

# 计算机网络



计算机与信息学院  
人 工 智 能 学 院

## 三种类型的链路

- 1) 点到点链路：HDLC、PPP
- 2) 点到多点链路
- 3) **广播链路**

# 广播链路



shared wire (e.g.,  
cabled Ethernet)



shared RF  
(e.g., 802.11 WiFi)

一台主机发送数据信号，其他节点都能收到——广播链路

# 广播链路需要解决的问题?

碰撞/冲突 (collision)



shared wire (e.g.,  
cabled Ethernet)



shared RF  
(e.g., 802.11 WiFi)

——多个节点同时发送帧，这些帧相互干扰，导致接收方都不能正确收到帧。

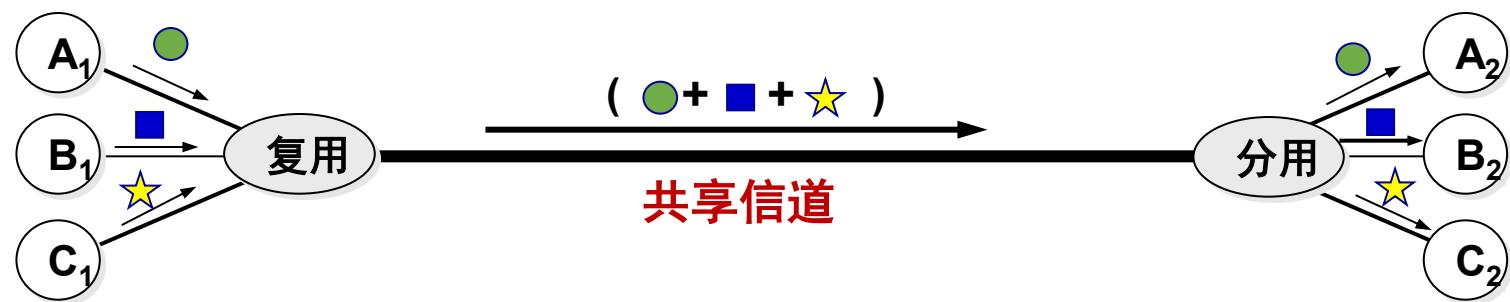
如何协调多台主机之间的通信? : 多路访问协议 (Multi-Access Protocol)

# 第四章 广播链路与局域网

- ✓ 多路访问协议
- ✓ 随机接入协议
- ✓ 局域网
- ✓ 以太网

# 1 多路访问协议

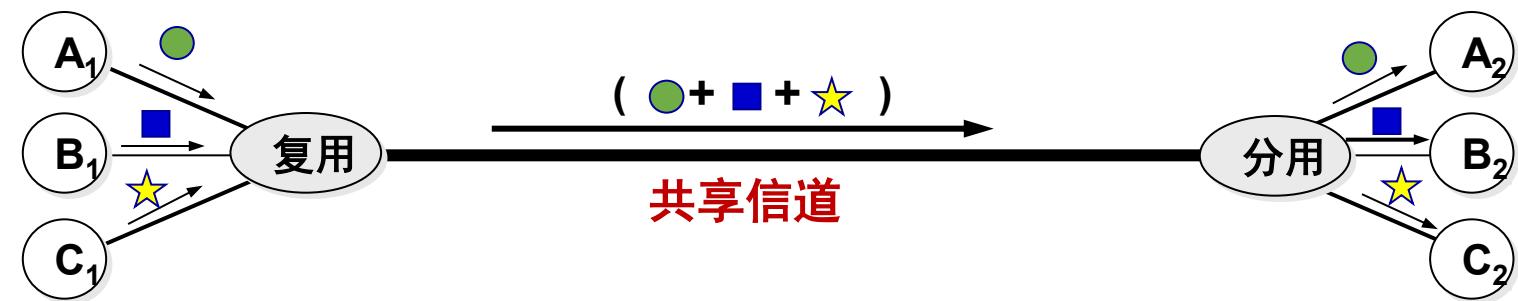
物理层：多路复用技术



# 多路访问协议

## 1) 信道划分协议：固定分配信道

- FDMA
- TDMA
- WDMA
- CDMA



为节点分配专属信道资源，适合需稳定通信、低干扰或实时性要求高的场景

## 2、轮流协议

- 不静态分配信道，信道按需分配
- 分配到信道的节点独占信道

**轮询协议：**主节点轮流询问子节点（蓝牙通信网络）

**令牌传递协议：**通过令牌传递的方式获得信道的访问权(IEEE802.5令牌环网)

### 3 随机接入协议

- ✓ 没有节点间的预先协调，各节点去抢占信道
- ✓ 抢到信道的节点独占信道



shared wire (e.g.,  
cabled Ethernet)

# 第四章 广播链路与局域网

- ✓ 多路访问协议
- ✓ 随机接入协议
- ✓ 局域网
- ✓ 以太网

# 随机接入协议

协议需要解决的关键问题

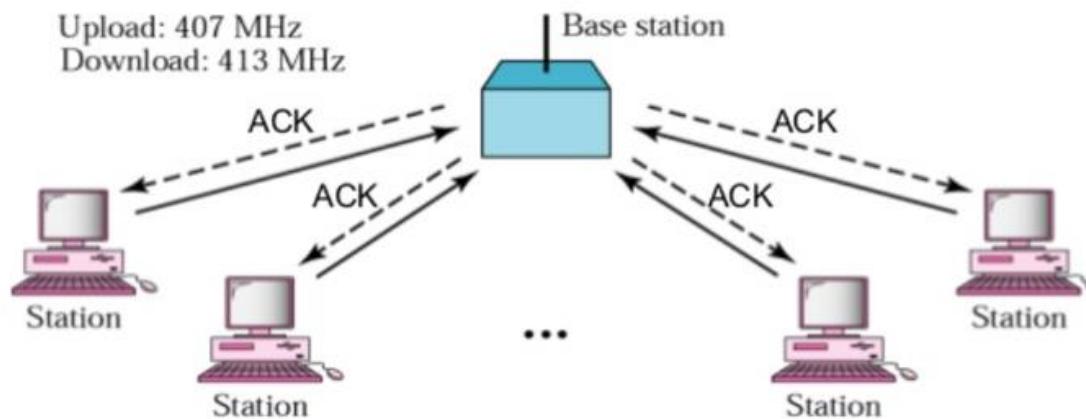
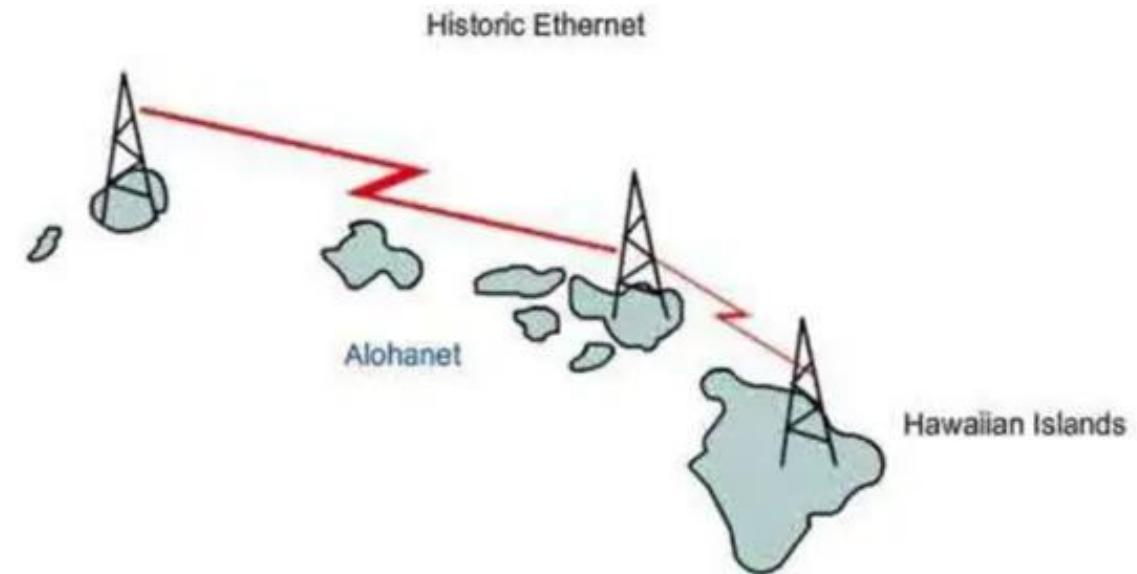
1. 如何解决冲突，恢复数据发送
  2. 如何尽量减少冲突发生的概率
- 
1. ALOHA
  - 2. CSMA**
  - 3. CSMA/CD**
  4. CSMA/CA



shared wire (e.g.,  
cabled Ethernet)

# ALOHA

- ALOHAnet: 70年代, 无线网络,  
连接了夏威夷群岛的大学



- ALOHA协议

1. 节点有数据，立即发送
2. 如冲突，等待随机时间重发

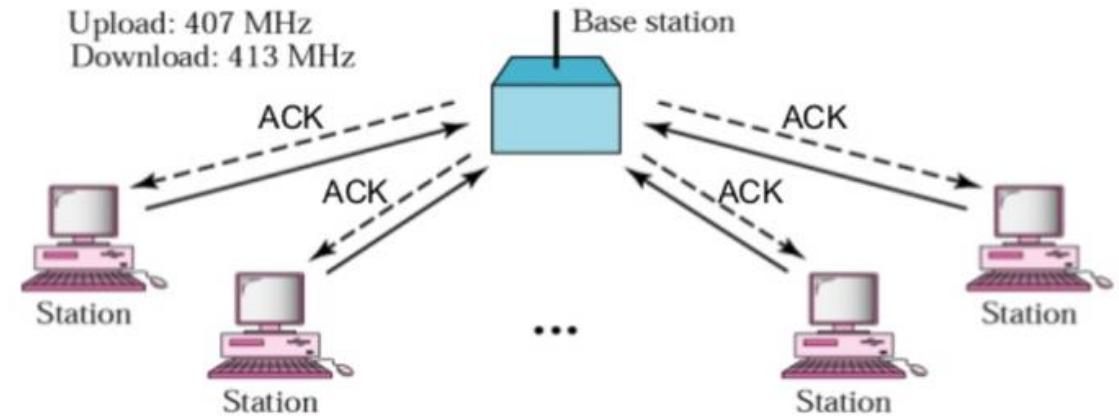
(每个节点等待的随机时间不同，降低第二次冲突的概率)

