



第4章 MAC：高速局域网及 链路层交换机

刘志敏

liuzm@pku.edu.cn

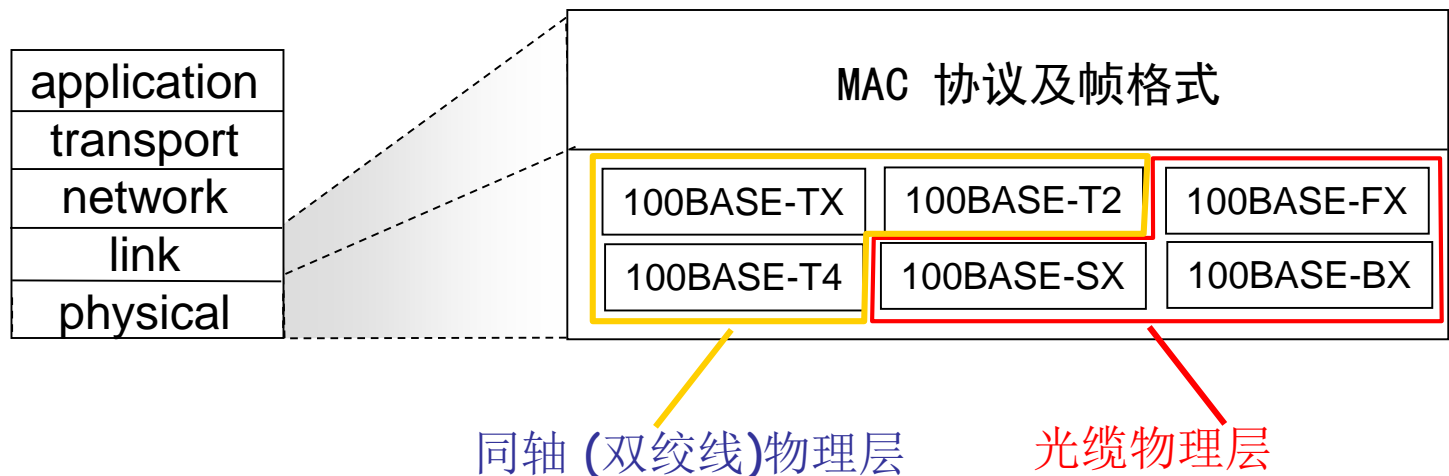


MAC协议与LAN技术

- 高速局域网
- 交换式以太网
- 链路层交换机

IEEE802.3以太网：链路层与物理层

- 多种不同的以太网标准
 - 相同的 MAC 和 帧格式
 - 不同的速率：2 Mbps, 10 Mbps, 100 Mbps, 1Gbps, 10G bps
 - 不同的物理层介质：光纤，电缆





高速以太网——线缆

名称	线缆	最大长度	优点
100Base-T4	双绞线	100m	可用3类UTP
100Base-TX	双绞线	100m	全双工速率100Mbps(5类UTP)
100Base-FX	光缆	2000m	全双工速率100Mbps, 长距离

名称	线缆	最大长度	优点
1000Base-SX	光缆	550m	多模光纤(50,62.5 μ m)
1000Base-LX	光缆	5000m	单模(10 μ m)或多模光纤(50,62.5 μ m)
1000Base-CX	2对STP	25m	屏蔽双绞线
1000Base-T	4对UTP	100m	标准5类UTP

名称	线缆	最大长度	优点
10GBase-SR	光缆	300m	多模光纤(0.85 μ m)
10GBase-LR	光缆	10Km	单模(1.3 μ m)
10GBase-ER	光缆	40Km	单模(1.5 μ m)
10GBase-CX4	4对双轴	15m	双轴铜缆
10GBase-T	4对UTP	100m	6a类UTP



以太网技术

- MAC技术：CSMA/CD，信道利用率的极值

$$S_{\max} \quad S_{\max} \approx \frac{1}{1 + 4.44a} \quad N \rightarrow \infty \quad (4-7)$$

- 以太网速率提高，对信道利用率有何影响？

$$a = \frac{\tau}{T_0} = \frac{\tau}{L/R} = \frac{\tau R}{L}$$

100BASE-T 以太网

- MAC帧格式仍采用802.3 标准。

$$S_{\max} \approx \frac{1}{1 + 4.44a} \quad N \rightarrow \infty \quad a = \frac{\tau}{T_0} = \frac{\tau}{L/R} = \frac{\tau R}{L}$$

- R增大10倍， τ 减小到1/10。
- 保持最短帧长不变，但将一个网段的最大电缆长度减小到100m。
- 帧间时间间隔从原来的9.6 μ s改为0.96 μ s。
 - 帧间时间间隔：网络设备在接收一个帧之后，需要一段时间恢复并为接收下一帧做准备。固定的为96b的时间

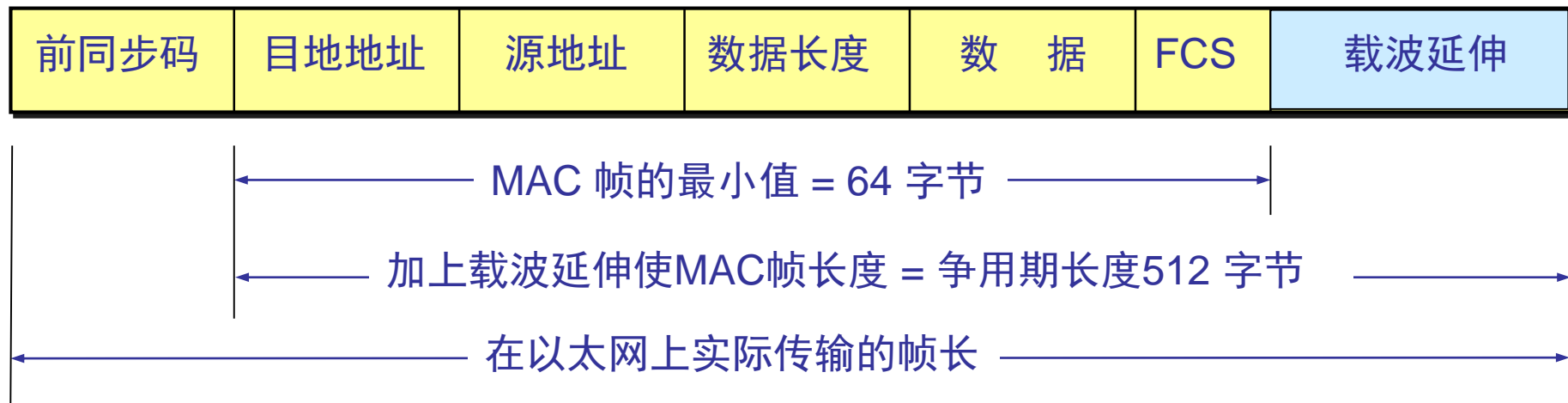


千兆以太网

- 允许在1Gb/s下采用全双工和半双工（与集线器连接）两种方式工作，使用802.3的帧格式
- 全双工方式：发送接收同时进行，无碰撞，不需要CSMA/CD
- 在半双工方式下使用CSMA/CD协议，与10BASE-T和100BASE-T技术后向兼容
- 为使参数 α 较小并保持网段最大长度为200m，采用“载波延伸”（carrier extension）使最短帧长仍为64字节，将争用时间增大为512字节（4.096 μ s, 409.6m）

