

第七节 数据链路层以太网和高速以太网

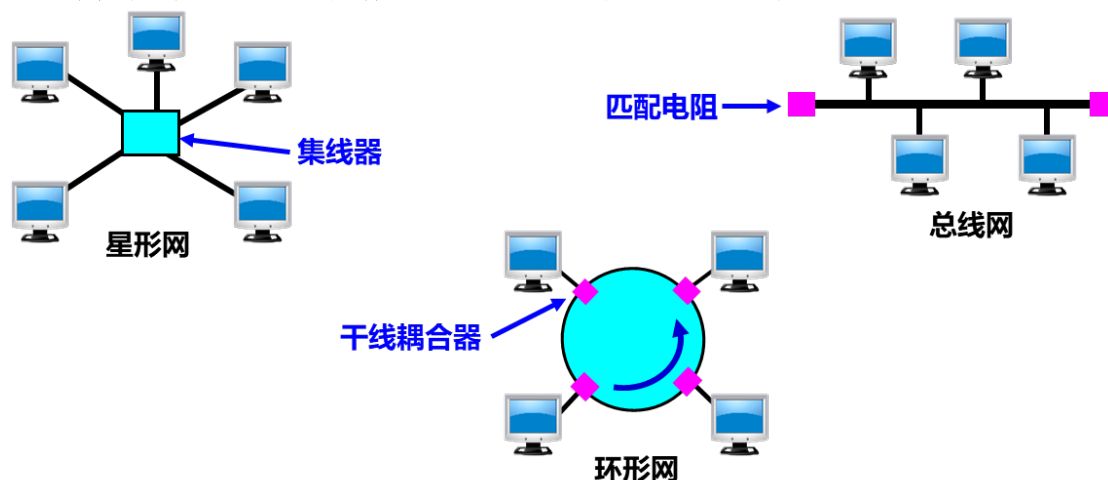
一、课程目标

3.3 和 3.4 需要全部掌握。

二、课程内容

1、局域网概念：局域网是一个单位所拥有的网络，在地理范围和站点数目上均有限。局域网具有广播功能，从一个站点可很方便地访问全网，局域网上的主机可共享连接在局域网上的各种硬件和软件资源。

常见局域网的网络拓扑包括星形网、环形网、总线网。



2、局域网采用一对多的广播通信方式（即共享信道的方式）通信。若多个设备在共享的广播信道上同时发送数据，则会造成彼此干扰，导致发送失败。因此，为了避免发生冲突，在技术上具体的实现方式可分为两种：

