

Aula 4 - Camada de Enlace: Endereçamento, ARP, Ethernet

Diego Passos

Universidade Federal Fluminense

Redes de Computadores II

Na Última Aula...

- Enlace ponto-a-ponto: conecta dois nós diretamente.
 - Se for **full-duplex**, não há risco de **colisões**.
- Enlace compartilhado: múltiplos nós concorrem pelo uso.
 - Transmissões simultâneas levam a **colisões**.
 - Quadros são perdidos.
- Solução para uso de enlaces compartilhados: **protocolos de acesso múltiplo**.
 - **Coordenam** uso do enlace pelos nós.
 - **Quando** cada nó pode transmitir?
- Três tipos básicos:
 - **Particionamento de canal**: canal é “quebrado” em “pedaços” isolados.
 - Podem ser usados simultaneamente sem colisão.
 - **Acesso alternado**: nós recebem a chance de usar o meio exclusivamente.
 - Coordenação necessária.
 - Dar oportunidade a nós que não querem transmitir reduz eficiência.
 - **Acesso aleatório**: nós decidem localmente quando usar o meio.
 - **Colisões podem ocorrer, devem ser tratadas**.
 - Quando há colisões, eficiência cai.
 - Quanto mais nós, mais provável é a ocorrência de colisões.

Endereços MAC (I)

- **Endereços IP.**

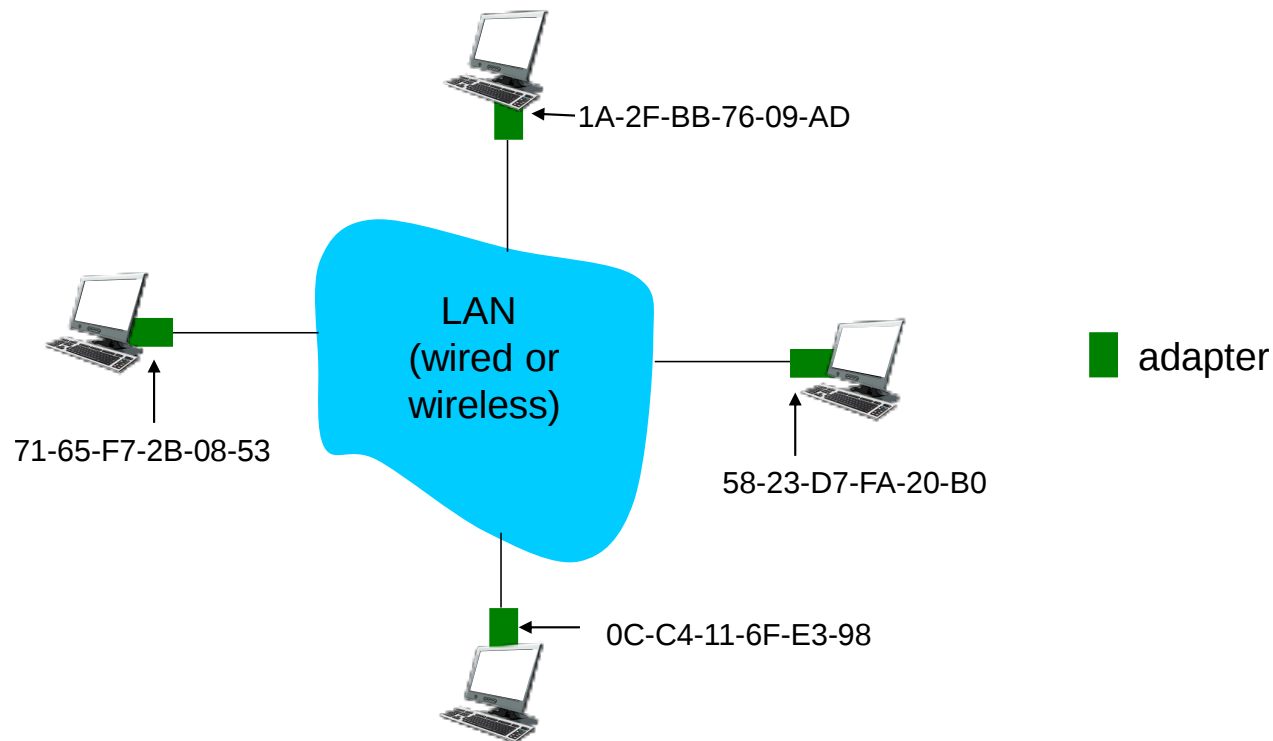
- Endereço da camada de rede.
- Atribuído a uma interface.
- Usado para encaminhamento na camada 3.

- **Endereço MAC (ou físico).**

- Usado **localmente** na comunicação de quadros entre interfaces conectadas fisicamente.
 - Na mesma “sub-rede”, no contexto do IP.
- Na maioria das LANs, possui 48 bits.
- *Hardcoded* em ROM ou configurável via *software*.
- Exemplo:
 - 1A-2F-BB-76-09-AD (outra notação comum: 1A:2F:BB:76:09:AD)
 - Pares de algarismos hexadecimais, cada um é um octeto.