——如何判断冲突？

停等协议：等中心节点返回的ACK

在规定时间内没有收到：判断为冲突

超时重传



ALOHA协议的性能：

点到点链路：信道利用率

点到多点链路上：冲突导致帧无法成功传输

吞吐量：在单位时间（一个帧时），节点成功传输帧的个数

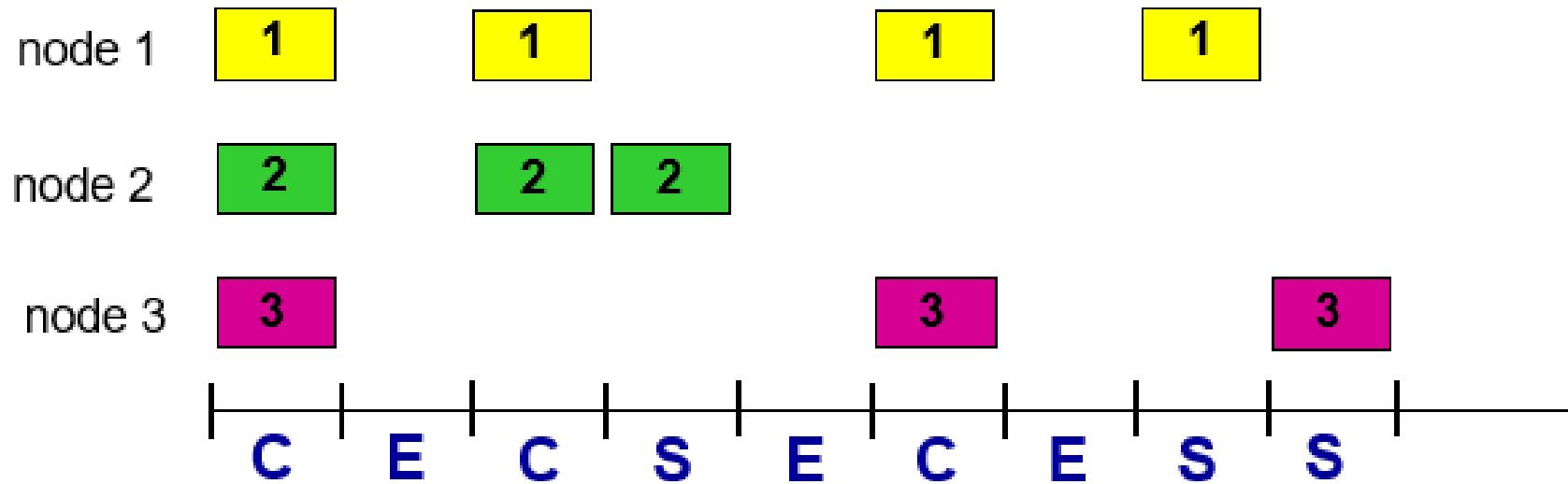
帧时：一个帧（标准帧长）的传输时延

- 无冲突： $S=1$
- 有冲突： $0 < S < 1$

ALOHA： $S_{max}=1/2e \approx 0.184$  ( 18.4%)

冲突概率高，吞吐量较低，网络负载稍高时性能急剧下降

# 时隙AIOHA



$S_{max} \approx 0.368$  ( 36.8%)

**1.ALOHA**

**2.CSMA**

**3.CSMA/CD**

**4.CSMA/CA**

# CSMA ( carrier sense multiple access )

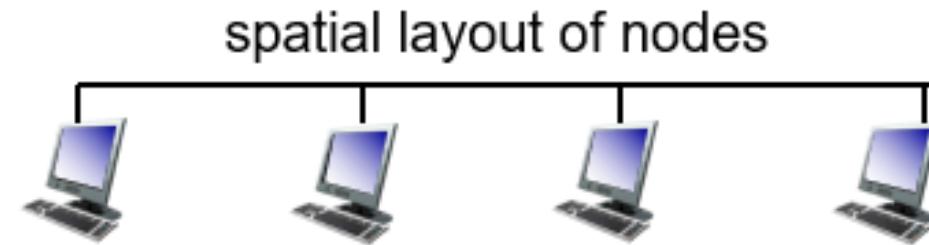
在随机接入协议的基础上

增加了：**载波侦听机制**，即节点在发送数据前，先侦听信道

- ✓ 如信道上有数据，则信道忙，不发送
- ✓ 否则，认为信道空闲，发送数据



采用CSMA协议：信道上会不会产生冲突（碰撞）？



- 对局域网的特点所采取的策略，能够降低冲突发生的概率



CSMA有三种执行方式：侦听信道空闲/忙，采取的措施不同

1. 0-坚持CSMA
2. 1-坚持CSMA
3. P-坚持CSMA

- 1-坚持CSMA：侦听到信道“忙”，持续侦听，一旦“空闲”，立即发送
- 0-坚持CSMA：侦听到信道“忙”，等待一随机时间，重新侦听，一旦空闲，立即发送
- P-坚持CSMA：侦听到信道“忙”，持续侦听，一旦空闲， $P$ 概率发送， $(1-P)$ 概率延迟1个时隙进行侦听

# 第四章 广播链路与局域网

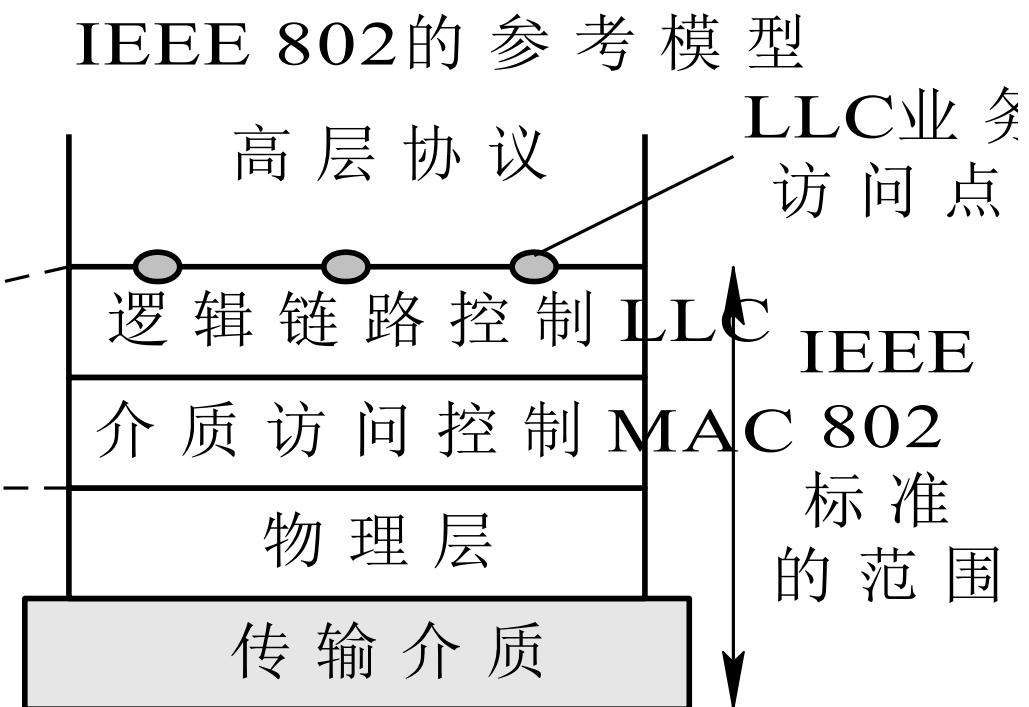
- ✓ 多路访问协议
- ✓ 随机接入协议
- ✓ 局域网
- ✓ 以太网

# 局域网

- LAN: Local Area Network: 将物理位置邻近的计算机连接起来，资源共享和信息交换，**地理范围和主机数目均有限**

IEEE802标准：局域网标准

## OSI参考模型



## LLC (逻辑链路控制层)

## MAC (介质访问控制层)

IEEE 802.1 : 局域网体系结构、寻址、[网络互联](#)和网络

IEEE 802.1A: 概述和系统结构

IEEE 802.1B: 网络管理和网络互连

IEEE 802.2 : [逻辑链路控制子层 \(LLC\)](#) 的定义。

IEEE 802.3 : 以太网介质访问控制协议 ([CSMA/CD](#)) 及物理层技术规范 [\[1\]](#)。

IEEE 802.4 : [令牌总线网 \(Token-Bus\)](#) 的介质访问控制协议及物理层技术规范。

IEEE 802.5 : [令牌环网 \(Token-Ring\)](#)的介质访问控制协议及物理层技术规范。

IEEE 802.6 : 城域网介质访问控制协议DQDB ([Distributed Queue Dual Bus 分布式队列双总线](#)) 及物理层技术规范。