(1) 静态划分信道（成本高，不常用）

- 频分复用
- 时分复用
- 波分复用
- 码分复用

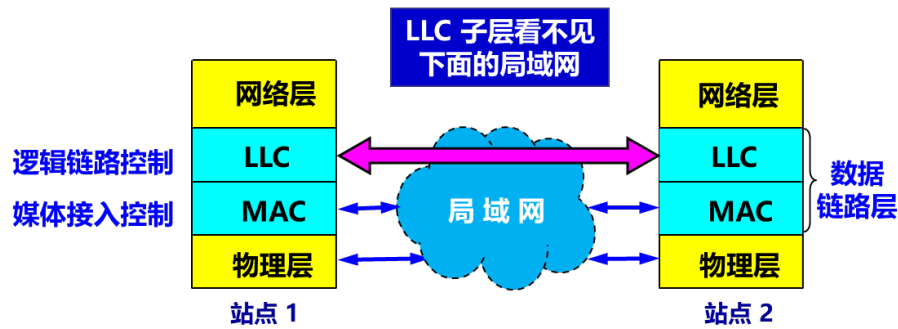
(2) 动态媒体接入控制（多点接入，最常用）

- 随机接入
- 受控接入（轮询）

3、局域网实例：以太网

以太网的两个标准：

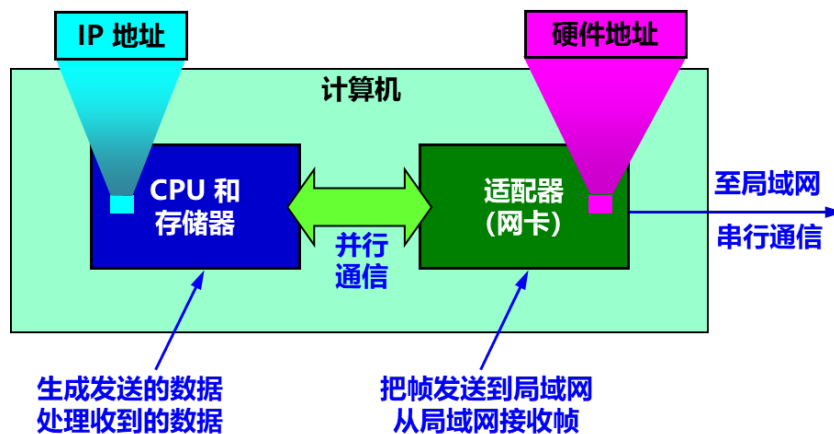
- DIX Ethernet V2 是世界上第一个局域网产品（以太网）的规约，被普遍接受。
- IEEE 802.3 是第一个 IEEE 的以太网标准。将局域网的数据链路层拆成两个子层，分别是逻辑链路控制 LLC (Logical Link Control)子层和媒体接入控制 MAC (Medium Access Control)子层。



4、适配器

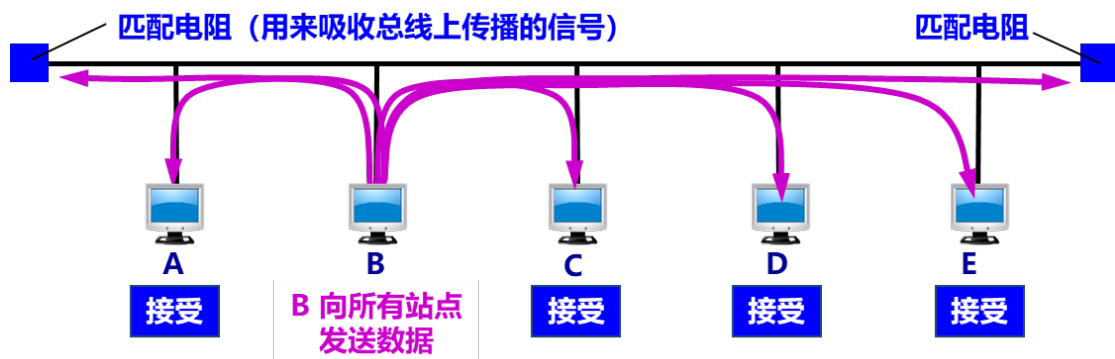
网络接口板又称为通信适配器 (Adapter) 或网络接口卡 NIC (Network Interface Card), 或“网卡”, 适配器所实现的功能包括了数据链路层和物理层两个层次, 具体重要功能如下:

- (1) 进行串行/并行转换 (主机内并行, 网络中串行)
- (2) 对数据进行缓存 (数据率不匹配, 需要缓存)
- (3) 在计算机的操作系统安装设备驱动程序
- (4) 实现以太网协议



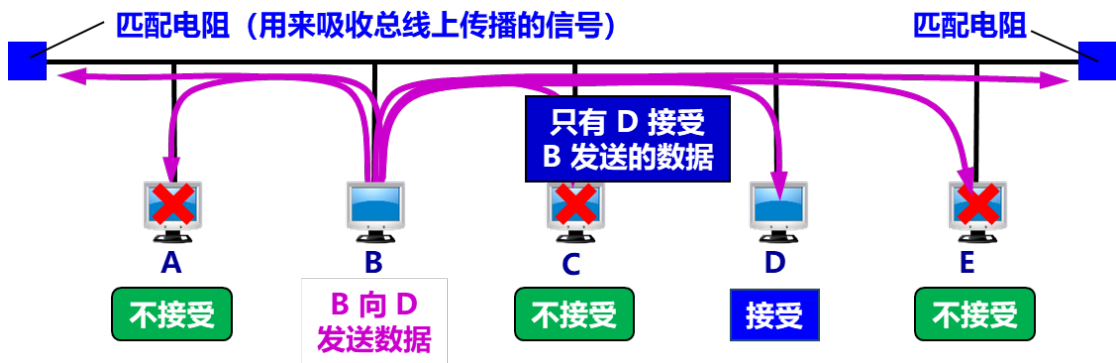
5、CSMA/CD 协议 (背景来源)