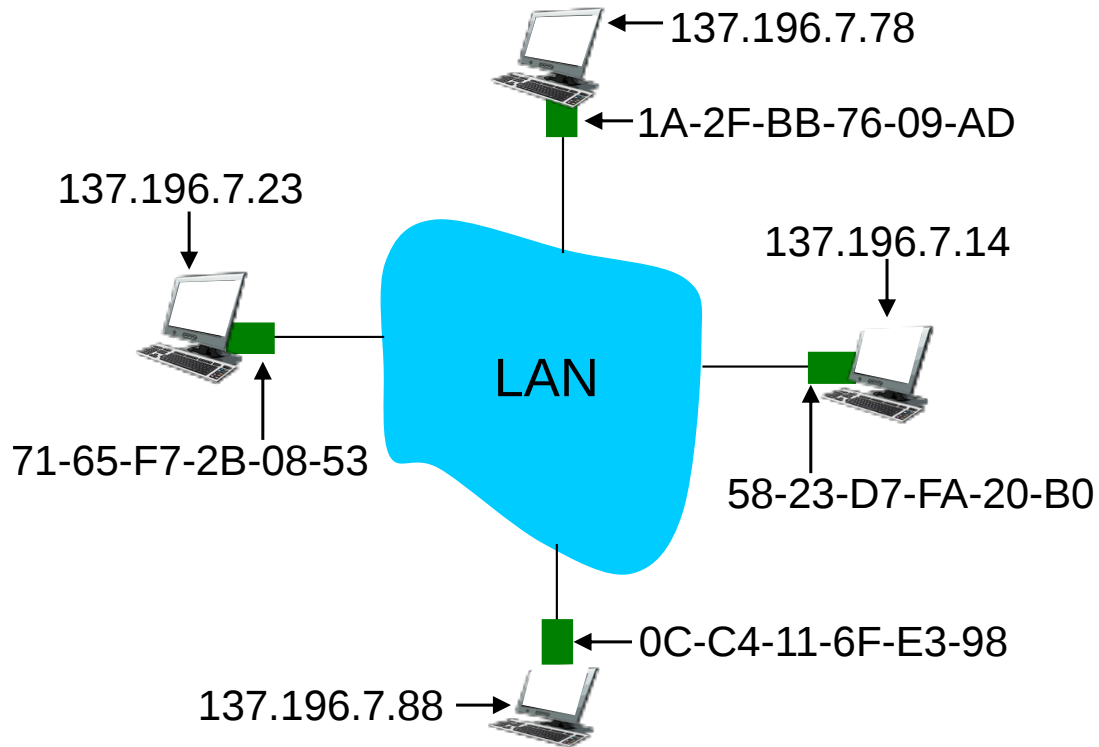
Endereços MAC (II)

- Cada adaptador em uma LAN tem um endereço MAC único.



- Alocação de endereços MAC feita pelo IEEE.
- Fabricantes compram porções do espaço de endereçamento.
 - Garante unicidade.
 - Geralmente, prefixo determina fabricante.
- MAC vs. IP: portabilidade.
 - MAC é plano: interface pode ser movida entre LANs.
 - IP é hierárquico: depende da sub-rede específica.

ARP: Resolução de Endereços



Pergunta: Como determinar o MAC da interface sabendo o IP?

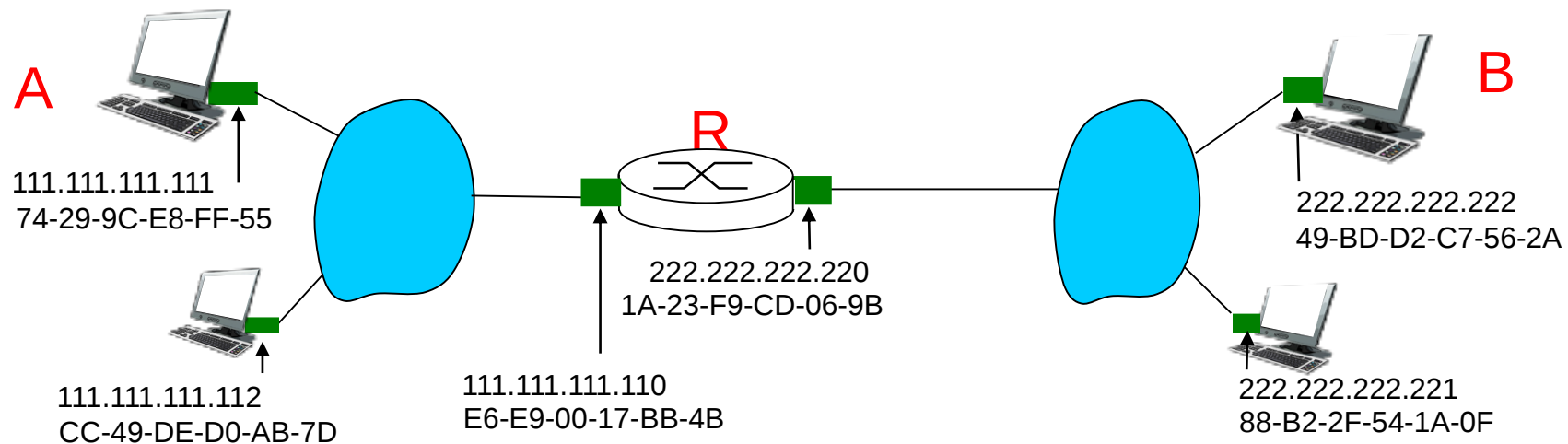
- **Tabela ARP:** cada nó IP (roteador, host) em uma LAN possui uma.
 - Mapeamento IP \Leftrightarrow MAC:
< IP; MAC; TTL >
 - TTL (*Time To Live*): validade da entrada (e.g., esquecida após 20 min).

