

第五章 广播链路和局域网

合肥工业大学
计算机与信息学院

第一章：概述

第二章：网络体系

第三章：物理层

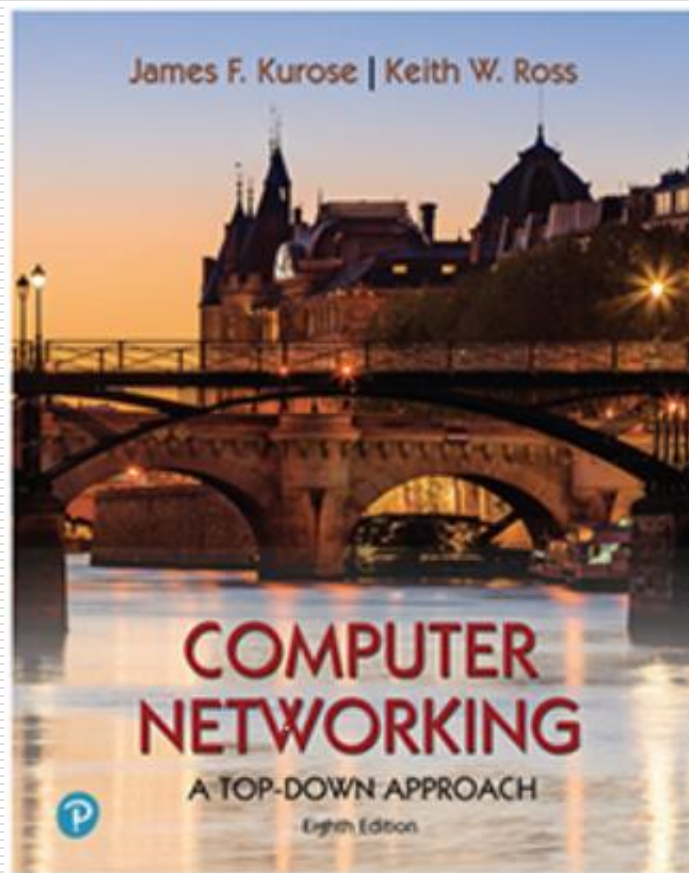
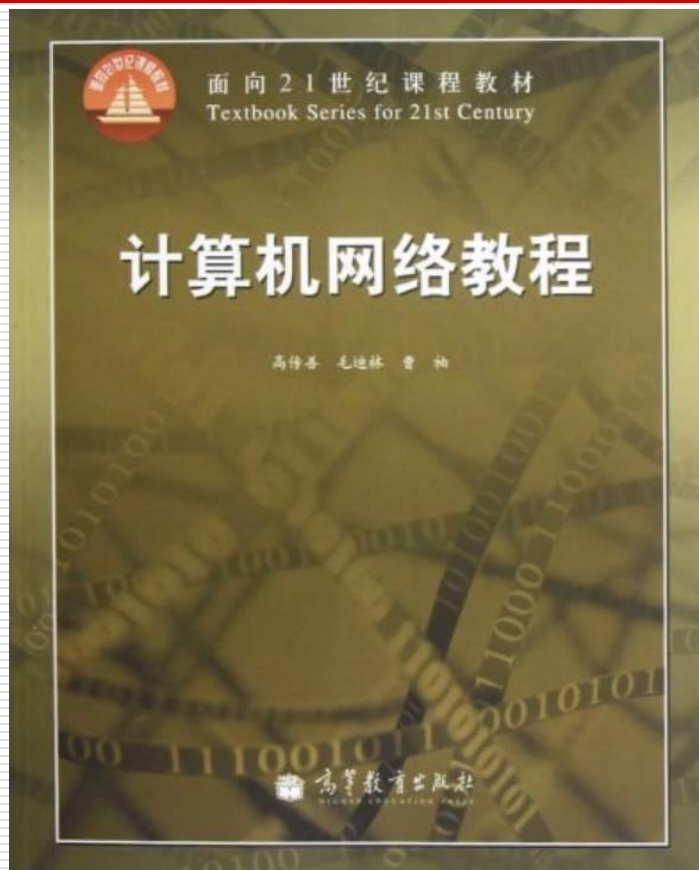
第四章：数据链路层

第五章：广播链路和局域网

第六章：网络层

第七章：传输层

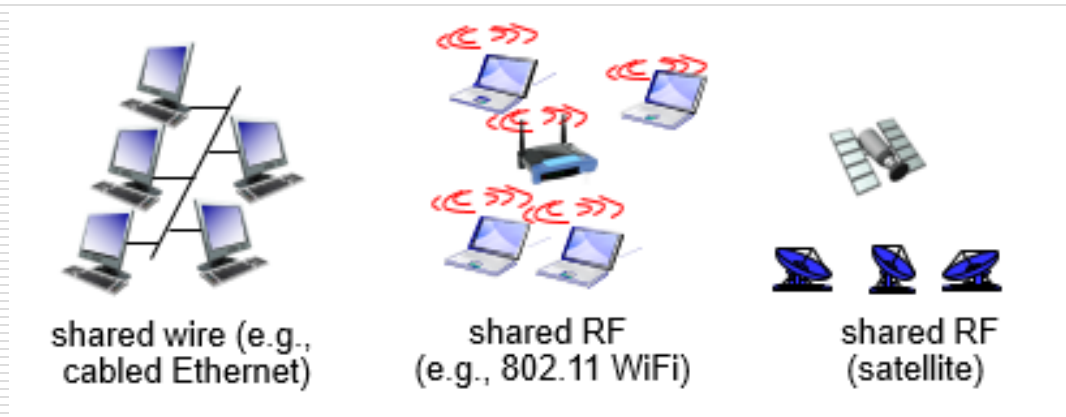
第八章：应用层



两种类型链路

1) 点到点链路 (PPP、HDLC)

2) 广播链路



一台主机发送数据（帧），其他节点都能收到

-
- ❑ 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



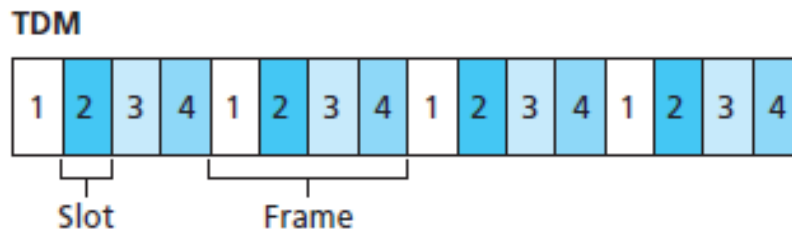
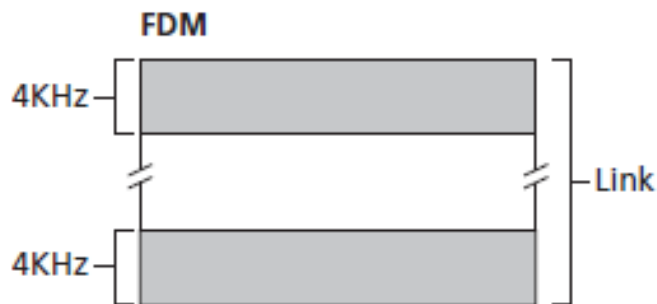
shared wire (e.g.,
cabled Ethernet)

5.1 多路访问协议

□ 哪几类多路访问协议（MAP）？

1. 信道划分协议

FDMA、TDMA、WDMA、CDMA



2. 轮流协议

轮询协议：指定主节点，循环的方式轮询每个节点
(ZigBee协议，蓝牙协议)

令牌传递协议：没有主节点，令牌 (token) 在节点之间以某个固定的次序交换

(光纤分布式接口FDDI协议，IEEE802.5令牌环协议)