最初的以太网是将许多计算机都连接到一根总线上, 易于实现广播通信, 当初认为这样的连接方法既简单又可靠, 因为总线上没有有源器件。另外, 在以太网上发送的数据都使用曼彻斯特 Manchester 编码 (自动同步)。

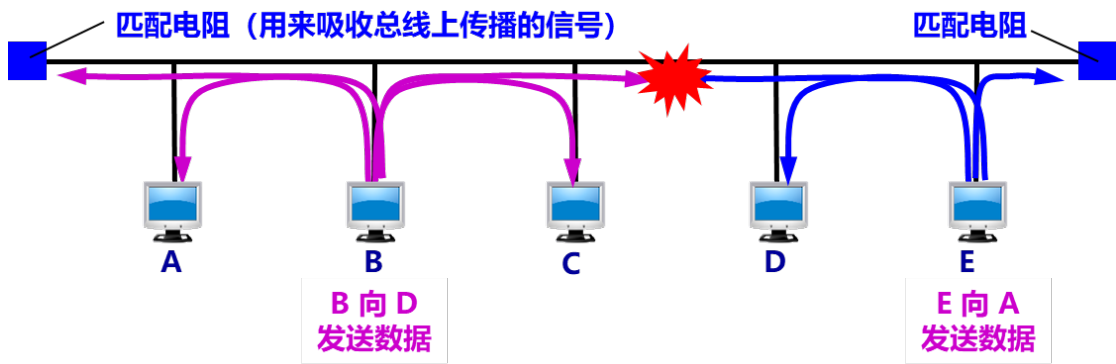


为了实现一对一通信, 将接收站的硬件地址写入帧首部中的目的地址字段中。

仅当数据帧中的目的地址与适配器的硬件地址一致时，才能接收这个数据帧。



然而，在总线上发送数据的过程中，存在着一个严重的问题，即若多台计算机或多个站点同时发送时，会产生发送碰撞或冲突，导致发送失败。



为了避免同时发送数据产生碰撞而导致数据丢失的问题，总线一般采用 CSMA/CD（载波监听多点接入/碰撞检测）协议。

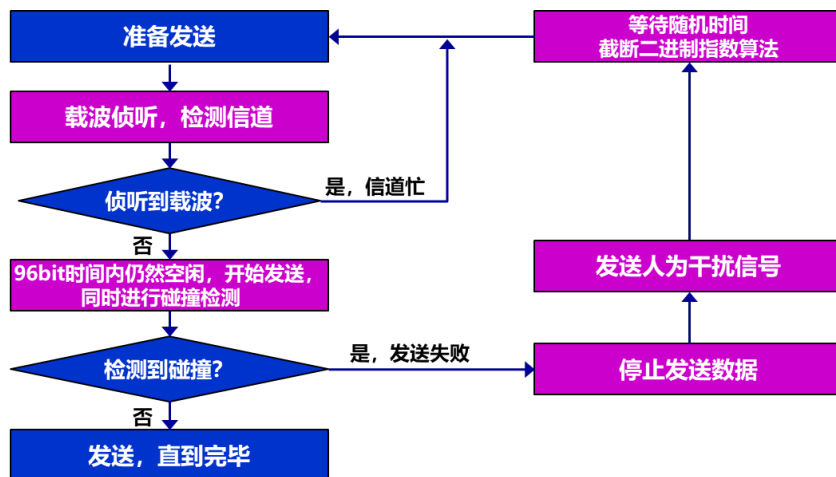
6、CSMA/CD 关键机制

“载波监听”是指每一个站在发送数据之前先要检测一下总线上是否有其他计算机在发送数据，如果有，则暂时不要发送数据，以免发生碰撞。

“多点接入”表示许多计算机以多点接入的方式连接在一根总线上。

“碰撞检测”就是计算机边发送数据边检测信道上的信号电压大小。当几个站同时在总线上发送数据时，总线上的信号电压摆动值将会增大（互相叠加）。

具体工作流程如下：



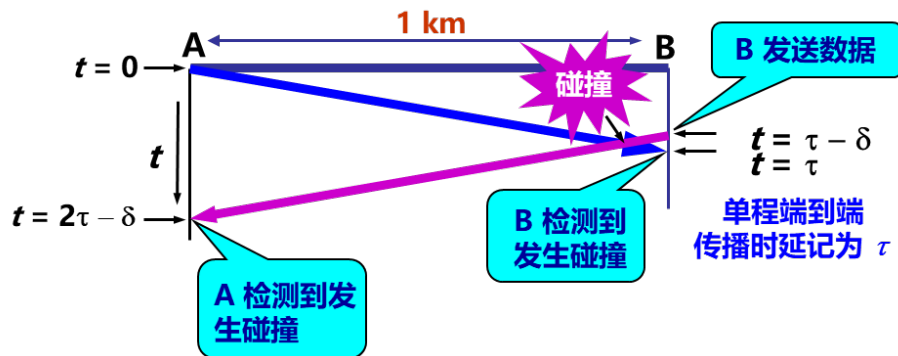
