



PPoE
CSMA/CD 数据链路层

计算机网络

网络

帧

第 7 讲 以太网及其扩展

以太网 802.3 以太网



上讲内容回顾

- ◆ 局域网的数据链路层
- ◆ 适配器
- ◆ CSMA/CD协议

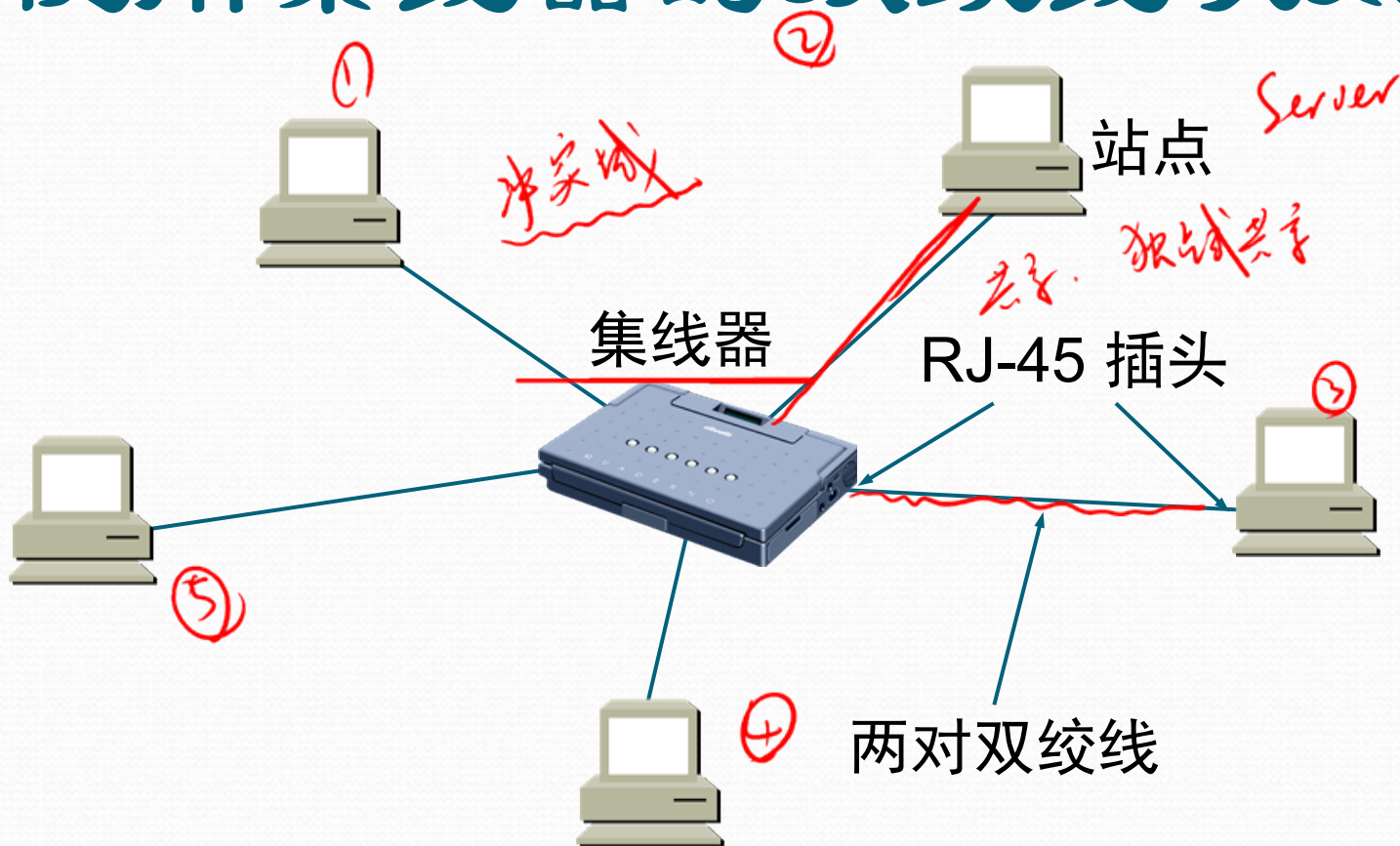
205
Dunroch



本讲内容

- ◆ 以太网拓扑、信道利用率、MAC层及帧
- ◆ 扩展的以太网
 - 物理层扩展—集线器
 - 数据链路层---网桥及交换机

使用集线器的双绞线以太网

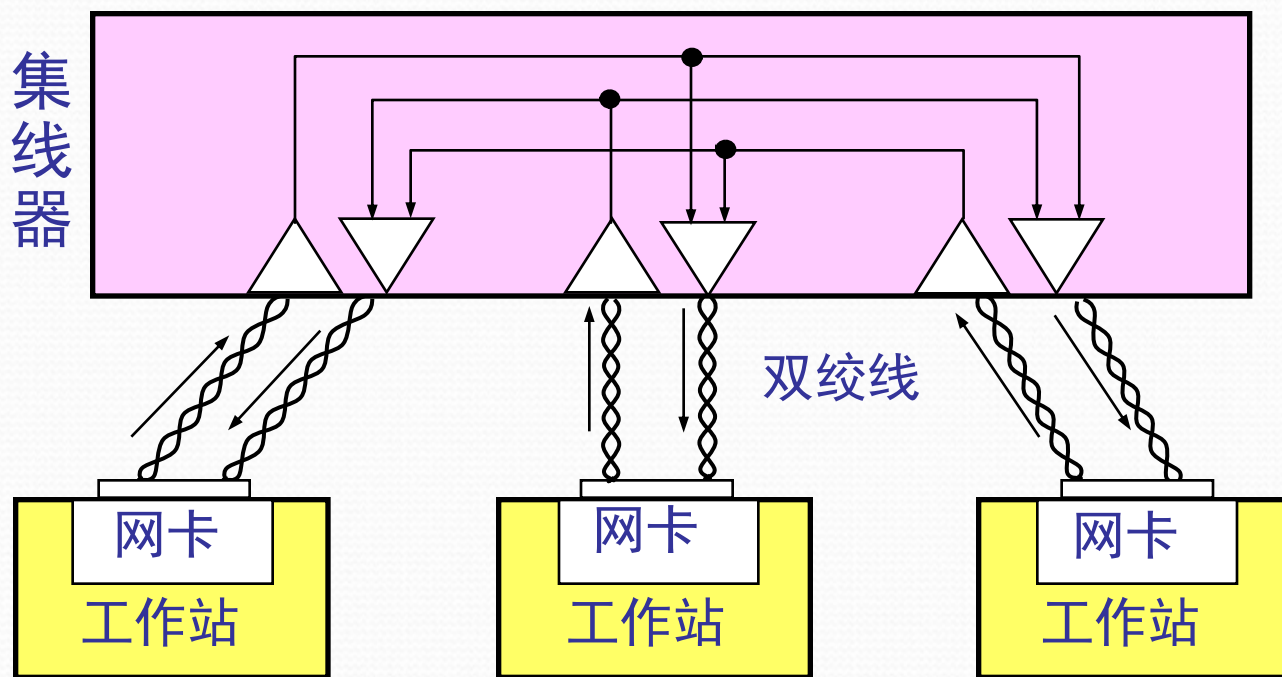




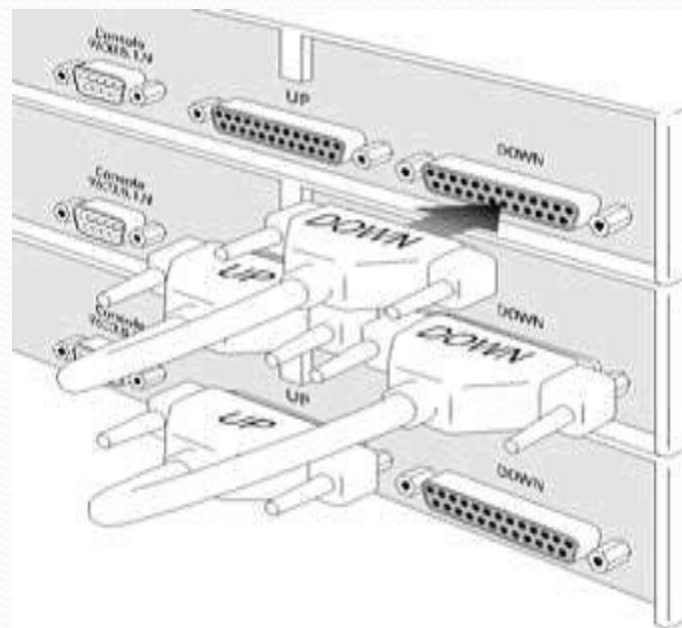
集线器的一些特点

- 集线器是使用电子器件来模拟实际电缆线的工作，因此整个系统仍然像一个传统的以太网那样运行。
- 使用集线器的以太网在逻辑上仍是一个总线网，各工作站使用的还是 CSMA/CD 协议，并共享逻辑上的总线。
- 集线器很像一个多接口的转发器。
- 工作在物理层。
- 采用专门芯片，进行自适应串音回波抵消。

具有三个接口的集线器

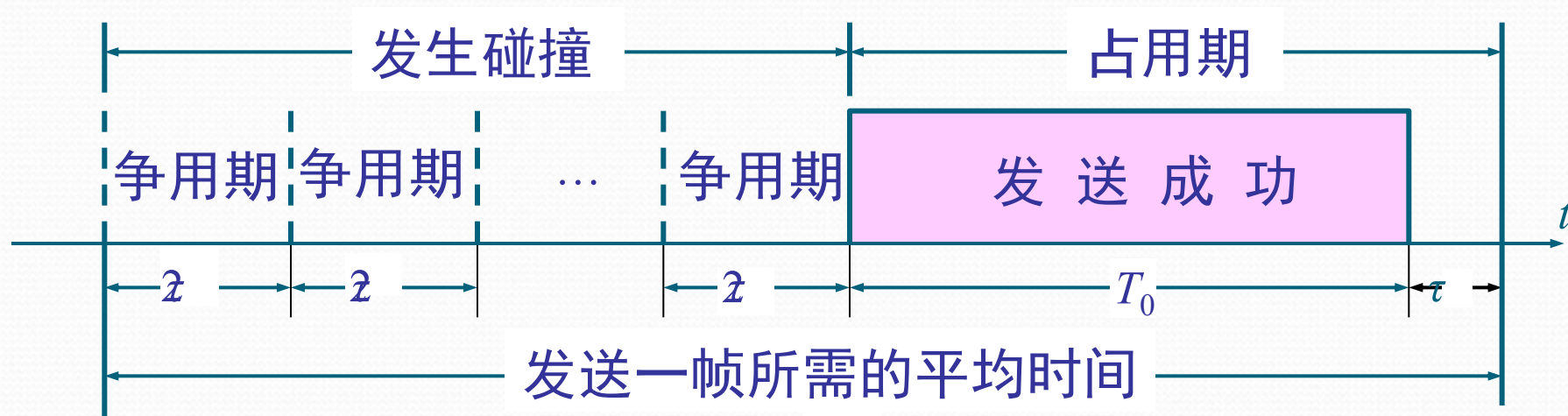


- 堆叠式（stackable）
通过厂家提供的一条专用连接电缆，从一台集线器的“UP”堆叠端口直接连接到另一台集线器的“DOWN”堆叠端口。
以实现单台集线器端口数的扩充
- 模块化的机箱式智能集线器



以太网的信道利用率

- 一个帧从开始发送，经可能发生的碰撞后，将再重传数次，到发送成功且信道转为空闲(即再经过时间 τ 使得信道上无信号在传播)时为止，是发送一帧所需的平均时间。



参数 a

- 要提高以太网的信道利用率，就必须减小 τ 与 T_0 之比。在以太网中定义了参数 a ，它是以太网单程端到端时延 τ 与帧的发送时间 T_0 之比：

$$a = \frac{\tau}{T_0} \quad (3-2)$$

- $a \rightarrow 0$ 表示一发生碰撞就立即可以检测出来，并立即停止发送，因而信道利用率很高。
- a 越大，表明争用期所占的比例增大，每发生一次碰撞就浪费许多信道资源，使得信道利用率明显降低。



