

Redes de Computadores

Análise e Desenvolvimento de Sistemas
1º Semestre 2025

Parte 4

Camada de Enlace

Prof. Alencar de Melo Júnior, Dr. Eng.
alencar@iftm.edu.br



Camada de Enlace

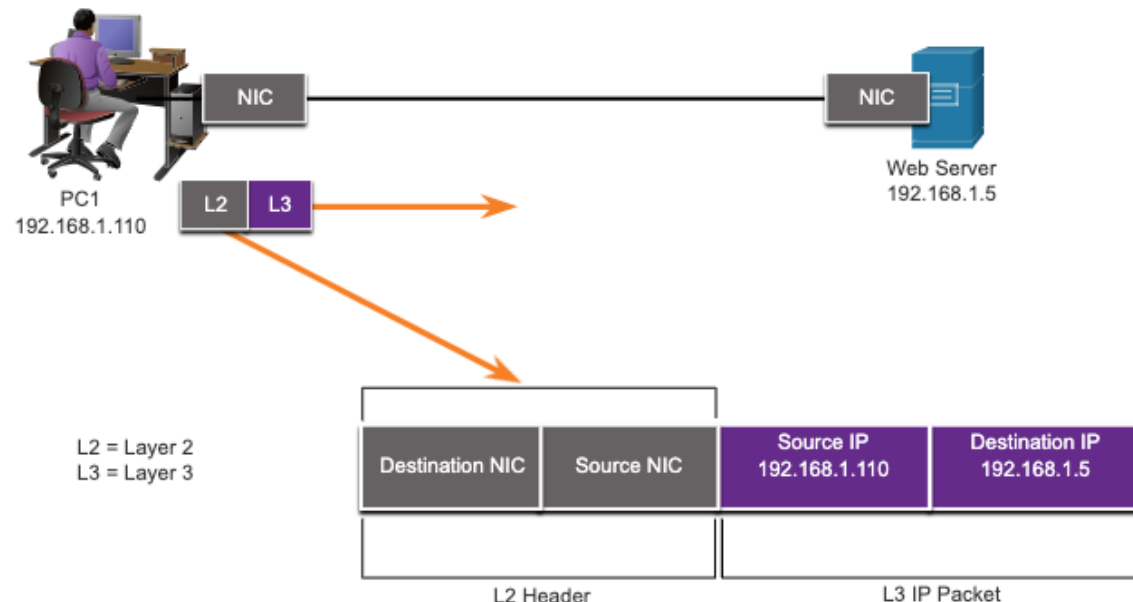
Objetivos

- Descrever os objetivos e as funções da camada de Enlace (Link de Dados) e de suas subcamadas LLC e MAC.
- Discutir as diferenças entre topologias física e lógica.
- Comparar as características de métodos de controle de acesso ao meio físico nas topologias WAN e LAN.
- Descrever as características e as funções de um quadro de Enlace.
- Estudar a tecnologia Ethernet em seus múltiplos aspectos
- Apresentar os sistemas de numeração decimal, binário e hexadecimal.
- Descrever o endereço MAC da Ethernet.
- Explicar como um switch cria sua tabela de endereços MAC e encaminha os quadros.

Finalidade da Camada de Enlace

- A Camada de Enlace é responsável pelas comunicações entre as placas de interface de rede (NICs) dos dispositivos finais.
- A Camada de Enlace fornece uma abstração de um link físico confiável, atuando host-a-host.
- Ele permite que os protocolos de camada superior acessem a mídia da camada física e encapsula pacotes da Camada 3 (IPv4 e IPv6) em frames da Camada 2.
- Ele também executa a detecção de erros, rejeitando quadros corrompidos e controla o acesso ao meio físico compartilhado.

A Camada de Enlace



Finalidade da Camada de Enlace

IEEE 802: subcamadas de Enlace LLC e MAC

- A Camada de Enlace consiste em duas subcamadas: Controle de Link Lógico (**LLC**) e Controle de Acesso a Mídia (**MAC**).

- Subcamada LLC:** é responsável pelo **controle de fluxo e detecção e correção de erros host-a-host**.

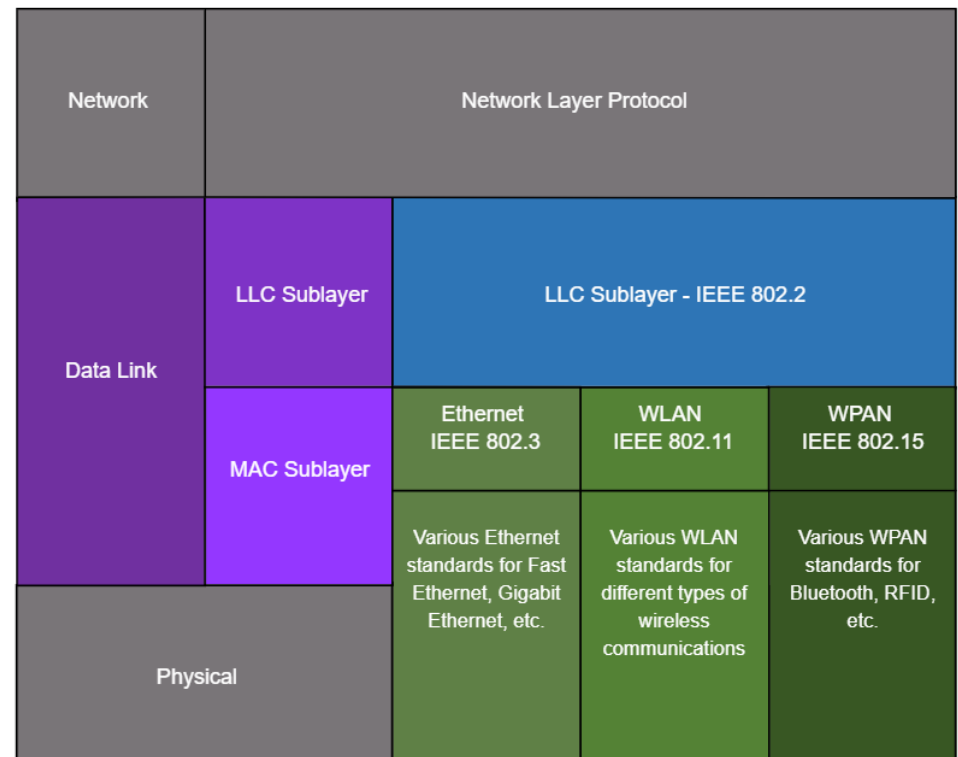
- Subcamada MAC:** é responsável pelo **encapsulamento de dados e controle de acesso à mídia** (meio físico). **Presente apenas em LANs.**

- Famílias de métodos MAC:**

- **Acesso Aleatório:** por ex. a LAN Ethernet IEEE 802.3;

- **Passagem de Permissão:** por ex. a LAN Token-Ring IEEE 802.5.