O Protocolo ARP: Dentro de uma LAN

- **A** deseja enviar datagrama para **B**.
 - Mas MAC de **B** não está na tabela ARP de **A**.
- **A** gera um ARP Query contendo o IP de **B**.
 - Endereço MAC de destino:
FF:FF:FF:FF:FF:FF (**broadcast**).
 - Todos os nós da LAN recebem o ARP Query.
 - Em particular, **B**.
- **B** gera um ARP Reply.
 - Quadro **unicast**.
 - MAC de origem: de **B**.
 - MAC de destino: de **A**.
- Tabela ARP é uma *cache*: mapeamentos são guardados até ficarem antigos.
 - *Soft State*: informação expira se não é renovada.
- O ARP é um protocolo “plug-and-play”.
 - Tabela é criada automaticamente.
 - Sem intervenção ou configuração do administrador.

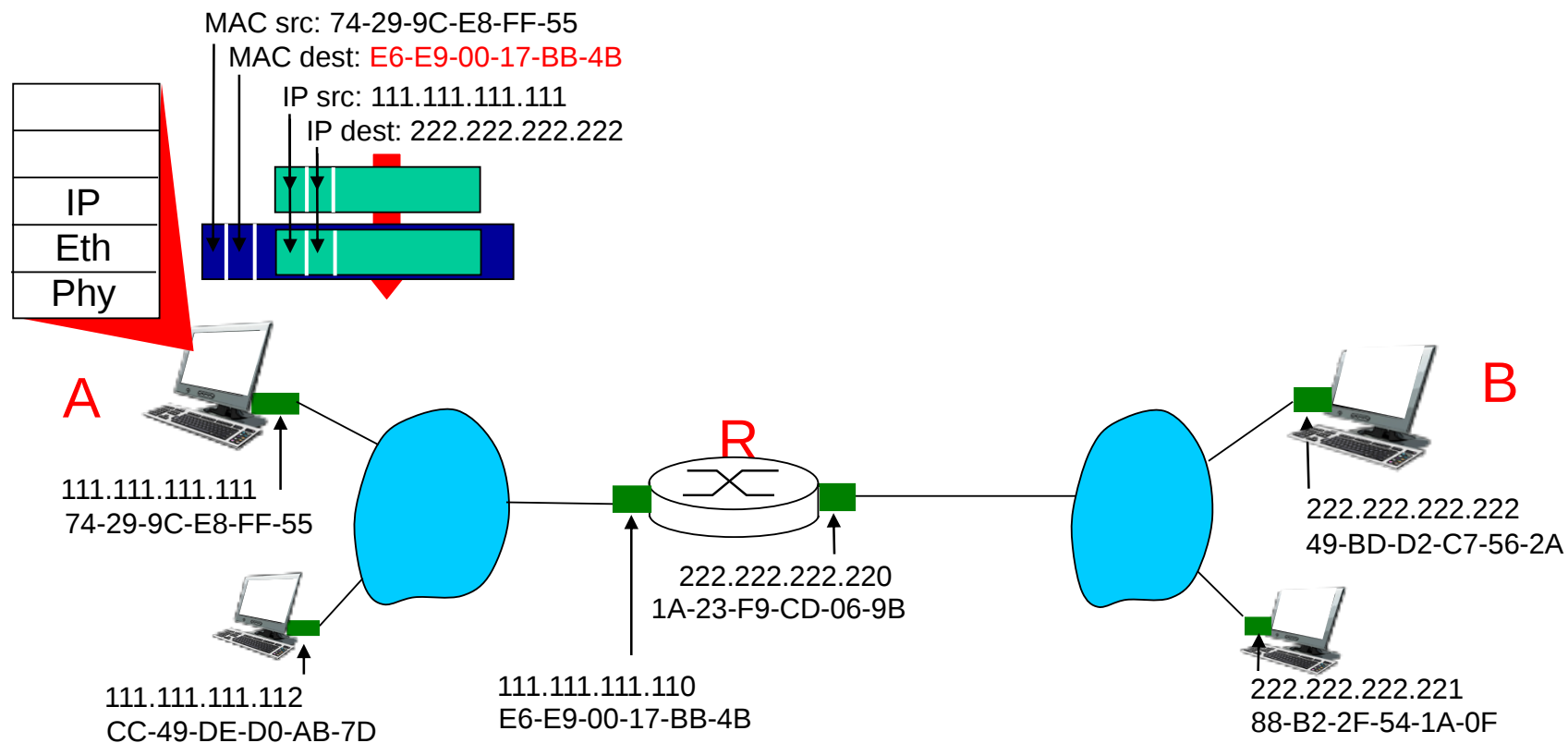
ARP e Roteamento: Enviando Pacote para Outra LAN

- **Passo a passo:** envio de pacote de **A** para **B** usando **R**.
 - Foco no endereçamento — nas camadas de rede (datagrama) e enlace (quadro).
 - Assumindo que:
 - **A** sabe IP de **B**.
 - **A** sabe IP do roteador de primeiro salto **R** (como?).
 - **A** sabe o MAC de **R** (como?).