在短MAC帧后加上载波延伸

- 若发送的MAC帧长不足512字节时（例如46字节数据）就在帧后填充一些特殊字符，使帧的发送长度增大到512字节（，此时链路利用率约为9%）
- 接收端在收到MAC帧后，删除填充的特殊字节后才交付给高层

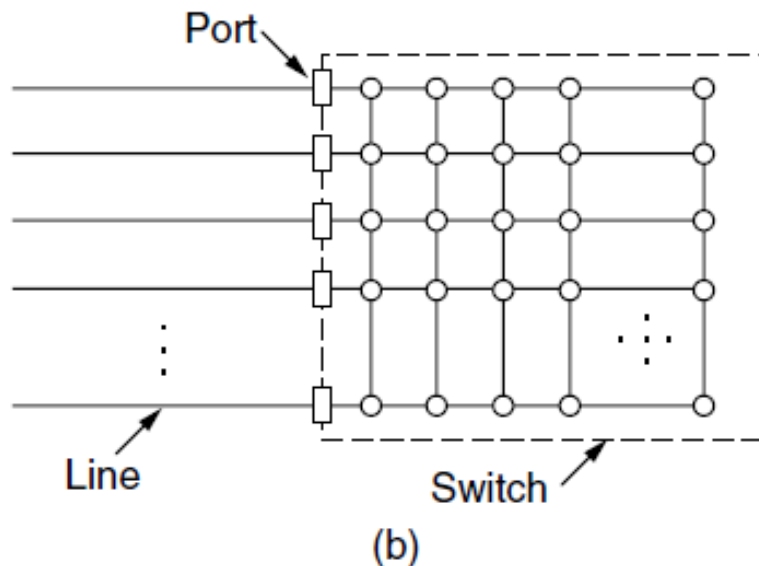
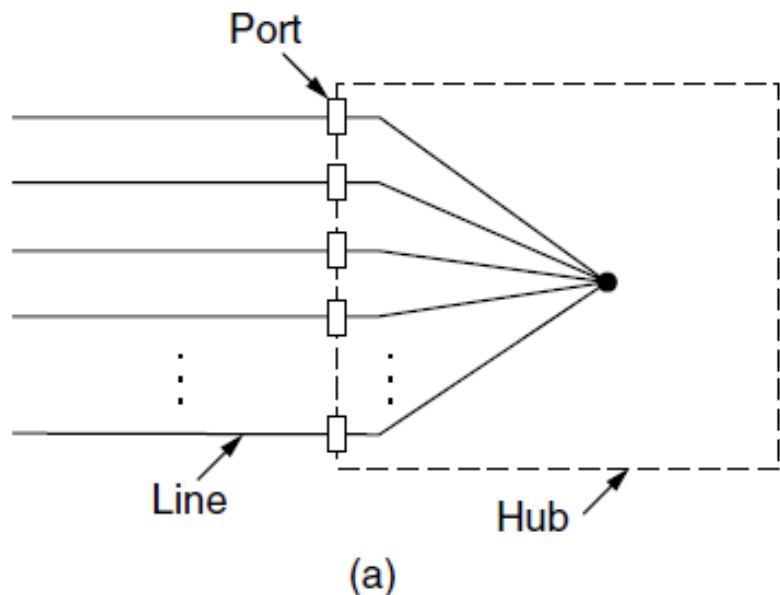


帧突发

- 允许发送方将多个帧级联在一起，一次传输
- 帧长最长为1500字节
- 若不足512字节，则采用载波延伸；



交换式以太网 (1)



(a) 集线器(Hub)

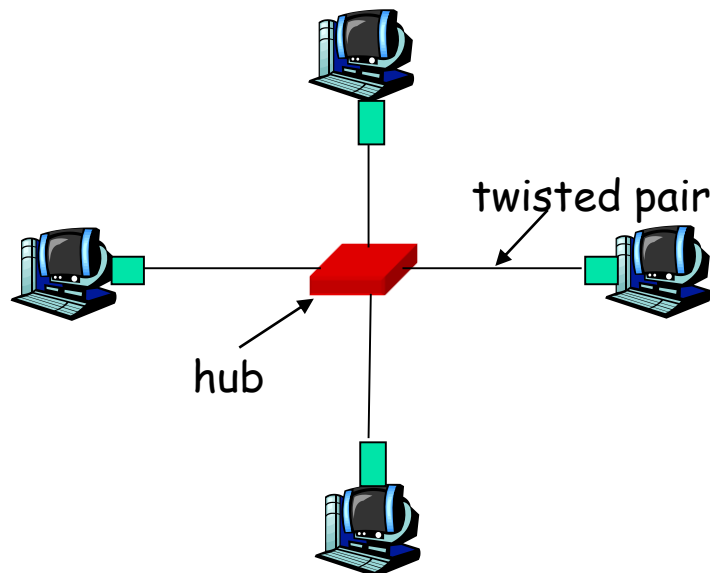
(b) 交换机(Switch)

- 以太网的速率可以10Mbps, 100Mbps, 1Gbps, 然而集线器的总线竞争方式, 限制了容量
- 采用交换机, 提升容量

集线器Hubs

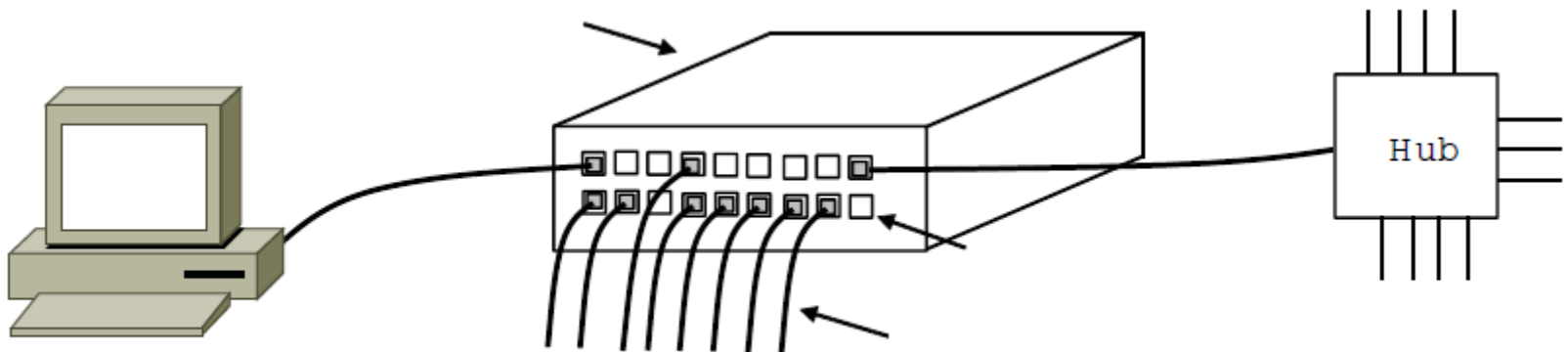
物理层的转发器（repeaters）

- 来自一个端口的数据以相同速率在所有端口上发送
- 连接到集线器的所有节点可以相互侦听到
- 没有帧的缓存
- 集线器不做CSMA/CD：主机NIC检测碰撞



交换式以太网

- 需要决定一个帧去往哪个端口
- 在不同端口上传输的帧不发生碰撞
- 更安全：因为以太网卡支持混杂模式，例如协议分析软件Wireshark可以捕获全部的帧；
 - 在某一端口上连接用于协议分析的设备；若互联设备为集线器，则可以捕获集线器所有端口上的数据；若互联设备为交换机，则只能捕获在本端口上的发送的数据