7、碰撞检测

可以将信道看成平静的水面，在信道某处发生的碰撞看作有一颗石头在该处落入了水面，这时激起了涟漪，涟漪向周围扩散，当扩散到某结点处时被检测到（前提是该结点开启了检测功能）。发送方在**发送数据前+发送数据时**（正在发送数据的过程中）这两个时间段需要进行碰撞检测，确认数据的碰撞情况。

(1) 碰撞检测原因

假设现在有 A 先向 B 发送了数据，在 A 发送了数据后的一段时间里（此时数据未到达 B，同时 A 还没有停止发送数据），B 刚好需要向 A 发送数据，这时 B 开启碰撞检测，但此时在信道中由于没有碰撞发生（只有 A 发送的数据），信号电压是正常的，因此 B 认为此时可以发数据，于是发出数据。在一段时间后，A 发送的数据与 B 发送的数据发生了碰撞，此时，如果 A 没有开启碰撞检测，那么 A 会认为数据已经发给了 B，而实际上数据已经因为碰撞而丢失，因此，在发送数据前和发送数据过程中需要检测碰撞。

由于在发送的过程中因为信号传播时延对载波监听产生了影响，因此 A 需要单程传播时延的 2 倍的时间，才能检测到与 B 的发送产生了冲突



(2) 争用期概念：

最先发送数据帧的站，在发送数据帧后至多经过时间 2τ （两倍的端到端往返时延）就可知道发送的数据帧是否遭受了碰撞。以太网的端到端往返时延 2τ 称为争用期或碰撞窗口。经过争用期这段时间还没有检测到碰撞，才能肯定这次发送不会发生碰撞。

