

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)

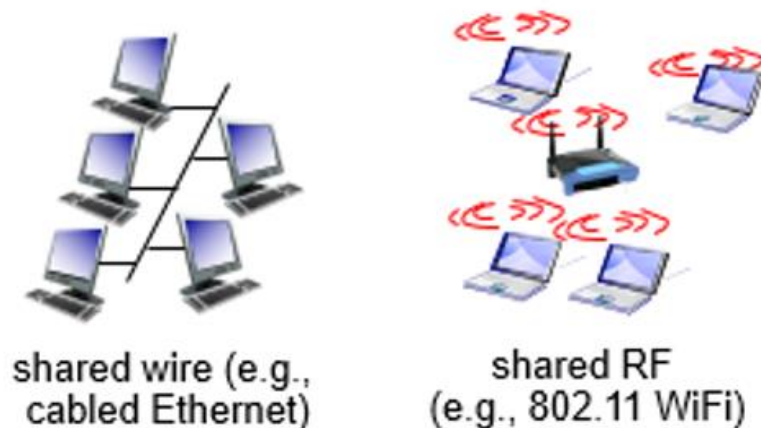


shared RF
(e.g., 802.11 WiFi)

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)



——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。

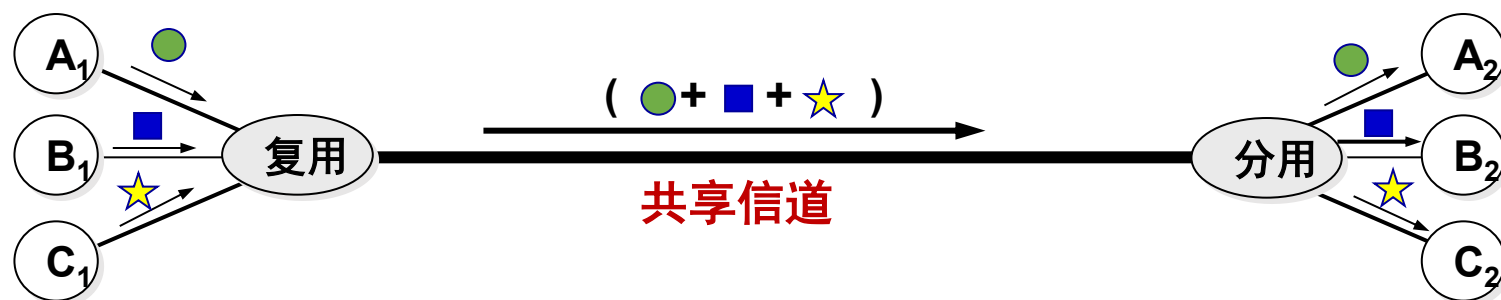
如何协调多台主机之间的通信？：多路访问协议 (Multi-Access Protocol)

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

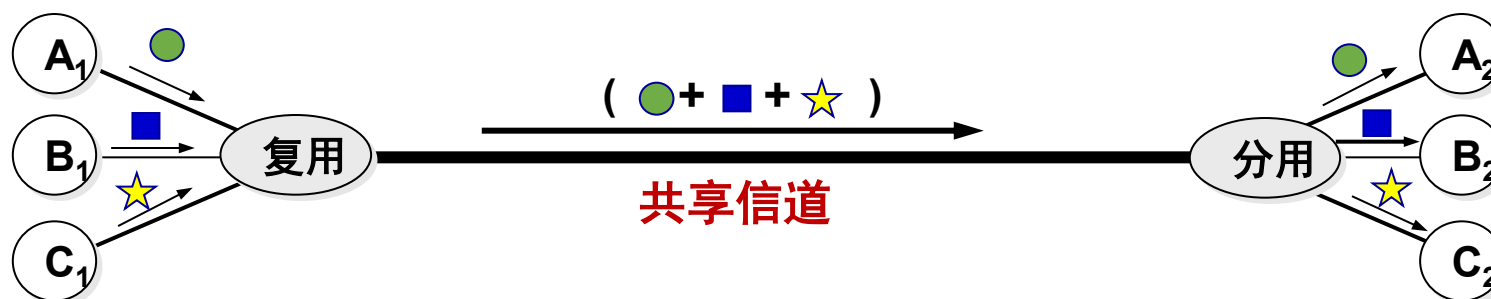
物理层： 多路复用技术



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

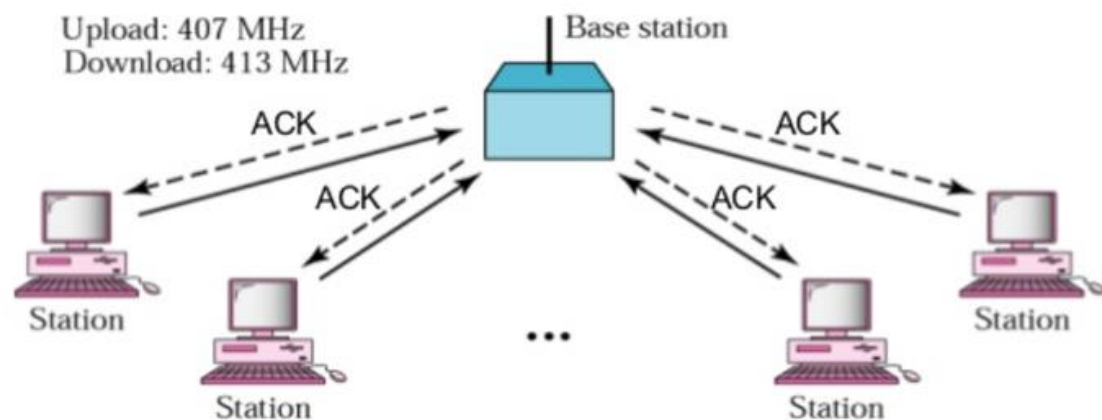
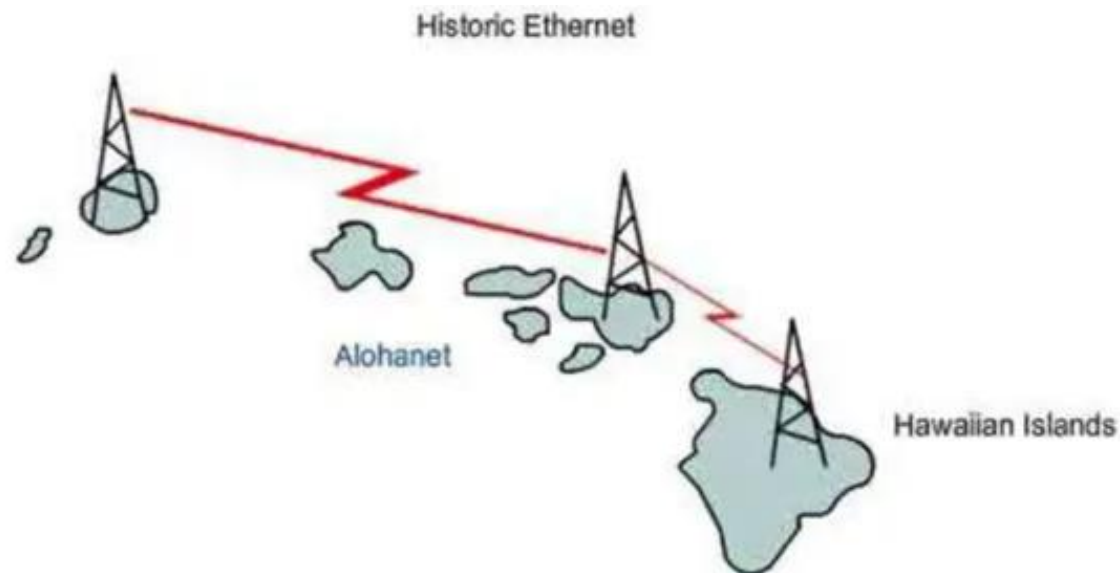
4. CSMA/CA



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

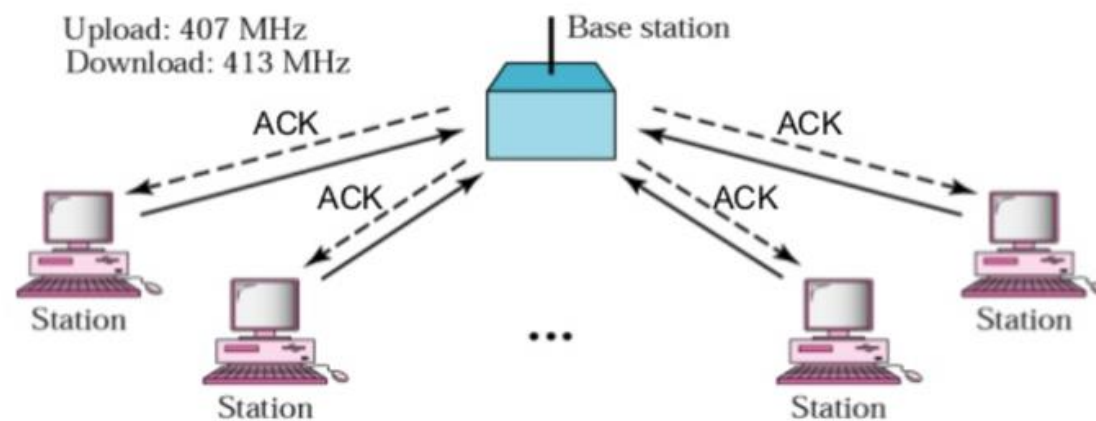
(每个节点等待的随机时间不同，降低第二次冲突的概率)