交换机Switch

- 链路层设备：比集线器更智能，其主要作用
 - 存储转发以太帧
 - 检测输入帧的MAC地址，有选择地向一个或多个端口转发帧，在转发接口对应的网段上实施CSMA/CD
- 透明：主机不感知交换机是否存在
- 分类：
 - 学习网桥：即插即用，自学习；无需配置即可工作
 - 生成树网桥：
 - 虚拟局域网：VLAN



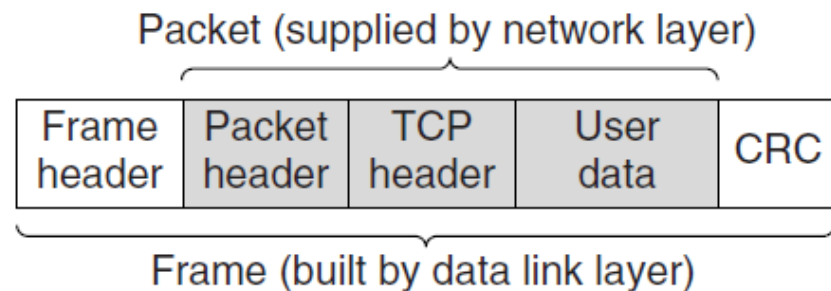
链路层交换

- 网桥或以太网交换机：将多个局域网连接在一起，工作在链路层，检测MAC地址并转发帧
- 网桥的作用：
 - 构建LAN：连接计算机、服务器等设备
 - 互联多个LAN
 - 将一个逻辑的LAN分为多个LAN，以均衡网络负载
- 路由器：
 - 互联不同网络，检查网络层地址并转发分组

网络互联设备

Application layer	Application gateway
Transport layer	Transport gateway
Network layer	Router
Data link layer	Bridge, switch
Physical layer	Repeater, hub

(a)



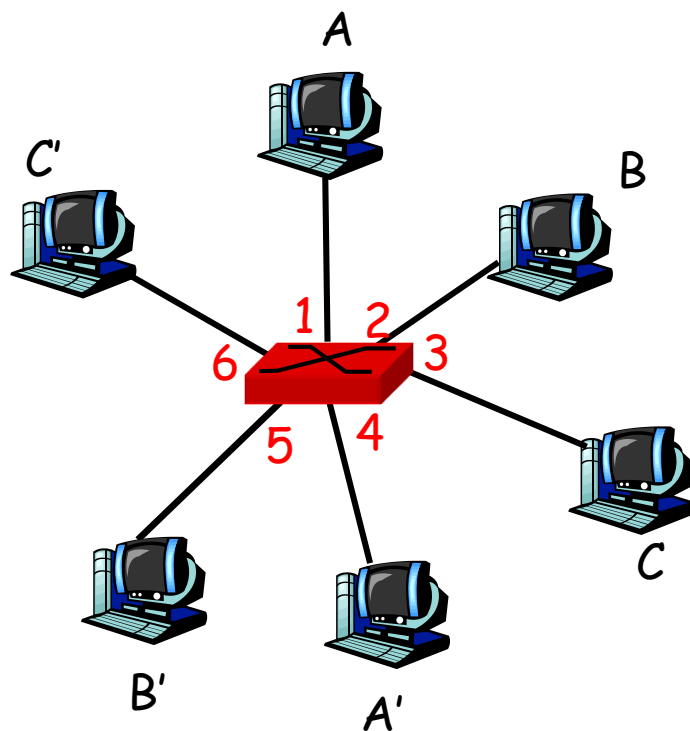
(b)

(a) 设备所在的层 (b) 帧、分组及其头部

网关：工作在传输层以上的互联设备；例如蜂窝网与互联网的信令网关、数据网关等

交换：允许多点同时传输

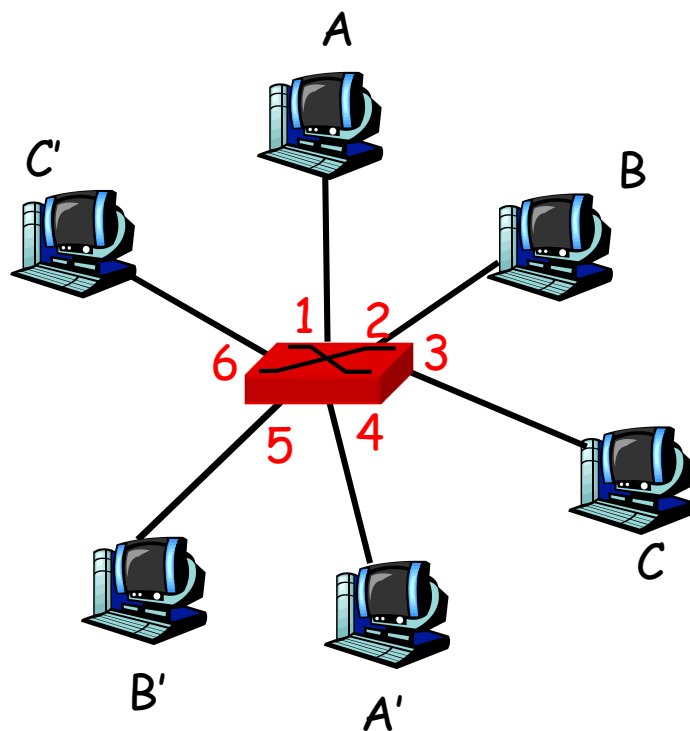
- 主机通过专线与交换机相连
- 交换机缓存分组
- 在每条输入链路上采用以太网协议，各个链路间没有碰撞；
 - 每条链路有各自的碰撞域
- 全双工
- 交换：A-to-A' 和 B-to-B' 同时进行，没有碰撞
 - 集线器是不可能的



