

Computer Networks-Link Layer—CSMA/CD

Dr. Prof. Jiang Ruobing

jrb@ouc.edu.cn

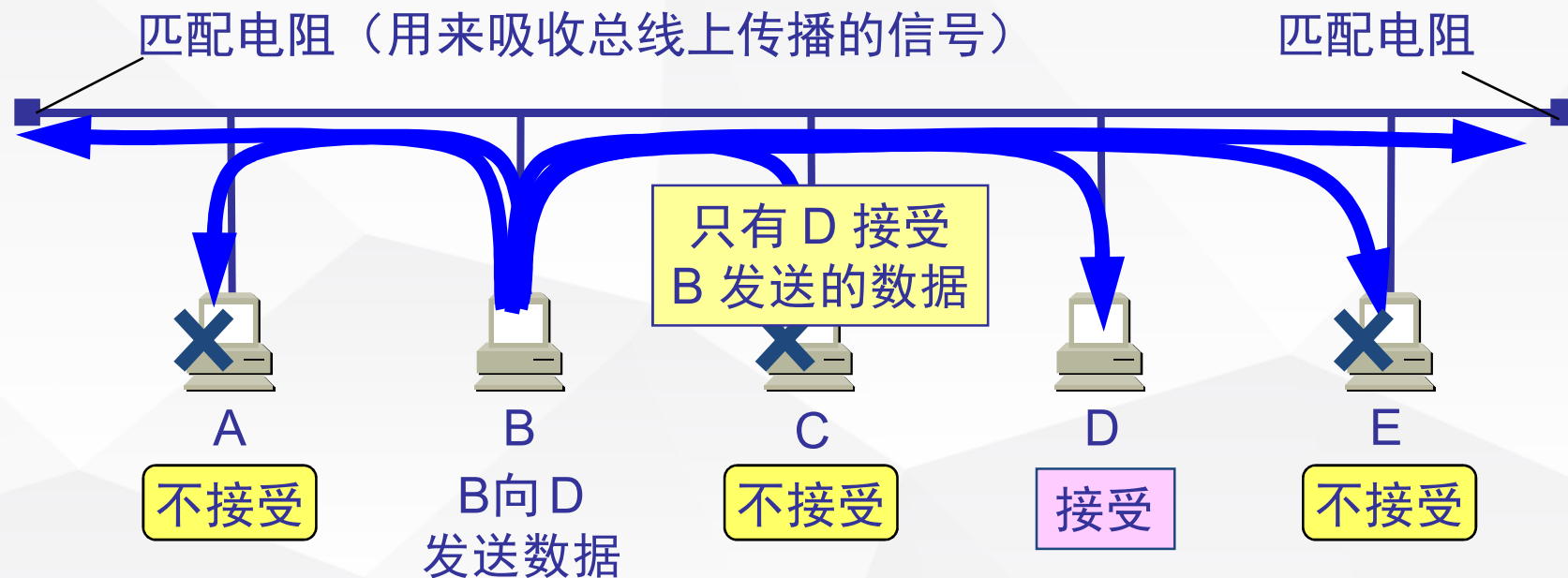
信息学院南楼B411房间



中国海洋大学
OCEAN UNIVERSITY OF CHINA

3.3.2 CSMA/CD 协议

- 最初的以太网是将计算机都连接到一根总线上。
 - 连接方法简单可靠，因为总线上没有有源器件。
- 广播方式发送，按地址接受



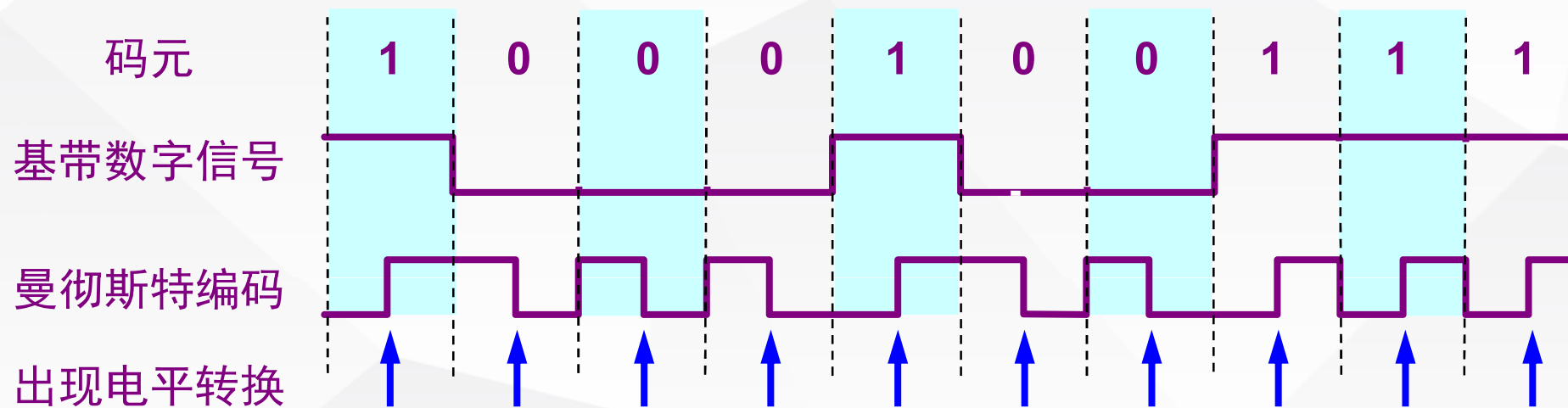
两个措施

- 采用较为灵活的无连接的工作方式，即不必先建立连接就可以直接发送数据。
- 以太网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。

以太网发送的数据都使用 曼彻斯特(Manchester)编码



载波监听多点接入/碰撞检测CSMA/CD

- CSMA/CD 表示 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。
 - “**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。