IEEE 802.7 : 宽带技术咨询组，提供有关宽带联网的技术咨询。

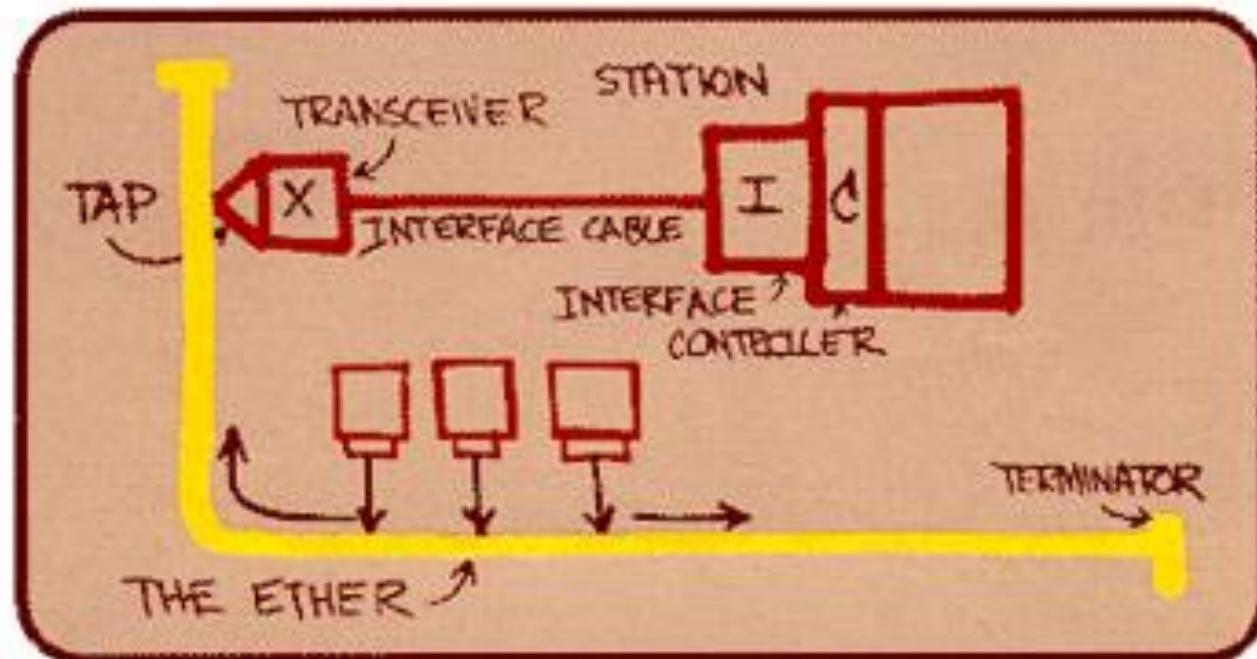
## 第四章 广播链路与局域网

- ✓ 多路访问协议
- ✓ 随机接入协议
- ✓ 局域网
- ✓ 以太网

# 以太网

✓ 最早广泛使用的LAN

- ✓ 速率: 2.94Mbps, 覆盖范围: 1mile
- ✓ 主机数: 256



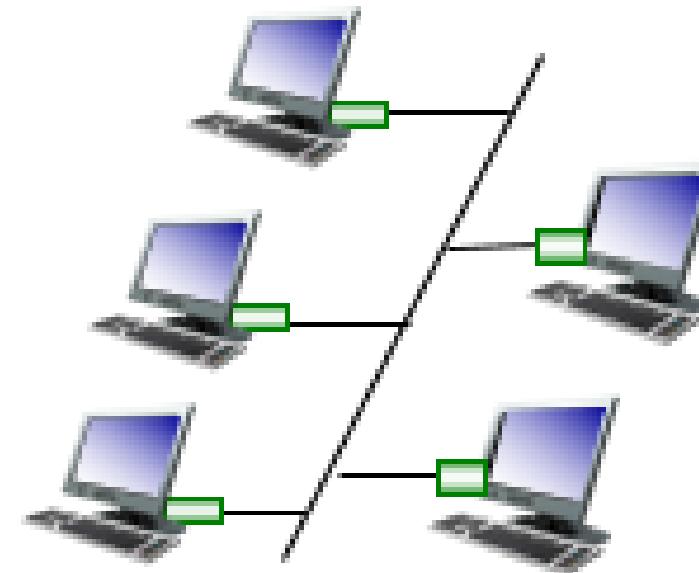
*Metcalfe's Ethernet sketch*

1982, 第一个以太网规约 DIX Ethernet V2 (三家公司联合制定, 速率10Mbps)

1983, IEEE 802.3 标准

# 以太网MAC层

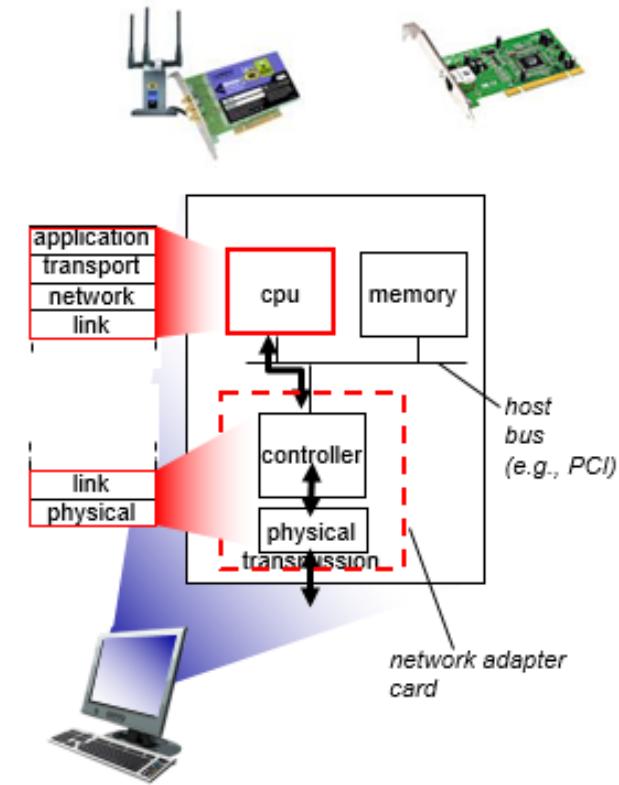
- ✓ MAC地址
- ✓ MAC层帧结构
- ✓ CSMA/CD



*bus*: coaxial cable

# MAC地址

- 6个字节， 48位 ( 80-32-53-31-4C-0E )
- 每块网卡 (NIC: network interface card) 具有唯一的MAC地址



- MAC地址分配

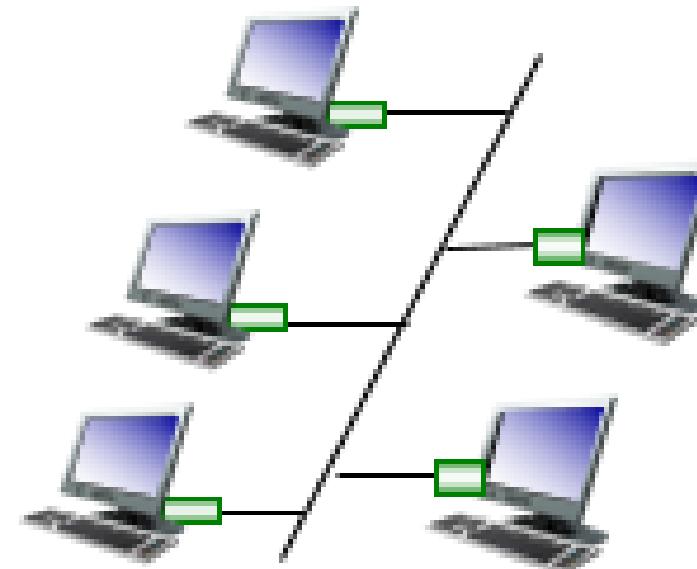


IEEE分配前24位

广播地址：全1， FF-FF-FF-FF-FF-FF

## 网卡 (NIC: network interface card)

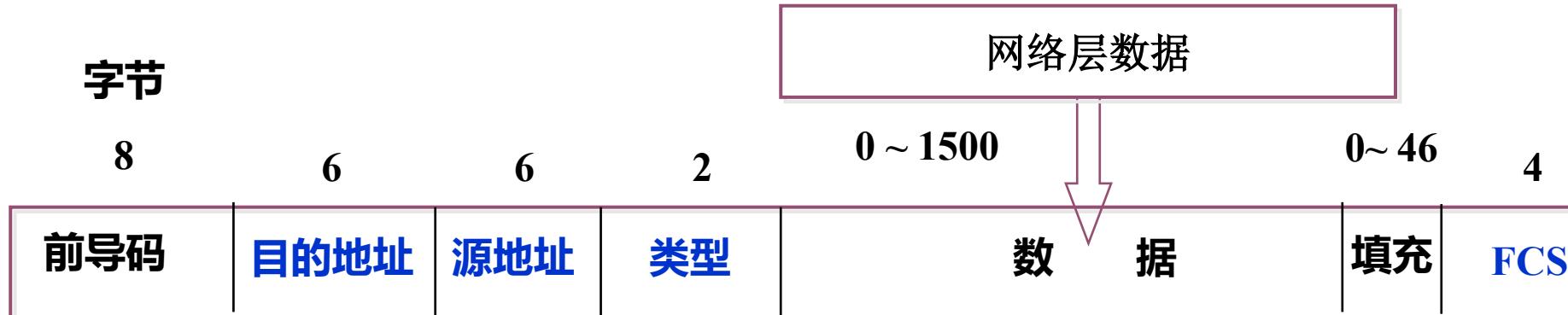
- 正常模式
  - ✓ 接收发给本机的单播帧
  - ✓ 广播帧
  - ✓ 组播帧
- 混杂模式：接收所有帧



