

CSMA/CD

苏铅坤



3. 以太网数据链路层协议

3.3 使用广播信道的数据链路层



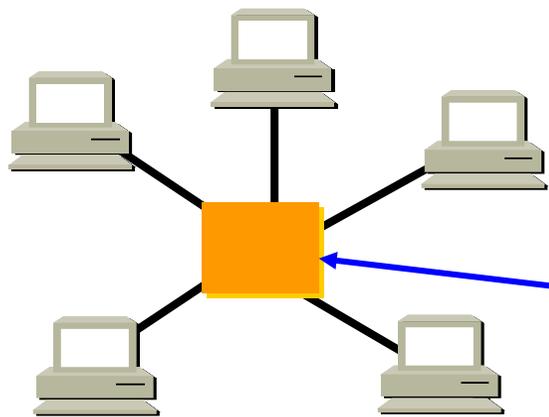
- 3.3.1 局域网的数据链路层
- 3.3.2 CSMA/CD 协议
- 3.3.3 使用集线器的星形拓扑
- 3.3.4 以太网的信道利用率
- 3.3.5 以太网的 MAC 层

3.3.1 局域网的数据链路层



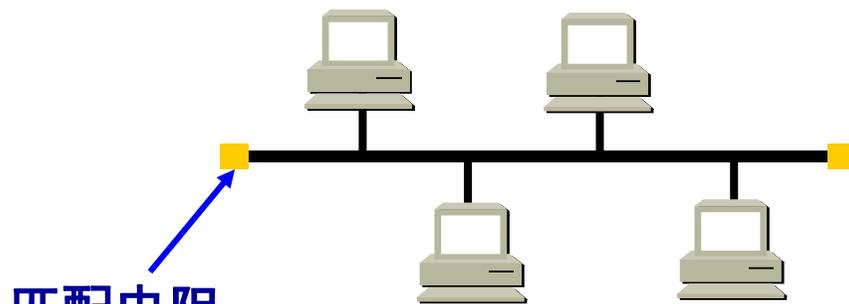
- 局域网最主要的**特点**是：
 - 网络为一个单位所拥有；
 - 地理范围和站点数目均有限。
- 局域网具有如下**主要优点**：
 - 具有广播功能，从一个站点可很方便地访问全网。局域网上的主机可共享连接在局域网上的各种硬件和软件资源。
 - 便于系统的扩展和逐渐地演变，各设备的位置可灵活调整和改变。
 - 提高了系统的可靠性、可用性和生存性（survivability）。

局域网拓扑结构



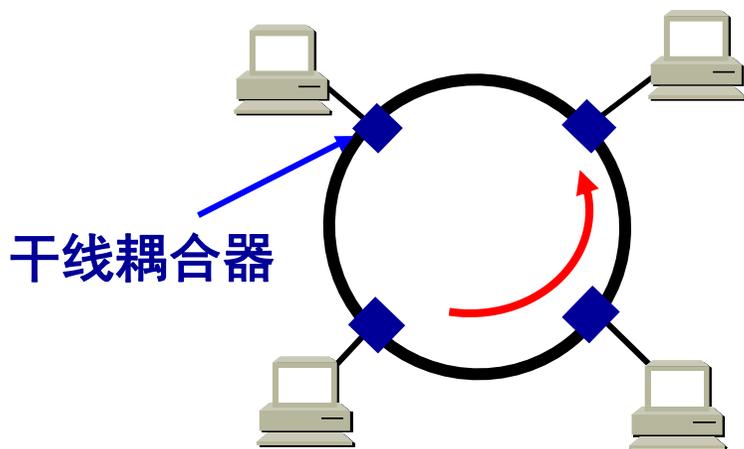
星形网

集线器



匹配电阻

总线网



干线耦合器

环形网

1. 以太网的两个标准



- 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）。
 - IEEE 802.3 是第一个 IEEE 的以太网标准。
 - DIX Ethernet V2 标准与 IEEE 的 802.3 标准只有很小的差别，因此可以将 802.3 局域网简称为“以太网”。
- 严格说来，“以太网”应当是指符合 DIX Ethernet V2 标准的局域网。
- 由于 TCP/IP 体系经常使用的局域网是 DIX Ethernet V2

