

计算机网络

第五章 链路层

谢瑞桃

xie@szu.edu.cn

[rtxie.github.io](https://github.com/rtxie)

计算机与软件学院

深圳大学





第五章讲解内容

1. 链路层概述/服务/实现
2. 差错检测
 - 奇偶校验、循环冗余校验
3. 多路访问
 - 信道划分、CSMA/CD、二进制指数退避
4. **MAC地址与地址解析协议**
5. 局域网技术
 - 交换机以太网、VLAN



链路层地址

■ IP地址

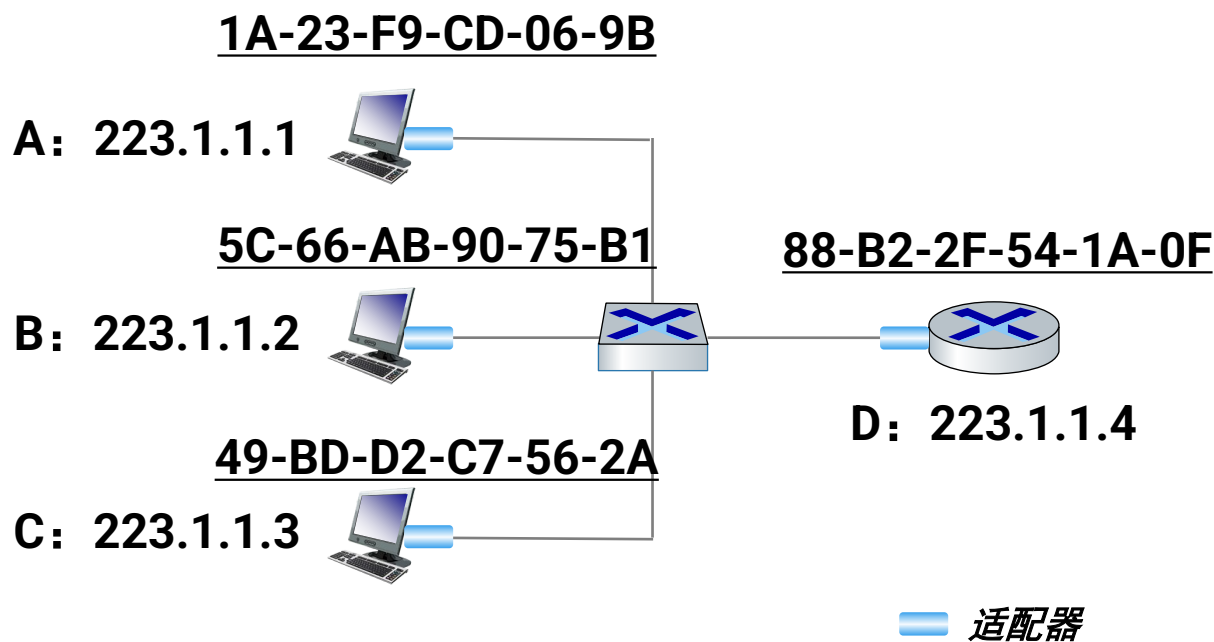
- 接口的**网络层地址**，用于网络层转发分组
- 自动配置或软件获取
- 32位，4字节
- 192.168.2.36
- 类比工号/学号

■ MAC地址/物理地址

- 接口的**链路层地址**，用于链路层寻址
- NIC出厂时写在只读存储器ROM里，通常无法更改
- 48位，6字节
- 1A-2F-BB-76-09-AD
- 类比身份证号

MAC地址

- 主机和路由器的每个接口有IP地址，也有MAC地址
- 交换机接口**没有**IP地址，也**没有**MAC地址





MAC地址管理

- MAC地址分配由IEEE管理
- NIC厂商付费购买MAC地址块



地址解析协议

- 在一个局域网内，源主机只知道目的主机的IP地址，但是如何知道它的MAC地址呢？
- Address Resolution Protocol (ARP[RFC 826])
- 每个IP节点都有ARP表
 - 保存所属局域网内的部分节点的IP/MAC地址映射
 - < IP 地址 MAC 地址 TTL >
 - TTL (Time To Live): 删除某个映射的时间