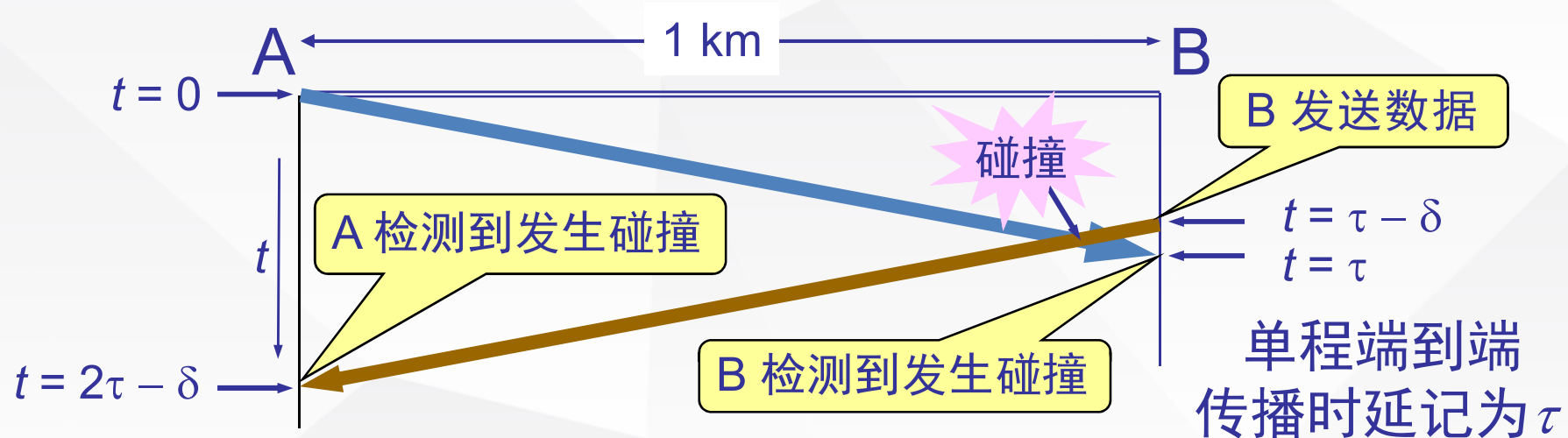
碰撞检测

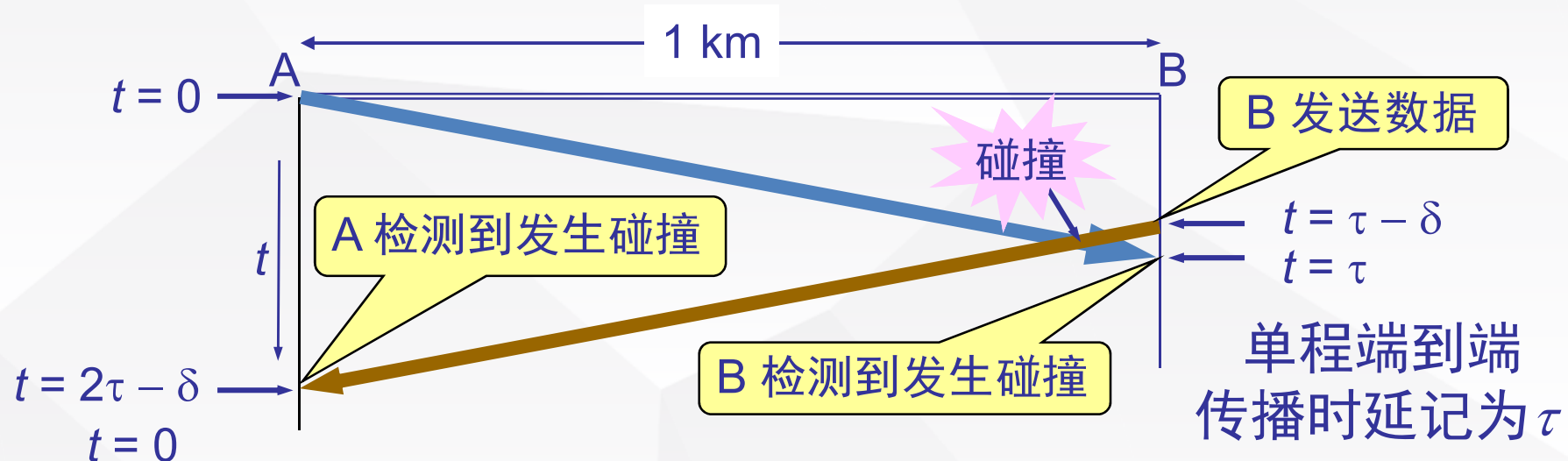
- “碰撞检测”就是计算机边发送数据边检测信道上的信号电压大小。
- 当几个站同时在总线上发送数据时，总线上的信号电压摆动值将会增大（互相叠加）。
- 当一个站检测到的信号电压摆动值超过一定的门限值时，就认为总线上至少有两个站同时在发送数据，表明产生了碰撞。
- 所谓“碰撞”就是发生了冲突。因此“碰撞检测”也称为“冲突检测”。

检测到碰撞后

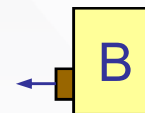
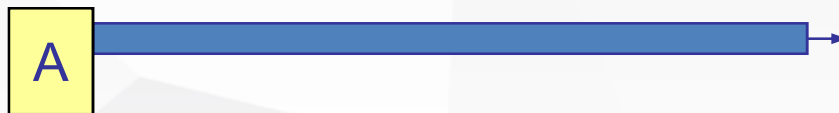
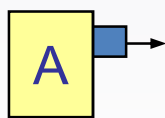
- 在发生碰撞时，总线上传输的信号产生了严重的失真，无法从中恢复出有用的信息来。
- 每一个正在发送数据的站，一旦发现总线上出现了碰撞，就要立即停止发送，免得继续浪费网络资源，然后等待一段随机时间后再次发送。

传播时延对载波监听的影响

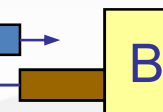
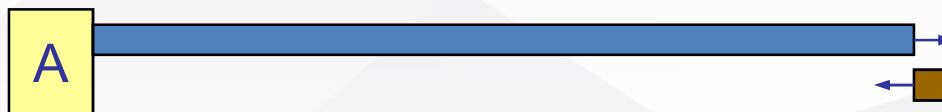