3. 以太网数据链路层协议



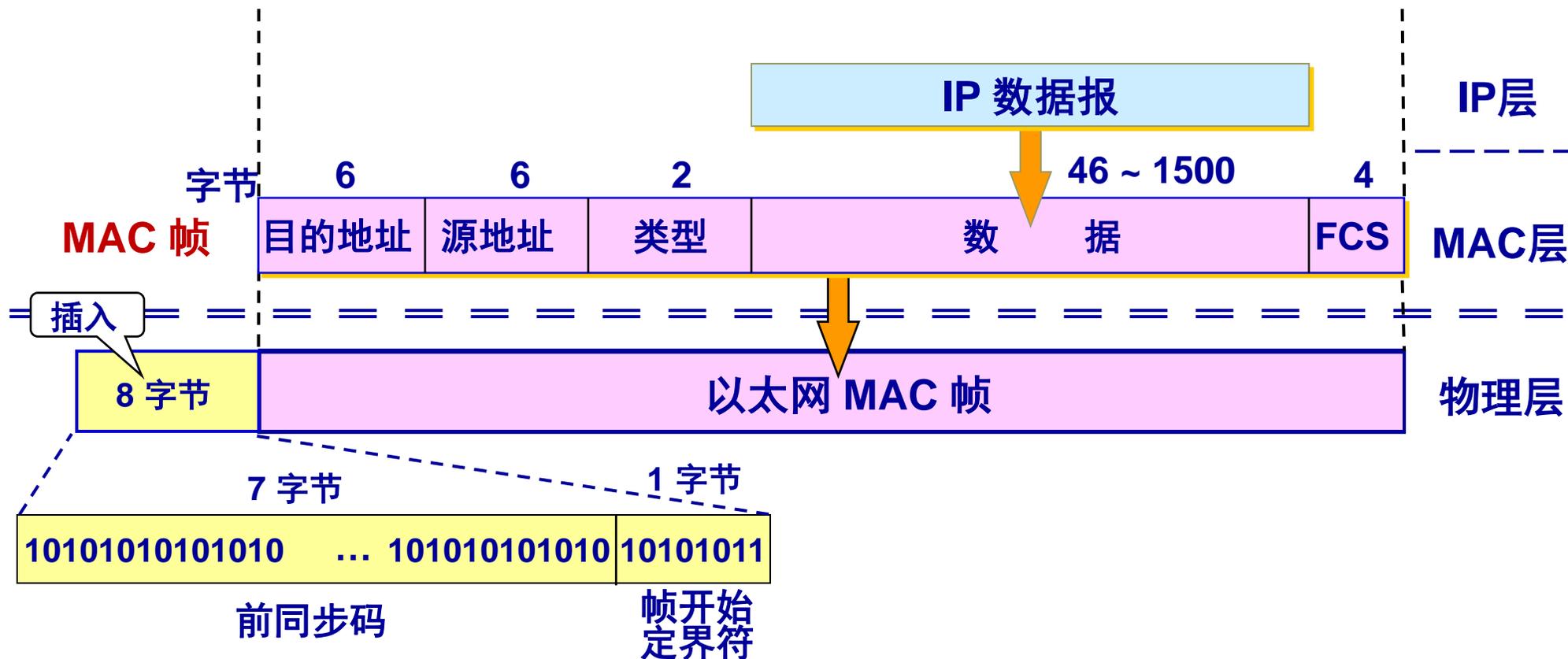
- 封装成帧
- 透明传输
- 差错检测



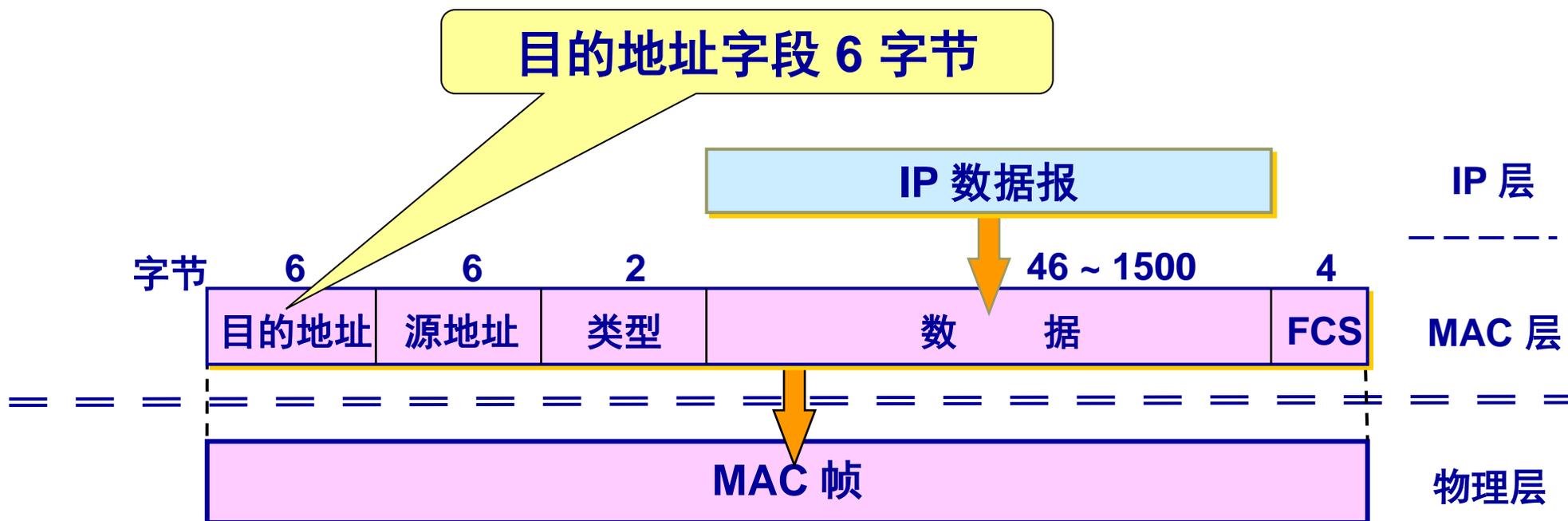
(1) 封装成帧

- 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。

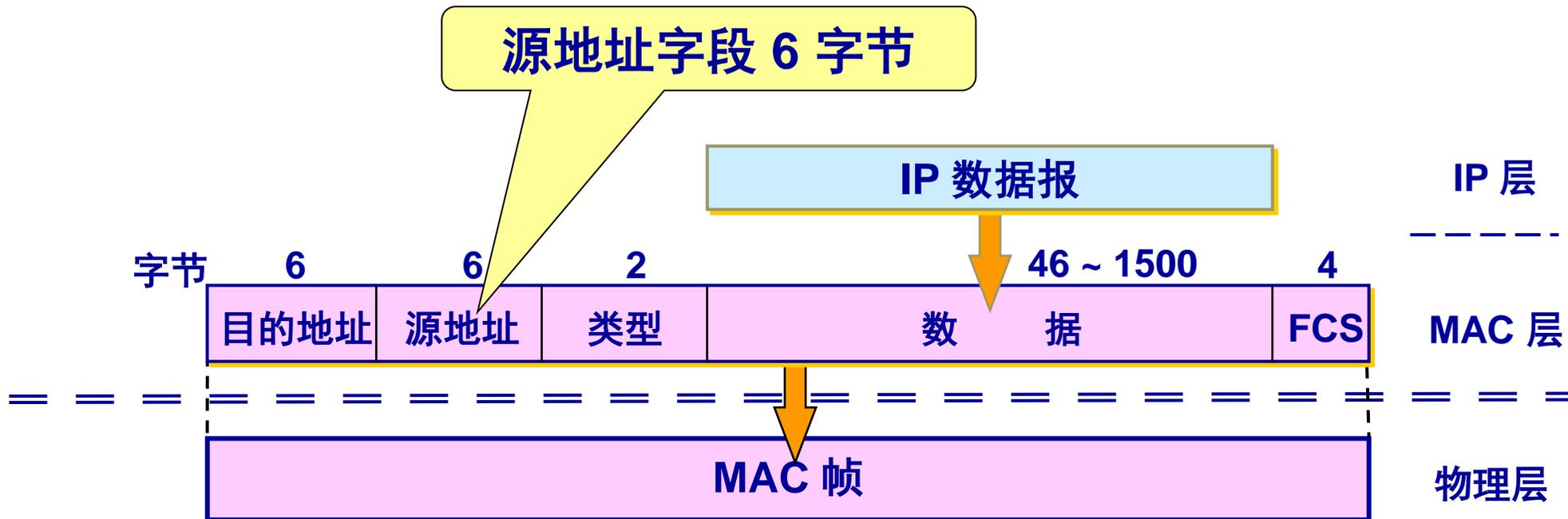
以太网V2的 MAC 帧格式



以太网 V2 的 MAC 帧格式