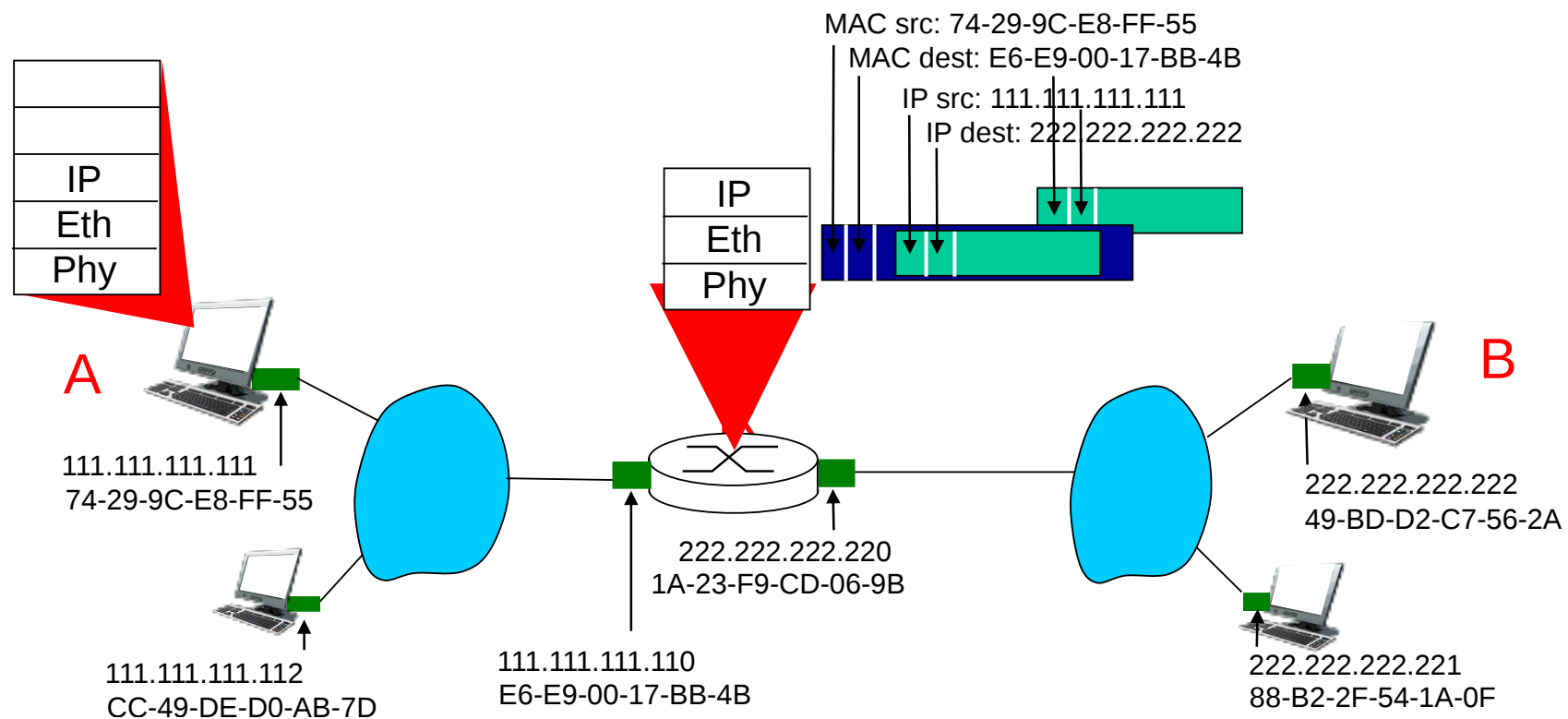
ARP e Roteamento: Enviando Pacote para Outra LAN

- **A** cria datagrama IP com origem **A**, destino **B**.
- **A** encapsula datagrama em quadro com MAC de **R** como destino, e de **A** como origem.