地址解析协议

- A想给C发送数据报，但A不知道C的MAC地址
- A**广播**ARP查询分组

ARP查询分组

源IP: 233.1.1.1

目的IP: 233.1.1.3

源MAC: 1A-23-F9-CD-06-9B

目的MAC: FF-FF-FF-FF-FF-FF

1A-23-F9-CD-06-9B

A: 223.1.1.1



5C-66-AB-90-75-B1

B: 223.1.1.2



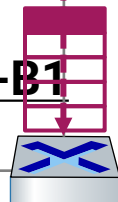
49-BD-D2-C7-56-2A

C: 223.1.1.3



88-B2-2F-54-1A-0F

D: 223.1.1.4



地址解析协议

- A想给C发送数据报，但A不知道C的MAC地址
- A广播ARP查询分组

ARP查询分组

源IP: 233.1.1.1

目的IP: 233.1.1.3

源MAC: 1A-23-F9-CD-06-9B

目的MAC: FF-FF-FF-FF-FF-FF

1A-23-F9-CD-06-9B

A: 223.1.1.1



5C-66-AB-90-75-B1

B: 223.1.1.2



49-BD-D2-C7-56-2A

C: 223.1.1.3



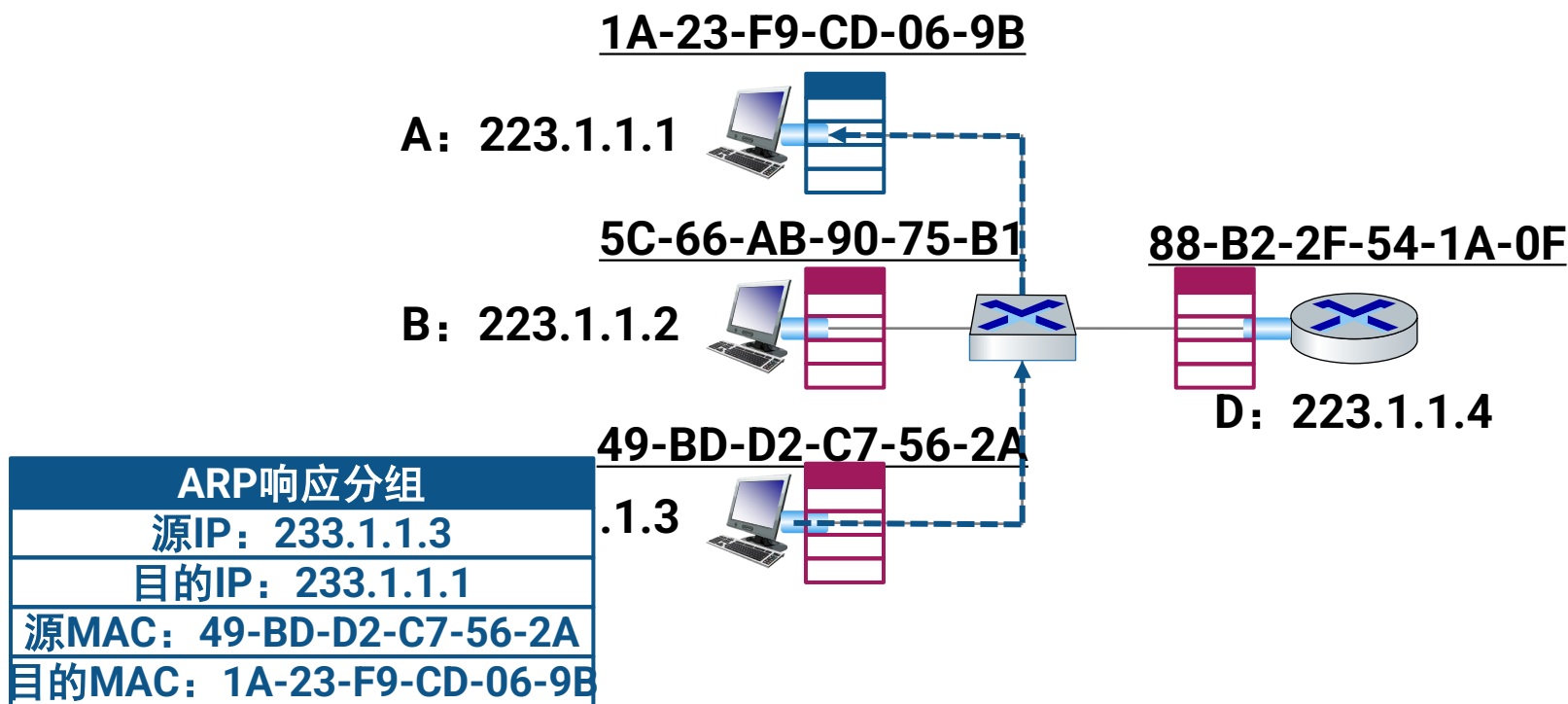
88-B2-2F-54-1A-0F

D: 223.1.1.4



地址解析协议

- 所有节点都收到ARP查询分组，但只有C会以**单播**方式发送ARP响应分组
- A将IP-MAC地址对存进ARP表



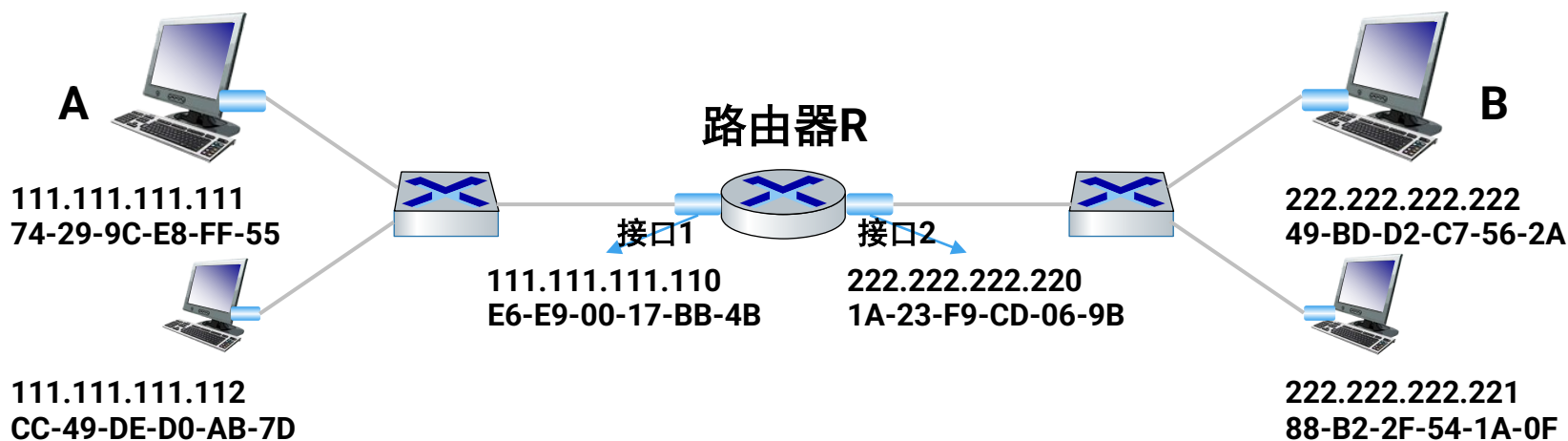


第五章知识点汇总

- 了解MAC地址
- 了解MAC地址与IP地址间的区别
- 理解地址解析协议

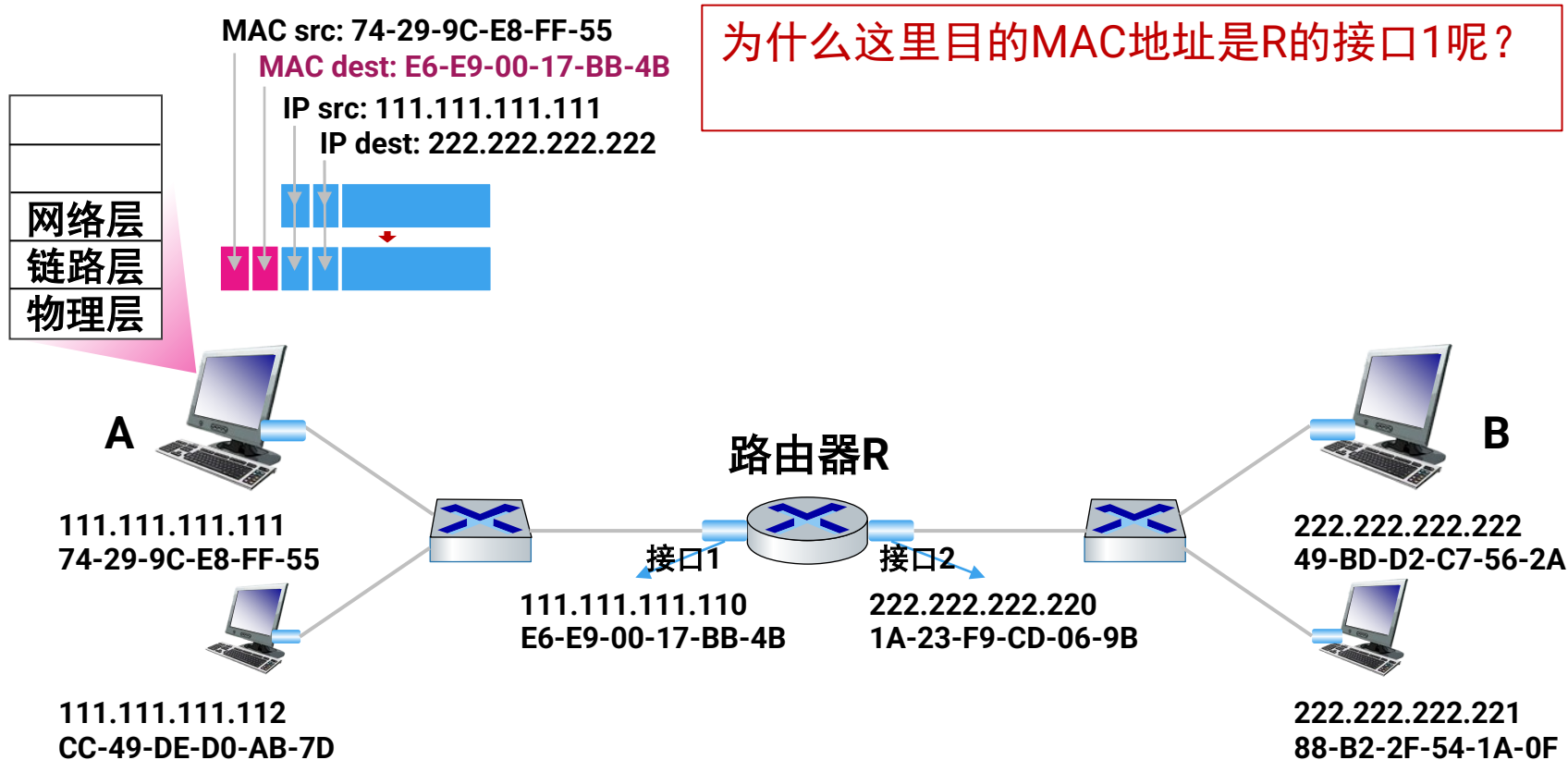
发送数据报到子网之外

- A向B发送数据报，通过R
 - 假设A知道B的IP地址
 - 假设A知道所接路由器的接口IP地址，如何获得呢？



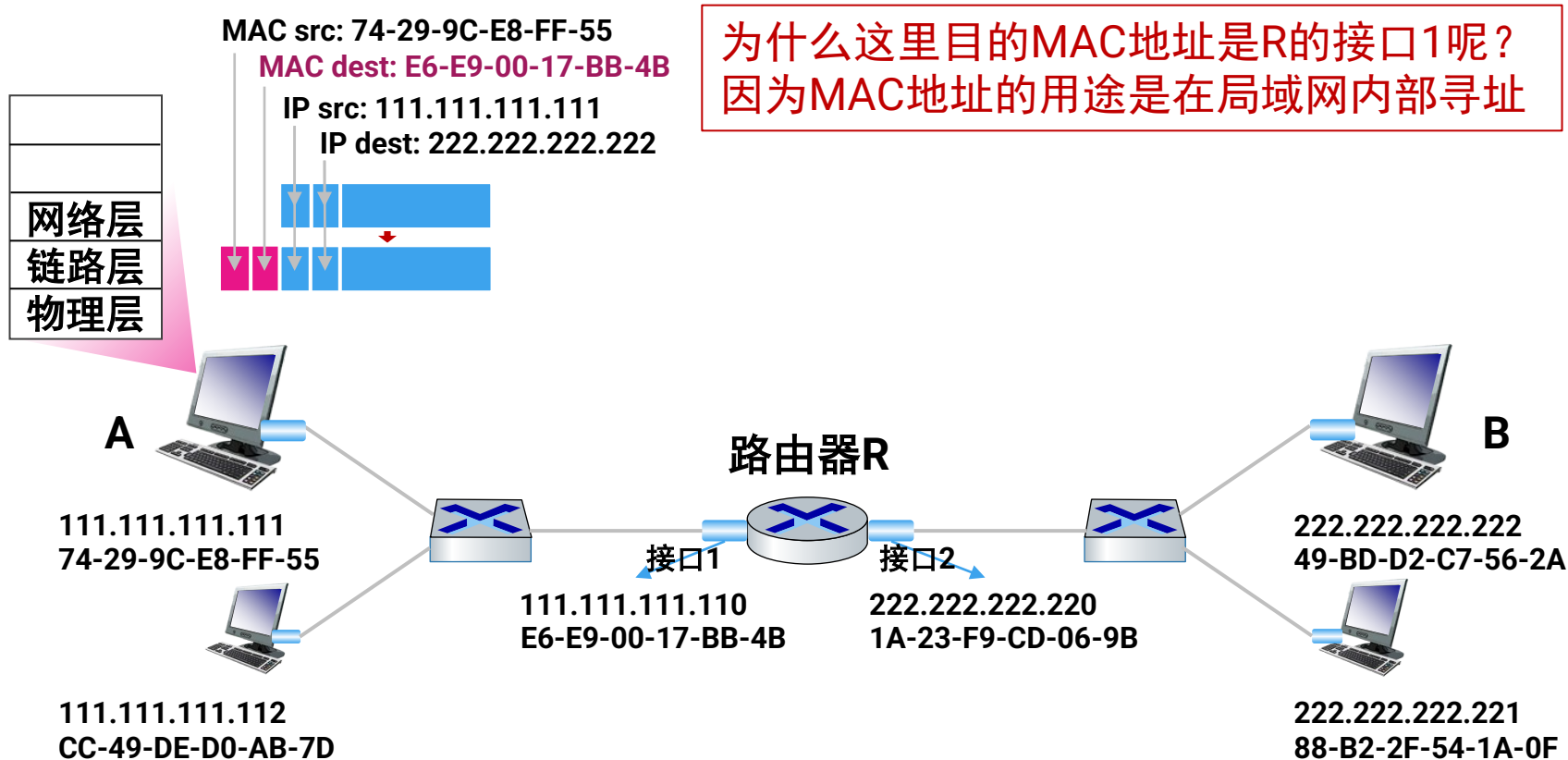
发送数据报到子网之外

- A的网络层封装IP数据报
- A的NIC封装链路层帧，注意其目的MAC地址



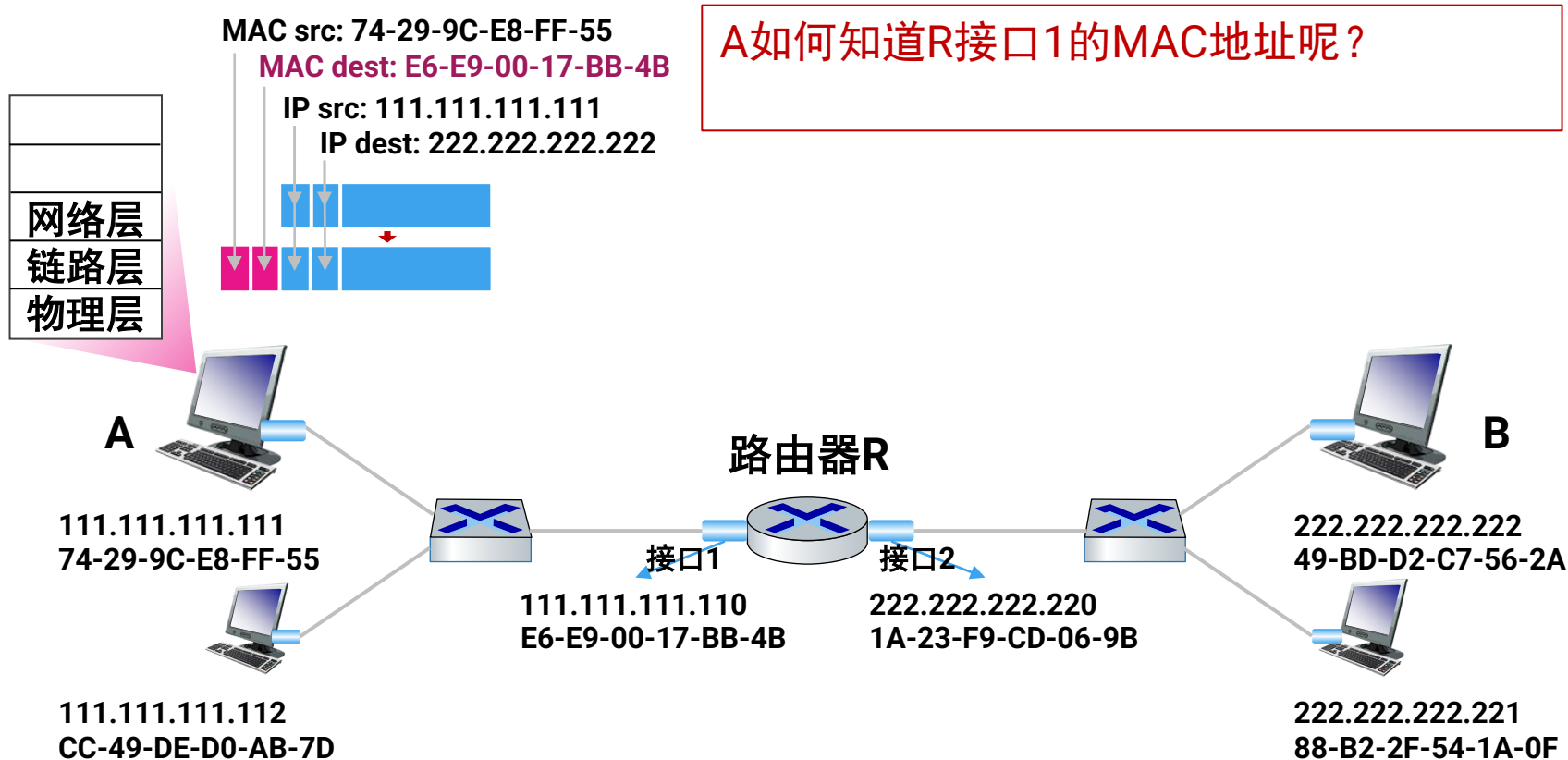
发送数据报到子网之外

- A的网络层封装IP数据报
- A的NIC封装链路层帧，注意其目的MAC地址



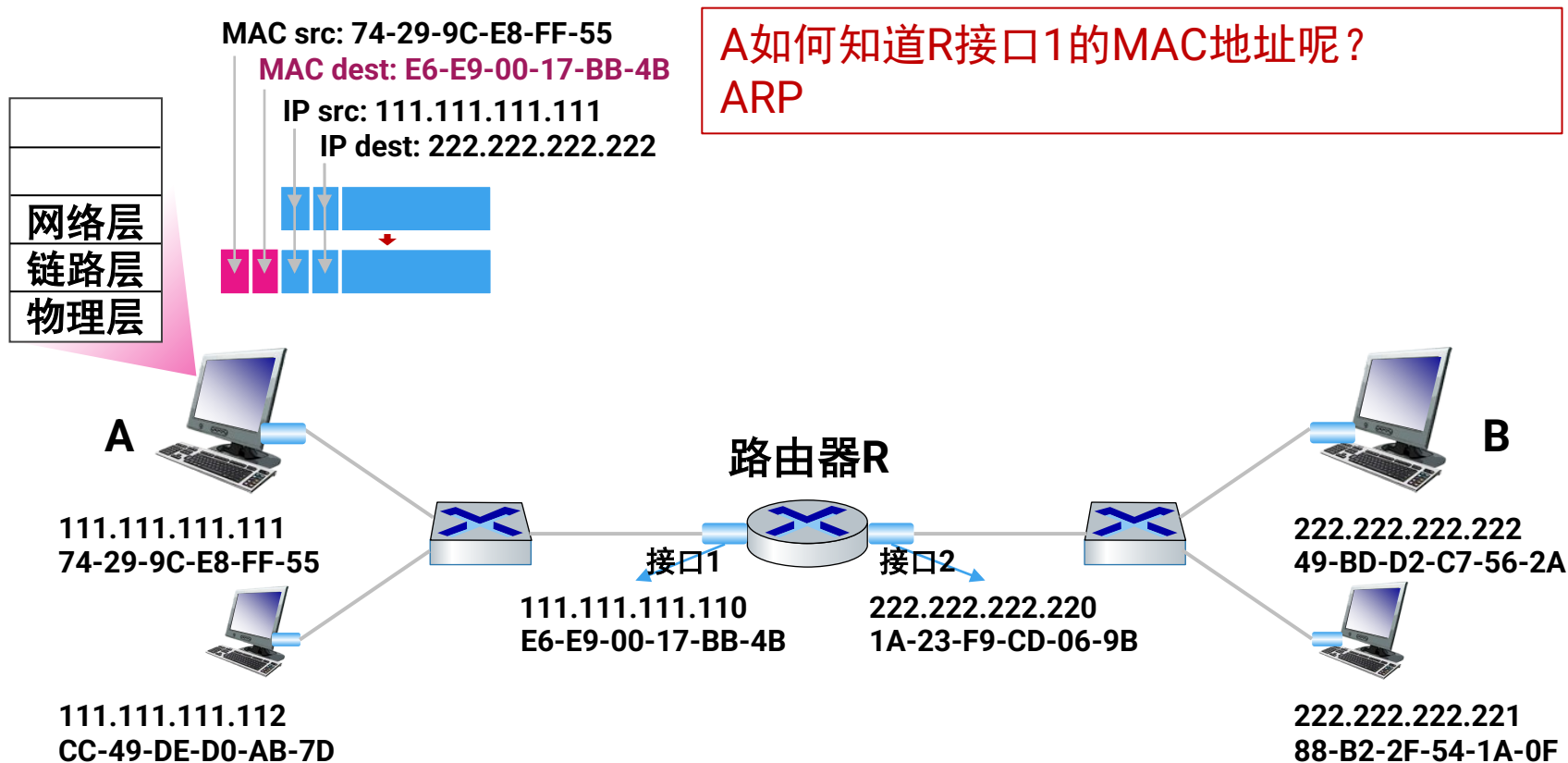
