



西北師範大學
NORTHWEST NORMAL UNIVERSITY

计算机网络

第三章 数据链路层 (4)

陈旺虎

chenwh@nwnu.edu.cn



第 3 章 数据链路层

3.1 使用点对点信道的数据链路层

3.2 点对点协议 PPP

3.3 使用广播信道的数据链路层

3.4 使用广播信道的以太网

3.5 扩展的以太网

3.6 高速以太网

3.7 其他类型的高速局域网接口

Review



- PPP协议
- 广播信道
- 局域网拓扑结构
- 媒体共享方法
 - ▣ 静态划分信道
 - ▣ 动态媒体介入控制 (Multiple Access)
 - 随机接入
 - 受控接入
- CSMA/CD

3.4.3 以太网的 MAC 层

- MAC层的硬件地址

- ▣ 在局域网中，**硬件地址**又称**物理地址**，或**MAC地址**。
- ▣ 802标准所说的“地址”严格地讲应当是每一个站的“**名字**”或**标识符**。
- ▣ 48位的MAC地址 **00-e0-fc-00-00-06**
 - IEEE 的注册管理机构 RA 负责向厂家分配地址字段的前三个字节(即高位 24 位)。地址字段中的后三个字节(即低位 24 位)由厂家自行指派，称为**扩展标识符**。
 - 一个地址块可以生成 2^{24} 个不同的地址。
 - MAC-48的通用名称是EUI-48（扩展的唯一标识符）。

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，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）

MAC地址分类

- 单播地址：

第一字节最低位为0

如：00-e0-fc-00-00-06

- 多播地址

第一字节最低位为1

如：01-e0-fc-00-00-06

- 广播地址

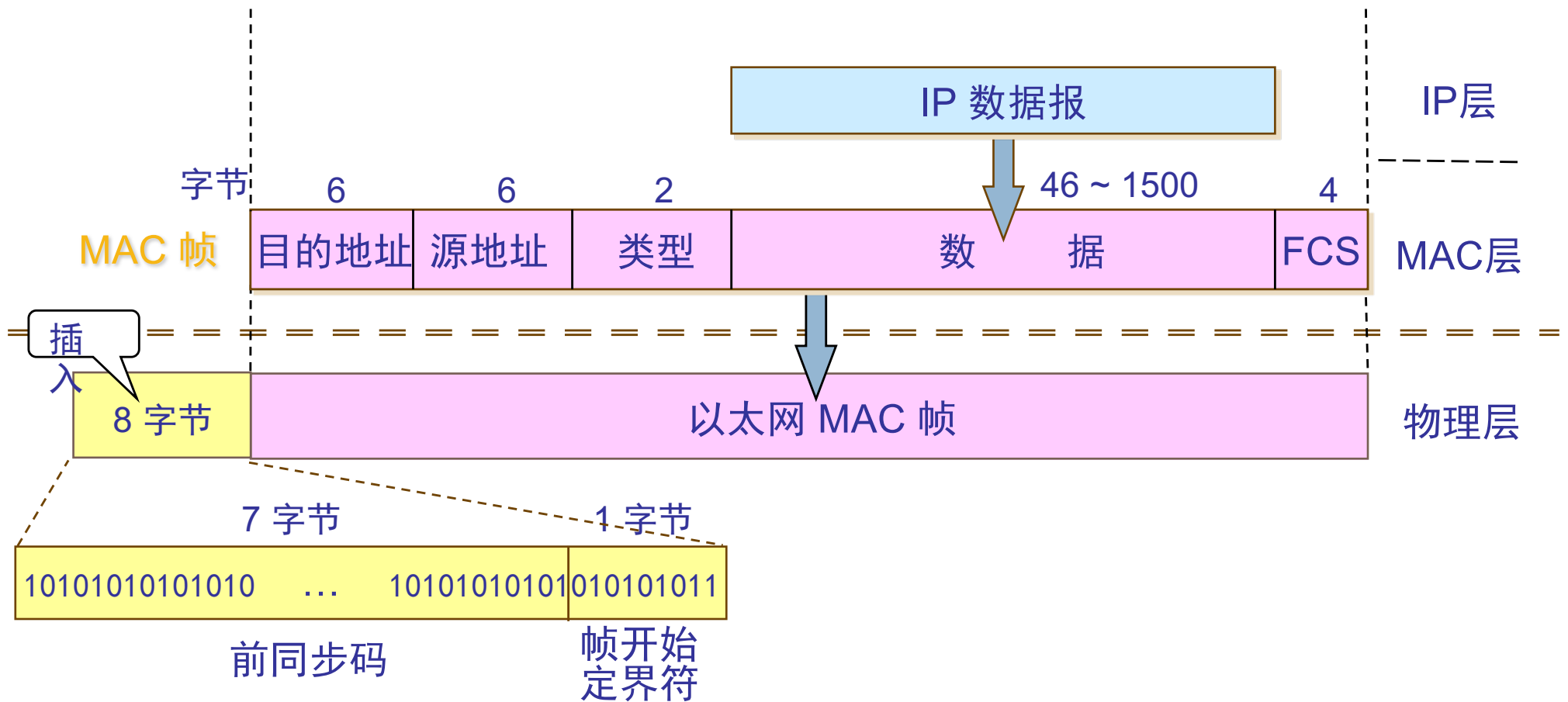
48 位全1

ff-ff-ff-ff-ff-ff

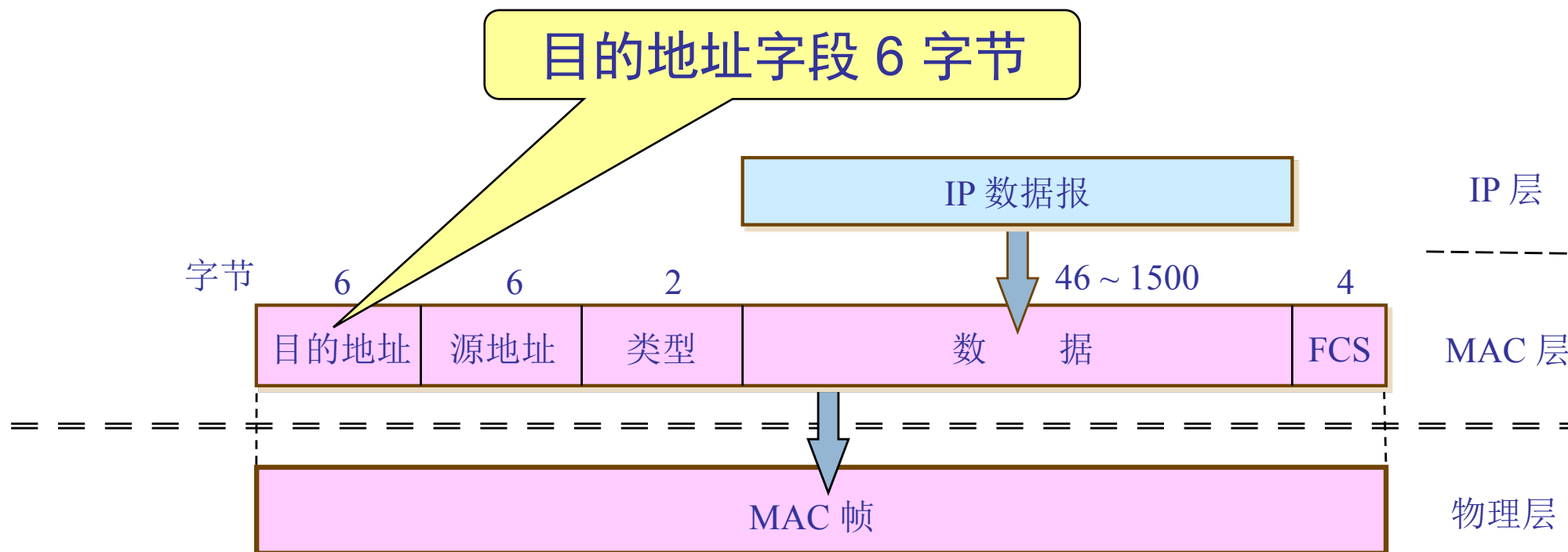
MAC帧的格式

- 常用的以太网MAC帧格式有两种标准：
 - ▣ DIX Ethernet V2 标准
 - ▣ IEEE 的 802.3 标准
- 最常用的 MAC 帧是以太网 v2 的格式。