信道利用率的最大值 S_{\max}

- 在理想化的情况下，以太网上的各站发送数据都不会产生碰撞（这显然已经不是 CSMA/CD，而是需要使用一种特殊的调度方法），即总线一旦空闲就有某一个站立即发送数据。
- 发送一帧占用线路的时间是 $T_0 + \tau$ ，而帧本身的发送时间是 T_0 。于是我们可计算出理想情况下的极限信道利用率 S_{\max} 为：

(3-3)

以太网MAC层的硬件地址

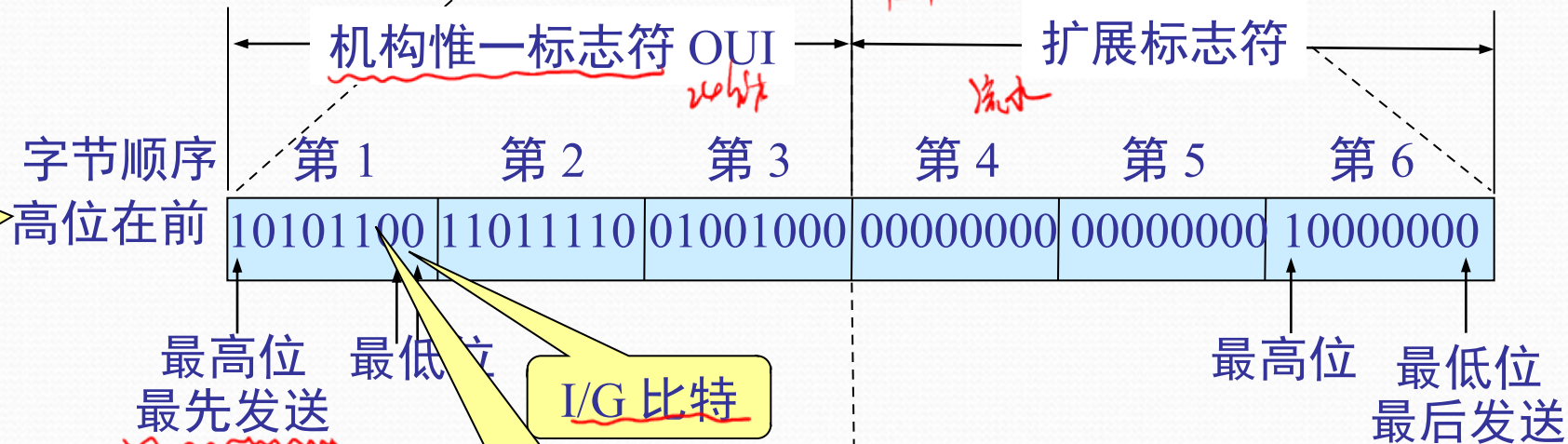
- 在局域网中，硬件地址又称为物理地址，或 MAC 地址。
- 802 标准为局域网规定了一种48位的全球地址，即局域网上的每一台计算机中固化在适配器的ROM中的地址。

MAC 不能修改的——网卡上固有的，网卡厂家给定的
2⁴⁸ 个地址 6B MB K
—— { 硬件地址 (物理地址) MAC — 48bit
 { 逻辑地址 IP { IPv4 — 32bit
 IPv6 — 128bit

十六进制表示的 EUI-48 地址：

AC-DE-48-00-00-80

二进制表示的 EUI-48 地址：

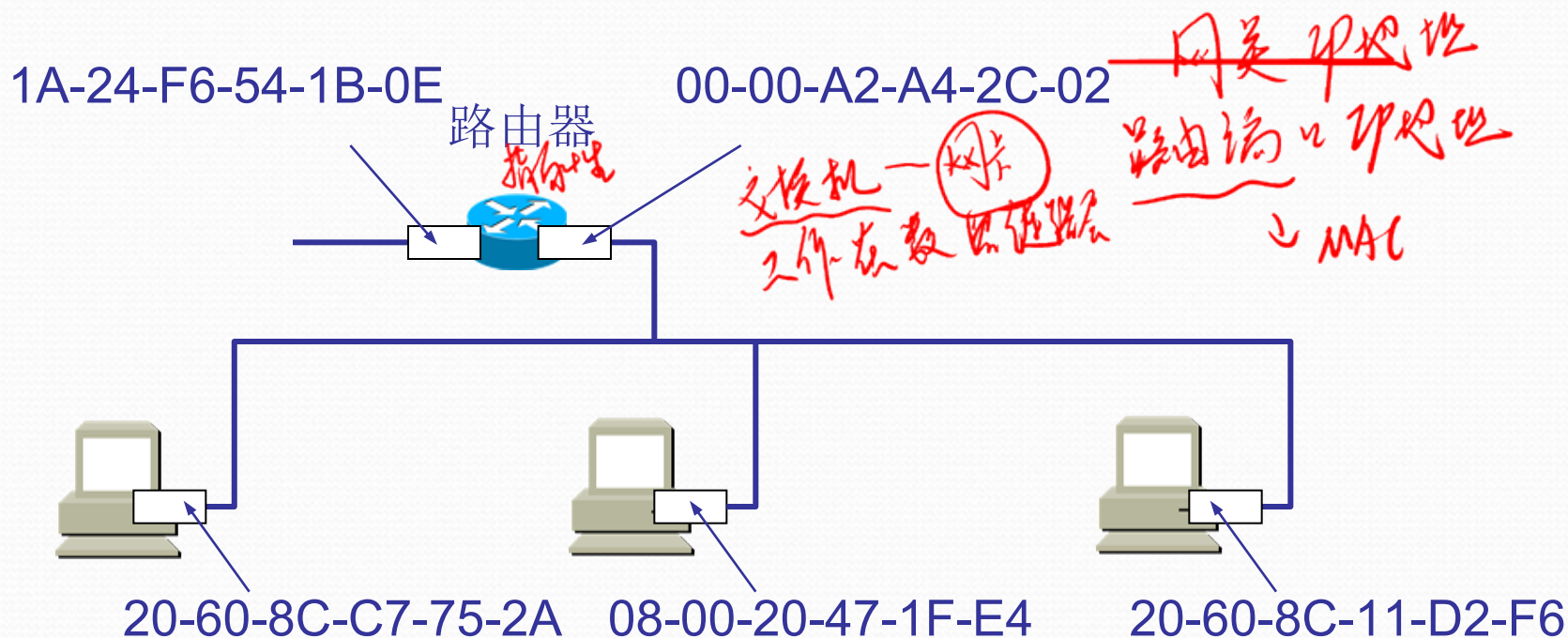


I/G: Individual/Group (I/G) 位当它的值为0时，就可以认为这个地址实际上是设备的MAC地址，它可能出现在MAC报头的源地址部分。

当它的值为1时，就可以认为这个地址表示以太网中的广播地址或组播地址，或者表示TR和FDDI中的广播地址或功能地址

G/L 位 (Global/Local)。第一位也称Group位（组播位），第二位称Local位（本地位）。

接口：每个接口都有MAC地址。
交换机：接口是否有MAC地址？
没有的
路由器由于同时连接到两个网络上，因此它有两块网卡和两个硬件地址。
透明网桥使用桥接表





集成器驱动

适配器检查 MAC 地址

- 适配器从网络上每收到一个 MAC 帧就首先用硬件检查 MAC 帧中的 MAC 地址。
 - 如果是发往本站的帧则收下，然后再进行其他的处理。
 - 否则就将此帧丢弃，不再进行其他的处理。
- “发往本站的帧”包括以下三种帧：
 - 单播(unicast)帧 (一对一)
 - 广播(broadcast)帧 (一对全体)
 - 多播(multicast)帧 (一对多)

选择性

帧的接收 交换机

报文通过交换机转发

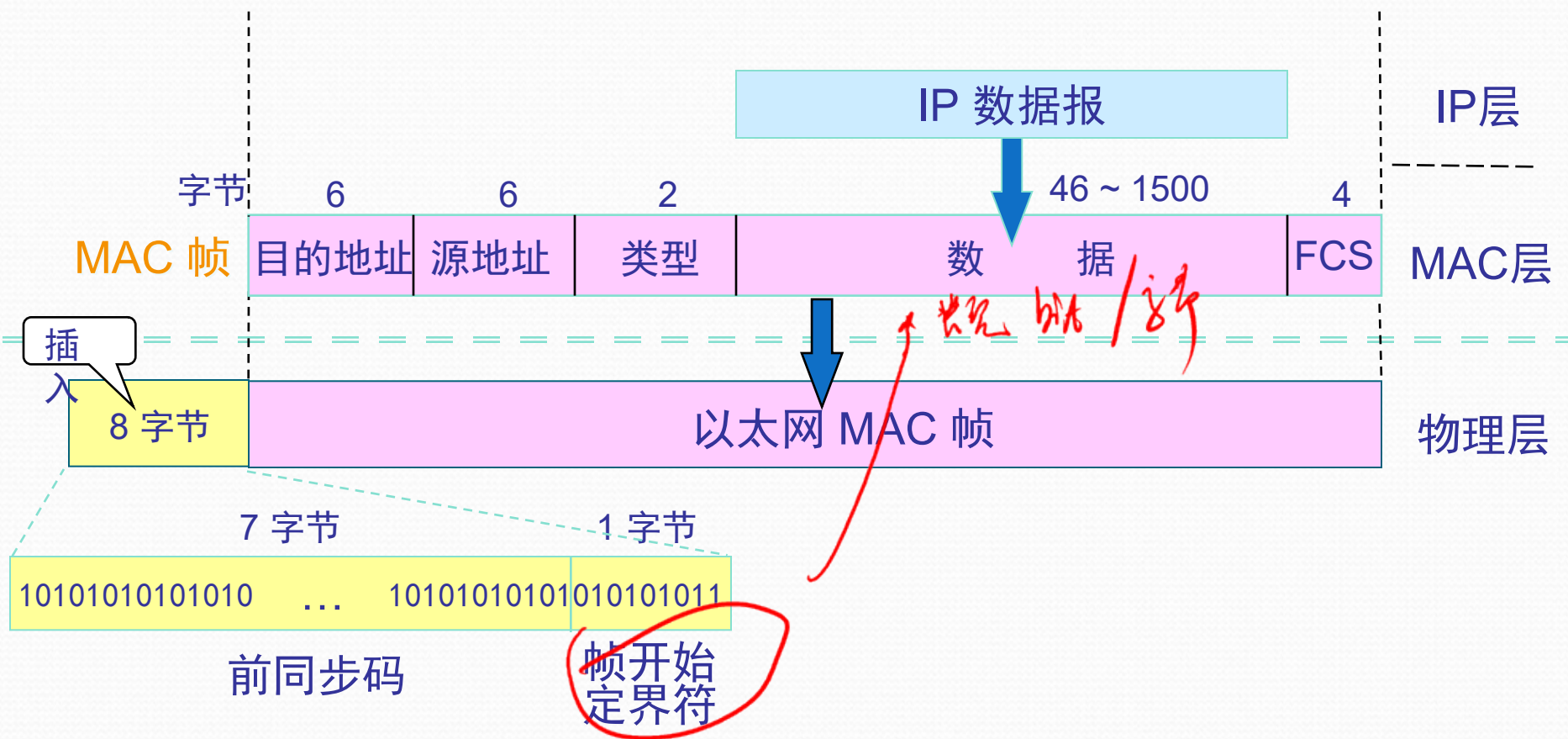


- 以太网适配器可以设置为混杂方式
- 嗅探器 (Sniffer)