发送数据报到子网之外

- A的网络层封装IP数据报
- A的NIC封装链路层帧，注意其目的MAC地址



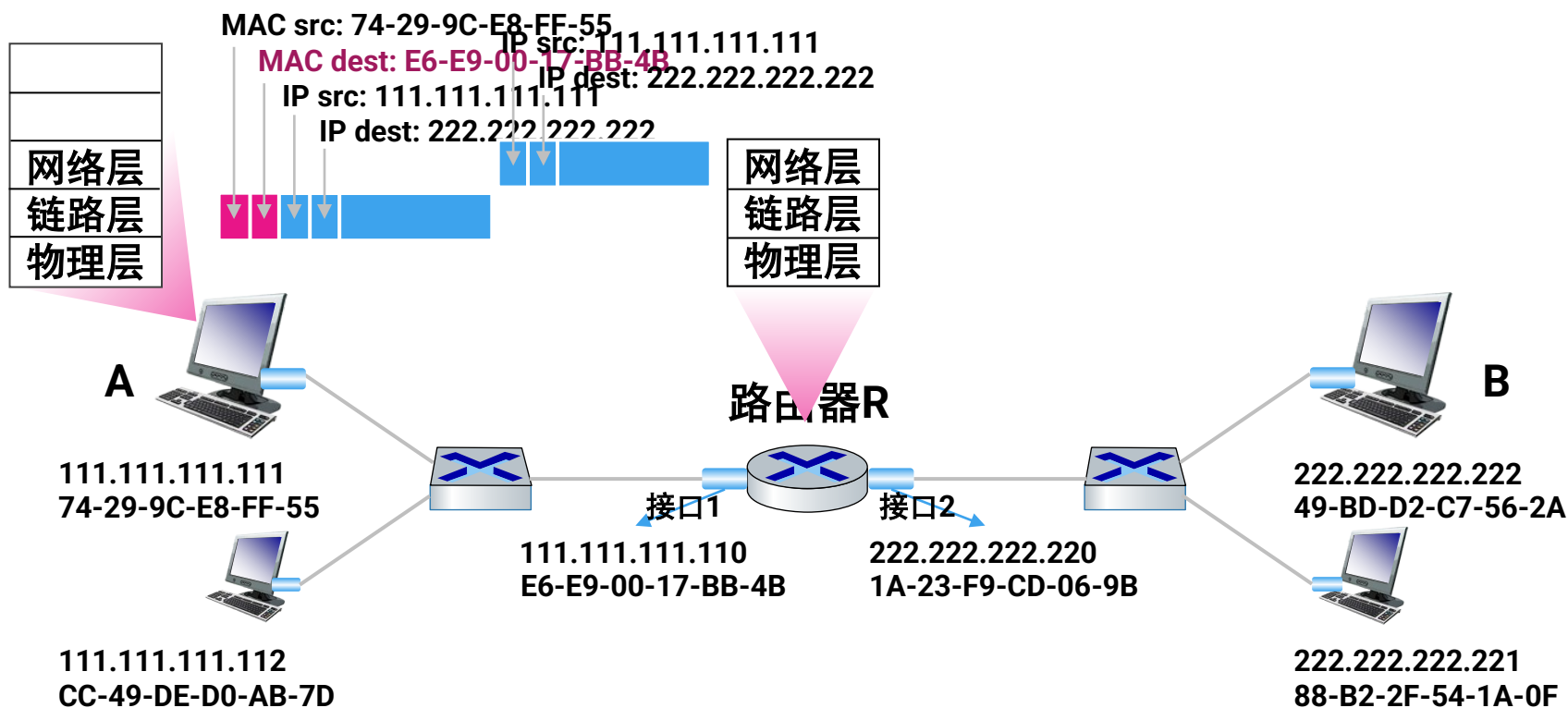
发送数据报到子网之外

- A的网络层封装IP数据报
- A的NIC封装链路层帧，注意其目的MAC地址



发送数据报到子网之外

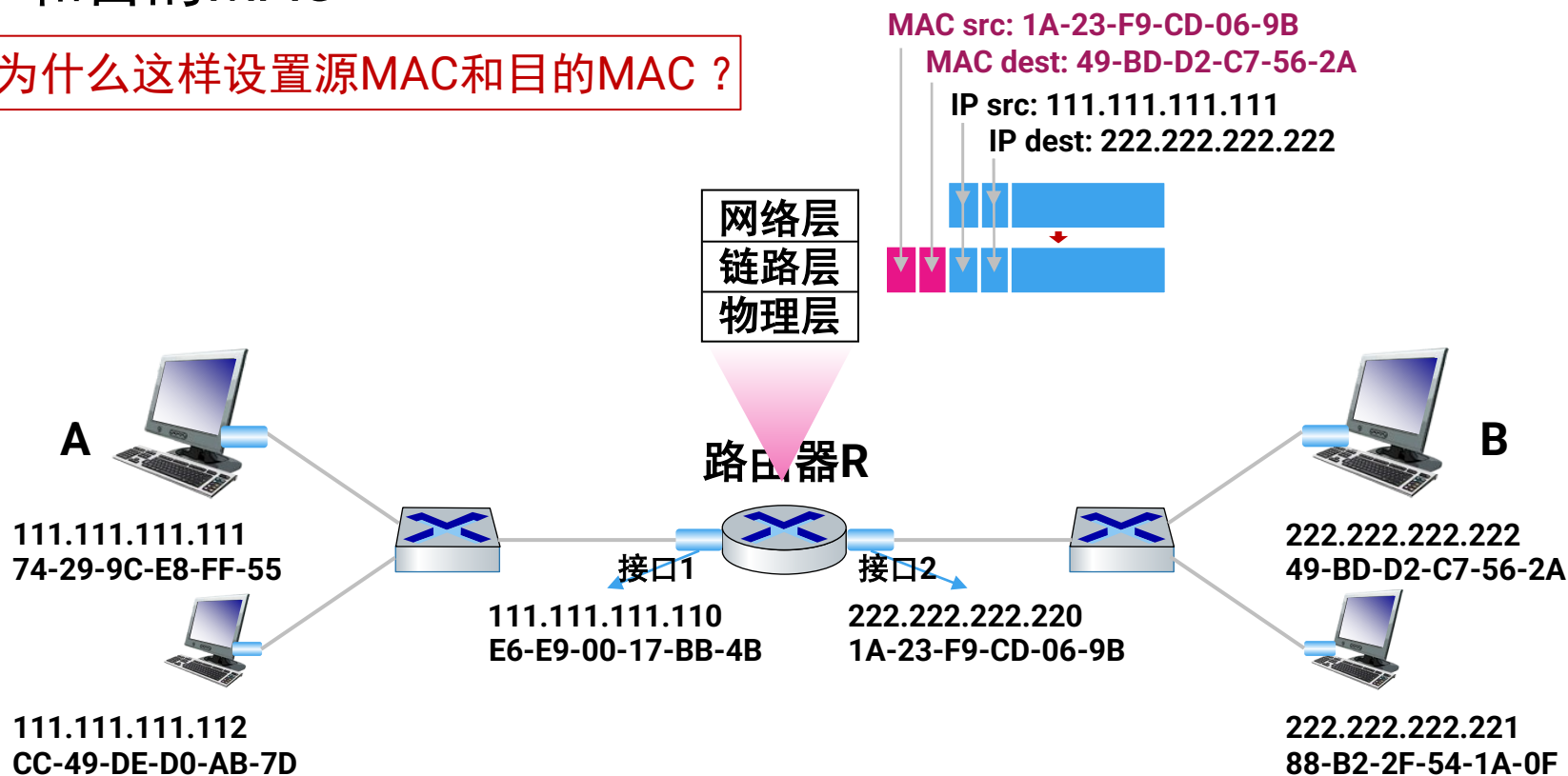
- 帧由A发往R
- R的接口1收到帧后，解封装，交付给网络层



发送数据报到子网之外

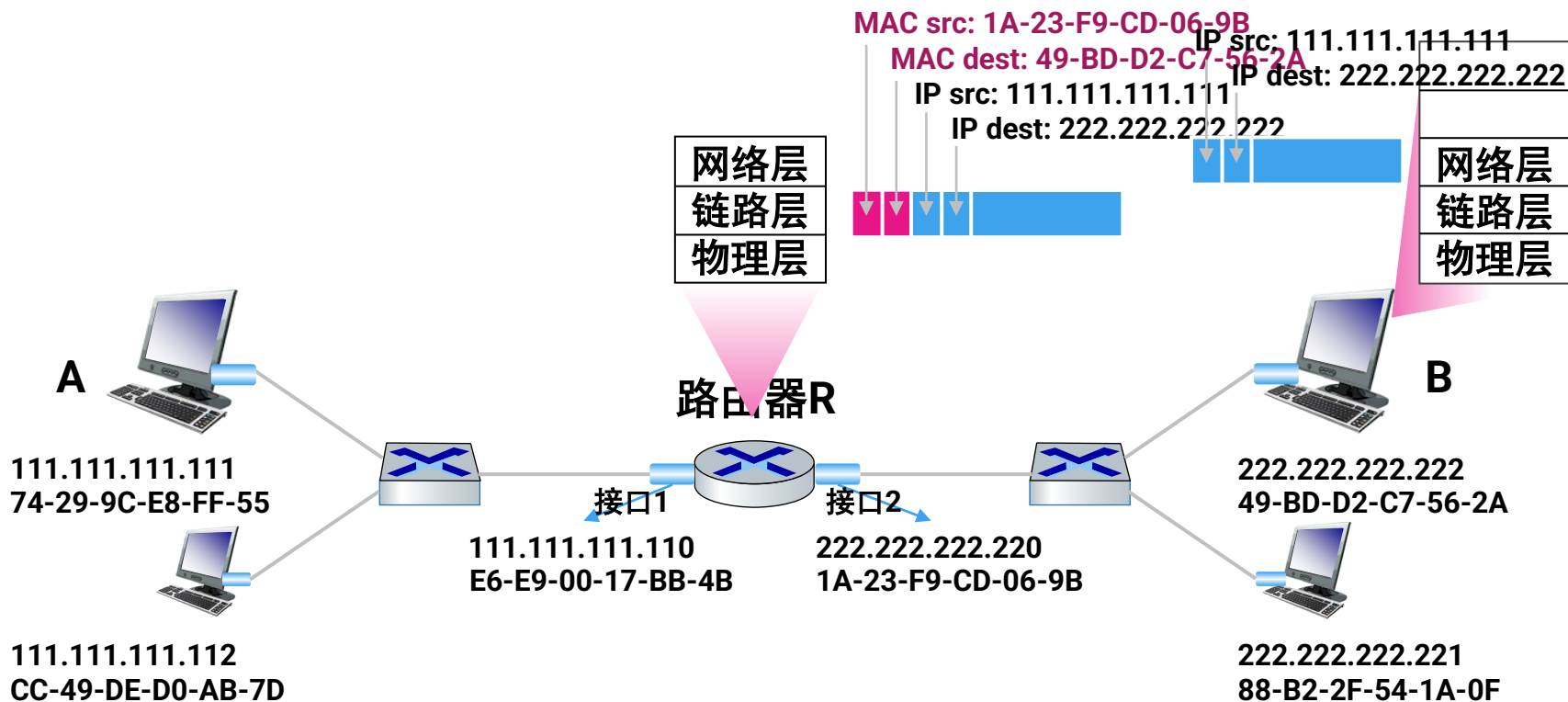
- R将该IP数据报转发到接口2
- 在接口2的NIC处，重新封装新的链路层帧，注意源MAC和目的MAC

为什么这样设置源MAC和目的MAC？



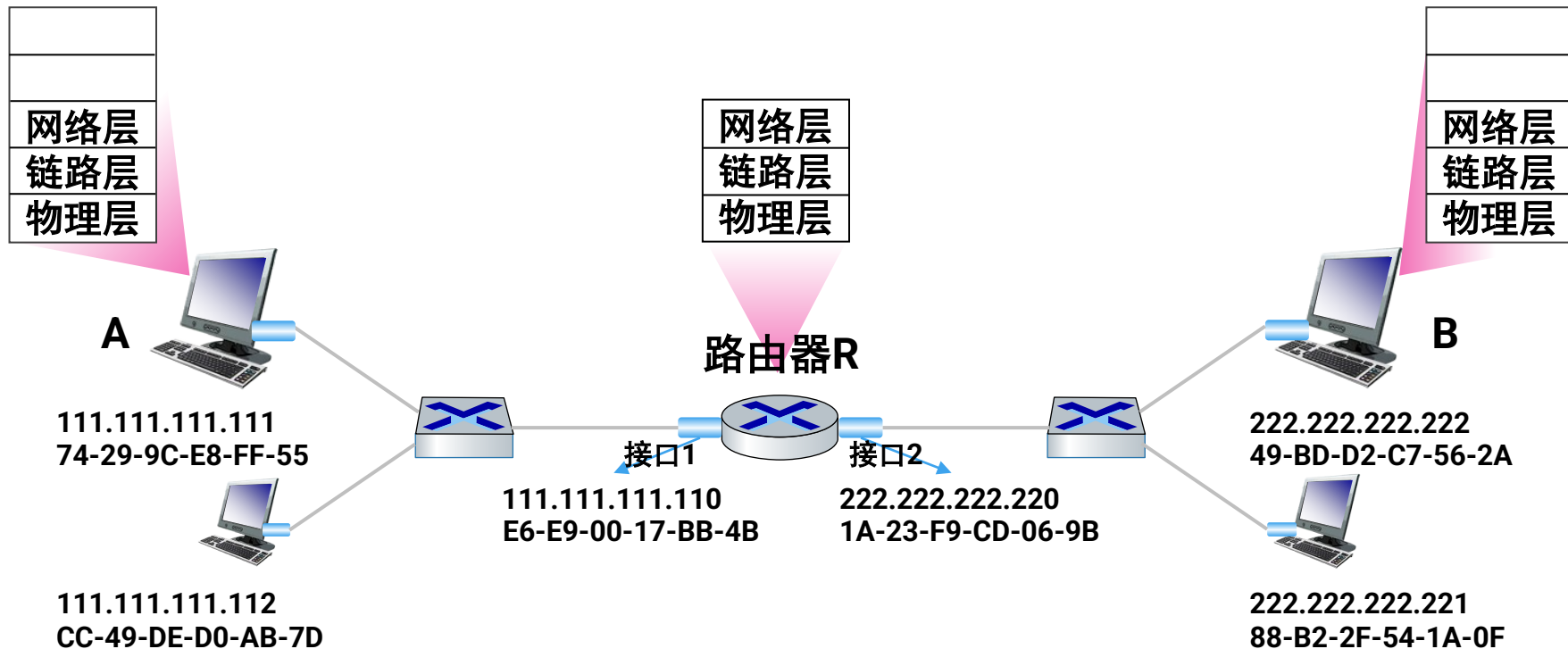
发送数据报到子网之外

- B收到该帧
- B解封装，将IP数据报向上交付给网络层



发送数据报到子网之外

- MAC地址的用途：在局域网内部寻址
- 链路层封装帧的时候，源MAC地址为NIC自身的，目的MAC地址为同一个局域网内的下一跳接口
- 如何知道下一跳接口的MAC地址？ ARP