3. 随机接入协议

所有节点去竞争信道的访问权

下列哪些协议不会产生冲突？

- ☒ A 信道划分协议
- ☒ B 轮询协议
- ☐ C 随机访问协议
- ☒ D 令牌传递协议

提交

5.2 随机接入协议

□ 当节点有帧发送时

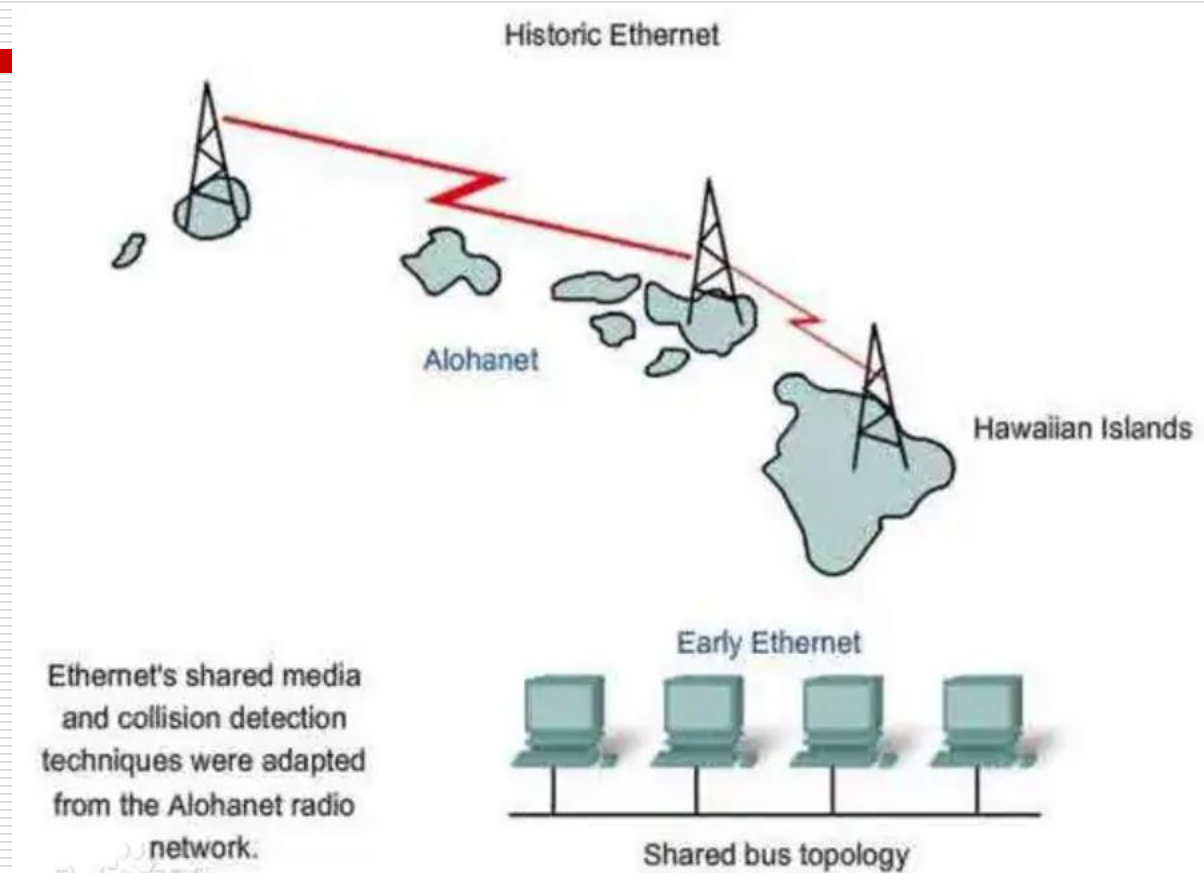
- ✓ 以信道带宽的全部Rbpps发送
- ✓ 没有节点间的预先协调

□ 两个或以上节点同时传输，产生冲突（collision）

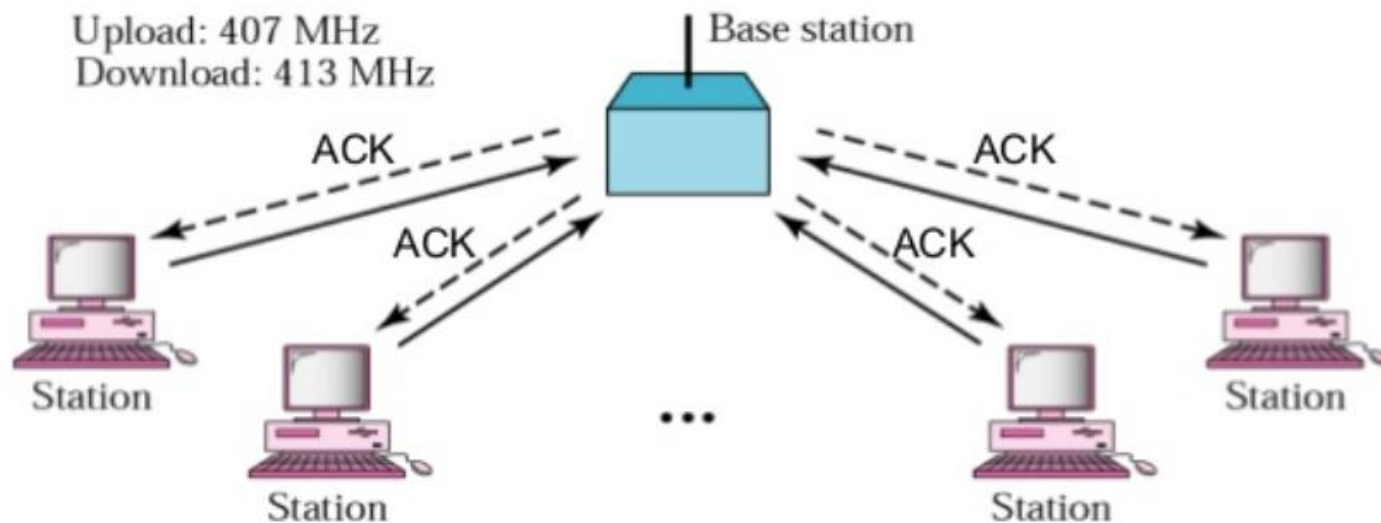
1. 如何解决冲突（冲突判断，冲突后如何恢复数据发送）
2. 如何尽量减少冲突发生的概率

1. ALOHA
 2. CSMA
 3. CSMA/CD
 4. CSMA/CA
-

ALOHAnet: 70年代
，无线网络，连接了
夏威夷群岛的大学，
Norman.Albramson 设
计了ALOHA协议。



- Developed by Norm Abramson at the Univ. of Hawaii
 - the guy had interest in surfing and packet switching
 - mountainous islands → land-based network difficult to install
 - fully decentralized protocol



□ 纯ALOHA

1. 节点有数据，立即发送
2. 如冲突，等待随机时间重发

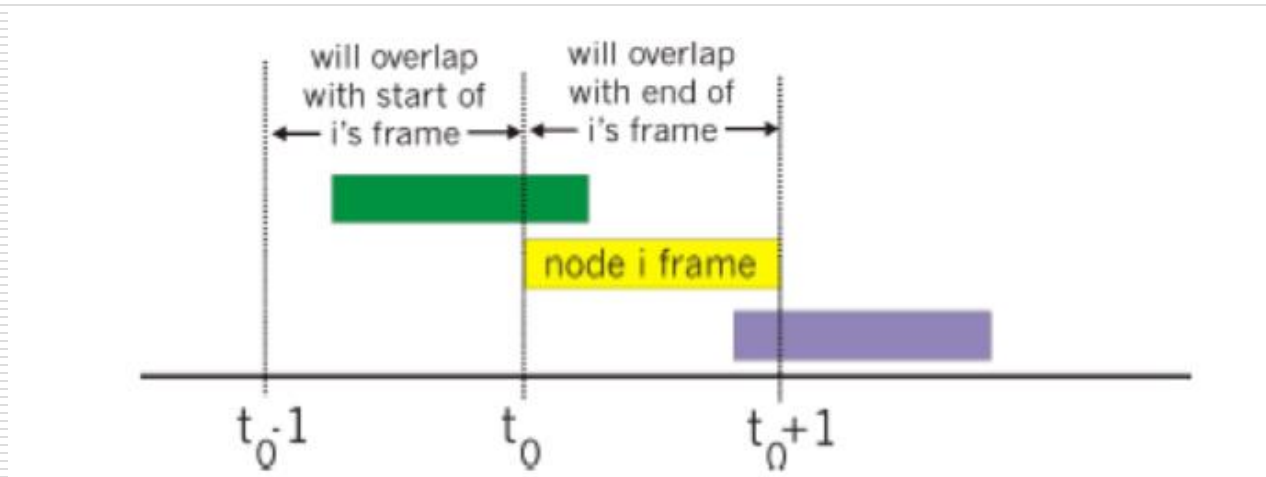
（每个节点等待的随机时间不同，降低第二次冲突的概率）

——如何判断冲突？

性能

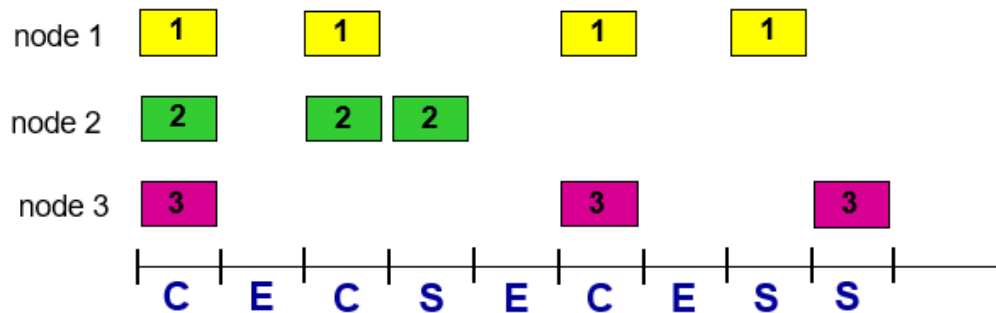
吞吐率（效率）：在单位时间（一个帧时），一个节点成功传输帧的概率

Aloha协议： $S_{\max}=0.18$



□ 时隙ALOHA

- ✓ 划分时隙（一个时隙为一个帧时）
- ✓ 只有在一个时隙的开始才能发送帧



$$S_{\max} = 1/e = 0.37$$

2) CSMA (carrier sense multiple access)

- ❑ ALOHA: 每个节点传输数据不考虑其他节点
- ❑ CSMA: 节点在发送数据前, 先侦听信道
 - ✓ 信道上有数据, 则信道忙: 不发送
 - ✓ Else 发送数据



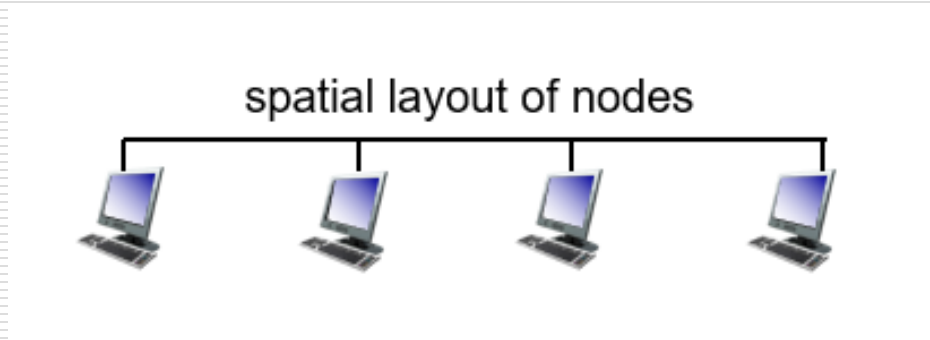
CSMA：信道上会不会产生冲突（碰撞）？

☒ A 会

☐ B 不会

提交

-
- 载波侦听：对局域网的特点所采取的策略，能够降低冲突发生的概率



三种CSMA

□ 侦听到空闲/忙，可以采取不同的操作，CSMA有三种执行方式

1. 0-坚持CSMA

2. 1-坚持CSMA

3. P-坚持CSMA

侦听到空闲，立即发送，侦听到忙，持续侦听信道，一旦空闲，立即发送

- ☐ A 0-坚持CSMA
- ☒ B 1-坚持CSMA
- ☐ C P-坚持CSMA

提交

-
- 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
-

5.2 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
-

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] 。

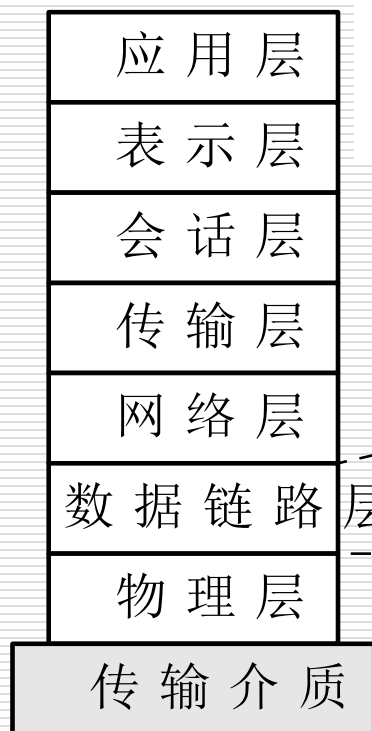
IEEE 802.4 : 令牌总线网 (Token-Bus) 的介质访问控制协议及物理层技术规范。