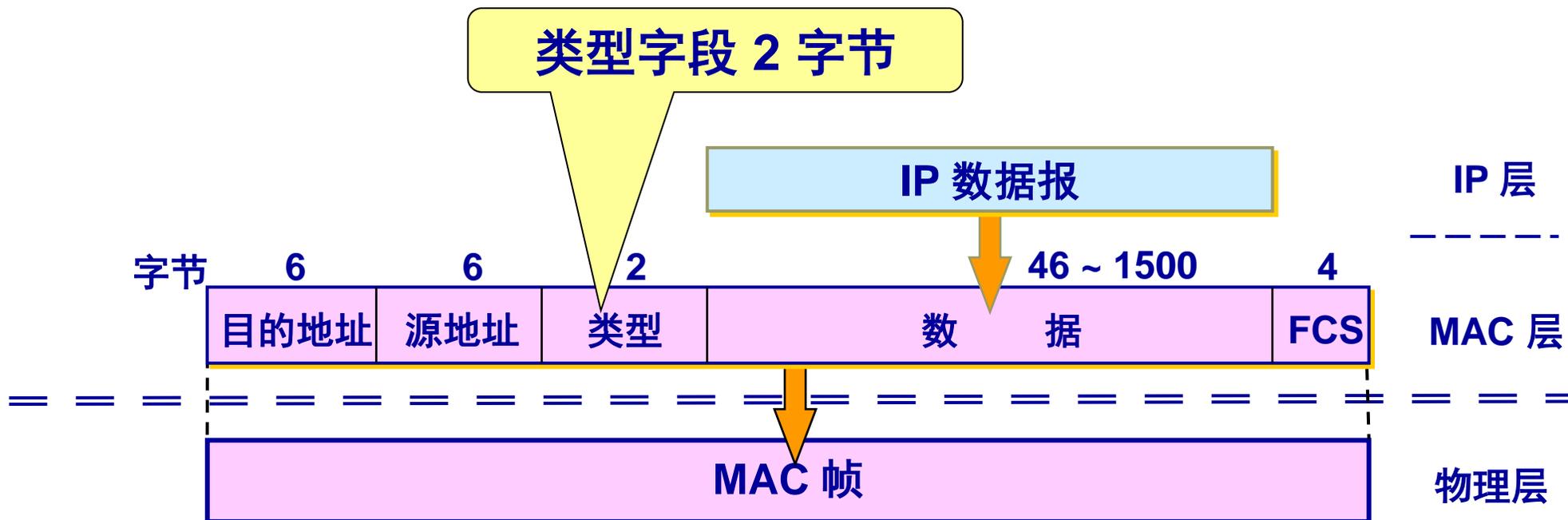
以太网 V2 的 MAC 帧格式



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。



类型：

0x8100, IP数据报

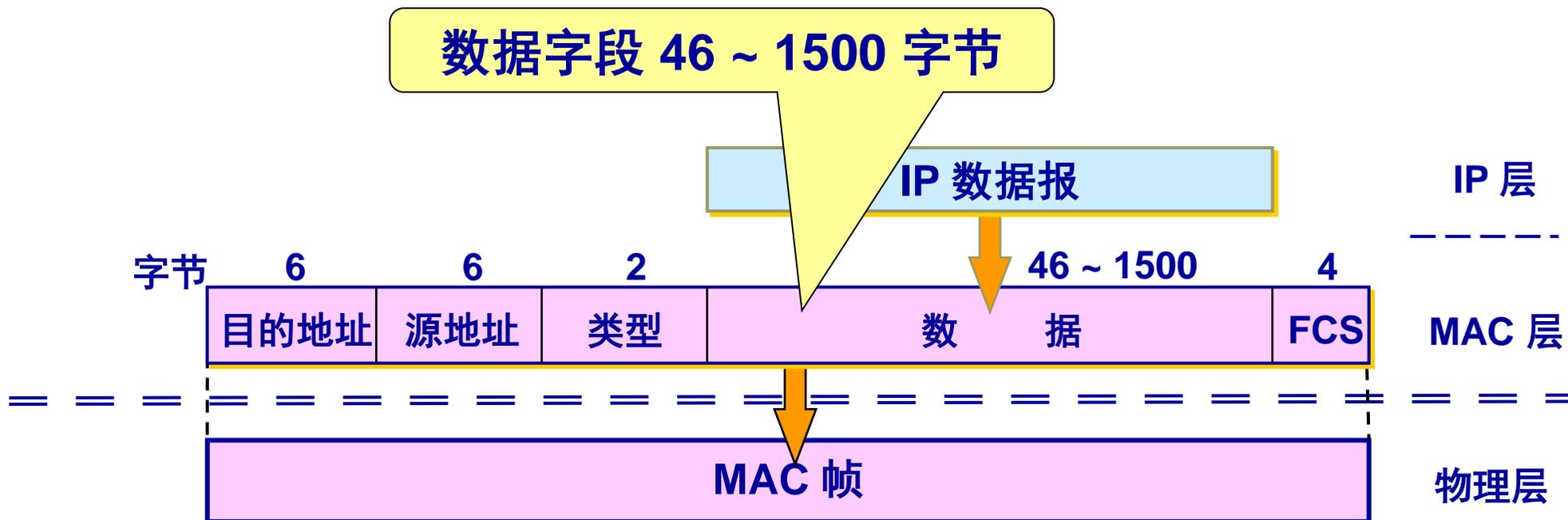
0x8137, Novell IPX

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 (46 字节)