第五章知识点汇总

- 理解MAC地址的用途
- 理解网络之间发送IP数据报时，分组封装/解封装的过程
- 理解DHCP所起的作用
- 理解ARP所起的作用

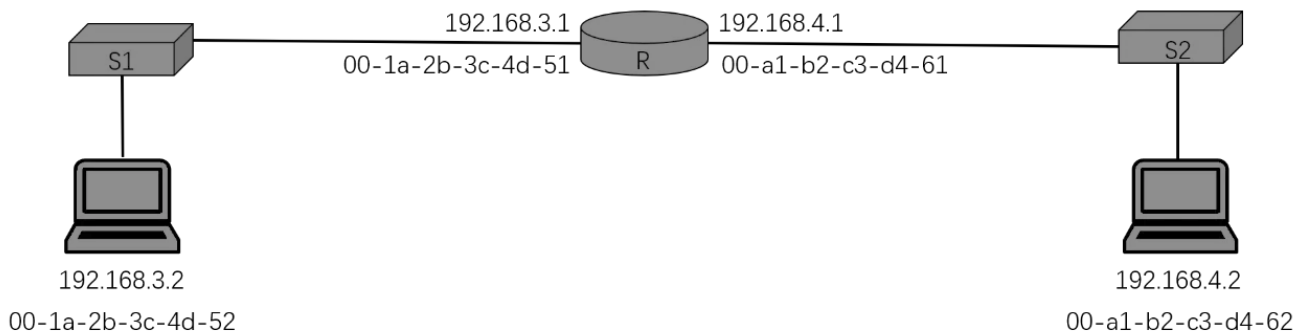


习题

- 【2018年考研34题】 下列选项中，不属于物理层接口规范定义范畴的是
 - A. 接口形状
 - B. 引脚功能
 - C. 物理地址
 - D. 信号电平

习题

- 【2018年考研37题】若H1向H2发送一个IP分组P，则H1发出的封装P的以太网帧的目的MAC地址、H2收到的封装P的以太网帧的源MAC地址分别是
- A. 00-a1-b2-c3-d4-62、00-1a-2b-3c-4d-52
- B. 00-a1-b2-c3-d4-62、00-1a-2b-3c-4d-61
- C. 00-1a-2b-3c-4d-51、00-1a-2b-3c-4d-52
- D. 00-1a-2b-3c-4d-51、00-a1-b2-c3-d4-61



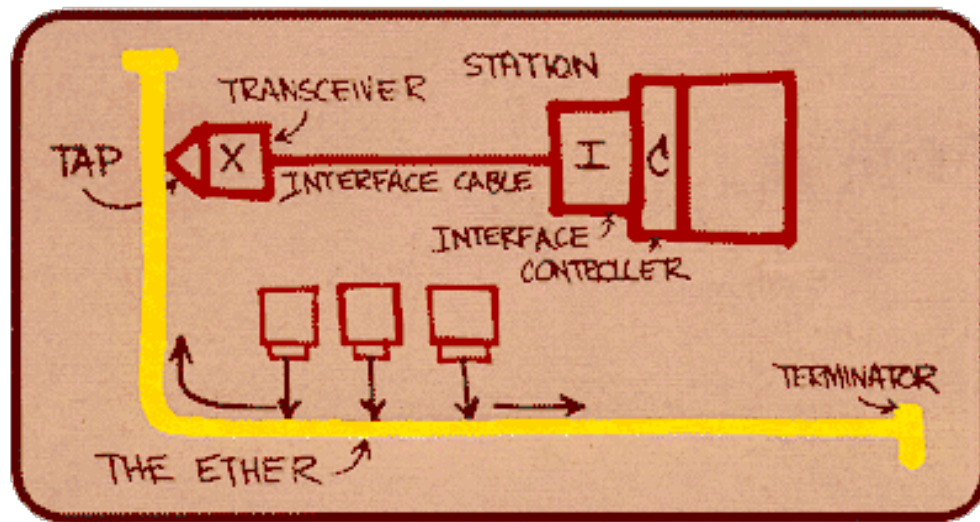


第五章讲解内容

1. 链路层概述/服务/实现
2. 差错检测
 - 奇偶校验、循环冗余校验
3. 多路访问
 - 信道划分、CSMA/CD、二进制指数退避
4. MAC地址与地址解析协议
5. 局域网技术
 - 交换机以太网、VLAN

以太网

- 最流行的有线局域网技术
- 最早广泛使用的局域网技术
- 简单、便宜
- 一直在发展：从10Mbps到10Gbps



Bob Metcalfe和David Boggs发明的以太网

以太网技术的演进

■ 总线式

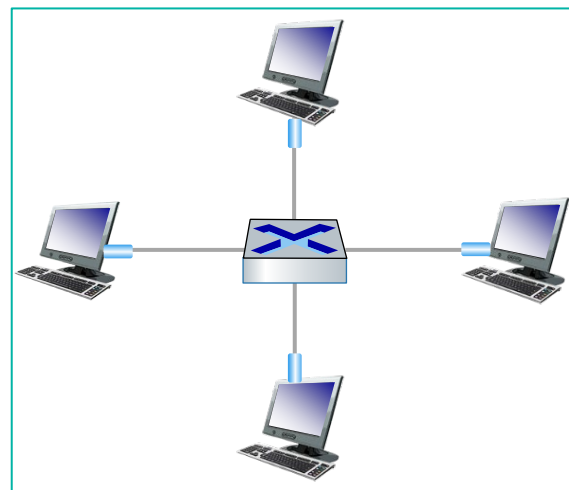
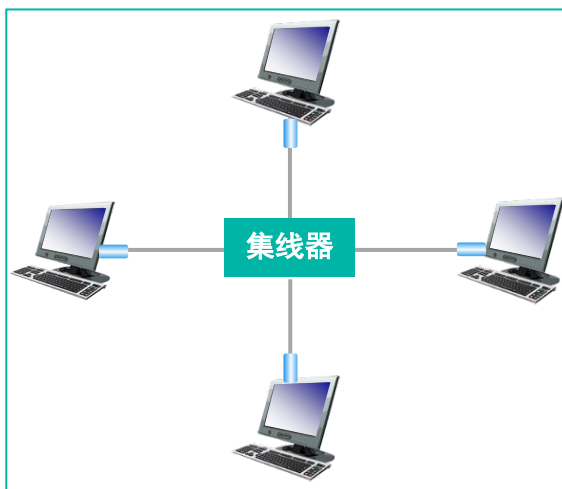
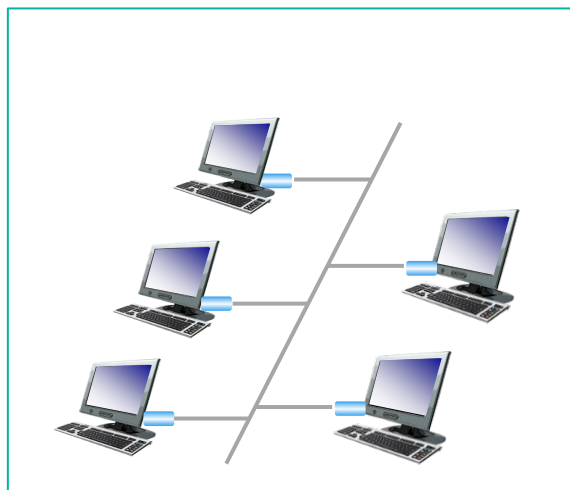
- 同轴电缆
- 广播信道
- 80-90年代
- 10Mbps

■ 集线器

- 双绞铜线/光纤
- 广播信道
- 90年代-世纪末
- 100Mbps

■ 交换机

- 双绞铜线/光纤
- 点对点信道
- 21世纪初-至今
- 1Gbps-10Gbps



以太网技术的演进

■ 总线式

- 同轴电缆
- 广播信道

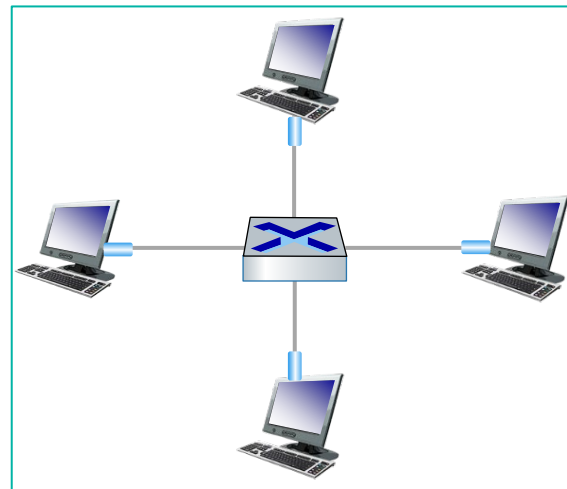
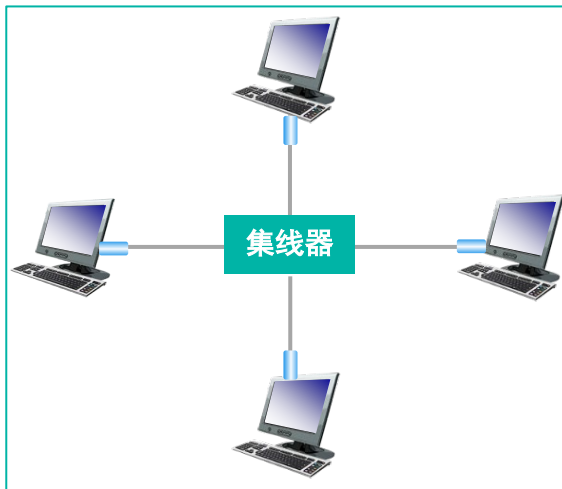
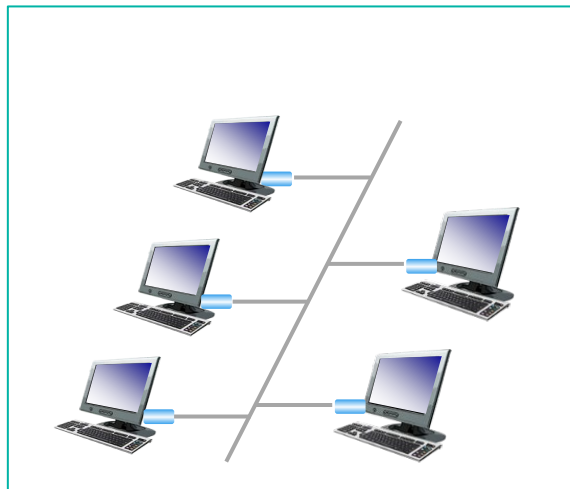
■ 集线器