——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

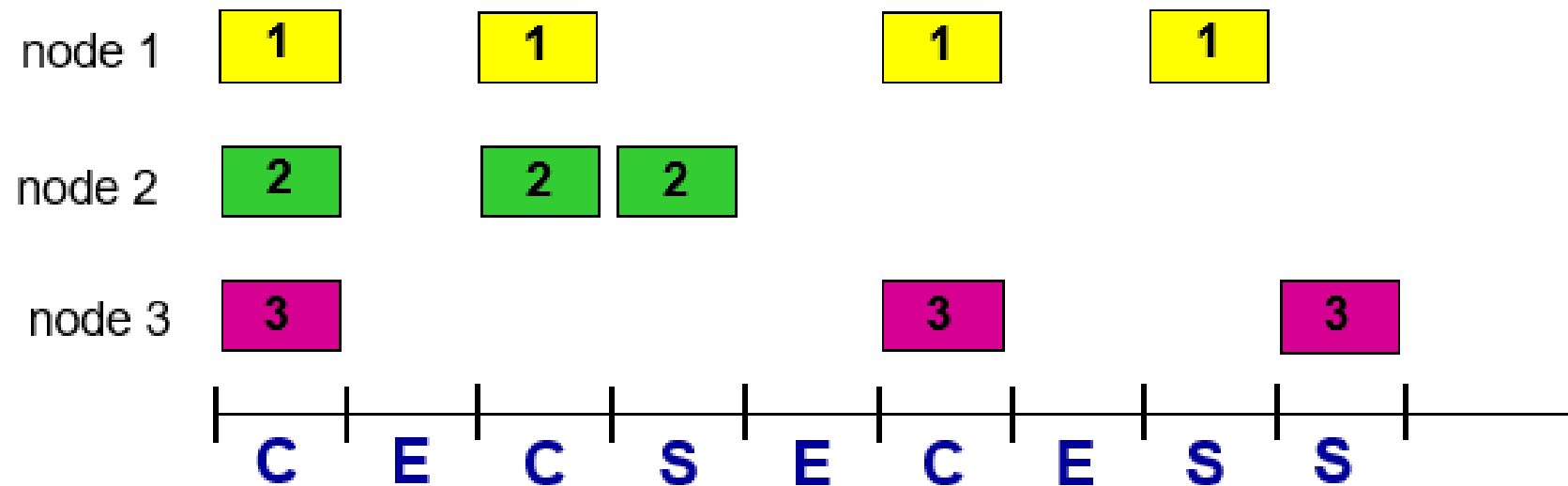
帧时：一个帧（标准帧长）的传输时延

- 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ALOHA



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

1.ALOHA

2.CSMA

3.CSMA/CD

4.CSMA/CA

CSMA (carrier sense multiple access)

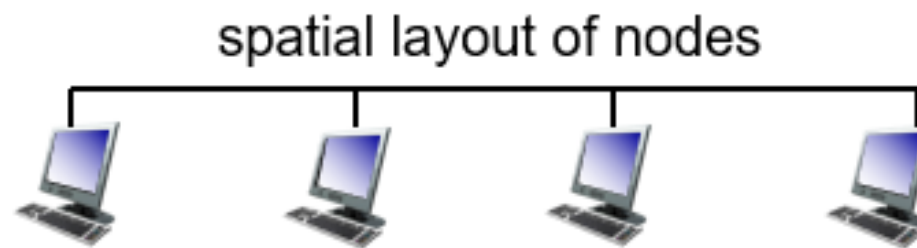
在随机接入协议的基础上

增加了：**载波侦听机制**，即节点在发送数据前，先侦听信道

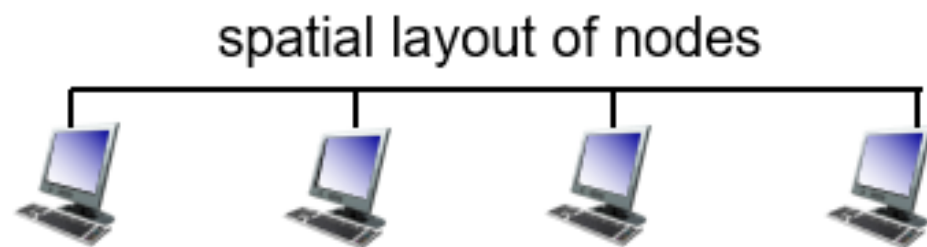
- ✓ 如信道上有数据，则信道忙，不发送
- ✓ 否则，认为信道空闲，发送数据



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

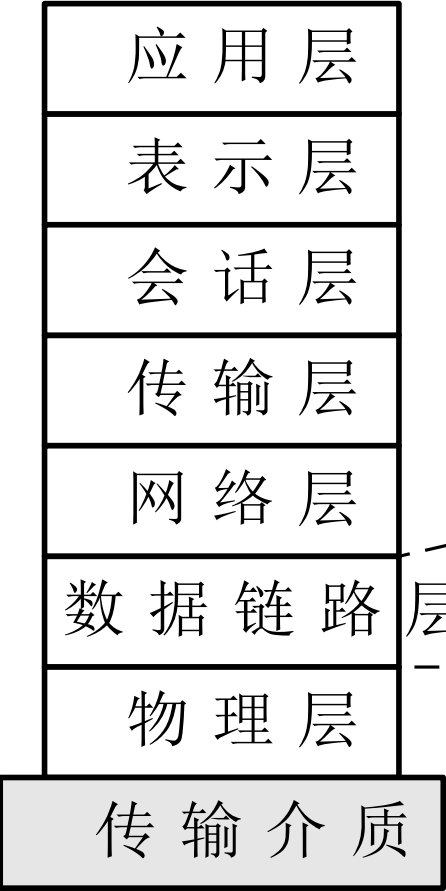
- ✓ 多路访问协议
- ✓ 随机接入协议
- ✓ 局域网
- ✓ 以太网

局域网

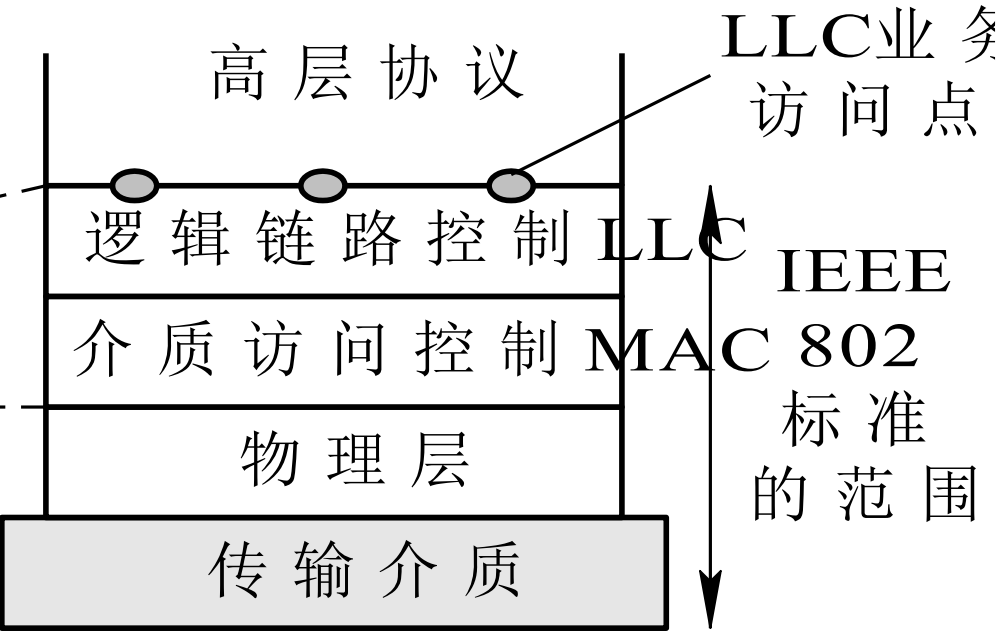
- LAN: Local Area Network: 将物理位置邻近的计算机连接起来, 资源共享和信息交换, 地理范围和主机数目均有限