***bus:*** coaxial cable

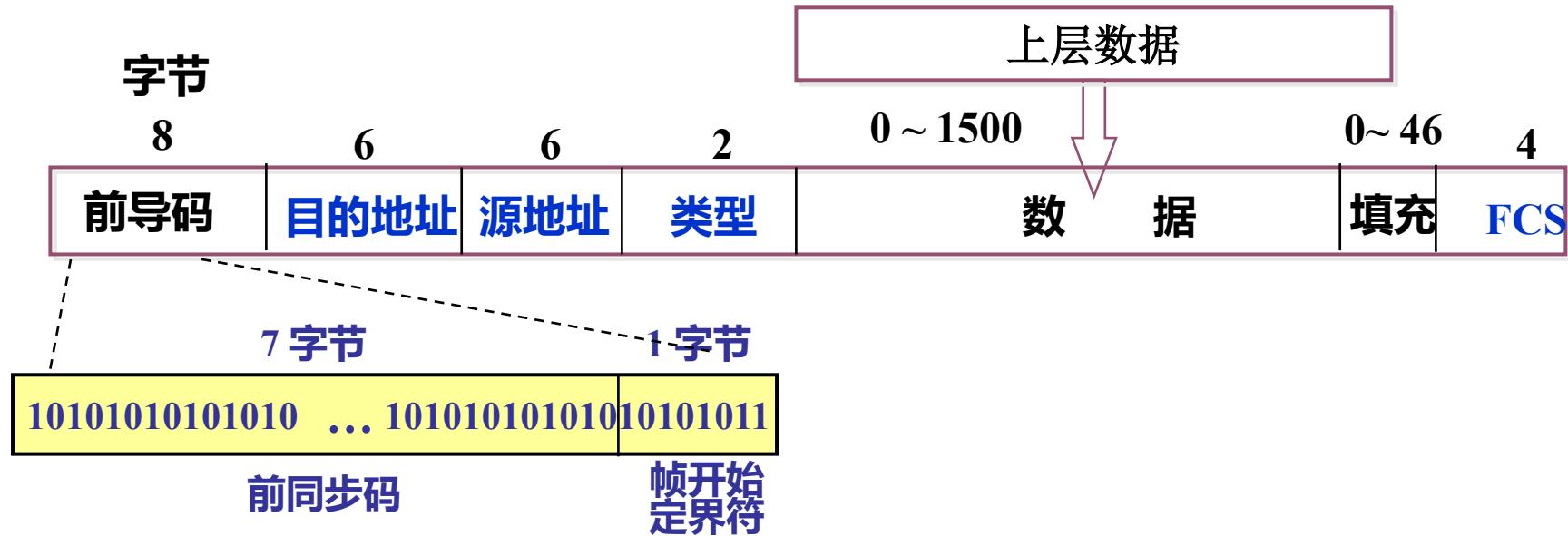
# MAC帧结构

- DIX帧结构



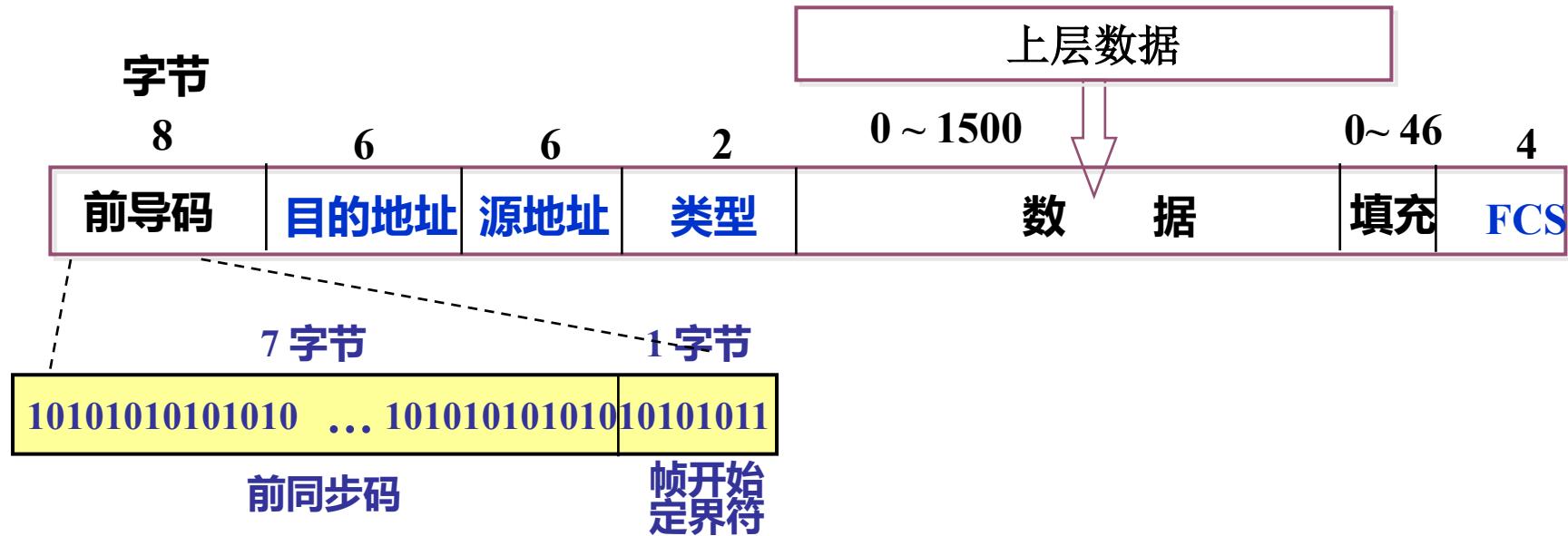
# MAC帧结构

- DIX帧结构



# MAC帧结构

- DIX帧结构

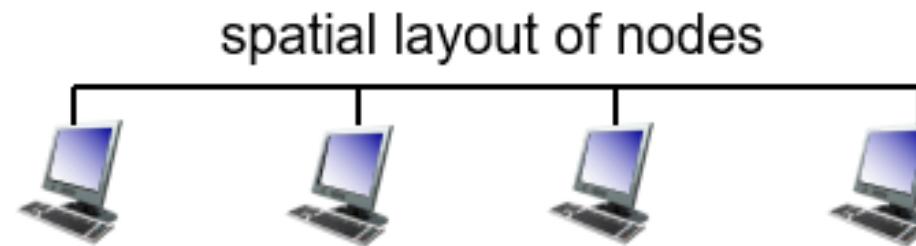


- 1) 帧的结束标识：帧间间隔
- 2) 差错检测
- 3) 可靠传输

# CSMA/CD

1-坚持CSMA：侦听到信道“忙”，持续侦听，一旦“空闲”，立即发送

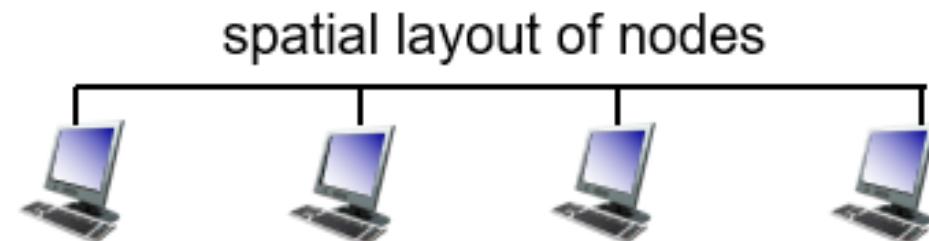
——产生冲突：节点还在继续传输帧，造成信道的浪费



增加冲突检测机制，即CD (collision detection)

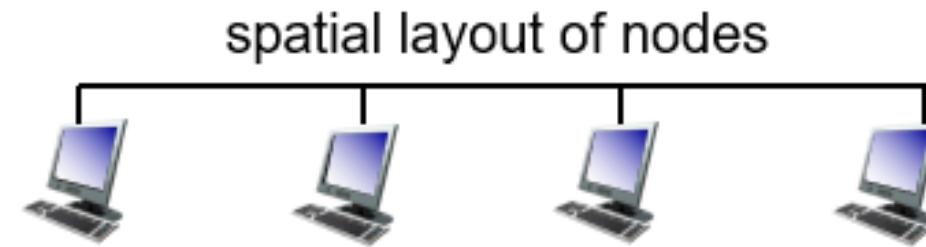
——节点发送帧的同时，侦听信道，一旦检测到冲突，立即停止传输

节点：对比接收电平和发送电平的幅值波动范围，确定是否冲突



思考：

节点从发送一个帧开始计时（假设帧足够长），**至多**需要经过多长时间，就能够确定此次发送是否冲突？



- A从发送开始计时，经过  $2\tau - \delta$ ，检测到碰撞
- B从发送开始计时，经过  $\delta$ ，检测到碰撞

一个站点在发送帧后，持续侦听 $2T$ 就能确定此次传输会不会出现冲突（T：端到端的传播时延）

采用CSMA/CD协议，一个重要的原则：

帧必须足够长，使得冲突在帧传输完成之前被检测到



帧长 $\geq 2T.C$

以太网的最短帧长：64字节（512bit）

# CSMA/CD

1. 节点发送数据前，先侦听信道是否空闲
2. 若空闲，马上发送数据，若忙，则继续侦听，直到信道空闲
3. 在传输帧的同时，**持续侦听**，进行冲突检测
4. 若传输的时候，没有检测到冲突，则帧传输成功
5. 若检测到冲突，则发出干扰信号（Jam Signal，48bit），以使所有站点都知道发生了冲突并停止传输
6. 发送完干扰信号，**等待一段随机的时间后**，再重新传输