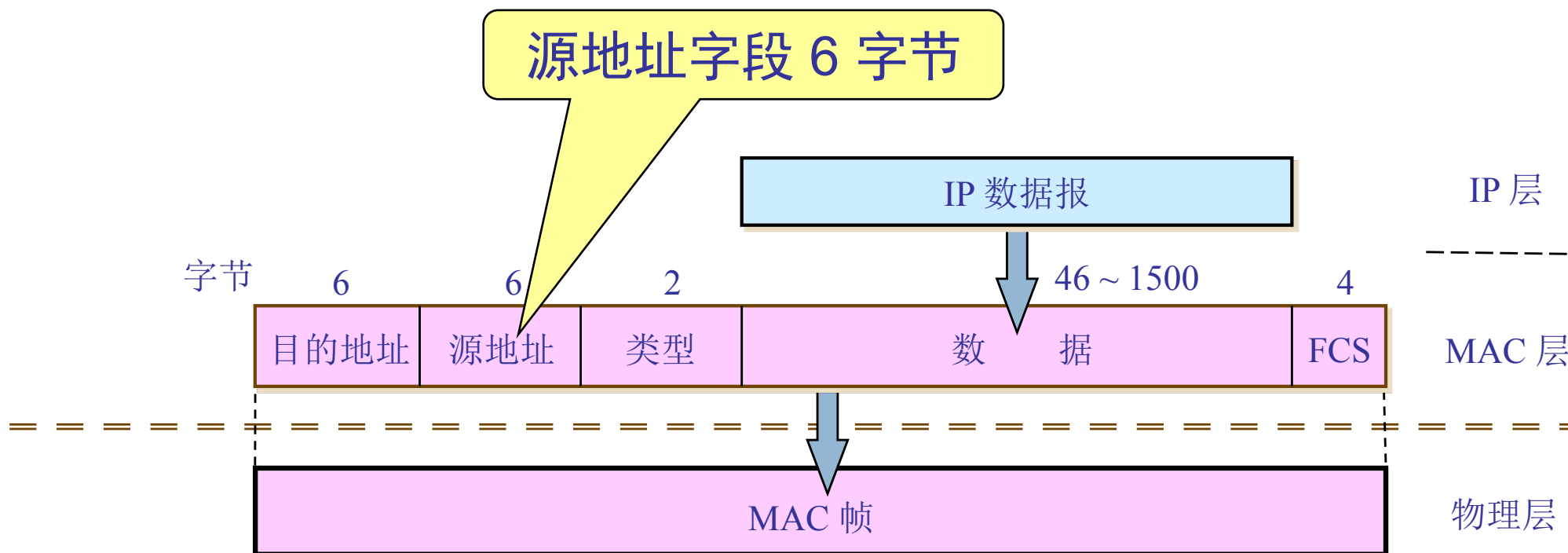
以太网的 MAC 帧格式



以太网 V2 的 MAC 帧格式

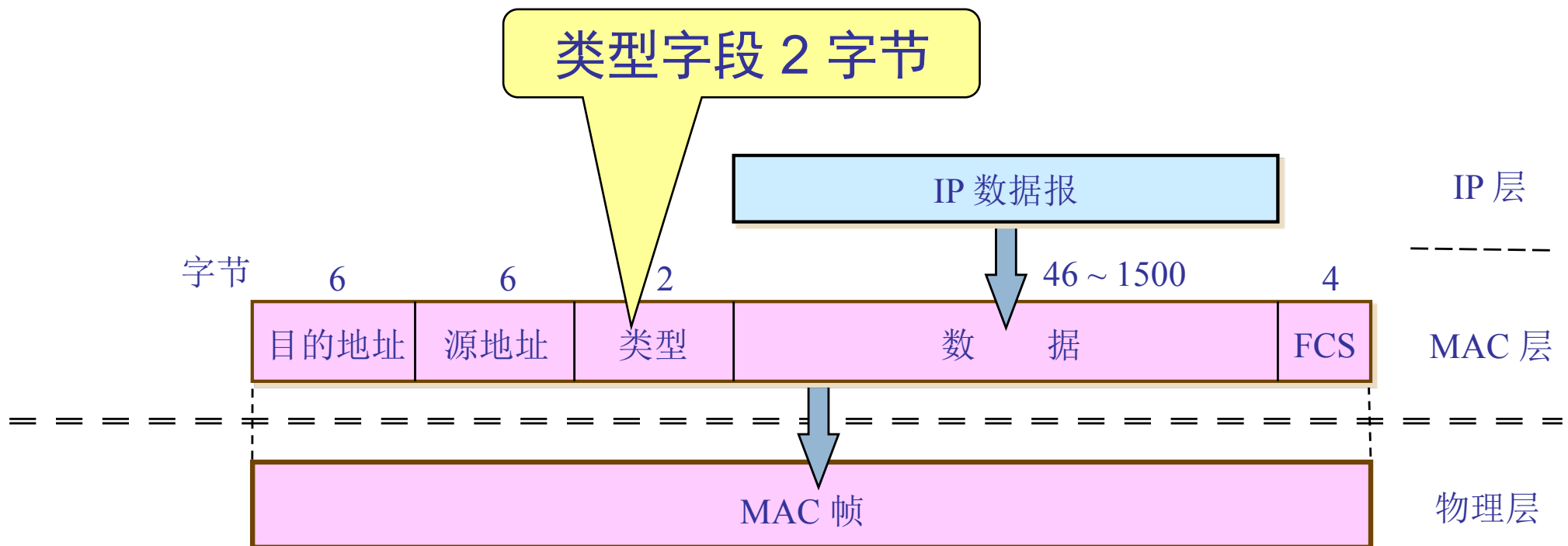


以太网 V2 的 MAC 帧格式



以太网 V2 的 MAC 帧格式

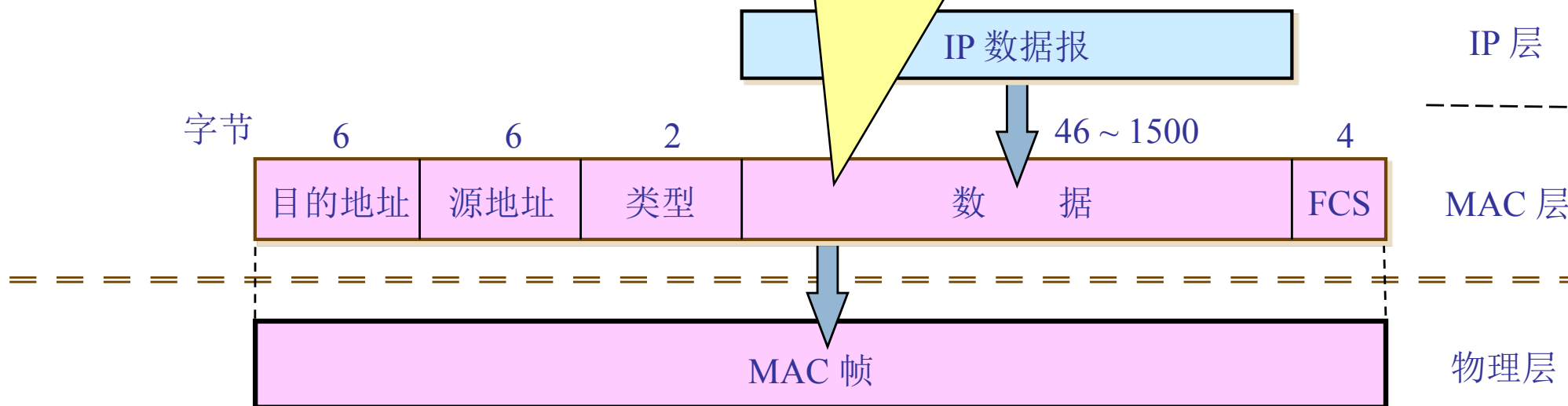
标志上一层使用的是什麼协议，
以便把收到的 MAC 帧的数据上交给上一层的这个协议。



以太网 V2 的 MAC 帧格式

正式名称: MAC 客户数据字段
数据字段的最小长度?

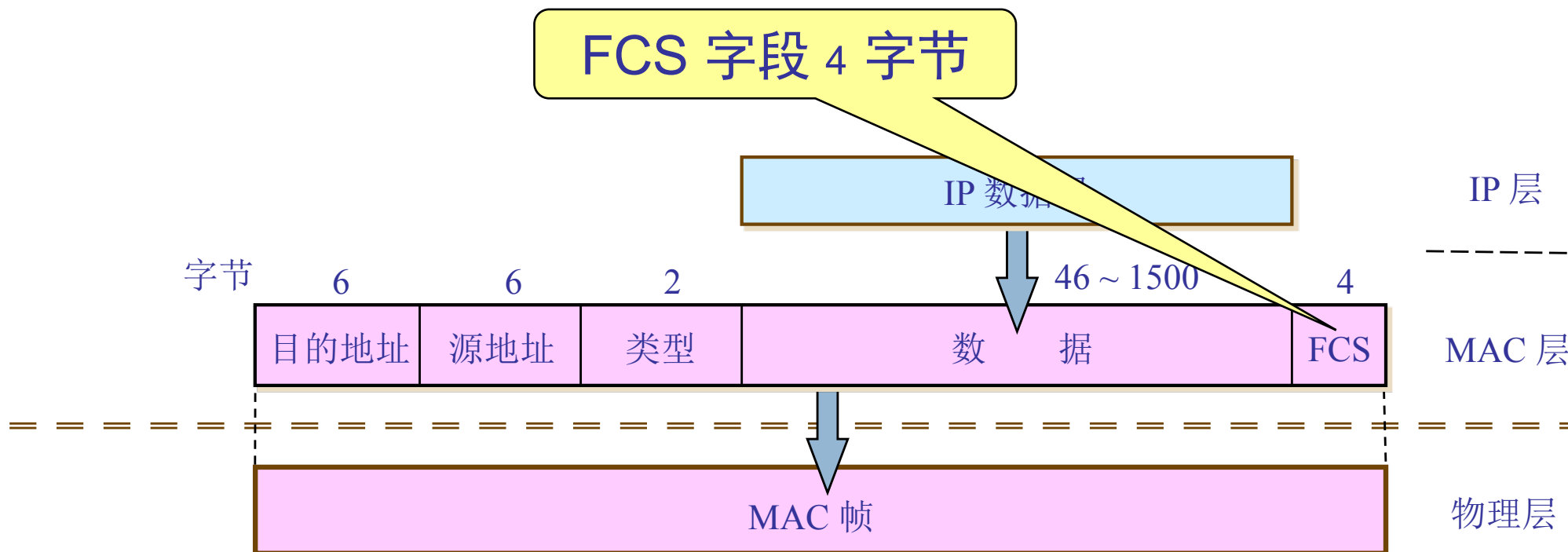
数据字段 46 ~ 1500 字节



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} 。

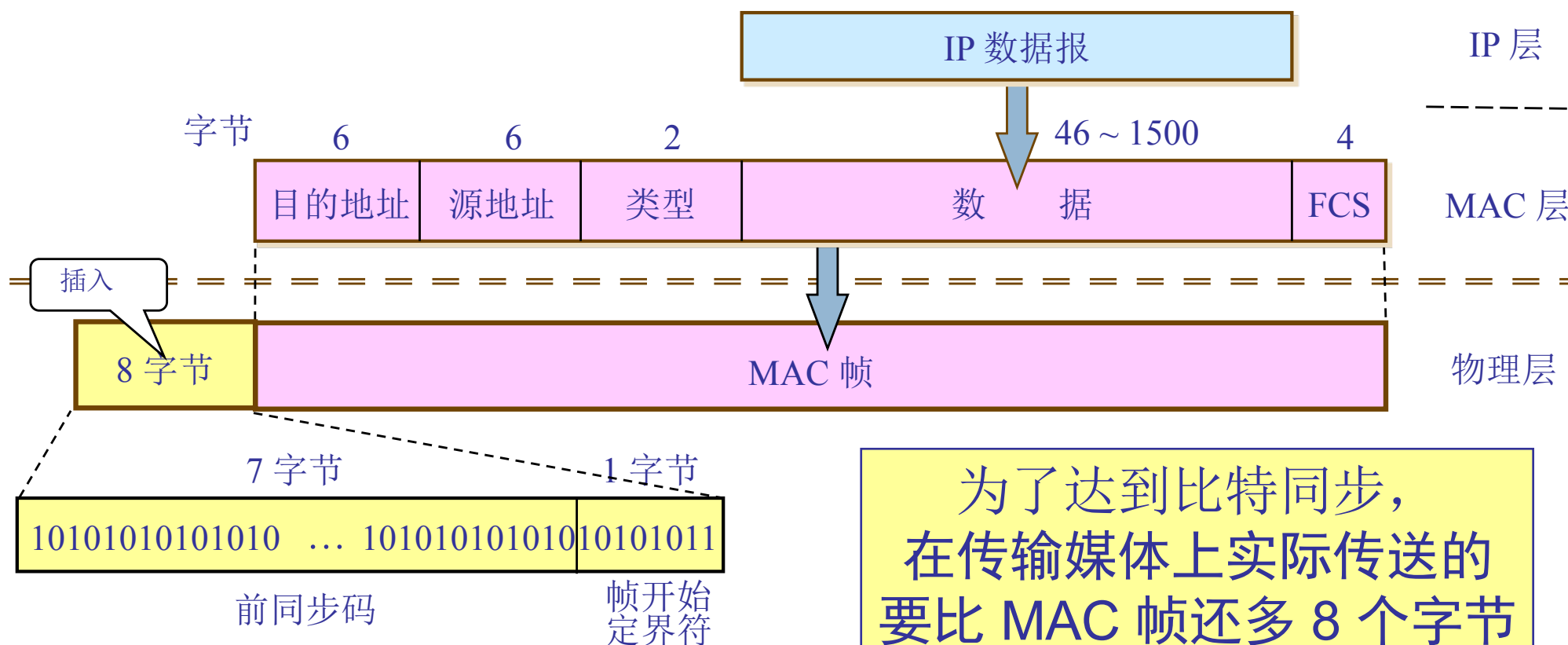
FCS 字段 4 字节



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

当一个站刚开始接收MAC帧时，由于适配器的时钟还未与到达的比特流同步，因此，其最前面的若干位可能无法接收，使其变为无效帧。因此，前同步码的作用是使接收端的适配器在接收MAC帧时，迅速调整其时钟频率，使其和发送端的时钟同步。



