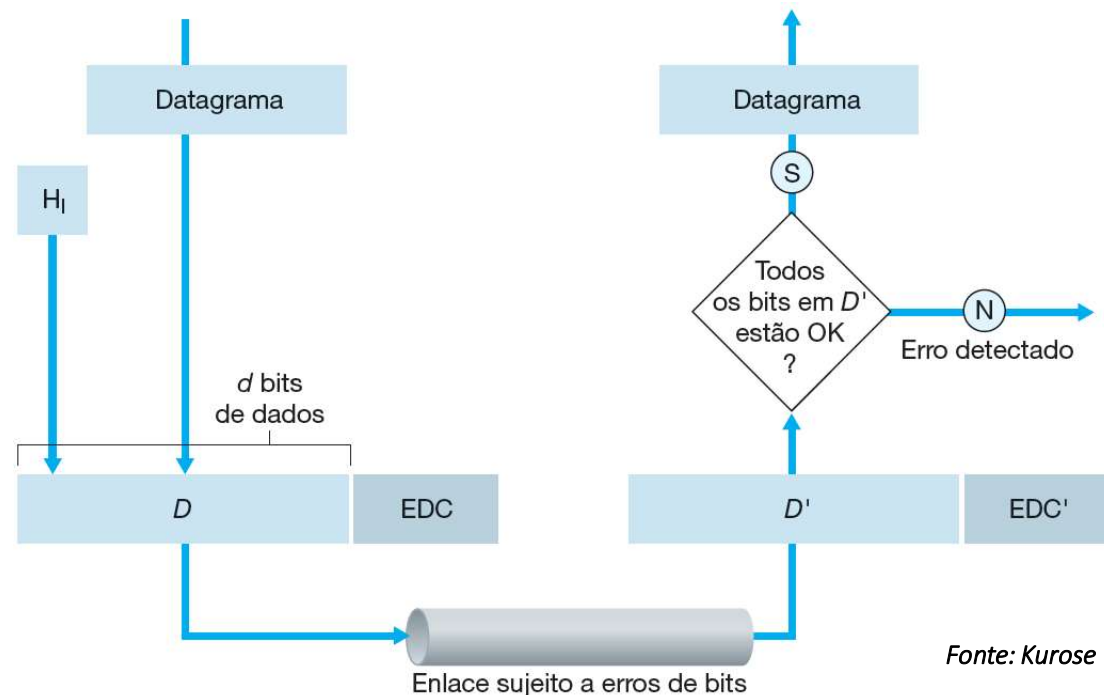
D = Dados protegidos por verificação de erro, podem incluir cabeçalho

EDC = Bits de detecção e correção de erros (redundância)

Detecção de erro não 100% confiável!

✓ protocolo pode perder alguns erros, mas raramente

✓ maior campo EDC gera melhor detecção e correção



Fonte: Kurose

Camada de Enlace: Detecção e correção de erros

Paridade bidimensional:

Detecta e *corrige* erros de único bit

	Paridade de linha →			
Paridade de coluna ↓	$d_{1,1}$	...	$d_{1,j}$	$d_{1,j+1}$
	$d_{2,1}$	...	$d_{2,j}$	$d_{2,j+1}$

	$d_{i,1}$	...	$d_{i,j}$	$d_{i,j+1}$
	$d_{i+1,1}$	...	$d_{i+1,j}$	$d_{i+1,j+1}$

Nenhum erro

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

Erro de bit
único corrigível

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

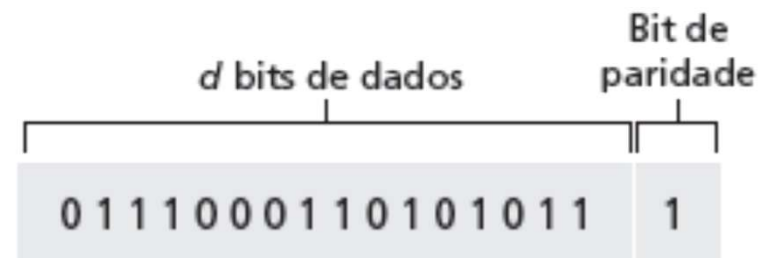
Erro de
paridade

Erro de
paridade

Verificação de paridade

Paridade de único bit:

Detecta erros de único bit



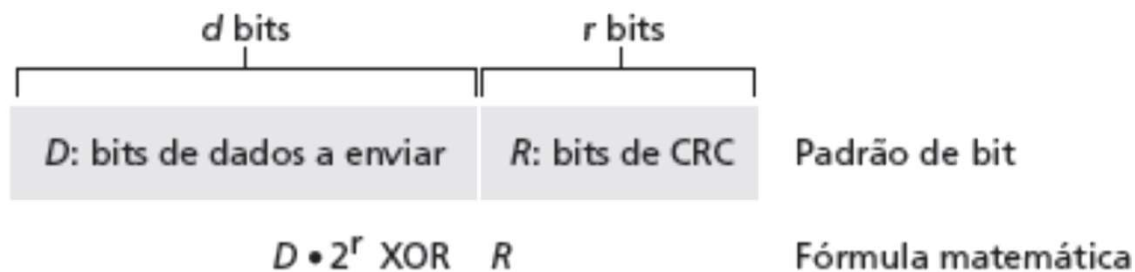
Verificação de redundância cíclica -CRC



Camada de Enlace: Detecção e correção de erros

Verificação de redundância cíclica

- Veja bits de dados, **D**, como um número binário
- Escolha padrão de bits $r + 1$ (gerador), **G**
- Objetivo: escolher r bits de CRC, **R**, tal que
 - $\langle D, R \rangle$ exatamente divisível por G (módulo 2)
 - receptor sabe G , divide $\langle D, R \rangle$ por G . Se resto diferente de zero: erro detectado!
 - pode detectar todos os erros em rajada menores que $r + 1$ bits
- Muito usada na prática (Ethernet, 802.11 WiFi, ATM)



Exemplo de CRC

Queremos:

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

de modo equivalente:

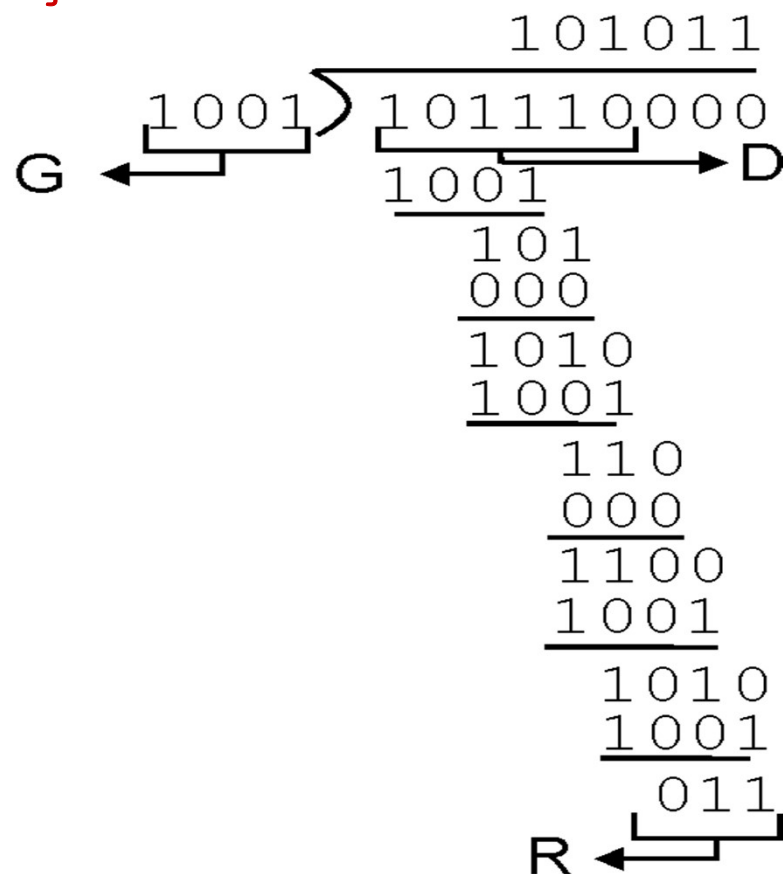
$$D \cdot 2^r = nG \text{ XOR } R$$

de modo equivalente:

se dividirmos $D \cdot 2^r$ por G ,
queremos resto R

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

Verificação de redundância cíclica



Protocollo Ethernet



Protocolo Ethernet

Ethernet é um padrão que define cabeamento e sinais elétricos para a camada física, em formato de pacotes e protocolos para a subcamada de controle de acesso ao meio (Media Access Control - MAC)



Bob Metcalfe

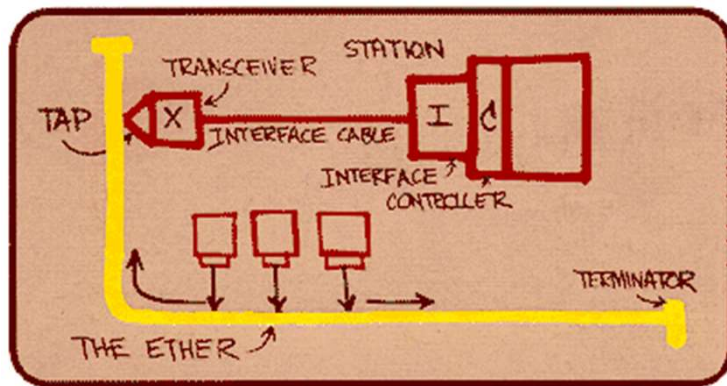
Ao conhecer o projeto do computador da **Xerox PARC (Palo Alto Research Center)**, Metcalfe e David Boggs criaram um padrão para interconectar essas máquinas que ficou conhecido como Ethernet.

Protocolo Ethernet

Padrão utilizado em redes locais para envio de pacotes.

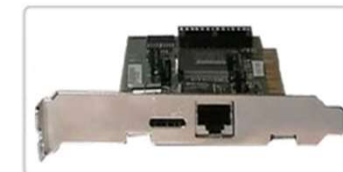
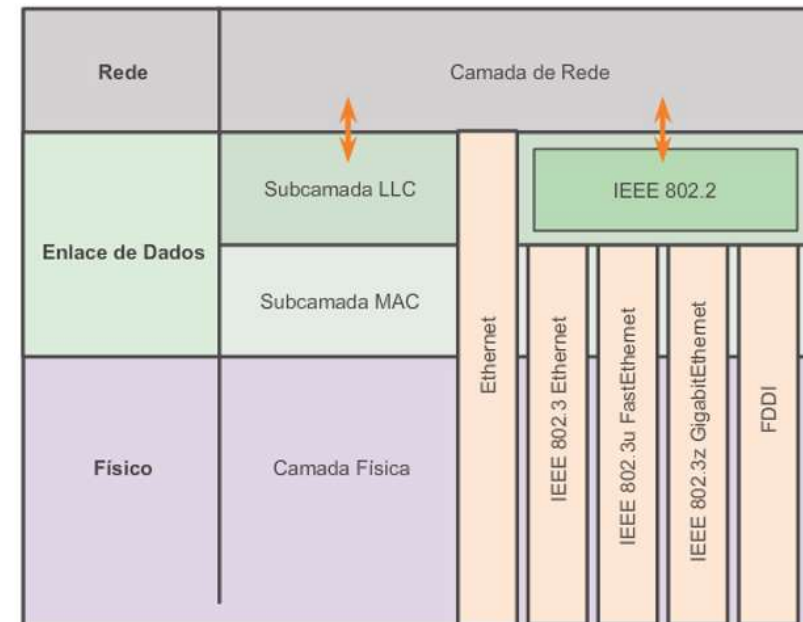
Tecnologia de LAN “dominante”:

- barata: US\$ 20 para NIC
- primeira tecnologia de LAN utilizada em larga escala
- mais simples e mais barata que as LANs de permissão e ATM
- acompanhou corrida da velocidade: 10 Mbps – 10 Gbps



Bob Metcalfe

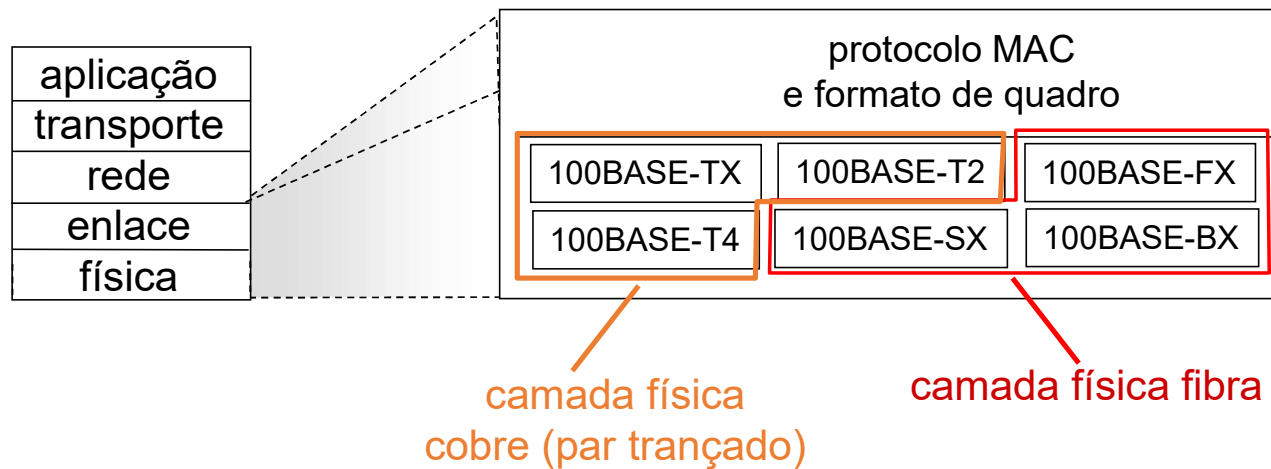
Projeto original da Ethernet de Metcalfe



Protocolo Ethernet

Padrões Ethernet 802.3

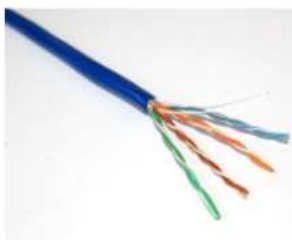
- *Muitos padrões Ethernet diferentes*
 - Protocolo MAC e formato de quadro comuns
 - Diferentes velocidades: 2 Mbps, 10 Mbps, 100 Mbps, 1Gbps, 10G bps
 - Diferentes meios da camada física: fibra, cabo



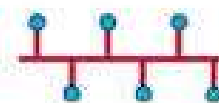
Protocolo Ethernet

Padrões Ethernet 802.3

Implementação	Meio	Comprimento do meio	Codificação
10Base5	Cabo coaxial grosso	500 m	Manchester
10Base2	Cabo coaxial fino	185 m	Manchester
10Base-T	2 UTPs	100 m	Manchester
10Base-F	2 Fibras	2000 m	Manchester