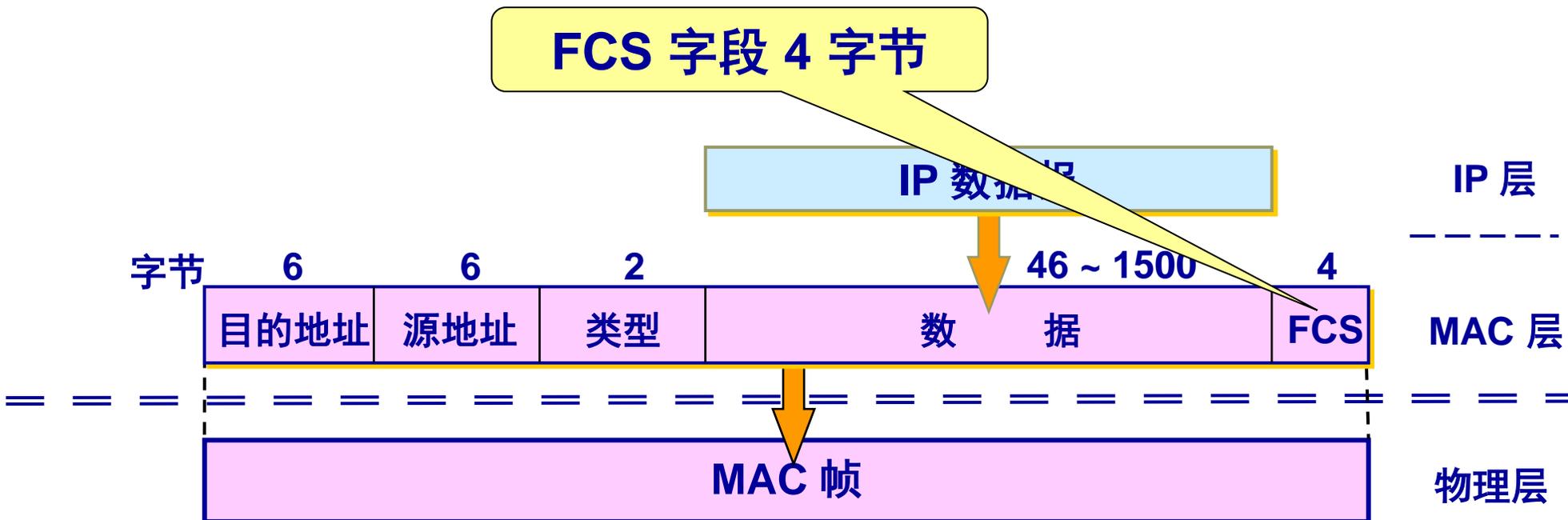


以太网 V2 的 MAC 帧格式



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

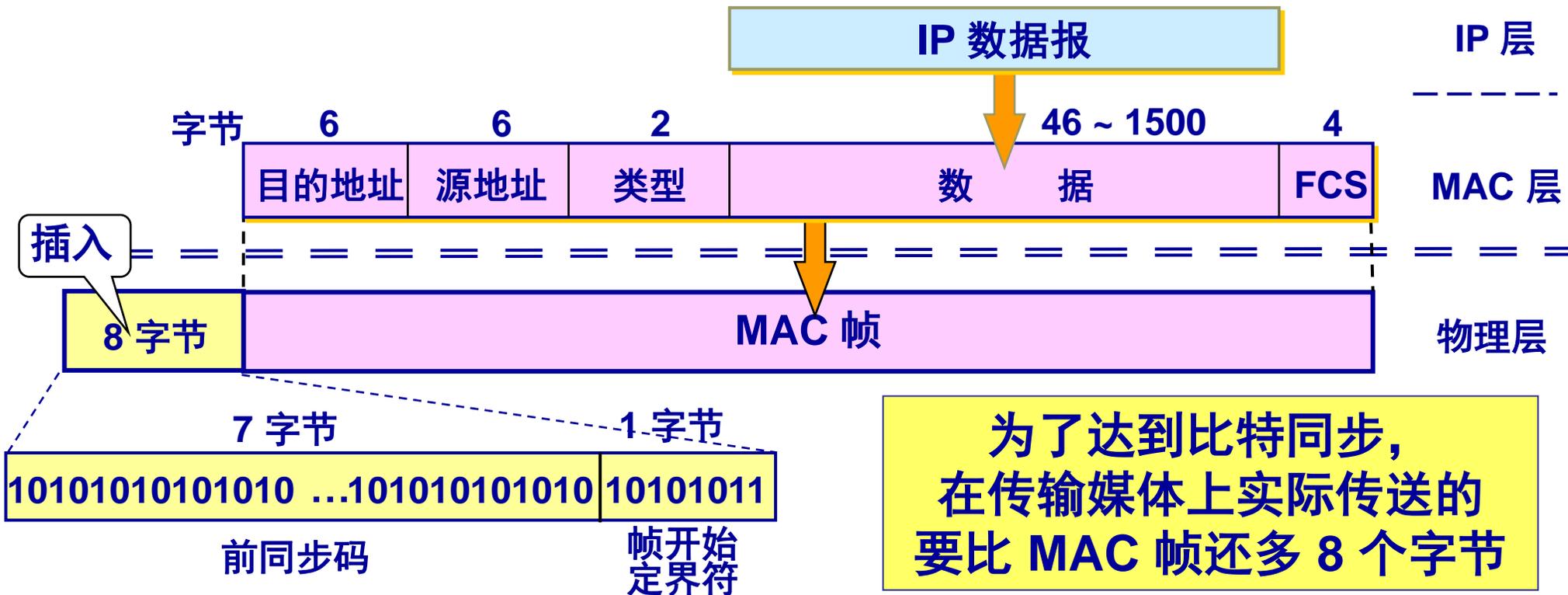


当数据字段的长度小于 46 字节时，
应在数据字段的后面加入整数字节的填充字段，
以保证以太网的 MAC 帧长不小于 64 字节。

以太网 V2 的 MAC 帧格式



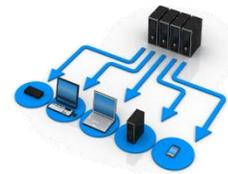
在帧的前面插入（硬件生成）的 8 字节中，第一个字段共 7 个字节，是前同步码，用来迅速实现 MAC 帧的比特同步。第二个字段 1 个字节是帧开始定界符，表示后面的信息就是 MAC 帧。



