

3.4 使用广播信道的以太网

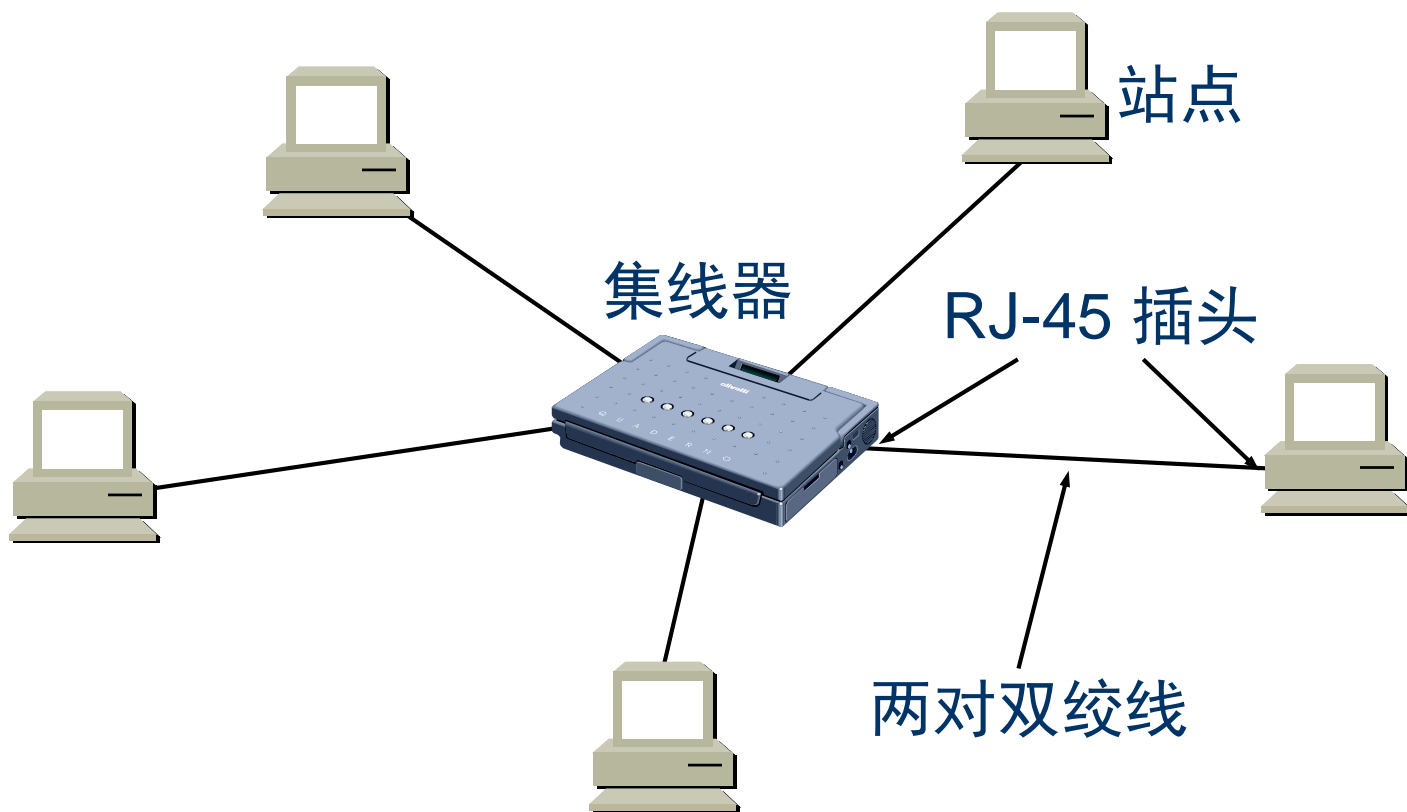
1 使用集线器的星形拓扑

传统以太网最后发展成使用更便宜和更灵活的双绞线。

以太网采用星形拓扑，在星形的中心增加了一种可靠性非常高的设备，叫做集线器(hub)

hub [hʌb]: 轮轴； 中心，焦点； （电器面板上的）电线插孔； [计]集线器

使用集线器的双绞线星形以太网



星形网 10BASE-T

不用电缆而使用无屏蔽双绞线。

每个站需要用两对双绞线，分别用于发送和接收。

集线器使用了大规模集成电路芯片，因此这样的硬件设备的可靠性已大大提高了。

以太网在局域网中的统治地位

10BASE-T 的通信距离稍短，每个站到集线器的距离不超过 **100 m**。

这种 **10 Mb/s** 速率的无屏蔽双绞线星形网的出现，既降低了成本，又提高了可靠性。

10BASE-T 双绞线以太网的出现，是局域网发展史上的一个非常重要的里程碑，它为以太网在局域网中的统治地位奠定了牢固的基础。

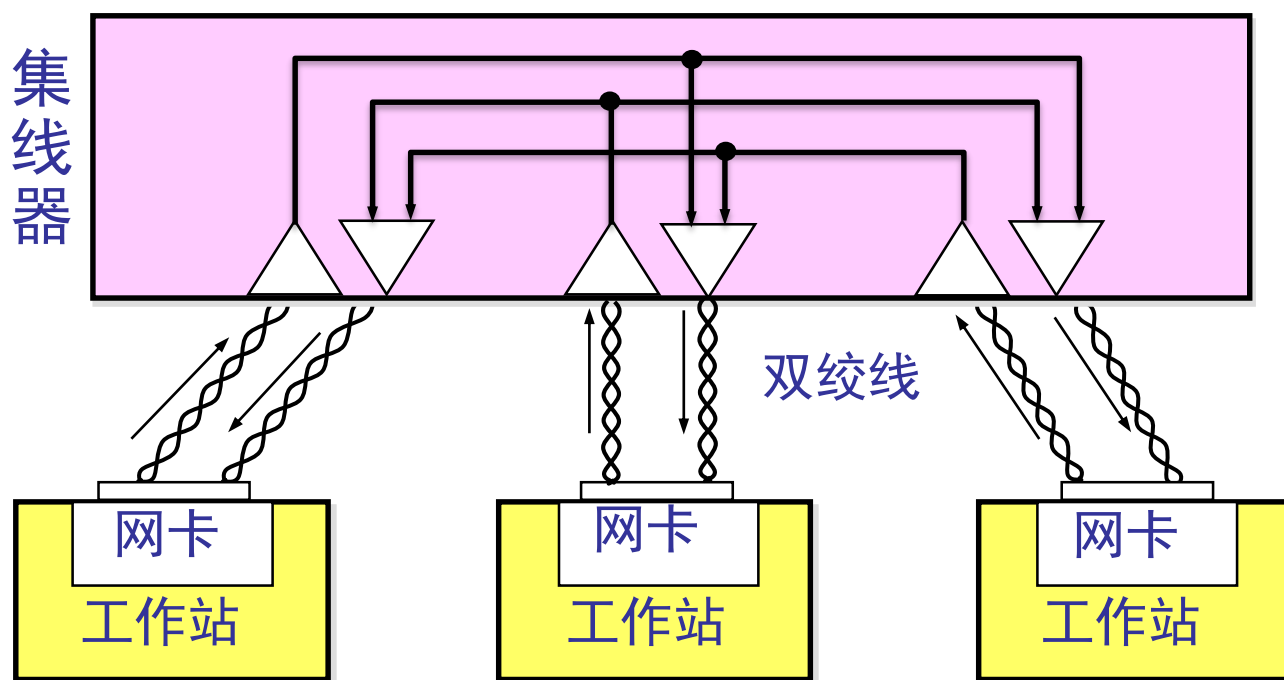
集线器的一些特点

集线器是使用**电子器件**模拟实际电缆线进行工作，整个系统仍然像一个传统的以太网一样运行。

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**。

具有三个接口的集线器 (PAGE 85/87)



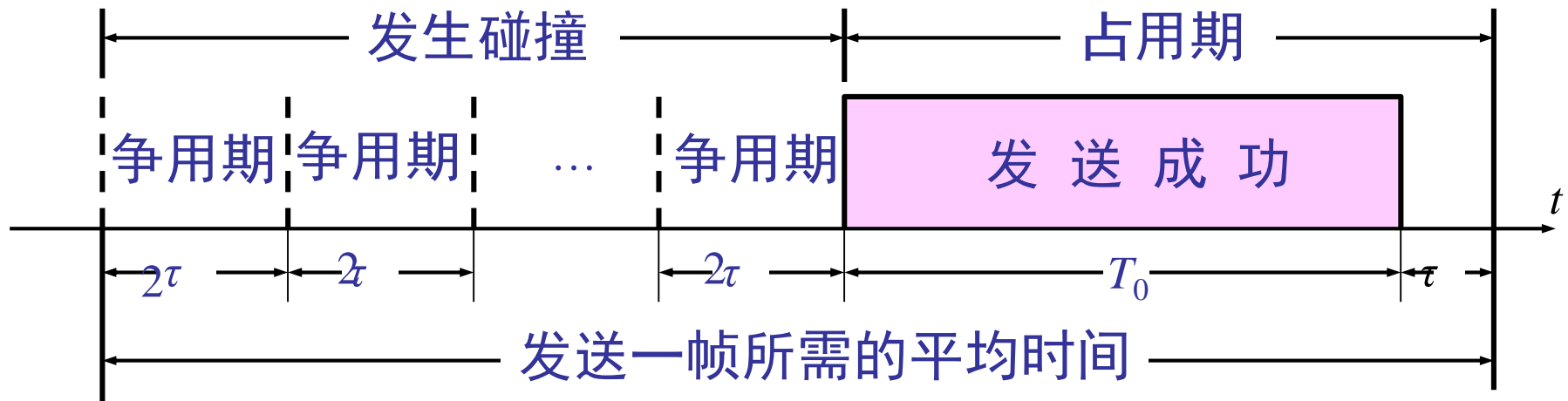
2 以太网的信道利用率

□ 以太网的信道被占用的情况：

- 争用期长度为 2τ ，即端到端传播时延的两倍。
 - 检测到碰撞后不发送干扰信号。
 - 帧长为 L (bit)，数据发送速率为 C (b/s)，因而帧的发送时间为 $L/C = T_0$ (s)。
-

以太网的信道利用率(page 88)

- 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 ：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。