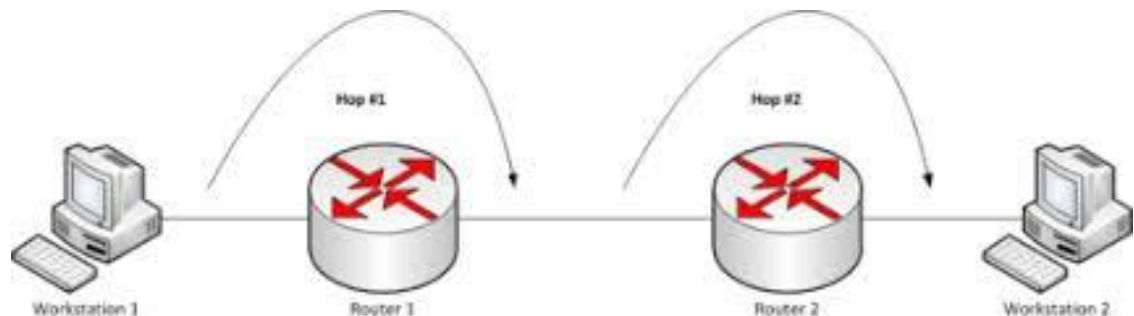
Os padrões do projeto IEEE 802 são específicos para cada tipo de rede (Ethernet, WLAN, WPAN, etc):



Finalidade da Camada de Enlace

Fornecendo acesso à mídia

- Pacotes trocados entre nós podem passar por várias camadas de Enlace de Dados e transições de mídia ao longo do caminho entre origem e destino.
- Em cada salto (*hop*) ao longo do caminho, um **roteador executa as seguintes funções** para cada um dos quadros que é recebido em seu NIC de entrada:
 - recebe um quadro no NIC de entrada;
 - desencapsula o quadro, extraíndo o pacote encapsulado;
 - descobre o próximo roteador e o NIC de saída (tabela de roteamento);
 - encapsula novamente o pacote em um novo quadro;
 - encaminha o novo quadro no meio físico do próximo segmento de rede através do NIC de saída.



Finalidade da Camada de Enlace

Padrões da Camada de Enlace

Os protocolos de Camada de Enlace de Dados são definidos por diferentes organizações:

- Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos (**IEEE**).
- União Internacional de Telecomunicações (**ITU**).
- Organizações Internacionais de Normalização (**ISO**).
- Instituto Nacional Americano de Padrões (**ANSI**).



Topologias

Topologias físicas e lógicas

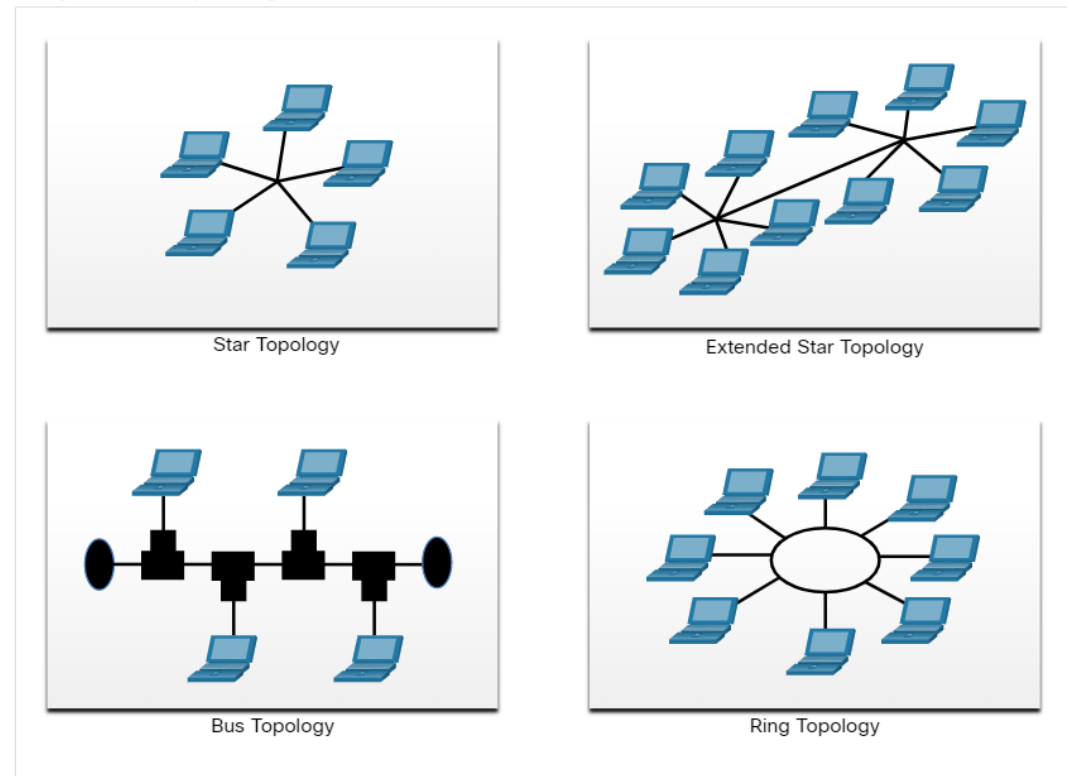
- A **topologia de rede** descreve como os dispositivos (computadores, roteadores, switches, etc.) estão interconectados em uma rede, definindo a estrutura de comunicação entre eles.
- **Existem dois tipos de topologias usadas ao descrever redes:**
 - **Topologia física:** como os dispositivos estão fisicamente conectados. Foco: *layout* físico dos cabos, dispositivos e conexões reais
 - **Topologia lógica:** como os dados trafegam na rede, independente da conexão física. Foco: caminho dos dados e protocolos de comunicação.
- **A topologia lógica pode diferir da topologia física.** Por exemplo, uma LAN Ethernet estruturada com um *hub* (dispositivo compartilhado) possui topologia física em estrela, contudo opera como um barramento lógico.

Topologias

Topologias de LAN

- Atualmente os dispositivos finais em LANs são normalmente interconectados usando uma **topologia estrela** ou estrela estendida.
- Topologias estrela e estrela estendida são fáceis de instalar, muito escaláveis e facilitam a solução de problemas.
- **Outras topologias:**
 - **Barramento:** dispositivos ligados a um único cabo, como nas primeiras redes Ethernet.
 - **Anel:** dispositivos formando um círculo, como nas redes Token-Ring (tecnologia legada).

Physical Topologies

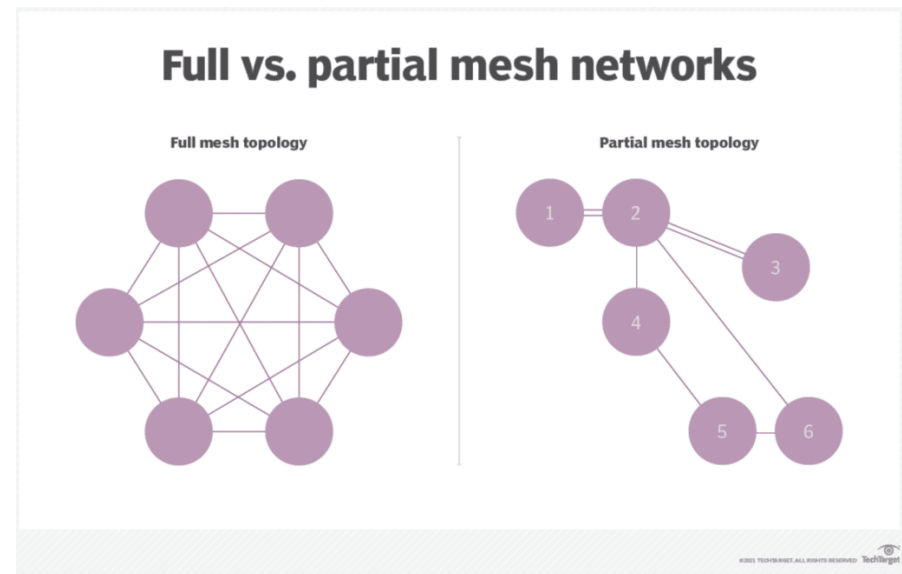


Topologias

Topologias de WAN (Enlaces ponto-a-ponto)

- As topologias físicas de WAN são constituídas por enlaces do tipo ponto-a-ponto, que conectam diretamente dois nós.
- Os dois nós conectados não podem compartilhar o meio físico com outros hosts.
- Como todos os quadros na mídia só podem trafegar de um para o outro nó, os protocolos de Enlace da WAN podem ser mais simples, uma vez que **protocolos de controle de acesso ao meio físico, como os presentes na MAC, não são necessários.**

As principais topologias de WAN são a **Malha Parcial** e **Malha Completa**.