网卡不是你的

802.3, 802.11 以太网

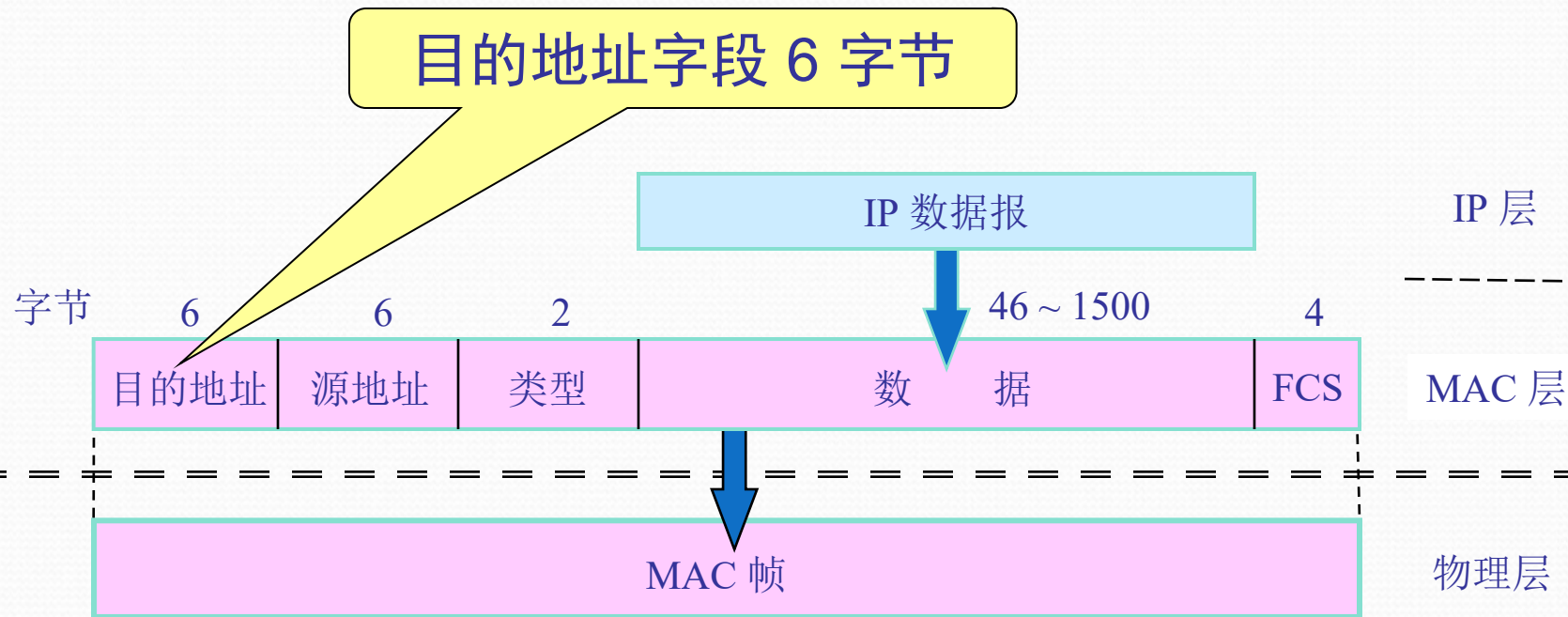
以太网的 MAC 帧格式



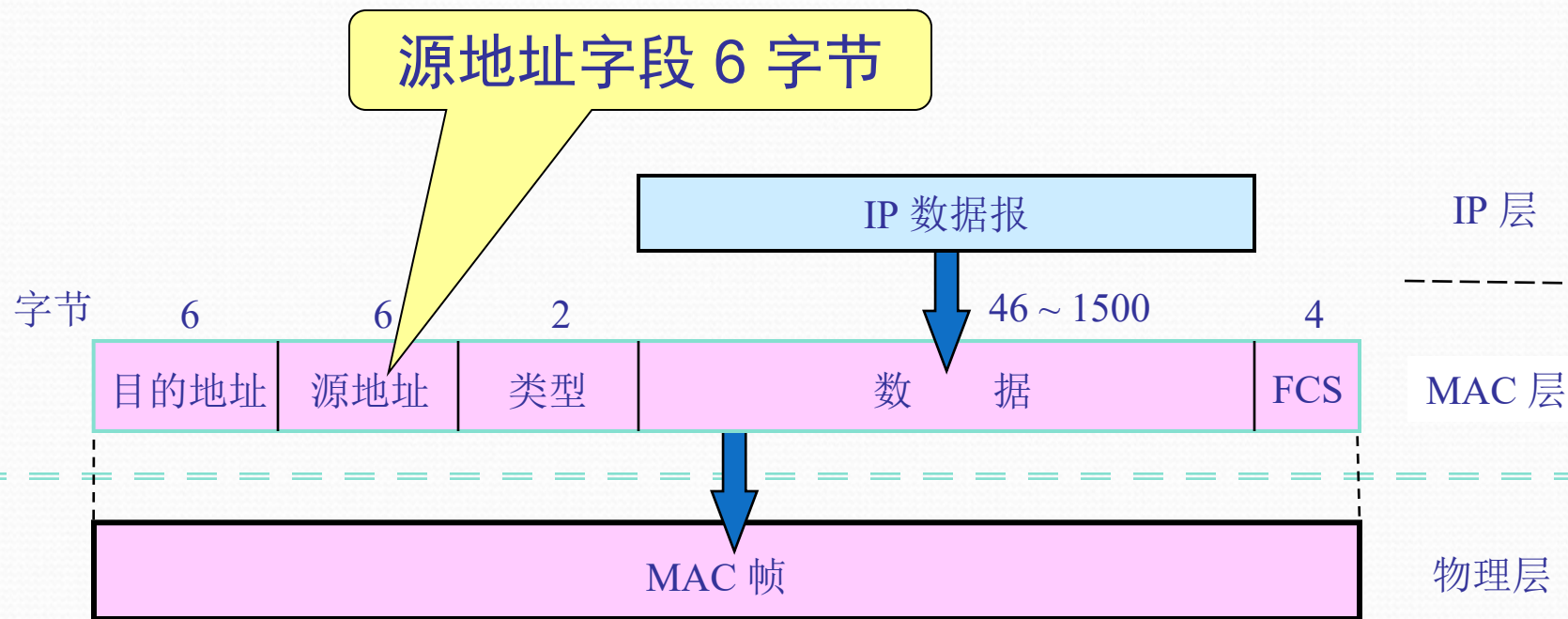
以太网 V2 的 MAC 帧格式

$6 \times 8 \text{ bits} / \text{B} = 48 \text{ bits}$

目的地址字段 6 字节

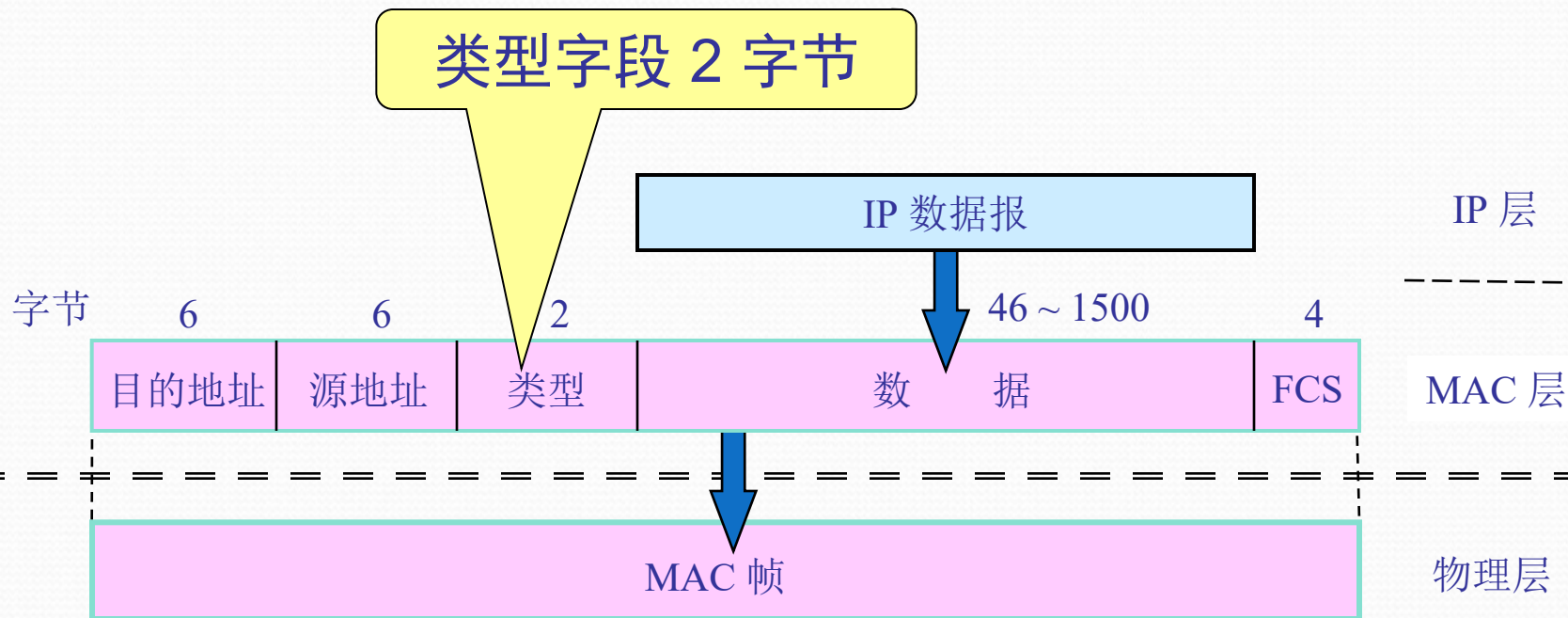


以太网 V2 的 MAC 帧格式



以太网 V2 的 MAC 帧格式

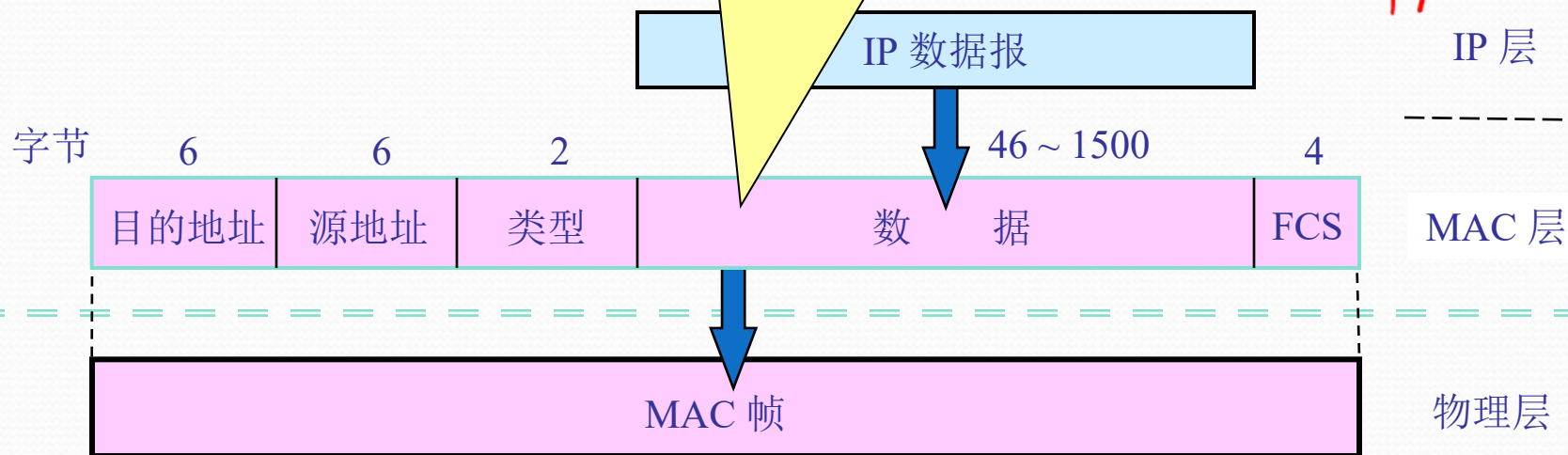
类型字段用来标志~~上~~一层使用的是什么协议，以便把收到的 MAC 帧的数据上交给上一层的这个协议。