Barramento



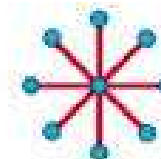
Topologia de bus

Anel



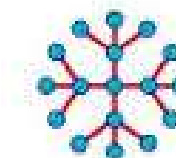
Topologia de anillo

Estrela



Topologia en estrella

Malha



Topologia en estrella extendida



Topologia jerárquica



Topologia en malla

Tipos de Topologías de Red

Protocolo Ethernet

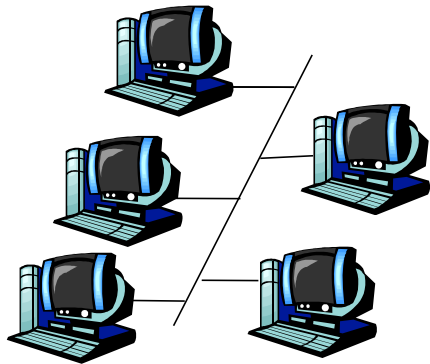
Padrões Ethernet 802.3

Standard	Standard First Released	Data Rate	Topology	Medium
10Base5	DIX-1980, 802.3-1983	10Mb/s	Bus	single 50-ohm coaxial cable (thick Ethernet) (10mm thick)
10Base2	802.3a-1985	10Mb/s	Bus	single 50-ohm RG 58 coaxial cable (thin Ethernet)
10Broad36	802.3b-1985	10Mb/s	Bus	single 75-ohm CATV broadband cable
FOIRL	802.3d-1987	10Mb/s	Star	two optical fibers
1Base5	802.3e-1987	1Mb/s	Star	two pairs of twisted telephone cable
10Base-T	802.3i-1990	10Mb/s	Star	two pairs of 100-ohm Category 3 or better UTP cable
10Base-FL	802.3j-1993	10Mb/s	Star	two optical fibers
10Base-FB	802.3j-1993	10Mb/s	Star	two optical fibers
10Base-FP	802.3j-1993	10Mb/s	Star	two optical fibers
100Base-TX	802.3u-1995	100Mb/s	Star	two pairs of 100-ohm Category 5 UTP cable
100Base-FX	802.3u-1995	100Mb/s	Star	two optical fibers
100Base-T4	802.3u-1995	100Mb/s	Star	four pairs of 100-ohm Category 3 or better UTP cable
100Base-T2	802.3y-1997	100Mb/s	Star	two pairs of 100-ohm Category 3 or better UTP cable
1000Base-LX	802.3z-1998	1Gb/s	Star	long wavelength laser (1300nm) over:
				- 62.5um multi-mode fiber
				- 50um multi-mode fiber
1000Base-SX	802.3z-1998	1Gb/s	Star	short wavelength laser (850nm) over:
				- 62.5um multi-mode fiber
				- 50um multi-mode fiber
1000Base-CX	802.3z-1998	1Gb/s	Star	specialty shielded balanced copper jumper cable assemblies ("twinax" or "short haul copper")
1000Base-T	802.3ab-1999	1Gb/s	Star	four pairs of 100-ohm Category 5 or better cable

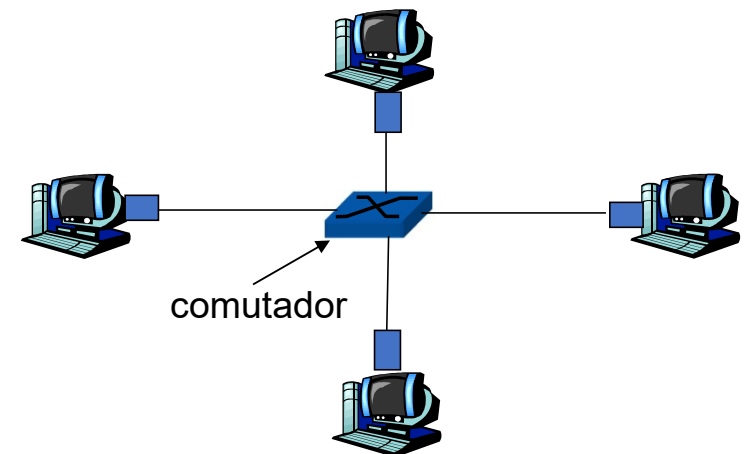
Protocolo Ethernet

Evolução das topologias

- Topologia de barramento popular até meados dos anos 90
 - todos os nós no mesmo domínio de colisão (podem colidir uns com os outros)
- Hoje: topologia de estrela prevalece
 - *comutador* ativo no centro
 - cada “ponta” roda um protocolo Ethernet (separado) – nós não colidem uns com os outros