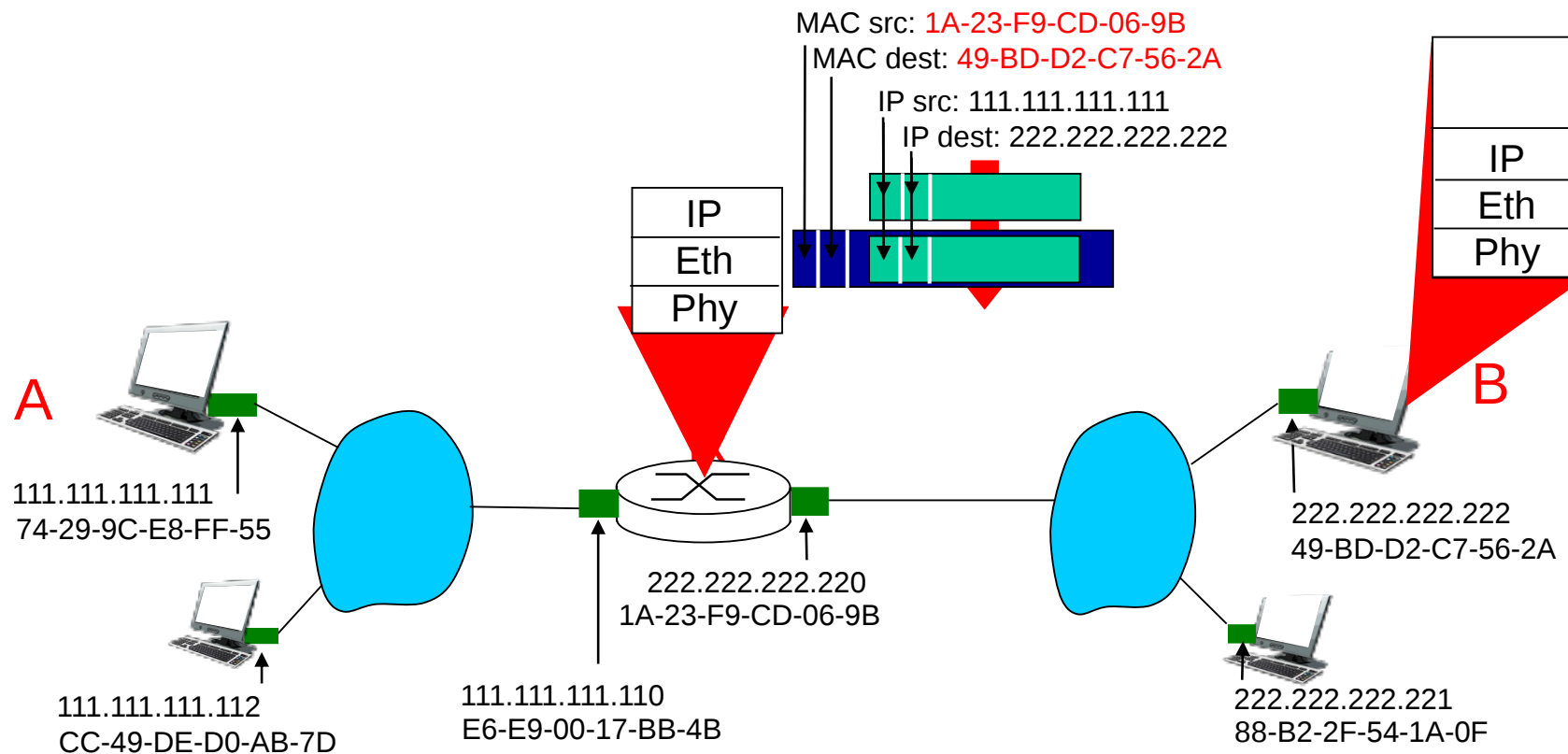
ARP e Roteamento: Enviando Pacote para Outra LAN

- Quadro é enviado de **A** para **R** através do enlace.
- **R** recebe quadro, extrai datagrama, e o repassa para o IP.



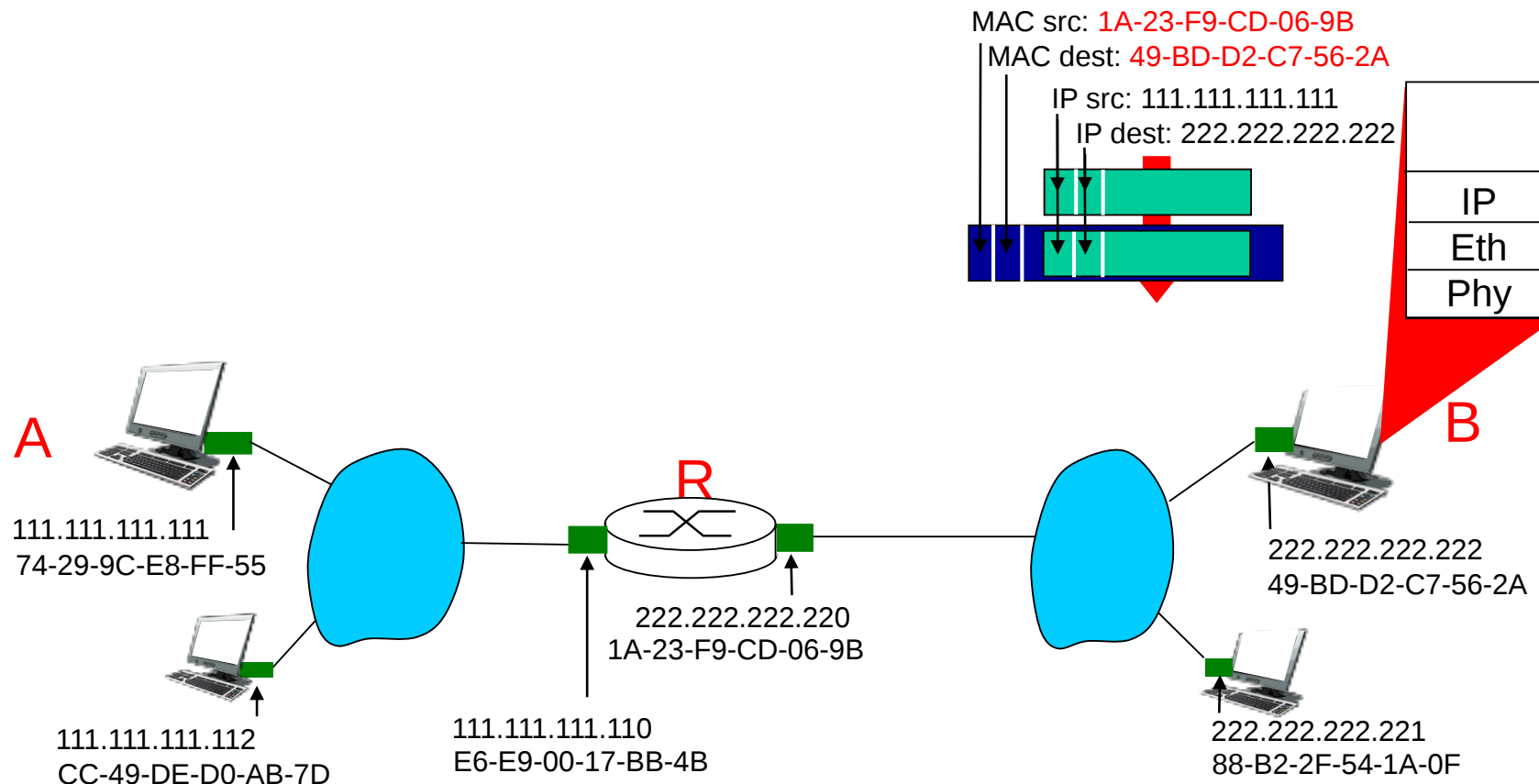
ARP e Roteamento: Enviando Pacote para Outra LAN