为了达到比特同步，
在传输媒体上实际传送的
要比 MAC 帧还多 8 个字节

无效的MAC帧

- 帧的长度不是整数个字节；
- 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。

3.5 扩展的局域网

3.5.1 在物理层扩展局域网

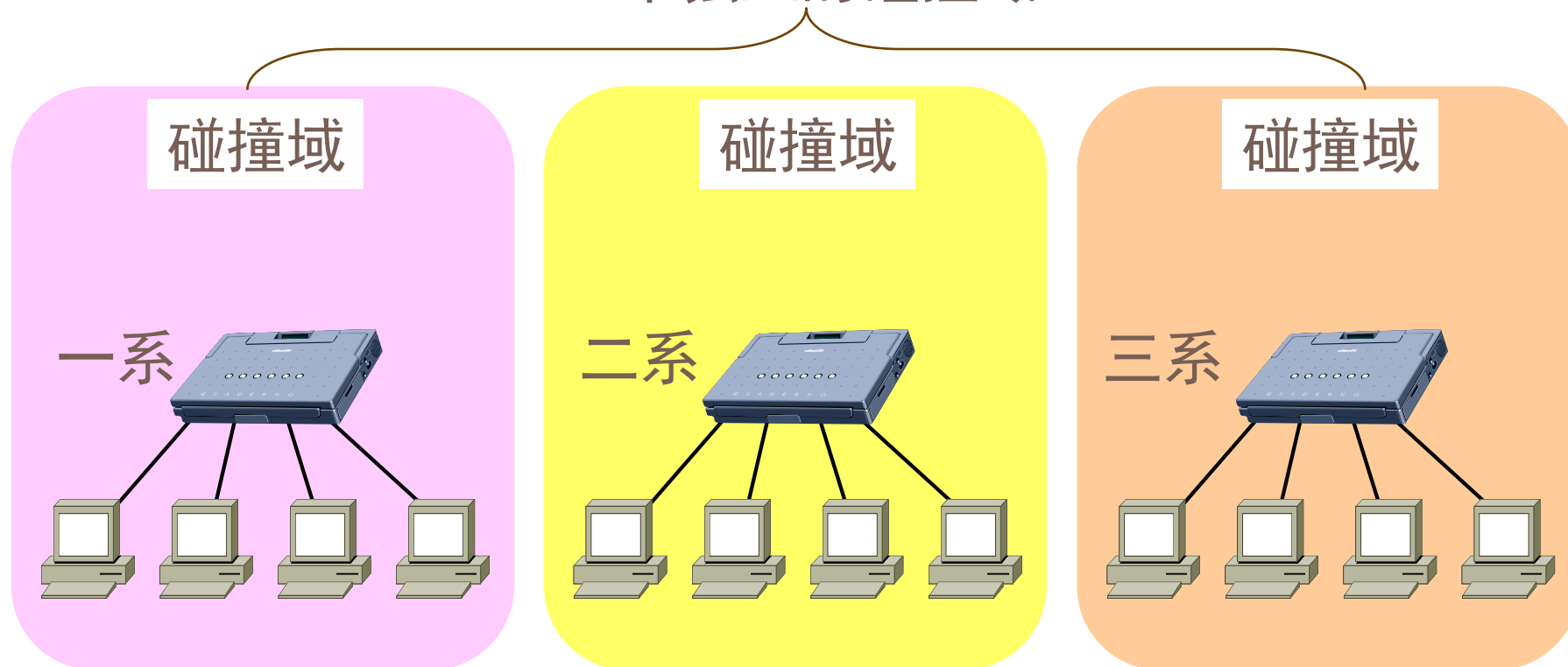
- 主机使用光纤和一对光纤调制解调器连接到集线器



用多个集线器可连成更大的局域网

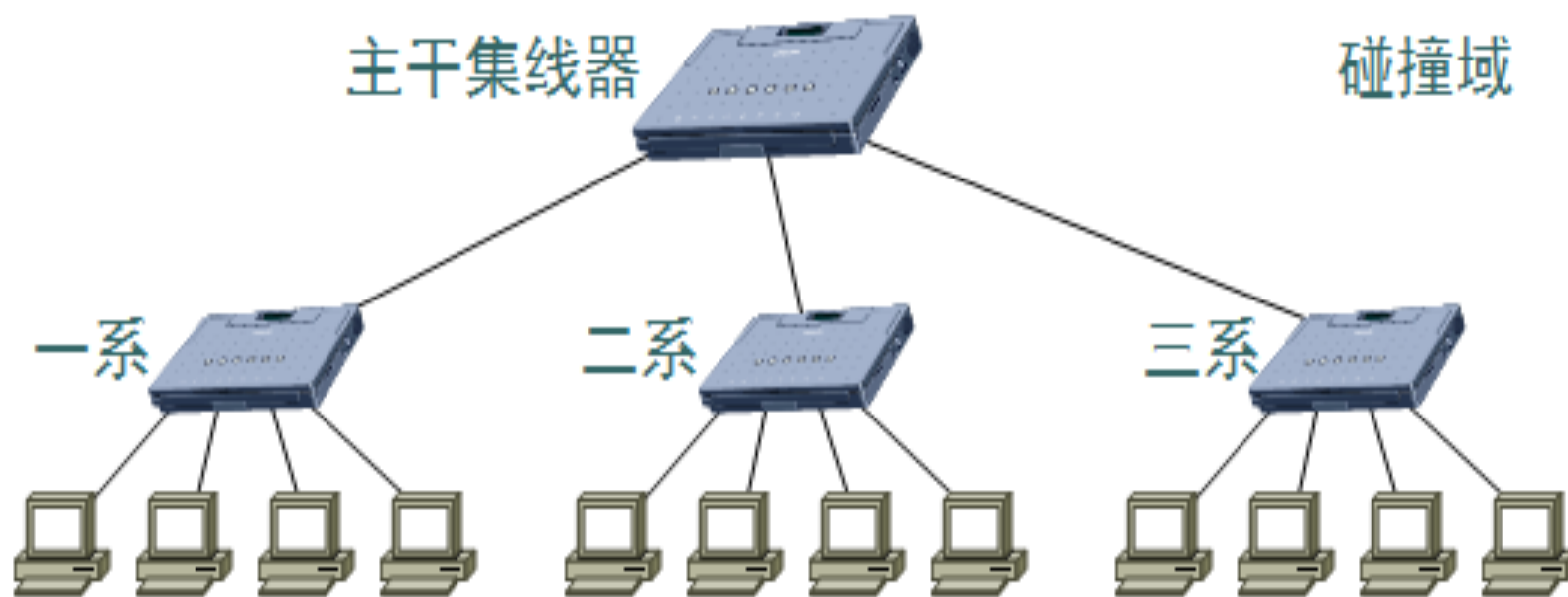
- 某大学有三个系，各自有一个局域网

三个独立的碰撞域



扩展的以太网

□ 物理层扩展以太网



- 使用集线器
- 总吞吐量没有增加

3.5.2 在数据链路层扩展以太网

□ 思考

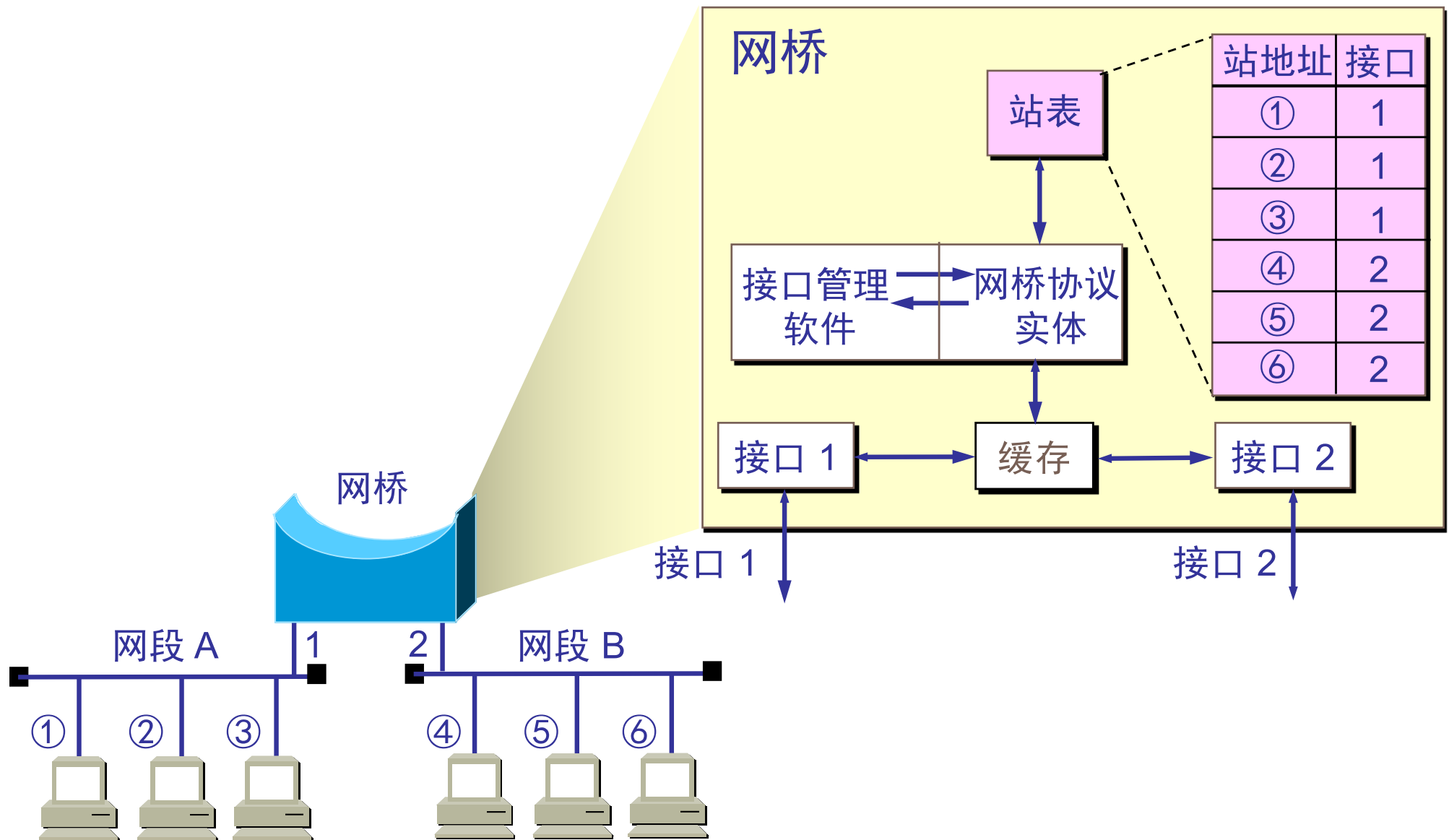
- 数据链路层的基本传输单元？
- 传统以太网的帧结构？
- 如何使数据帧到达另外一个碰撞域？