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。

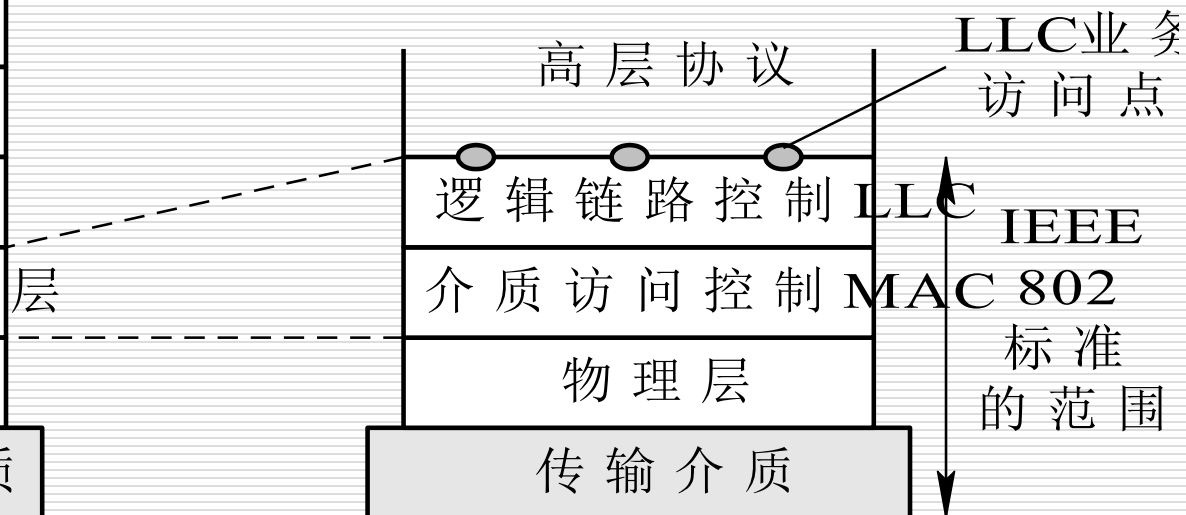
IEEE 802.6 : 城域网介质访问控制协议 DQDB (Distributed Queue Dual Bus 分布式队列双总线) 及物理层技术规范。

IEEE 802.7 : 宽带技术咨询组, 提供有关宽带联网的技术咨询。

OSI参考模



IEEE 802的参考模型



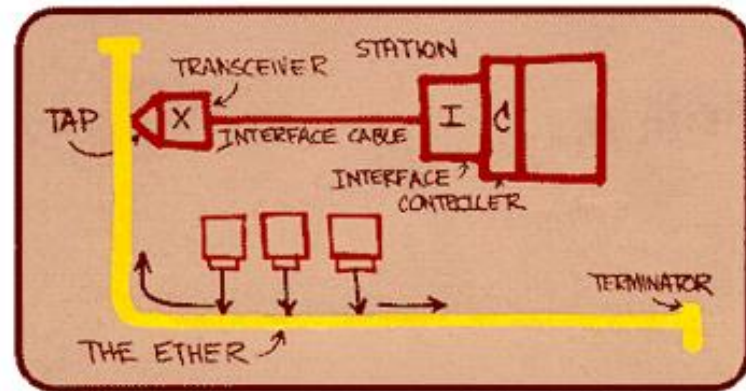
5.3 以太网（Ethernet）

- ✓ 最早广泛使用的LAN技术
- ✓ 目前主流的LAN技术
- ✓ 组网简单，设备便宜
- ✓ 带宽不断的提升

——以太？ 网络拓扑结构？

□ 以太网之父：Bob Metcalfe（Xerox Palo Alto）

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



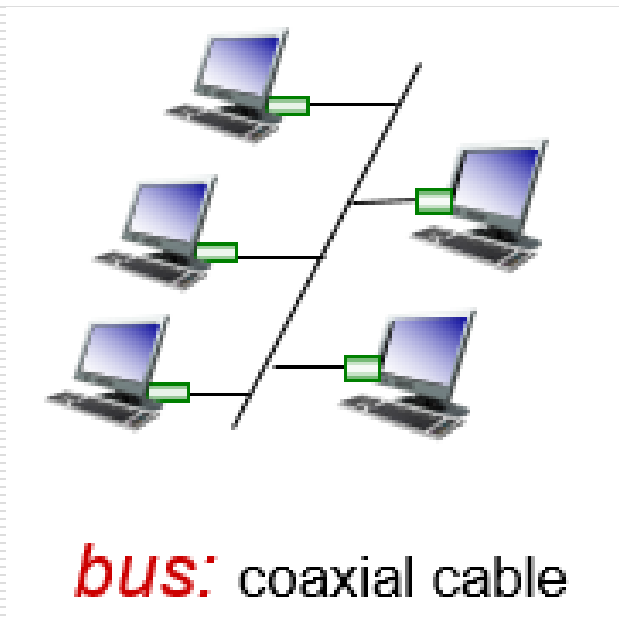
Metcalfe's Ethernet sketch

□ 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

□ 广播链路两个要解决的问题？



1) MAC地址 (LAN地址/物理地址)

- 6个字节, 48位
- 每块网卡 (NIC: network interface card) 具有唯一的MAC地址



如何分配MAC地址

□ IEEE分配前24位



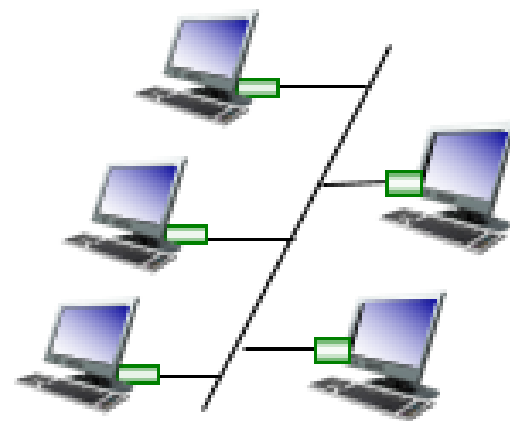
全1，广播地址

□ 网卡工作在正常模式下

- ✓ 接收发给本机的单播帧
- ✓ 广播帧
- ✓ 组播帧

□ 网卡工作在混杂模式下

- 接收所有帧

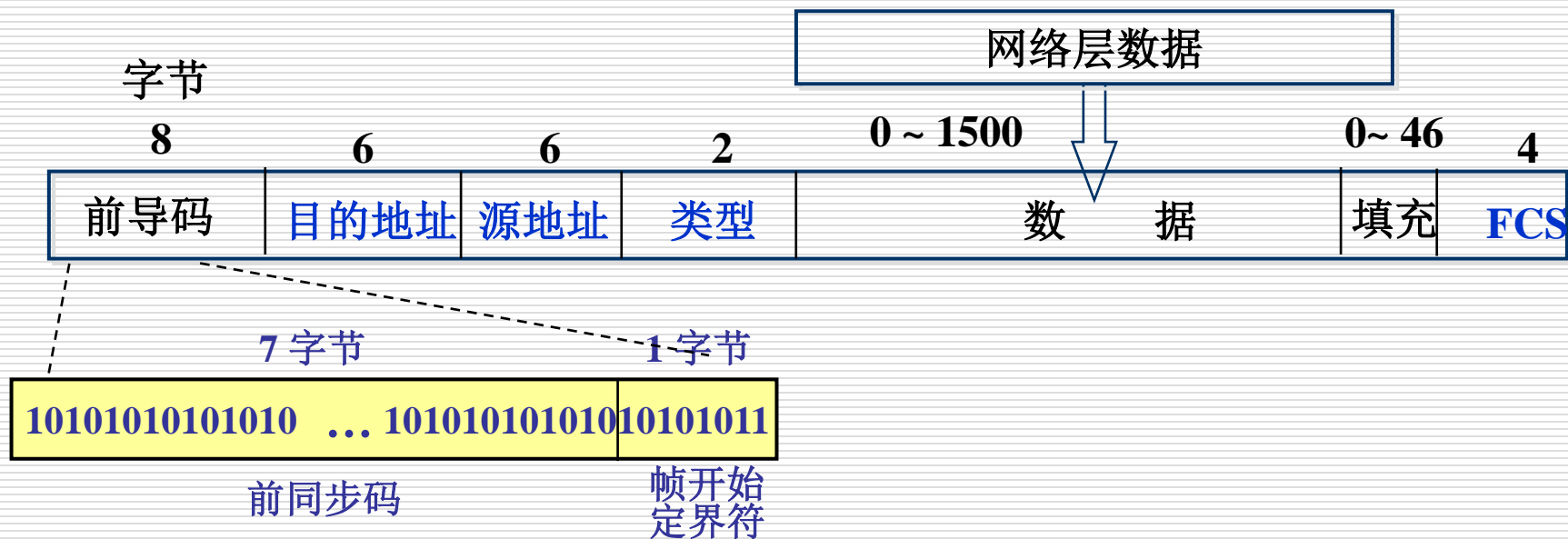


bus: coaxial cable

2) 以太网帧结构

- DIX帧格式
 - IEEE802.3帧格式
-

DIX帧结构



类型：标识数据部分封装的是上一层哪一个协议的数据

FCS：帧校验序列

以太网的链路层提供的是

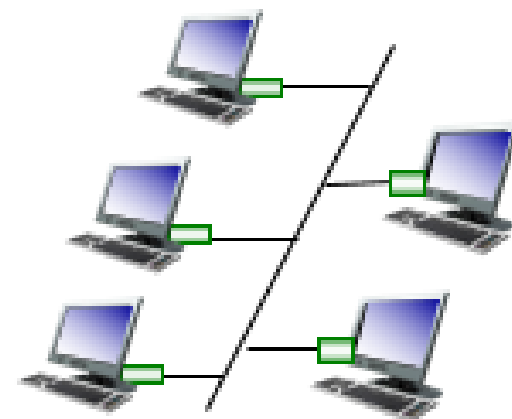
- ☐ A 可靠传输服务
- ☒ B 不可靠传输服务

提交

3) 以太网MAC层：多路访问协议

□ 1-坚持CSMA

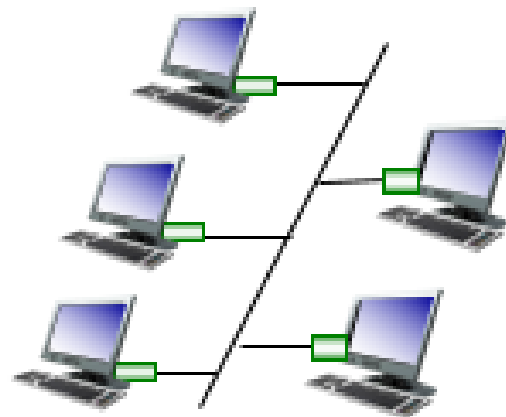
产生冲突：节点还在继续传输帧，造成信道的浪费



bus: coaxial cable

□ CD（冲突检测）

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



bus: coaxial cable

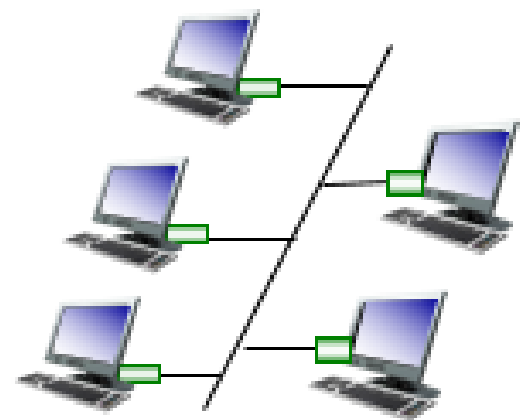
- 1) 说话之前，先听
- 2) 说话的同时，继续听，如果与他人同时说话，停止说话