- **R** encaminha datagrama com IP de origem de **A** e IP de destino de **B**.
- **R** encapsula datagrama em quadro com MAC de **B** como destino, e MAC de **R** como origem.



ARP e Roteamento: Enviando Pacote para Outra LAN

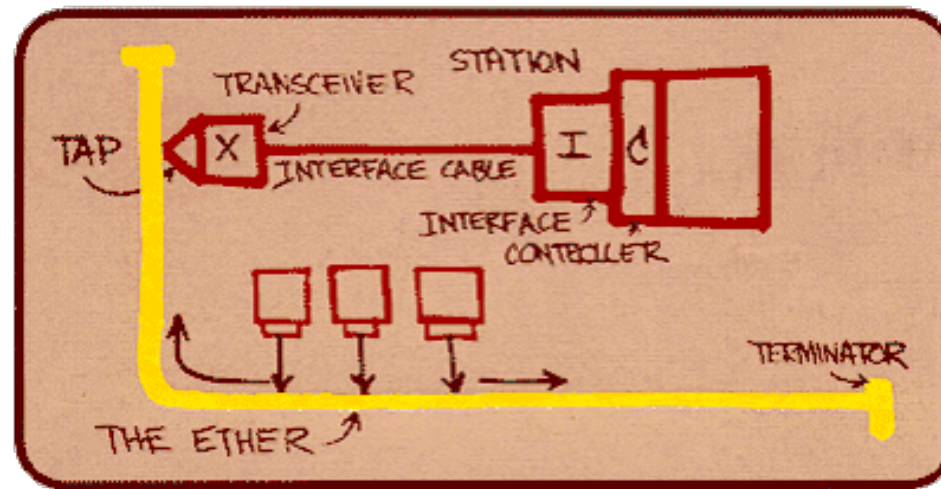
- **B** recebe o quadro e extrai datagrama.
- Em **B**, camada de rede verifica que datagrama é destinado ao próprio nó.



Redes Locais (LANs): Ethernet

Ethernet

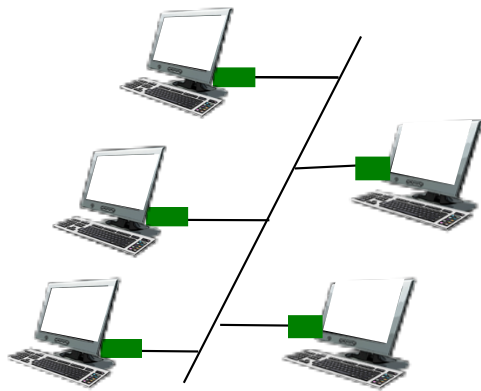
- Tecnologia “dominante” para LANs cabeadas.
 - Barata: interface Gigabit Ethernet por R\$ 30,00.
 - Primeira tecnologia para LANs amplamente utilizada.
 - Mais simples e barata que alternativas: e.g., Token LANs, ATM.
 - Acompanhou evolução das taxas de transmissão: 10 Mb/s – 10 Gb/s.



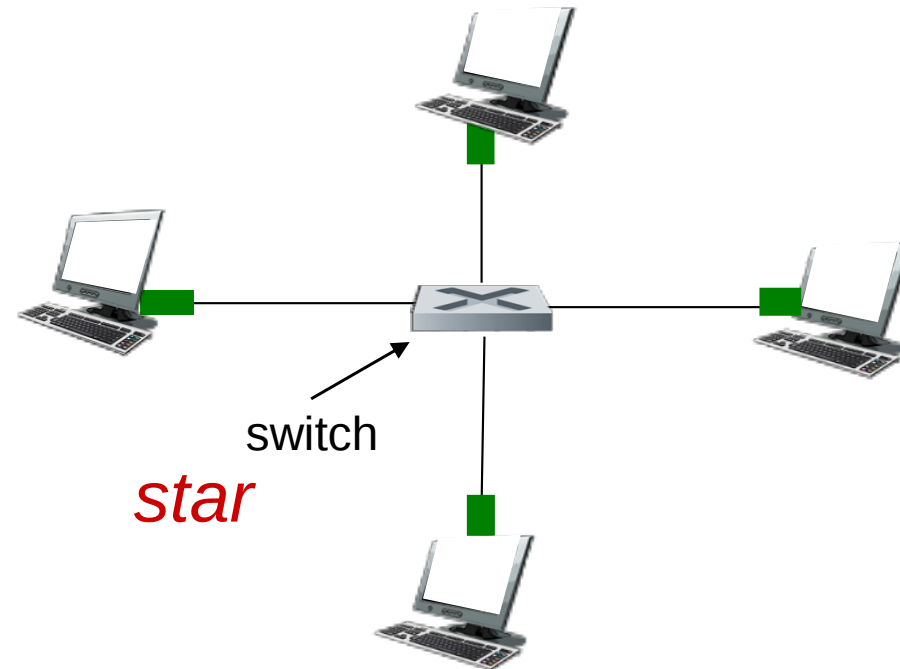
Esboço do Ethernet feito por Metcalfe.