对以太网参数的要求

当数据率一定时，以太网连线的长度受到限制，否则 τ 的数值会太大。

以太网的帧长不能太短，否则 T_0 的值会太小，使 a 值太大。（ $T_0=L/C$ ）

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：

$$S_{\max} = \frac{T_0}{T_0 + \tau} = \frac{1}{1 + a} \quad (3-3)$$

3 以太网的 MAC 层

1) 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

高位 24 位：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。

低位 24 位：地址字段中的后三个字节由厂家自行指派--扩展标识符，保证生产出的适配器没有重复地址。

一个地址块：可以生成 2^{24} 个不同的地址。

“MAC地址”：实际上就是适配器地址或适配器标识符 EUI-48。这种 48 位地址称为 MAC-48，通称EUI-48。

一个网卡的MAC地址

□ 44-45-53-54-00-00

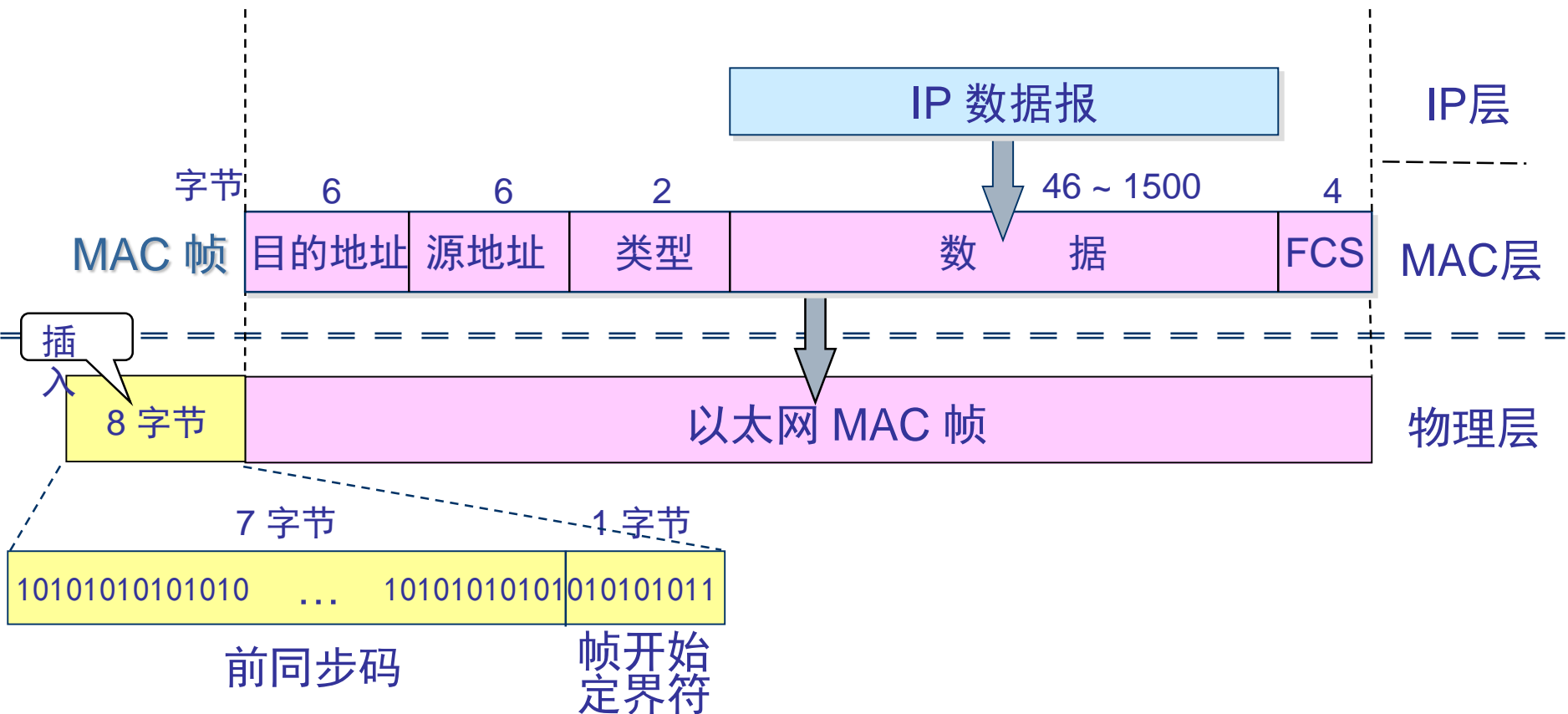
适配器检查 MAC 地址

- 适配器从网络上每收到一个 MAC 帧首先用硬件检查 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）
-