Inicialmente - barramento: cabo coaxial



Evolução para topologia estrela

Frame Ethernet



Protocolo Ethernet

Estrutura do Frame Ethernet

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



Preâmbulo:

- 7 bytes com padrão 10101010 seguido por um byte com padrão 10101011
- Usado para sincronizar taxas de clock do receptor e emissor

Protocolo Ethernet

Estrutura do Frame Ethernet

- **Endereços:** 6 bytes
 - se adaptador recebe quadro com endereço de destino combinando, ou com endereço de broadcast (p. e., pacote ARP), passa dados do quadro ao protocolo da camada de rede
 - caso contrário, adaptador descarta quadro
- **Tipo:** indica protocolo da camada mais alta (principalmente IP, mas outros são possíveis, p. e., Novell IPX, AppleTalk)
- **CRC:** verificado no receptor; se detectar erro, quadro é descartado



Protocolo Ethernet

não confiável, sem conexão

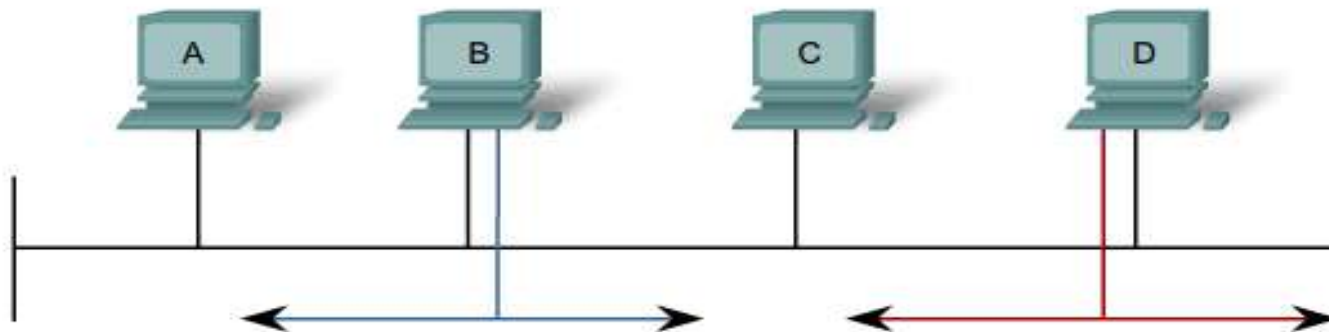
- **Sem conexão:** sem apresentação entre NICs de origem e destino
- **Não confiável:** NIC de destino não envia confirmações ou não confirmações à NIC de origem
 - fluxo de datagramas passados à camada de rede pode ter lacunas (datagramas faltando)
 - lacunas serão preenchidas se aplicação estiver usando TCP
 - caso contrário, aplicação verá lacunas
- Protocolo MAC da Ethernet: **CSMA/CD**

Protocolo Ethernet

Algoritmo CSMA/CD

Controle de acesso ao meio em Ethernet

Carrier Sense Multiple Access with Collision
Detection (CSMA/CD)



O CSMA/CD controla o acesso ao meio compartilhado. Em caso de colisão, o problema é detectado e os quadros são retransmitidos.