以太网 V2 的 MAC 帧格式

数据字段的正式名称是 **MAC 客户数据字段**
最小长度 64 字节 - $46 + 6 + 6 + 2 + 4$ 字节的首部和尾部 = 数据字段的最小长度

数据字段 46 ~ 1500 字节



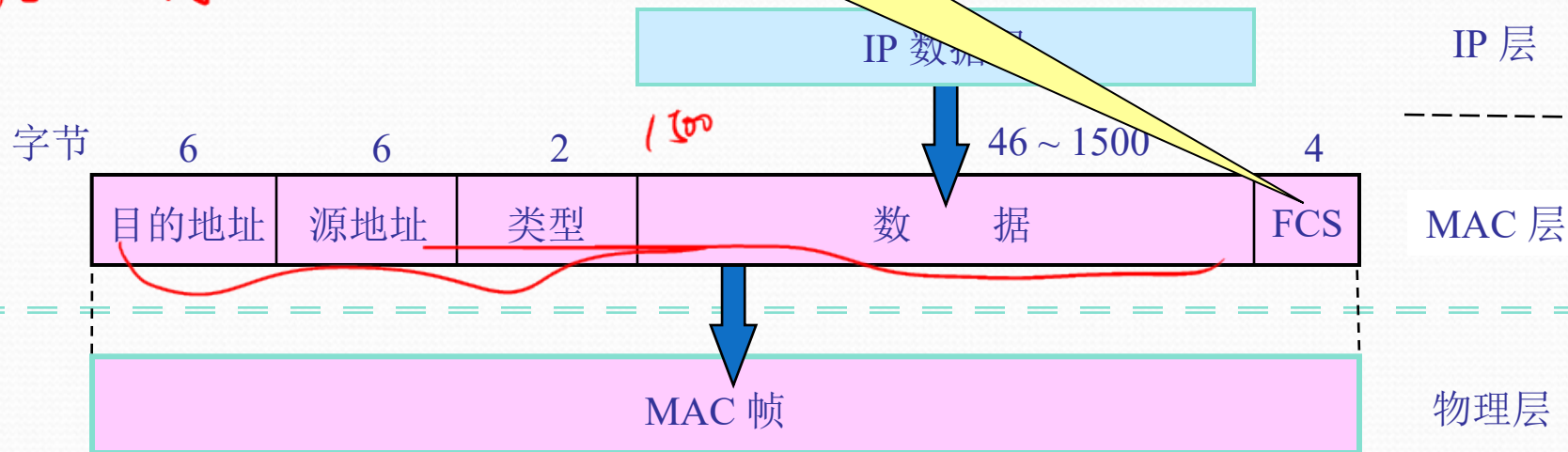
以太网 V2 的 MAC 帧格式

当传输媒体的误码率为 1×10^{-8} 时，
MAC 子层可使未检测到的差错小于 1×10^{-14} 。

$2^{1500} \rightarrow 2^{32}$ 碰撞
不同的码字 \rightarrow 碰撞相同的 FCS

只是测试数据 10^{10}

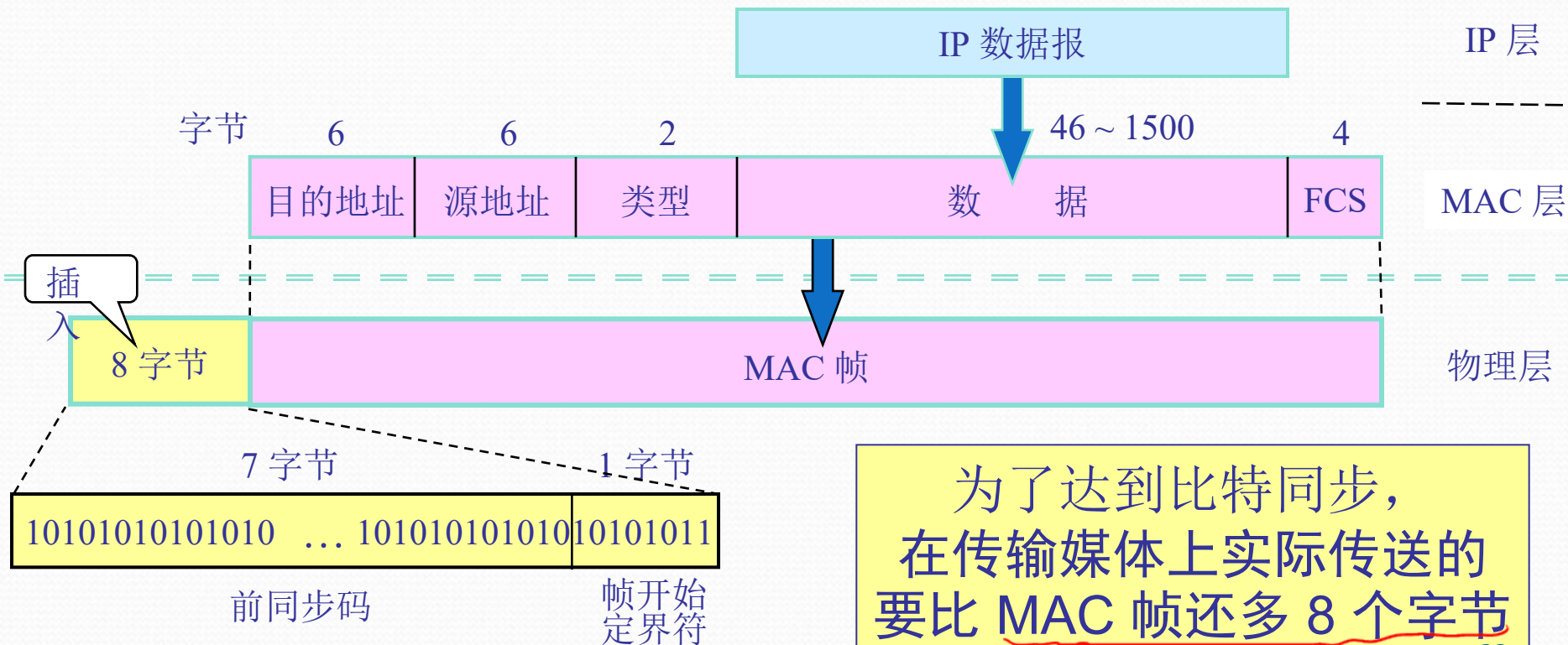
FCS 字段 4 字节



当数据字段的长度小于 46 字节时，
应在数据字段的后面加入整数字节的填充字段，
以保证以太网的 MAC 帧长不小于 64 字节。

以太网 V2 的 MAC 帧格式

在帧的前面插入的 8 字节中的第一个字段共 7 个字节，是前同步码，用来迅速实现 MAC 帧的比特同步。第二个字段是帧开始定界符，表示后面的信息就是 MAC 帧。





无效的 MAC 帧

- 帧的长度不是整数个字节；^{8的倍数}
- 用收到的帧检验序列 FCS 查出有差错；
- 数据字段的长度不在 46 ~ 1500 字节之间。
- 有效的 MAC 帧长度为 64 ~ 1518 字节之间。
- 对于检查出的无效 MAC 帧就简单地丢弃。以太网不负责重传丢弃的帧。



帧间最小间隔

- 帧间最小间隔为 $9.6 \mu\text{s}$ ，相当于 96 bit 的发送时间。
- 一个站在检测到总线开始空闲后，还要等待 $9.6 \mu\text{s}$ 才能再次发送数据。
- 这样做是为了使刚刚收到数据帧的站的接收缓存来得及清理，做好接收下一帧的准备。