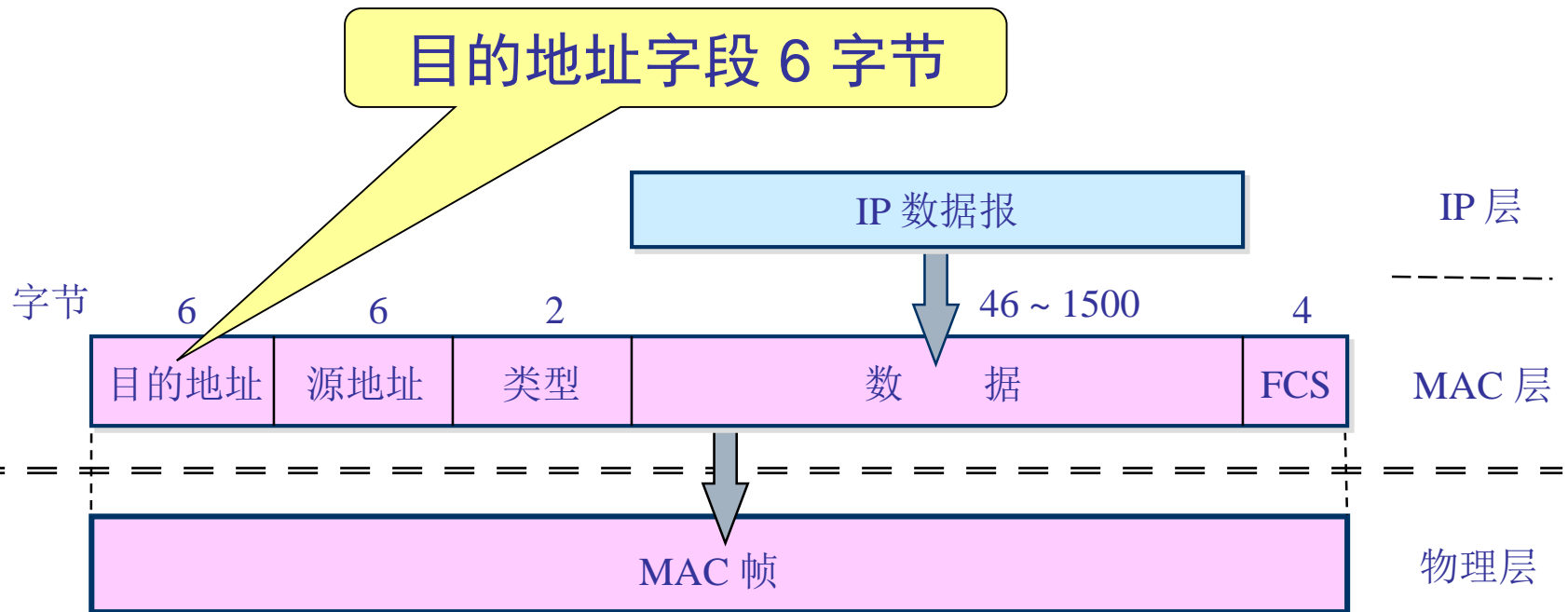
2) MAC 帧的格式

- 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。
-

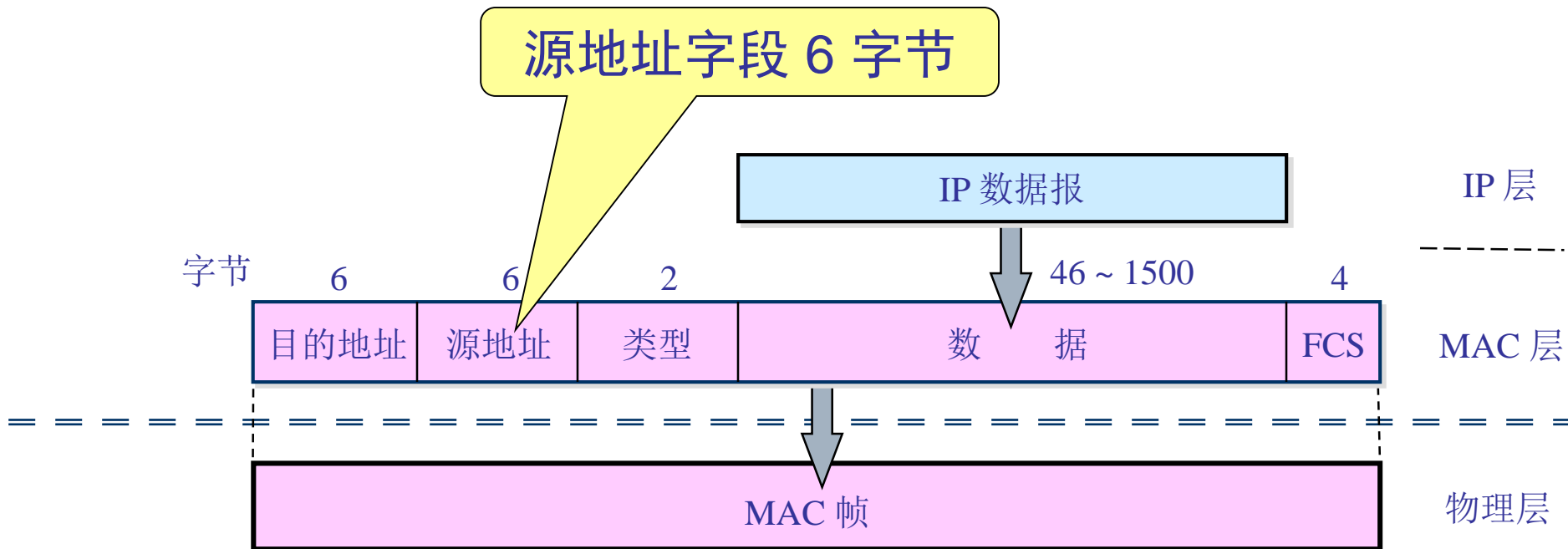
以太网的 MAC 帧格式



以太网 V2 的 MAC 帧格式

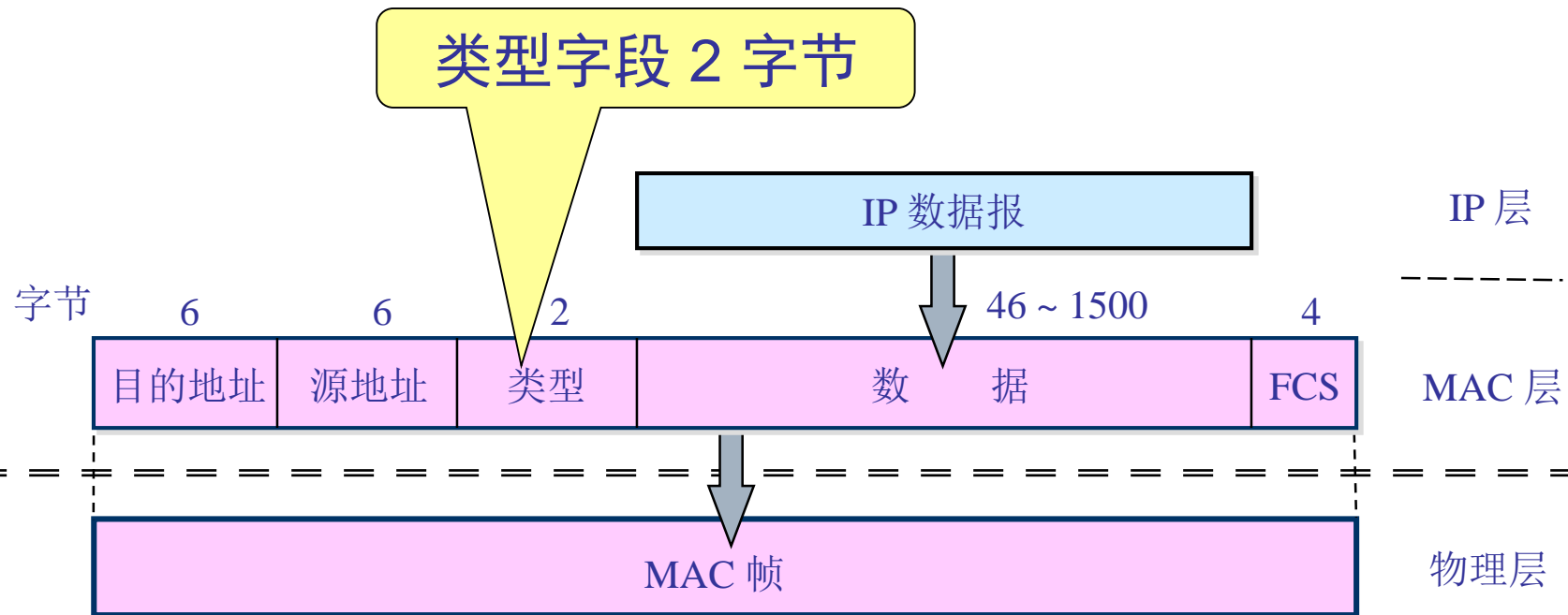


以太网 V2 的 MAC 帧格式



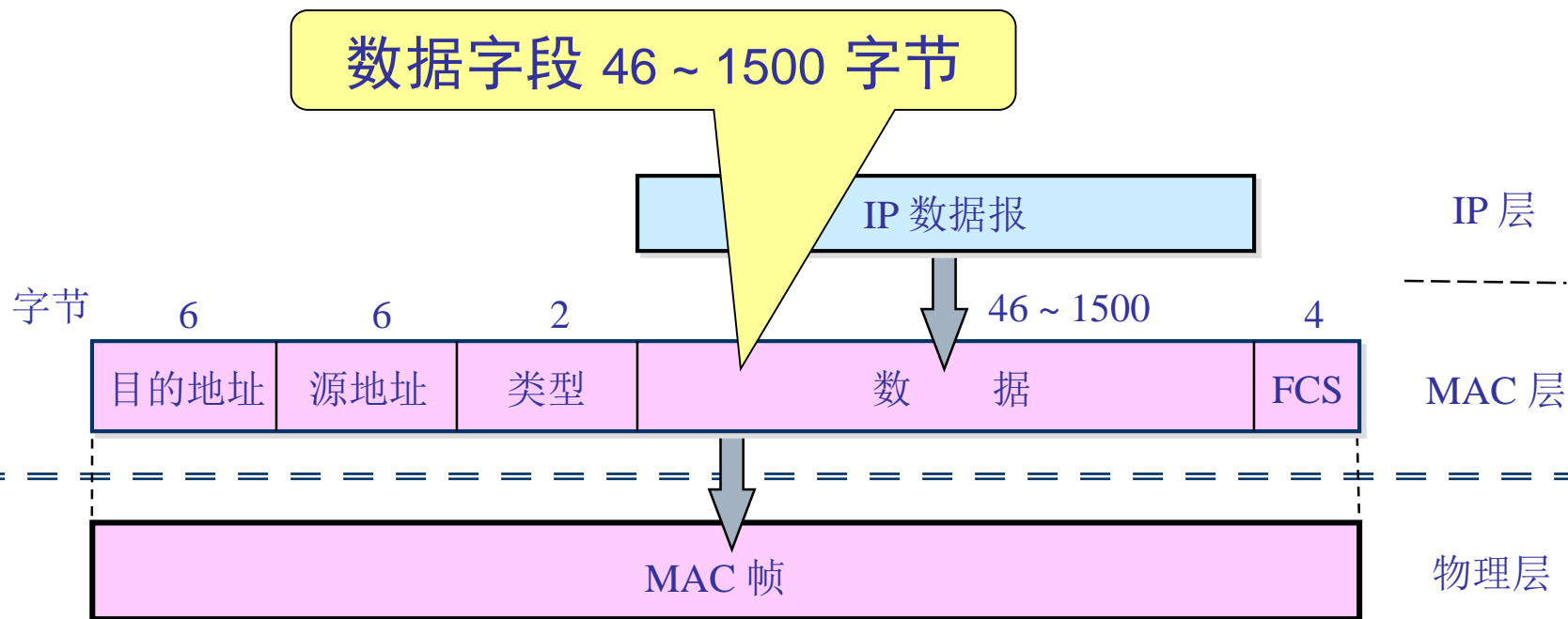
以太网 V2 的 MAC 帧格式

类型字段用来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

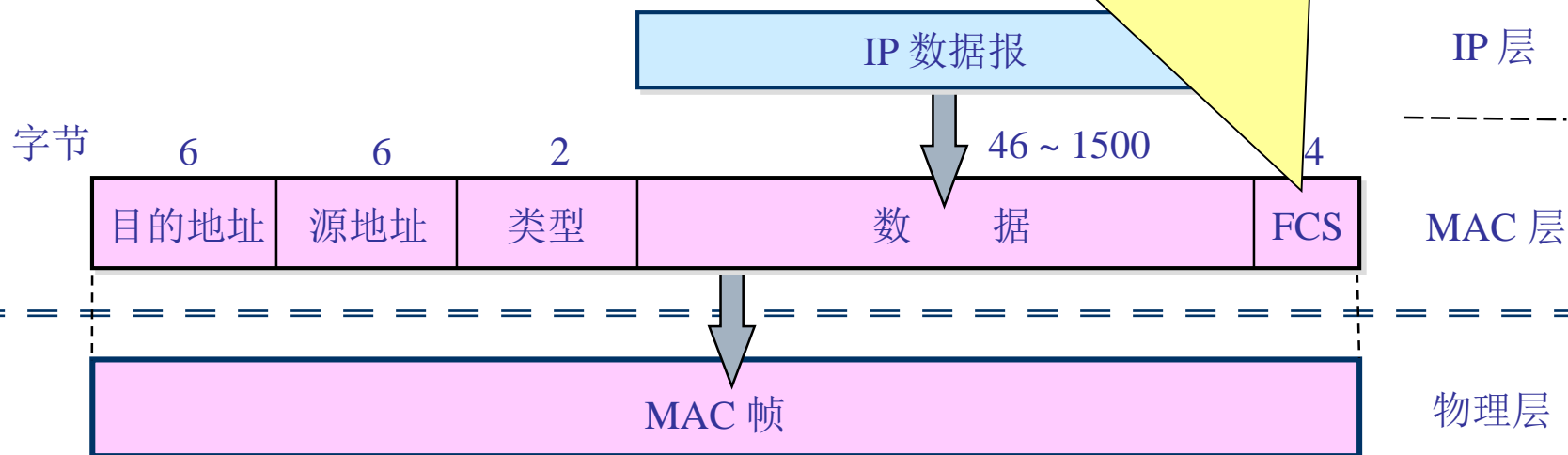
数据字段的正式名称是 **MAC 客户数据字段**
最小长度 64 字节 – 18 字节的首部和尾部 = 数据字段的最小长度



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} 。

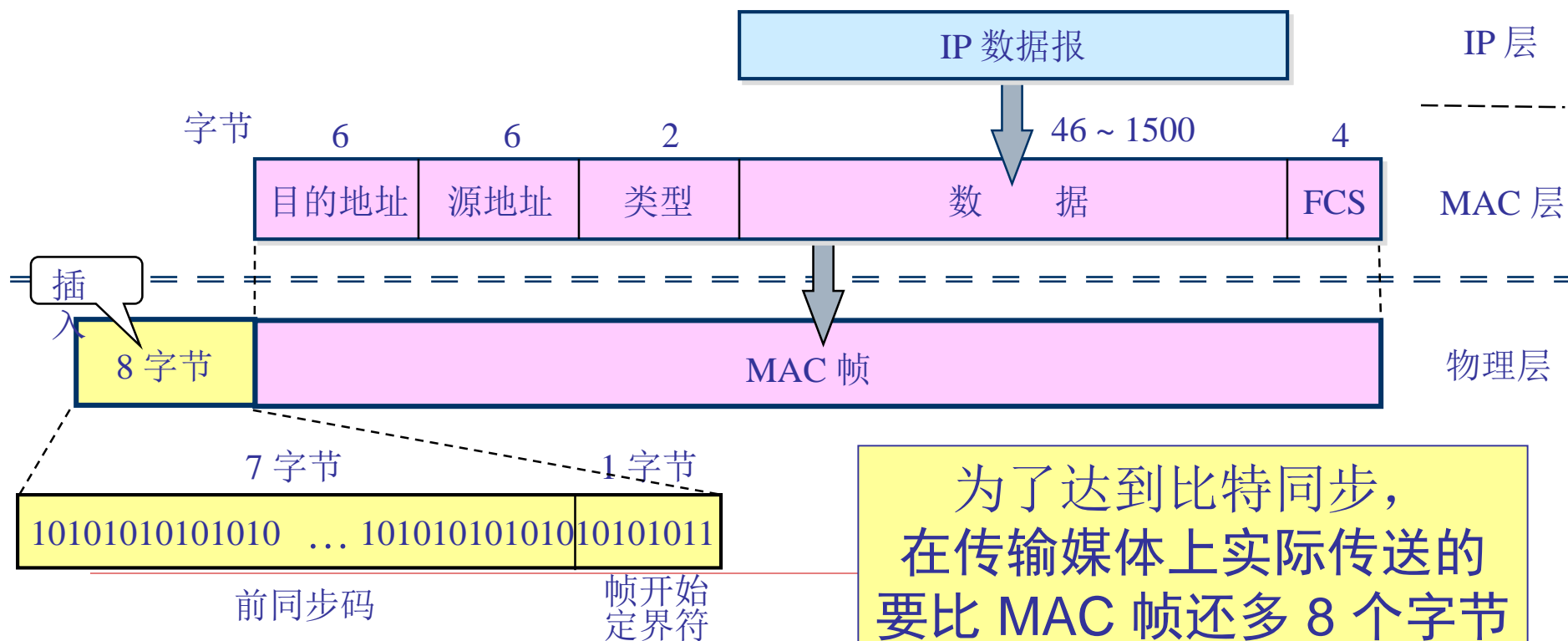
FCS 字段 4 字节，生成多项式：CRC-32



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

- ❑ 数据字段的长度与长度字段的值不一致；
 - ❑ 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。
 - ❑ 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。
 - 目的是为了使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。
-