## □ 二进制指数退避算法

从整数集合  $[0, 1, \dots, (2^k - 1)]$  中随机选取一个数  $r$

$$k = \text{Min}[\text{重传次数}, 10]$$

退避时间:  $r \times 2T$

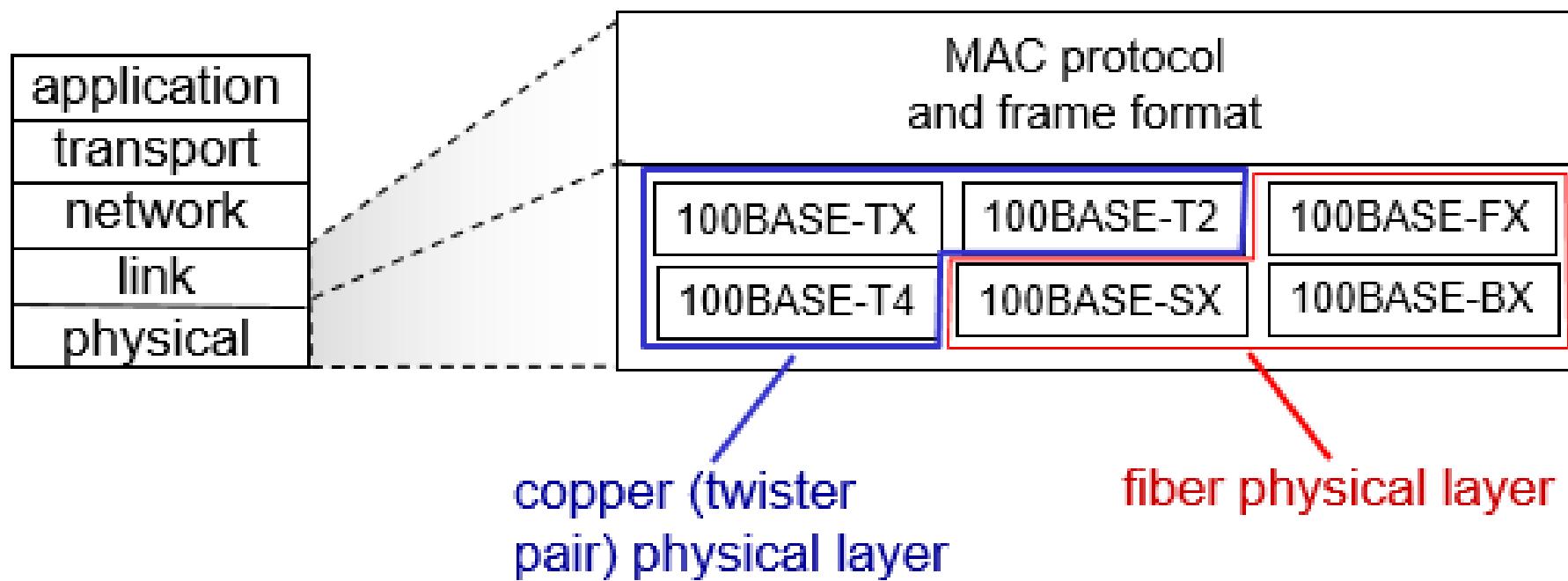
# CSMA/CD

## □ 吞吐率

$$efficiency = \frac{1}{1 + 5t_{prop}/t_{trans}}$$

- |  $t_{prop}$  = LAN上最远2个节点的传播时间
- |  $t_{trans}$  = 最大帧的传输时间

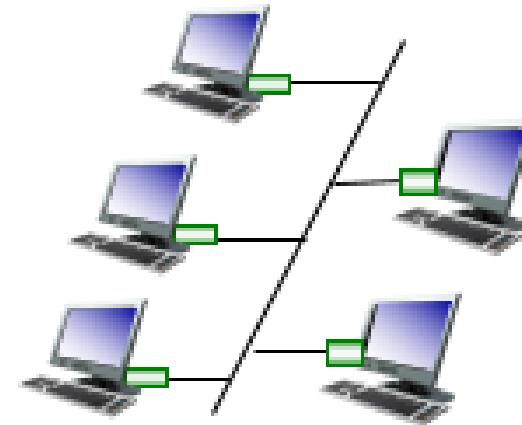
# 以太网的发展



# 以太网的发展

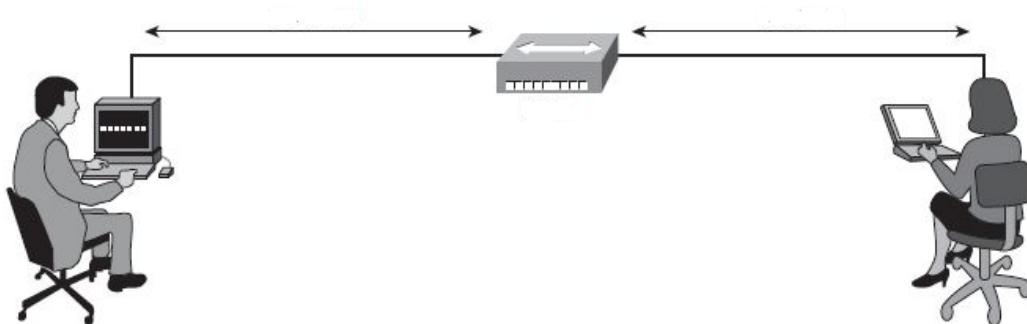
总线型拓扑（70年代中期~90年代中期）

10base-5/10base-2



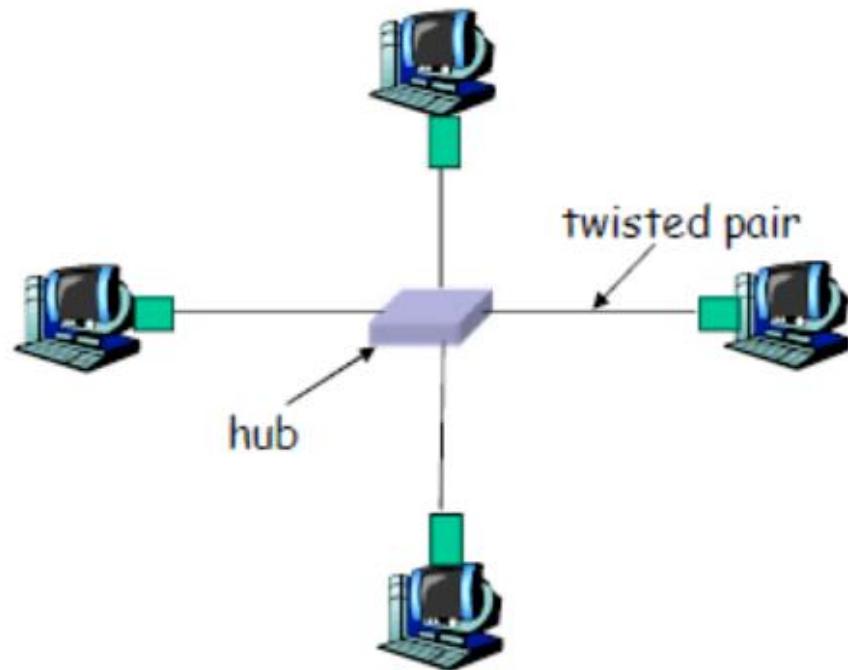
*bus:* coaxial cable

## 扩大覆盖范围：转发器/中继器



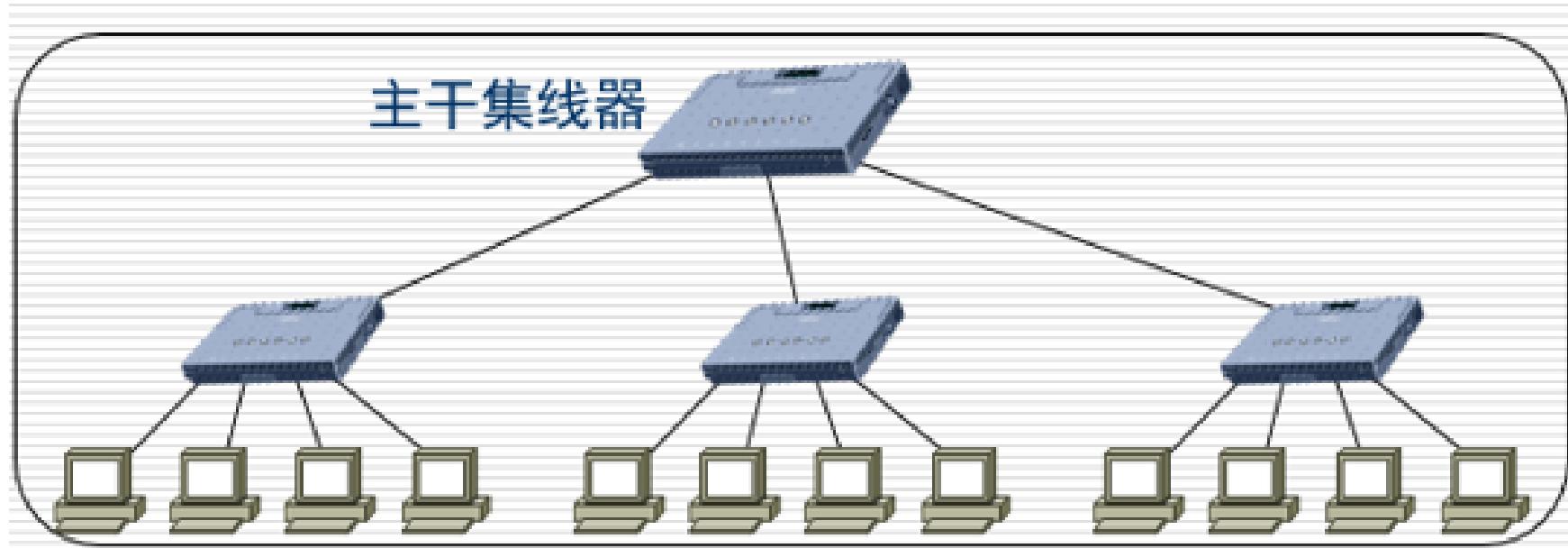
- ✓ 同一个冲突域：CSMA/CD
- ✓ 两个节点之间最多4个转发器

## 星型拓扑：90年代，10base-T



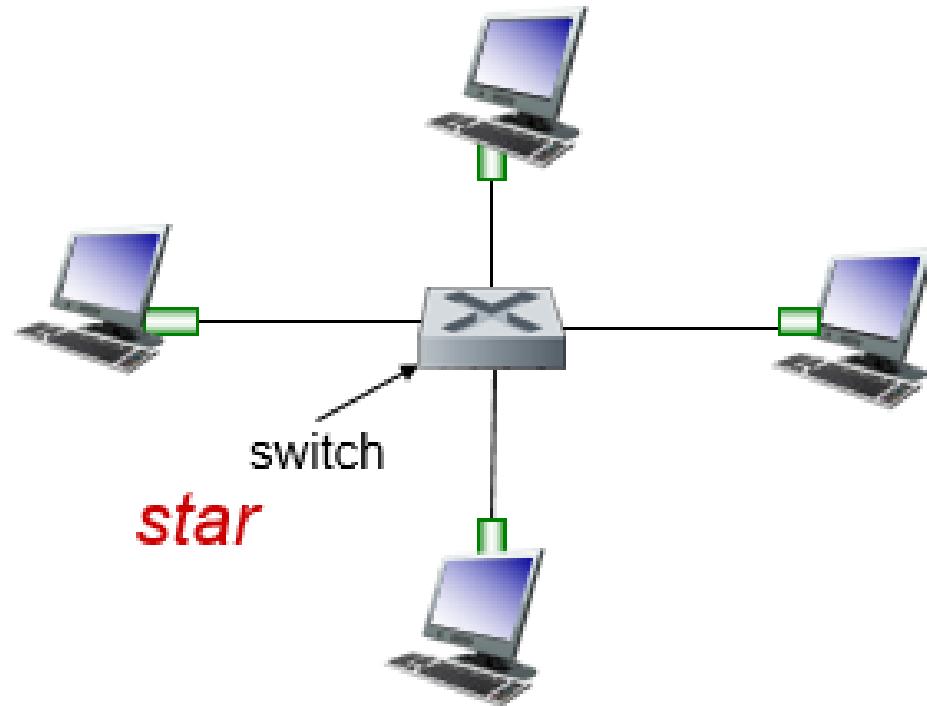
1. 集线器 (Hub) : 多端口转发器，工作在物理层
2. 逻辑上总线型