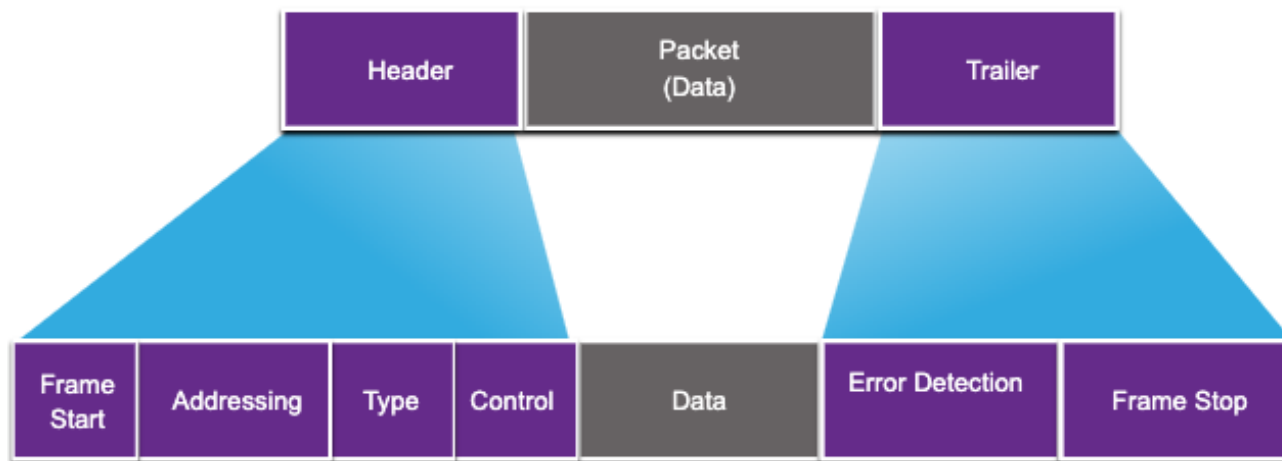
Quadro da Camada de Enlace

O quadro

- Os dados recebidos das camadas superiores são encapsulados pela Camada de Enlace com um cabeçalho e um trailer para formar um quadro (PDU da Camada de Enlace).
- **Um quadro de link de dados tem três partes:**
 - Cabeçalho
 - Dados
 - Trailer
- Os campos Cabeçalho e Trailer variam de acordo com o protocolo específico da Camada de Enlace, sendo que ambos são utilizados em funções de controle.
- O campo Dados corresponde aos dados recebidos das camadas superiores.

Quadro da camada de enlace

Campos de um quadro genérico

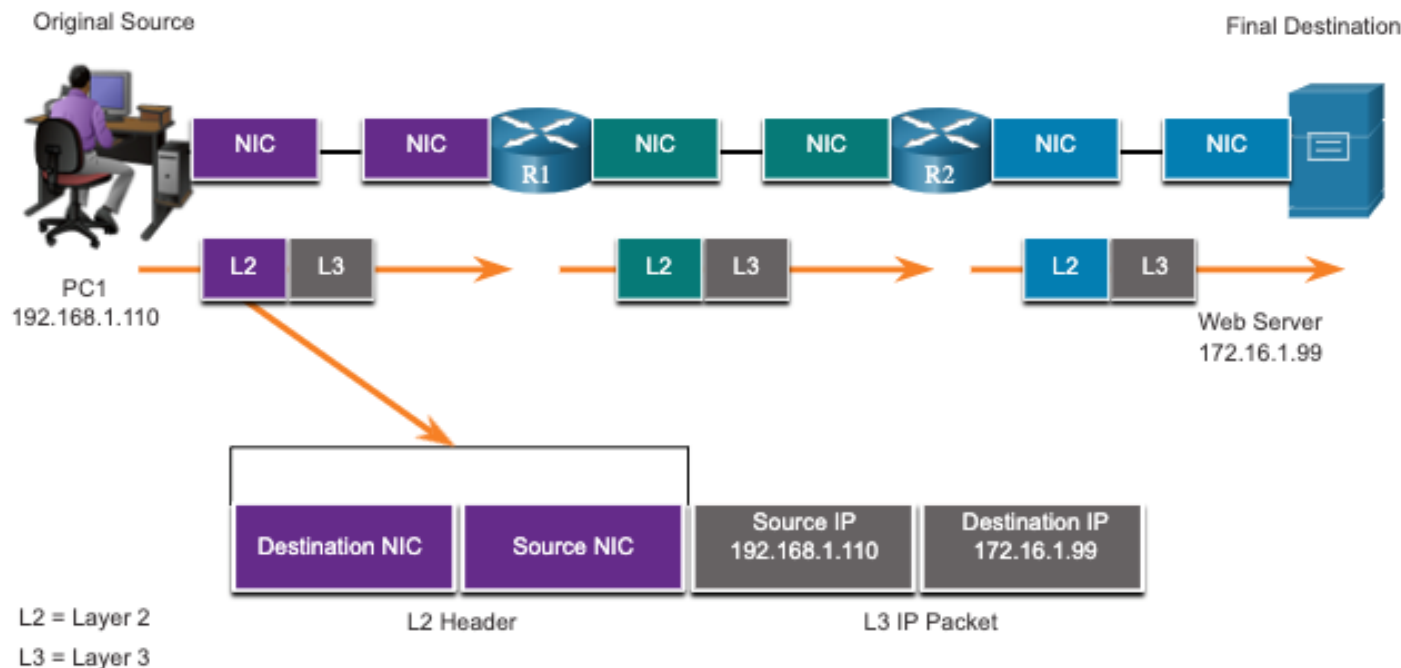


Campo	Descrição
Frame Start e Stop	Identifica o início e o fim do quadro
Endereçamento	Indica nós de origem e destino
Tipo	Identifica o protocolo encapsulado da Camada 3
Controle	Identifica serviços de controle de fluxo
Dados	Contém a carga útil do quadro
Detecção de erros	Usado para determinar erros de transmissão

Quadro da camada de enlace

Endereço da Camada 2

- Também referido como um **endereço físico**.
- Contido no cabeçalho do quadro.
- Usado apenas para entrega local de um quadro no link.
- **Atualizado por cada dispositivo que encaminha o quadro.**