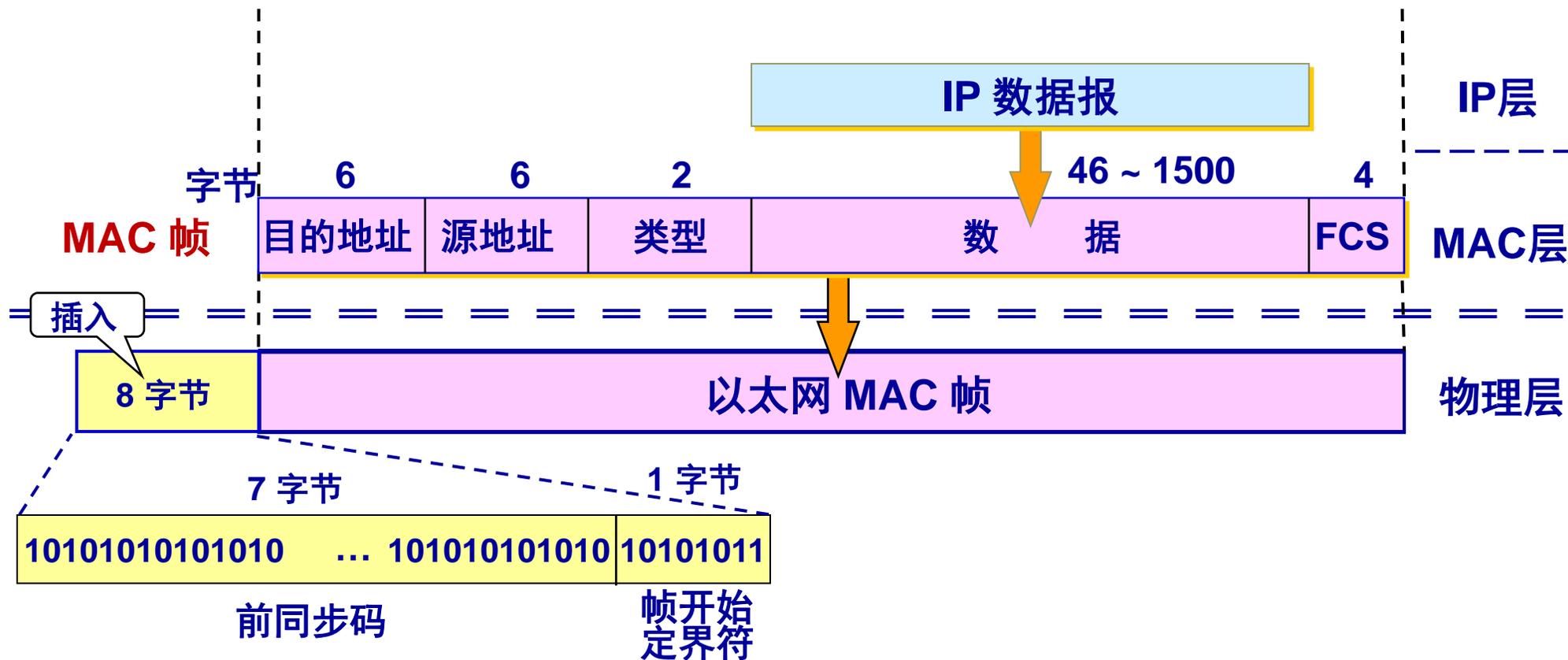
以太网 V2 的 MAC 帧格式



- 多8个字节
 - 当一个站刚开始接收MAC帧时，适配器的时钟尚未与到达的比特流达成同步
- 7字节前同步码（1和0交替），由硬件生成
- 帧开始定界符



思考：帧结束界定符？



帧结束界定符



- 以太网传送帧时，各帧之间还必须有一定的间隙
- 以太网规定：帧间最小间隔为 $9.6 \mu\text{s}$
 - 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。

无效的帧



- 帧长度不是整数个字节
- FCS CRC有差错
- 帧数据字段不在46~1500字节之间



(2) 透明传输

- 不需要使用帧结束定界符



(3) 差错检测

- 帧检验序列FCS
 - 使用循环冗余检验



3. 以太网数据链路层协议

以太网采取了两种重要的措施



为了通信的简便，以太网采取了两种重要的措施：

(1) 采用较为灵活的**无连接的工作方式**

- 不必先建立连接就可以直接发送数据。
- 对发送的数据帧不进行编号，也不要求对方发回确认。
- 这样做的理由是局域网信道的质量很好，因信道质量产生差错的概率是很小的。

以太网提供的服务



- 以太网提供的服务是不可靠的交付，即尽最大努力的交付。
- 当目的站收到有差错的数据帧时就丢弃此帧，其他什么也不做。差错的纠正由高层来决定。
- 如果高层发现丢失了一些数据而进行重传，但以太网并不知道这是一个重传的帧，而是当作一个新的数据帧来发送。