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
-

□ 侦听的持续时间

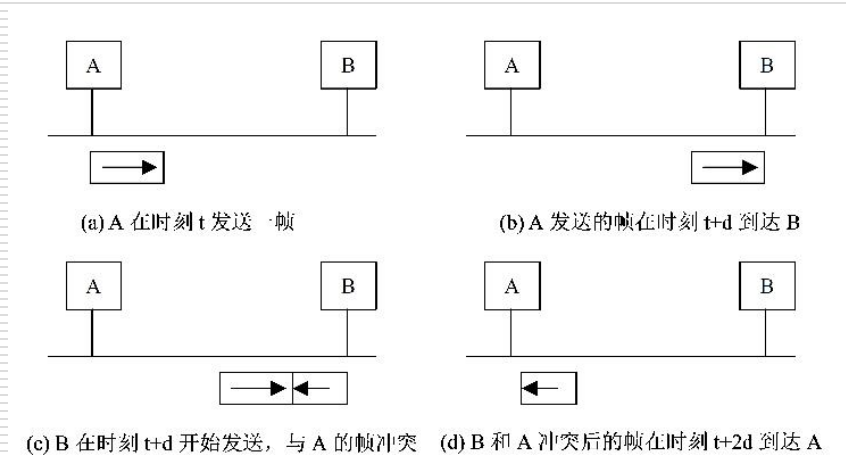
- 太长：没必要
- 太短：检测不到冲突



bus: coaxial cable

一个站点在发送帧后，持续侦听多长时间就能确定此次传输会不会出现冲突？（端到端的传播时延为 d ）

- A d
- B $2d$**
- C $3d$
- D $1/2 d$



问题1

□ 一个站点在发送帧后，持续侦听多长时间才能确定此次传输会不会出现冲突？

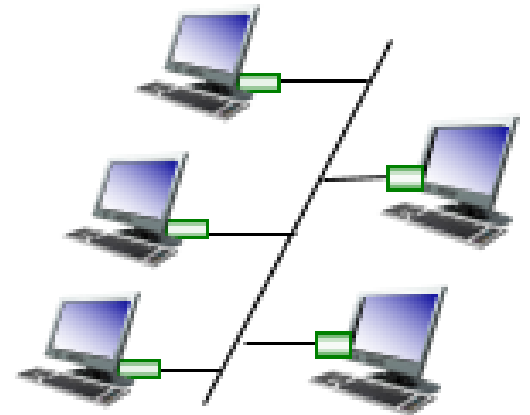
- 站点发送帧后，继续侦听信道，经过 $2d$ （两倍的端到端传播时延），就可知道此次传输是否会产生冲突