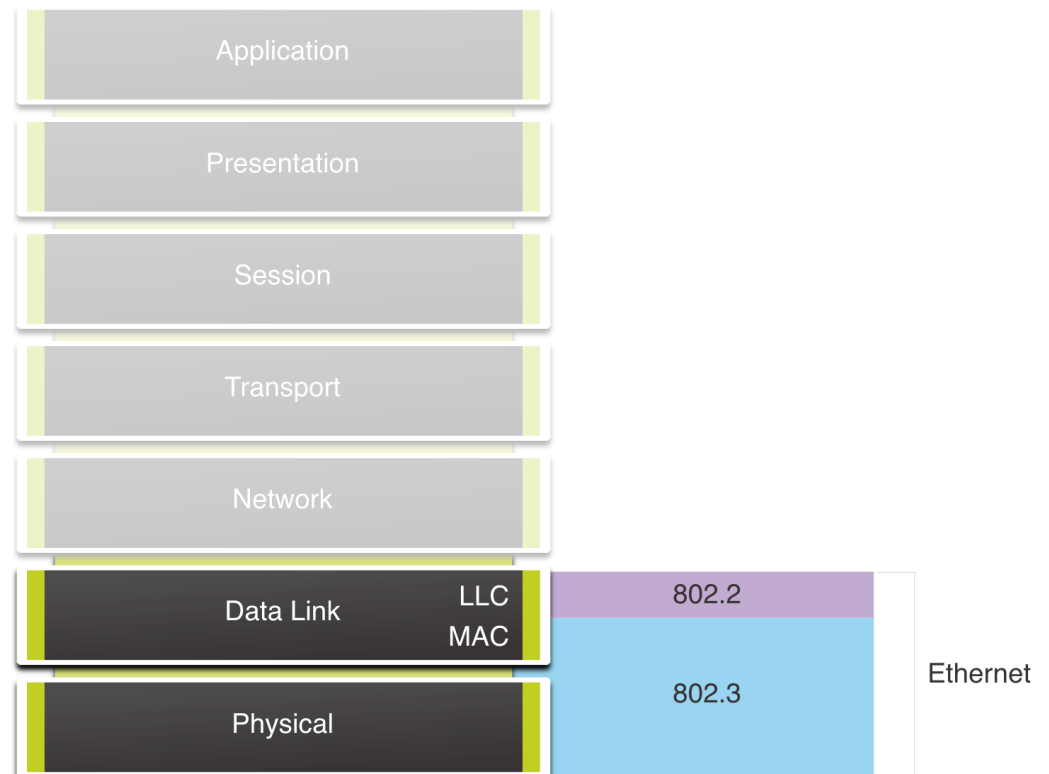


Observe que os
endereços IP
permanecem os
mesmos fim-a-fim.

Quadro Ethernet

Encapsulamento Ethernet

- A tecnologia Ethernet opera na camada de Enlace de Dados e na camada Física.
- É uma família de tecnologias de rede definidas nos padrões IEEE 802.2 e 802.3.
- É a principal tecnologia em LANs cabeadas.
- A **subcamada LLC** (*Logical Link Control*) realiza essencialmente a detecção e recuperação de erros host-a-host.



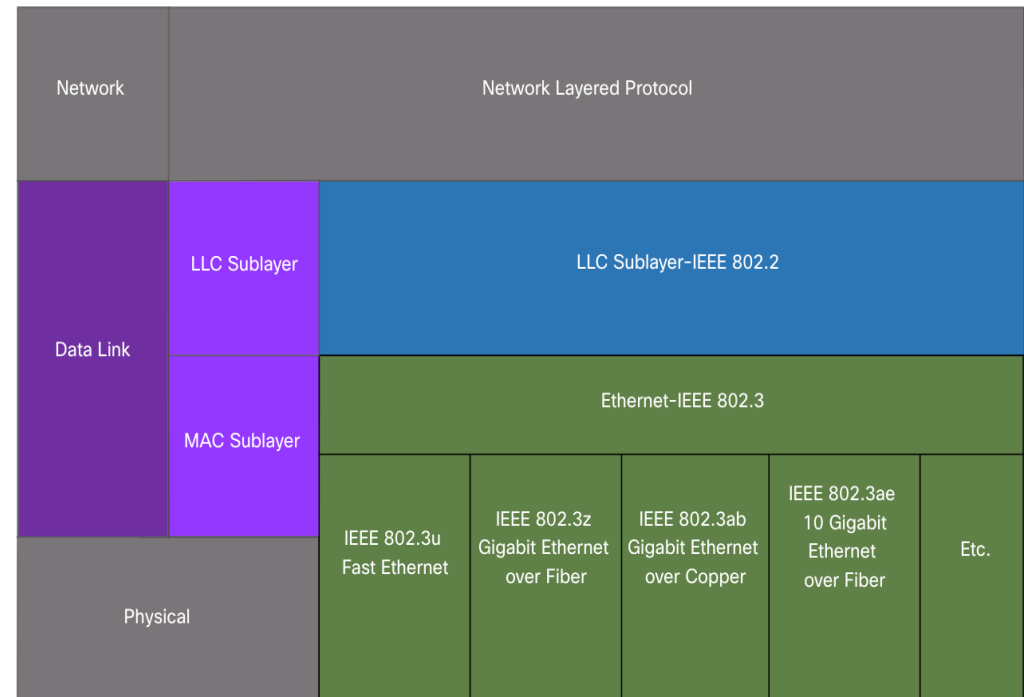
Quadro Ethernet

- A subcamada MAC IEEE 802.3 inclui as especificações para diferentes padrões de comunicação Ethernet em vários tipos de mídia, incluindo cobre e fibra.

- Ethernet legada usando uma topologia de barramento ou hubs, é um meio compartilhado half-duplex. Ethernet sobre um meio half-duplex usa um método de acesso baseado em contenção, detecção de múltiplos acessos/colisões (método **CSMA/CD**).

- As **LANs Ethernet atuais** usam **switches** que operam em **full-duplex**, sendo que **estas não exigem controle de acesso através do CSMA/CD**.