## 集线器：扩展以太网的覆盖范围



星型拓扑，21世纪初

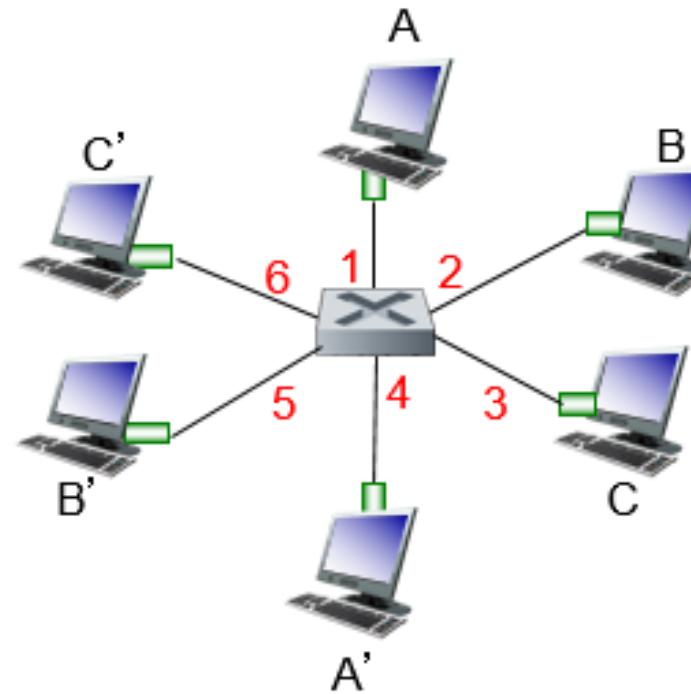
交换机：分组交换设备，存储转发



交换机：工作在链路层

## 以太网交换机：转发表

MAC addr	interface	TTL
A	1	60

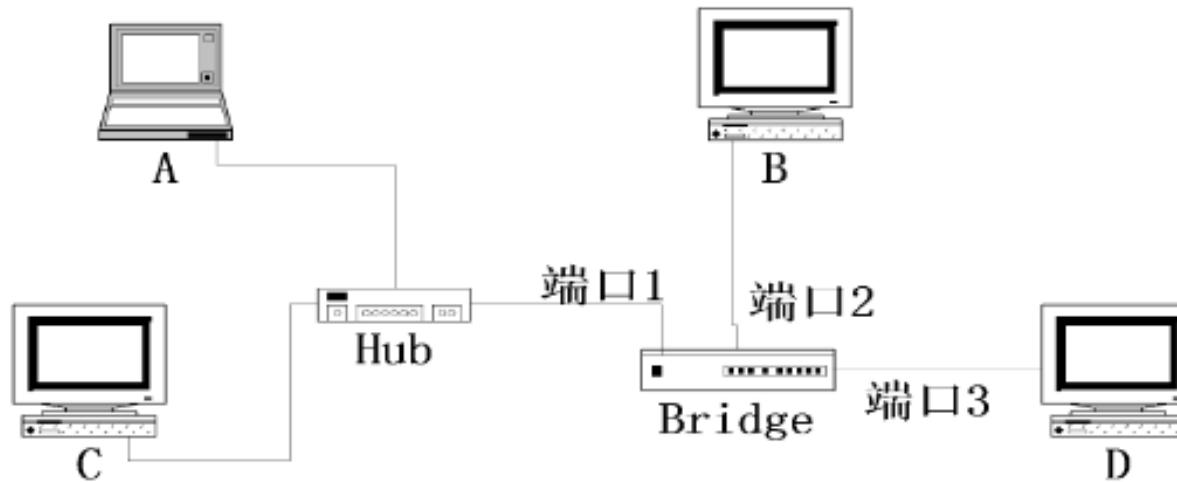


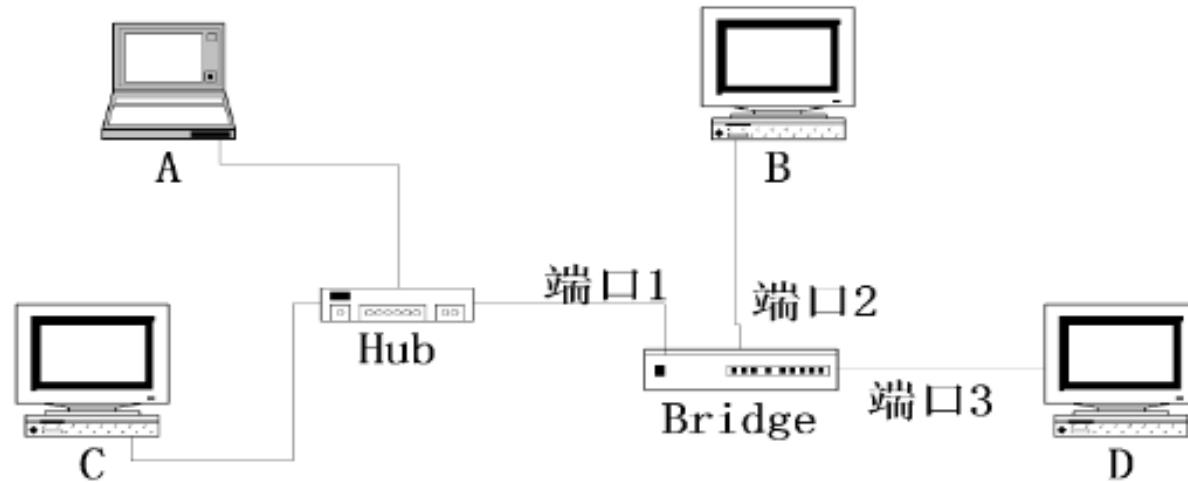
*switch with six interfaces  
(1,2,3,4,5,6)*

交换机：工作在链路层

以太网交换机：即插即用，自学习建立转发表

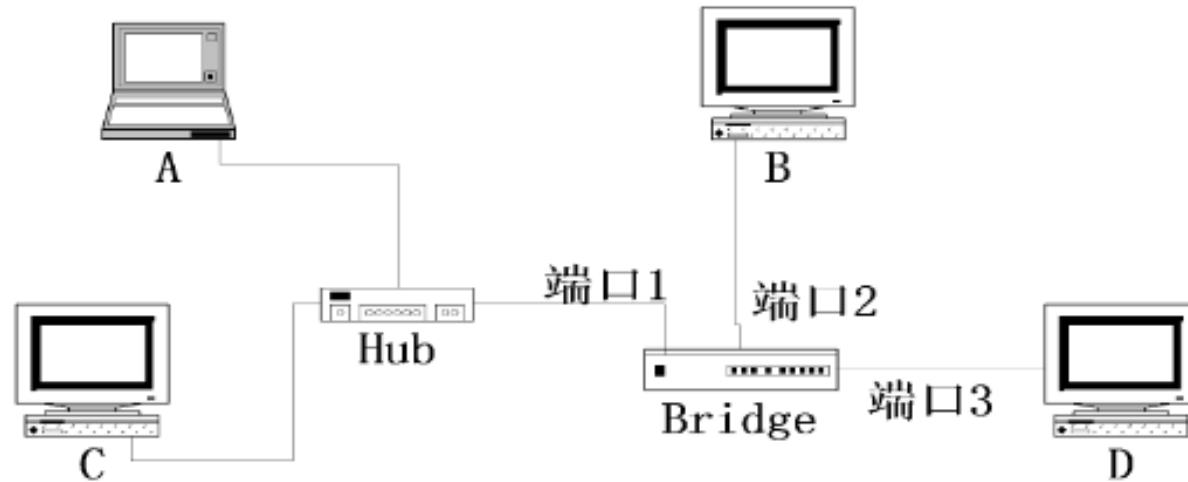
存储转发：从一个端口处收到物理信号，恢复出帧，存储，查找转发表，向对应端口转发





MAC	端口号	TTL

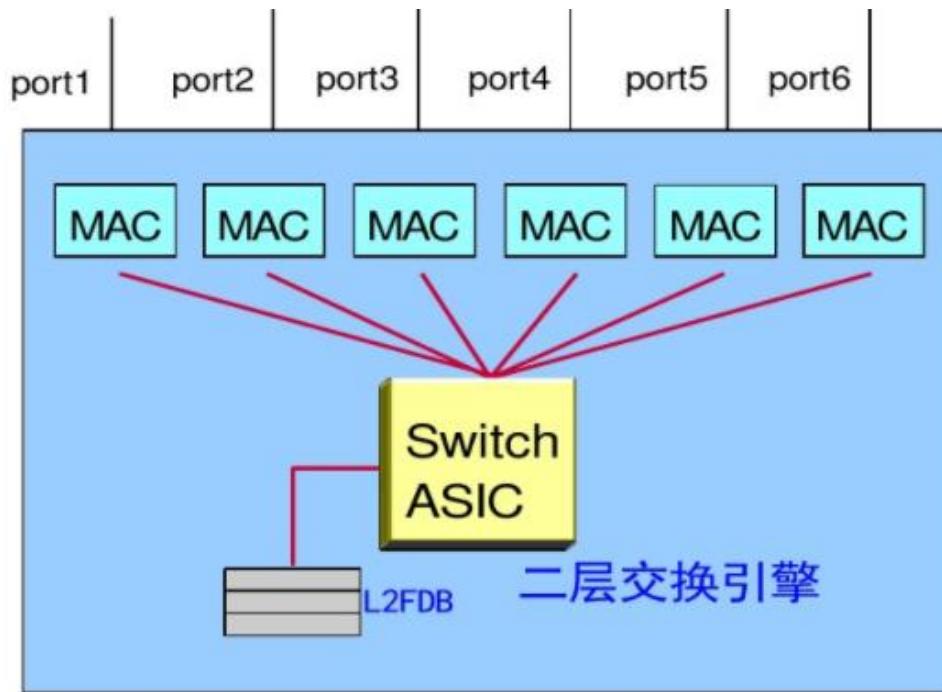
1. 学习
2. 扩散
3. 转发
4. 过滤
5. 老化



MAC	端口号	TTL

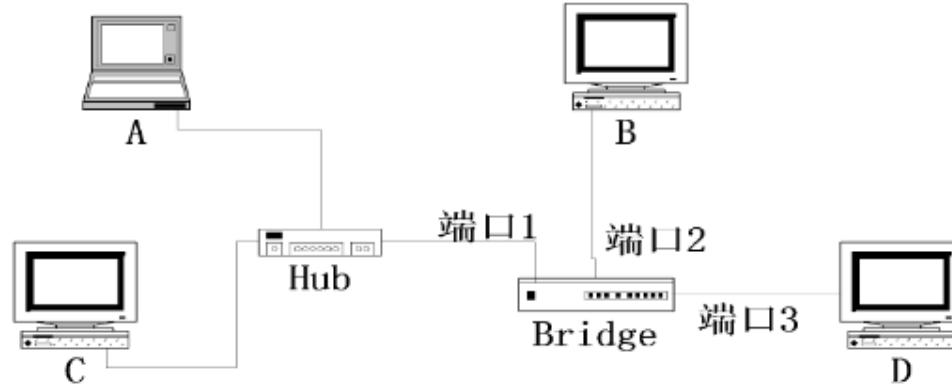
- 1. 学习
- 2. 扩散
- 3. 转发
- 4. 过滤
- 5. 老化

## 以太网交换机：内部结构



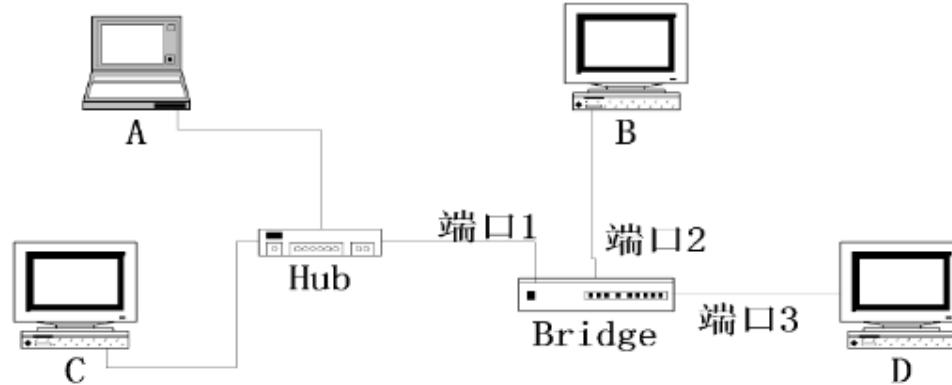
- 多端口设备（输入输出缓存）
- Switch交换电路：高速总线结构/多级交换阵列
- 转发表（L2FDB：Layer 2 forwarding database）