最短帧长

- 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

帧太短？

帧太长？



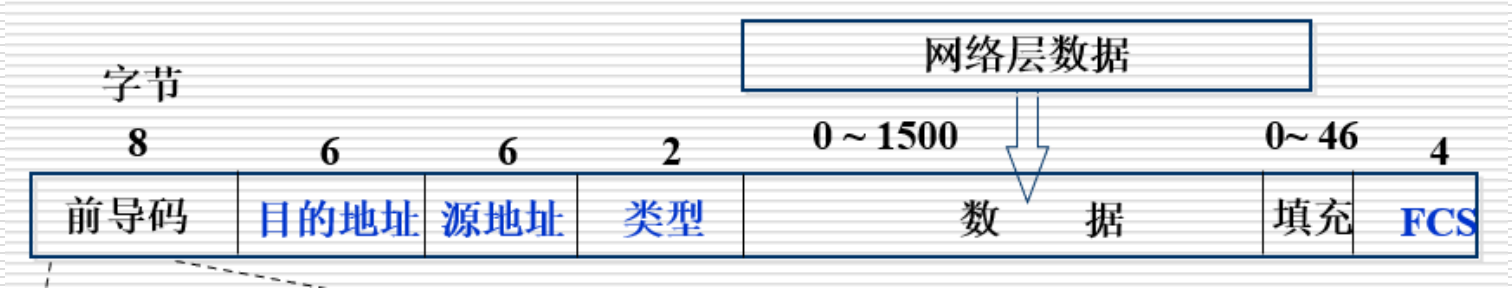
bus: coaxial cable

最短帧长

- 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

$$\text{帧长} \geq 2d.C$$

- 10base-5以太网的最短帧长：64字节（512bit）
-



问题2

□ 随机时间算法：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： $r \times 2^d$

CSMA/CD性能分析

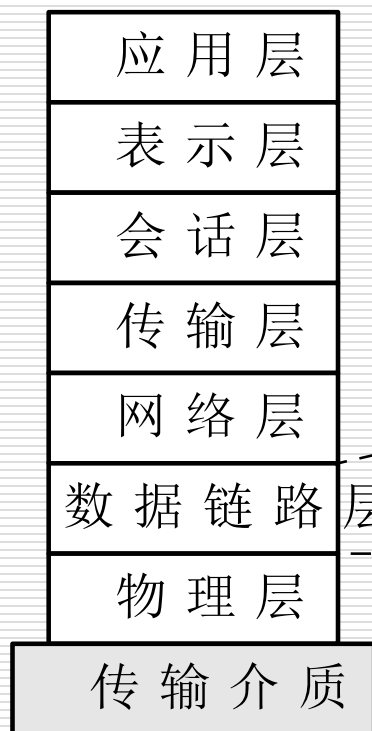
□ 吞吐率

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

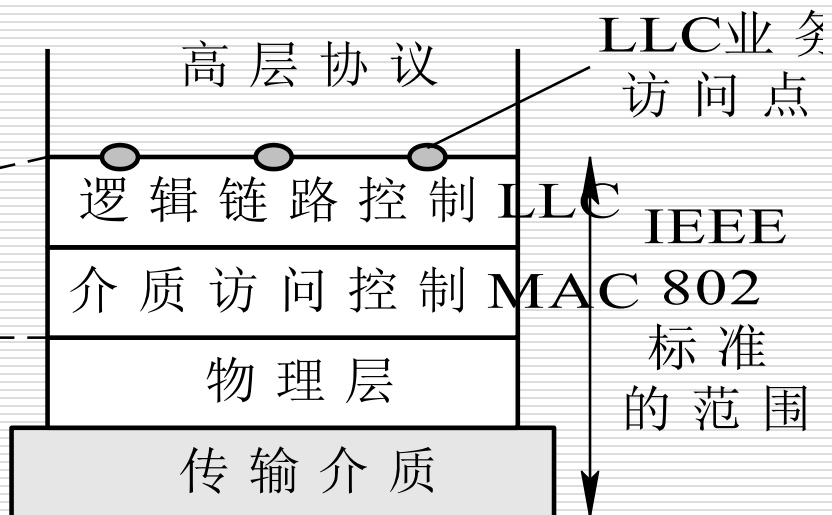
t_{prop} = LAN上最远2个节点的传播时间

t_{trans} = 最大帧的传输时间

OSI参考模型

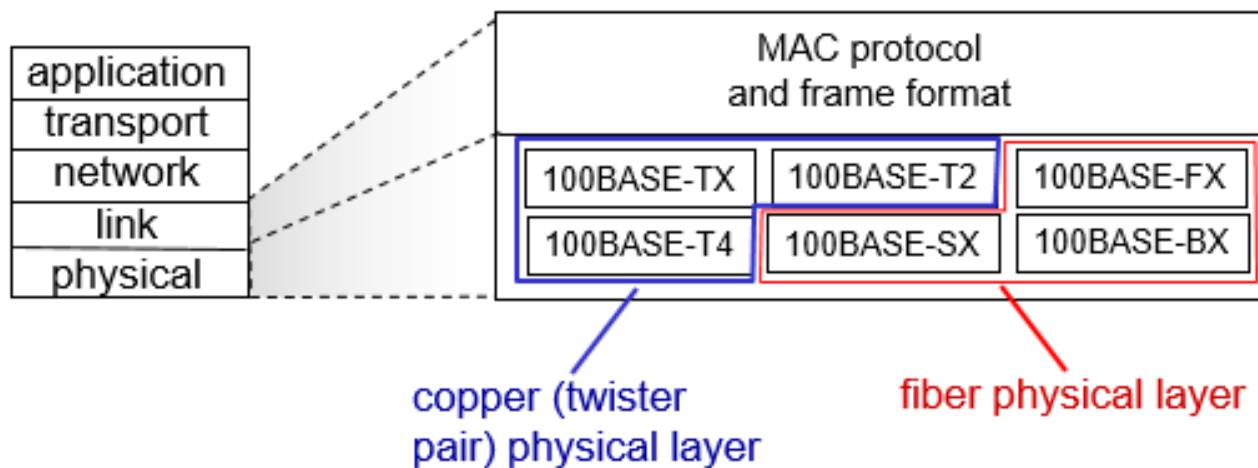


IEEE 802的参考模型



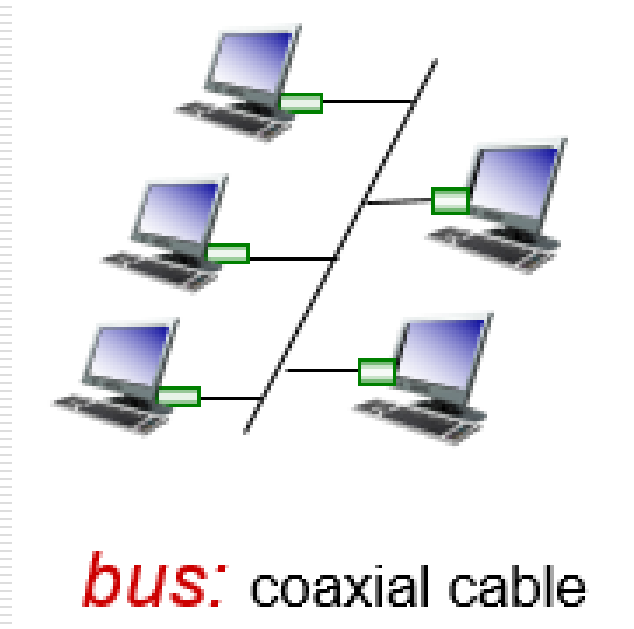
5.4 以太网的发展及标准

□ 链路层和物理层标准



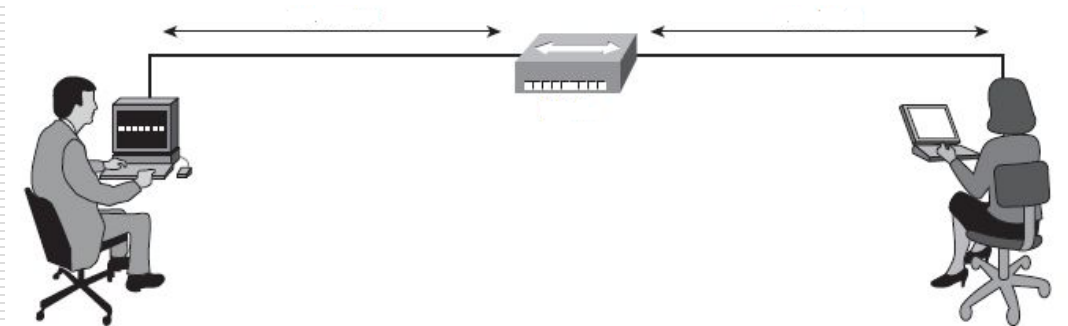
总线型拓扑（70年代中期~90年代中期）

□ 10base-5/10base-2



■ 扩大覆盖范围：转发器/中继器

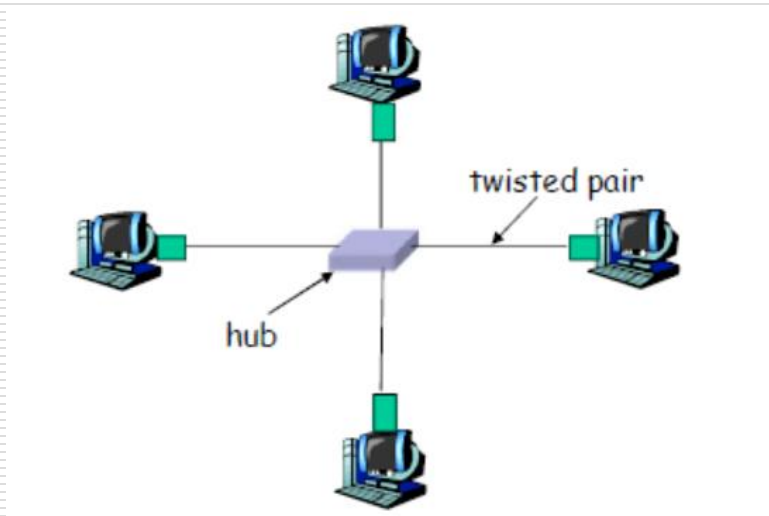
- ✓ 同一个冲突域：CSMA/CD
- ✓ 两个节点之间最多4个转发器



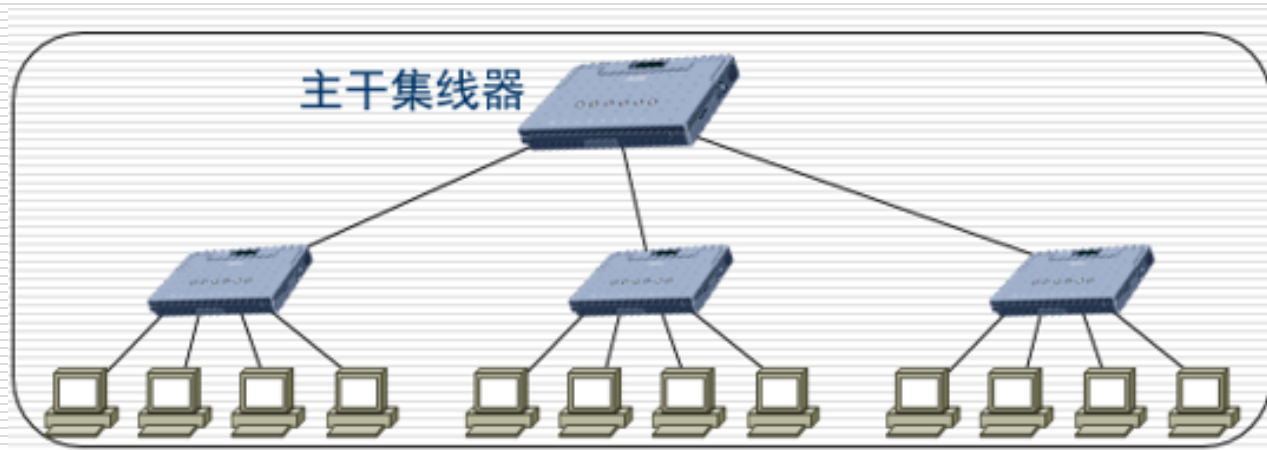
星型拓扑：90年代

■ 10base-T

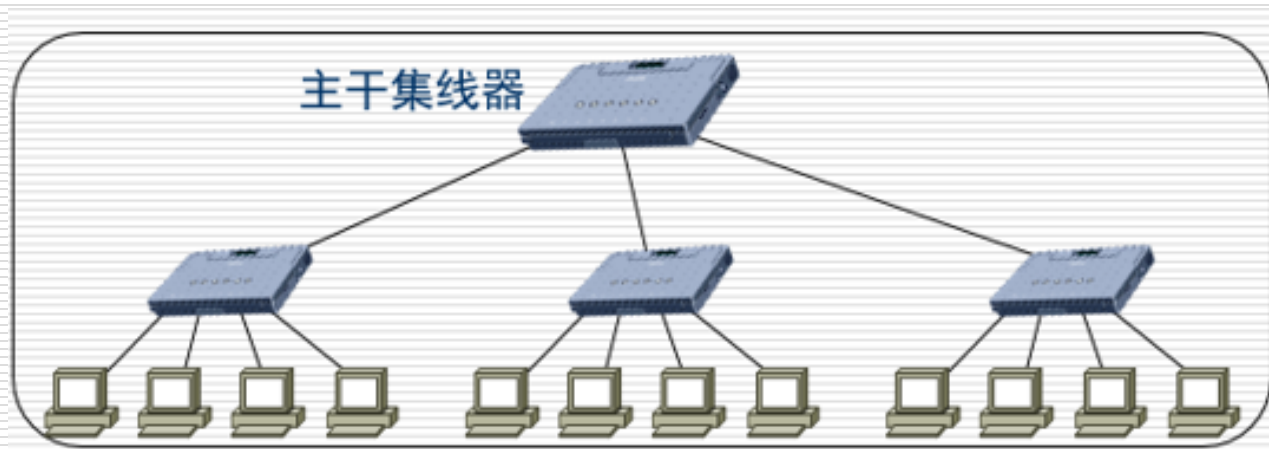
✓ 集线器（Hub）：逻辑上总线型



✓ 集线器 Hub: 多端口的转发器, 工作在物理层



□ 集线器扩展以太网的覆盖范围



如题，是否会冲突？

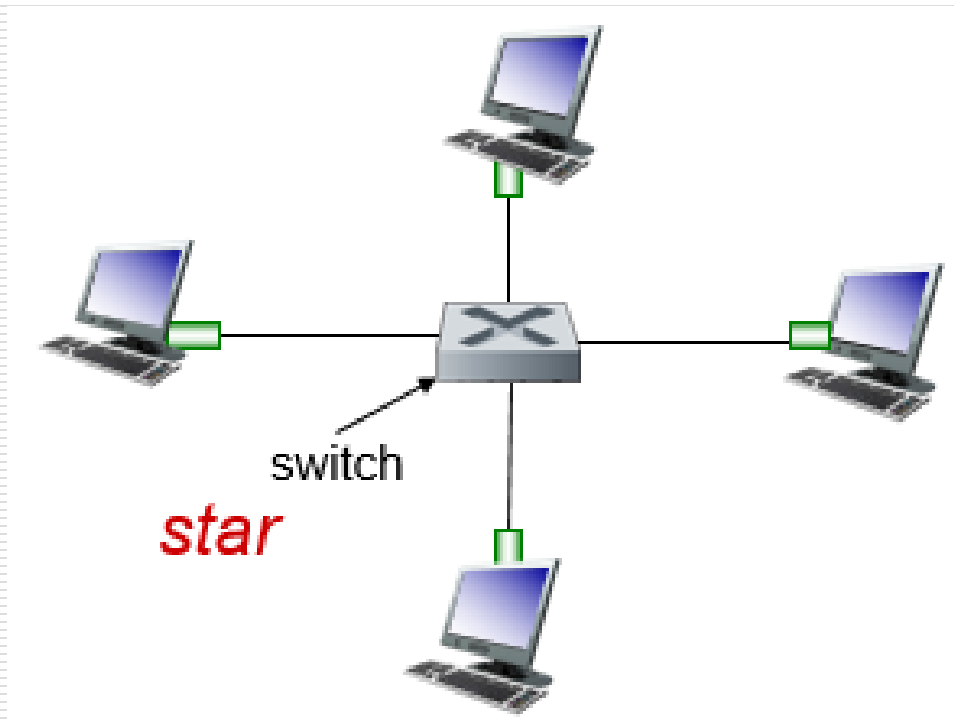
☒ A 是

☐ B 否

提交

星型拓扑， 21世纪初

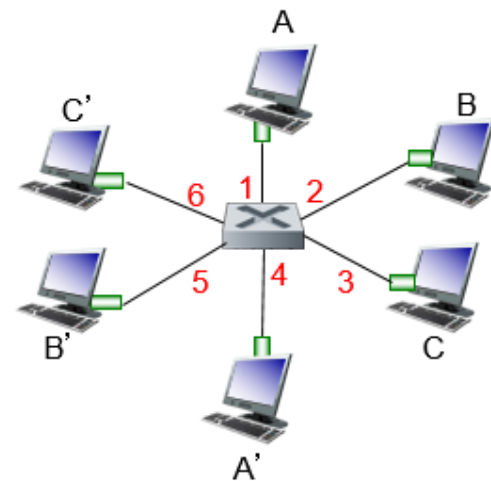
□ 网桥/以太网交换机



以太网交换机

□ 转发表

MAC addr	interface	TTL
A	1	60

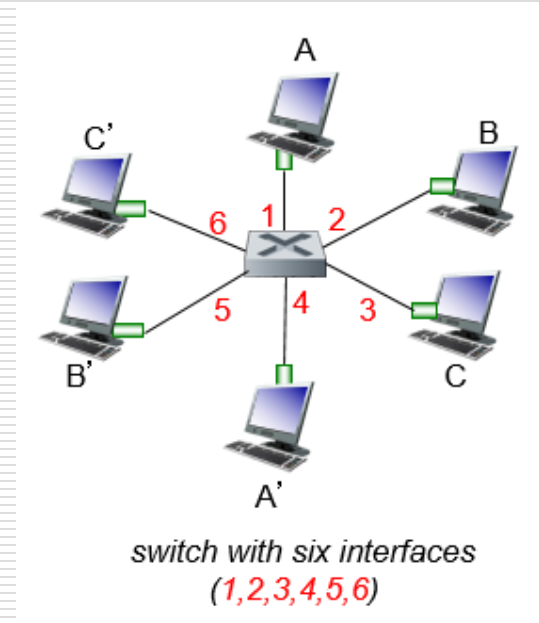


switch with six interfaces
(1,2,3,4,5,6)