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

交换表

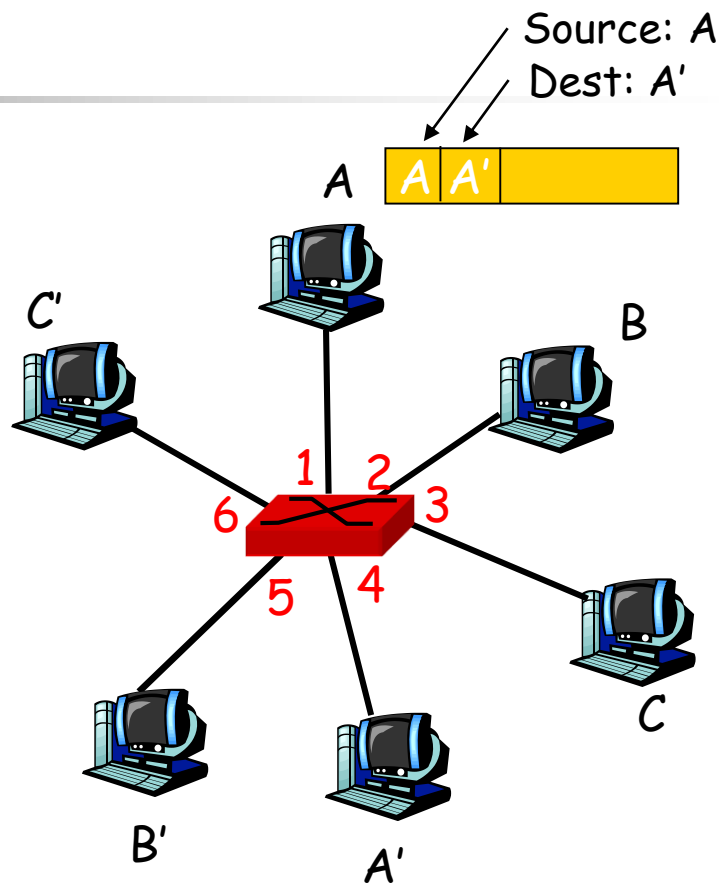
- 交换机如何知道经过接口4可以到达A'，经过接口5可以到达 B'？
- 每个交换机有一个交换表，表项组成
 - (主机的MAC地址，达到主机的接口，时间标记)
- 类似于路由表！
- 如何产生并维护交换表？
 - 也有类似的路由协议吗？



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

Switch: 自学习

- 交换机要知道经哪个接口可以到达哪个主机
 - 当收到帧，交换机知道其发送的位置：输入LAN网段
 - 将发送“主机/位置”记入交换表



MAC addr	interface	TTL
A	1	60

交换表
(初始为空)



交换：帧过滤/转发

当收到帧时：

1. 保存与链路相关的发送主机MAC地址
2. 用目的MAC地址索引交换表

3. **if** 找到目的地址的表项

then {

if 帧的目的网段与帧到达网段相同

then 丢弃该帧

else 在对应接口上转发该帧

}

else flood



在除帧接收的端口以外的
其它所有端口上转发

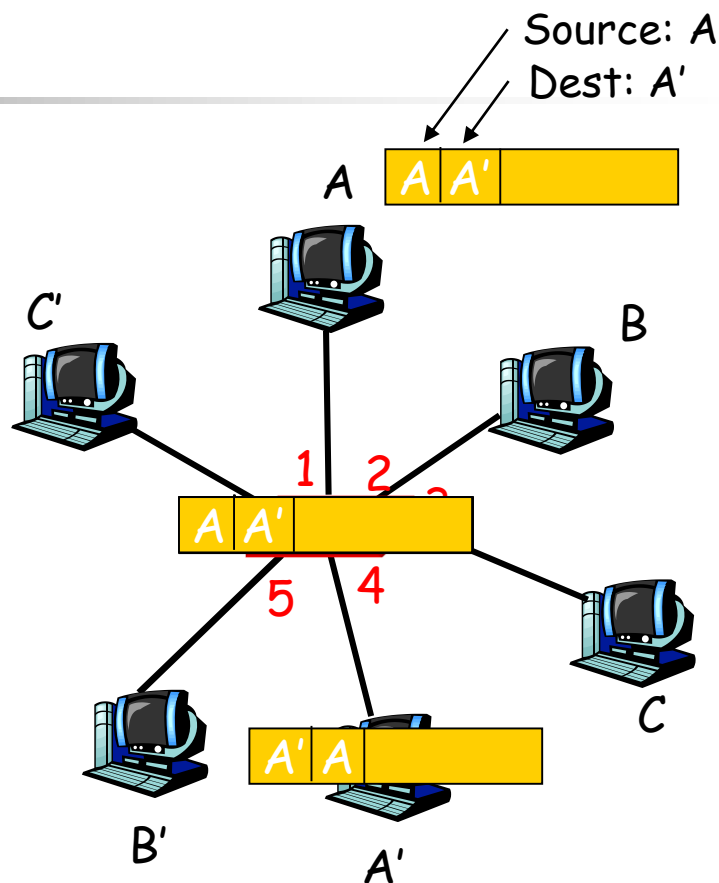
自学习转发：举例

- 不知帧的目的地址的位置：

flood

- 目的地址 **A** 的位置已知：

选择发送

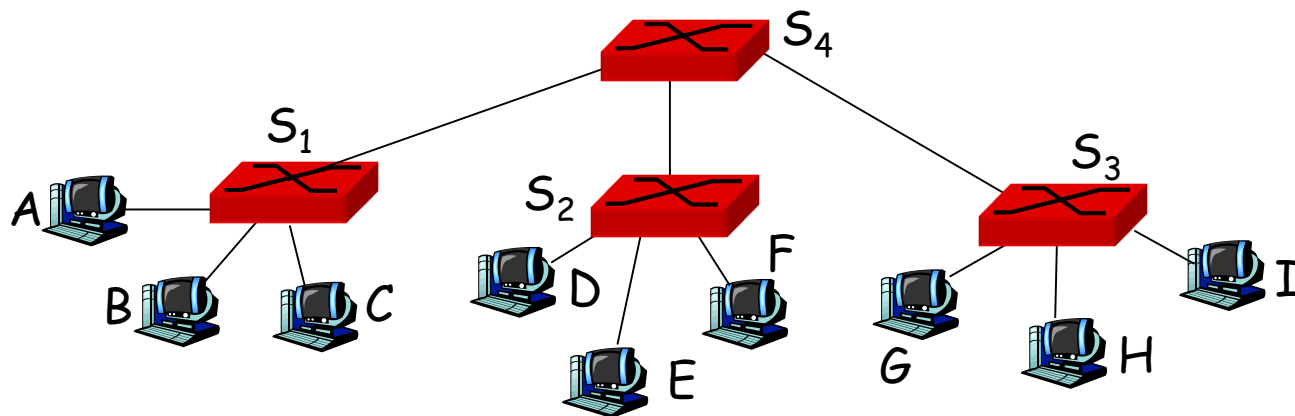


MAC addr	interface	TTL
A	1	60
A'	4	60

交换表
(初始为空)