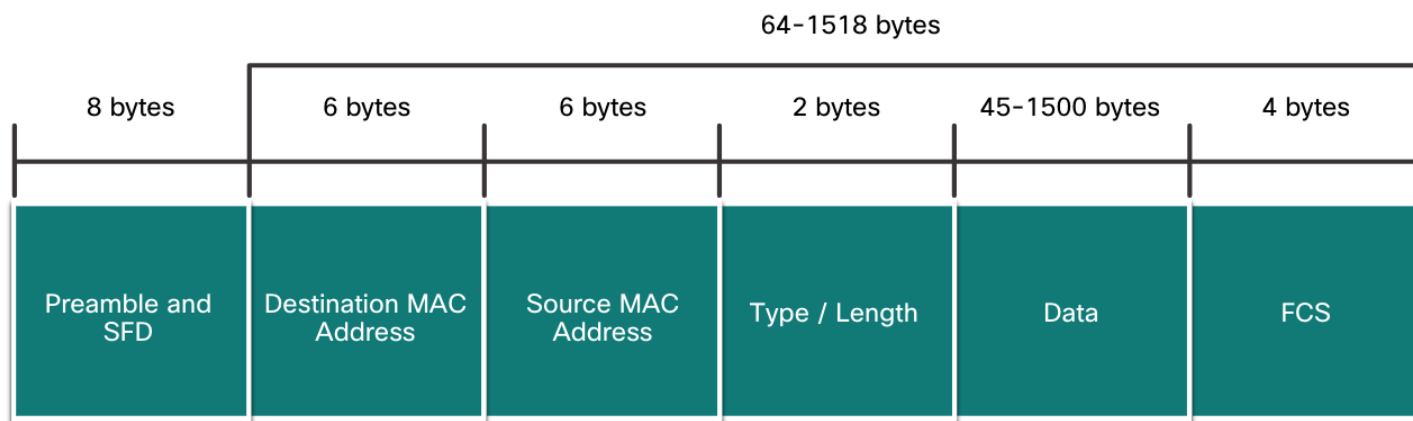
Subcamada MAC



Quadro Ethernet

Campos do quadro Ethernet

- O tamanho mínimo de quadro Ethernet é 64 bytes e o máximo é 1518 bytes. O campo de preâmbulo não é incluído ao descrever o tamanho do quadro.
- Qualquer quadro com menos de 64 bytes de comprimento é automaticamente descartado (fragmentos de colisão etc.)
- Quadros com mais de 1.500 bytes de dados são considerados **quadros jumbo** ou ***baby giant***. Úteis em redes de alto desempenho, como *data centers*. São suportados pela maioria dos *switches* e NICs Fast Ethernet e Gigabit Ethernet.



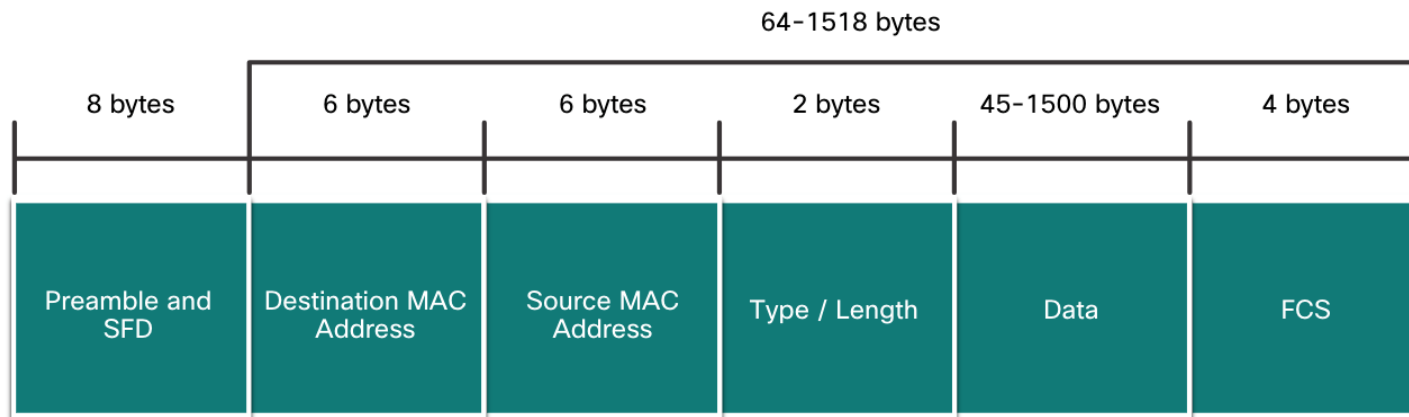
Quadro Ethernet

Campos do quadro Ethernet

- Se o tamanho de um quadro transmitido for menor que o mínimo ou maior que o máximo, o dispositivo receptor descarta o quadro.

- **Campos do quadro Ethernet:**

- Endereços MAC do Emissor e Receptor: endereços físicos de 48 bits.
- Tipo/Comprimento: identifica o protocolo da camada 3 que está sendo transportado e o comprimento do quadro.
- Dados: dados recebidos da camada superior, “dados úteis”.
- FCS: bits utilizados pelo destino para detectar eventuais erros no quadro recebido.



CSMA/CD

Subcamada MAC Ethernet

- **CSMA-CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*)**: método de acesso múltiplo com sensoramento de portadora e **detecção de colisão**.
- O CSMA-CD não necessita receber mensagem de reconhecimento (ACK) do quadro por parte do destinatário.
- **Detecção da colisão**: durante a transmissão o host escuta o meio físico, comparando o sinal que está no meio com o que ele está transmitindo.
 - se os sinais forem diferentes o transmissor conclui que há uma colisão (uma outra transmissão está sobrepondo a dele);
 - detectada a colisão, o host **reforça a colisão** com a injeção de sinais espúrios no meio a fim de que os outros hosts que estejam transmitindo também detectem a colisão e suspendam a transmissão.
- **Útil em redes Ethernet *half-duplex*, como LANs legadas baseadas em *hub*.**

CSMA/CD

Subcamada MAC Ethernet

- **Algoritmo CSMA/CD:**

- a) escute o meio até detectar a condição de repouso;
- b) inicie a transmissão do quadro, escutando o meio para certificar-se de que nenhuma outra transmissão tenha se iniciado ao mesmo tempo. Encerrada a transmissão sem colisão, fim;
- c) se detectou colisão: reforce-a;
- d) caso o número de colisões na transmissão exceder um limite, sinalize o erro à camada superior e termine;
- e) gere um número aleatório r ;
- f) espere $f(r)$ unidades de tempo e volte ao passo a).

- Teoricamente, o tempo máximo para que um determinado host consiga realizar uma transmissão com sucesso pode tender ao infinito.

Tecnologias WAN

Principais tecnologias de Enlace em WAN atuais

Tecnologia	Descrição	Velocidade	Aplicação Típica
<u>MPLS</u>	Roteamento eficiente com rótulos.	1 Mbps – 100 Gbps	Tráfego prioritário (VoIP, VPNs).
<u>Ethernet WAN</u>	Extensão do Ethernet para WANs.	10 Mbps – 400 Gbps	Redes corporativas e ISPs.
<u>DWDM</u>	Multiplexação de canais ópticos.	100 Gbps – 1.6 Tbps	Backbones submarinos/longa distância.
HDLC	Protocolo simples ponto a ponto.	Variável	Conexões privadas e legadas.
xDSL (VDSL2/G.fast)	Banda larga sobre cabos telefônicos.	50 Mbps – 1 Gbps	Acesso residencial/empresarial.