二进制基带信号

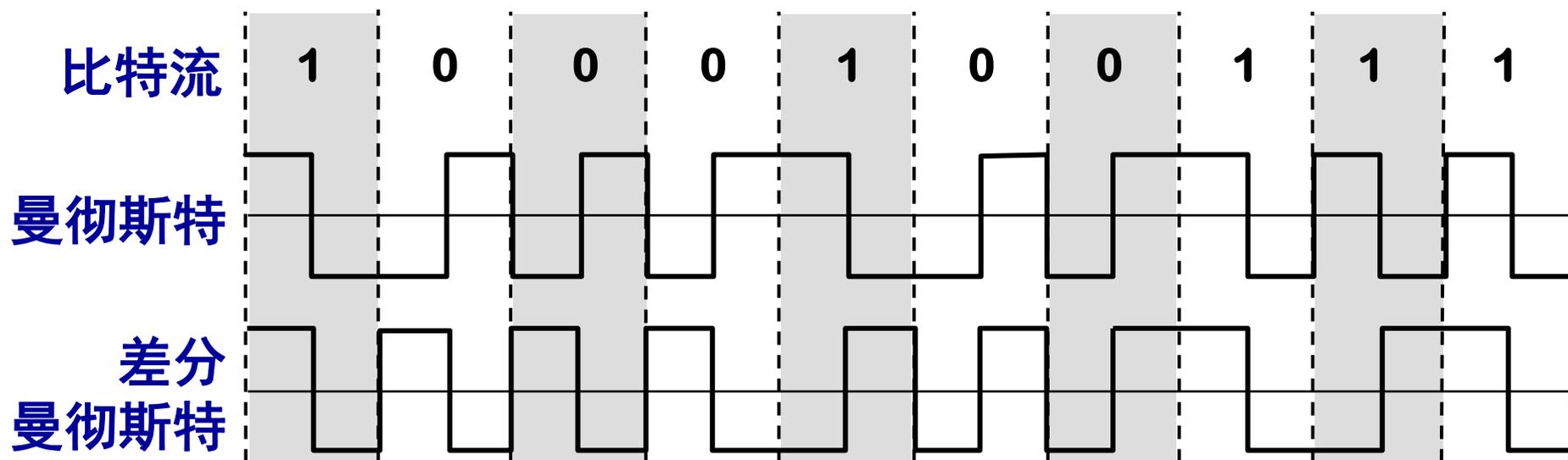


- 二进制基带信号由高低电压交替的信号
- 问题：出现一长串连续为1或0，接收端无法提取同步信号
- 解决方法：曼彻斯特编码，将每一个码元分成两个相等的间隔

以太网采取了两种重要的措施

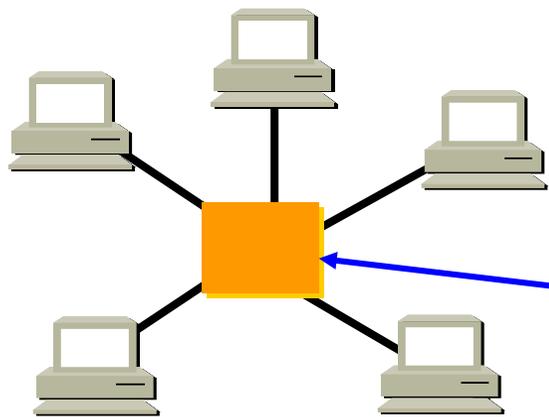


(2) 以太网发送的数据都**使用曼彻斯特**
(Manchester) 编码



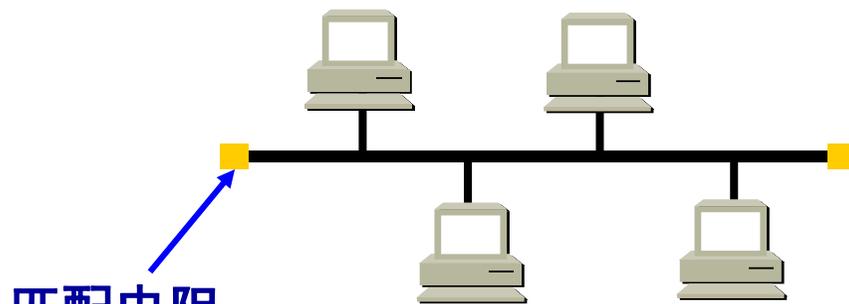
曼彻斯特编码**缺点**是：它所占的频带宽度比原始的基带信号增加了一倍。

局域网拓扑结构



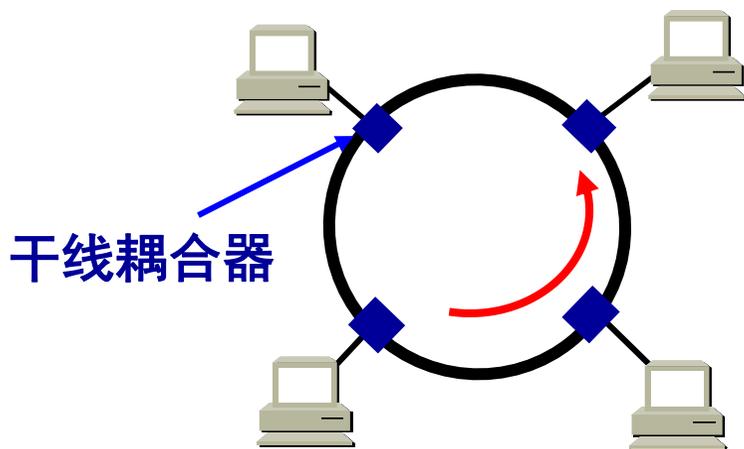
星形网

集线器



匹配电阻

总线网



干线耦合器

环形网

动态媒体接入控制（多点接入）

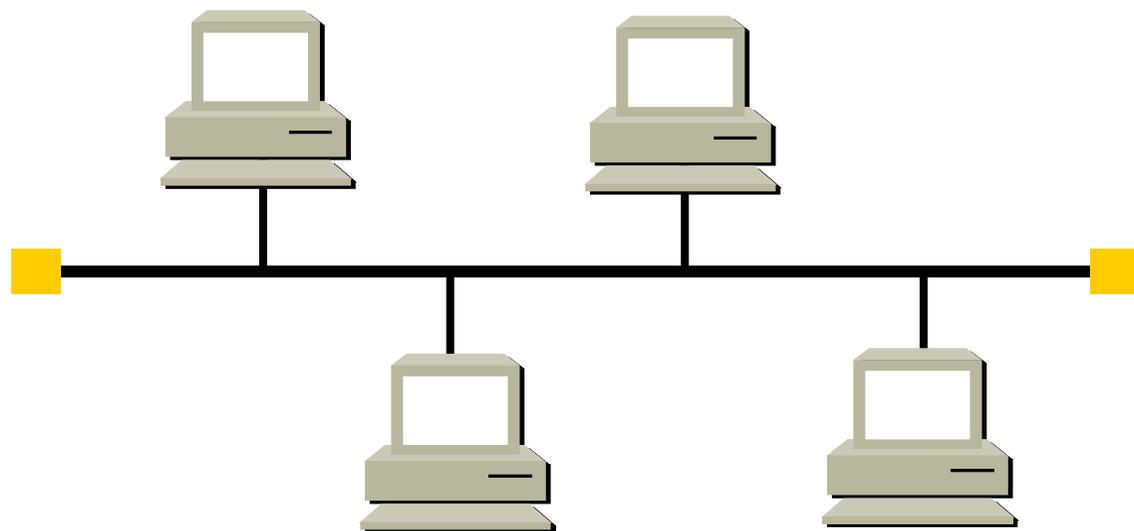


- 随机接入：解决碰撞的协议
- 受控接入，如多点线路探询 (polling)或轮询。
 - E.g., 令牌环局域网

随机接入：碰撞检测



- 以太网使用简单的随机接入

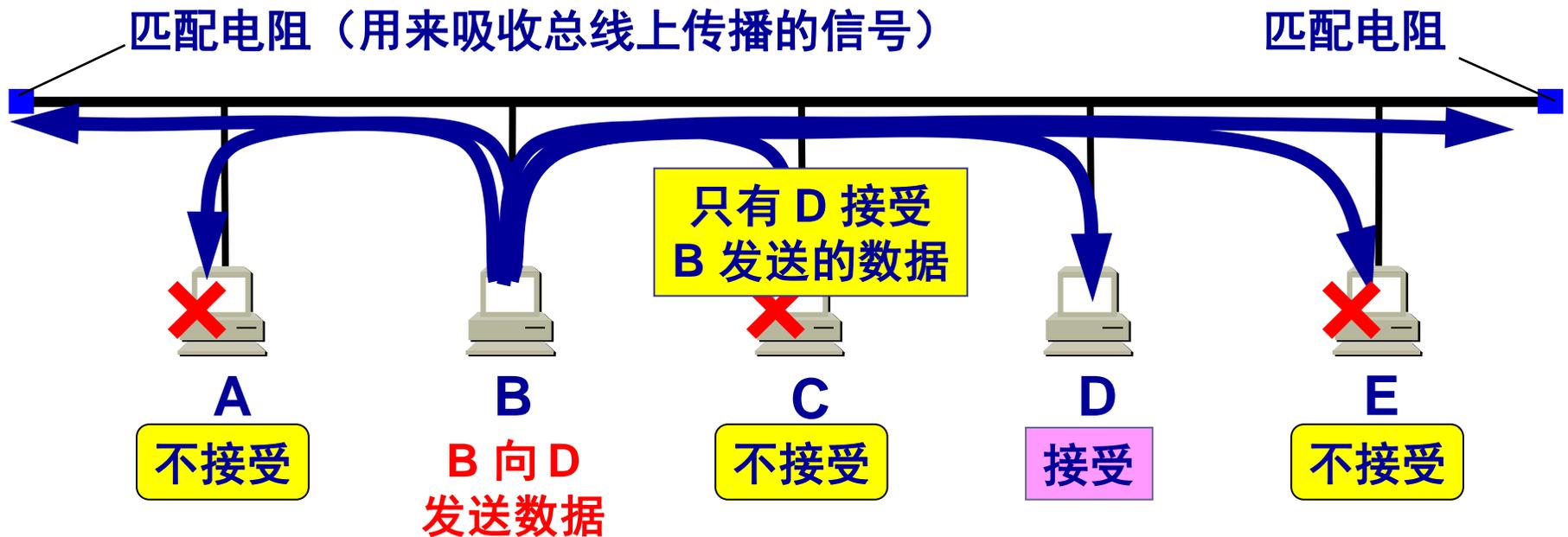


总线网

3.3.2 CSMA/CD 协议



- 最初的以太网是将许多计算机都连接到一根总线上。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。



以太网采用广播方式发送



- 总线上的每一个工作的计算机都能检测到 B 发送的数据信号。
- 由于只有计算机 D 的地址与数据帧首部写入的地址一致，因此只有 D 才接收这个数据帧。
- 其他所有的计算机（A, C 和 E）都检测到不是发送给它们的数据帧，因此就丢弃这个数据帧而不能够收下来。
- 在具有广播特性的总线上实现了一对一的通信。