IEEE802标准: 局域网标准

OSI参考模型



IEEE 802的参考模型



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

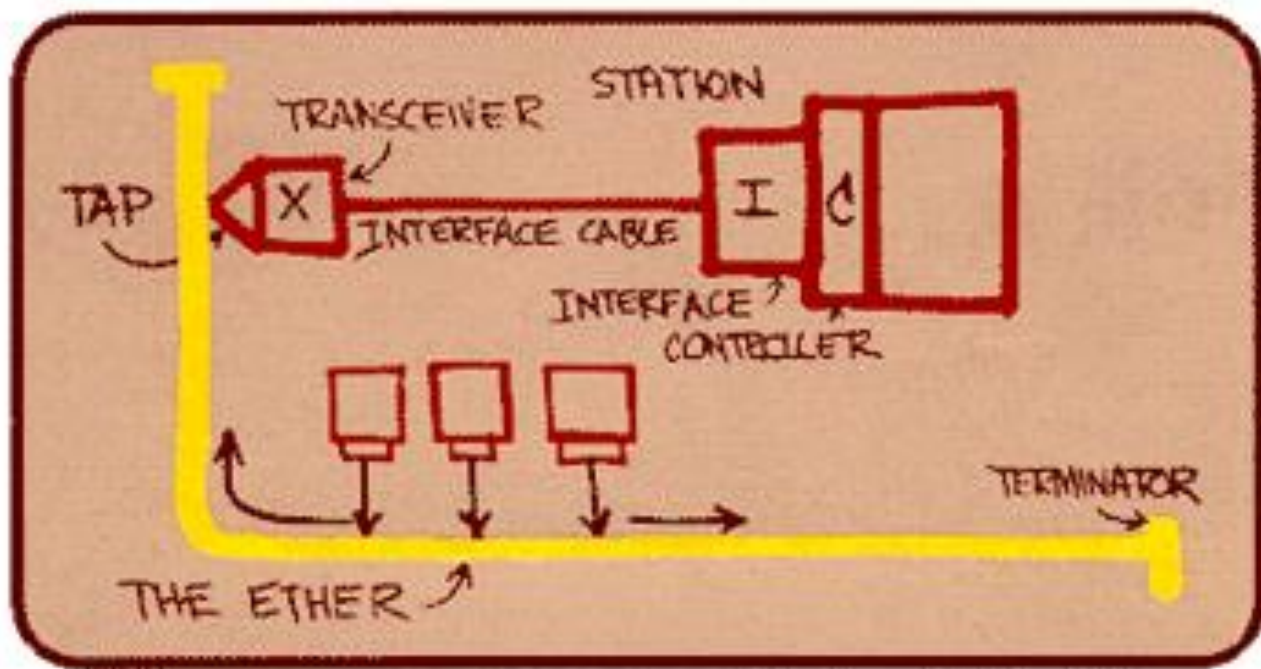
- ✓ 多路访问协议
- ✓ 随机接入协议
- ✓ 局域网
- ✓ 以太网

以太网

✓最早广泛使用的LAN

✓速率：2.94Mbps，覆盖范围：1mile

✓主机数：256



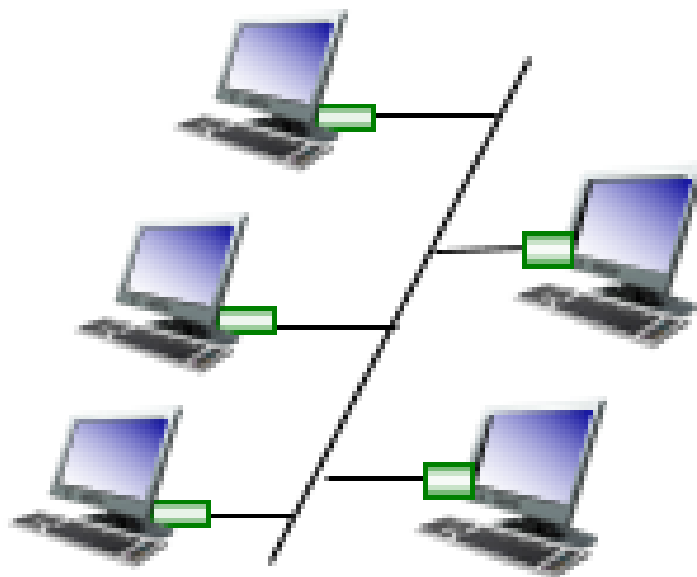
Metcalfe's Ethernet sketch

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

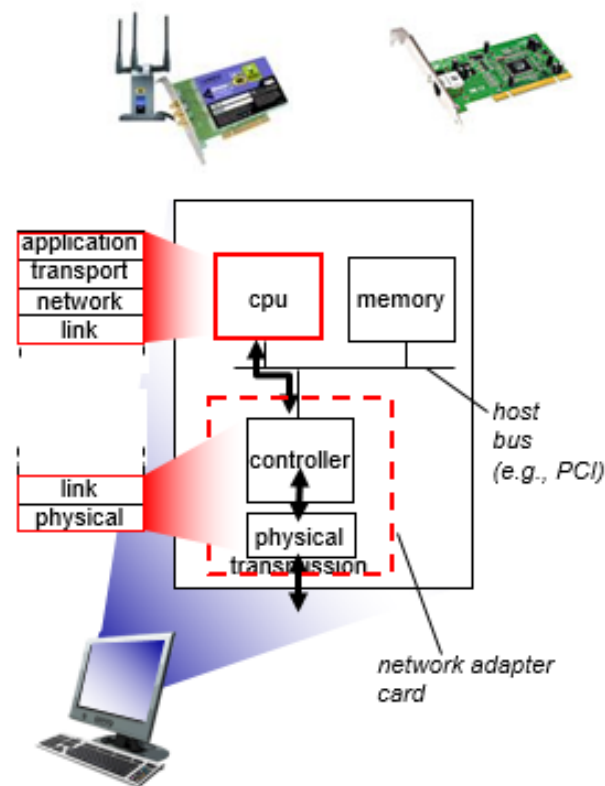
- ✓MAC地址
- ✓MAC层帧结构
- ✓CSMA/CD