交换机的互联

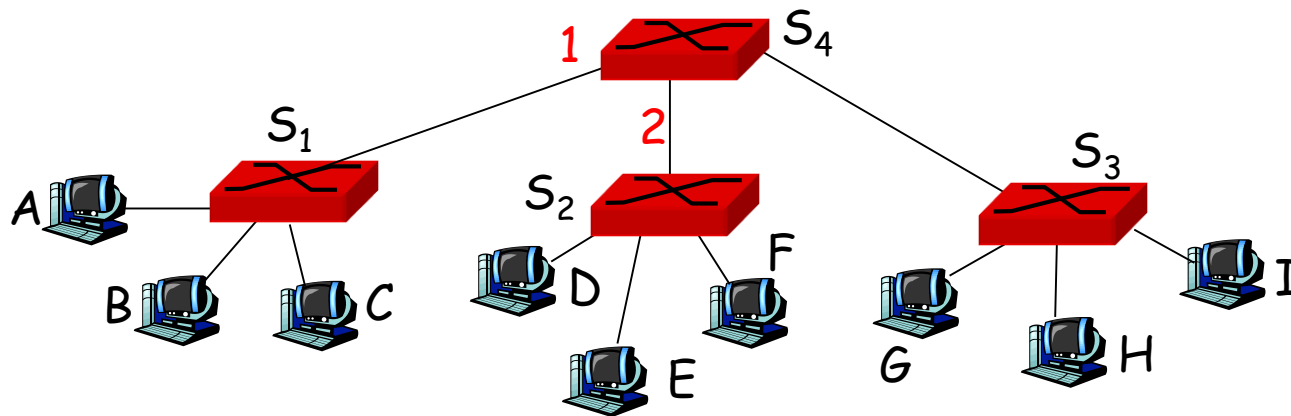
- 用交换机互联LAN



- 从A向G发送——S1如何知道发送给G的帧需要经过S4和S3转发？
- 自学习

多交换机自学习：举例

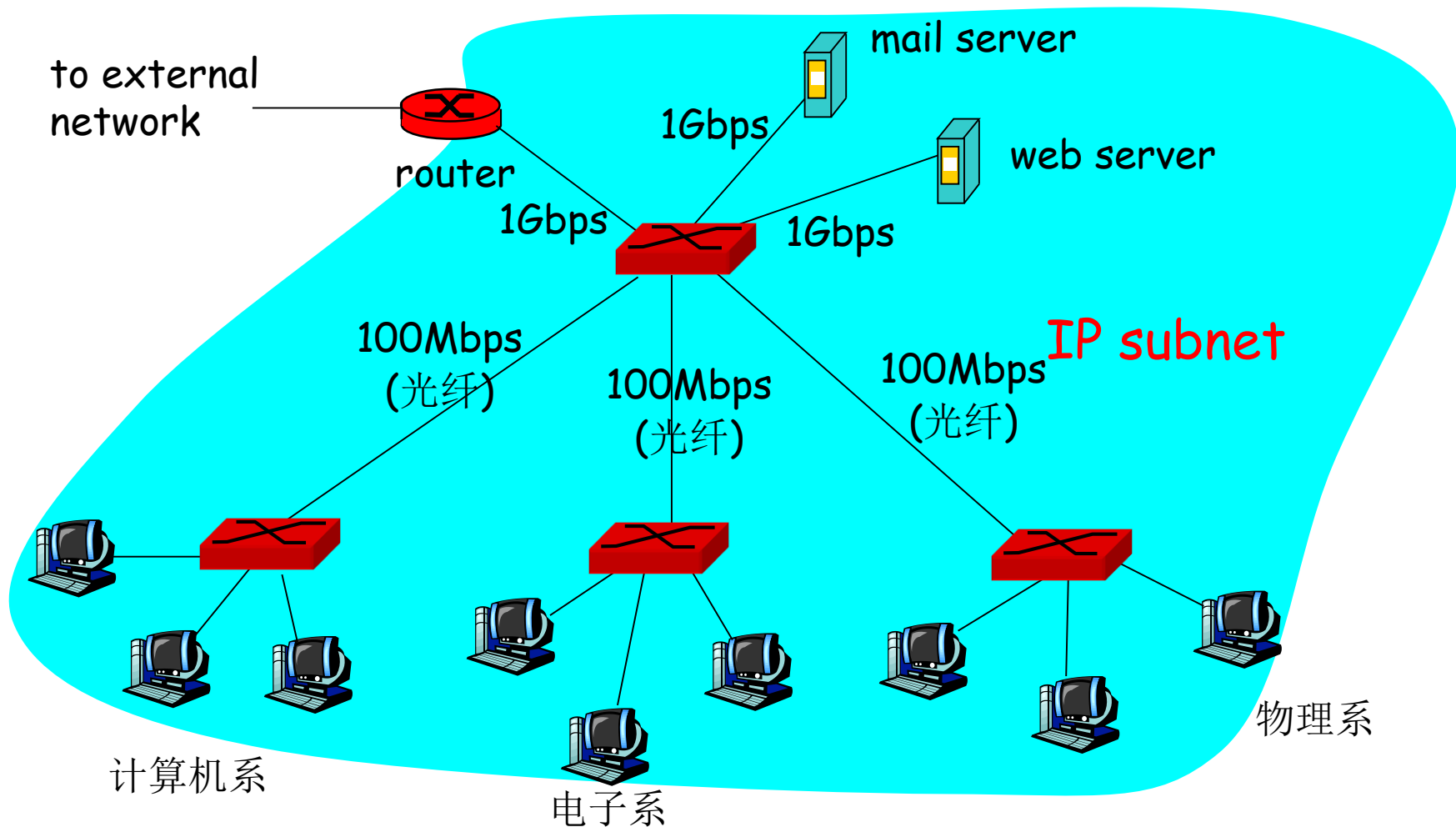
假设 C 发送帧给 I, I 应答 C



- 问：给出在S₁, S₂, S₃, S₄上的交换表及转发的帧

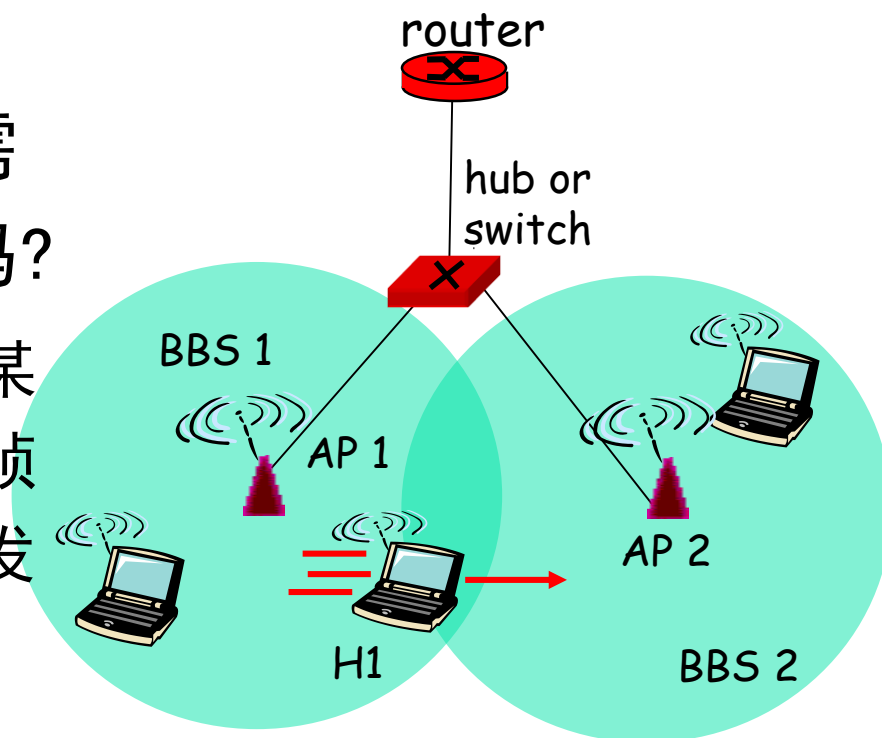
某机构网络，通过交换机互联

交换机存贮转发帧，其各端口速率可不同

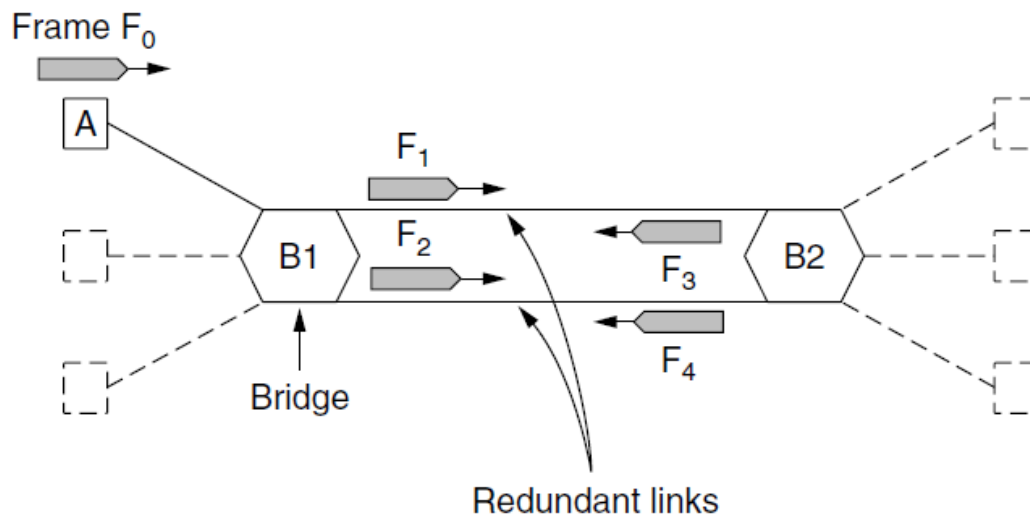


用交换机连接AP，支持移动性

- H1保持在同一IP子网中：
IP 地址可保持不变
- 交换机如何转发分组？需
要知道哪个AP与H1关联吗？
 - 交换机自学习：交换机从某
一端口上接收到来自H1的帧
，则记录：由此端口可以发
送数据给H1