❑ 交换机

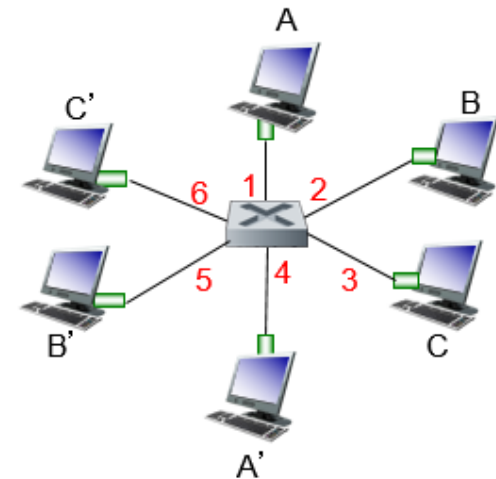
- 端口：接收数据，提取数据帧
- 存储，转发

MAC addr	interface	TTL
<i>A</i>	<i>1</i>	<i>60</i>

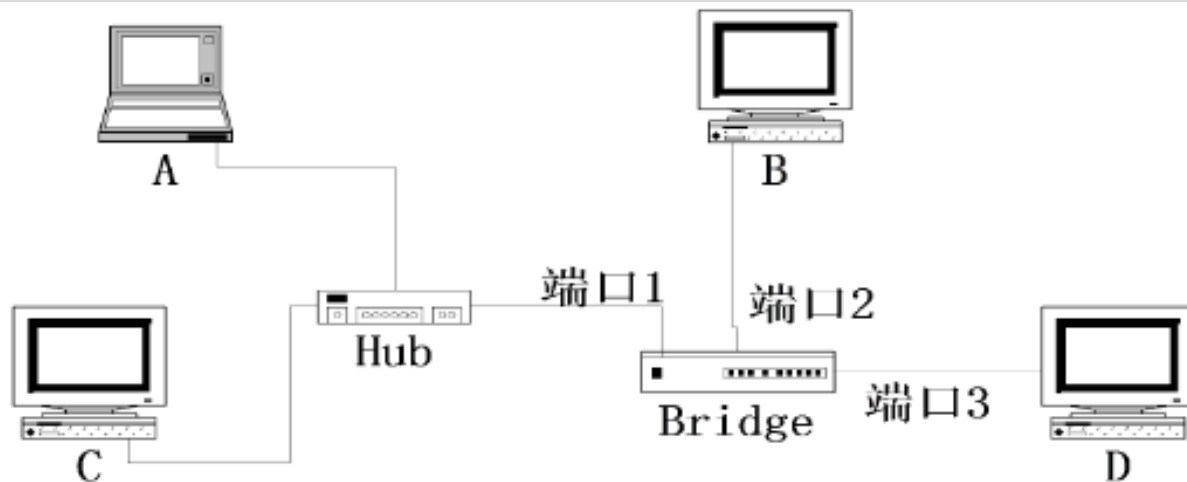


- ❑ 交换机：工作在链路层设备
- ❑ 即插即用，自学习建立转发表

MAC addr	interface	TTL
A	1	60

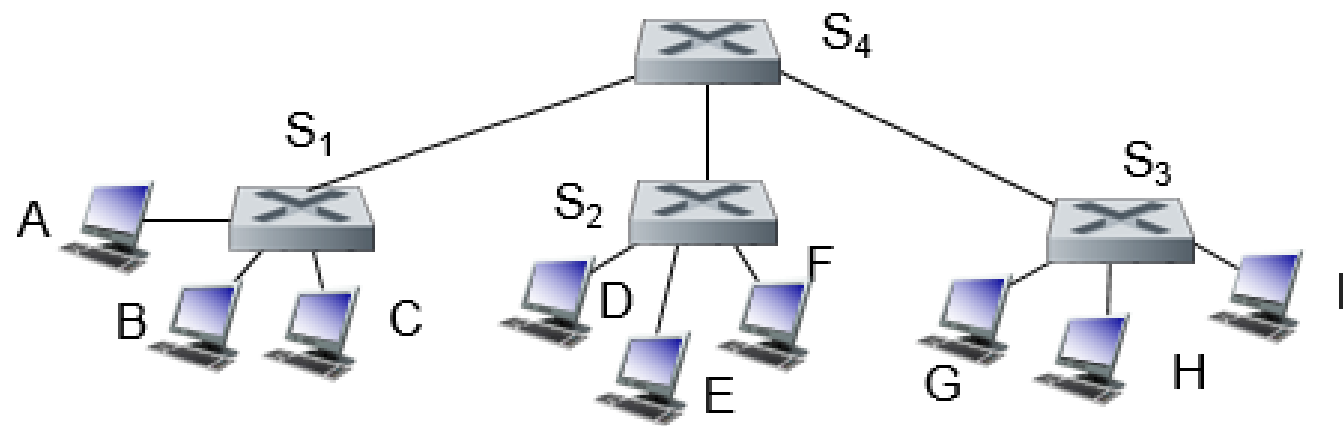


switch with six interfaces
(1,2,3,4,5,6)