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

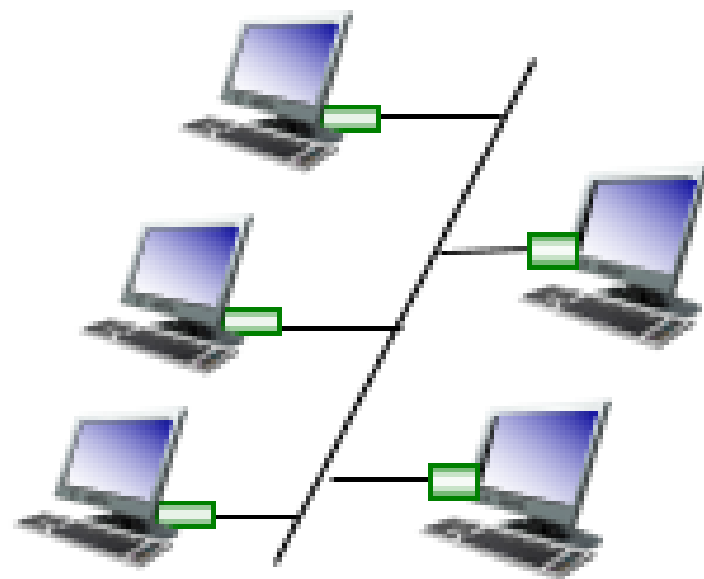
广播地址：全1， FF-FF-FF-FF-FF-FF

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

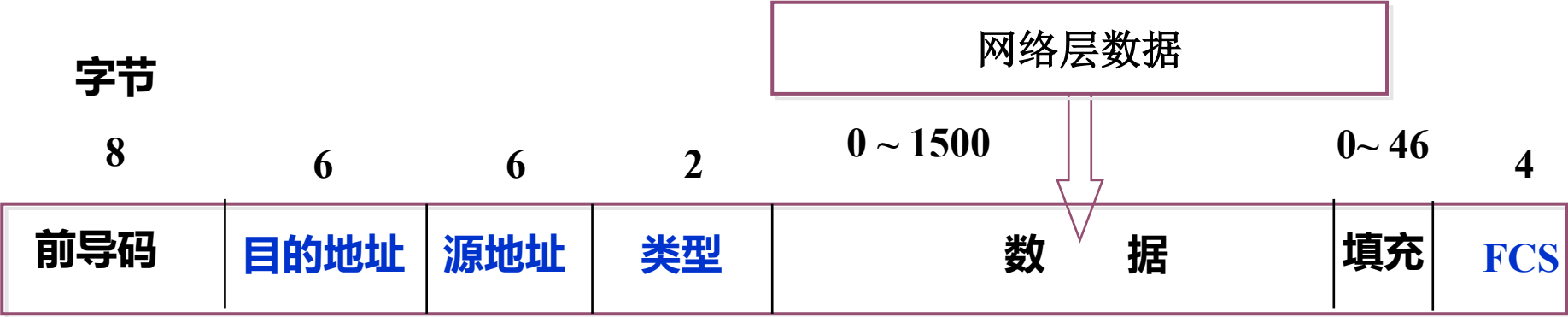
- 混杂模式: 接收所有帧



bus: coaxial cable

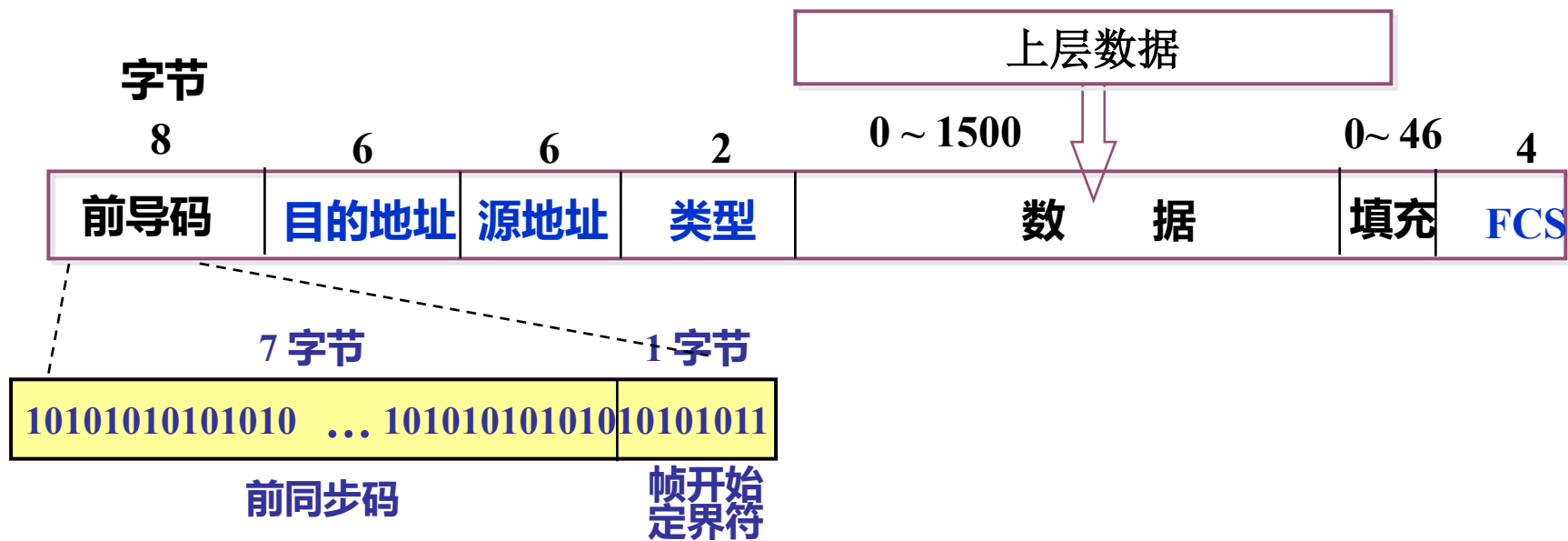
MAC帧结构

- DIX帧结构



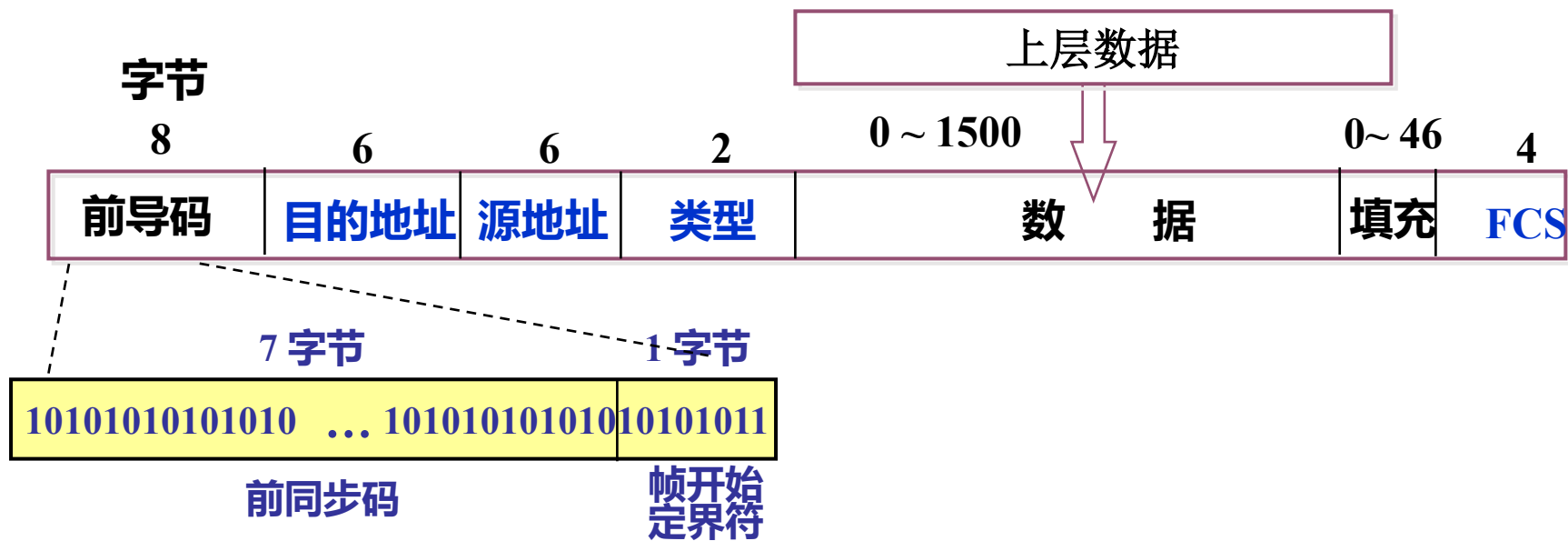
MAC帧结构


- 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



CSMA/CD

增加冲突检测机制，即CD (collision detection)