CSMA/CD协议



- CSMA/CD 含义：**载波监听多点接入 / 碰撞检测** (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection)。
- “**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。
- “**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。
- 总线上并没有什么“载波”。因此，“**载波监听**”就是用电子技术检测总线上有没有其他计算机发送的数据信号。

碰撞检测



- **“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）。
- 当一个站检测到的信号电压摆动值超过一定的门限值时，就认为总线上至少有两个站同时在发送数据，表明产生了碰撞。
- 所谓**“碰撞”**就是发生了冲突。因此**“碰撞检测”**也称为**“冲突检测”**。

检测到碰撞后



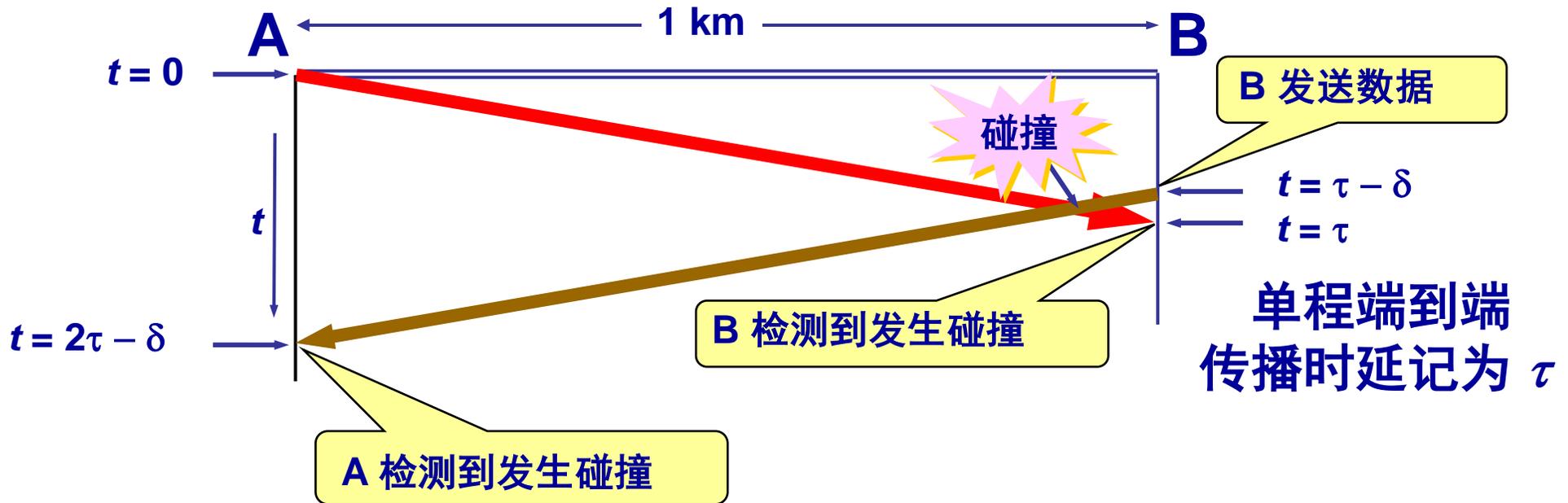
- 在发生碰撞时，总线上传输的信号产生了严重的失真，无法从中恢复出有用的信息来。
- 每一个正在发送数据的站，一旦发现总线上出现了碰撞，就要**立即停止发送**，免得继续浪费网络资源，然后**等待一段随机时间**后再次发送。

为什么要进行碰撞检测？

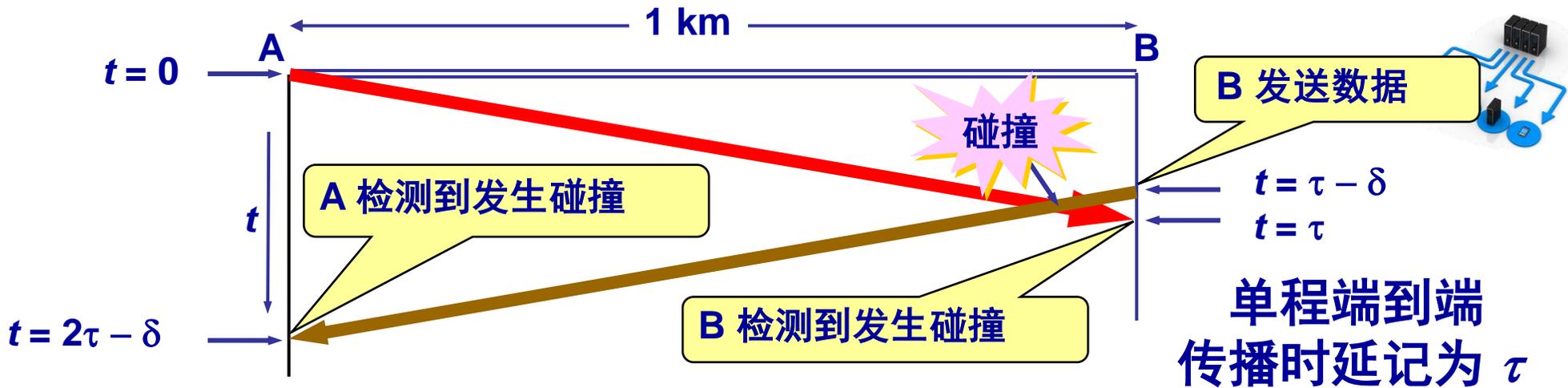


- 由于电磁波在总线上的传播速率是有限的，当某个站监听到总线是空闲时，也可能总线并非真正是空闲的。
- A 向 B 发出的信息，要经过一定的时间后才能传送到 B。
- B 若在 A 发送的信息到达 B 之前发送自己的帧 (因为这时 B 的载波监听检测不到 A 所发送的信息)，则必然要在某个时间和 A 发送的帧发生碰撞。
- 碰撞的结果是两个帧都变得无用。
- 所以需要在发送期间进行碰撞检测，以检测冲突。