在物理层扩展局域网

- 主机使用光纤和一对光纤调制解调器连接到集线器



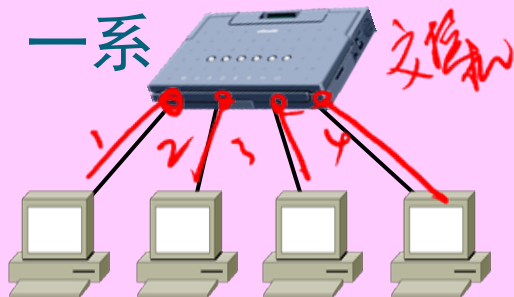
用多个集线器可连成更大的局域网

- 某大学有三个系，各自有一个局域网

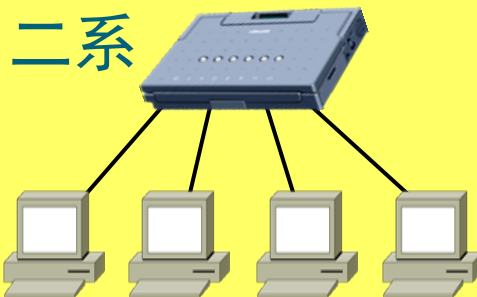
2. 10s

三个独立的碰撞域 *少碰撞域 CSMA/CD*

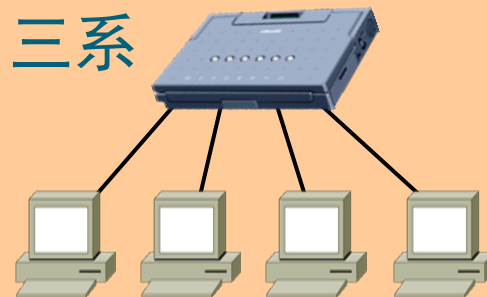
碰撞域



碰撞域



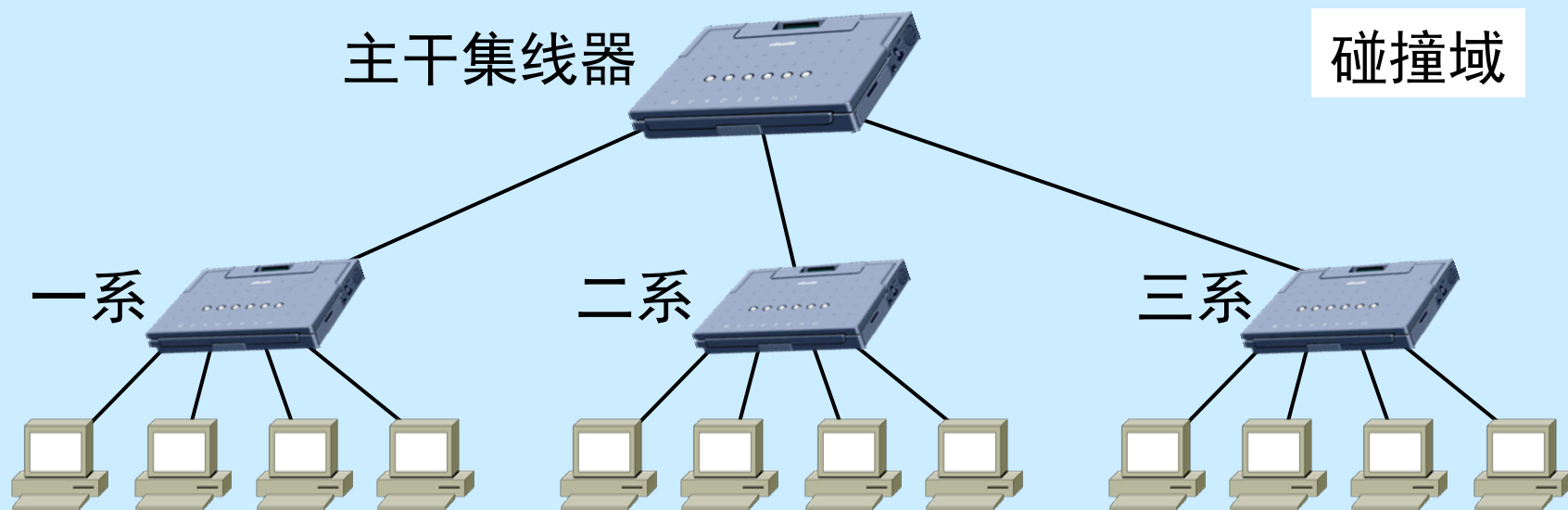
碰撞域



用集线器组成更大的局域网 都在一个碰撞域中

一个更大的碰撞域

效率下降





用集线器扩展局域网

- 优点

- 使原来属于不同碰撞域的局域网上的计算机能够进行跨碰撞域的通信。
- 扩大了局域网覆盖的地理范围。

- 缺点

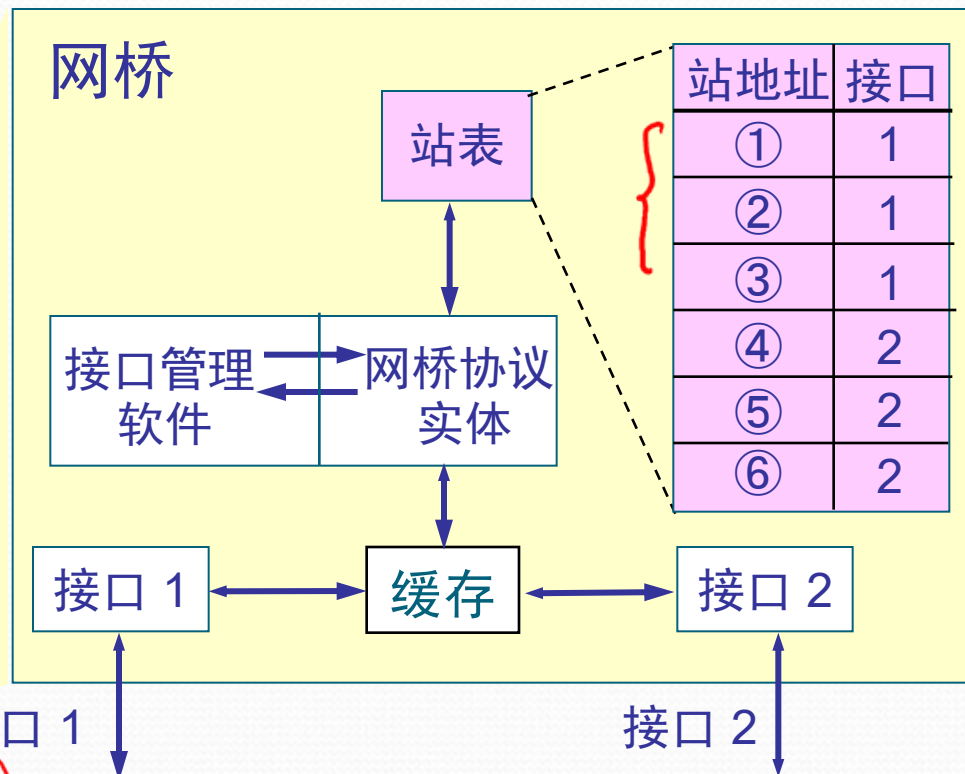
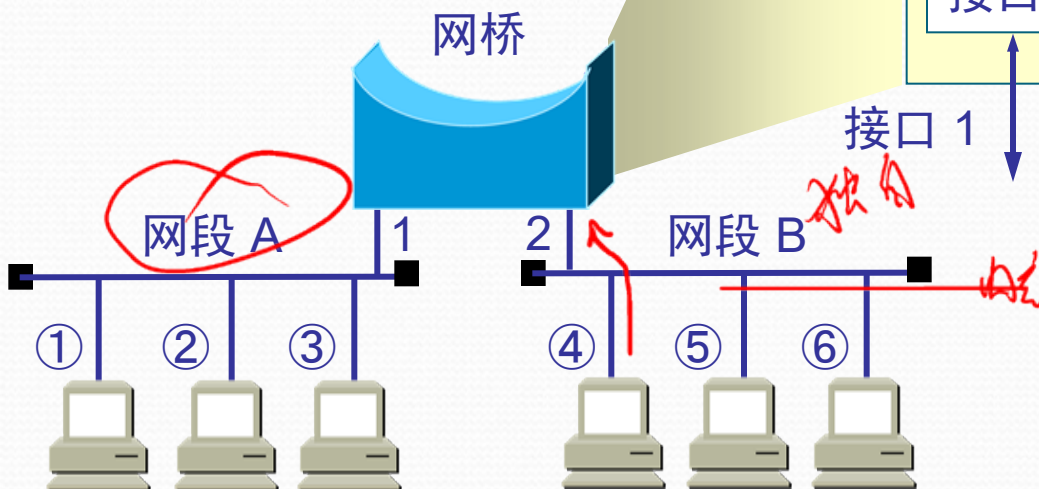
- 碰撞域增大了，但总的吞吐量并未提高。
- 如果不同的碰撞域使用不同的数据率，那么就不能用集线器将它们互连起来。



在数据链路层扩展局域网

- 在数据链路层扩展局域网是使用网桥。
- 网桥工作在数据链路层，它根据 MAC 帧的目的地址对收到的帧进行转发和过滤。
- 网桥具有过滤帧的功能。当网桥收到一个帧时，并不是向所有的接口转发此帧，而是先检查此帧的目的 MAC 地址，然后再确定将该帧转发到哪一个接口或者把它丢弃。

高田冲梁城



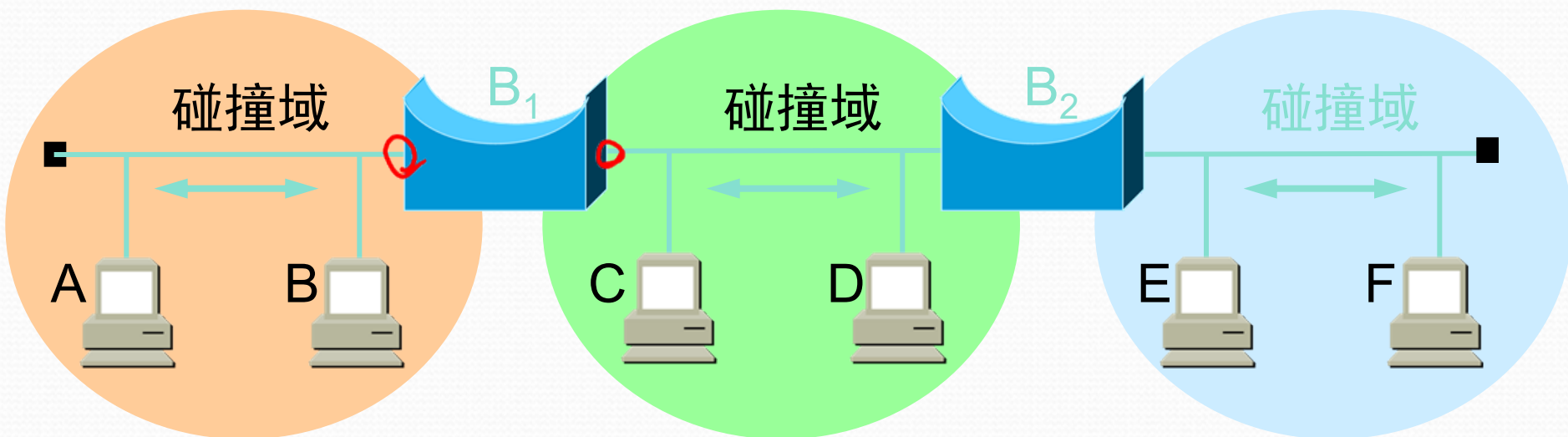


使用网桥带来的好处

- 过滤通信量，增大吞吐量。
- 扩大了物理范围。
- 提高了可靠性。
- 可互连不同物理层、不同 MAC 子层和不同速率（如10 Mb/s 和 100 Mb/s 以太网）的局域网。

× 物理
× 网络
× 逻辑
× 路由

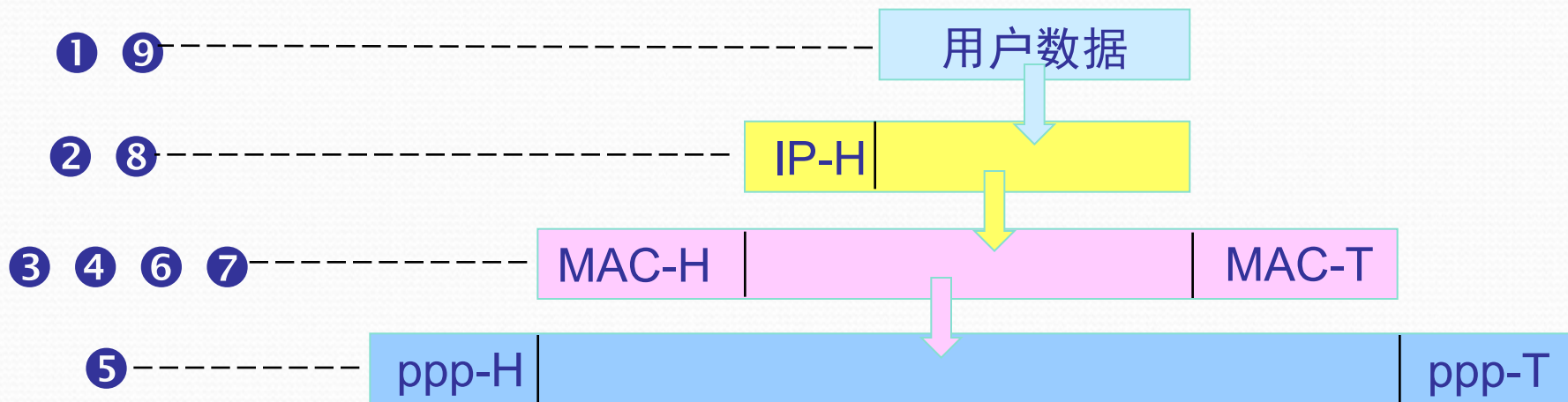
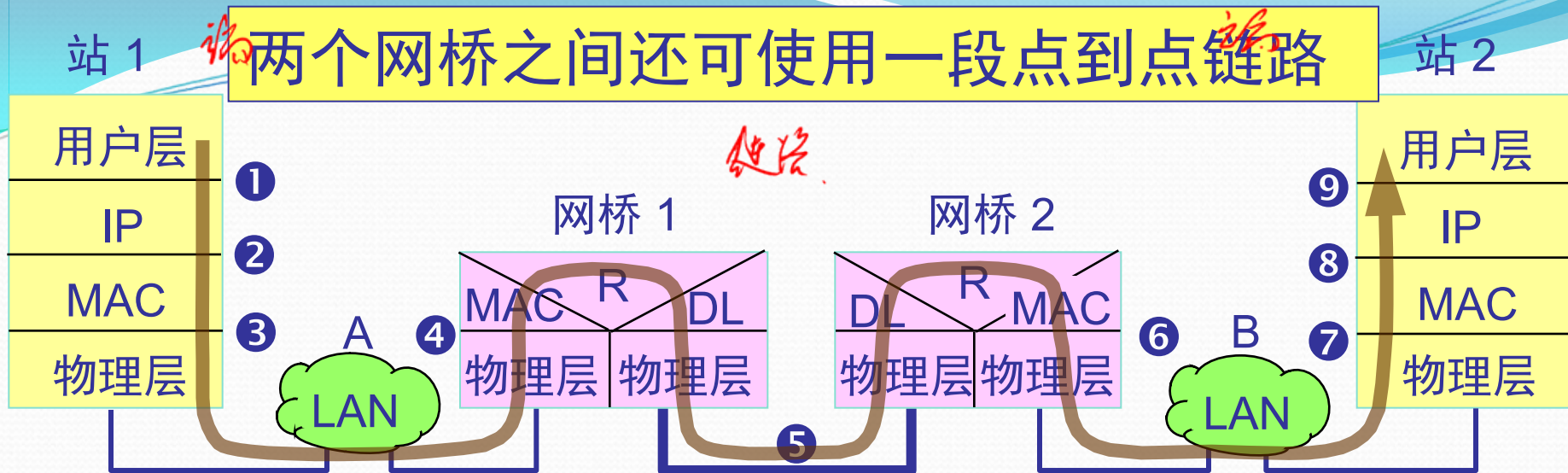
网桥使各网段成为 隔离开的碰撞域





使用网桥带来的缺点

- 存储转发增加了时延。
- 在MAC 子层并没有流量控制功能。
- 网桥只适合于用户数不太多(不超过几百个)和通信量不太大的局域网，否则有时还会因传播过多的广播信息而产生网络拥塞。这就是所谓的广播风暴。