Ethernet: Topologia Física

- **Barramento:** popular até meados dos anos 90.
 - Todos os nós no mesmo **domínio de colisão**.
 - Transmissões podem colidir umas com as outras.
- **Estrela:** prevalecente hoje.
 - Elemento ativo no centro: **switch**.
 - Cada cabo conectando o *switch* a um nó roda um protocolo Ethernet (separado).
 - Colisões são impossíveis.



bus: coaxial cable



Ethernet: Hubs

- Comum no final da década de 90.
- Topologia estrela, mas hub era o intermediário.
 - Ao invés de um *switch*.
- Sinal recebido em uma porta era **regenerado** e replicado para as demais.
- Domínio de colisão **único**.
- Assim como nos barramentos, **colisões eram possíveis!**
 - Hub + cabos = meio de difusão.

Estrutura de um Quadro Ethernet (I)

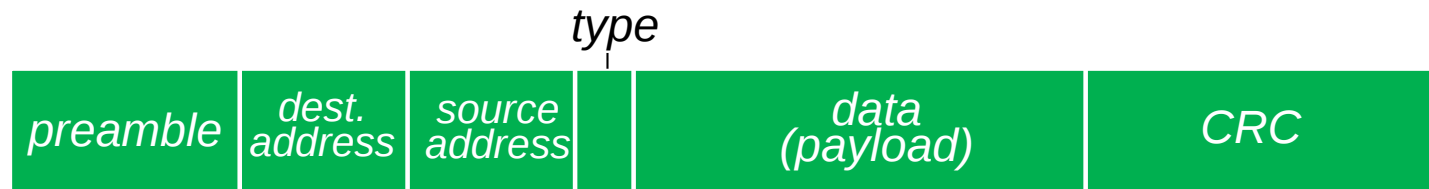
- Interface encapsula datagrama IP (ou qualquer outro protocolo de rede) em quadro Ethernet.
 - De 46 a 1500 bytes.
 - Por que tamanhos máximo e mínimo?
 - O que ocorre se o datagrama é maior ou menor?



- **Preâmbulo:**
 - 7 bytes com o padrão 10101010 seguidos de 1 byte com o padrão 10101011.
 - Usado para sincronizar transmissor e receptor.

Estrutura de um Quadro Ethernet (II)

- **Endereços**: origem e destino, 6 bytes cada.
 - Interface filtra quadros recebidos pelo endereço de destino.
 - Se endereço é o MAC da interface, ou de *broadcast*, pacote é desencapsulado e passado para cima.
 - Caso contrário, quadro é descartado.
- **Tipo**: indica protocolo da camada superior (tipicamente IP, mas também pode ser IPX, AppleTalk, ...).
- **CRC**: verificação de integridade.
 - Erros detectados: quadro é descartado.



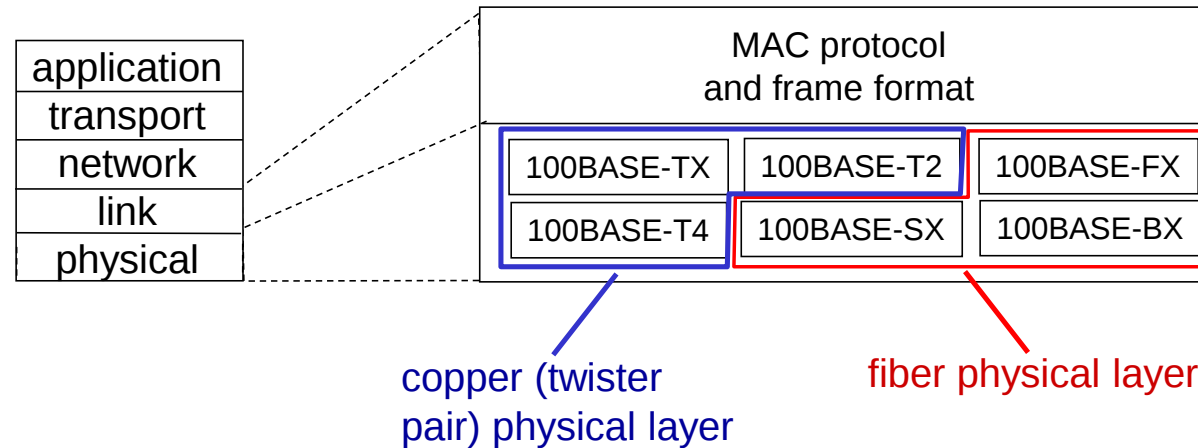
Ethernet: Não Confiável, Sem Conexão

- **Sem Conexão**: não há *handshake* entre estações transmissora e receptora.
 - Transmissor simplesmente transmite quadro.
- **Não confiável**: receptor não envia *acks* ou *nacks* ao transmissor.
 - Dados encapsulados em quadros perdidos só recuperados por camada superior.
 - *e.g.*, via retransmissões do TCP.
- **Protocolo de acesso ao meio**: CSMA/CD com backoff binário exponencial (unslotted).