(3) 截断二进制指数算法（发生碰撞的站在停止发送数据后，要推迟（退避）多久随机时间才能再发送数据）

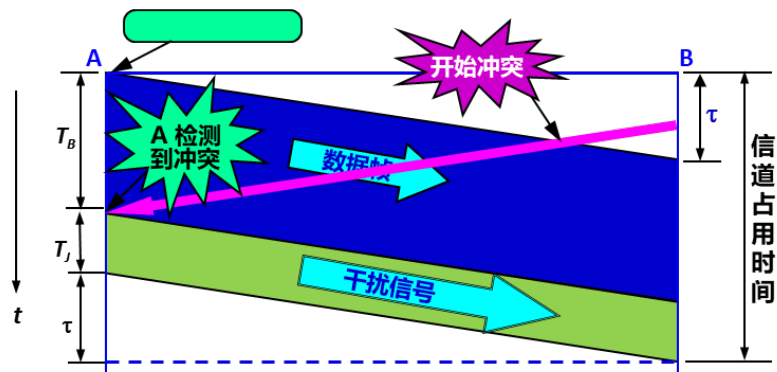
1. 基本退避时间取为争用期 2τ 。
2. 从整数集合 $[0, 1, \dots, (2^k - 1)]$ 中随机地取出一个数，记为 r 。重传所需的时延就是 r 倍的基本退避时间。
3. 参数 k 按下面的公式计算：
$$k = \text{Min}[\text{重传次数}, 10]$$
4. 当 $k \leq 10$ 时，参数 k 等于重传次数。
5. 当重传 16 次仍不能成功时即丢弃该帧，并向高层报告。

其中协议规定基本退避时间为 64 个字节。

最短有效帧长：如果发生冲突，就一定是在发送的前 64 字节之内，由于一检测到冲突就立即中止发送，这时已经发送出去的数据一定小于 64 字节，因此，以太网规定了最短有效帧长为 64 字节，凡长度小于 64 字节的帧都是由于冲突而异常中止的无效帧。

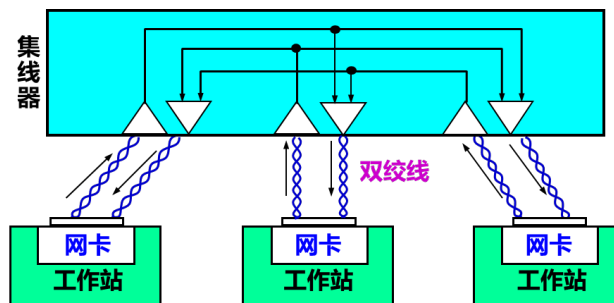
人为干扰信号：当发送数据的站一旦发现发送了碰撞时，除了立即停止发送

数据外，还需要再继续发送 32 比特或 48 比特的人为干扰信号，以便让所有用户都知道发生了碰撞。



8、集线器：

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，简单地转发比特，不进行碰撞检测。

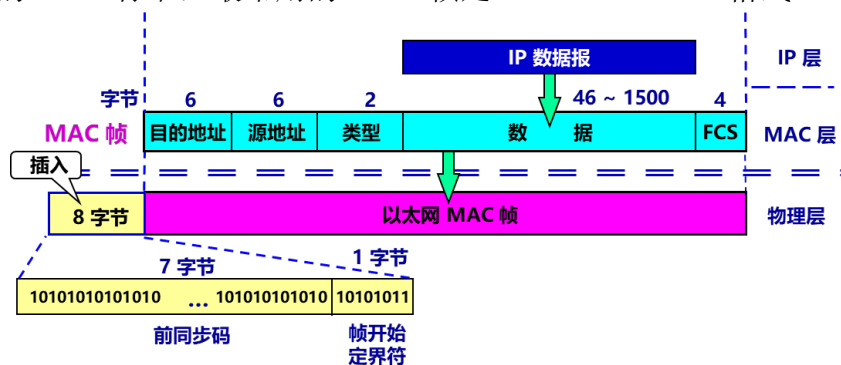


9、以太网 MAC 层硬件地址：在局域网中，硬件地址又称为物理地址，或 MAC 地址，IEEE 802 标准规定 MAC 地址字段可采用 6 字节(48 位)或 2 字节(16 位)这两种中的一种。以 48 位的 MAC 地址为例，一个地址块可以生成 224 个不同的地址。这种 48 位地址称为 MAC-48，它的通用名称是 EUI-48。