□ 帧的转发，使用设备网桥

网桥

- 工作在数据链路层，根据MAC帧的目的地址，对收到的帧进行转发；
- 具有过滤帧的功能
 - ▣ 收到一个帧时，并不是向所有的接口转发此帧，而根据帧的目的MAC地址确定将该帧转发到哪一个接口。
- 在数据链路层扩展局域网使用网桥。

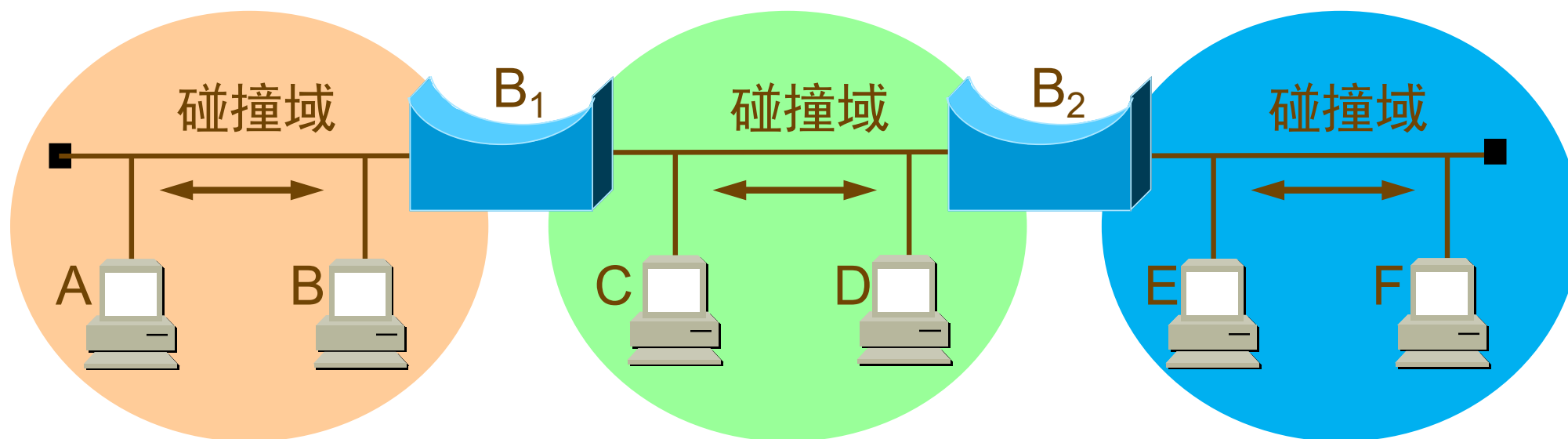
(1) 网桥的内部结构



使用网桥带来的好处

□ (1) 过滤通信量，增大吞吐量

▣ 原因：网桥使各网段成为隔离的碰撞域



使用网桥带来的好处

- (2) 扩大了物理范围
 - ▣ 增加了以太网上的站点的最大个数
- (3) 提高了可靠性
 - ▣ 故障一般只影响一个网段
- (4) 可互连不同物理层、不同 **MAC** 子层和不同速率的局域网

使用网桥带来的缺点

□ 1. 增加了时延

- ▣ 存储转发；CSMA/CD；网段可能具有不同的MAC子层

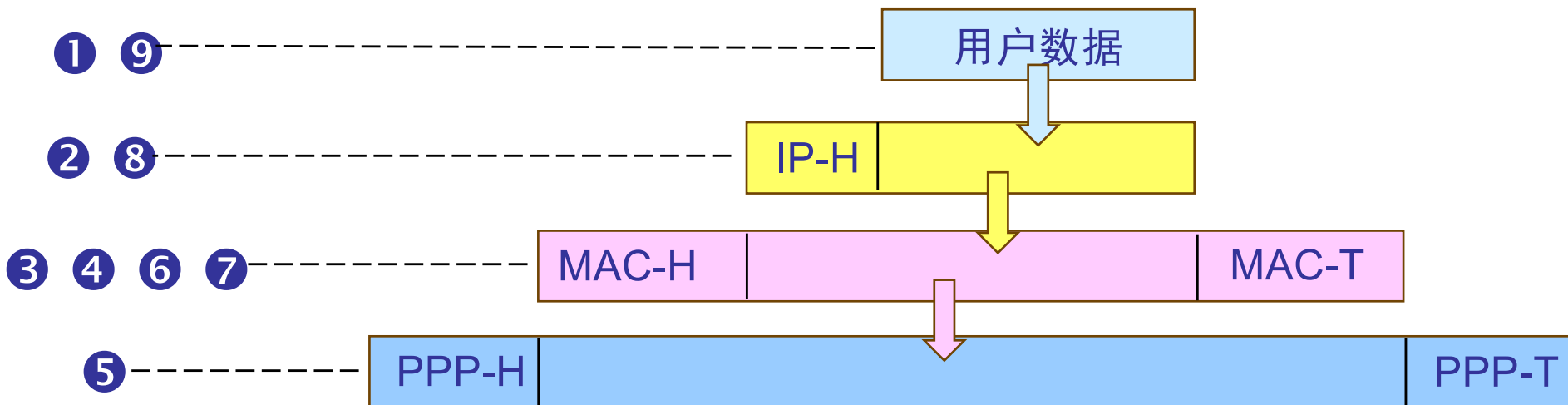
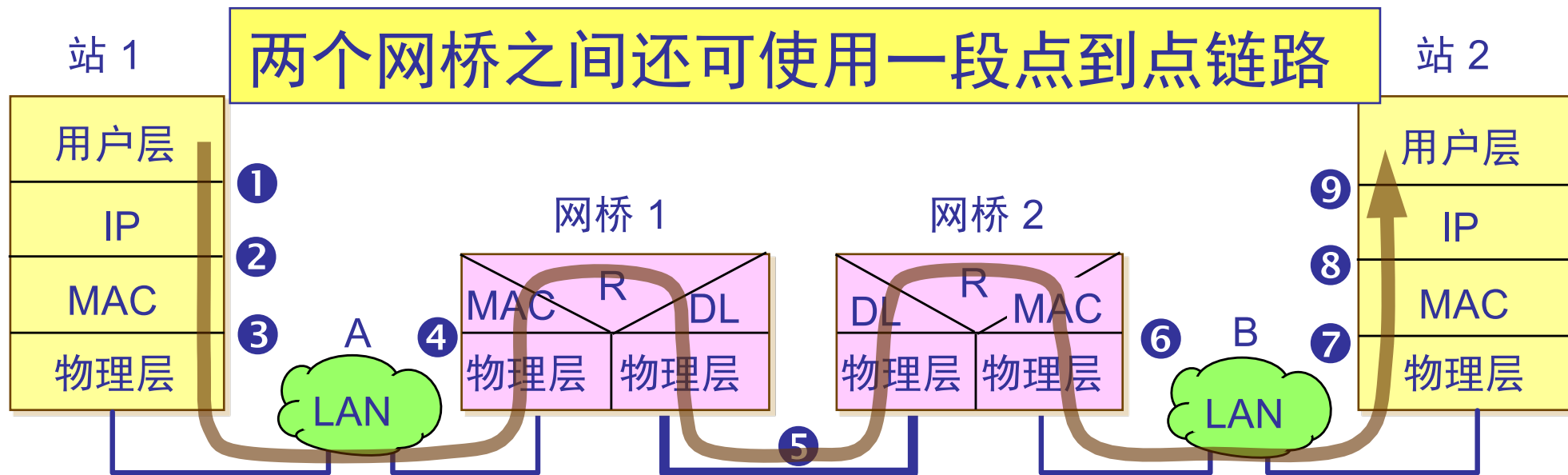
□ 2. 网络负荷过重时，缓存可能溢出，导致丢帧

- ▣ MAC子层并没有流量控制功能

□ 3. 可能产生广播风暴

- ▣ 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，有时会因传播过多的广播信息而产生网络拥塞

两个网桥之间还可使用一段点到点链路



网桥 & 集线器

□ 集线器

- ▣ 不对传输媒体进行检测

□ 网桥

- ▣ 在转发帧之前，必须执行 CSMA/CD
- ▣ 类似于网卡，但网桥上并无网卡
- ▣ 因此，网桥没有MAC地址，并不改变所转发帧的源地址

2. 透明网桥

- 目前使用得最多的网桥是透明网桥 (transparent bridge)。
- “透明”
 - ▣ 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；
- 即插即用设备，其标准是 IEEE 802.1D。