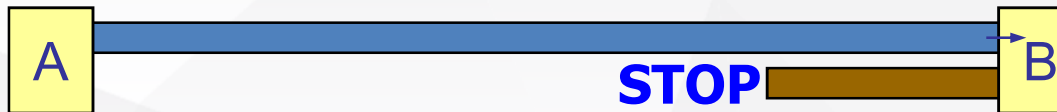
A 检测到
信道空闲
发送数据



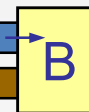
$t = \tau - \delta$
B 检测到信道空闲
发送数据



$t = \tau - \delta / 2$
发生碰撞

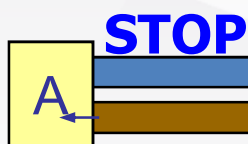


STOP



$t = \tau$
B 检测到发生碰撞
停止发送

$t = 2\tau - \delta$
A 检测到
发生碰撞



STOP



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。
 - 确定基本退避时间，一般是取为争用期 2τ 。
 - 定义重传次数 k ， $k \leq 10$ ，即
$$k = \text{Min}[\text{重传次数}, 10]$$
 - 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。
 - 当重传达 16 次仍不能成功时即丢弃该帧，并向高层报告。

争用期的长度

- 以太网取 $51.2\ \mu\text{s}$ 为争用期的长度。
 - 10 BASE-5标准：网段数5个，每段最长500米。
- 对于 10 Mb/s 以太网，在争用期内可发送512 bit，即 64 字节。
 - 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。