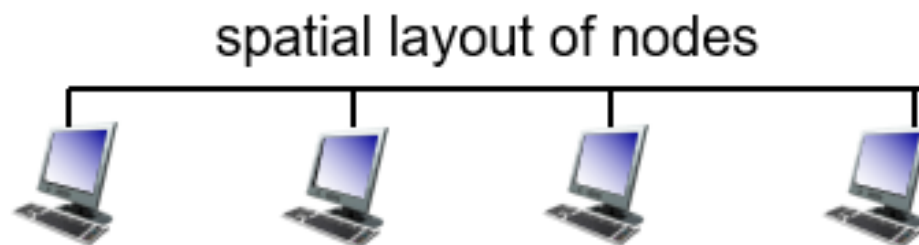
——节点**发送帧的同时，侦听信道**，一旦检测到冲突，立即停止传输

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？

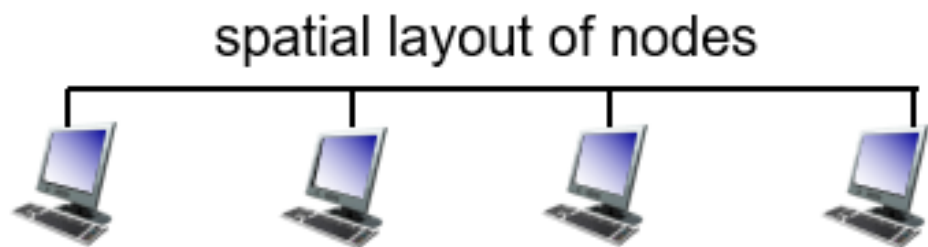


- A从发送开始计时, 经过 $2\tau - \delta$, 检测到碰撞
- B从发送开始计时, 经过 δ , 检测到碰撞

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: $r \times 2T$

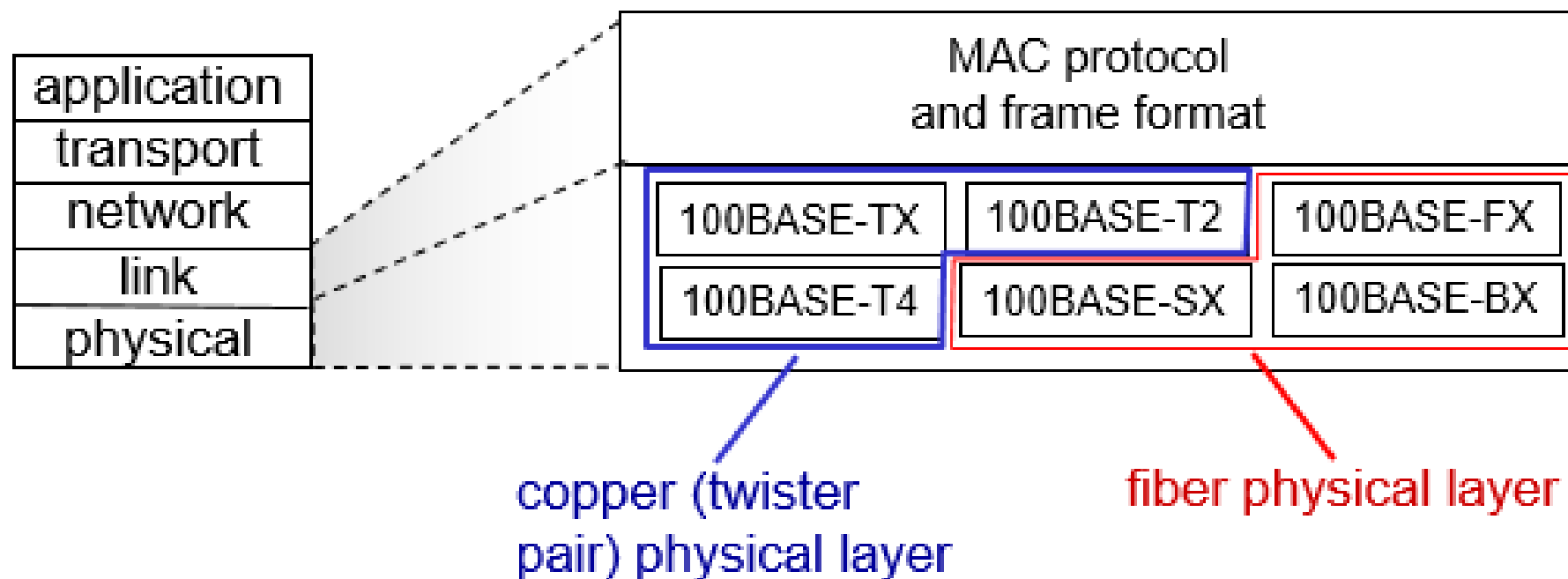
CSMA/CD

□ 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

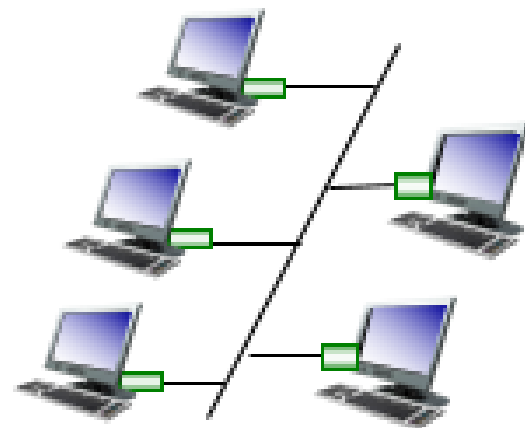
以太网的发展



以太网的发展

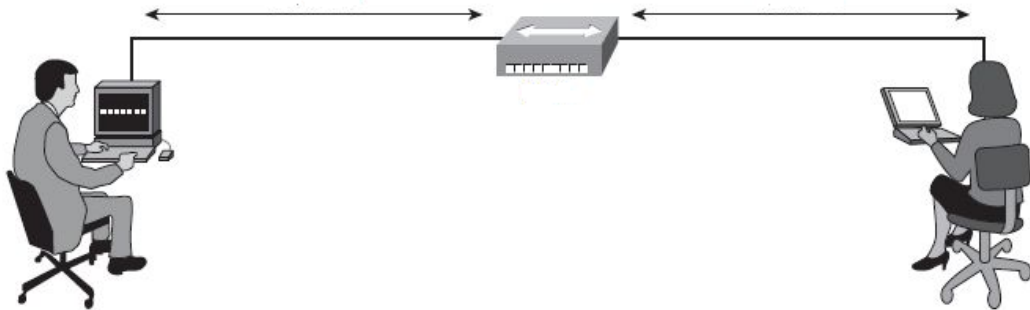
总线型拓扑（70年代中期~90年代中期）