网桥执行三种重要的功能



- 丢弃错误帧：CRC检测；帧长错误
- 防止来自特定源地址的帧的泛滥（不转发、丢弃）：管理员输入指令完成

自学习算法：建立转发表

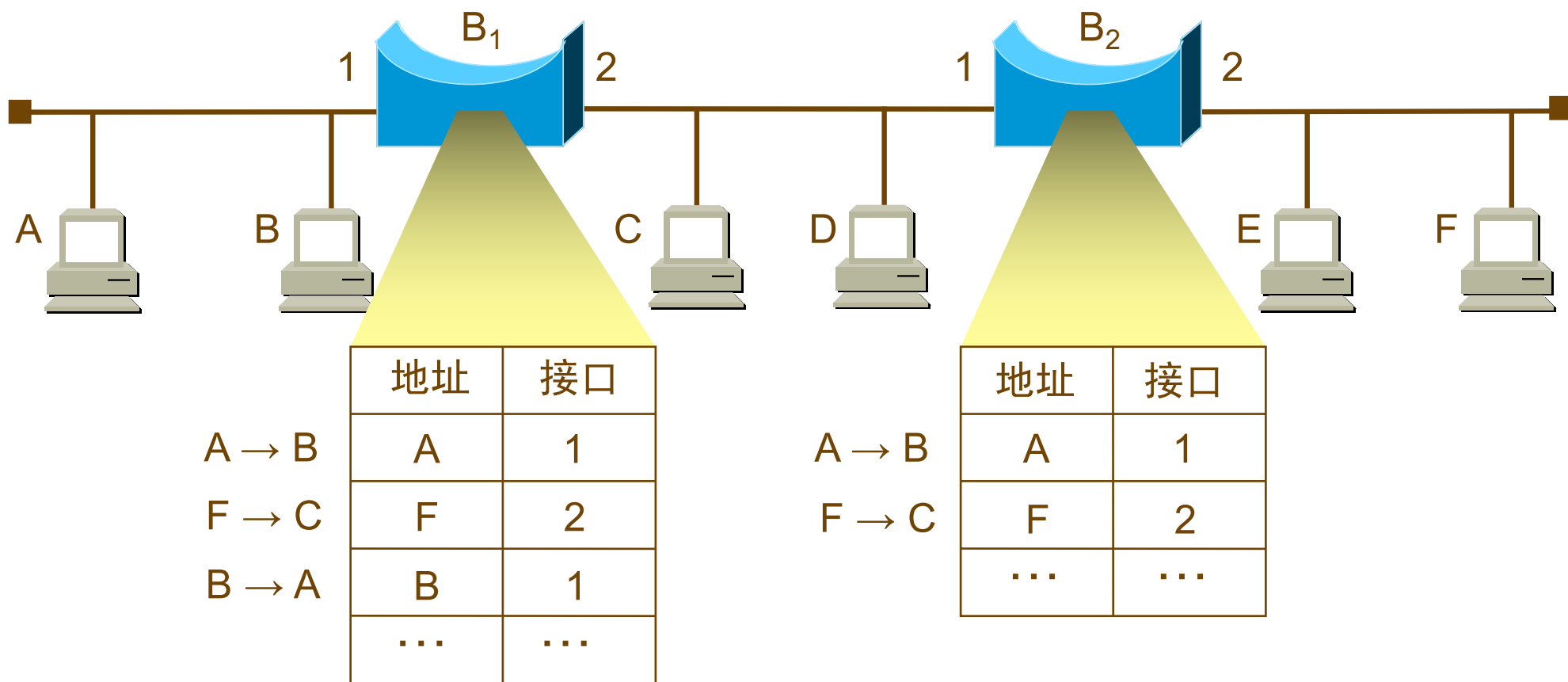
□ 依据规则

- ▣ 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。

□ 基本原理

- ▣ 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。
- ▣ 建立转发表时，帧首部的源地址作为“地址”栏；
- ▣ 在转发帧时，“地址”栏的地址当作目的地址，“接口”当作转发接口。

转发表的建立过程举例



网桥的自学习和转发帧的步骤

网桥收到一帧：

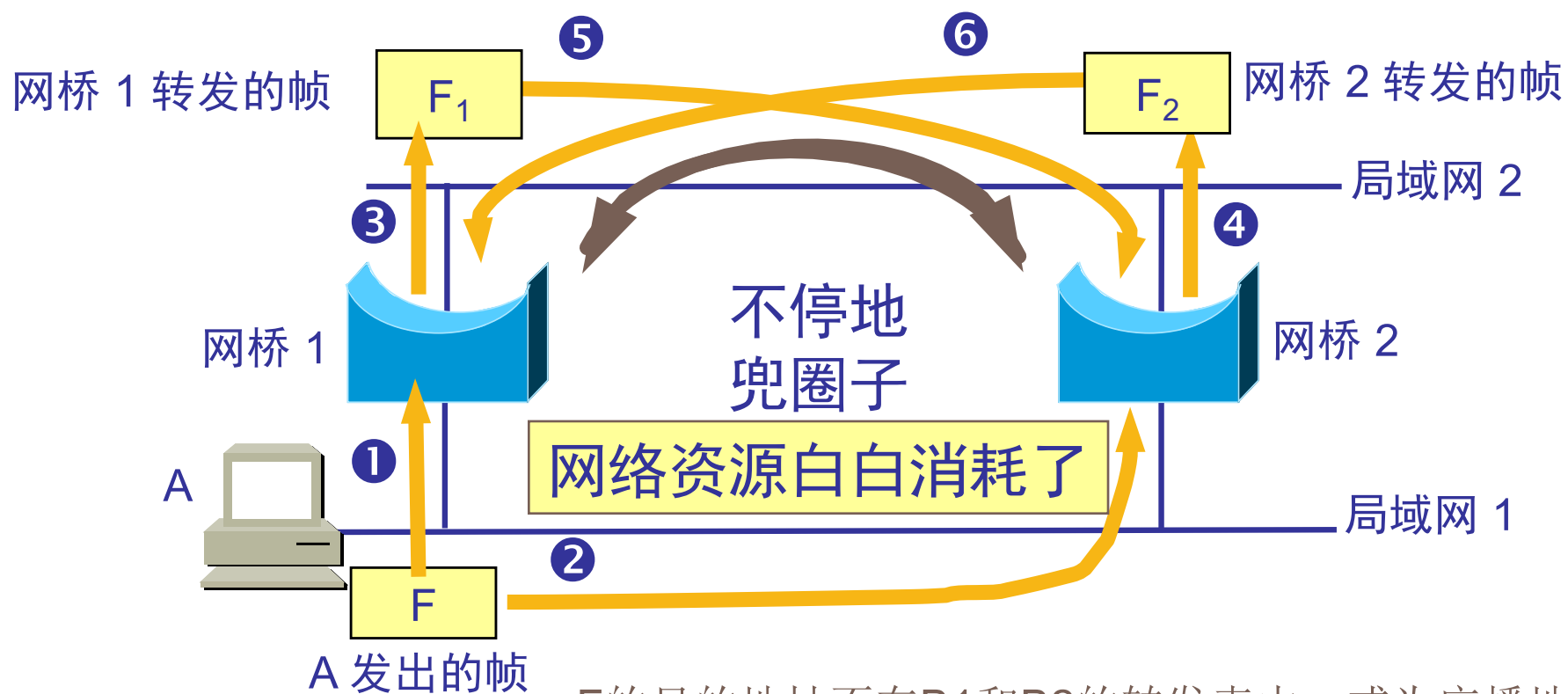
- 1. 自学习，查找转发表中与收到帧的源地址有无相匹配的项目。
 - ▣ 如没有，就在转发表中增加一个项目（源地址、进入的接口等）
 - ▣ 如有，则把原有的项目进行更新。
- 2. 转发帧，查找转发表中与收到帧的目的地址有无相匹配的项目。
 - ▣ 如没有，则通过所有其他接口（进入网桥的接口除外）进行转发。
 - ▣ 如有，则按转发表中给出的接口进行转发。
 - ▣ 若转发表中给出的接口就是该帧进入网桥的接口，则应丢弃这个帧（同一网段，不需要经过网桥转发）。

网桥在转发表中登记以下三个信息

- 转发表中除地址和接口外，还需记录每个帧进入网桥的时间。
- 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（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。
- 记录每个帧到达网桥的时间，可在转发表中只保留网络拓扑的最新状态信息，使网桥的转发表能反映网络的最新拓扑状态。

透明网桥使用了生成树算法

- 避免产生转发的帧在网络中不断地兜圈子



F的目的地址不在B1和B2的转发表中，或为广播地址

生成树的得出

- 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。
 - ▣ 为了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。

网桥的安全性

- 网桥的过滤能力意味着网桥具有一定的安全功能。
 - ▣ 通过设置转发表，可让指定MAC地址的网卡只能连接到特定接口，提供一定的安全性
 - ▣ 防止指定源的帧泛滥。