## 以太网交换机：特点



1. 隔离了冲突域
2. 广播帧：向其他所有端口转发（除进入端口外）
3. 并行交换
4. 全双工通信

## 以太网交换机：特点



### 5. 转发方式

- 存储转发
- 直通
- 无残帧

# 以太网的发展

100BASE-T/F：快速以太网（1995）

拓扑结构：星型

帧格式不变，最短帧长：64字节

网络覆盖范围缩小到200m

帧间隔：0.96us

## 1000BASE-LX/SX/T/CX：千兆以太网（1998）

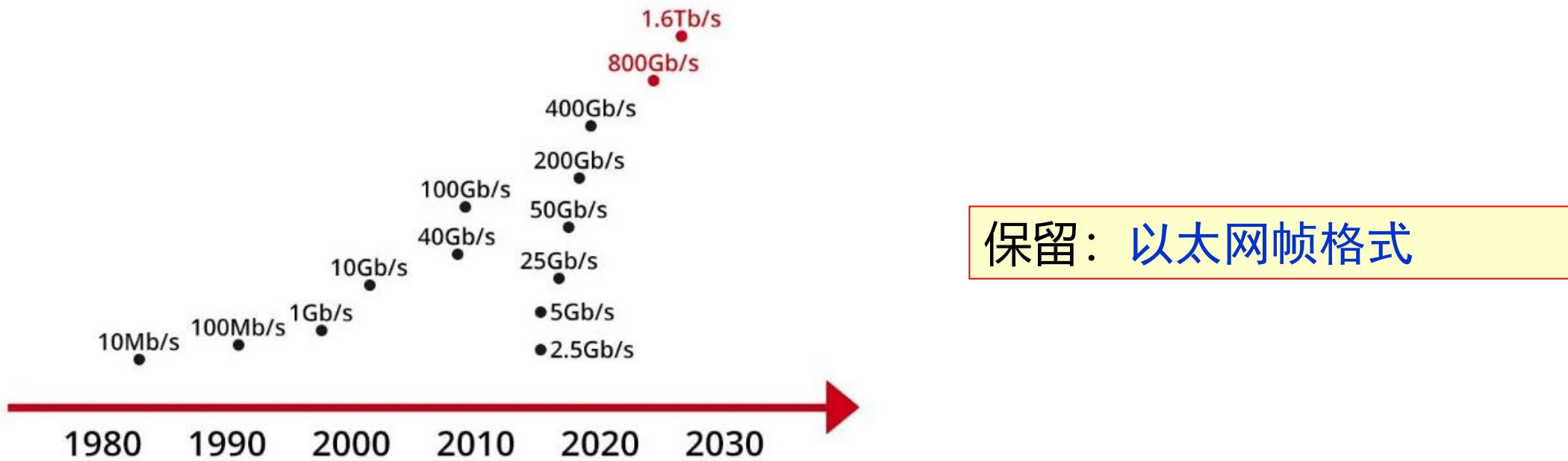
全双工和半双工（CSMA/CD）两种方式。

帧格式不变，最短帧长：64字节

将帧长扩展为512字节（载波扩展/帧突发）

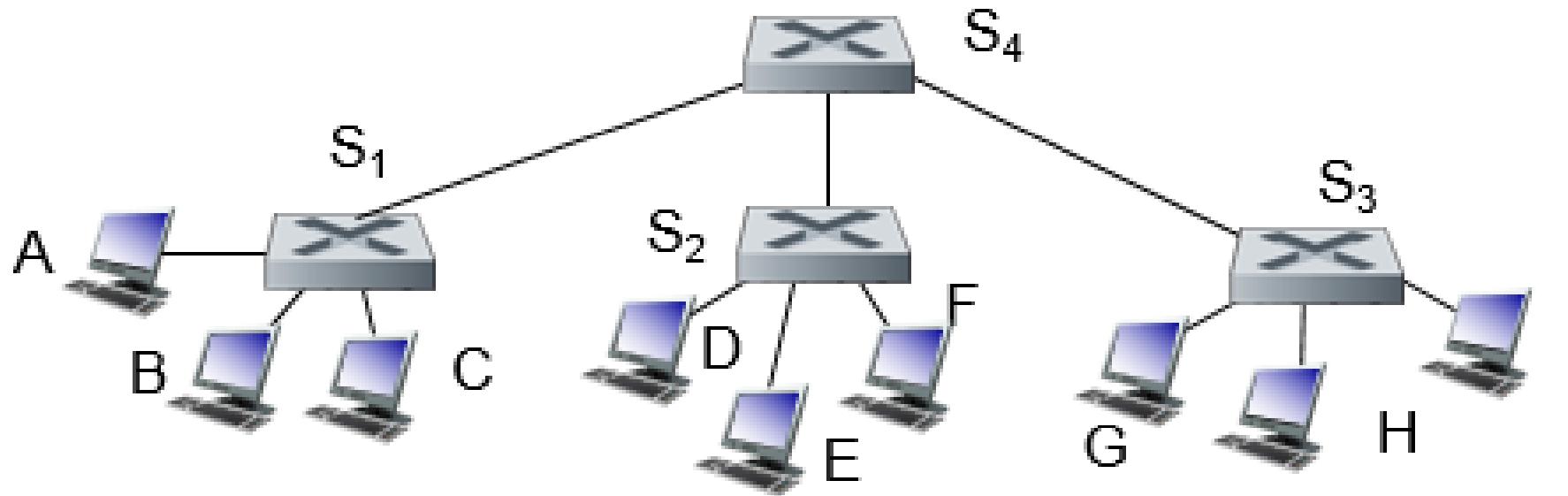
# 10GBASE-T/R/S：万兆以太网 (2002)

只工作在全双工方式，不使用CSMA/CD协议



保留：以太网帧格式

# 1) 以太网交换机



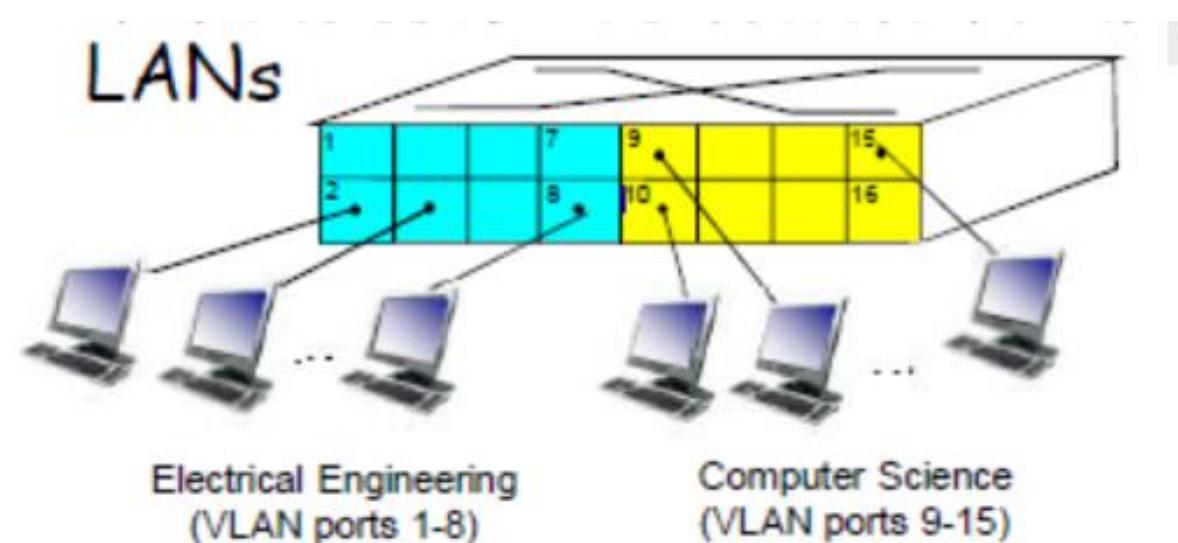
交换机路由回路和生成树协议 (STP: Spanning Tree Protocol , IEEE802.1d)