3.5 扩展的局域网

1 在物理层扩展局域网

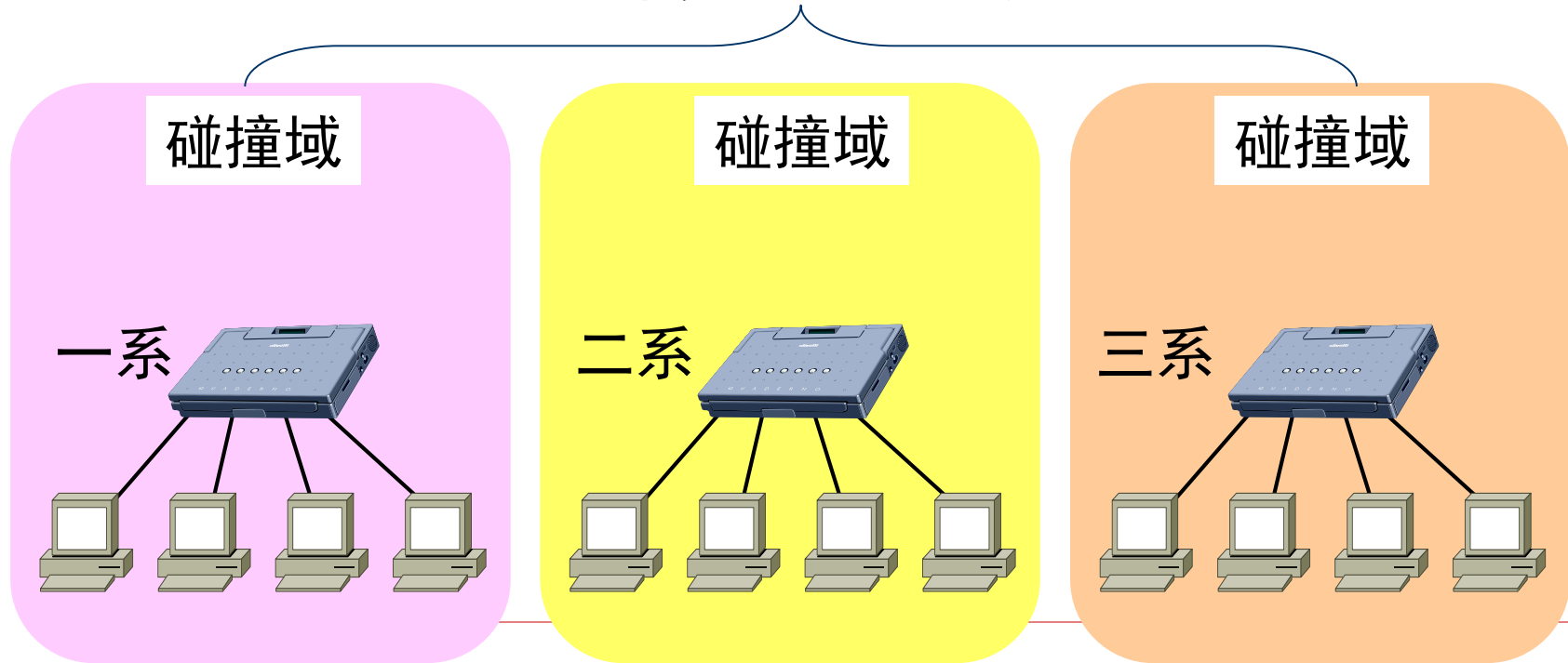
- 主机使用光纤和一对光纤调制解调器连接到集线器



用多个集线器可连成更大的局域网

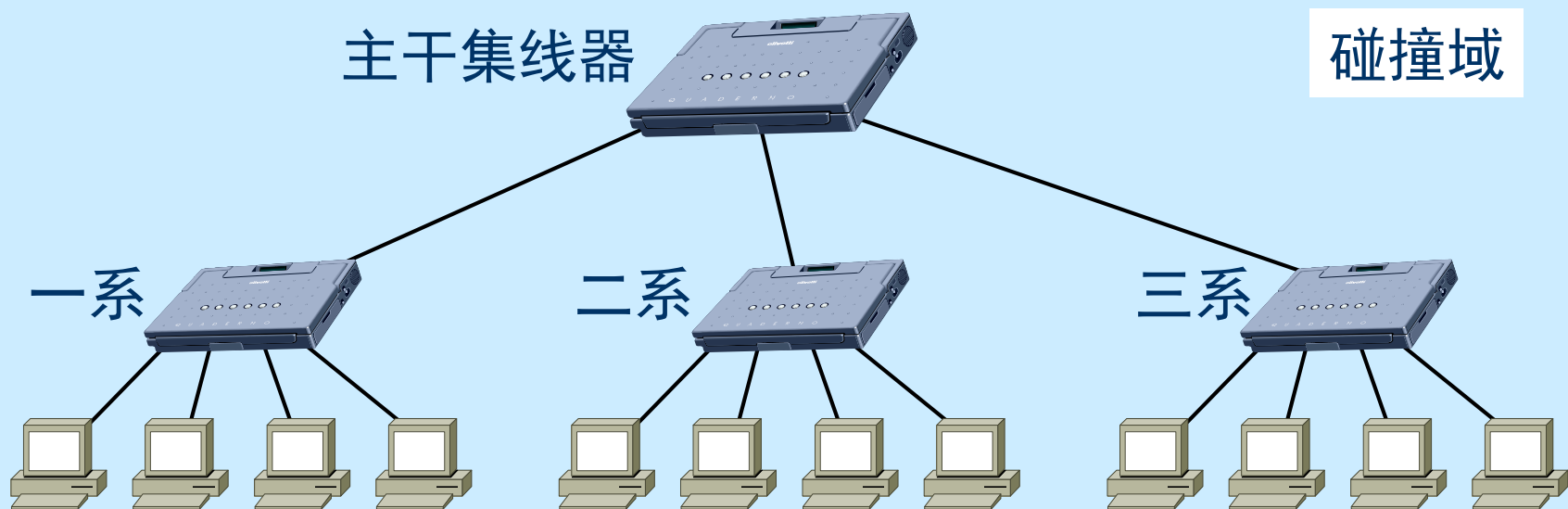
□ 某大学有三个系，各自有一个局域网

三个独立的碰撞域



一个碰撞域中，用集线器组成更大的局域网

一个更大的碰撞域



用集线器扩展局域网（老式的）

□ 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。
-

2 在数据链路层扩展局域网

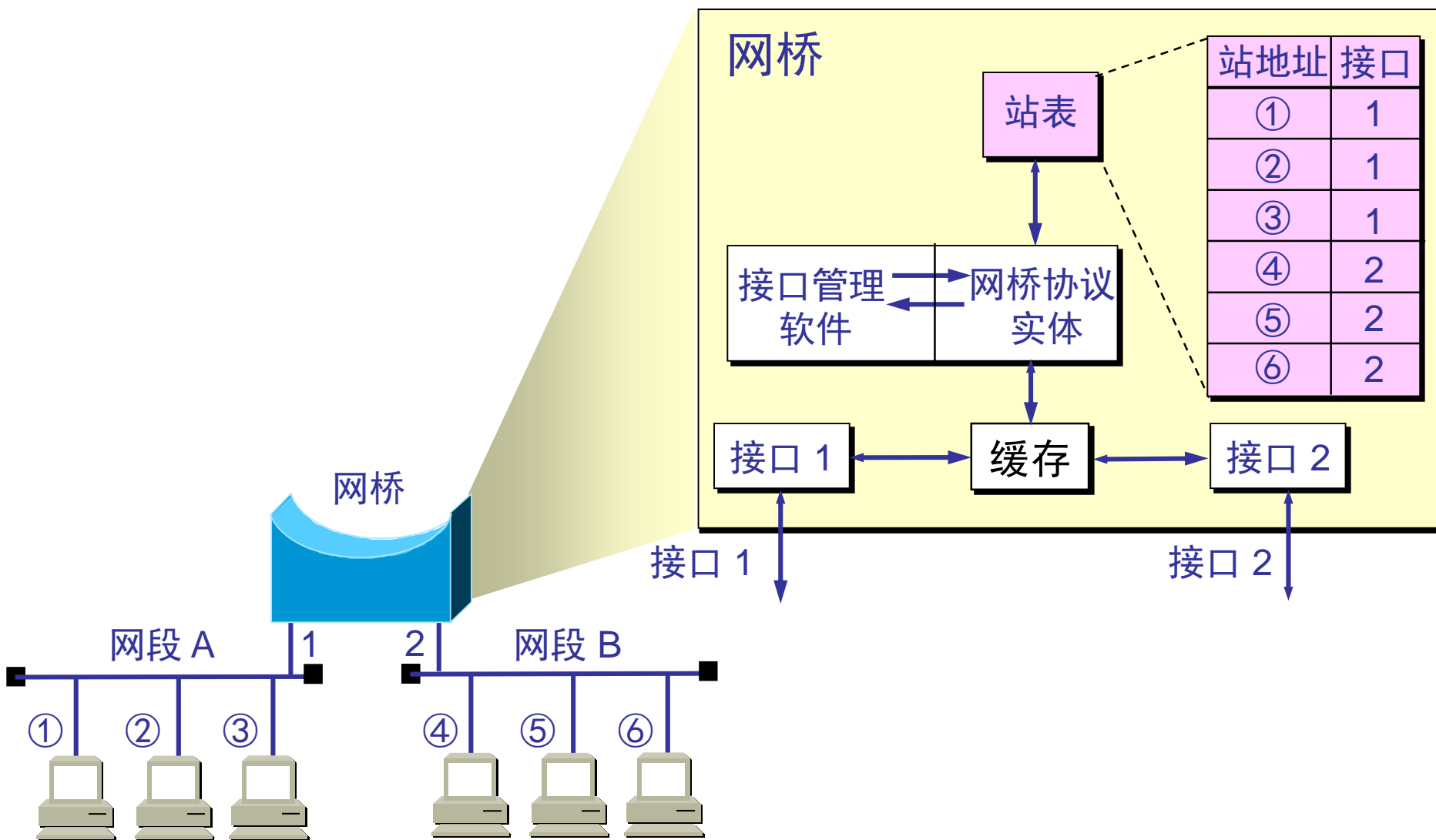
在数据链路层使用网桥扩展局域网。

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。

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

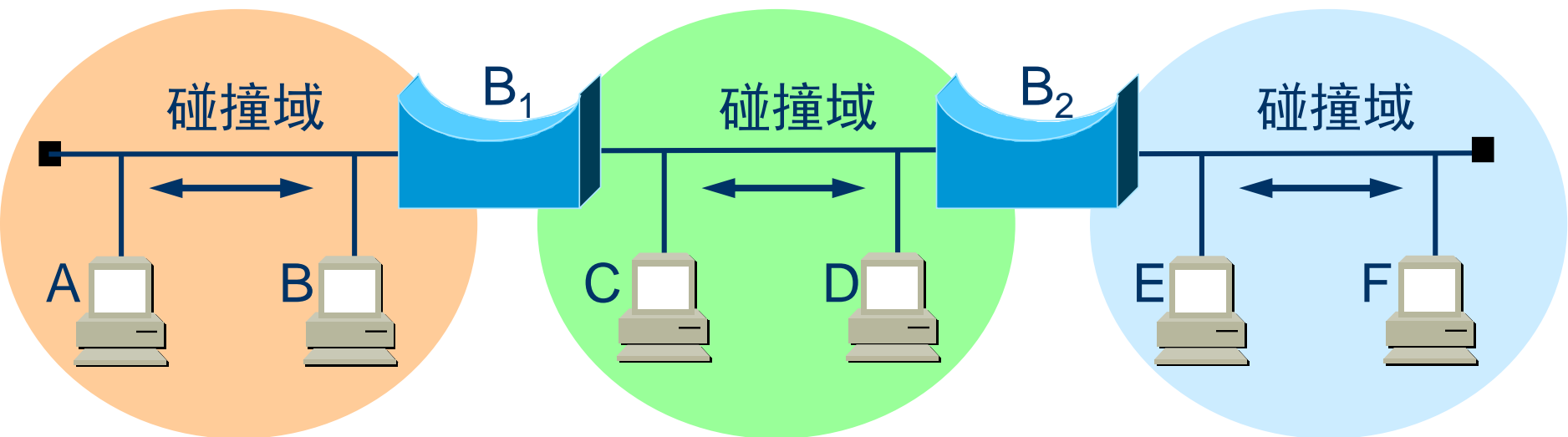
1. 网桥的内部结构 (PAGE 93/95)



使用网桥带来的好处

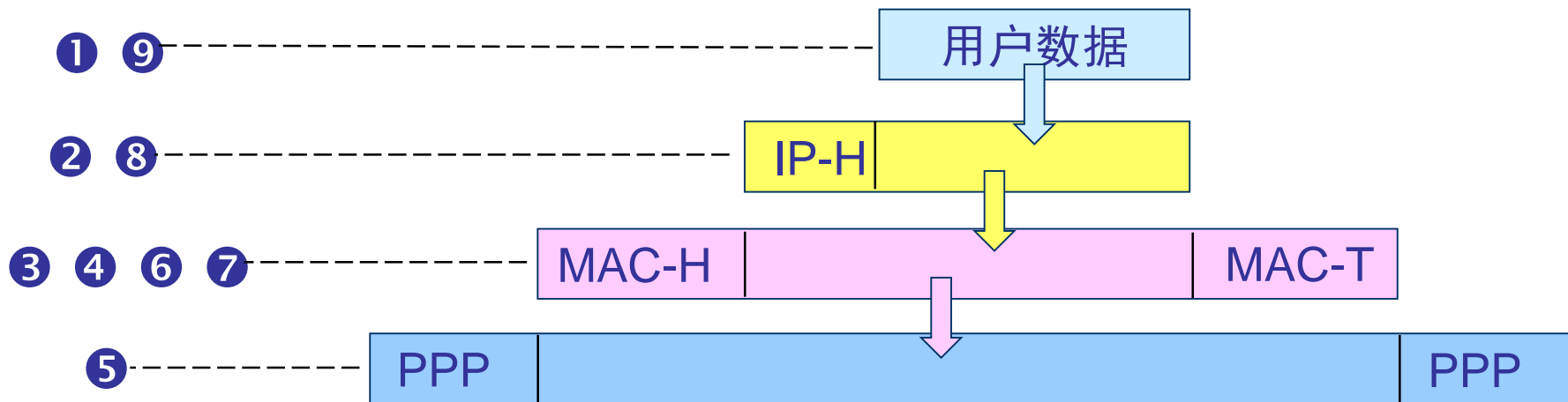
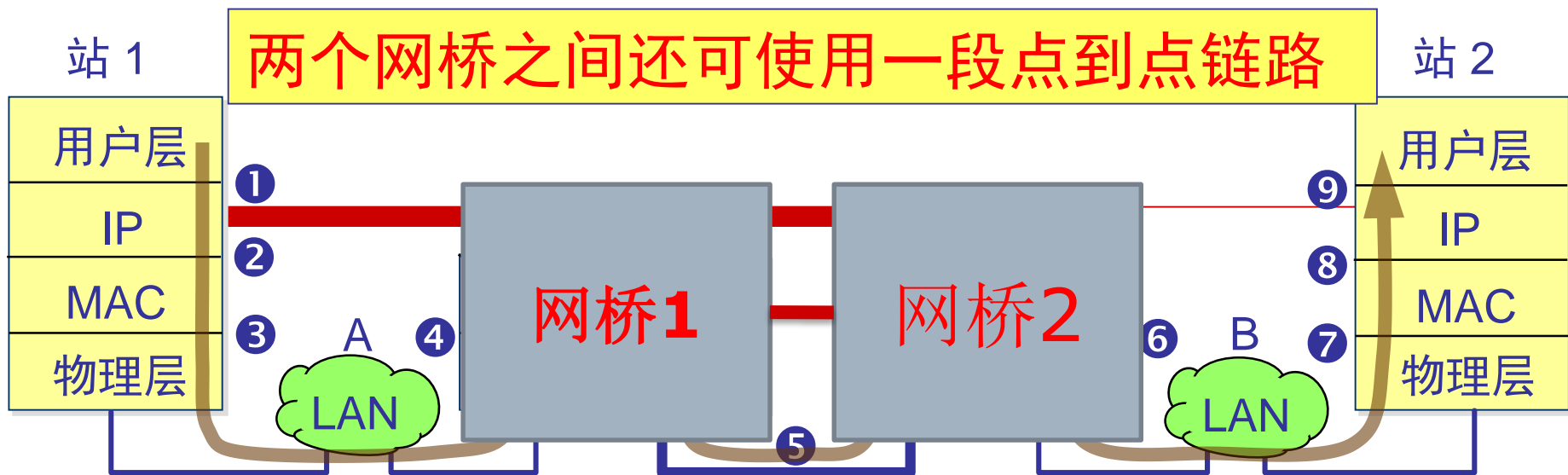
- ❑ 过滤通信量。