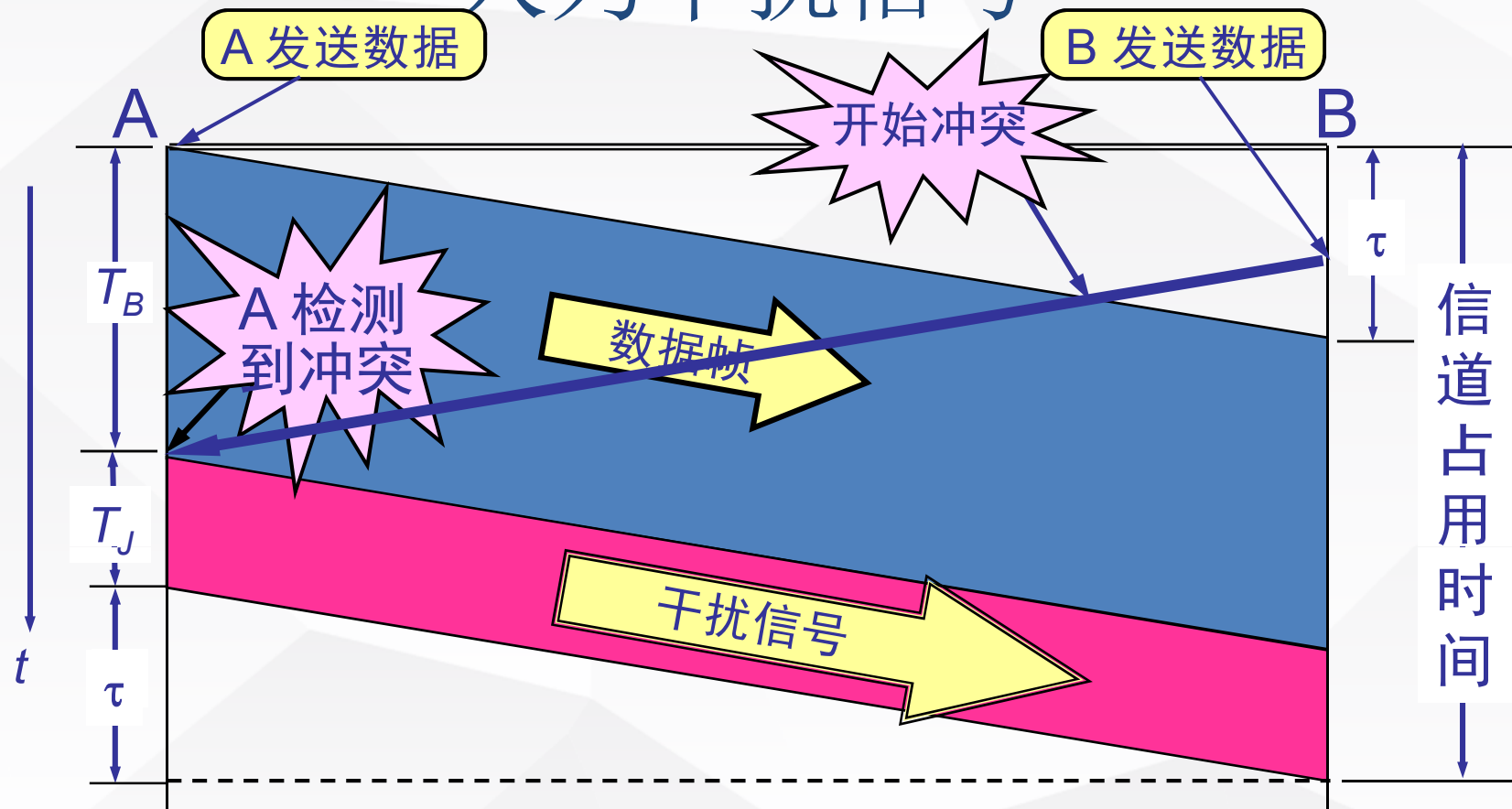
最短有效帧长

- 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。

强化碰撞