10base-5/10base-2



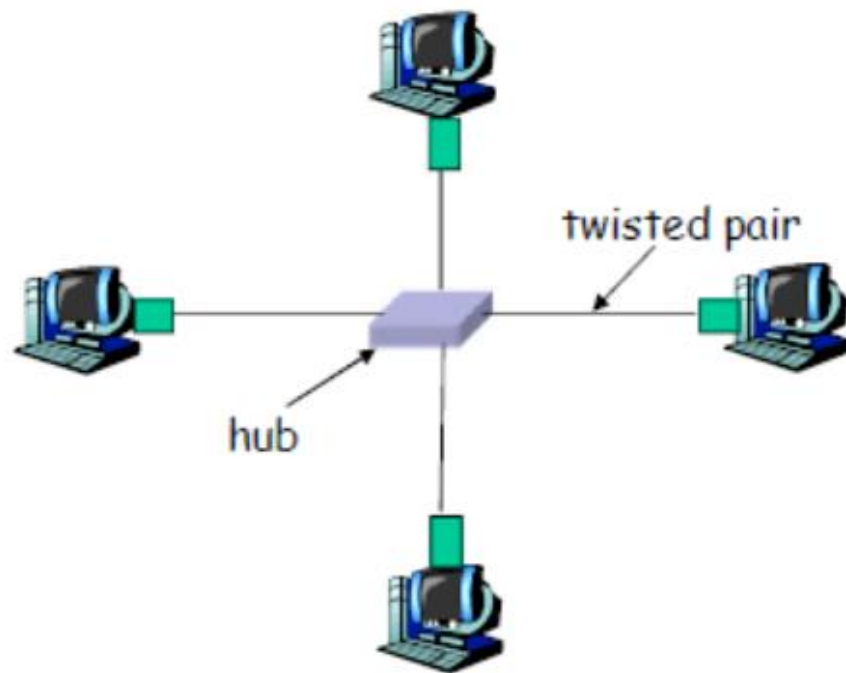
bus: coaxial cable

扩大覆盖范围：转发器/中继器



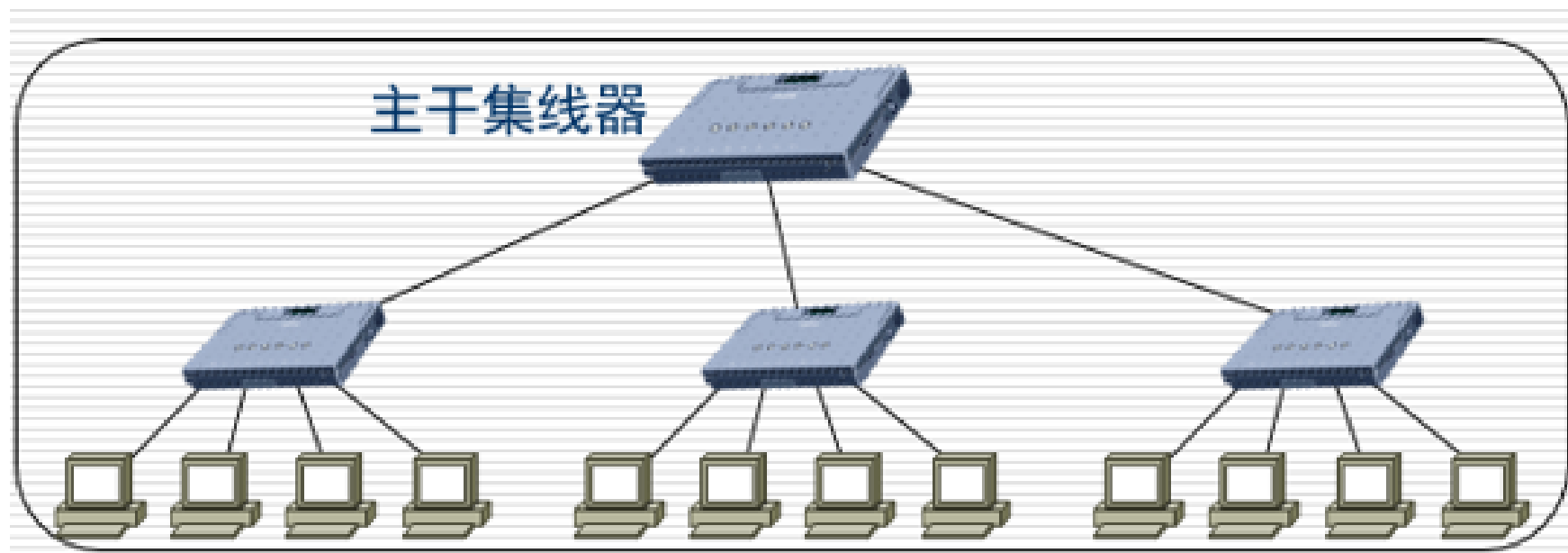
- ✓ 同一个冲突域：CSMA/CD
- ✓ 两个节点之间最多4个转发器

星型拓扑：90年代，10base-T



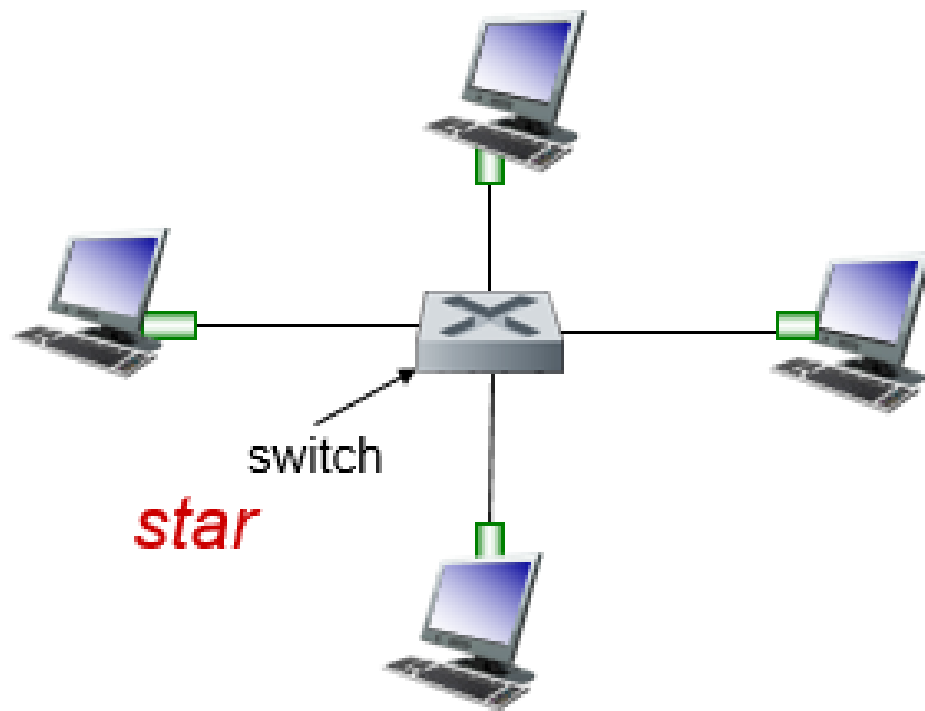
1. 集线器 (Hub) : 多端口转发器, 工作在物理层
2. 逻辑上总线型

集线器：扩展以太网的覆盖范围



星型拓扑， 21世纪初

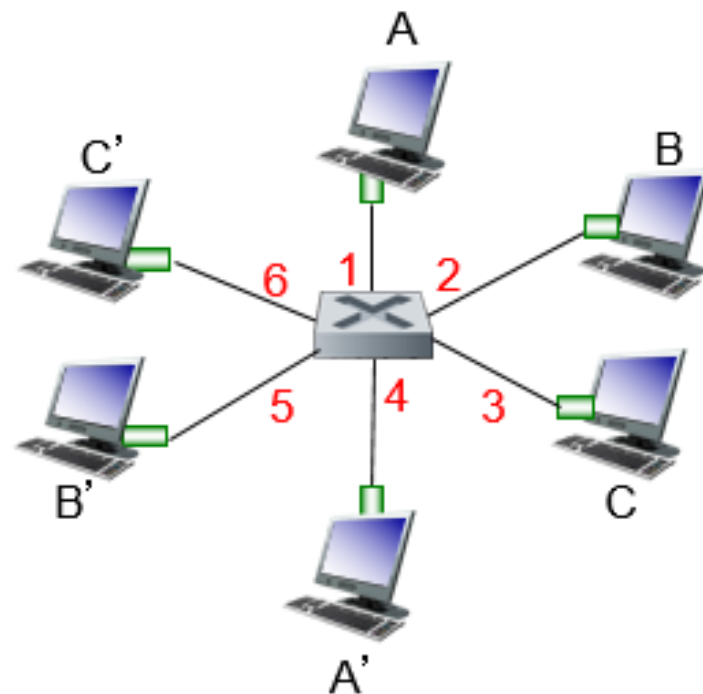
交换机：分组交换设备，存储转发



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

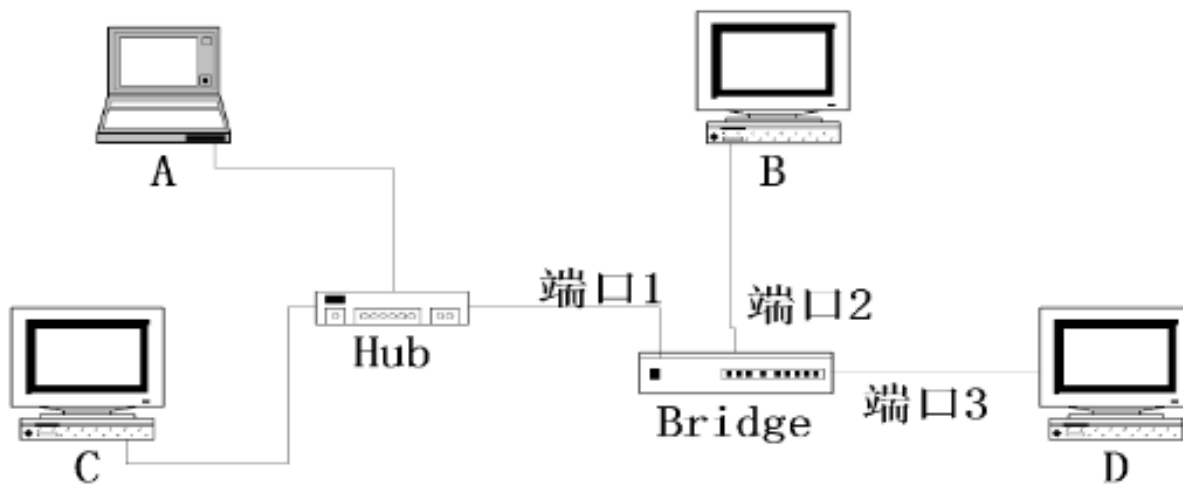


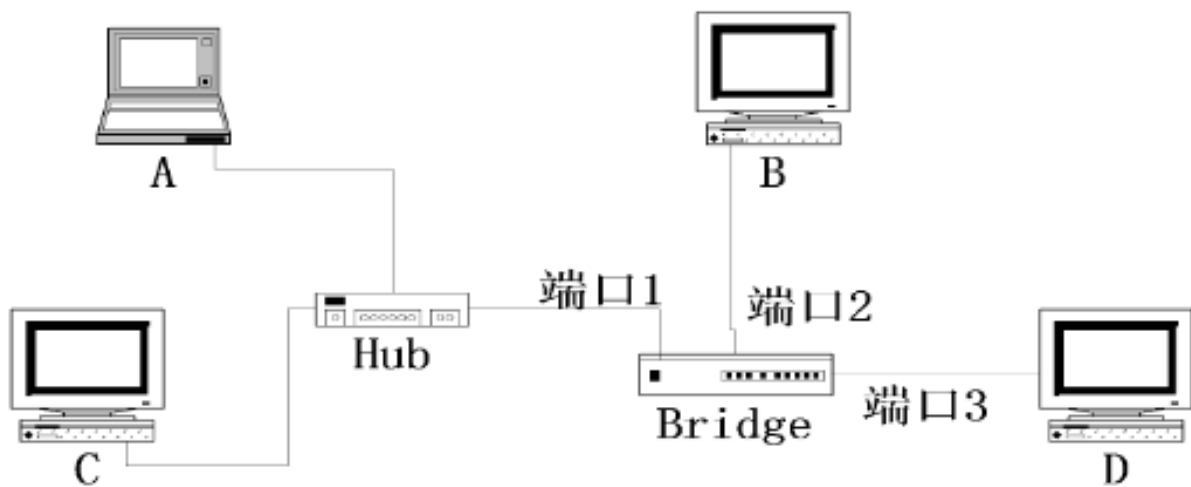
switch with six interfaces
(1,2,3,4,5,6)