 - ❑ 扩大了物理范围。
 - ❑ 提高了可靠性。
 - ❑ 可互连不同物理层、不同 MAC 子层和不同速率（如10 Mb/s 和 100 Mb/s 以太网）的局域网。
-

网桥使各网段成为隔离的碰撞域



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。
 - 具有不同 MAC 子层的网段桥接在一起时时延更大。
 - 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产生网络拥塞-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，使用物理层协议。
 - 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

- 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。
-

网桥自学习算法和建立转发表

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。

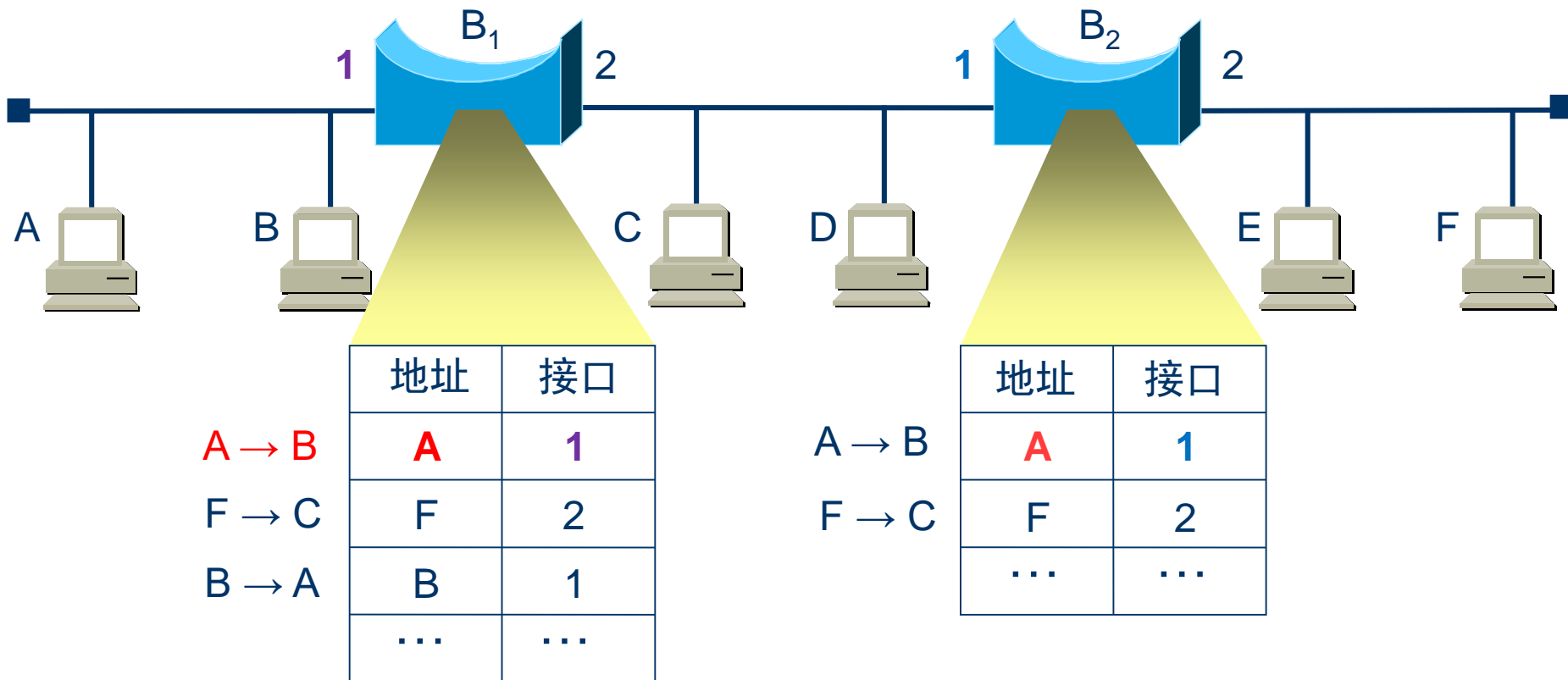
网桥每收到一个帧，记下其源地址和进入网桥的接口，作为转发表中的一个项目。

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(PAGE 95/98)