3. 源路由网桥

- 透明网桥的缺点：

- 网络资源的利用不充分： 负载均衡？ 最佳路由？

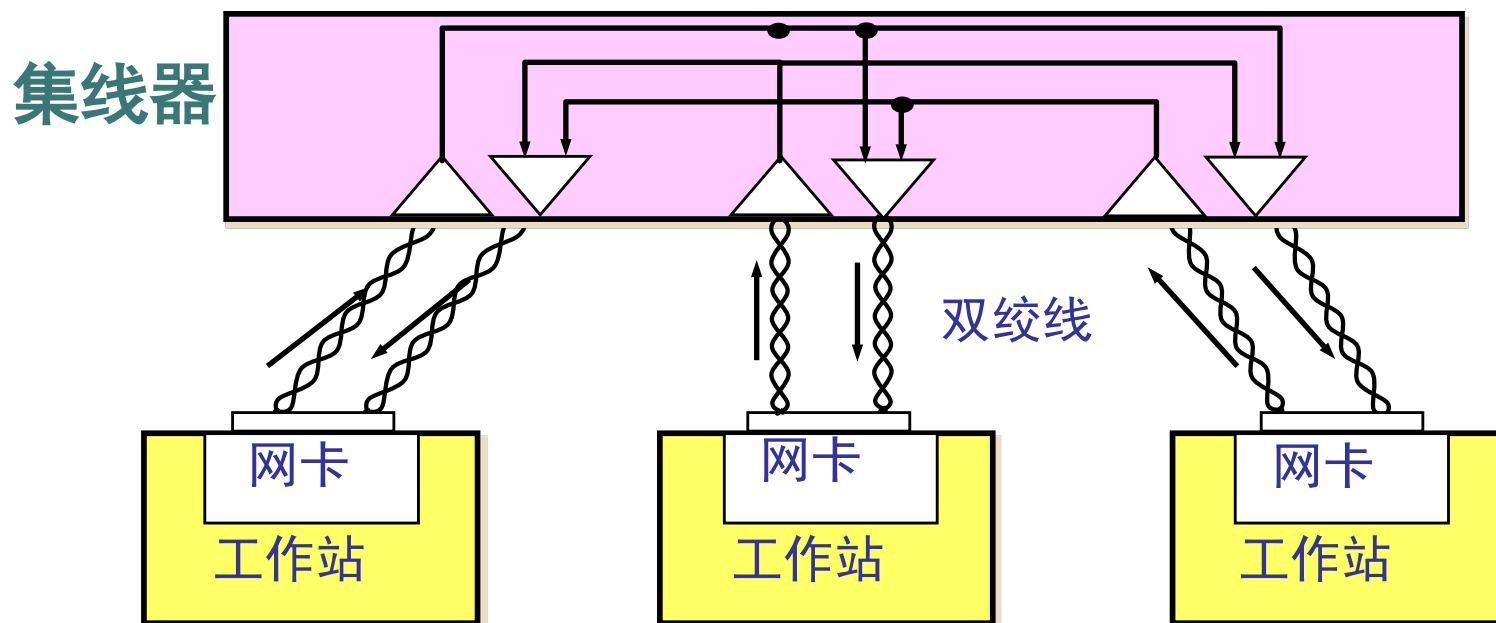
- 源路由网桥

- 在发送帧时将详细的路由信息放在帧的首部中
 - 对主机不透明

- 源路由网桥工作原理

- 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，都必须携带这一路由信息。

4. 多接口网桥——以太网交换机



- 交换式集线器(switching hub), 1990, 可明显地提高局域网的性能。
- 以太网交换机(switch), 第二层交换机

- 
- 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。
 - 集线器，交换机，路由器

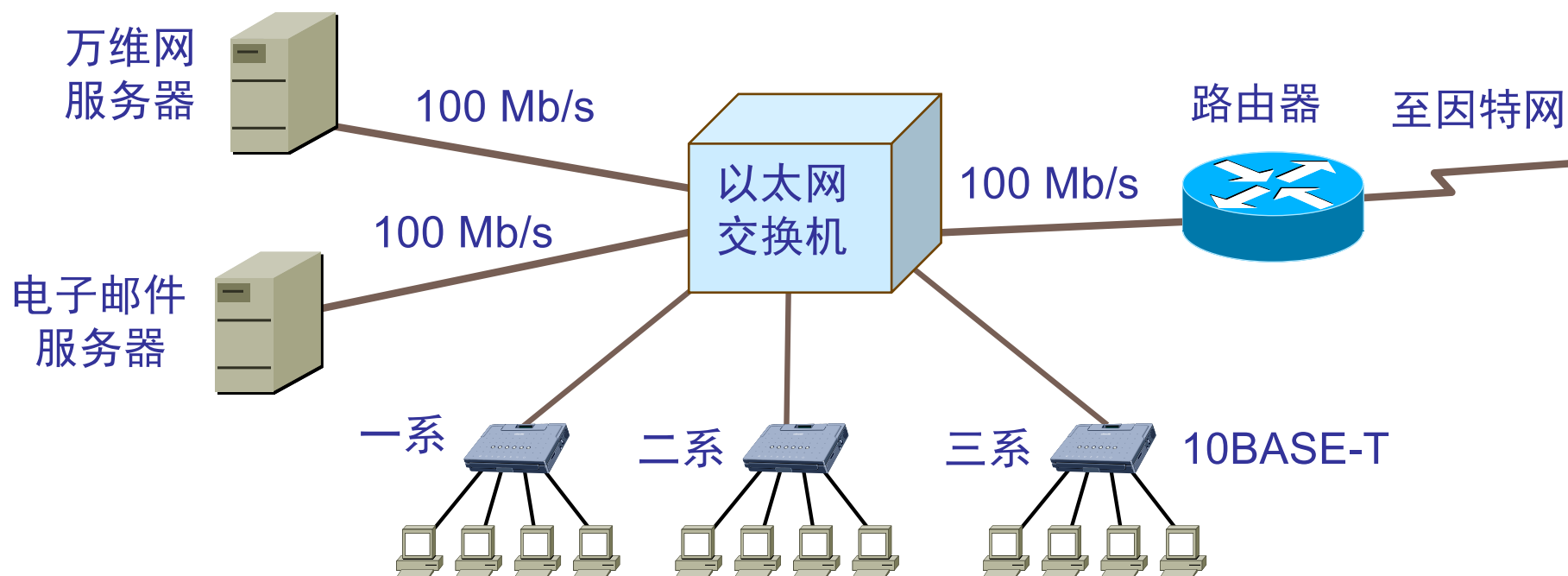
以太网交换机的特点

- 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。
- 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。
- 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

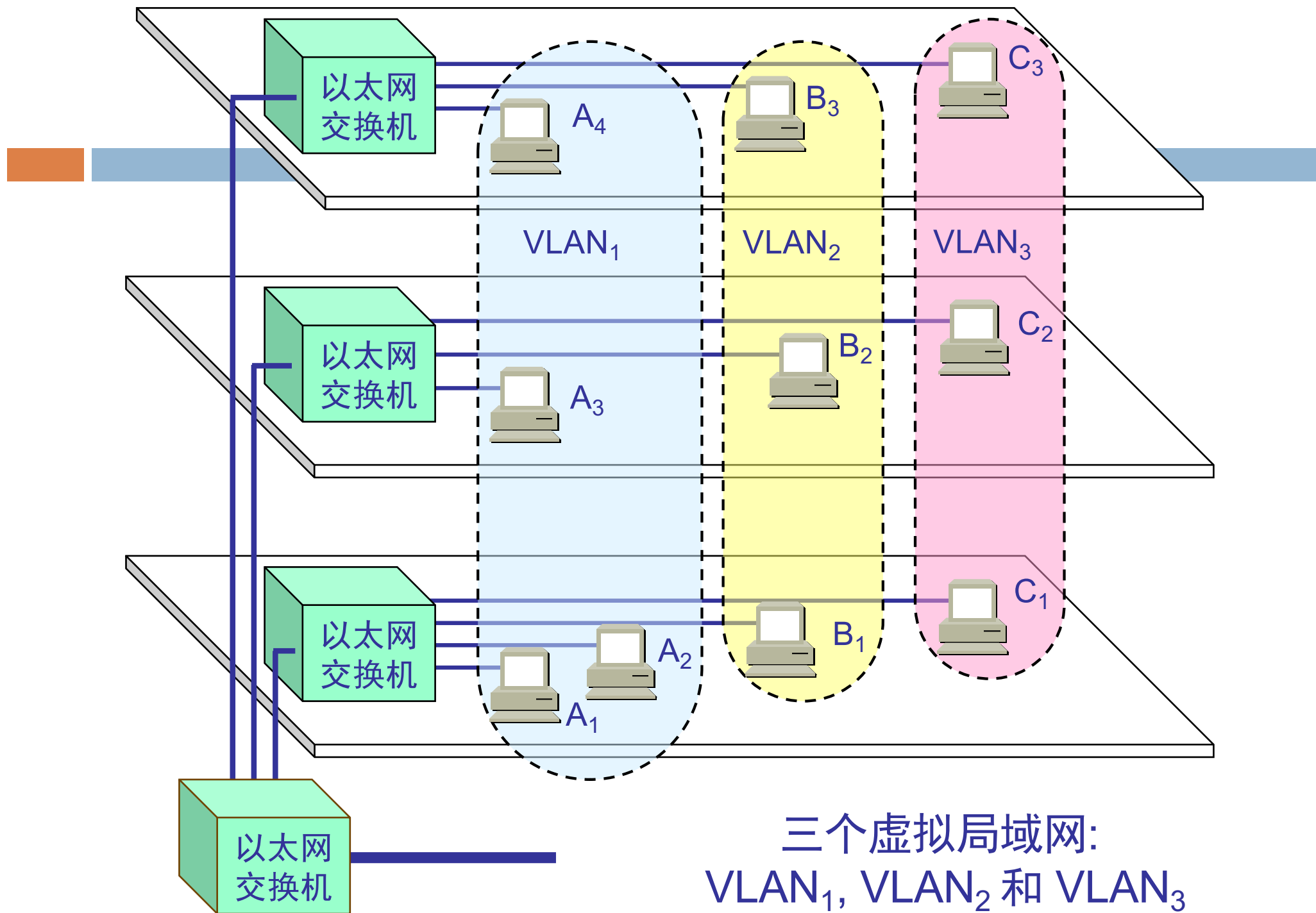
- 普通 10 Mb/s 的共享式以太网
 - ▣ 若共有 N 个用户，则每个用户占有的平均带宽只有总带宽(10 Mb/s)的 N 分之一。
- 以太网交换机
 - ▣ 虽然在每个接口到主机的带宽还是 10 Mb/s
 - ▣ 对于拥有 N 对接口的交换机的总容量为 $N \times 10$ Mb/s
 - 因为一个用户在通信时是独占而不是和其他网络用户共享传输媒体的带宽——交换机的最大优点