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

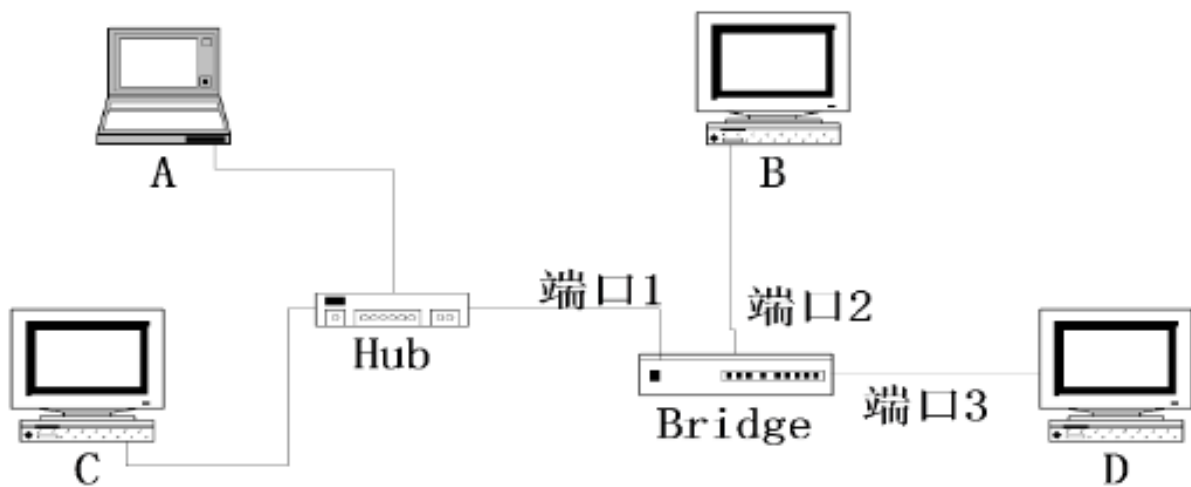
存储转发：从一个端口处收到物理信号，恢复出帧，存储，查找转发表，向对应端口转发





MAC	端口号	TTL

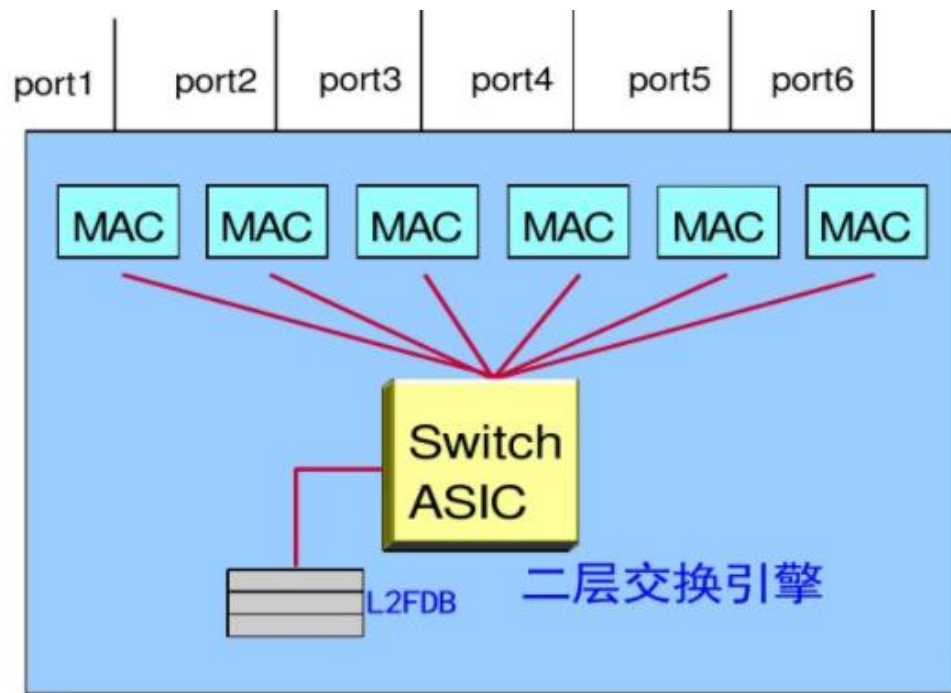
1. 学习
2. 扩散
3. 转发
4. 过滤
5. 老化



MAC	端口号	TTL

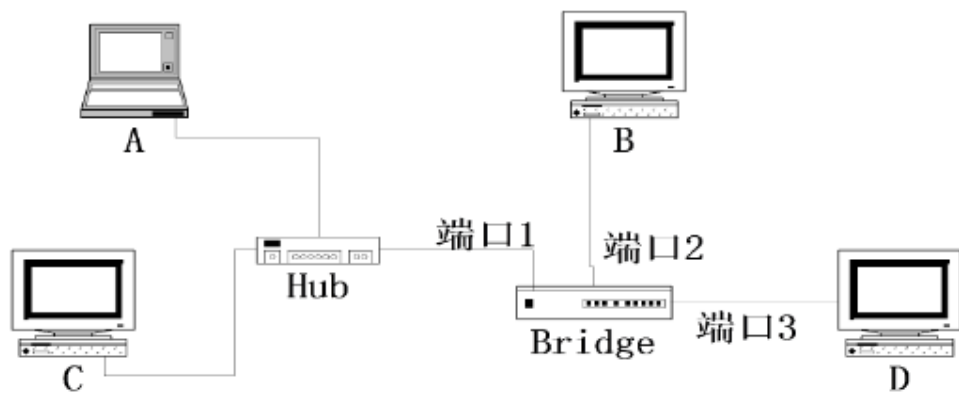
1. 学习
2. 扩散
3. 转发
4. 过滤
5. 老化

以太网交换机：内部结构



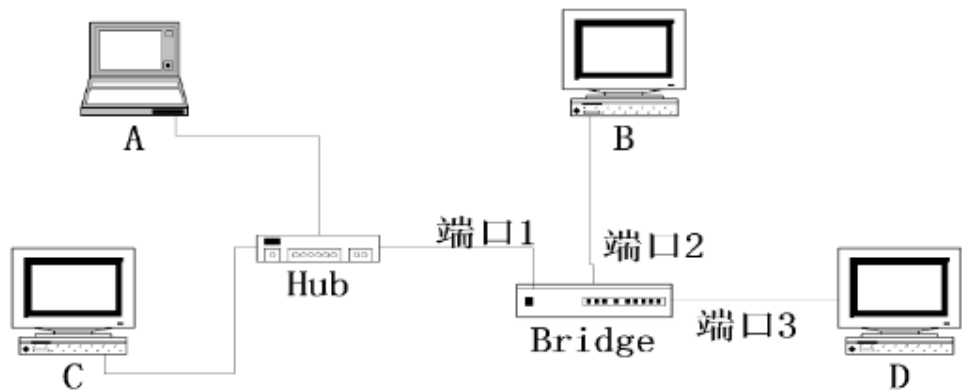
- 多端口设备（输入输出缓存）
- Switch交换电路：高速总线结构/多级交换阵列
- 转发表（L2FDB：Layer 2 forwarding database）

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)

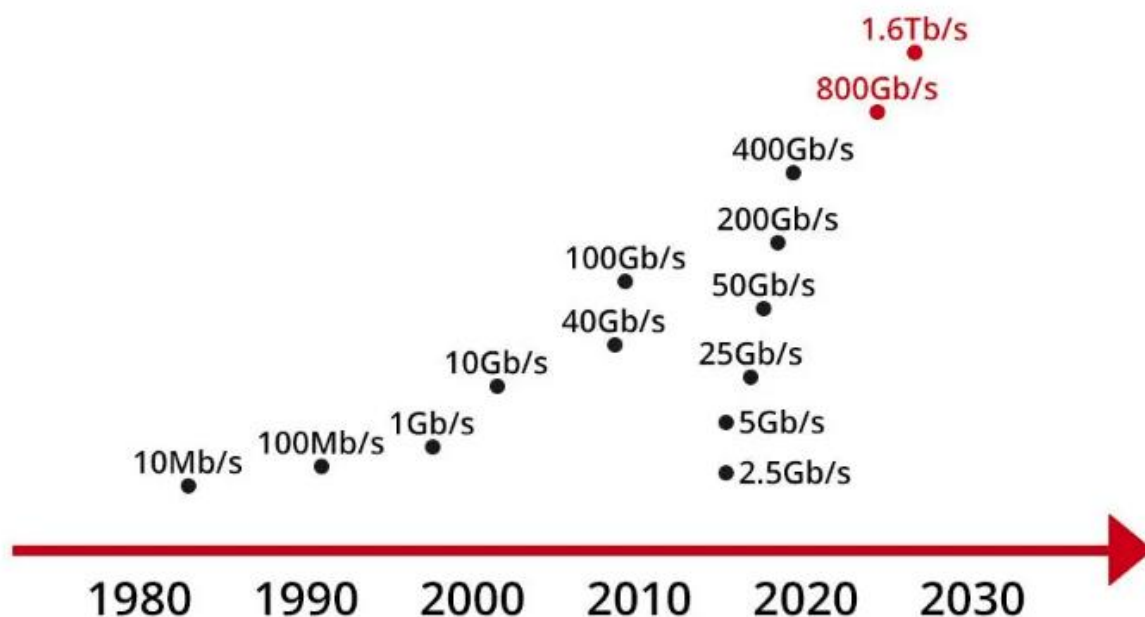
全双工和半双工 (CSMA/CD) 两种方式。

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)

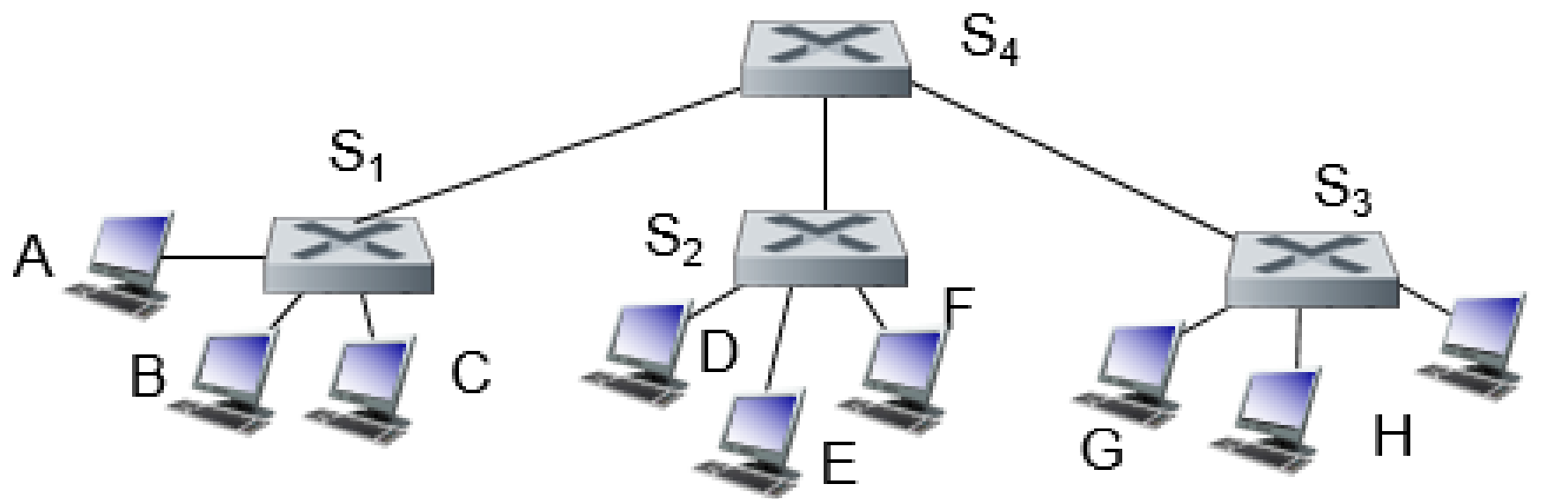
10GBASE-T/R/S: 万兆以太网 (2002)

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



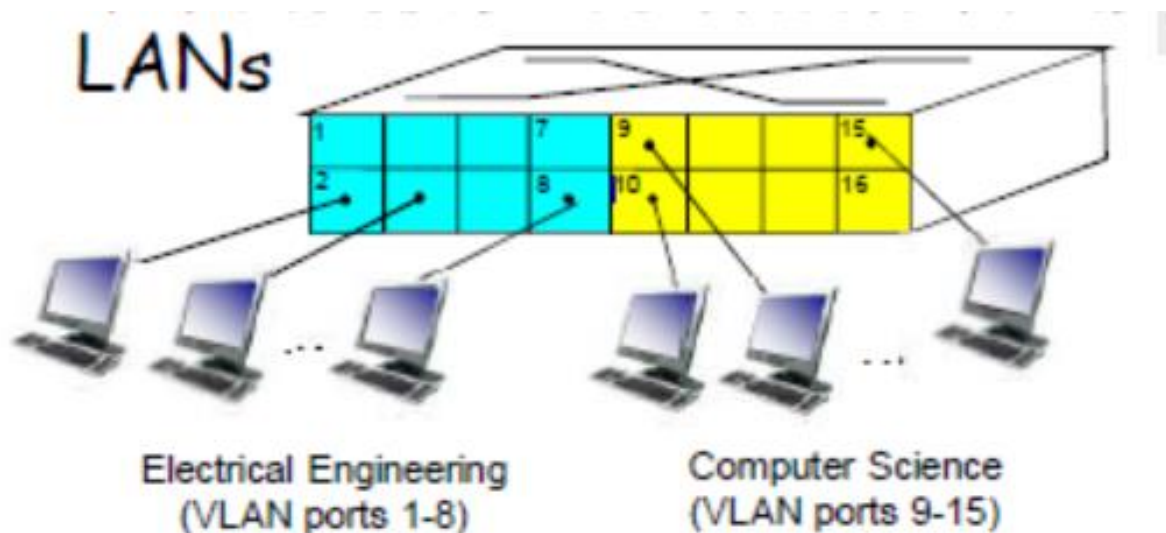
交换机路由回路和生成树协议 (STP: Spanning Tree Protocol , IEEE802.1d)