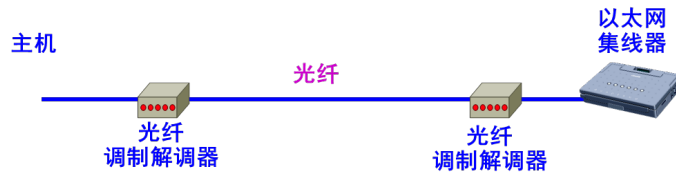
10、MAC 帧格式

常用以太网 MAC 帧格式有两种标准，一种是 DIX Ethernet V2 标准，另一种是 IEEE 的 802.3 标准，最常用的 MAC 帧是 DIX Ethernet V2 格式。

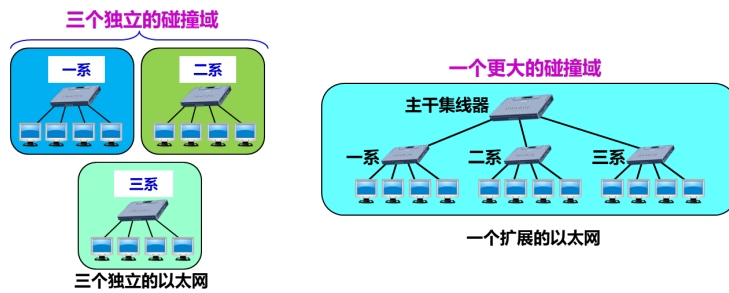


11、扩展以太网

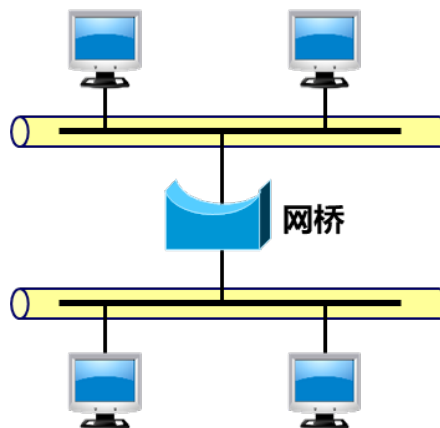
(1) 使用光纤扩展



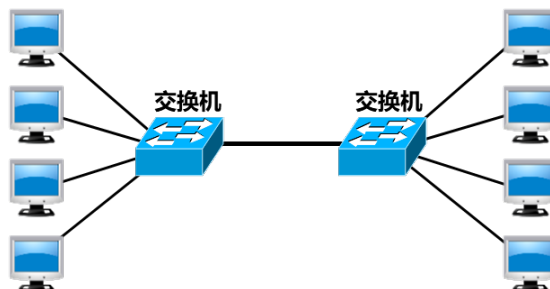
(2) 使用集线器扩展



(3) 使用网桥扩展 (在数据链路层扩展, 根据 MAC 帧的目的地址对收到的帧进行转发和过滤, 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, 或把它丢弃。)

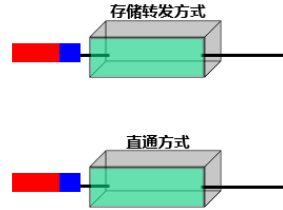


(4) 使用交换机扩展 (在数据链路层扩展, 以太网交换机实质上就是一个多接口的网桥, 通常都有十几个或更多的接口, 每个接口都直接与一个单台主机或另一个以太网交换机相连, 并且一般都工作在全双工方式, 以太网交换机具有并行性, 能同时连通多对接口, 使多对主机能同时通信。相互通信的主机都是独占传输媒体, 无碰撞地传输数据。)