网桥不改变它转发的帧的源地址



网桥和集线器（或转发器）不同

- 集线器在转发帧时，不对传输媒体进行检测。
- 网桥在转发帧之前必须执行 CSMA/CD 算法。
 - 若在发送过程中出现碰撞，就必须停止发送和进行退避。



2. 透明网桥

路由器

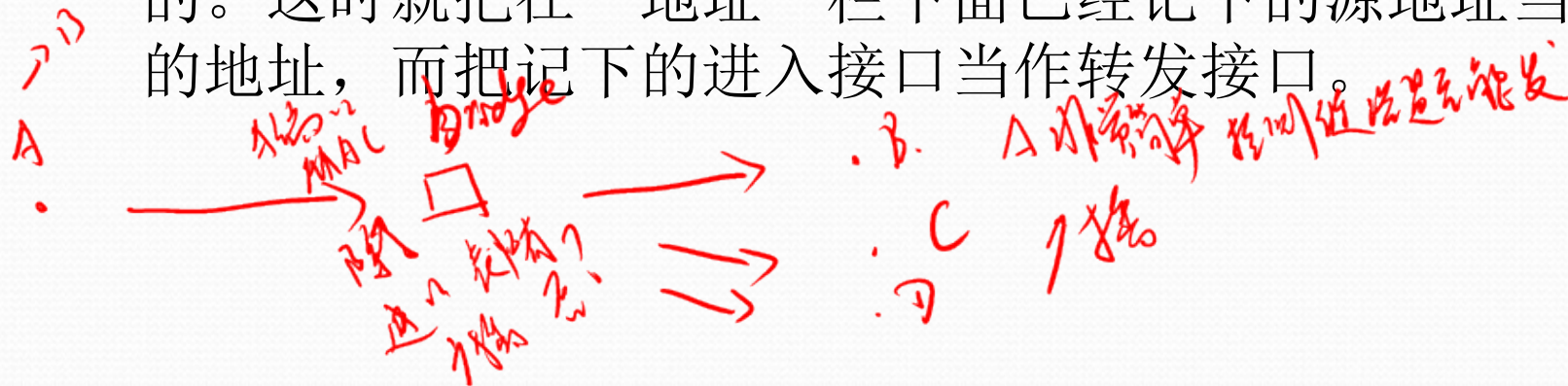
集线器是透明吗？

- 目前使用得最多的网桥是透明网桥(transparent bridge)。
- “透明”是指局域网上的站点并不知道所发送的帧将经过哪几个网桥，因为网桥对各站来说是看不见的。
- 透明网桥是一种即插即用设备，其标准是 IEEE 802.1D。

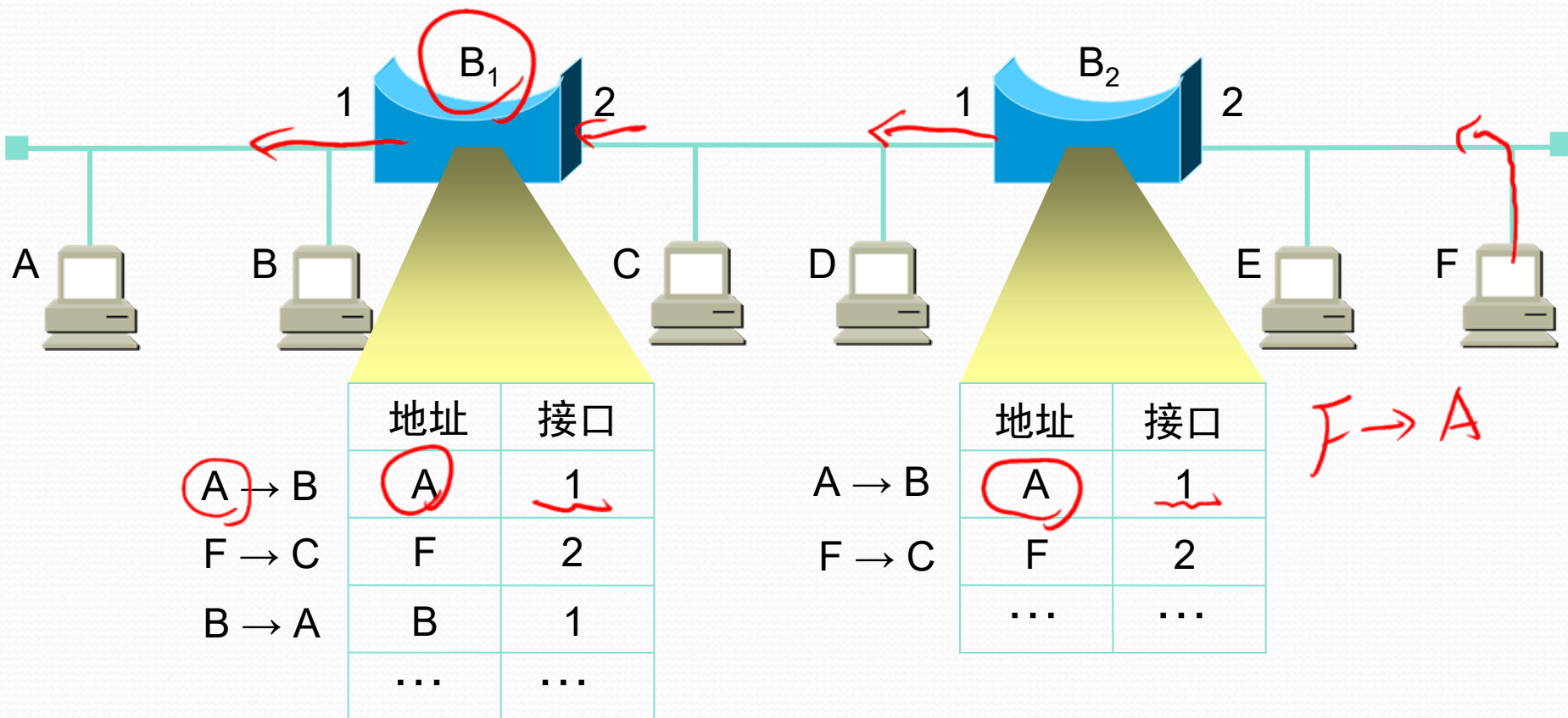


网桥应当按照以下自学习算法 处理收到的帧和建立转发表

- 若从 A 发出的帧从接口 x 进入了某网桥，那么从这个接口出发沿相反方向一定可把一个帧传送到 A。
- 网桥每收到一个帧，就记下其源地址和进入网桥的接口，作为转发表中的一个项目。
- 在建立转发表时是把帧首部中的源地址写在“地址”这一栏的下面。
- 在转发帧时，则是根据收到的帧首部中的目的地址来转发的。这时就把在“地址”栏下面已经记下的源地址当作目的地址，而把记下的进入接口当作转发接口。



转发表的建立过程举例





网桥在转发表中 登记以下三个信息

- 在网桥的转发表中写入的信息除了地址和接口外，还有帧进入该网桥的时间。
- 这是因为以太网的拓扑可能经常会发生变化，站点也可能会更换适配器（这就改变了站点的地址）。另外，以太网上的工作站并非总是接通电源的。
- 把每个帧到达网桥的时间登记下来，就可以在转发表中只保留网络拓扑的最新状态信息。这样就使得网桥中的转发表能反映当前网络的最新拓扑状态。

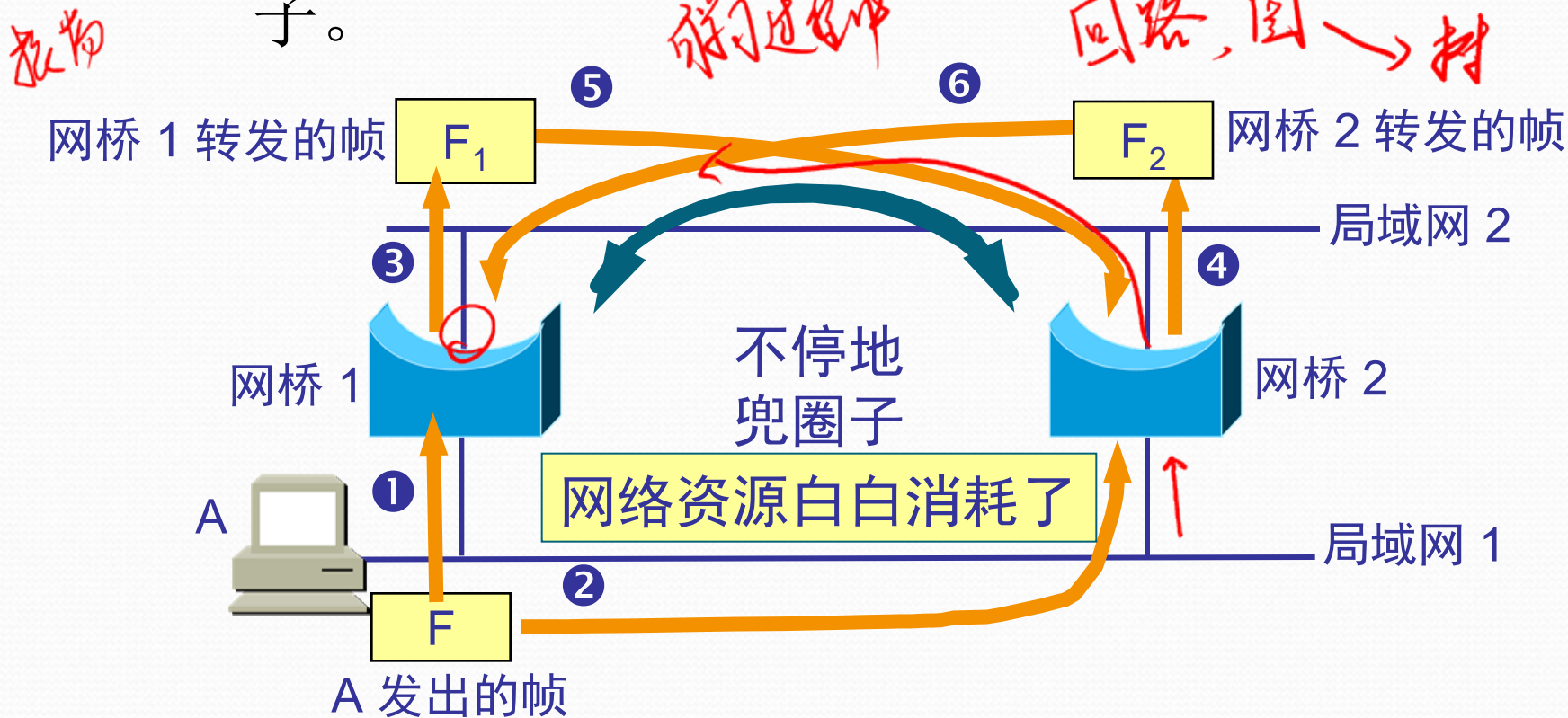


网桥的自学习和转发帧 的步骤归纳

- 网桥收到一帧后先进行**自学习**。查找转发表中与收到帧的源地址有无相匹配的项目。如没有，就在转发表中增加一个项目（源地址、进入的接口和时间）。如有，则把原有的项目进行更新。
- **转发帧**。查找转发表中与收到帧的目的地址有无相匹配的项目。
 - 如没有，则通过所有其他接口（但进入网桥的接口除外）进行转发。
 - 如有，则按转发表中给出的接口进行转发。
 - 若转发表中给出的接口就是该帧进入网桥的接口，则应丢弃这个帧（因为这时不需要经过网桥进行转发）。

透明网桥使用了生成树算法

- 这是为了避免转发的帧在网络中不断地兜圈子。





生成树的得出 ~~spanning tree~~

- 互连在一起的网桥在进行彼此通信后，就能找出原来的网络拓扑的一个子集。在这个子集里，整个连通的网络中不存在回路，即在任何两个站之间只有一条路径。
- 避免产生转发的帧在网络中不断地兜圈子。
- 为了得出能够反映网络拓扑发生变化时的生成树，在生成树上的根网桥每隔一段时间还要对生成树的拓扑进行更新。



源路由网桥

- 透明网桥容易安装，但网络资源的利用不充分。
- 源路由 (source route) 网桥在发送帧时将详细的路由信息放在帧的首部中。
- 源站以广播方式向欲通信的目的站发送一个发现帧，每个发现帧都记录所经过的路由。
- 发现帧到达目的站时就沿各自的路由返回源站。源站在得知这些路由后，从所有可能的路由中选择一个最佳路由。凡从该源站向该目的站发送的帧的首部，都必须携带源站所确定的这一路由信息。