- 双绞铜线
- 广播信道

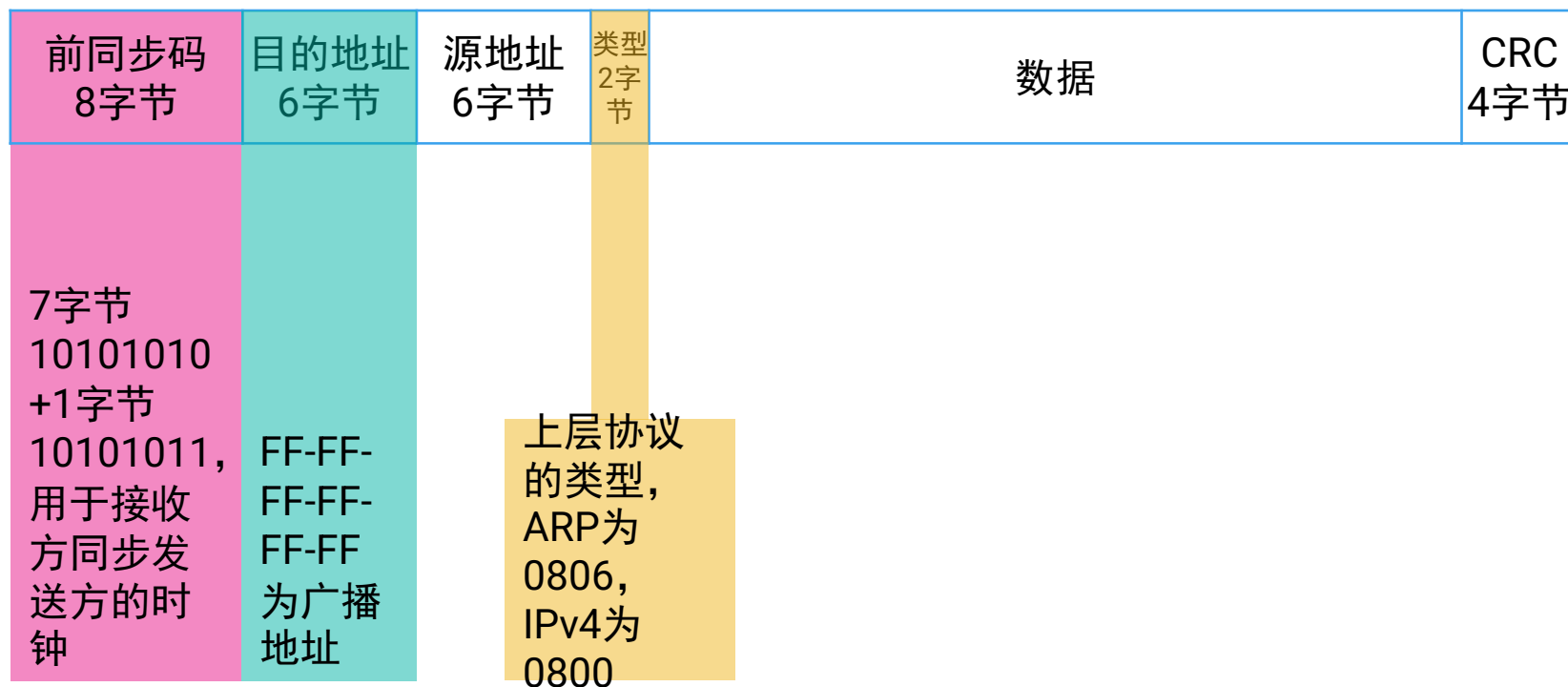
■ 交换机

- 双绞铜线/光纤
- 点对点信道
- 21世纪初-至今
- 1Gbps-10Gbps

广播信道的以太网使用CSMA/CD和二进制指数退避算法



以太网帧结构





以太网服务

- 以太网技术提供不可靠服务
 - 接收NIC检测出差错，则丢弃帧，**但不通知发送方**
 - 只有当上层，传输层使用TCP或应用层使用了可靠传输机制时，丢弃的数据才会被恢复

以太网标准

- 由IEEE 802.3 工作组标准化
- 不同的速率：10Mbps, 100Mbps, 1Gbps, 10Gbps, 40Gbps
- 不同的物理层媒介：同轴电缆，双绞铜线，光纤





第五章知识点汇总

- 了解以太网技术演进
- 了解以太网帧结构
- 了解以太网服务
- 了解以太网标准

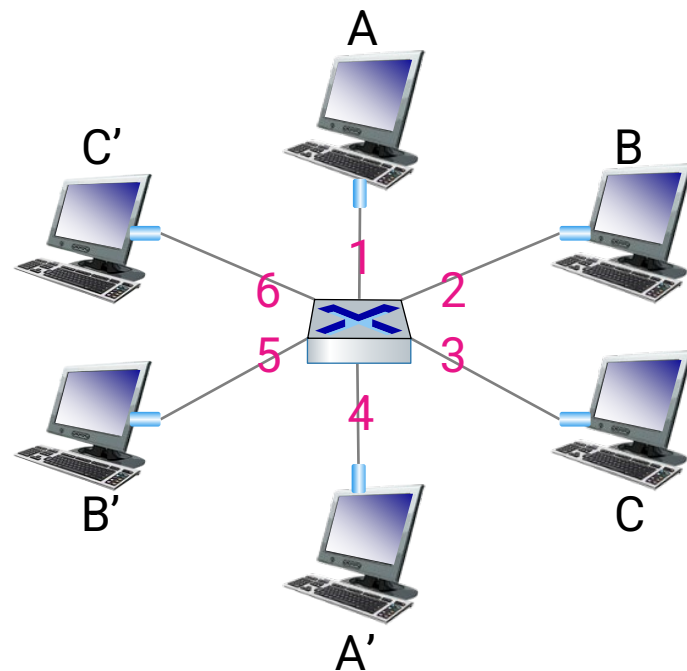


交换机如何工作？

- 链路层设备
 - 存储转发以太网帧
 - 检查帧的目的MAC地址，以转发帧
- 在主机和路由器眼里是透明的
 - 主机/路由器接口向另一个主机/路由器接口发送帧
- 即插即用
 - 不需要配置

交换机

- 主机直接与交换机接口相连
- 交换机的每一个接口都运行以太网协议，没有碰撞，全双工
- 交换：A向A'，B向B'可以同时传输，不引起冲突
- 交换机接口缓存帧

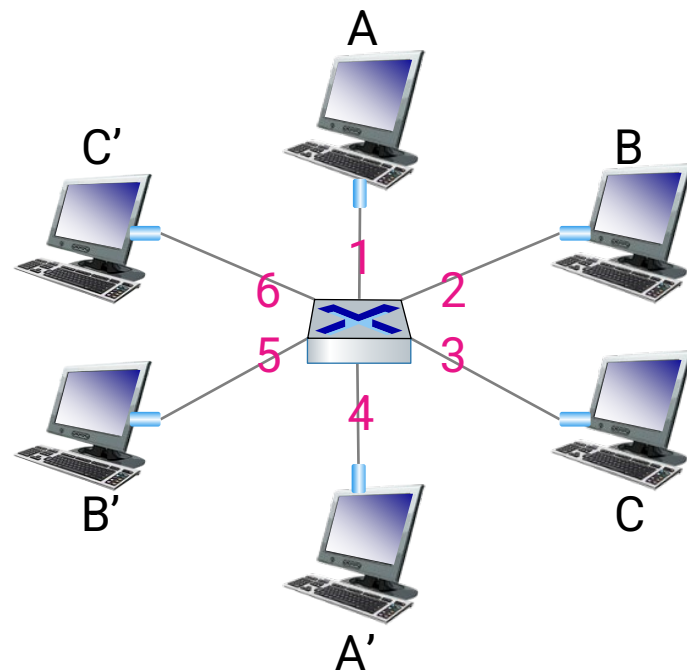


六接口交换机

交换机

- 交换机如何知道每个接口分别对应**哪些**MAC地址呢？
- 自学一个交换表(类似于路由转发表)

<MAC 地址，接口，时间戳>



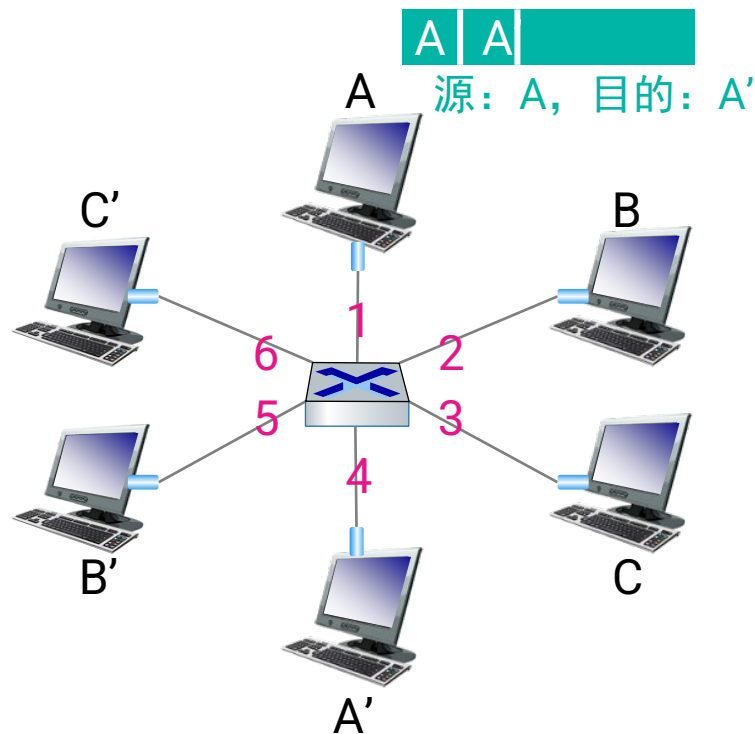
六接口交换机

交换机：自学

- 交换机从各个接口收到帧的时候，**学习**接口通向**哪些**MAC地址，并在**交换机转发表**里记录

交换机转发表

MAC地址	接口	时间戳
A	1	60



六接口交换机



交换机

- 当交换机收到帧：

- 1.在交换机转发表中添加记录

- 2.用帧的MAC目的地址查找转发表

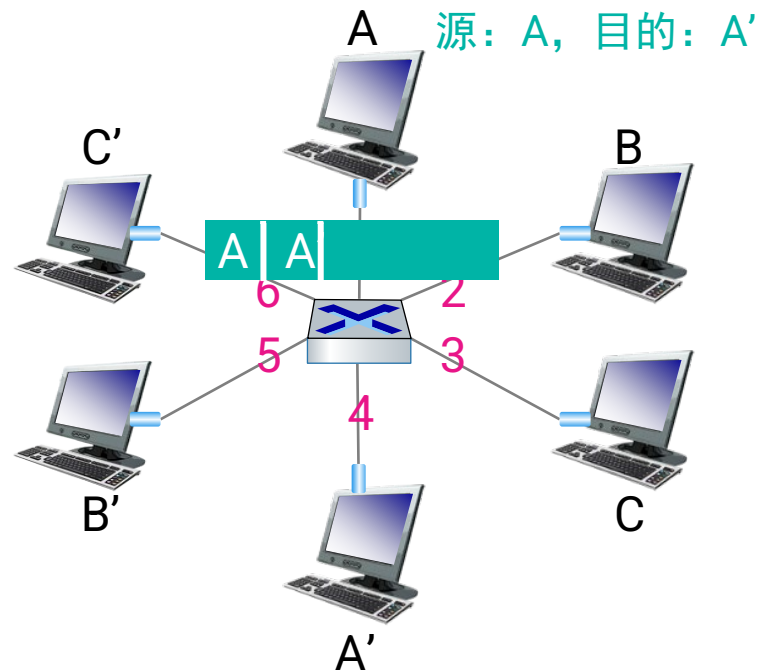
- 如果匹配到了接口x
 - 如果该帧来自x，则丢弃帧
 - 否则，转发帧
- 否则，向除入接口以外的所有接口广播帧