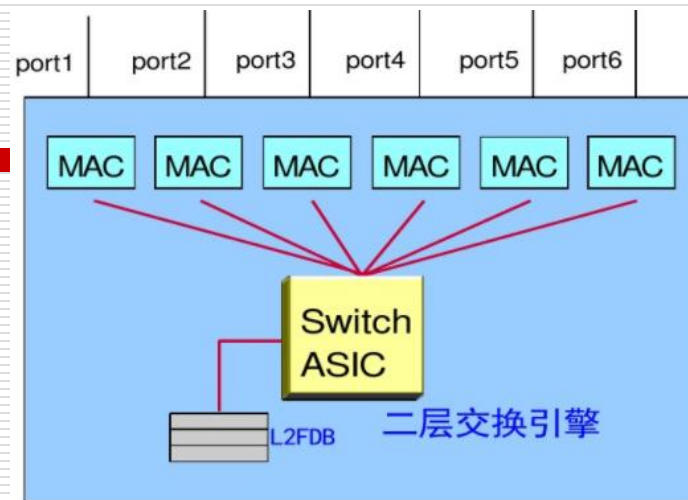


MAC	端口号	TTL

1. 学习
2. 扩散
3. 转发
4. 过滤
5. 老化

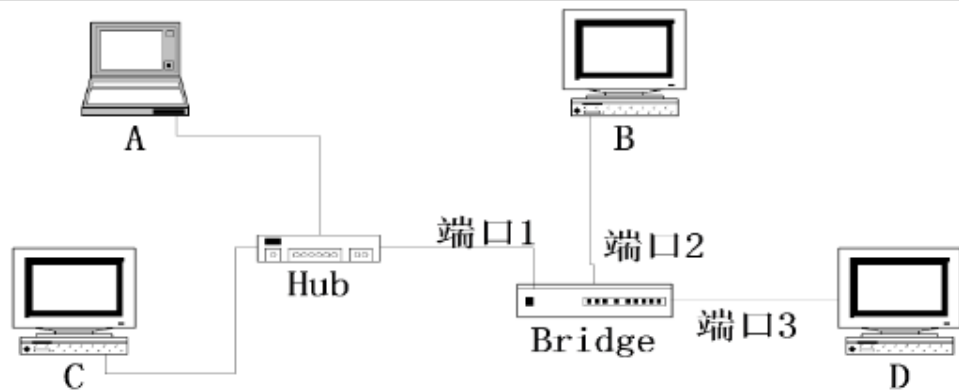


交换机内部结构



- ❑ 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）

交换机的特点



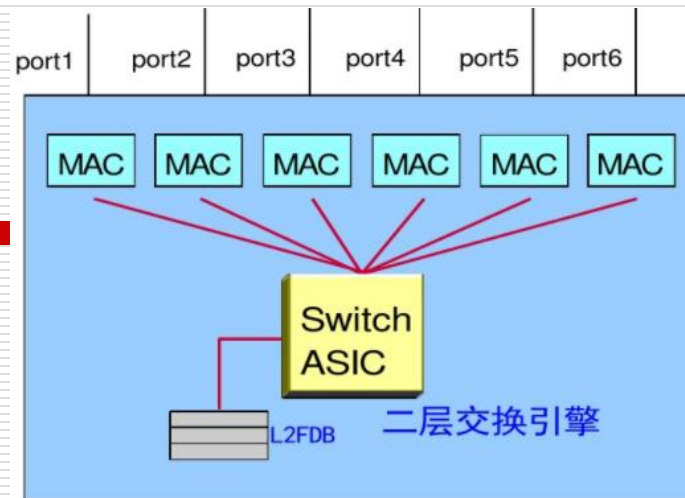
1. 隔离了冲突域

2. 广播帧：向其他所有端口转发（除进入端口外）

交换机的特点

3. 并行交换

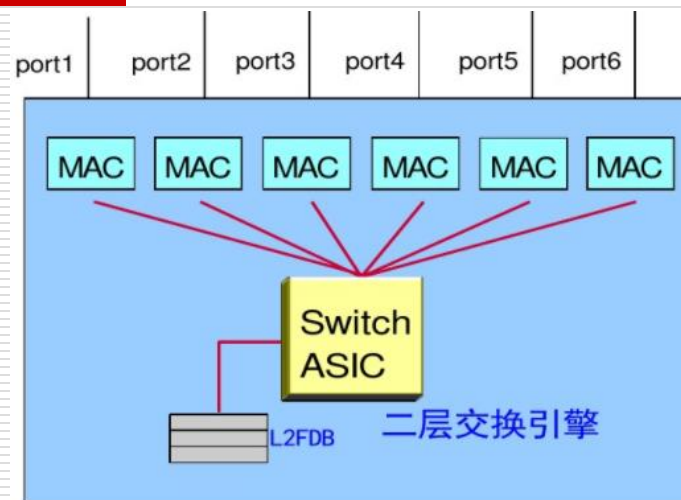
4. 全双工通信



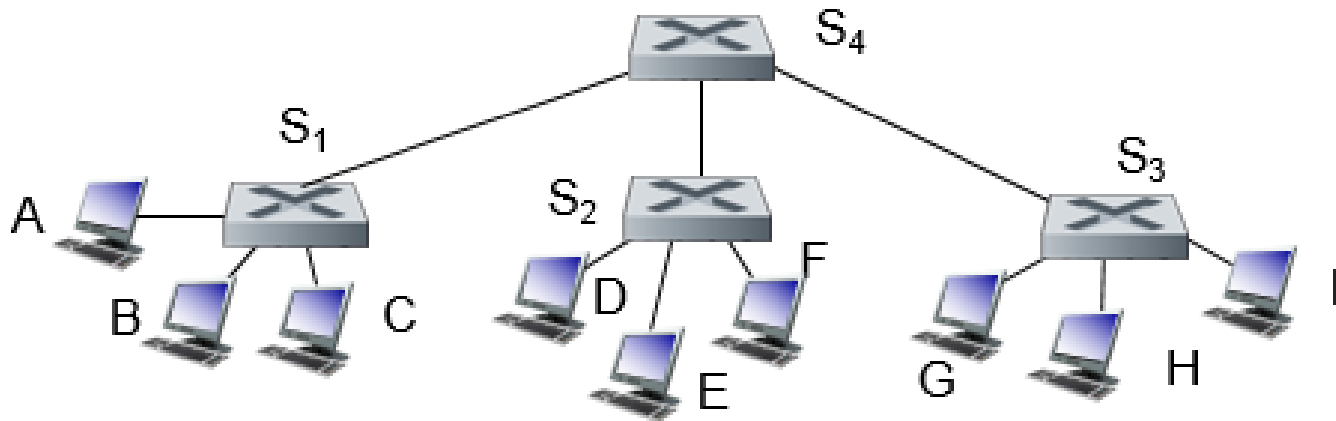
交换机的特点

5. 转发方式:

存储转发/直通/无残帧



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



工作在物理层的网络互连设备

- ☐ A 网桥
- ☒ B 集线器
- ☐ C 交换机
- ☒ D 转发器

提交

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: 用一些特殊符号填充在帧的后面

 - ✓ 帧突发: 第一个短帧要采用载波延伸方法进行填充, 随后的一些短帧则可一个接一个地发送

——唯一不变的：以太网帧格式

□ 10GBASE-T/R/S：万兆以太网（2002）

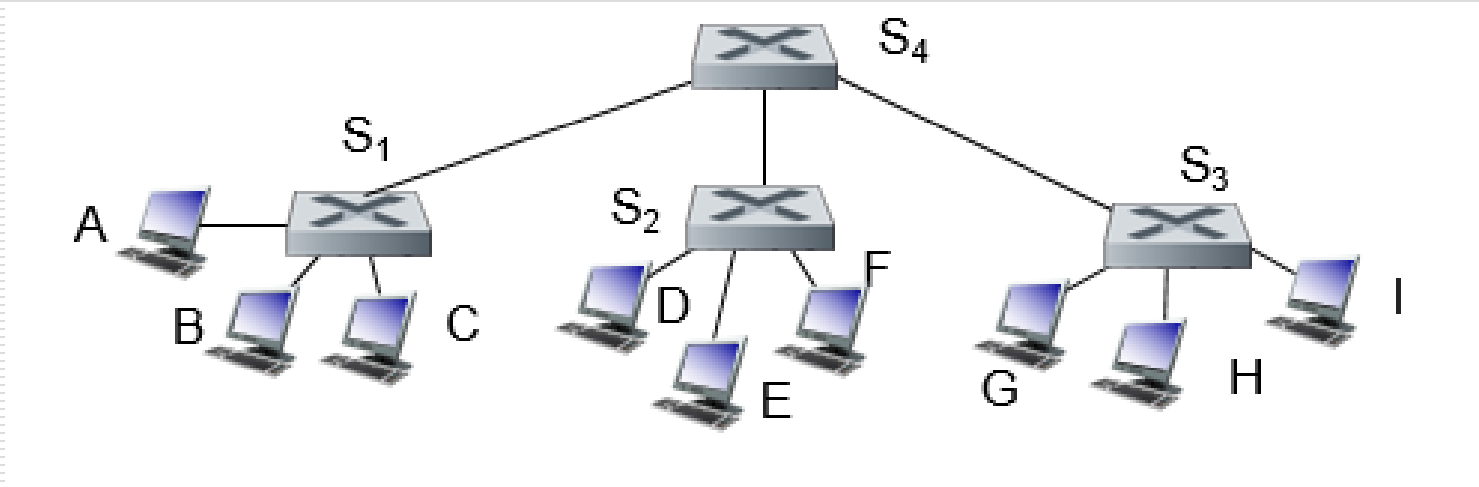
- 只工作在全双工方式，不使用CSMA/CD协议
- 保留以太网帧格式、最短帧长及最大帧长

□ 40G/100G（2010/2015）

- 支持多种传输介质，光纤可以覆盖更远的距离
-

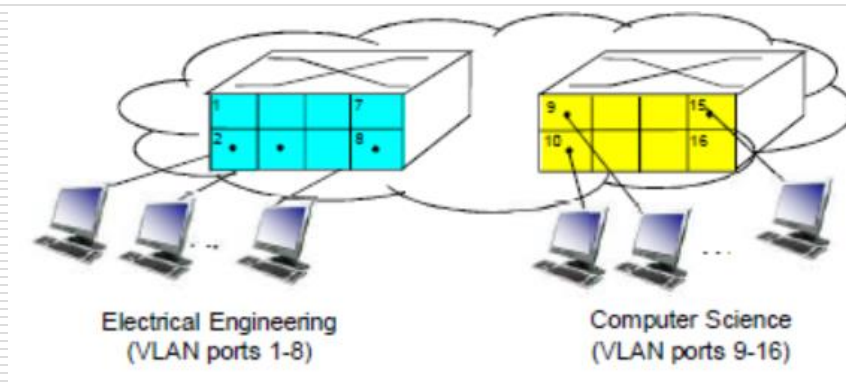
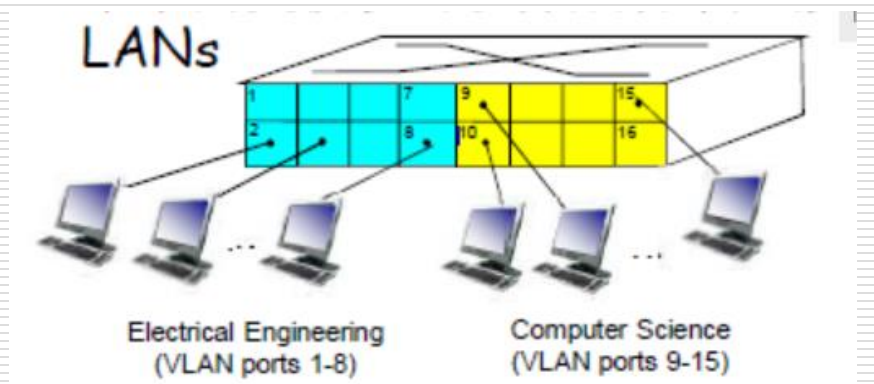
5.5 VLAN（虚拟局域网）

□ 通过交换机互连的局域网



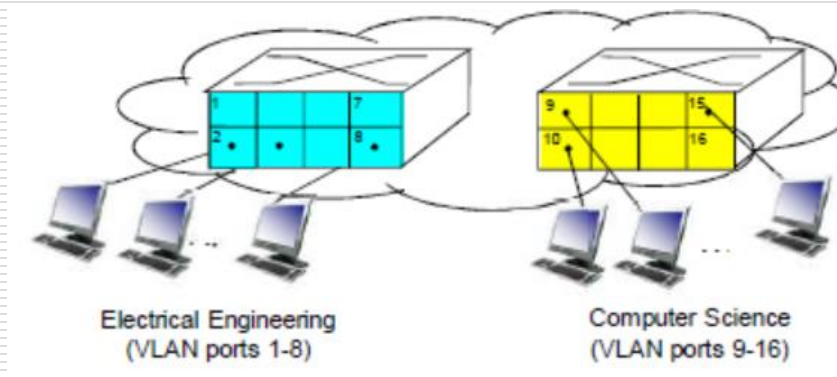
如何隔离广播帧？

□ 隔离广播帧？





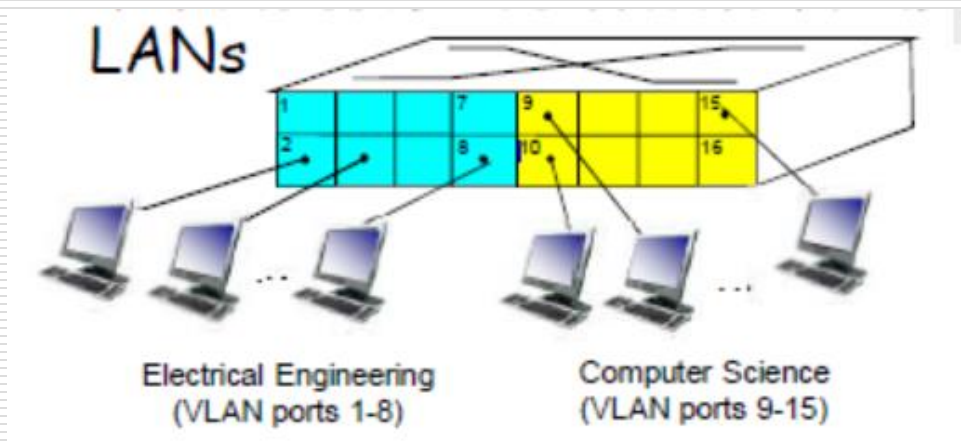
- 支持VLAN功能的交换机：一个物理LAN基础设施，**虚拟**成多个LANs