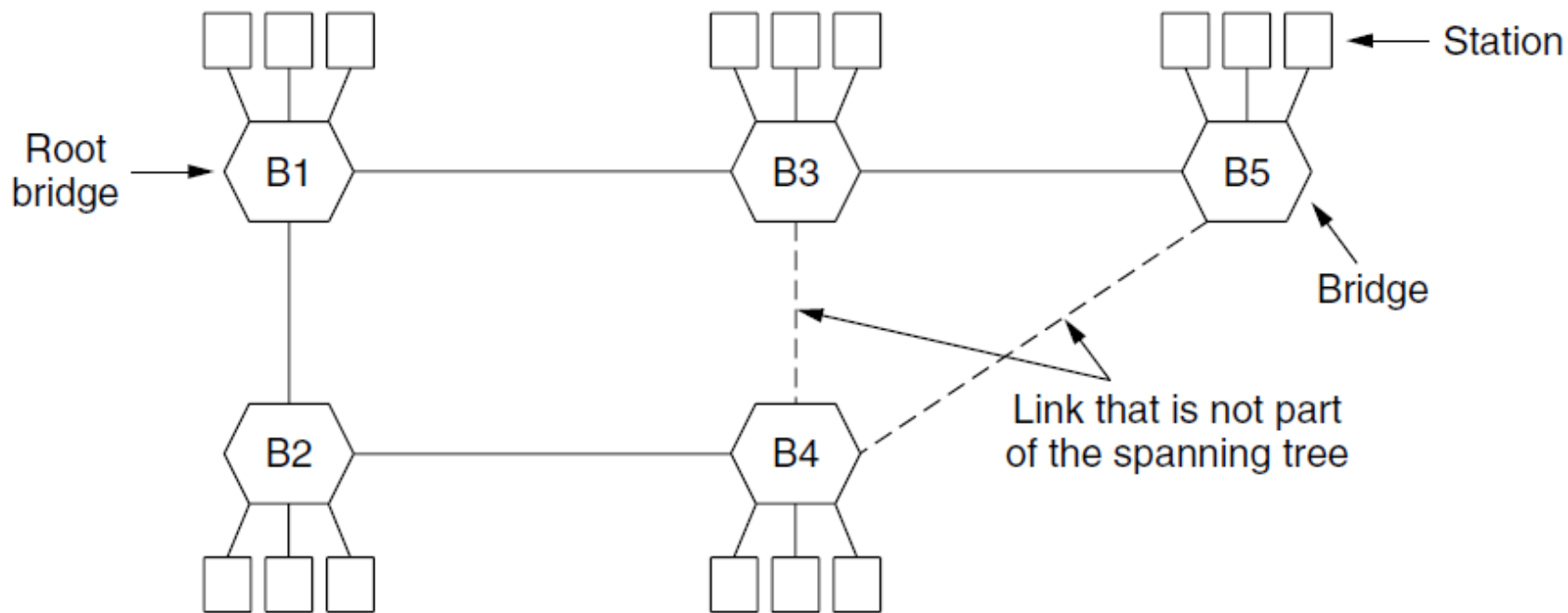


生成树网桥



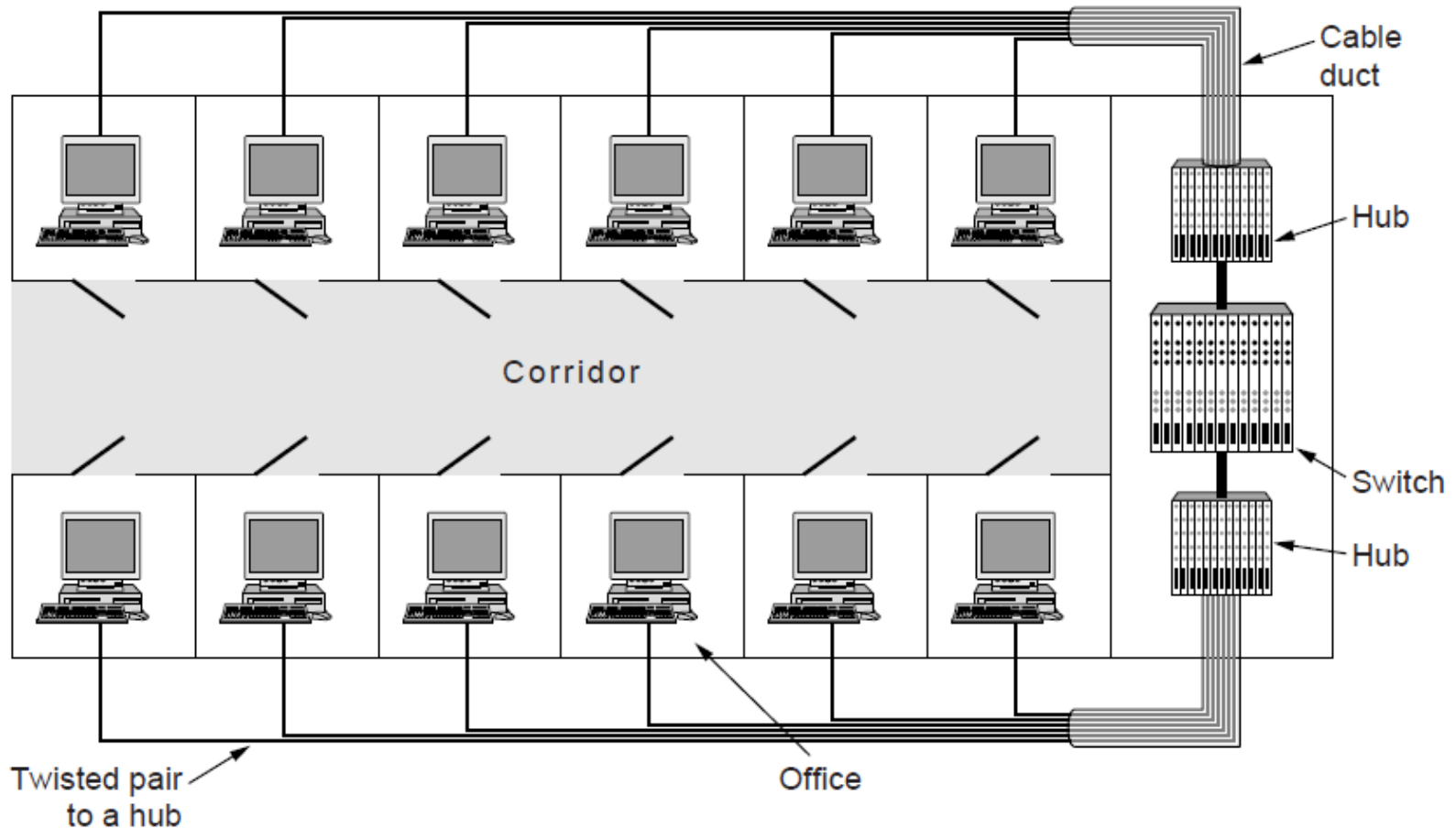
- 网桥之间设置两条链路以避免故障，但存在环路问题： F_0 经B1产生 F_1 ， F_2 ，再经过B2产生 F_3 ， F_4 ，帧在环路中兜圈子
- 解决方法：网桥之间通信，构造一个连接各网桥的生成树
 - 网桥周期地发送配置消息给邻居，并处理接收的消息
 - 配置消息中含标识（基于MAC地址）及与其他节点的跳数；选择最小标识作为生成树的根；