## 2) 虚拟局域网

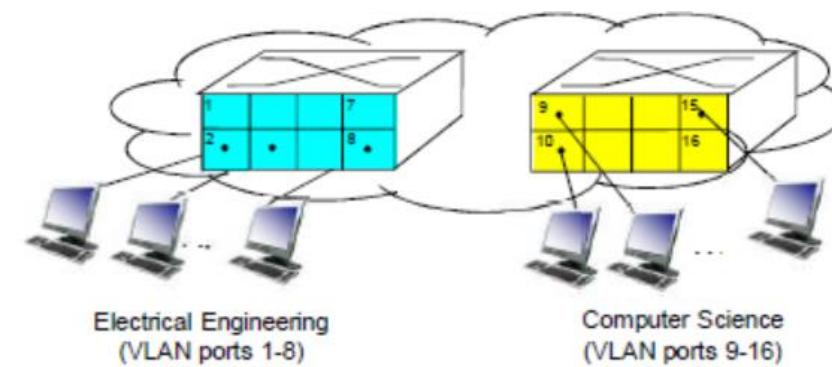
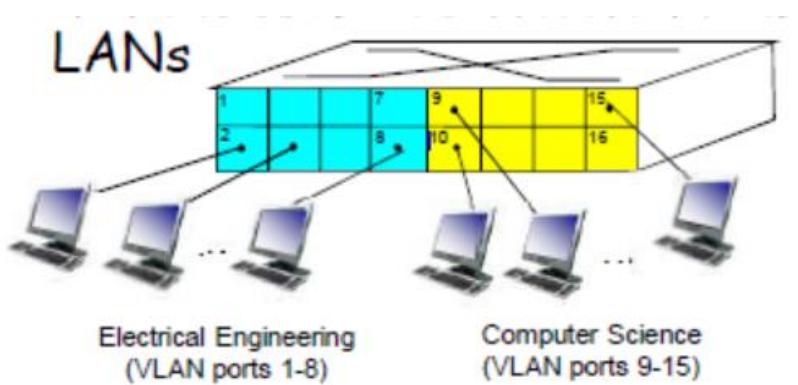


通过交换机互连的局域网

如何隔离广播帧？（上层ARP、DHCP、未知端口的帧）

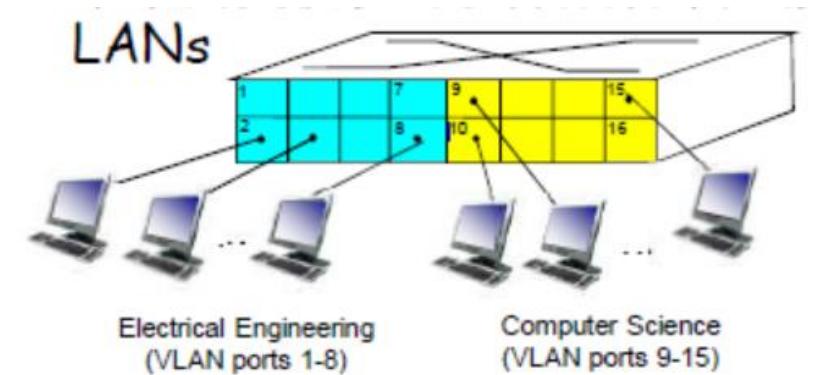


- 通过在交换机上做配置，一个物理LAN基础设施，**虚拟**成多个LANs，充分利  
用交换机端口（支持VLAN功能的交换机）

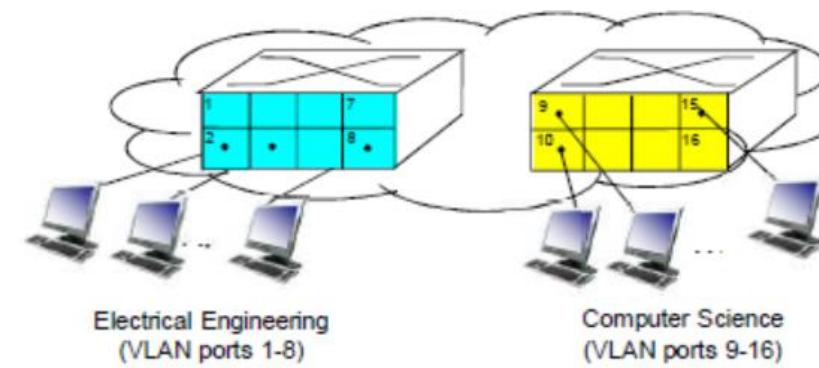


- 配置VLAN：通过配置端口

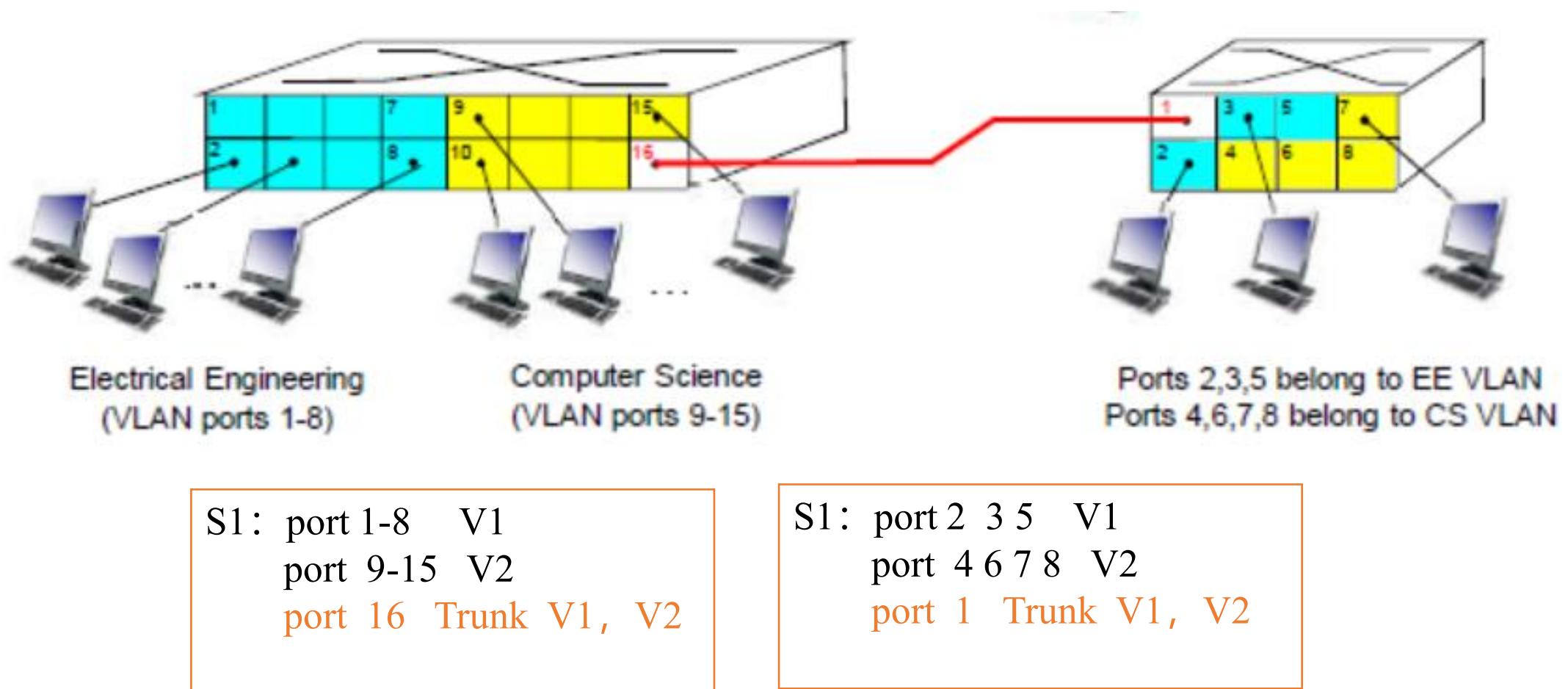
Port 1-8 V1

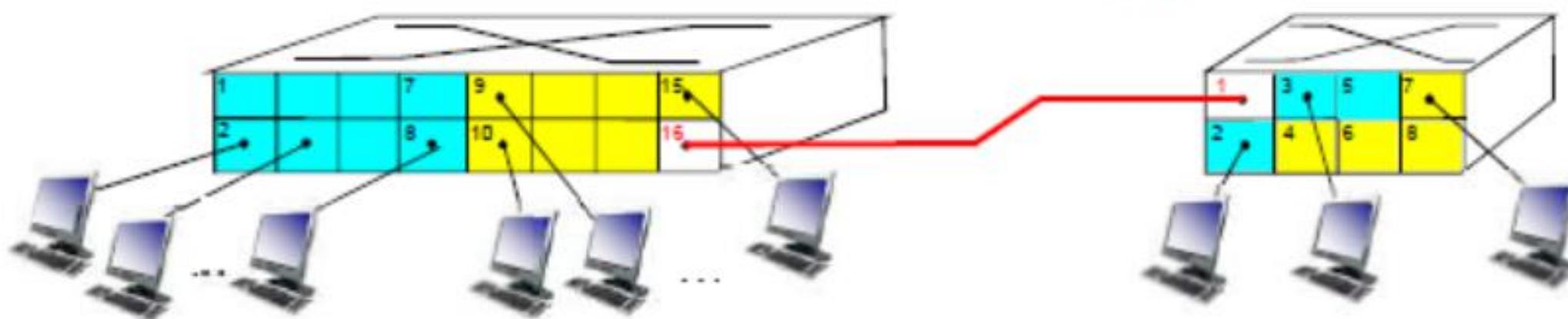
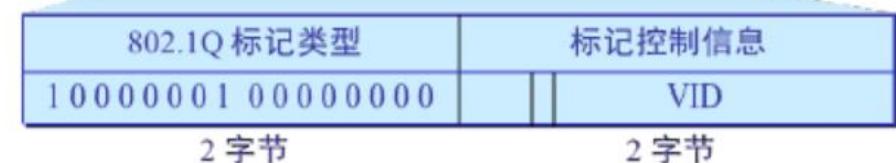
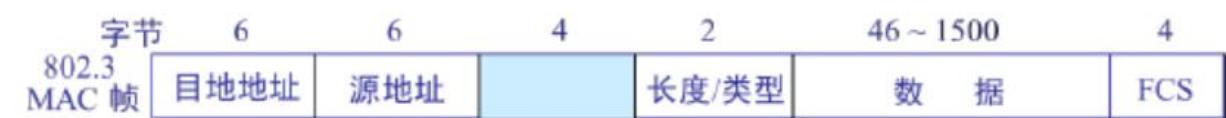


Port 9-16 V2



## • 多个交换机配置VLAN





Electrical Engineering  
(VLAN ports 1-8)

Computer Science  
(VLAN ports 9-15)

Ports 2,3,5 belong to EE VLAN  
Ports 4,6,7,8 belong to CS VLAN

# 总结

✓ 多路访问协议

✓ 随机接入协议

✓ 局域网

✓ 以太网

——CSMA/CD、最短帧长、二进制指数退避算法

——互连设备：转发器、集线器、交换机

# 作业

P152 : 4.9, 4.10

3) 采用CSMA/CD协议，第5次碰撞后，节点选择K=4的概率是多少？

在10Mbps以太网上对应多少秒的时延？

# 作业

4) C和I之间交换数据，S1-S4的转发表？