信号传播时延对载波监听的影响



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



$t = 0$

A 检测到信道空闲
发送数据



$t = \tau - \delta$

B 检测到信道空闲
发送数据

$t = \tau - \delta / 2$
发生碰撞

$t = \tau$

B 检测到发生碰撞
停止发送

$t = 2\tau - \delta$

A 检测到发生碰撞

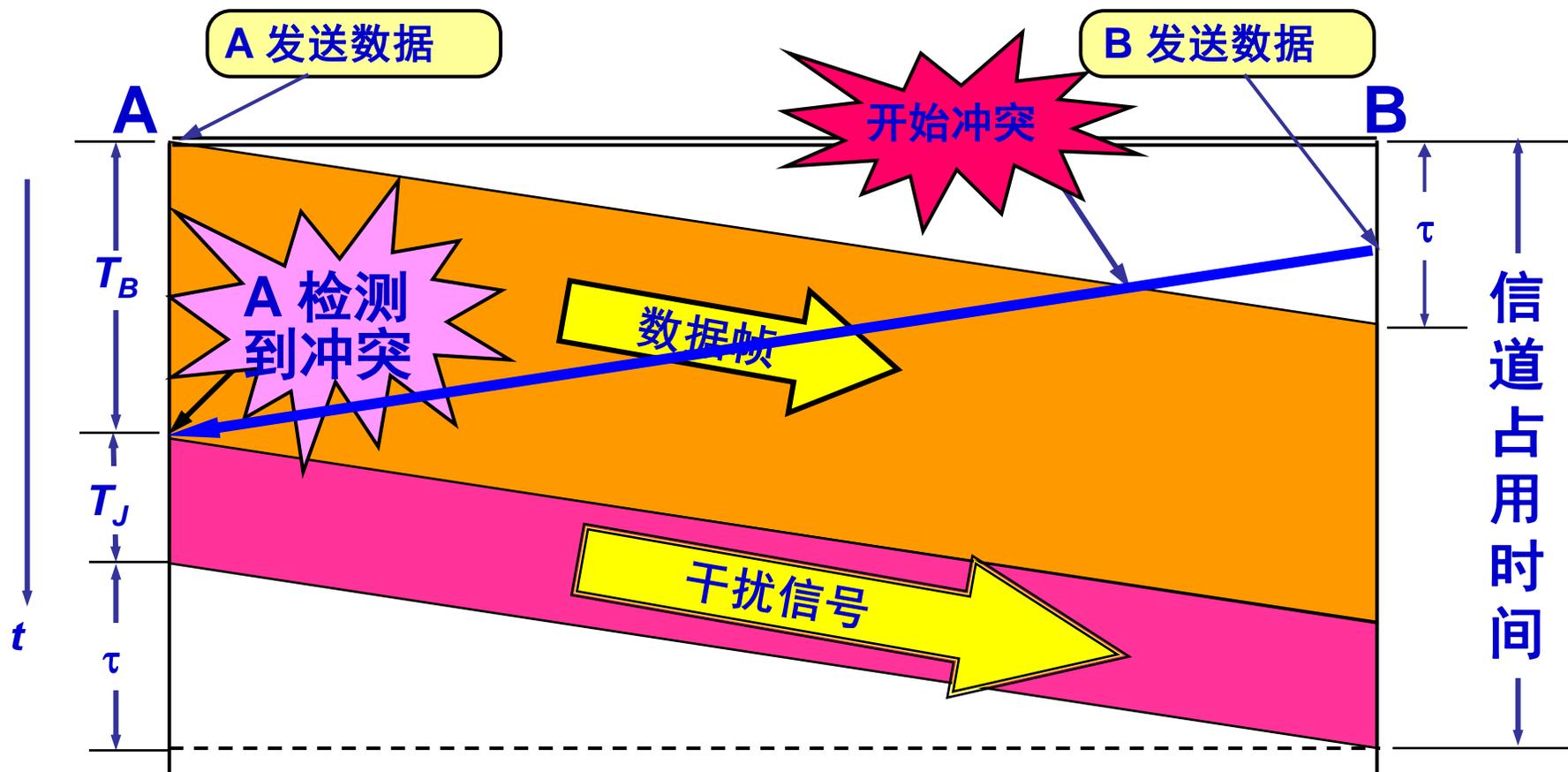
强化碰撞



当发送数据的站一旦发现发生了碰撞时：

- (1) 立即停止发送数据；
- (2) 再继续发送若干比特的人为干扰信号 (jamming signal)，以便让所有用户都知道现在已经发生了碰撞。

人为干扰信号



B 也能够检测到冲突，并立即停止发送数据帧，接着就发送干扰信号。这里为了简单起见，只画出 A 发送干扰信号的情况。

CSMA/CD协议的要点



- (1) 准备发送。但在发送之前，必须先检测信道。
- (2) 检测信道。若检测到信道忙，则应不停地检测，一直等待信道转为空闲。若检测到信道空闲，并在 96 比特时间内信道保持空闲（保证了帧间最小间隔），就发送这个帧。
- (3) 检查碰撞。在发送过程中仍不停地检测信道，即网络适配器要边发送边监听。这里只有两种可能性：
 - ① 发送成功：在争用期内一直未检测到碰撞。这个帧肯定能够发送成功。发送完毕后，其他什么也不做。然后回到 (1)。
 - ② 发送失败：在争用期内检测到碰撞。这时立即停止发送数据，并按规定发送人为干扰信号。适配器接着就执行指数退避算法，等待 r 倍 512 比特时间后，返回到步骤 (2)，继续检测信道。但若重传达 16 次仍不能成功，则停止重传而向上报错。

CSMA/CD 重要特性



- 使用 CSMA/CD 协议的以太网不能进行全双工通信而**只能进行双向交替通信（半双工通信）**。
- 每个站在发送数据之后的一小段时间内，存在着遭遇碰撞的可能性。
- 这种**发送的不确定性**使整个以太网的平均通信量远小于以太网的最高数据率。

争用期



- 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。



二进制指数类型退避算法

(truncated binary exponential type)

- 发生碰撞的站在停止发送数据后，要推迟（退避）一个**随机时间**才能再发送数据。
 - **基本退避时间**取为争用期 2τ 。
 - 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。
 - 参数 k 按下面的公式计算：
$$k = \text{Min}[\text{重传次数}, 10]$$
 - 当 $k \leq 10$ 时，参数 k 等于重传次数。
 - 当重传达 16 次仍不能成功时即丢弃该帧，并向高层报告。

**以太网规定了最短有效帧
长为 64 字节**

64字节：争用期的长度



- 10 Mbit/s 以太网取 $51.2 \mu\text{s}$ 为争用期的长度。
- 对于 10 Mbit/s 以太网，在争用期内可发送 512 bit，即 64 字节。

这意味着：

以太网在发送数据时，若前 64 字节没有发生冲突，则后续的数据就不会发生冲突。

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。
- 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**。