Introdução aos Sistemas Numéricos

Bases numéricas

- Um **sistema de numeração** é formado por um **conjunto de símbolos** (alfabeto) que é utilizado para representar quantidades e por regras que definem a forma de representação.
- É definido por sua **base**, a qual define o número de algarismos (ou dígitos) utilizados para representar números.
- **Sistema decimal (base 10)**: os algarismos utilizados são 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9 (dez algarismos).
- **Sistema Hexadecimal (base 16)**: os algarismos são 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E e F (dezesesseis algarismos).
- **Sistema Octal (Base 8)**: os algarismos são 0,1,2,3,4,5,6,7 (oito algarismos).
- **Sistema Binário (Base 2)**: os algarismos são 0 e 1 (dois algarismos).
- As bases mais utilizadas em computação correspondem a $B=2$, $B=8$, $B=10$ e $B=16$. **As bases Octal e Hexadecimal proporcionam uma notação compacta.**

Introdução aos Sistemas Numéricos

Bases numéricas

DECIMAL	BINÁRIO	OCTAL	HEXADECIMAL
0	0000	00	0
1	0001	01	1
2	0010	02	2
3	0011	03	3
4	0100	04	4
5	0101	05	5
6	0110	06	6
7	0111	07	7
8	1000	10	8
9	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F

Introdução aos Sistemas Numéricos

Conversão de decimal para qualquer base

- Para converter da base 10 para uma base B qualquer faz-se a **divisão do número decimal pelo valor da base desejada.**
- O resto encontrado é o algarismo menos significativo do valor na base B (maior a direita).
- Em seguida, divide-se o quociente encontrado pela base B.
- O resto é o algarismo seguinte (a esquerda) e assim sucessivamente, **até obter o quociente com valor zero.**

Introdução aos Sistemas Numéricos

Conversão de decimal para qualquer base

- Exemplos:

$$(3964)_{10} = (\underline{\hspace{2cm}})_8$$

3964	8			
32		495	8	
76		48		61
72		15	8	56
44		8		7
40		7	8	0
4				

←

$$(3964)_{10} = (7574)_8$$

Introdução aos Sistemas Numéricos

Conversão de decimal para qualquer base

- Exemplos:

$$(45)_{10} = (\underline{\hspace{2cm}})_2$$

Handwritten division steps for converting 45 to binary:

45	2					
4	22	2				
05	2	11	2			
4	02	10	5	2		
1	2	1	4	2	2	
	0		1	2	1	2
				0		0

←

$$(45)_{10} = (101101)_2$$

Introdução aos Sistemas Numéricos

Conversão de qualquer base para decimal

- Numere os dígitos da direita para a esquerda, utilizando sobrescritos.
- Comece com zero, e incremente os sobrescritos por um, da direita para a esquerda.
- Use os sobrescritos para formar a potência da base.
- Multiplicar o valor do dígito visto como um decimal, pela base elevada a sua respectiva potência.
- Somar o valor de todos as multiplicações parciais.

- Fórmula geral:

$$N = d_{n-1}xb^{n-1} + d_{n-2}xb^{n-2} + \dots + d_1xb^1 + d_0xb^0$$

Introdução aos Sistemas Numéricos

Conversão de qualquer base para decimal

$$N = d_{n-1}xb^{n-1} + d_{n-2}xb^{n-2} + \dots + d_1xb^1 + d_0xb^0$$

- Exemplos:

$$(101101)_2 = (\underline{\hspace{2cm}})_{10}$$

$$1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 32 + 0 + 8 + 4 + 0 + 1 = \mathbf{(45)}_{10}$$

$$(27)_8 = (\underline{\hspace{2cm}})_{10}$$

$$2 \times 8^1 + 7 \times 8^0 = 16 + 7 = \mathbf{(23)}_{10}$$

Introdução aos Sistemas Numéricos

Relação entre binário, hexadecimal e octal

- .Cada algarismo hexadecimal pode ser substituído pelo equivalente com 4 bits.
- .Cada algarismo octal pode ser substituído pelo equivalente com 3 bits.
- .Para converter de hexadecimal ou octal para binário, faça:**
 - .substitua cada algarismo hexadecimal por 4 bits; ou
 - .substitua cada algarismo octal por 3 bits.
- .Para converter de binário para hexadecimal ou octal, faça:**
 - .agrupe os bits em grupos de quatro a partir da posição mais à direita, para o caso de hexadecimal, ou em grupos de 3 bits, para o caso de octais.
 - .converta cada grupo de 4 ou 3 bits em seu dígito hexa ou octal equivalente.

Introdução aos Sistemas Numéricos

Relação entre binário, hexadecimal e octal

- **Exemplos:**

$$(306)_{16} = (\underline{\hspace{2cm}})_2$$
$$(0011)(0000)(0110)_2 = \mathbf{(001100000110)}_2$$

$$(F50)_{16} = (\underline{\hspace{2cm}})_2$$
$$(1111)(0101)(0000)_2 = \mathbf{(111101010000)}_2$$

$$(306)_8 = (\underline{\hspace{2cm}})_2$$
$$(011)(000)(110)_2 = \mathbf{(011000110)}_2$$

$$(750)_8 = (\underline{\hspace{2cm}})_2$$
$$(111)(101)(000)_2 = \mathbf{(111101000)}_2$$

$$(1011011011)_2 = (\underline{\hspace{2cm}})_8$$
$$(001)(011)(011)(011)_2 = \mathbf{(1333)}_8$$

$$(1011011011)_2 = (\underline{\hspace{2cm}})_{16}$$
$$(0010)(1101)(1011)_2 = \mathbf{(2DB)}_{16}$$

Endereços MAC Ethernet

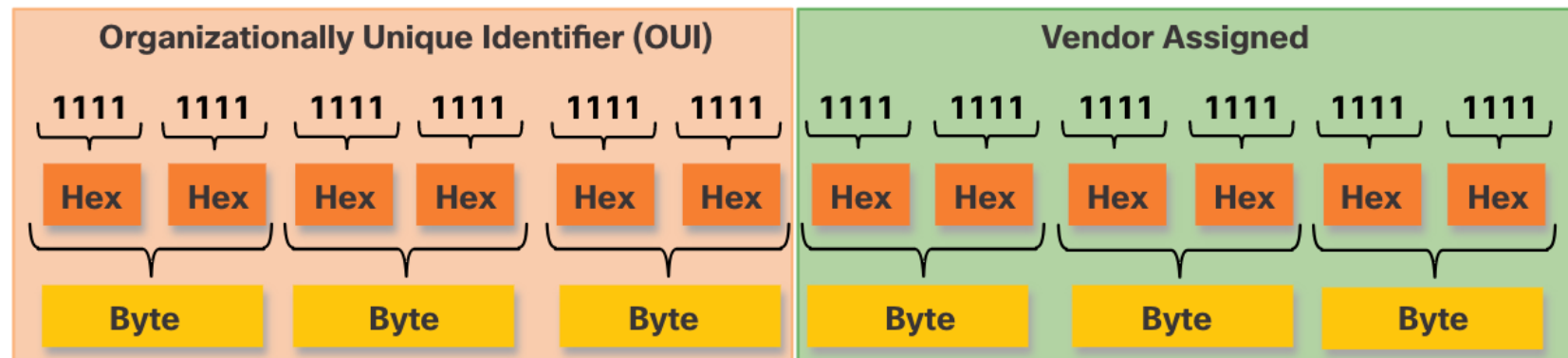
Endereços MAC e hexadecimal

- Um endereço MAC Ethernet consiste em um valor binário de 48 bits, expresso usando 12 valores hexadecimais.
- Dado que 8 bits (um byte) é um agrupamento binário comum, os binários 00000000 a 11111111 podem ser representados em hexadecimal como o intervalo de 00 a FF.
- Ao usar hexadecimal, os zeros à esquerda são sempre exibidos para concluir a representação de 8 bits. Por exemplo, o valor binário 0000 1010 é representado em hexadecimal como 0A.
- Números **hexadecimais** são frequentemente representados pelo valor precedido por **0x** (por exemplo, 0x73) para distinguir entre valores decimais e hexadecimais na documentação.
- O hexadecimal também pode ser representado por um subscrito 16, ou o número hexadecimal seguido por um H (por exemplo, 73H).