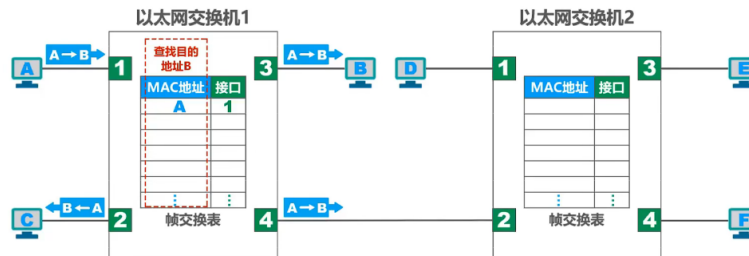
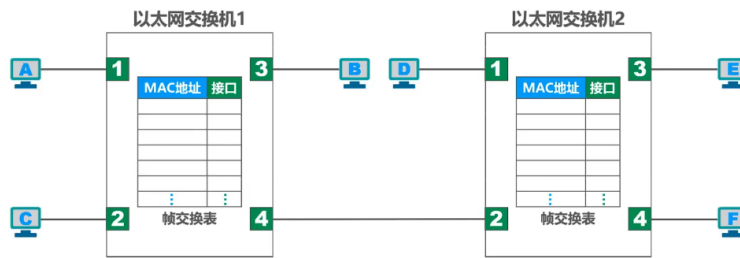
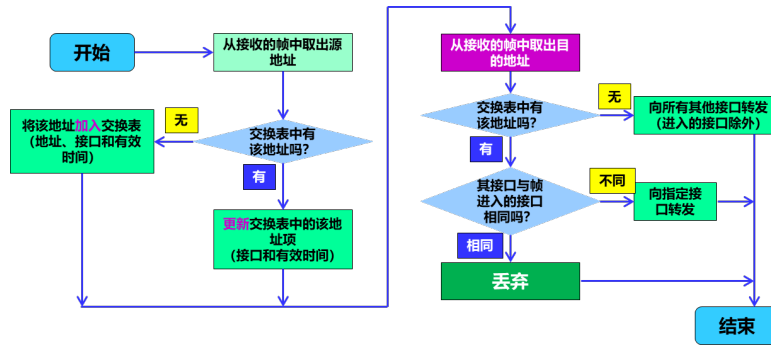


12、以太网交换机交换方式

- 存储转发方式
 - 把整个数据帧先缓存后再进行处理。
- 直通 (cut-through) 方式
 - 接收数据帧的同时就立即按数据帧的目的 MAC 地址决定该帧的转发接口，因而提高了帧的转发速度。
 - 缺点是它不检查差错就直接将帧转发出去，因此有可能也将一些无效帧转发给其他的站。



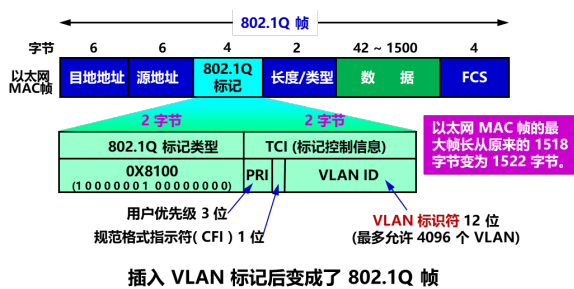
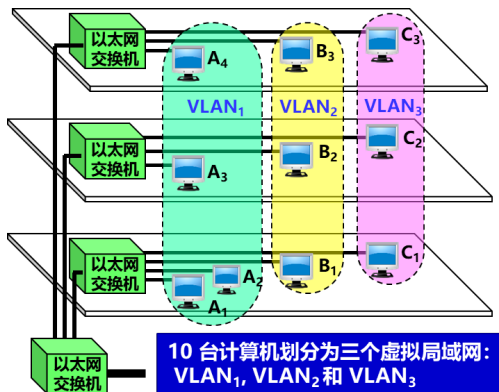
13、以太网自学习功能



A → B 登记 转发(盲目泛洪)

参考资料: https://blog.csdn.net/qq_67720621/article/details/128140863

14、虚拟局域网和 VLAN 帧格式



三、重点习题

P113: 3-20、3-24、3-25、3-26、3-30、3-34

四、参考资料