- 站**A**发出的帧**X**进入了网桥→延相反方向一定可把一帧送到**A**站
- 网桥都是先存贮再转发，不管目的地址是什么



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。

因以太网的拓扑可能经常发生变化，站点可能会更换适配器（会改变站点的地址）。另外，以太网上的工作站并非总是接通电源的。

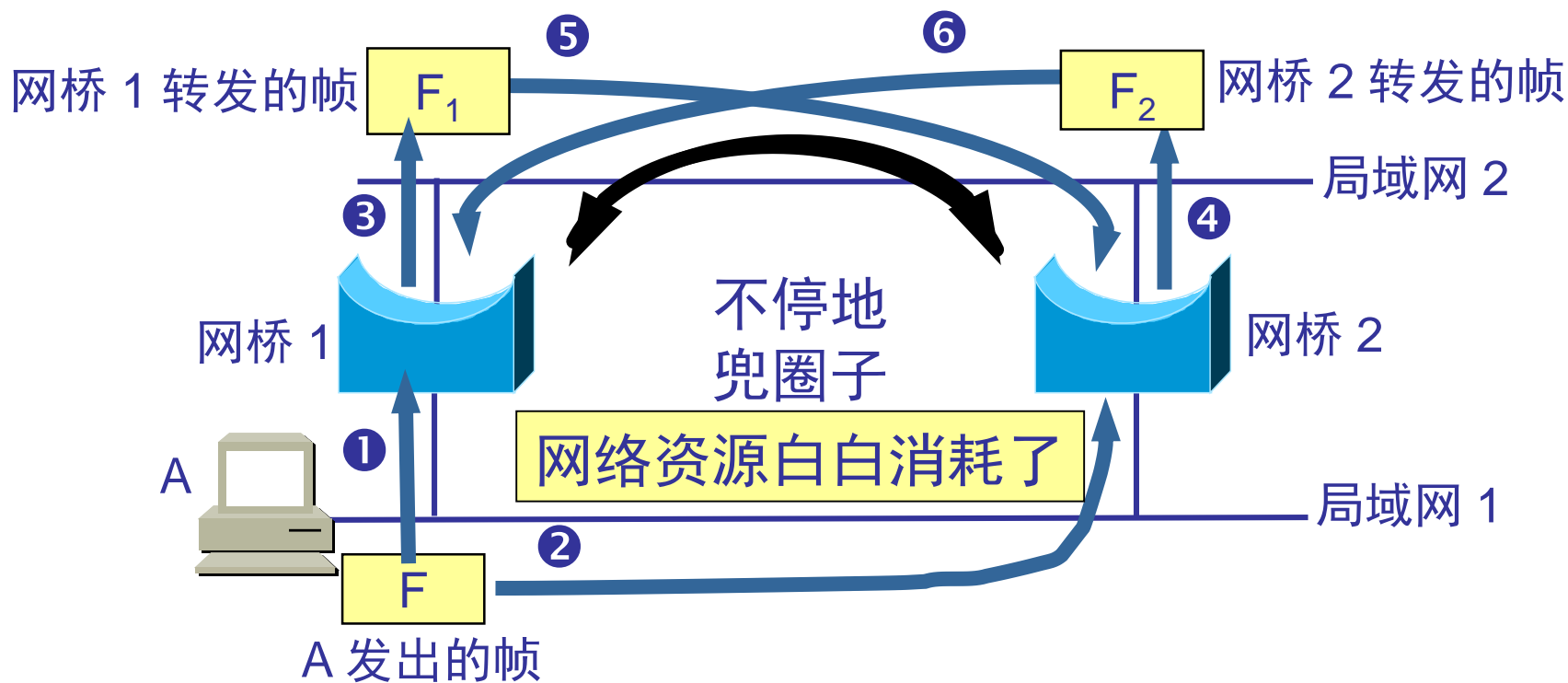
把每个帧到达网桥的时间登记下来，可以在转发表中只保留网络拓扑的最新状态信息。使得网桥中的转发表能反映当前网络的最新拓扑状态。

网桥的自学习和转发帧的步骤归纳

- 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。
 - 无，增加一个项目（源地址、进入的接口和时间）。
 - 有，更新原有的项目。
 - 转发帧。查找目的地址有无相匹配的项目。
 - 无：从所有其他接口（入口除外）向外转发。
 - 有：按转发表中给出的接口进行转发。
-

透明网桥使用了生成树算法

- ❑ 为了避免产生转发的帧在网络中不断地兜圈子。



生成树的得出

互连网桥在进行通信后，能找出原网络拓扑的一个子集--
-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。

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要对生成树的拓扑进行更新。

3. 源路由网桥

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。

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。

源站得知路由后，从所有路由中选出一个最佳路由。

该源站向该目的站发送的帧的首部，必携带源站所确定的路由信息。

4. 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

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。

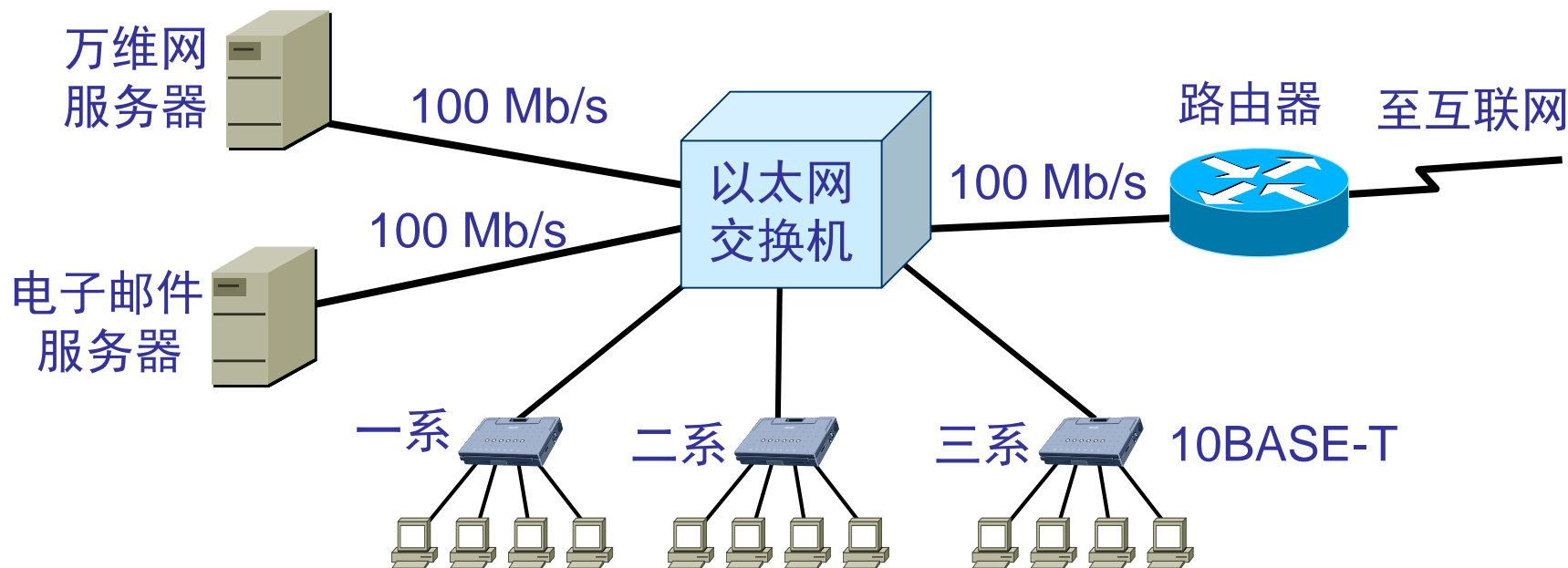
交换机能同时连通许多对的接口，使每一对相互通信的主机都能**像独占通信媒体**那样，进行无碰撞地传输数据。