 - 构造由根到每个网桥的最短路径树

生成树网桥：举例



网桥之间交换配置信息，基于MAC地址，约定B1作为根
各节点计算到B1的跳数，最终建立生成树：包括5个网桥，
虚线是不在生成树上的链路，避免环路

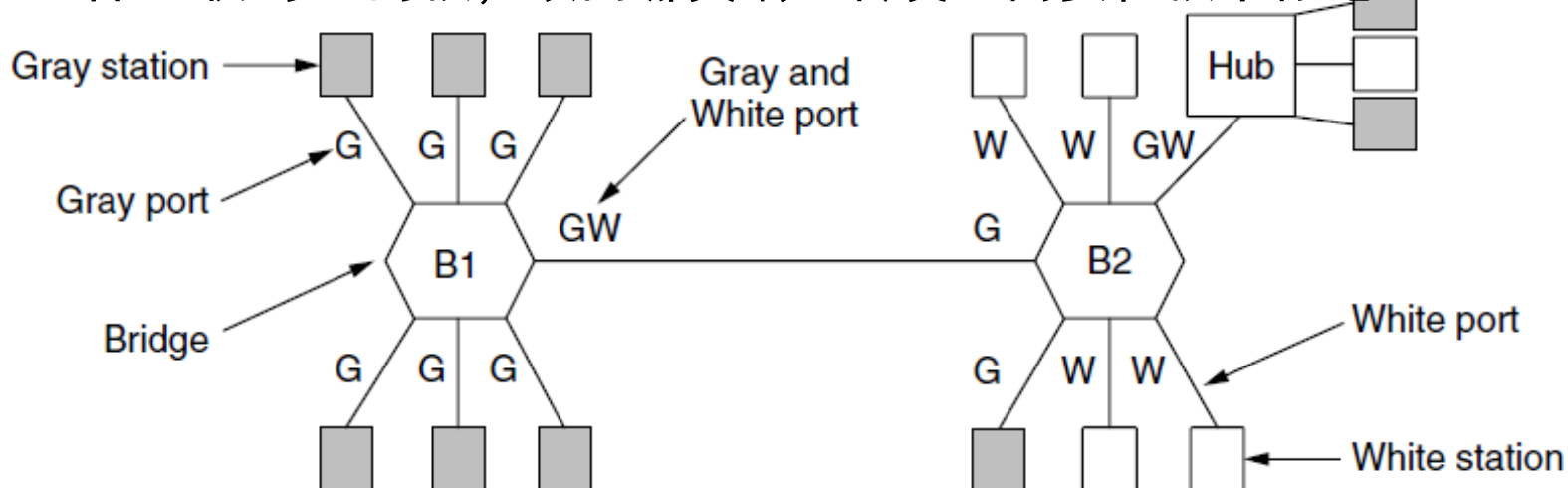
Virtual LANs: 早期的LAN



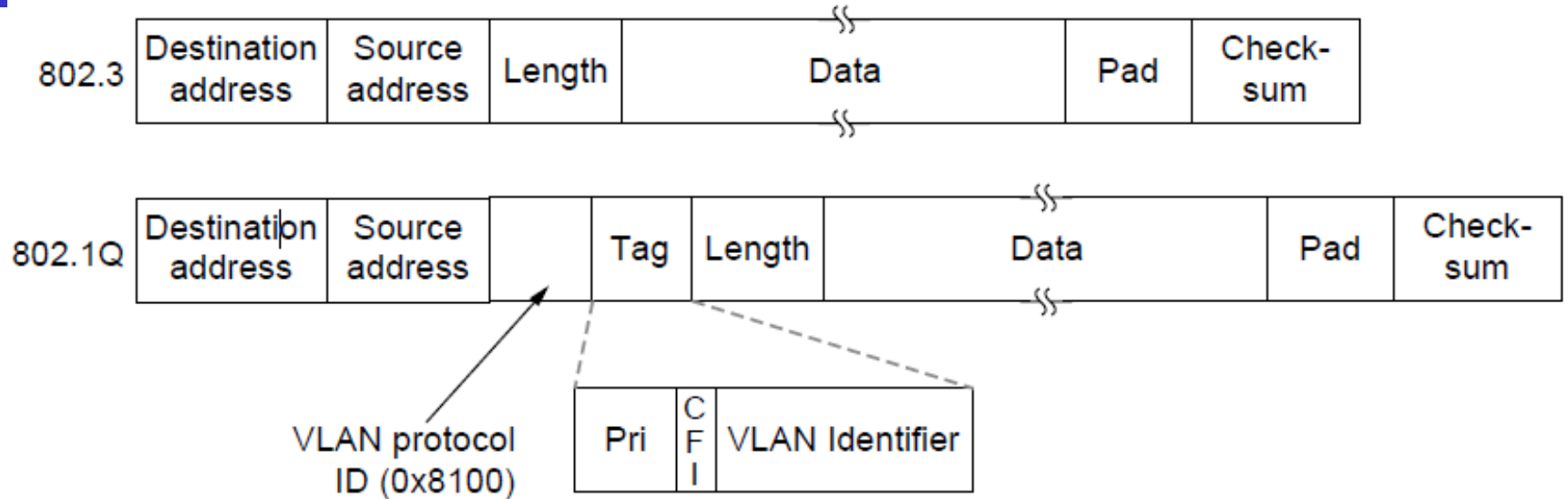
早期的LAN：根据计算机的地理位置或物理结构，以 hub或/和交换机为中心组建LAN