Protocolo Ethernet

Estrutura do Frame Ethernet

- **Endereços:** 6 bytes
 - se adaptador recebe quadro com endereço de destino combinando, ou com endereço de broadcast (p. e., pacote ARP), passa dados do quadro ao protocolo da camada de rede
 - caso contrário, adaptador descarta quadro
- **Tipo:** indica protocolo da camada mais alta (principalmente IP, mas outros são possíveis, p. e., Novell IPX, AppleTalk)
- **CRC:** verificado no receptor; se detectar erro, quadro é descartado



Endereçamento MAC

Protocolo Ethernet

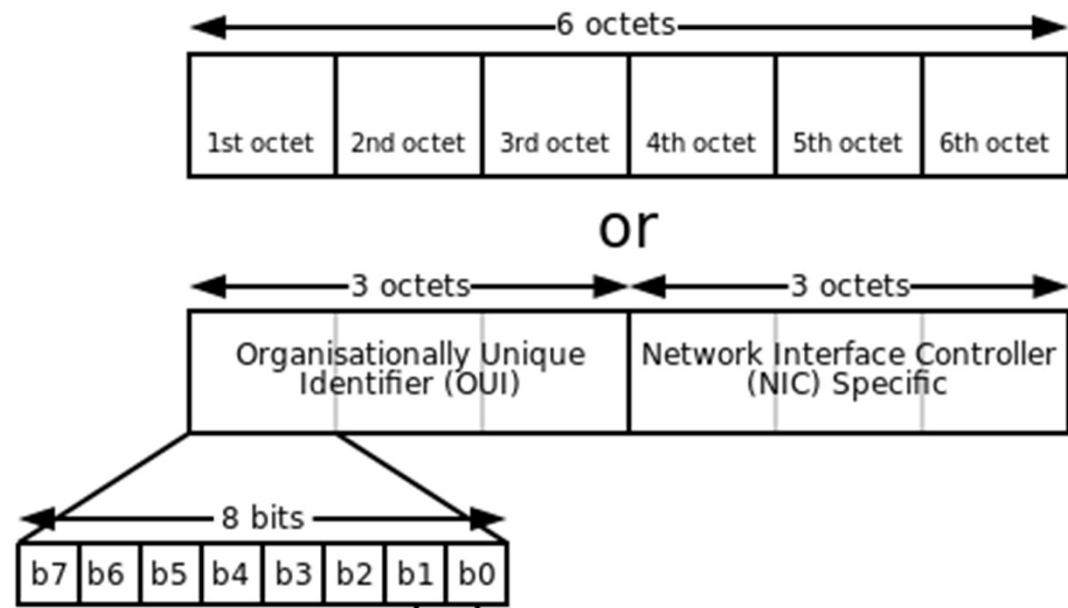
Endereçamento MAC

O Endereço MAC (Media Access Control) é um endereço físico de 48 bits associado à interface de comunicação, que conecta um dispositivo à rede.

Exemplo:

00:1B:C9:4B:E3:57

O MAC é um endereço “único” onde sua identificação é gravada em hardware (ROM) da placa de rede;



Protocolo Ethernet

Endereçamento MAC

- Endereço IP de 32 bits:
 - Endereço da *camada de rede*
 - Usado para obter datagrama até sub-rede IP de destino
- Endereço MAC (ou LAN ou físico ou Ethernet) :
 - função: *levar quadro de uma interface para outra interface conectada fisicamente (na mesma rede)*
 - Endereço MAC de 48 bits (para maioria das LANs)
 - queimado na ROM da NIC, às vezes também configurável por software

Protocolo Ethernet

Endereçamento MAC

- Alocação de endereço MAC administrada pelo IEEE
- Fabricante compra parte do espaço de endereços MAC (para garantir exclusividade)
- Analogia:
 - (a) Endereço MAC: como o CPF
 - (b) Endereço IP: como o endereço postal
- Endereço MAC plano → portabilidade
 - pode mover placa de LAN de uma LAN para outra
- Endereço IP hierárquico NÃO portátil
 - endereço depende da sub-rede IP à qual o nó está conectado



Obrigado!



Referências :

Camada de Enlace
Redes locais comutadas
Capítulo 5 - Páginas de 342 à 343



Referências :

A camada de Enlace

Capítulo 3 - Páginas de 121 à 131

Sub camada de Controle e acesso ao meio

Capítulo 3 – Páginas de 162 à 184