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



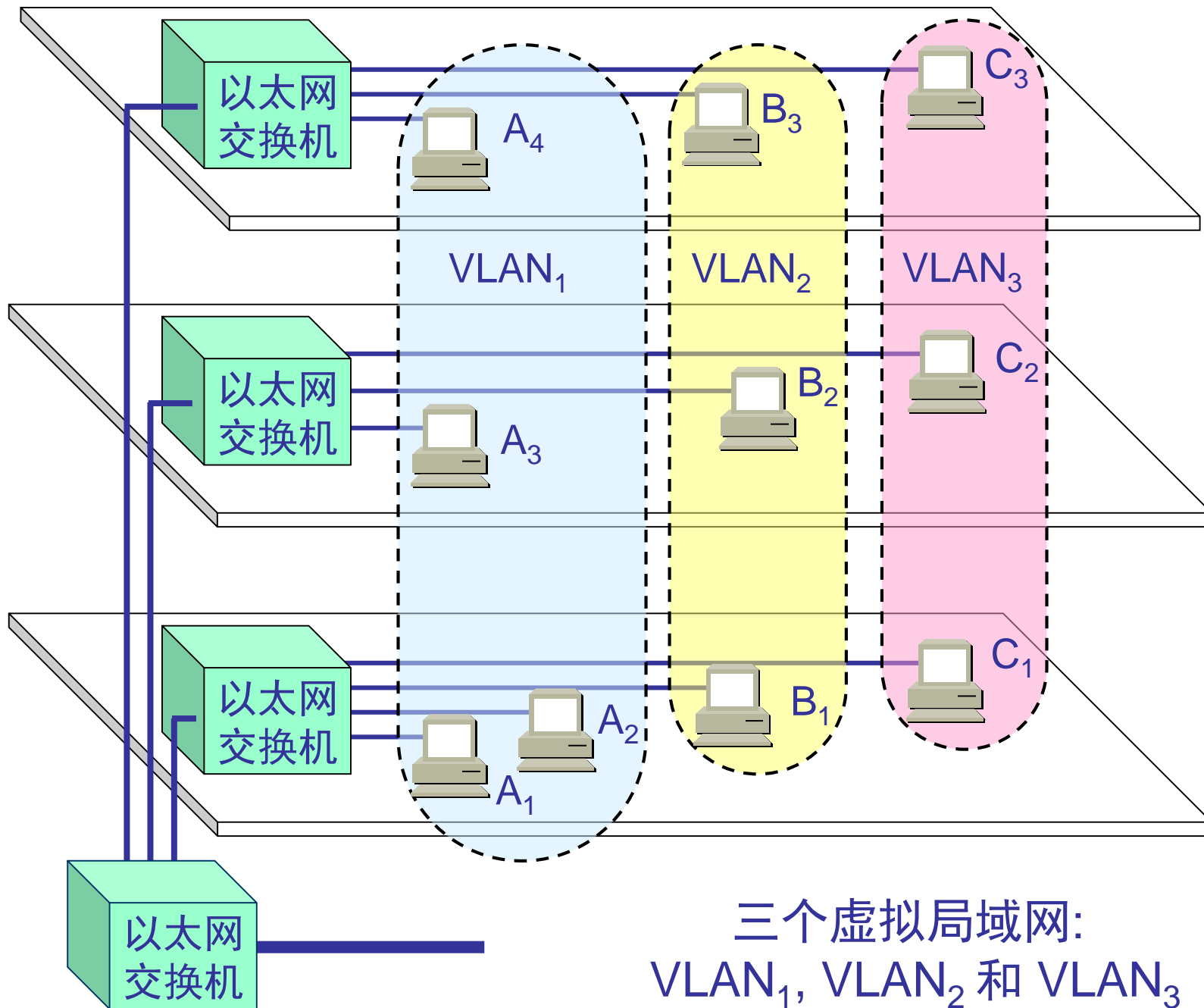
交换机每个端口独享10M或者100M带宽，就好像每辆车都有单独的车道通行

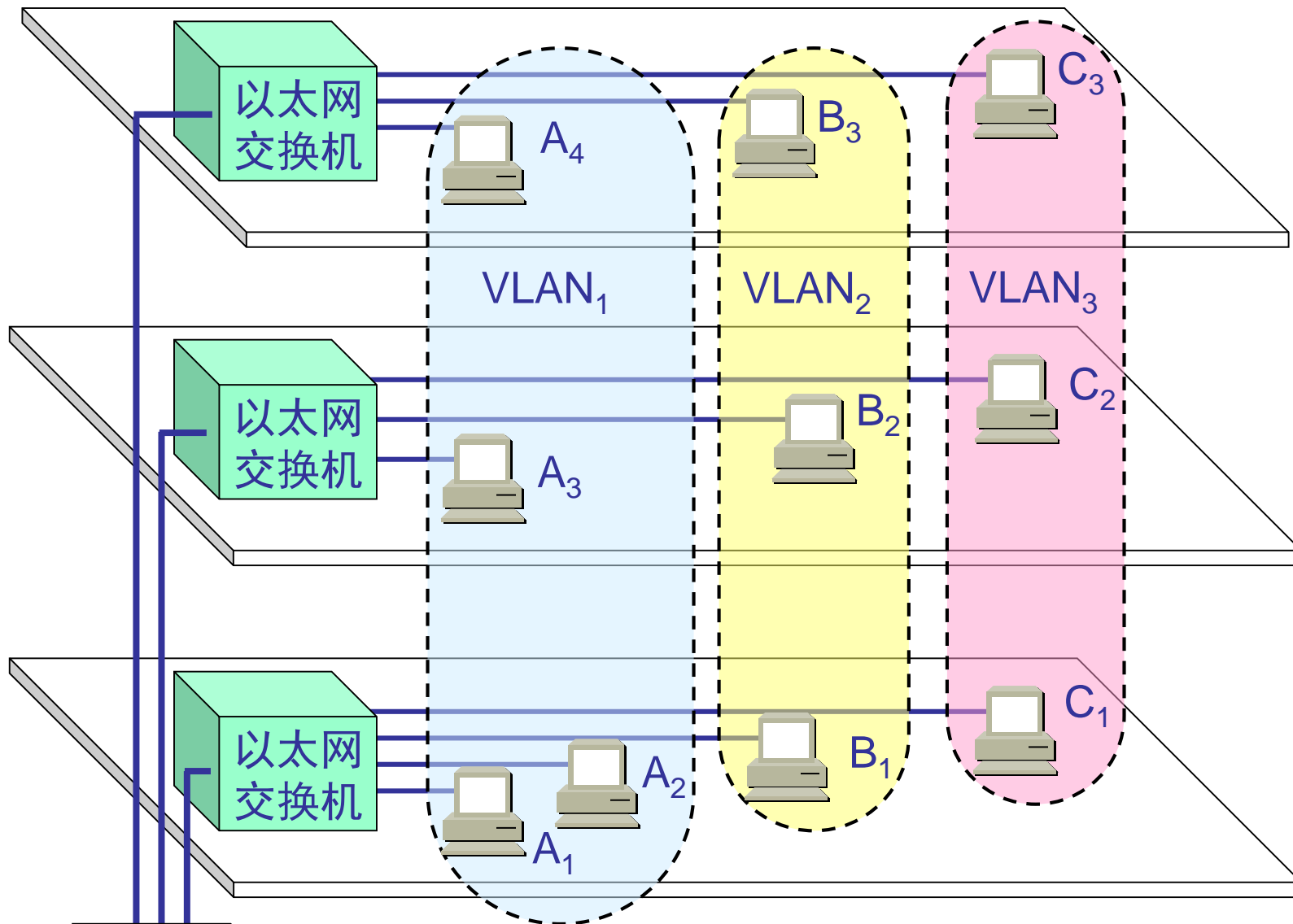
解释PAGE 100 中间段落

- 交换机在同一时刻进行多个端口对之间的数据传输。
 - 端口可视为独立的网段，连接在其上的网络设备独自享有全部的带宽，无须同其他设备竞争使用。
 - 举例：
 - 当A向D发送数据时，B可同时向C发送数据，且这两个传输都享有网络的全部带宽，有自己的虚拟连接。
 - 若使用10Mbps的以太网交换机，那么该交换机这时的总流通量就等于 $2 \times 10\text{Mbps} = 20\text{Mbps}$ ，而使用10Mbps的共享式HUB时，一个HUB的总流通量也不会超出10Mbps。
-