Endereços MAC Ethernet

Endereços MAC da Ethernet

- Um endereço MAC Ethernet é um endereço de 48 bits expresso usando 12 dígitos hexadecimais. Como um byte é igual a 8 bits, também podemos dizer que um endereço MAC tem 6 bytes de comprimento.
- Todos os endereços MAC devem ser exclusivos do dispositivo Ethernet ou da interface Ethernet dentro da mesma LAN. Para garantir isso, todos os fornecedores que vendem dispositivos Ethernet devem se registrar no IEEE para obter um código hexadecimal exclusivo chamado Identificador Exclusivo Organizacionalmente (**OUI**).
- **Um endereço MAC Ethernet consiste em um código OUI de 6 hexadecimais (identifica o fornecedor) seguido de 6 hexadecimais atribuído pelo próprio fornecedor.**



Endereços MAC Ethernet

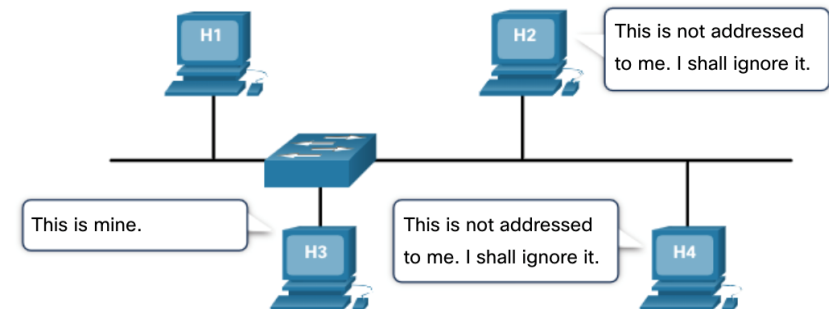
Processamento de Quadros

- Quando uma NIC recebe um quadro Ethernet ela examina o endereço MAC de destino para verificar se corresponde ao seu endereço MAC. Se não houver correspondência, o dispositivo descartará o quadro. Caso haja, ele passará o quadro para as camadas superiores, onde o processo de desencapsulamento ocorre.

- As NICs Ethernet também aceitarão quadros se o **endereço MAC** de destino for do **tipo broadcast (48 bits iguais a 1)**.

- Qualquer dispositivo que seja a origem ou o destino de um quadro Ethernet terá uma NIC Ethernet e, portanto, um endereço MAC. Isso inclui estações de trabalho, servidores, impressoras, dispositivos móveis e roteadores.

Destination Address	Source Address	Data
CC:CC:CC:CC:CC:CC	AA:AA:AA:AA:AA:AA	Encapsulated data
Frame Addressing		



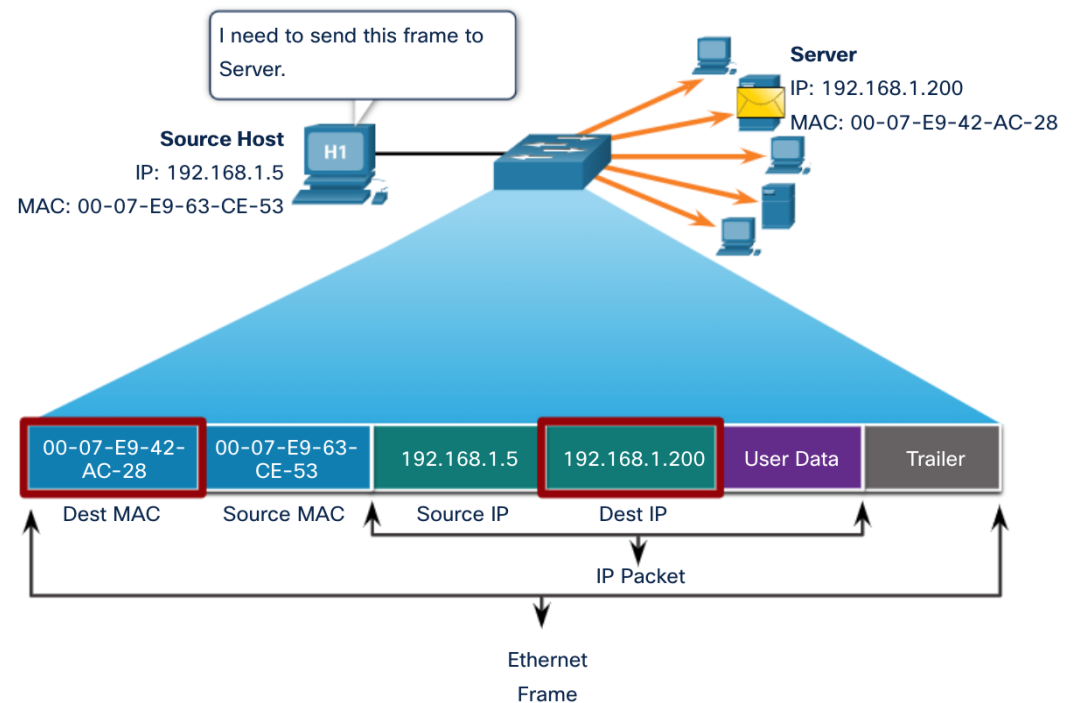
Endereços MAC Ethernet

Endereços MAC unicast

- Na Ethernet, são utilizados diferentes endereços MAC para comunicação unicast, broadcast e multicast da Camada 2.

- Um endereço MAC de unicast é o endereço exclusivo usado quando um quadro é enviado de um único dispositivo de transmissão para um único dispositivo de destino.

- Nota:** O endereço MAC de origem deve sempre ser um unicast.



Endereços MAC Ethernet

- Um quadro Ethernet transmitido em broadcast é recebido e processado por todos os dispositivos na LAN Ethernet.
- O quadro possui um endereço MAC de destino de **FF-FF-FF-FF-FF-FF** em hexadecimal (48 bits iguais a 1).
- Todas as portas de switch Ethernet são inundadas, exceto a porta de entrada. Ele não é encaminhado por um roteador.
- Se os dados encapsulados forem um pacote IPv4 significa que o pacote contém um endereço IPv4 de destino que possui na parte do host todos os bits iguais a 1. Essa numeração no endereço IP significa que todos os hosts naquela rede local (domínio de broadcast) receberão e processarão o pacote.