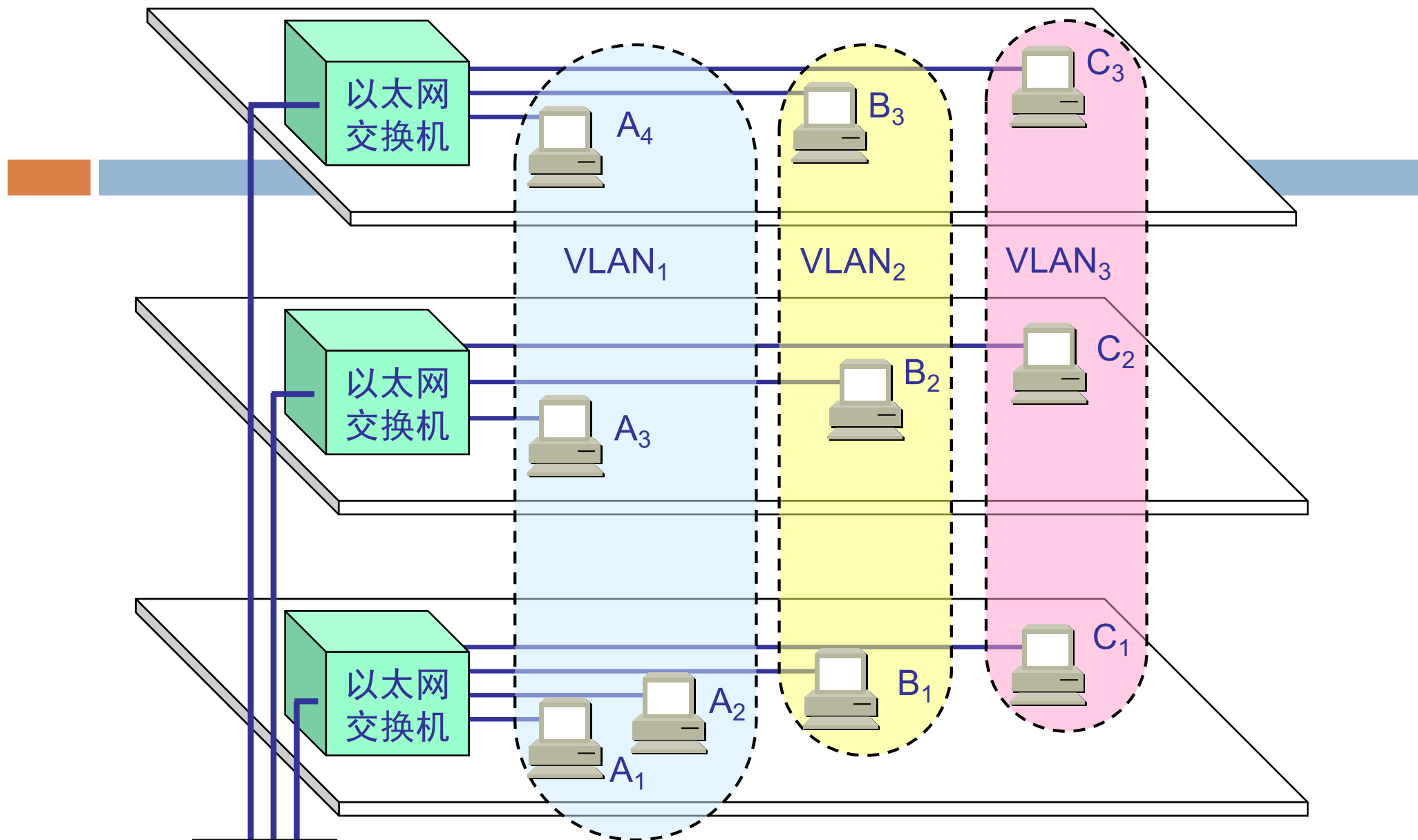
用以太网交换机扩展局域网



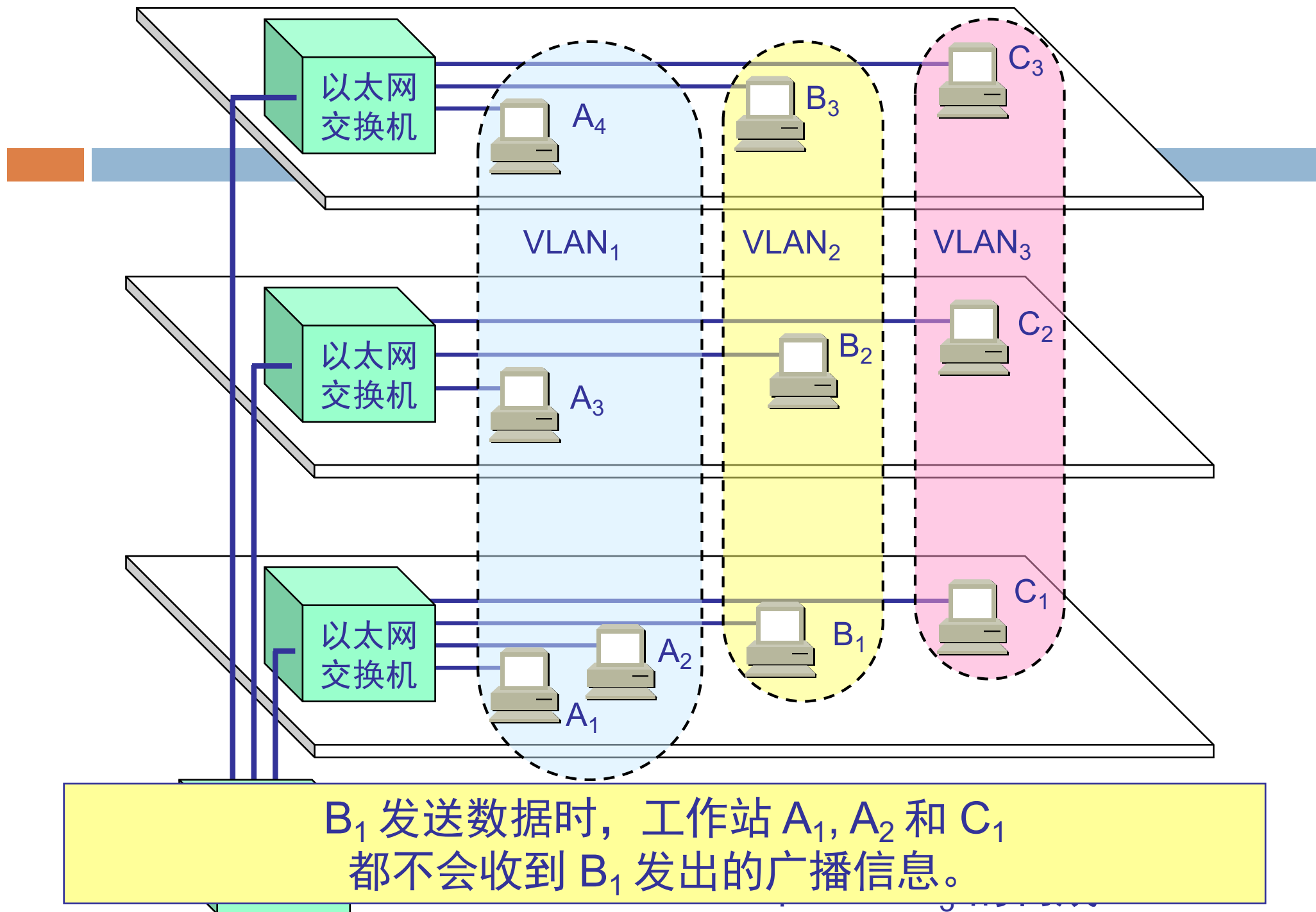
利用以太网交换机可以很方便地实现虚拟局域网

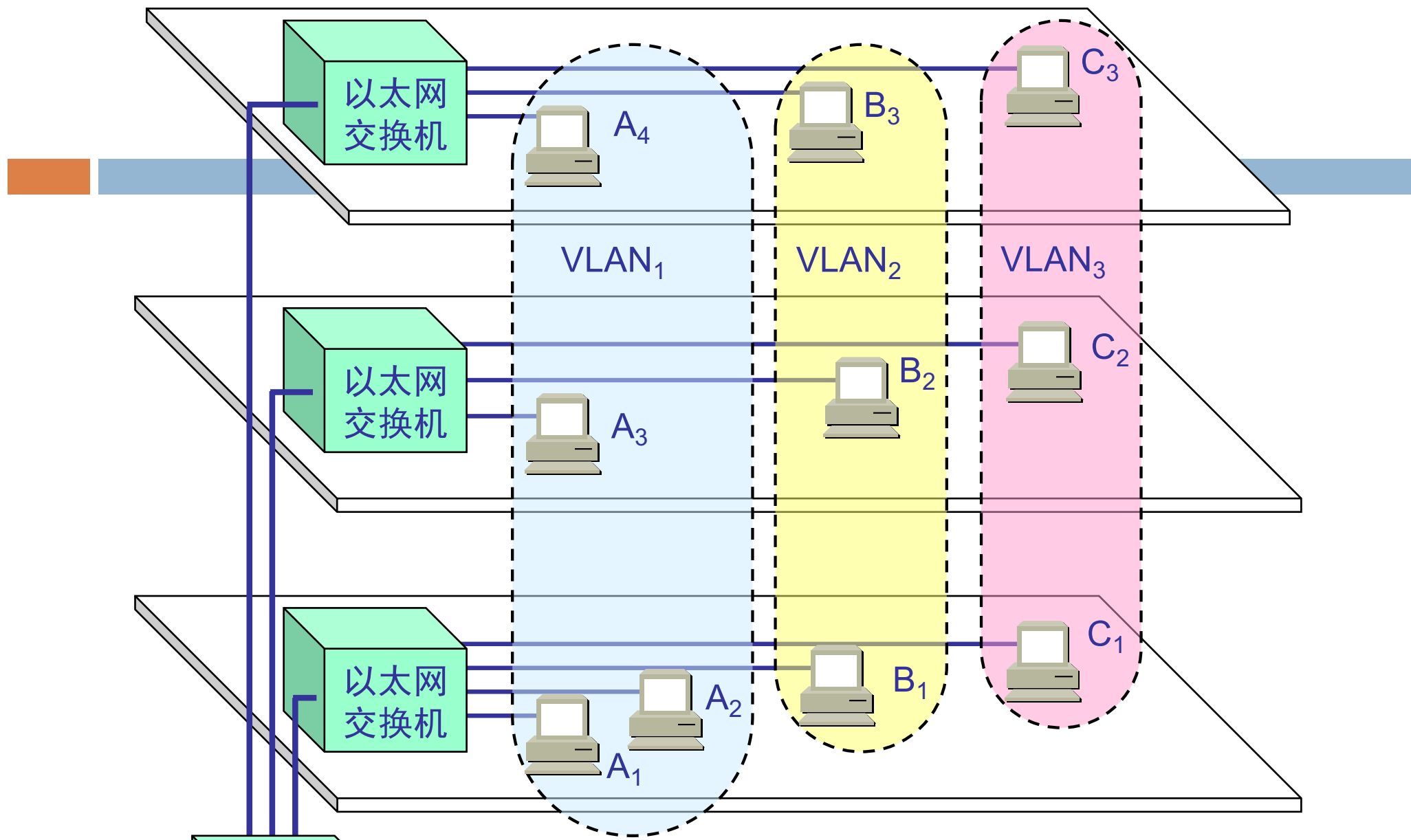
- 虚拟局域网 VLAN
 - ▣ 是由一些局域网网段构成的与物理位置无关的逻辑组。
 - ▣ 这些网段具有某些共同的需求。
- 虚拟局域网其实只是局域网给用户提供服务的一种服务，而并不是一种新型局域网。
 - ▣ 每一个 VLAN 的帧都有一个明确的标识符，指明发送这个帧的工作站是属于哪一个 VLAN。





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。

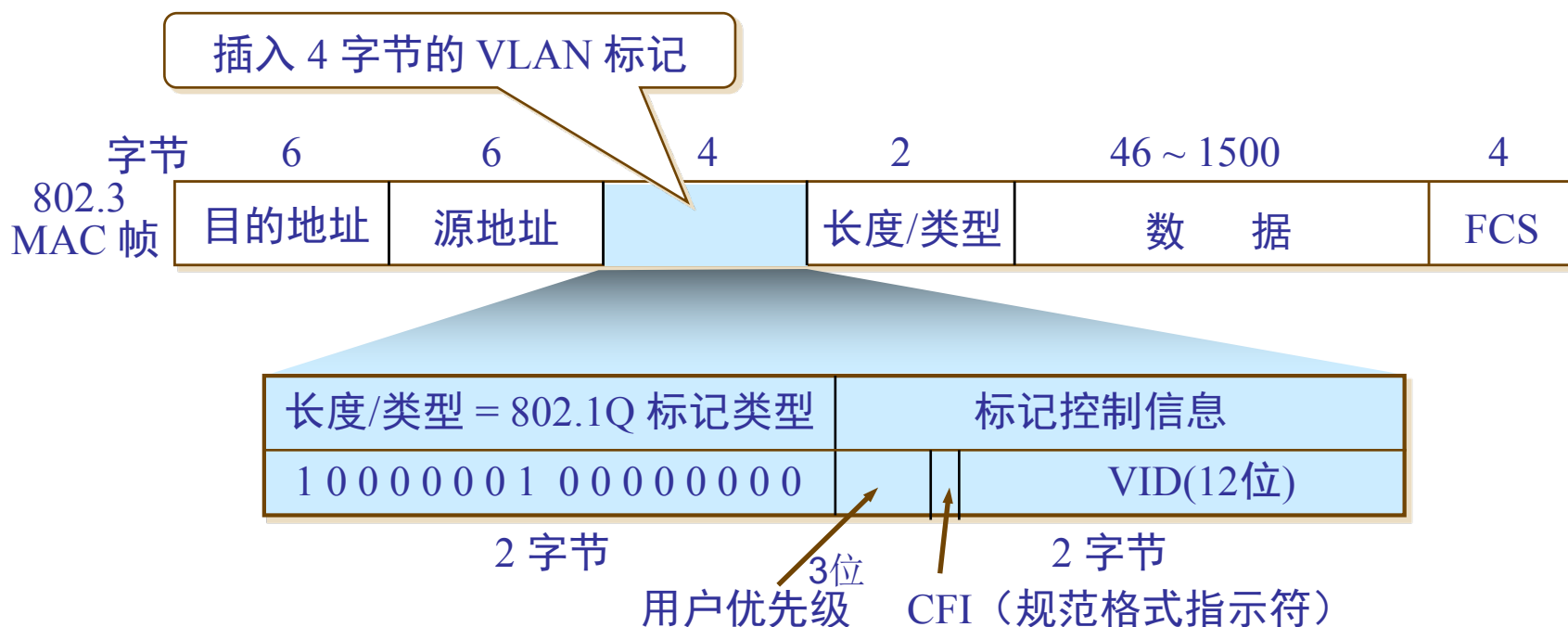




虚拟局域网限制了接收广播信息的工作站数，使得网络不会因传播过多的广播信息（即“广播风暴”）而引起性能恶化。

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。



虚拟网技术

□ 是第二层的技术

- ▣ 实质是将连接到交换机上的用户进行逻辑分组；
- ▣ 每个逻辑分组相当于一个独立的网段；
- ▣ 每个VLAN等效于一个广播域，广播信息仅发送到同一个VLAN的所有端口，虚拟网之间可隔离广播信息；
- ▣ 每个VLAN都有唯一的子网号。