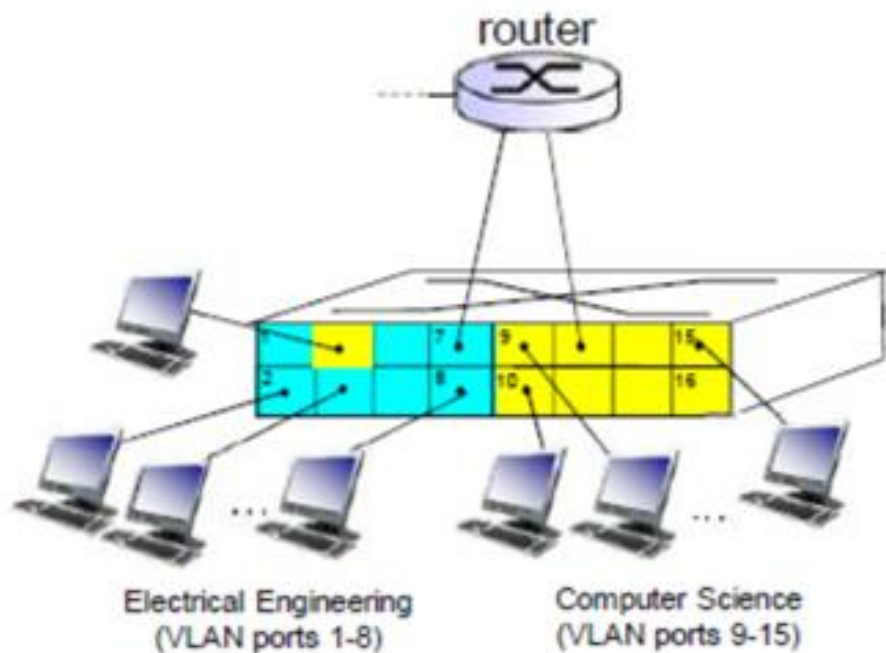
□ 配置VLAN：基于端口的VLAN

Port 1-8 V1

Port 9-16 V2



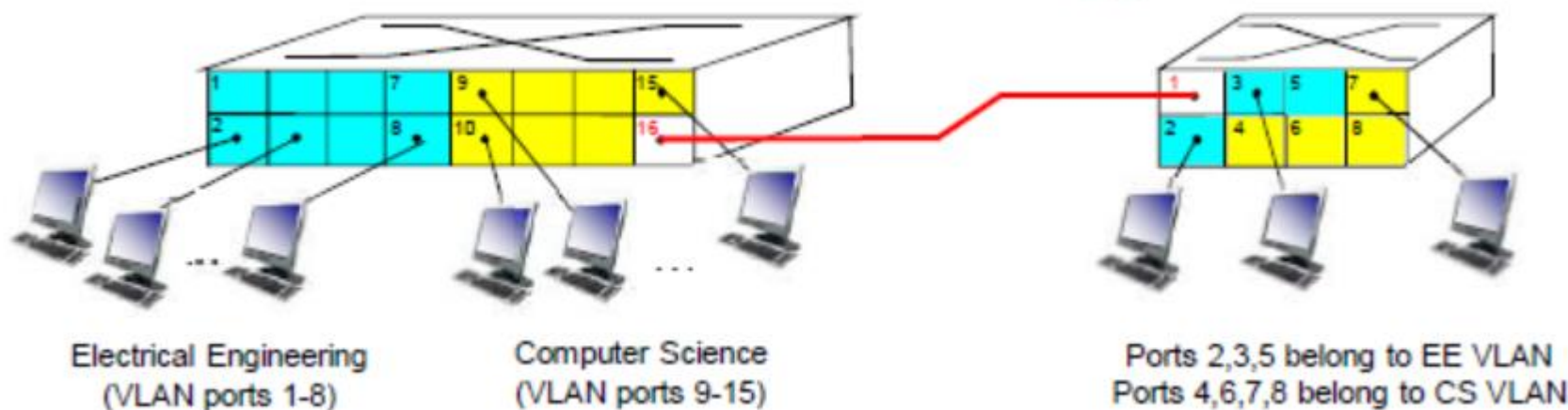
- 流量隔离
 - 成员的动态调整
-

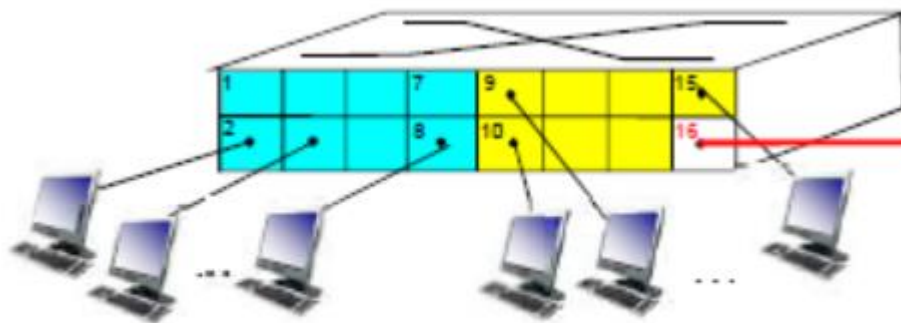


在VLANs间转发:通过路由器进行转发(就像他们通过各自的交换机相联一样)

实际操作中，设备生产商可以提供：
交换机和路由器的单一设备

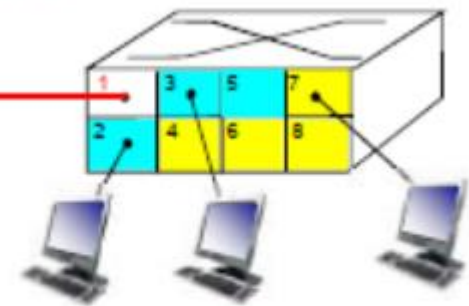
□ 多个交换机之间配置VLAN





Electrical Engineering
(VLAN ports 1-8)

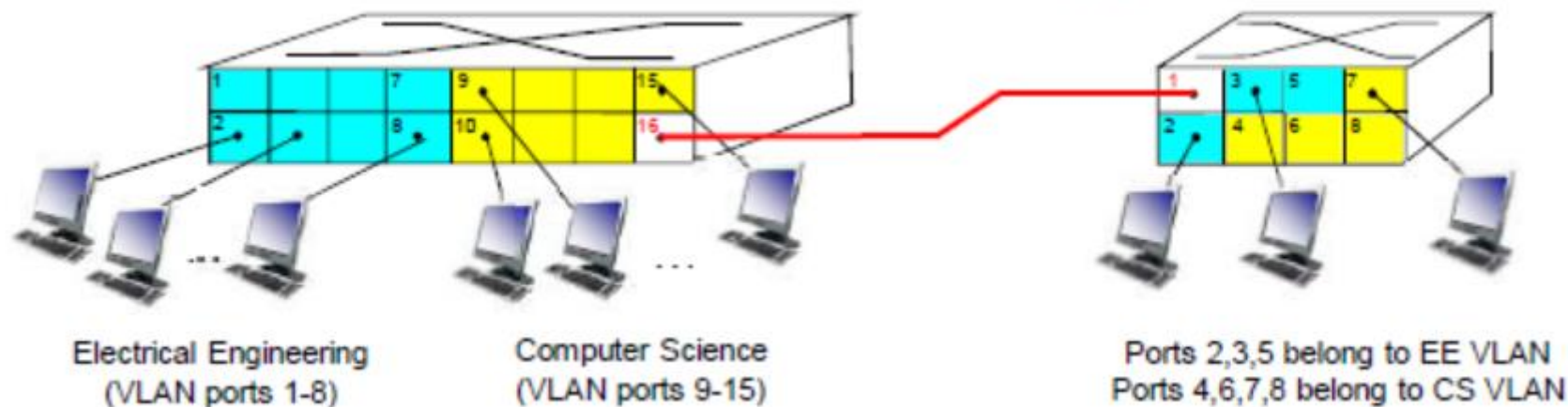
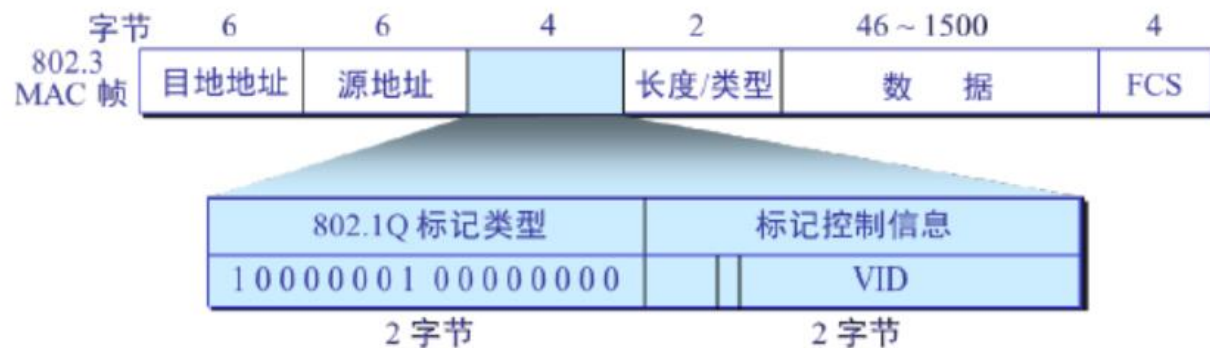
Computer Science
(VLAN ports 9-15)

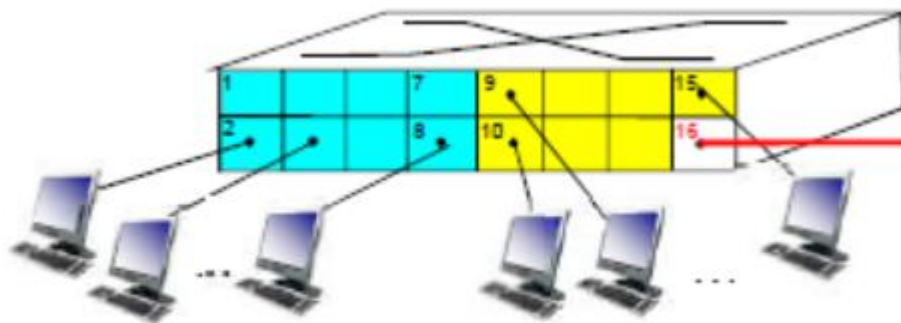


Ports 2,3,5 belong to EE VLAN
Ports 4,6,7,8 belong to CS VLAN

S1: port 1-8 V1
port 9-15 V2

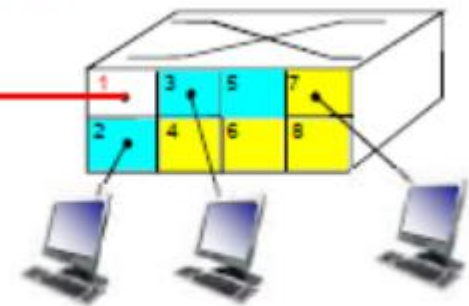
S1: port 2 3 5 V1
port 4 6 7 8 V2





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

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

- ✓ 以太网的雏形、拓扑结构、发展
 - ✓ 以太网的**MAC**层（帧结构，**CSMA/CD**）
 - ✓ 以太网互连设备
 - ✓ 交换机的工作原理
-

□ 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？

4)