Endereços MAC broadcast

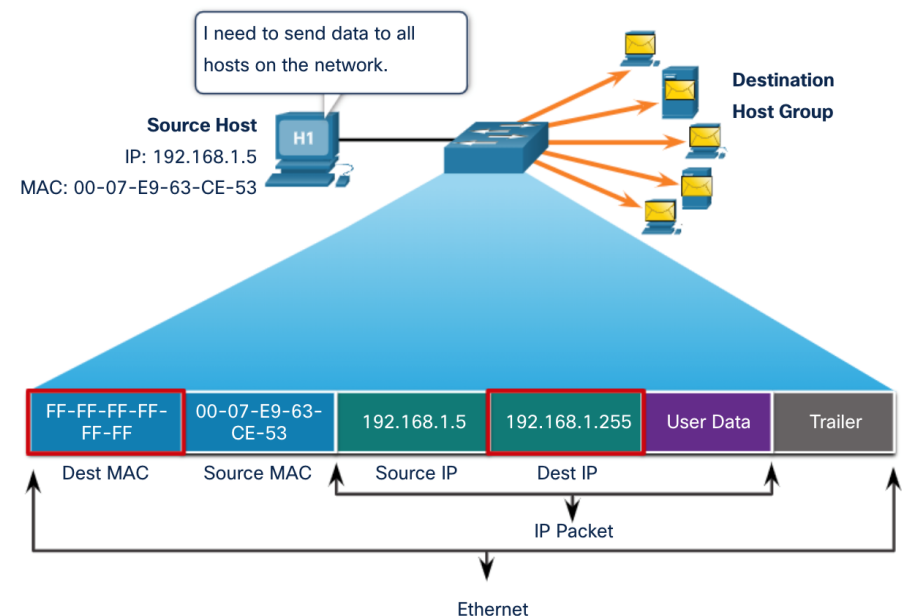


Tabela de Endereços MAC

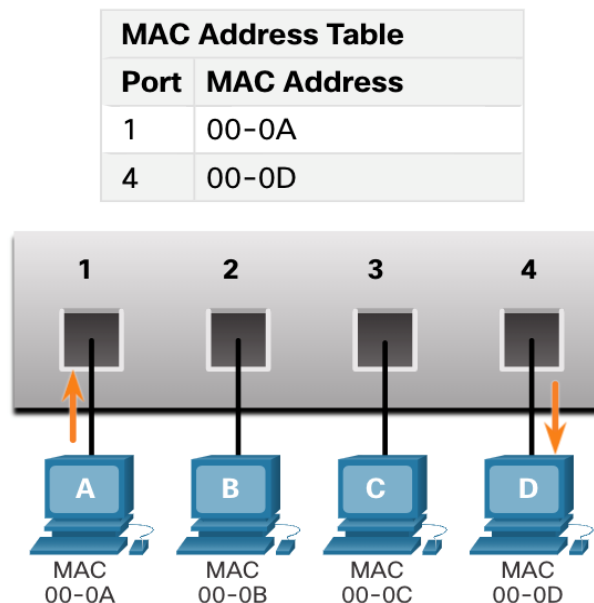
Fundamentos do switch

- Um **switch Ethernet da camada 2** usa endereços MAC da camada 2 para tomar decisões de encaminhamento. O switch desconhece completamente o conteúdo que está sendo transportado na parte de dados do quadro (protocolos de camadas superiores). **O switch toma decisões de encaminhamento com base apenas nos endereços MAC Ethernet da camada 2.**
- Um switch Ethernet examina sua tabela de endereços MAC para tomar uma decisão de encaminhamento para cada quadro, ao contrário dos **hubs Ethernet legados que repetem os quadros transmitidos em todas as suas portas, exceto a porta de entrada.**
- Quando um switch é ativado, a tabela de endereços MAC começa vazia.

Tabela de Endereços MAC

Filtragem de quadros

- A medida que um switch recebe quadros de dispositivos diferentes, ele é capaz de preencher sua tabela de endereços MAC **examinando o endereço MAC de origem de cada quadro e associando-o à sua porta**
- Quando a tabela de endereços MAC do switch contém o endereço MAC de destino, ele pode filtrar o quadro e encaminhar para uma única porta (unicast).



Um frame com endereço MAC de destino igual a 00-0C será encaminhado para uma única porta? Por quê?

Destination MAC 00-0D	Source MAC 00-0A	Type	Data	FCS
--------------------------	---------------------	------	------	-----

Dispositivos de Interconexão

Jargão OSI/Jargão Não OSI

- **Dispositivos para Interconexão de Redes (jargão OSI):**
 - **Repetidores:** atuam apenas na camada 1 (Ex.: hub);
 - **Pontes (*Bridges*):** atuam na camada 2, interconectando LANs de tecnologias diferentes ou não. Os *switches* nível 2 podem ser vistos como uma evolução da bridge, possuindo um maior número de portas e normalmente todas da mesma tecnologia);
 - **Roteadores:** interconectam no nível 3;
 - **Gateways** (Comportas): interconectam do nível 4 para cima.
- **Outros significados para Gateway (jargão não OSI):**
 - Na Arquitetura TCP/IP (mundo IETF): o mesmo que roteador;
 - No mundo da Telecom de modo geral: interconector de “qualquer coisa”.

Dispositivos de Interconexão

Tecnologias de *switch*

- **Switches nível 2 x Switches nível 3**

- **Nível 2:** atuam apenas na camada de Enlace, fazendo a entrega dos quadros. Lida apenas com endereços MAC.
- **Nível 3:** atuam nas camadas de Enlace e camada de Rede, tomando decisões de roteamento e entregando quadros. Lida com os endereços IP e MAC.

- ***Switches Store-and-Forward x Cut-through***

- ***Store-and-Forward:*** armazenam integralmente os frames antes de repassar para o *host* receptor. Suportam portas com velocidades diferentes e quadros com erros podem ser descartados pelo próprio switch. Por outro lado, são mais caros pois requerem mais memória (*buffer* para amortecer diferenças de velocidade) e apresentam maiores atrasos.
- ***Cut-through:*** assim que identifica o endereço MAC do host receptor, inicia-se o repasse do quadro para o mesmo. **Apresentam menores atrasos e são mais baratos.** Contudo, não suportam portas com velocidades diferentes e quadros com erro são descartados apenas no host destino

Exercícios

1. Qual é a função principal da Camada de Enlace no modelo OSI?
2. Quais são as duas subcamadas da Camada de Enlace? Descreva brevemente cada uma.
3. Por que a Camada de Enlace adiciona cabeçalhos e trailers aos dados da Camada de Rede?
4. Quais são as três partes de um quadro da Camada de Enlace?
5. Explique a diferença entre endereço MAC e endereço IP.
6. Como um endereço MAC é representado em hexadecimal? Dê um exemplo.
7. O que é um OUI (Identificador Exclusivo Organizacional) em um endereço MAC?
8. Qual é o tamanho mínimo e máximo de um quadro Ethernet?
9. Descreva o método CSMA/CD e em que tipo de rede ele era usado.
10. Por que o CSMA/CD não é necessário em redes Ethernet modernas com switches?

Exercícios

11. O que acontece se um quadro Ethernet tiver menos de 64 bytes ou mais de 1518 bytes?
12. Como um switch Ethernet constrói sua tabela de endereços MAC?
13. O que um switch faz quando recebe um quadro com endereço MAC de destino desconhecido?
14. Qual é a diferença entre um hub e um switch na forma de tratar quadros Ethernet?
15. Compare topologia física e lógica, usando Ethernet como exemplo.
16. Por que a topologia em estrela é dominante em LANs modernas?
17. Qual é a principal característica de uma topologia WAN em malha?
18. Converta o número binário 11010101 para decimal e hexadecimal.
19. Converta o número hexadecimal 0xA3F para binário e decimal.
20. Qual é a vantagem de usar hexadecimal para representar endereços MAC?
21. Explique o significado da palavra *Gateway* em diferentes contextos.
22. Explique a motivo do *switch Cut-through* ser mais rápido e barato do que o *switch Store-and-Forward*.

Agradecimento

Slides adaptados a partir de material utilizado em disciplina ministrada em conjunto com o Prof. Dr. Júlio Pedroso no IFSP Câmpus Campinas.