□ 划分VLAN方法主要有如下三种

- ▣ 基于端口划分VLAN
- ▣ 基于 MAC地址划分VLAN
- ▣ 基于第三层协议类型或地址划分VLAN

VLAN的三种划分方法

- 基于端口划分VLAN
 - ▣ 按交换机端口定义VLAN成员，每个端口只能属于一个VLAN。
 - ▣ 配置简单，在配置好VLAN以后，再为交换机端口分配一个VLAN，使交换机的端口成为某个VLAN的成员。
- 基于 MAC地址划分VLAN
 - ▣ 按每个连接到交换机设备的MAC地址定义VLAN成员。
- 基于第三层协议类型或地址划分VLAN
 - ▣ 允许按照网络层协议类型（TCP/IP、IPX等）组成VLAN
 - ▣ 也可按网络地址（如TCP/IP 子网地址）定义VLAN成员
 - ▣ 优点是有助于组成基于应用的VLAN。

3.6 高速以太网

3.6.1 100BASE-T 以太网

- 速率达到或超过 100 Mb/s 的以太网称为高速以太网。
- 在双绞线上传送 100 Mb/s 基带信号的星型拓扑以太网，仍使用 IEEE 802.3 的 CSMA/CD 协议。
- 100BASE-T 以太网又称为快速以太网(Fast Ethernet)。

100BASE-T 以太网的特点

- 可在全双工方式下工作而无冲突发生。这种情况下，不使用 CSMA/CD 协议
- MAC 帧格式仍然是 802.3 标准规定的
- 保持最短帧长不变，如何保障？
 - ▣ 但将一个网段的最大电缆长度减小到 100 m
 - ▣ 帧间时间间隔从原来的 $9.6\ \mu\text{s}$ 改为现在的 $0.96\ \mu\text{s}$

100M以太网的三种物理层标准



- 100BASE-TX
 - ▣ 使用 2 对 UTP 5 类线或屏蔽双绞线 STP。
- 100BASE-FX
 - ▣ 使用 2 对光纤。
- 100BASE-T4
 - ▣ 使用 4 对 UTP 3 类线或 5 类线。

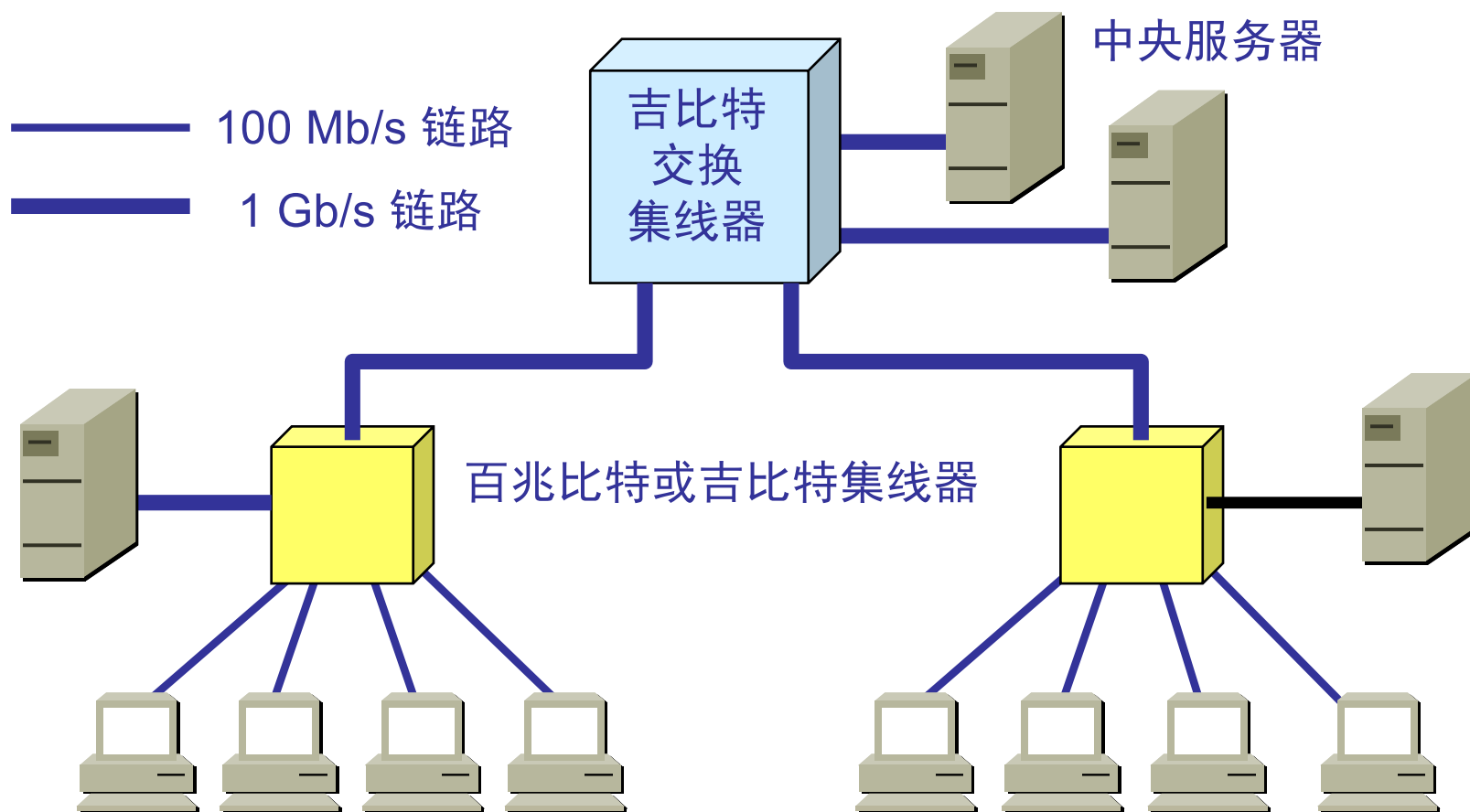
3.6.2 吉比特以太网

- 允许在 1 Gb/s 下全双工和半双工两种方式工作。
- 使用 802.3 协议规定的帧格式。
- 在半双工方式下使用 CSMA/CD 协议（全双工方式不需要使用 CSMA/CD 协议）。
- 与 10BASE-T 和 100BASE-T 技术向后兼容。

吉比特以太网的物理层

- 1000BASE-X 基于光纤通道的物理层：
 - ▣ 1000BASE-SX SX表示短波长
 - ▣ 1000BASE-LX LX表示长波长
 - ▣ 1000BASE-CX CX表示铜线
- 1000BASE-T
 - ▣ 使用 4对 5 类线 UTP

吉比特以太网的配置举例



3.6.3 10 吉比特和100 吉比特以太网

- 10 吉比特以太网与 10 Mb/s，100 Mb/s 和 1 Gb/s 以太网的帧格式完全相同
- 10 吉比特以太网还保留了 802.3 标准规定的以太网最小和最大帧长，便于升级
- 10 吉比特以太网不再使用铜线而只使用光纤作为传输媒体。
- 10 吉比特以太网只工作在全双工方式，因此没有争用问题，也不使用 CSMA/CD 协议。

吉比特以太网的物理层

- 局域网物理层（LAN PHY）：数据率是 10.000 Gb/s
- 广域网物理层（WAN PHY，可选）：支持与 SONET/SDH（即 OC-192/STM-64）相连接
 - ▣ 为了使 10 吉比特以太网的帧能够插入到 OC-192/STM-64 帧的有效载荷中，就要使用可选的广域网物理层，其数据率为 9.95328 Gb/s。

端到端的以太网传输

- 10 吉比特以太网的出现，实现了端到端的以太网传输
 - ▣ 以太网的工作范围已经从局域网（校园网、企业网）扩大到城域网和广域网。
- 这种工作方式的好处是：
 - ▣ 成熟的技术
 - ▣ 互操作性很好
 - ▣ 在广域网中使用以太网时价格便宜。
 - ▣ 统一的帧格式简化了操作和管理。

10 G以太网的物理层标准

- 10GBASE-SR 光缆，300 m，多模光纤（0.85 μm ）
- 10GBASE-LR 光缆，10 km，单模光纤（1.3 μm ）
- 10GBASE-ER 光缆，40 km，单模光纤（1.5 μm ）
- 10GBASE-CX4 铜缆，15 m，4 对双芯同轴电缆 (twinax)
- 10GBASE-T 铜缆，100 m，4 对 6A 类UTP 双绞线

40GB/100GB 以太网的物理层标准

物 理 层	40GB 以太网	100GB 以太网
在背板上传输 至少超过1 m	40GBASE-KR4	
在铜缆上传输 至少超过7 m	40GBASE-CR4	100GBASE-CR10
多模光纤上传输 至少100 m	40GBASE-SR4	100GBASE-SR10
单模光纤上传输 至少10 km	40GBASE-LR4	100GBASE-LR4
单模光纤上传输 至少40 km 100GBASE-ER4		

以太网从 10 Mb/s 到 100 Gb/s 的演进

- 以太网从 10 Mb/s 到 100 Gb/s 的演进证明了以太网特征：
 - ▣ 可扩展：从 10 Mb/s 到 100 Gb/s。
 - ▣ 灵活：多种传输媒体、全/半双工、共享/交换
 - ▣ 易于安装
 - ▣ 稳健性好

3.6.4 使用高速以太网进行宽带接入

- 以太网速率的提高（1 ~ 10 Gb/s）、覆盖范围也扩展的扩展（城域网和广域网），使得人们尝试使用以太网进行宽带接入。
- 以太网接入的重要特点
 - ▣ 可提供双向的宽带通信，并且可根据用户对带宽的需求灵活地进行带宽升级。
 - ▣ 可实现端到端的以太网传输，中间不需要再进行帧格式的转换，提高了数据的传输效率和降低了传输的成本。

作业

□ 28, 32