交换机

- 帧目的地址未知：广播

交换机转发表

MAC地址	接口	时间戳
A	1	60



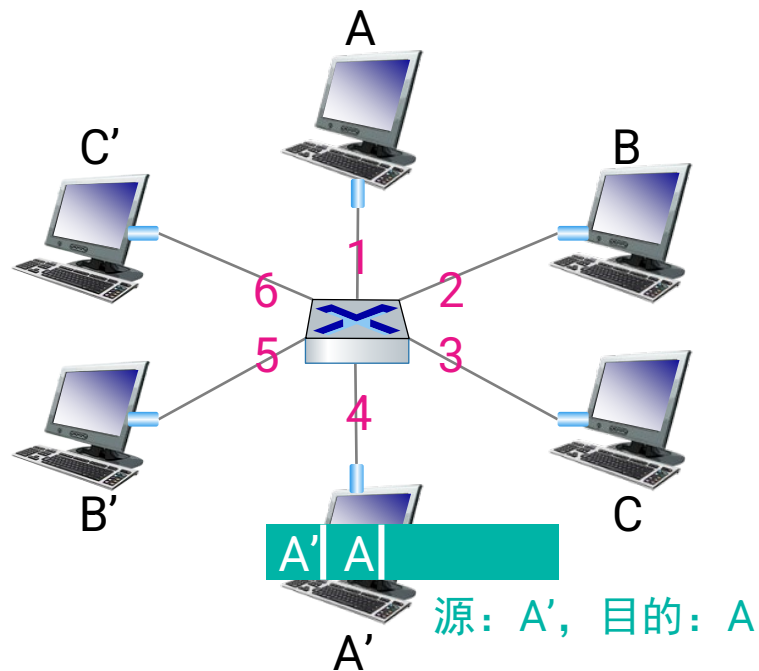
六接口交换机

交换机

- 目的A已知，直接发送

交换机转发表

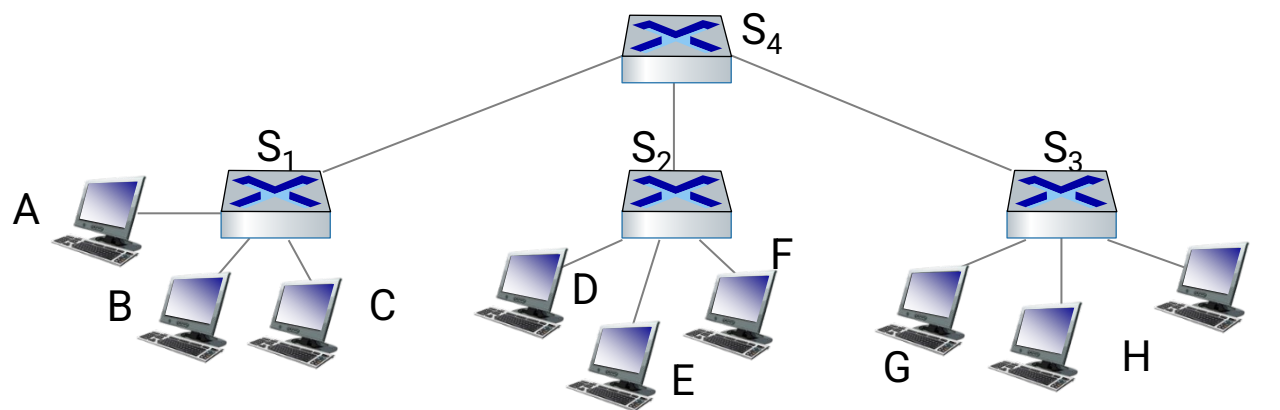
MAC地址	接口	时间戳
A	1	60
A'	4	60



六接口交换机

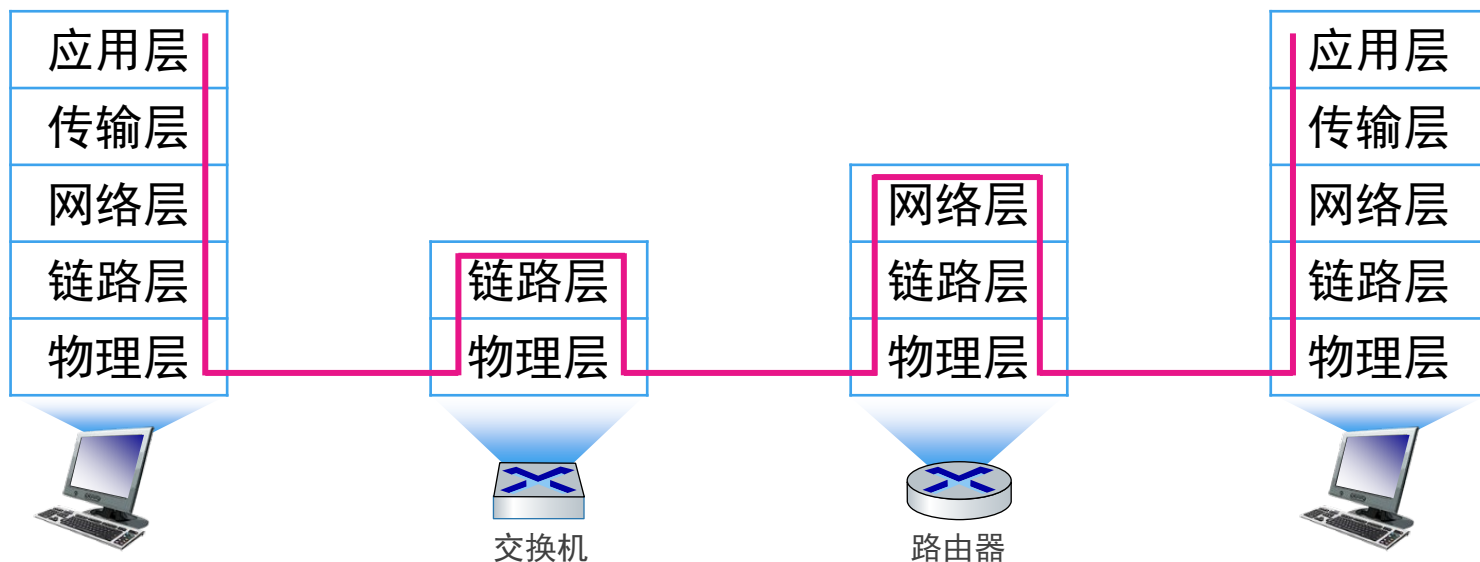
互联交换机

- 互联交换机网络仍然自学转发表
- **广播域**：计算机网络的逻辑划分，一个广播域中的所有节点都可以通过数据链路层的广播相互到达
- 路由器和其他上层设备形成**广播域**的边界



交换机和路由器

- 都是存储转发设备，但有区别
 - **路由器**：网络层设备，查看网络层首部
 - **交换机**：链路层设备，查看链路层首部
- 都有转发表，但有区别
 - **路由器**：使用路由选择算法计算
 - **交换机**：使用自学、广播得出



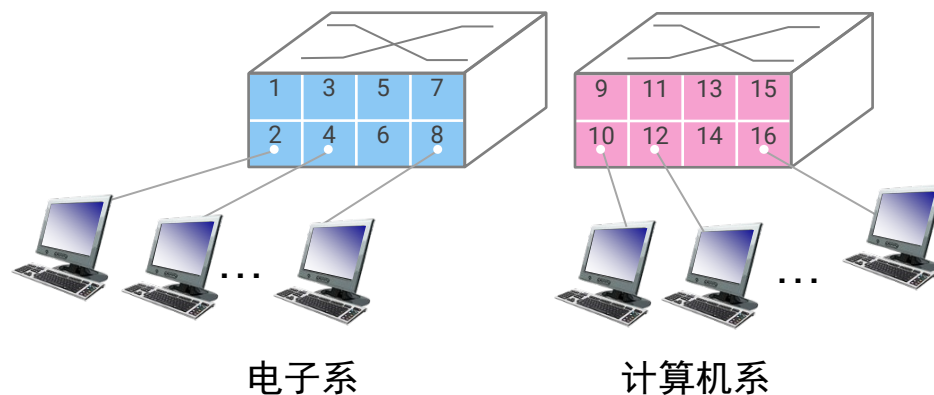
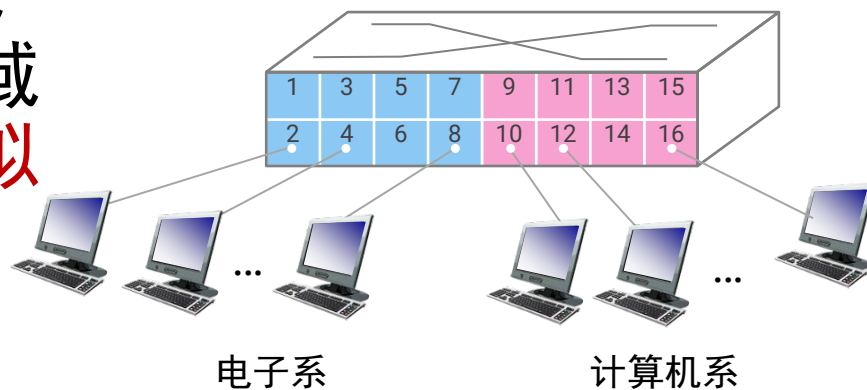