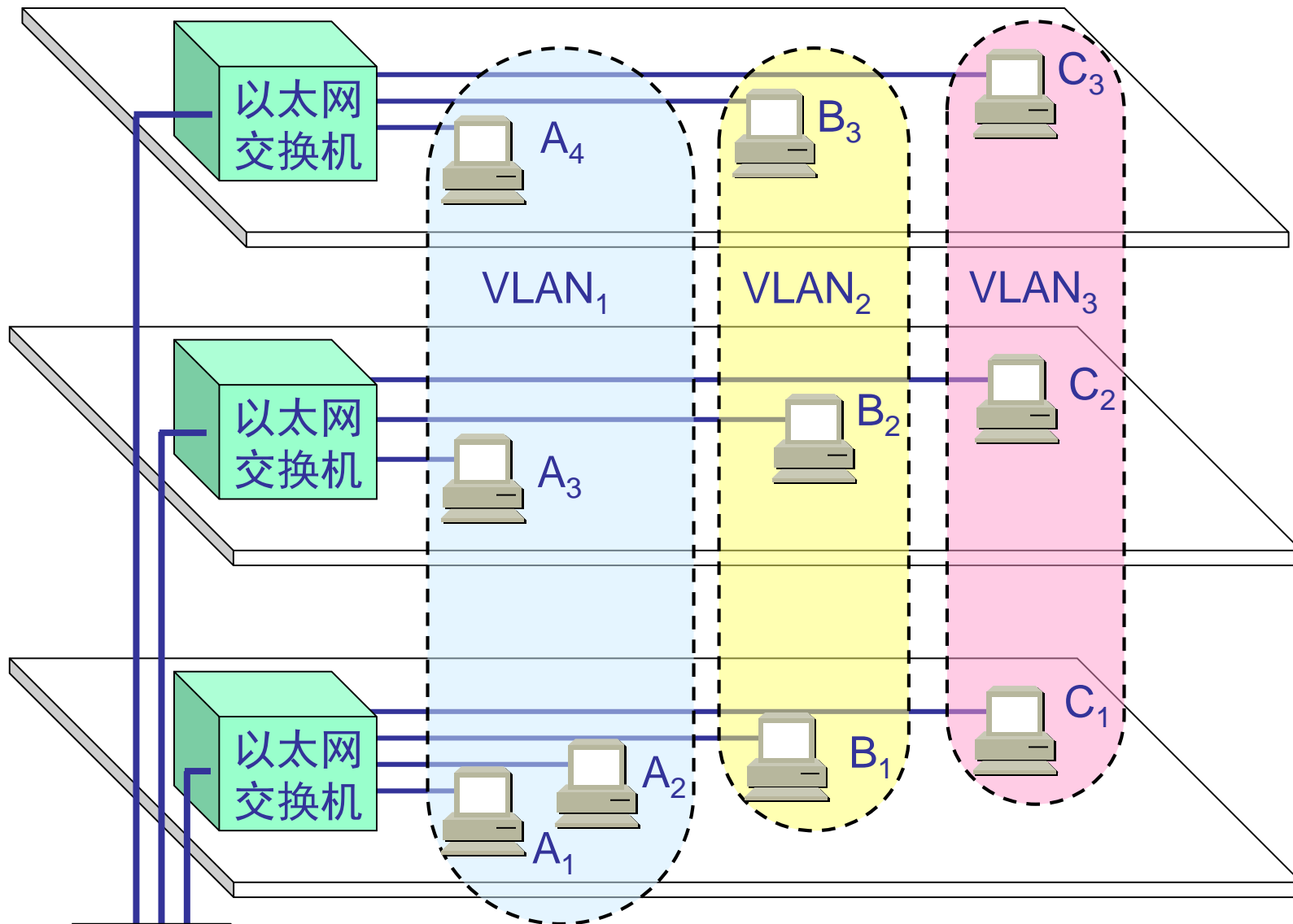
利用以太网交换机可以很方便地实现虚拟局域网

- 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，而并不是一种新型局域网。
-

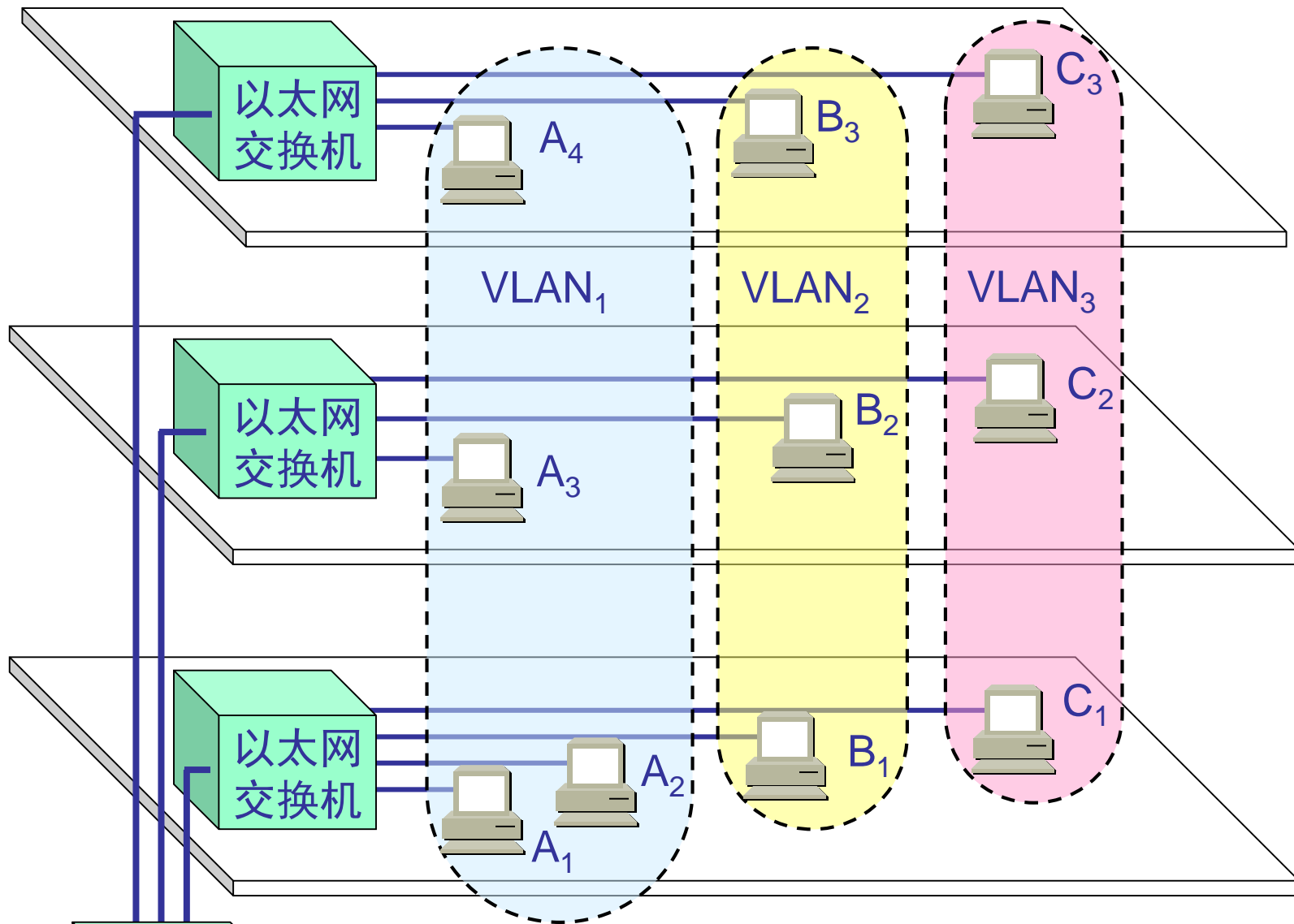




当 B₁ 向 VLAN₂ 工作组内成员发送数据时，
工作站 B₂ 和 B₃ 将会收到广播的信息。



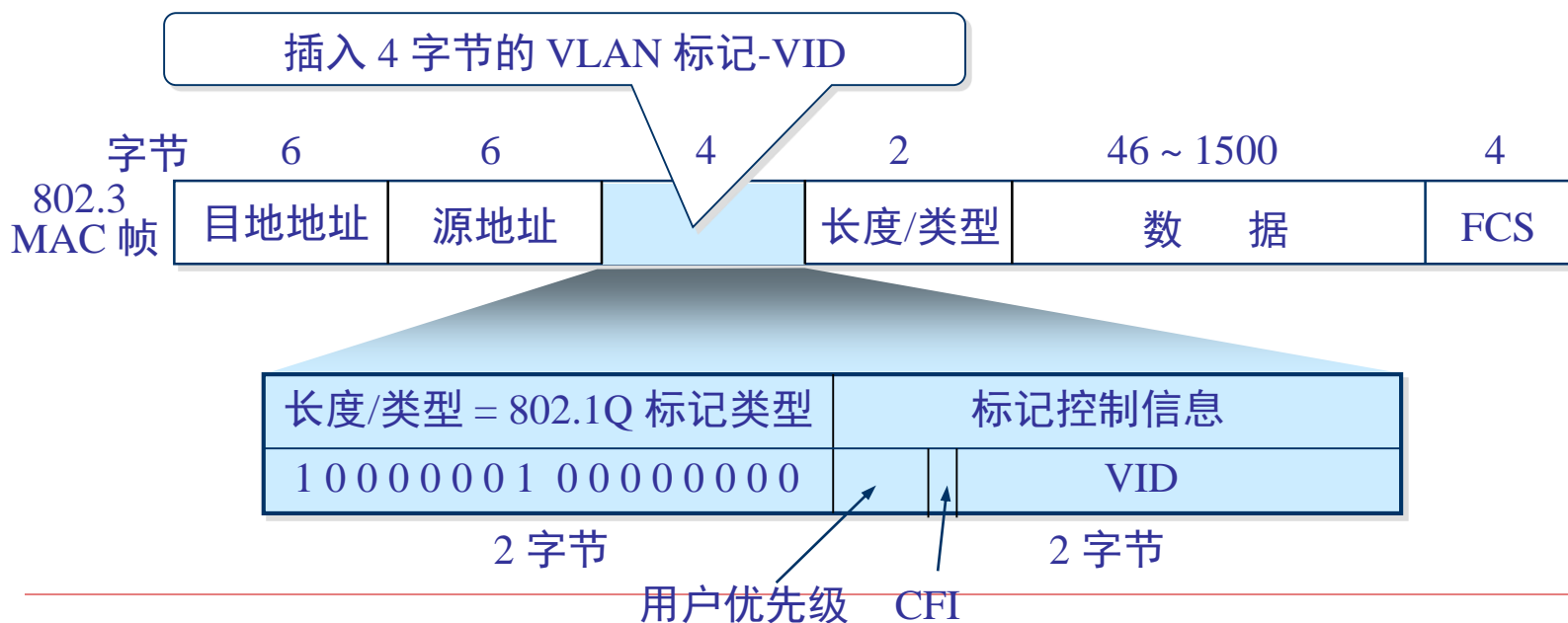
B₁ 发送数据时，工作站 A₁, A₂ 和 C₁ 都不会收到 B₁ 发出的广播信息。



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。



3.6 高速以太网

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。在这种模式下，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，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 $0.96 \mu\text{s}$ 。
-

三种不同的物理层标准

☐ 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。
-

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。
-

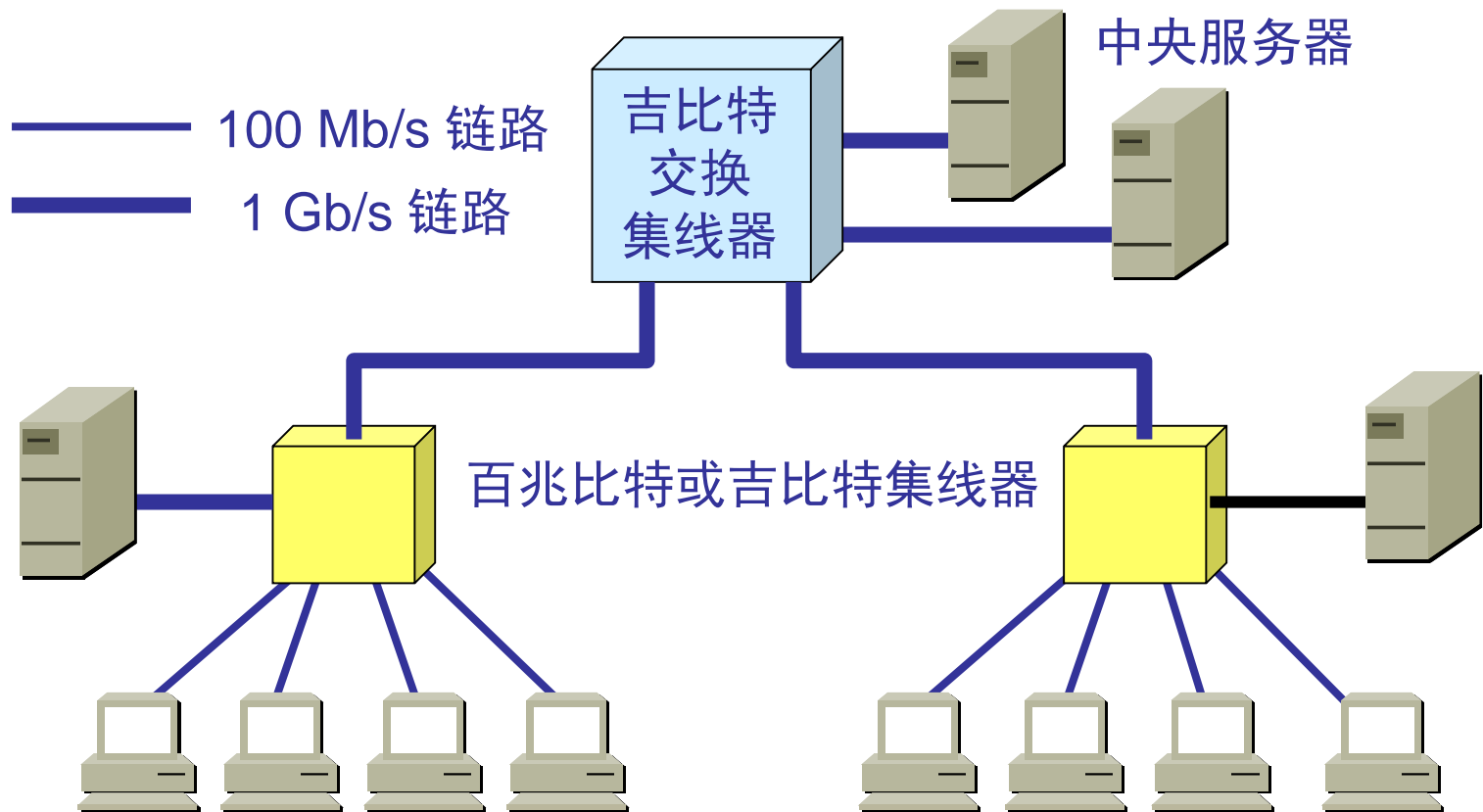
吉比特以太网的物理层

- 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
-

全双工方式

- 当吉比特以太网工作在全双工方式时（即通信双方可同时进行发送和接收数据），不使用载波延伸和分组突发。

吉比特以太网的配置举例



3 10 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。局域网物理层的数据率是 10.000 Gb/s。
 - 可选的广域网物理层 WAN PHY。广域网物理层具有另一种数据率，这是为了和所谓的“Gb/s”的 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，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，从而实现了端到端的以太网传输。
 - 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。
-

以太网从 10 Mb/s 到 10 Gb/s 的演进

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

4 使用高速以太网进行宽带接入

- 以太网速率提高到 $1 \sim 100 \text{ Gb/s}$ ，地理范围扩展到了城域网和广域网，正在尝试使用以太网进行宽带接入。
 - 以太网接入的重要特点是它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。
 - 采用以太网接入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。这就提高了数据的传输效率和降低了传输的成本。
-

以太网接入举例：光纤到大楼 FTTB

高速汇接点 GigaPoP