2) 虚拟局域网

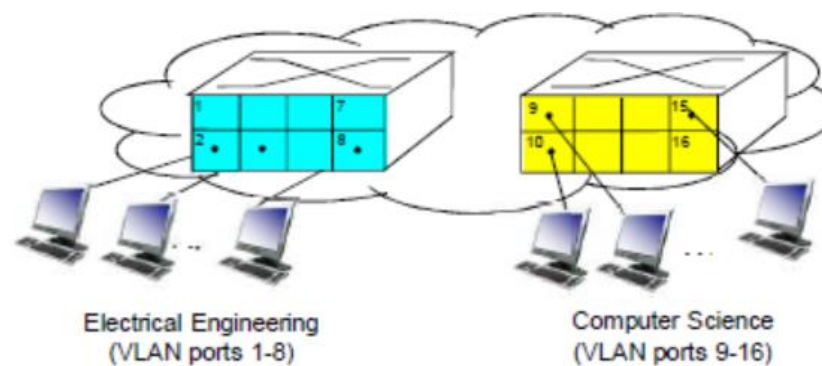
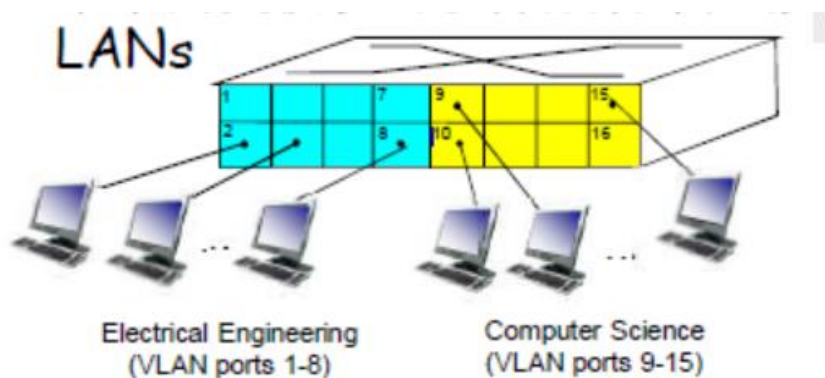


通过交换机互连的局域网

如何隔离广播帧？（上层ARP、DHCP、未知端口的帧）



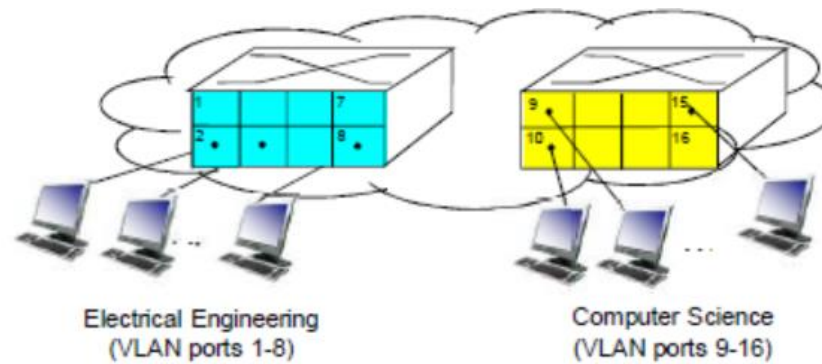
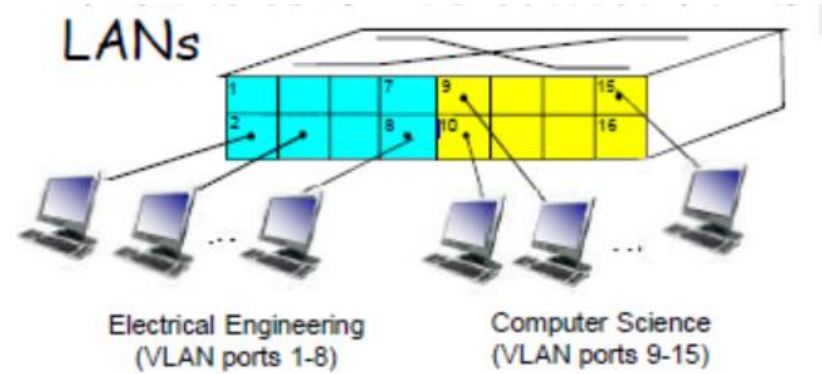
- 通过在交换机上做配置，一个物理LAN基础设施，**虚拟**成多个LANs，充分利用交换机端口（支持VLAN功能的交换机）



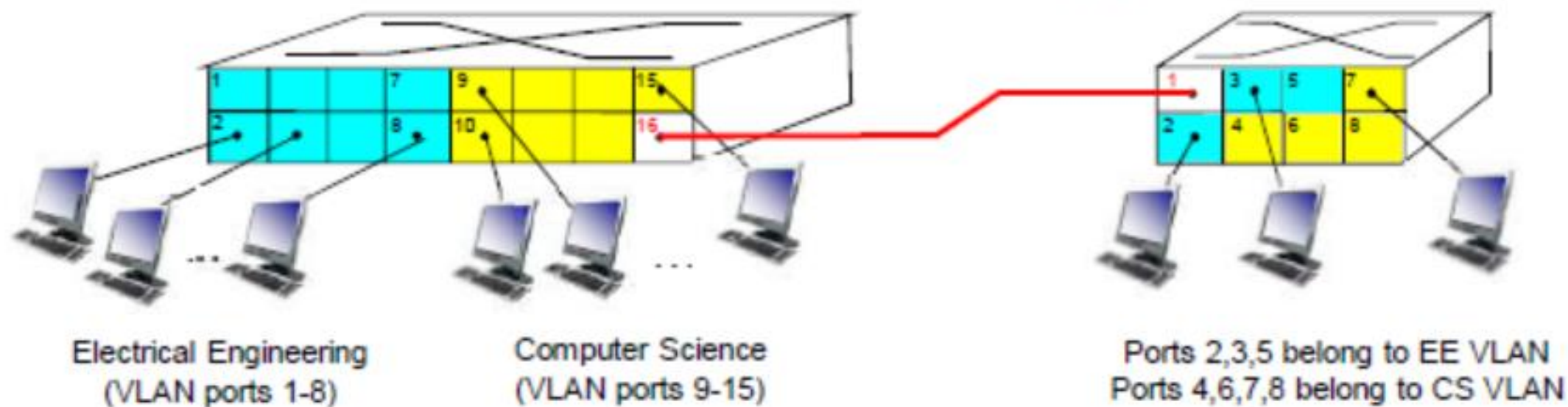
- 配置VLAN：通过配置端口

Port 1-8 V1

Port 9-16 V2

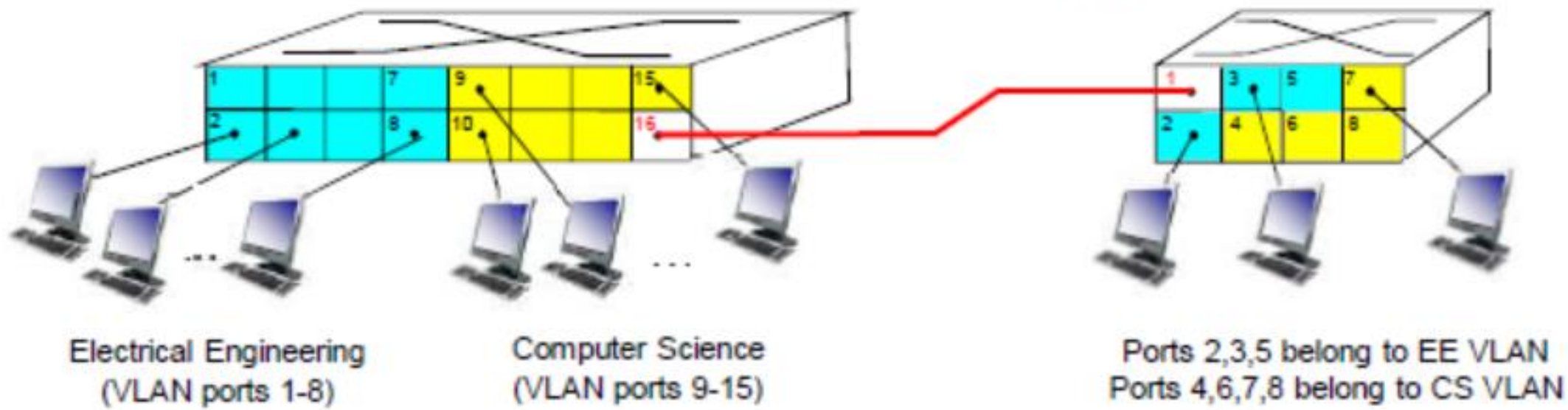
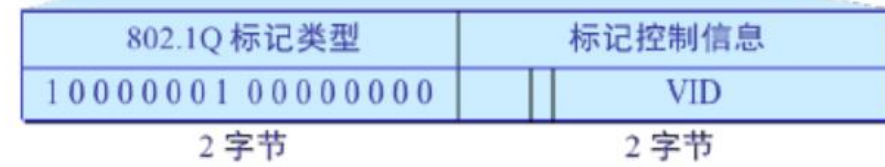
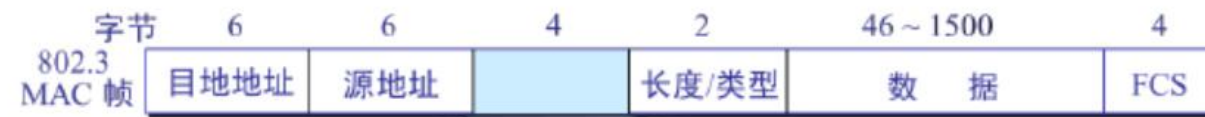


- 多个交换机配置VLAN



S1: port 1-8 V1
port 9-15 V2
port 16 Trunk V1, V2

S1: port 2 3 5 V1
port 4 6 7 8 V2
port 1 Trunk V1, V2



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?