第五章知识点汇总

- 理解交换机转发帧的原理
- 理解交换机自学转发表的原理
- 理解交换机与路由器的区别
- 理解广播域的概念

虚拟局域网VLAN

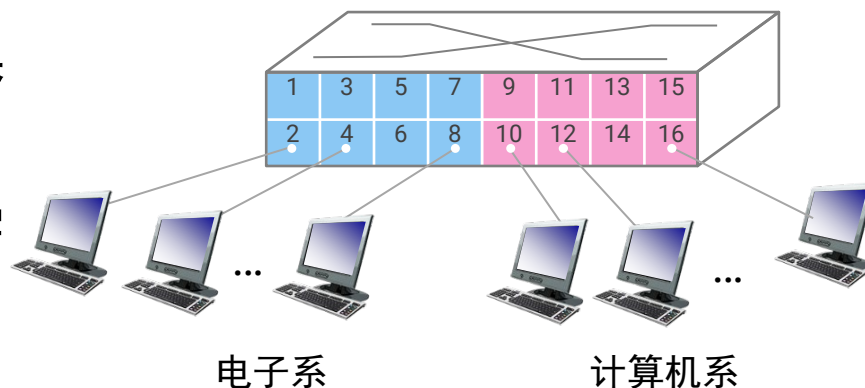
- 支持VLAN的交换机允许通过一个物理的局域网设备定义出多个虚拟的局域网



虚拟局域网VLAN

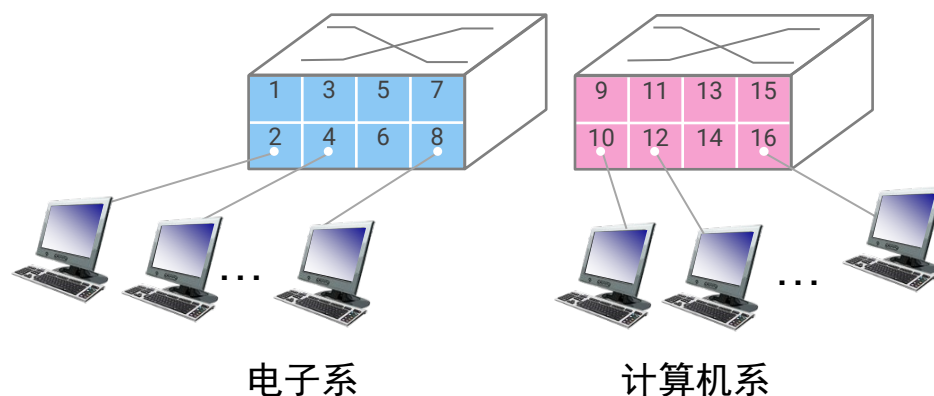
- 流量隔离

- 一个VLAN构成一个广播域
- 不同VLAN的设备通信需要通过网络层



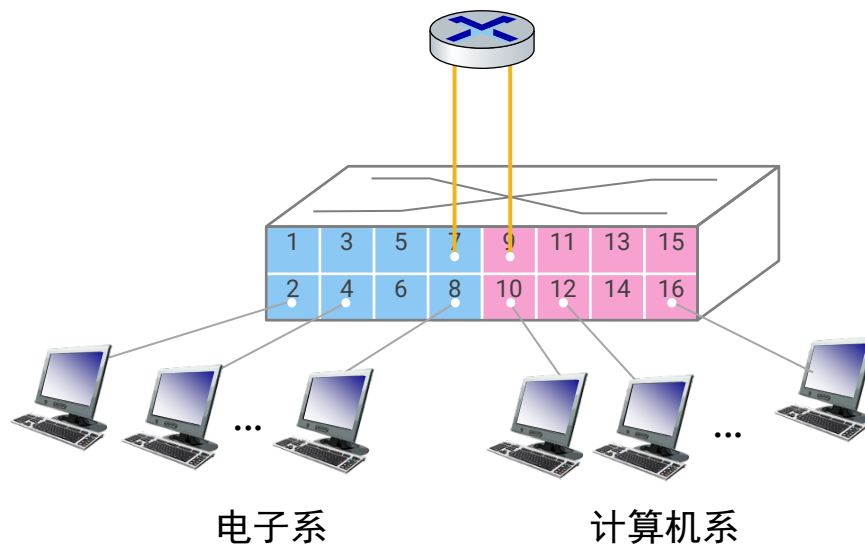
- 减少交换机

- 方便管理用户



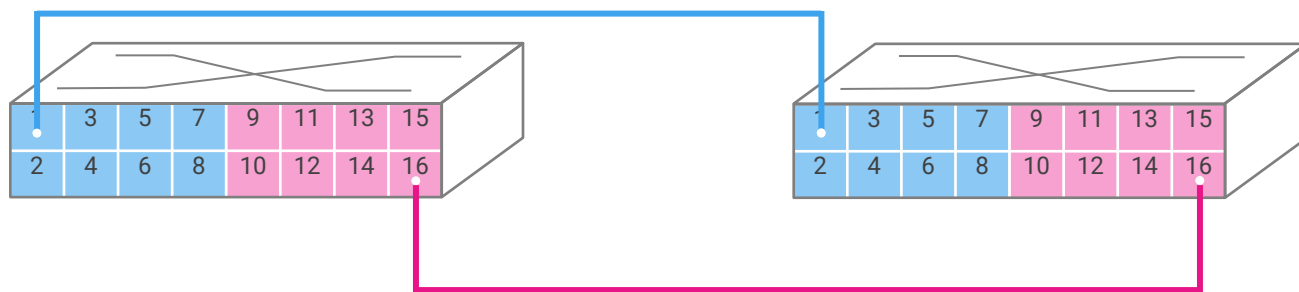
虚拟局域网VLAN

- 不同VLAN之间如何通信呢？
- 通过路由器



VLAN交换机之间互联

- 不同交换机的同一个VLAN之间如何互联呢？
- 对每个VLAN，用一条链路连接两个该VLAN的接口



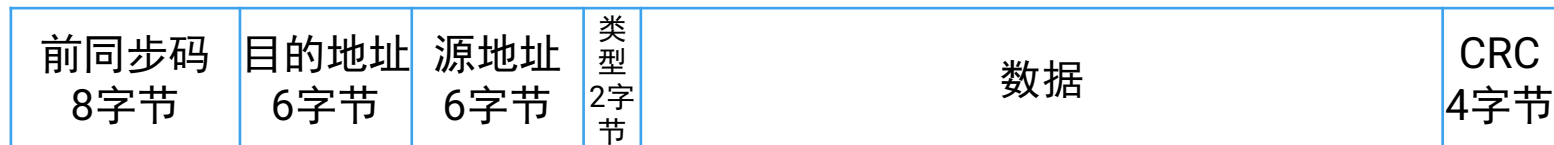
VLAN交换机之间互联

- 不同交换机的同一个VLAN之间如何互联呢？
- 干线（Trunk）接口：一种特殊的接口，属于所有VLAN
 - 能转发任何VLAN的帧
 - 连接两个交换机只需要一个链路
 - 需要以太网帧的扩展版802.1Q

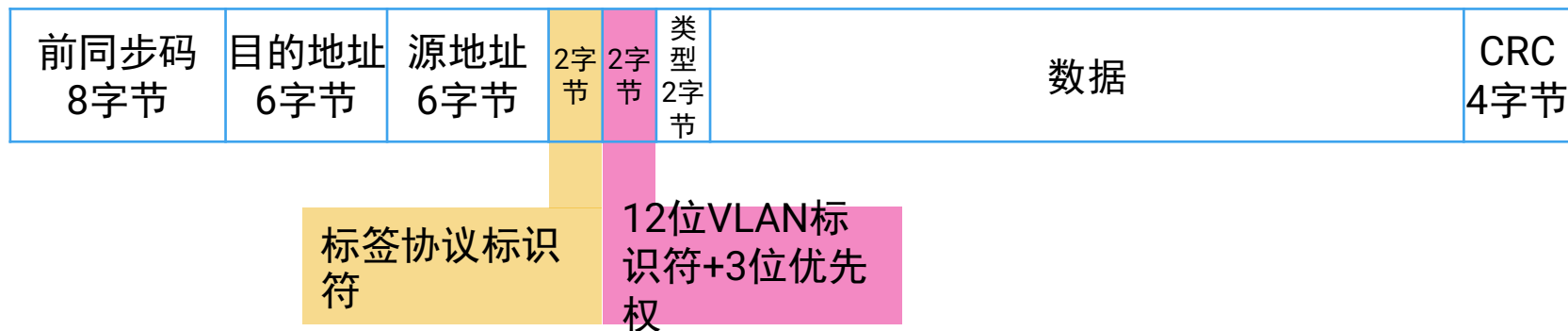


802.1Q VLAN扩展帧结构

■ 以太网帧



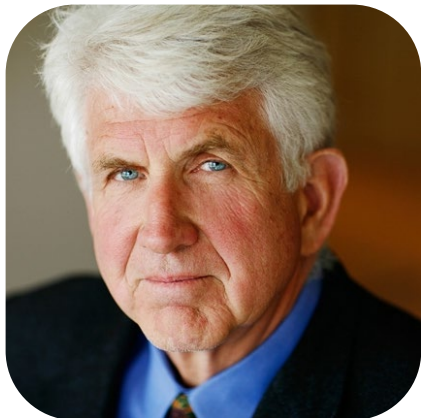
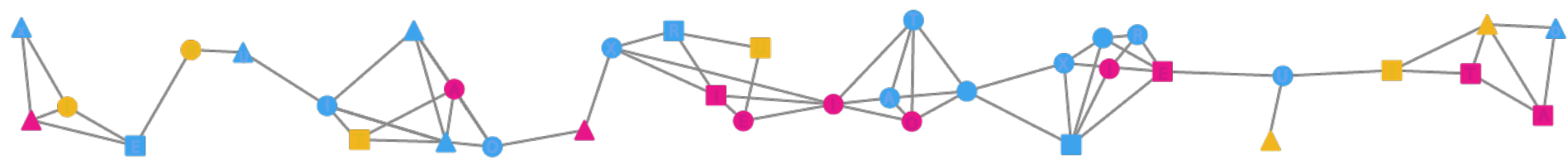
■ 扩展版以太网帧





第五章知识点汇总

- 了解VLAN的原理
- 了解VLAN对管理网络的好处
- 了解干线接口和802.1Q



ACM A.M. Turing Award 2023

Robert Metcalfe

For inventing the World Wide Web, the first web browser, and the fundamental protocols and algorithms allowing the Web to scale.