多接口网桥——以太网交换机

- 1990 年问世的~~交换式集线器~~(switching hub), 可明显地提高局域网的性能。
- 交换式集线器常称为以太网交换机(switch)或第二层交换机（表明此交换机工作在数据链路层）。
- 以太网交换机通常都有十几个接口。因此，以太网交换机实质上就是一个多接口的网桥，可见交换机工作在数据链路层。



以太网交换机的特点

网络的一个端口

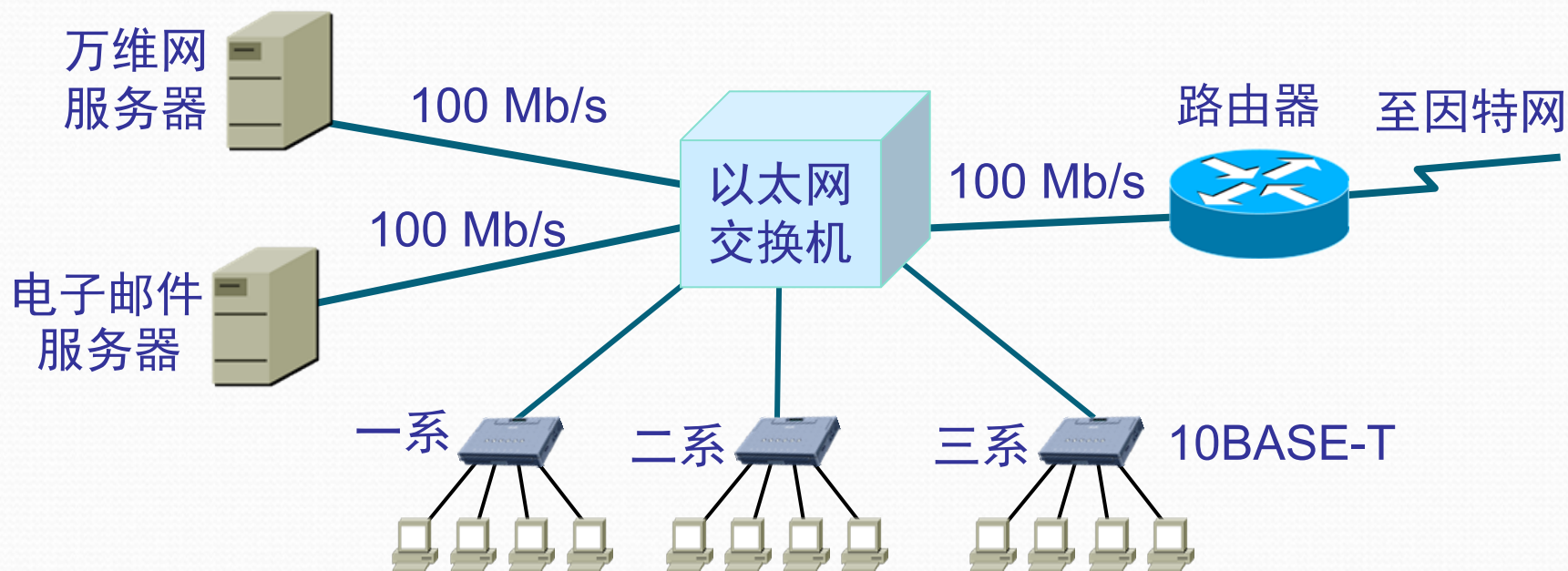
- 以太网交换机的每个接口都直接与主机相连，并且一般都工作在全双工方式。
- 交换机能同时连通许多对的接口，使每一对相互通信的主机都能像独占通信媒体那样，进行无碰撞地传输数据。
- 以太网交换机由于使用了专用的交换结构芯片，其交换速率就较高。



独占传输媒体的带宽

- 对于普通 10 Mb/s 的共享式以太网，若共有 N 个用户，则每个用户占有的平均带宽只有总带宽(10 Mb/s)的 N 分之一。
- 使用以太网交换机时，虽然在每个接口到主机的带宽还是 10 Mb/s，但由于一个用户在通信时是独占而不是和其他网络用户共享传输媒体的带宽，因此对于拥有 N 对接口的交换机的总容量为 $N \times 10$ Mb/s。这正是交换机的最大优点。