Virtual LANs (2)

- VLAN: 按照用户的组织结构而非物理结构, 构建局域网
- 优点: 1.安全; 2.负载均衡 3.减少广播流量
- 方法: 必须**建立配置表**, 设置其端口属于G或W或GW
- 举例:
 - 当B1收到G帧时, 仅在G的端口上广播; 限制广播范围
 - 当B2收到W帧, 不会向到B1的端口上转发; 限制广播范围
 - 若B2收到B1的帧, 该向哪类端口转发? 需要在帧中标记VLAN



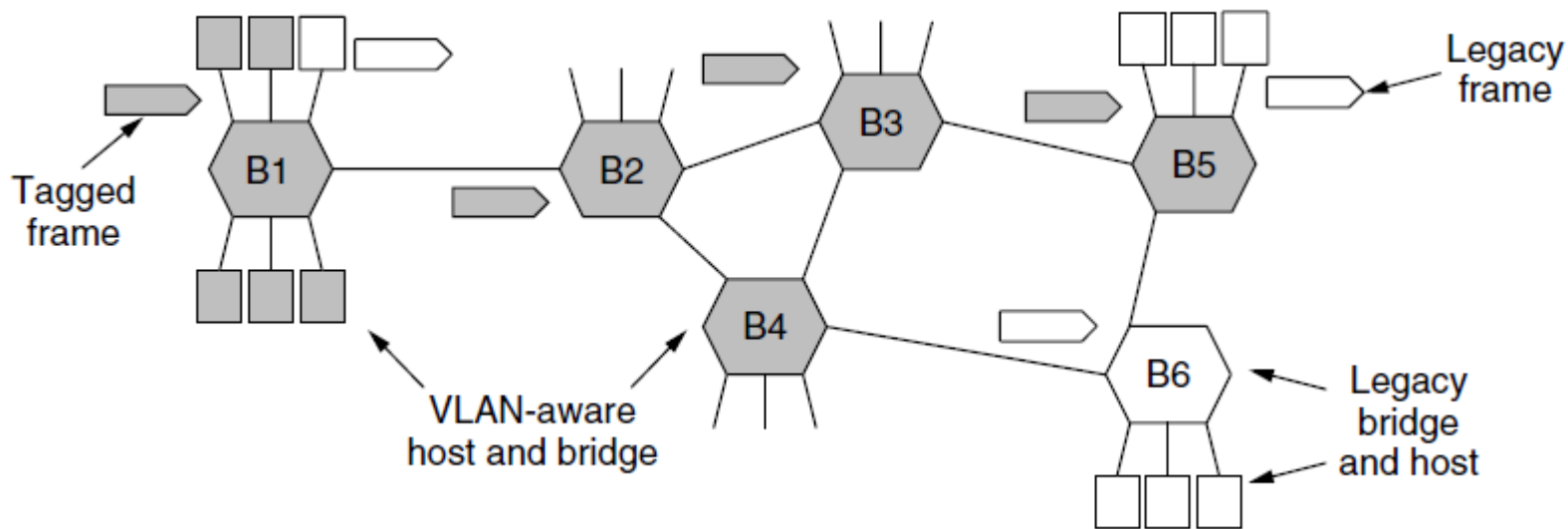
IEEE 802.1Q标准



802.3 (传统的) 及802.1Q 以太帧格式

- 对802.1Q帧，传统的以太网卡认为0x8100为长度异常，不会转发

IEEE 802.1Q 标准 (1)



阴影为VLAN感知的，白色为VLAN非感知的

需要改变以太网的帧结构吗？不现实！

主机无需感知VLAN，只有部分网桥需要感知VLAN！

- 感知的网桥支持IEEE 802.1Q；不感知的仅支持802.3
- 问：B5为感知VLAN的交换机，可否改为传统的交换机？为何？



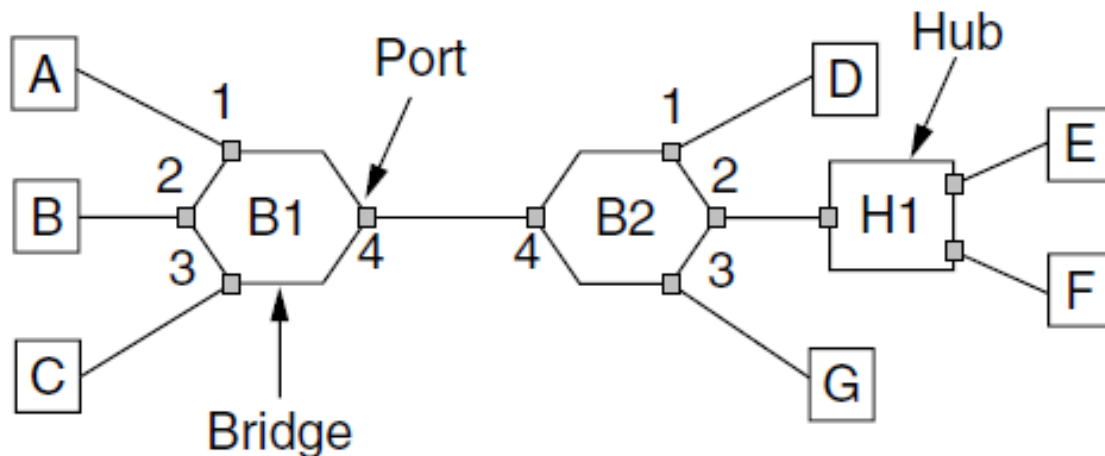
小结

- MAC：实现多站点共享信道的协议
- 站数少且数量稳定的情况，划分信道
 - FDMA、TDMA、CDMA
- 站数多且突发的情况，动态信道分配
 - ALOHA, CSMA
 - 减少竞争，信道预约，位图协议、轮询、二进制倒数、动态分组等
- LAN：CSMA/CD
- WLAN：CSMA/CA
- 网桥：一种互联LAN技术，自学习与转发

练习题

- 以太网帧至少64B才能确保发生碰撞时发送端仍处于发送中。高速以太网也有64B最短帧限制，但发送速率快10倍，问如何维持最短帧长度限制？
- 网桥的工作原理？它与集线器有何异同？采用网桥或路由器互联LAN，有何不同？
- 设B1，B2为网桥，初始转发表为空，H1为集线器。请列出数据转发端口以及B1、B2的转发表

1. A发送数据给C
2. E发送数据给F
3. F发送数据给E
4. G发送数据给E
5. D发送数据给A
6. B发送数据给F



练习题

- 图中B2为VLAN感知交换机，若为传统交换机可否？若为集线器呢？