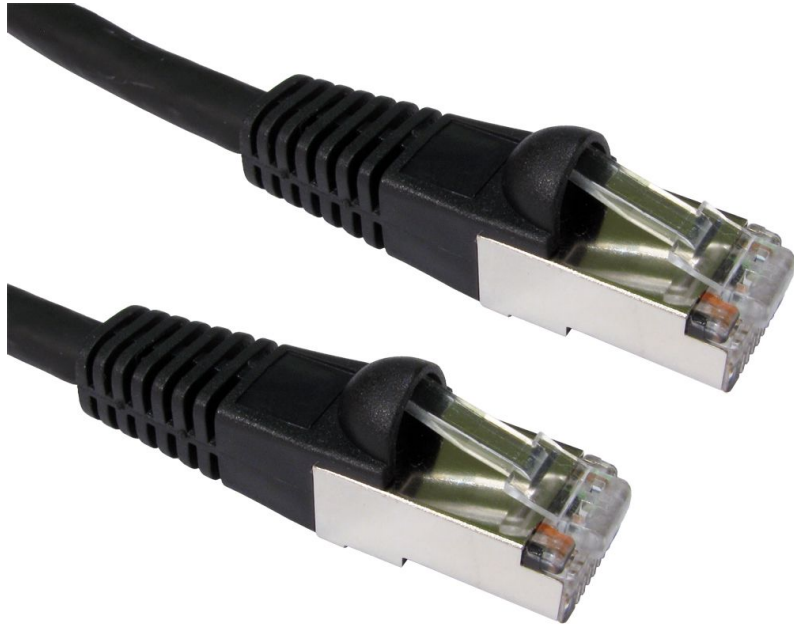
Padrões Ethernet 802.3: Camadas Física e de Enlace (I)

- **Vários** padrões Ethernet diferentes:

- Em comum, protocolo de acesso ao meio e formato de quadro.
- Mas taxas de transmissão diferentes: 2 Mb/s, 10 Mb/s, 100 Mb/s, 1 Gb/s, 10 Gb/s.
- Meios de transmissão também diferentes: fibra óptica, cabos de cobre.



Padrões Ethernet 802.3: Camadas Física e de Enlace (II)



Cabo de par trançado, conector RJ45.



Cabo coaxial, conector BNC.



Conector tipo T, BNC.

Padrões Ethernet 802.3: Camadas Física e de Enlace (III)



Fibra óptica, conector LC.

Padrões Ethernet 802.3: Comprimento Máximo

- Comprimento dos **segmentos** do Ethernet é limitado pelos padrões.
 - Por que?
 - Segmentos *vs.* cabo?
- Exemplos:
 - 10Base2 (Ethernet 10 Mb/s, cabo coaxial fino), máximo de 185 metros.
 - 10Base5 (Ethernet 10 Mb/s, cabo coaxial mais grosso), máximo de 500 metros.
 - 100BaseT (Fast Ethernet [100 Mb/s], par trançado), máximo de 100 metros.
 - 1000BaseLX10 (Gigabit Ethernet [1000 Mb/s], fibra óptica), máximo de 10 quilômetros.
- Repetidores podem ser usados para interconectar segmentos.
 - Pouco comum hoje, geralmente substituídos por *switches*.

Resumo da Aula...

- Endereçamento e ARP:
 - Endereço MAC, **diferente** do IP:
 - **Único** para cada interface produzida.
 - **Plano**: i.e., não hierárquico.
 - **Garante portabilidade**: i.e., pode-se conectar interface a qualquer rede.
 - Usado na comunicação entre dois dispositivos **diretamente conectados**.
 - Há **mapeamento** entre endereços MAC e IP.
 - Uma interface possui um IP e um certo MAC.
 - Camada de enlace precisa **traduzir** um IP para um MAC.
 - Função do protocolo ARP.
- Ethernet: tecnologia padrão para LANs cabeadas.
 - **Simples, barato.**
 - Amplamente **difundido**.
 - **Acompanhou evolução** das taxas de transmissão.
- Ethernet original utilizava topologia em **barramento**.
- Atualmente, o mais comum é a topologia **estrela**.
 - Elemento ativo no centro: **switch**.
 - Colisões são **impossíveis**.
- Quadro Ethernet possui:
 - **Preâmbulo**.
 - **Endereços de 6 bytes**.
 - **CRC**.
- Serviço **sem conexão, não confiável**.
- Emprega o **CSMA/CD**.

Leitura e Exercícios Sugeridos

- Endereçamento e ARP:
 - Páginas 338 a 343 do Kurose (Seção 5.4).
 - Exercícios de fixação 8, 9 e 10 do capítulo 5 do Kurose.
 - Problemas 14, 15 e 16 do capítulo 5 do Kurose.
- Ethernet:
 - Páginas 343 a 350 do Kurose (Seção 5.5, exceto Subseção 5.5.2, já coberta na aula anterior).
 - Problema 23 do capítulo 5 do Kurose.

Próxima Aula...

- Tópico muito importante nas redes Ethernet:
 - Switches.
 - O que são?
 - Como funcionam?
 - Interconexão entre múltiplos switches.