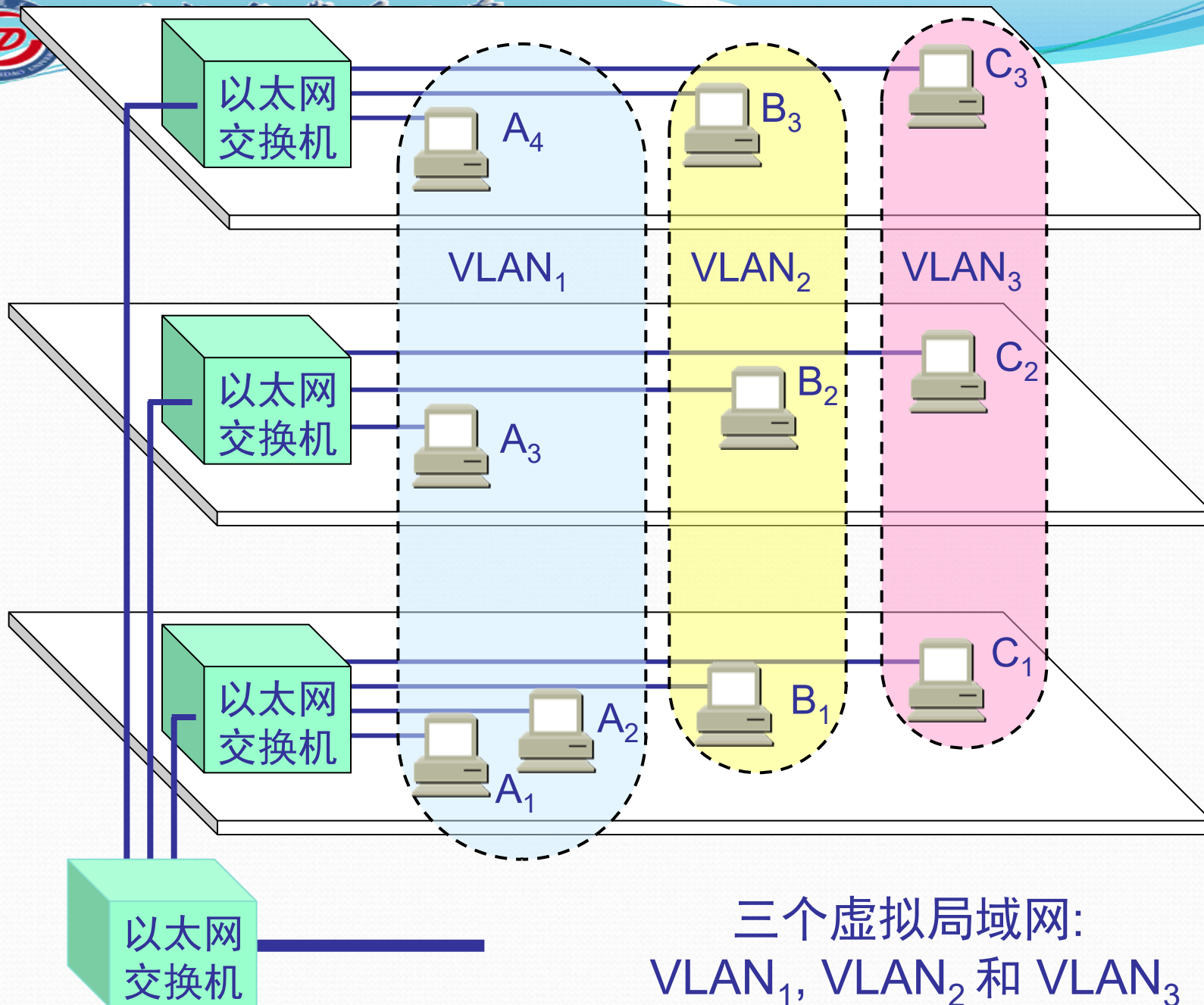
用以太网交换机扩展局域网

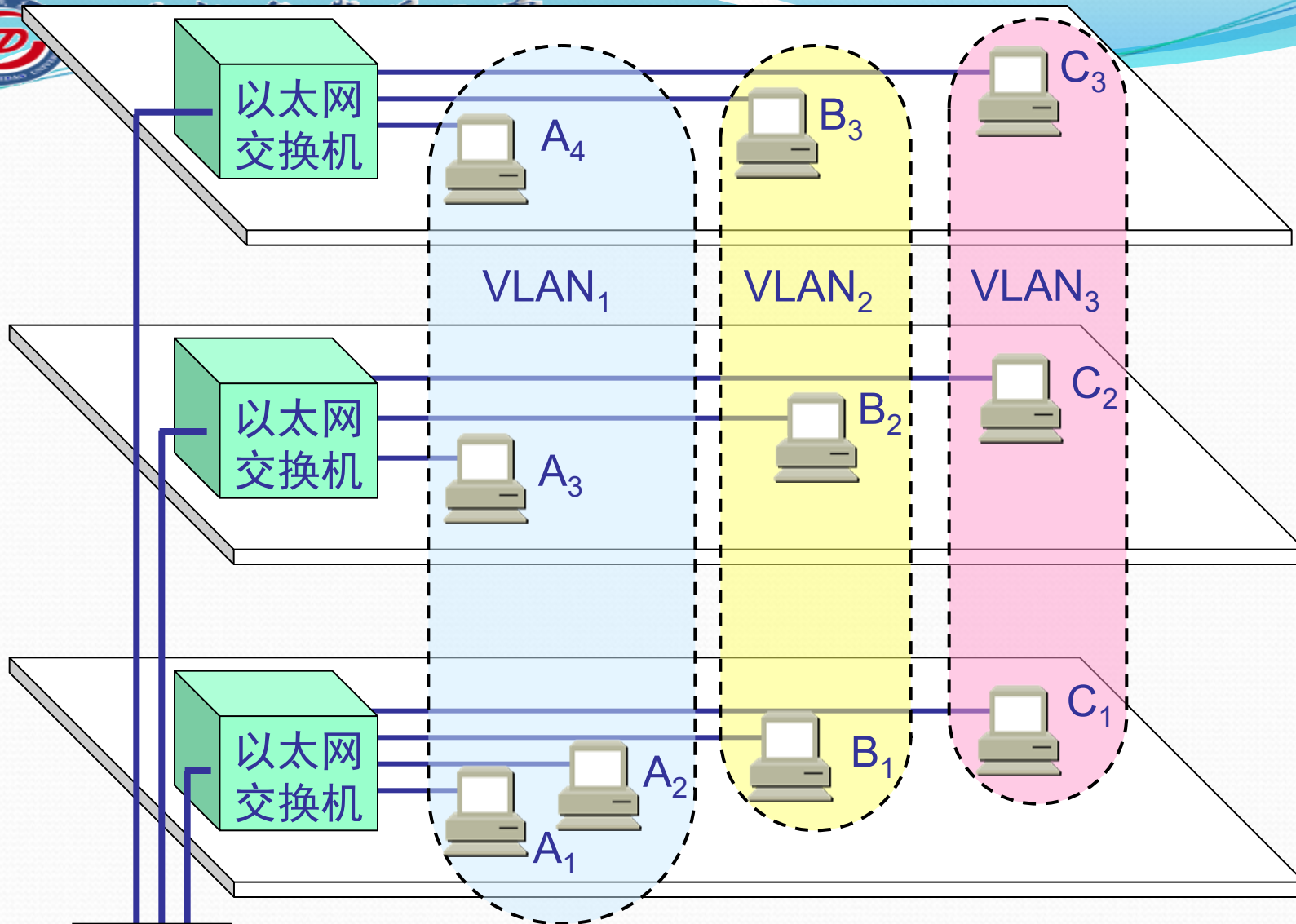




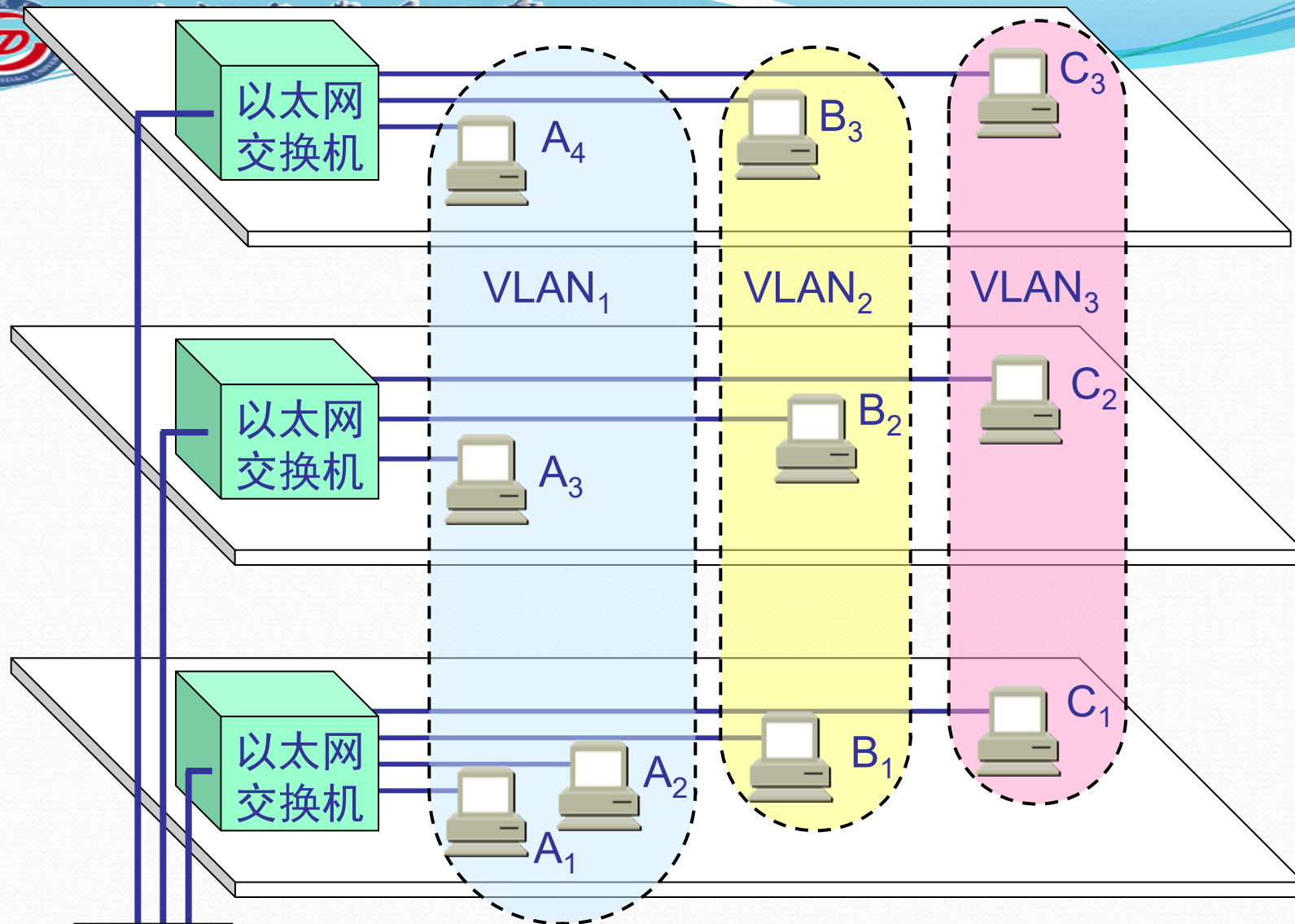
利用以太网交换机可以很方便地 实现虚拟局域网

- **虚拟局域网 VLAN** 是由一些局域网网段构成的与物理位置无关的逻辑组。
 - 这些网段具有某些共同的需求。
 - 每一个 VLAN 的帧都有一个明确的标识符，指明发送这个帧的工作站是属于哪一个 VLAN。
- 虚拟局域网其实只是局域网给用户提供服务的一种服务，而并不是一种新型局域网。

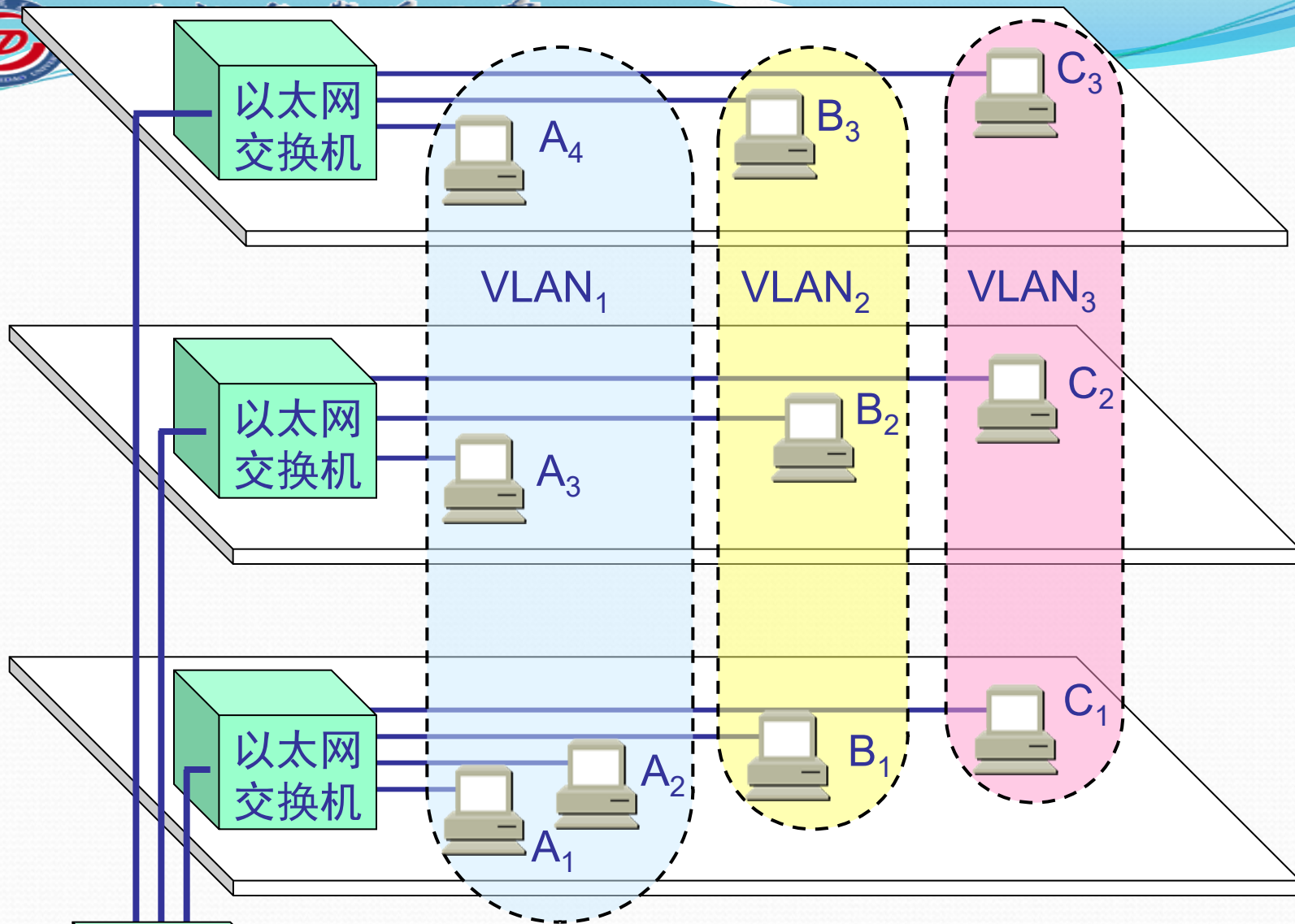




当 B₁ 向 VLAN₂ 工作组内成员发送数据时，
工作站 B₂ 和 B₃ 将会收到广播的信息。



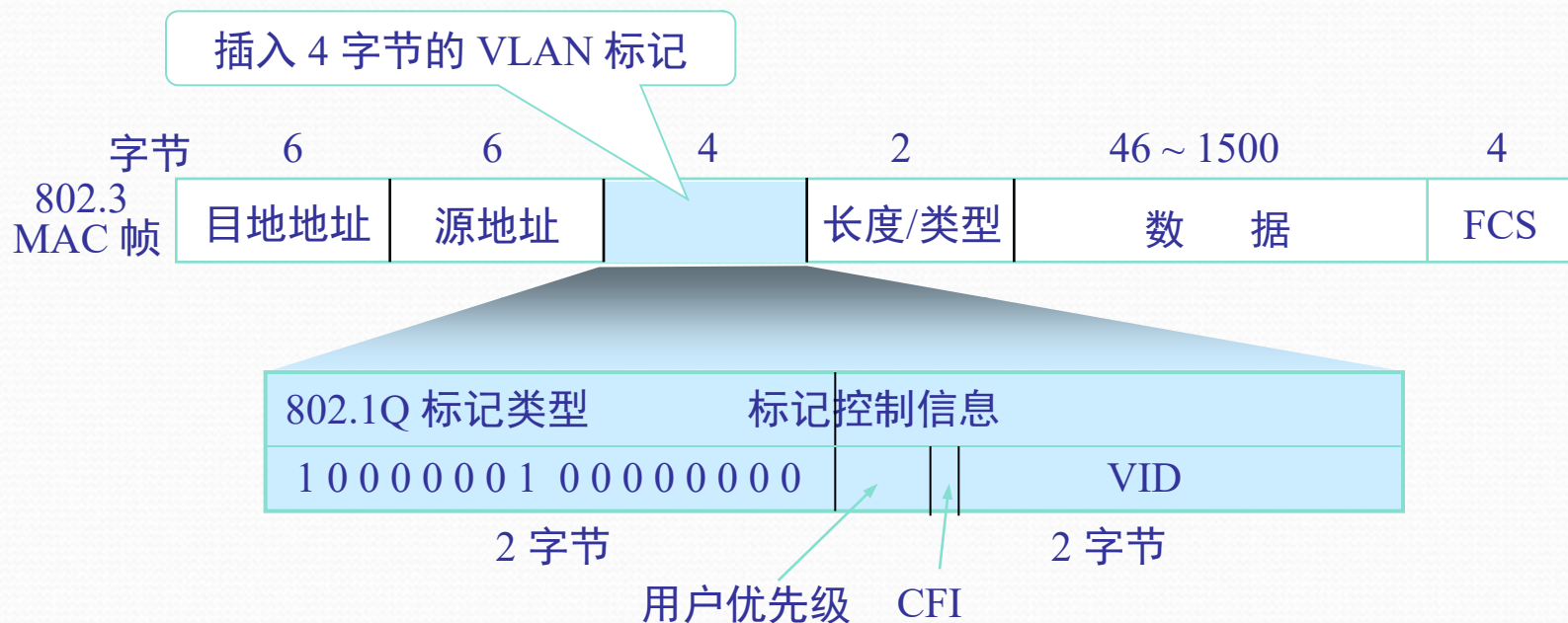
B₁ 发送数据时，工作站 A₁, A₂ 和 C₁ 都不会收到 B₁ 发出的广播信息。



虚拟局域网限制了接收广播信息的工作站数，使得网络不会因传播过多的广播信息（即“广播风暴”）而引起性能恶化。

虚拟局域网使用的 以太网帧格式

- 虚拟局域网协议允许在以太网的帧格式中插入一个 4 字节的标识符，称为 VLAN 标记(tag)，用来指明发送该帧的工作站属于哪一个虚拟局域网。



本讲总结

◆以太网拓扑、信道利用率、MAC层及帧

◆扩展的以太网

物理层扩展—集线器

数据链路层---网桥及交换机



作业

- 3-28、3-32