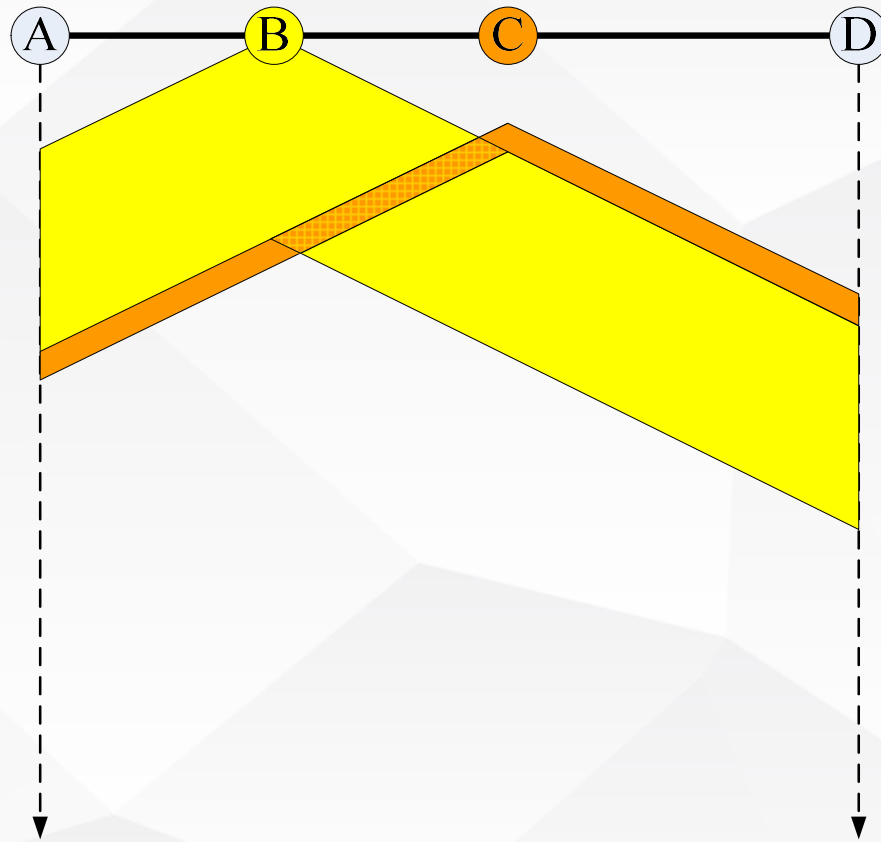
- 当发送数据的站一旦发现发生了碰撞时：
 - 立即停止发送数据；
 - 再继续发送若干比特的人为干扰信号(jamming signal)，以便让所有用户都知道现在已经发生了碰撞。

人为干扰信号

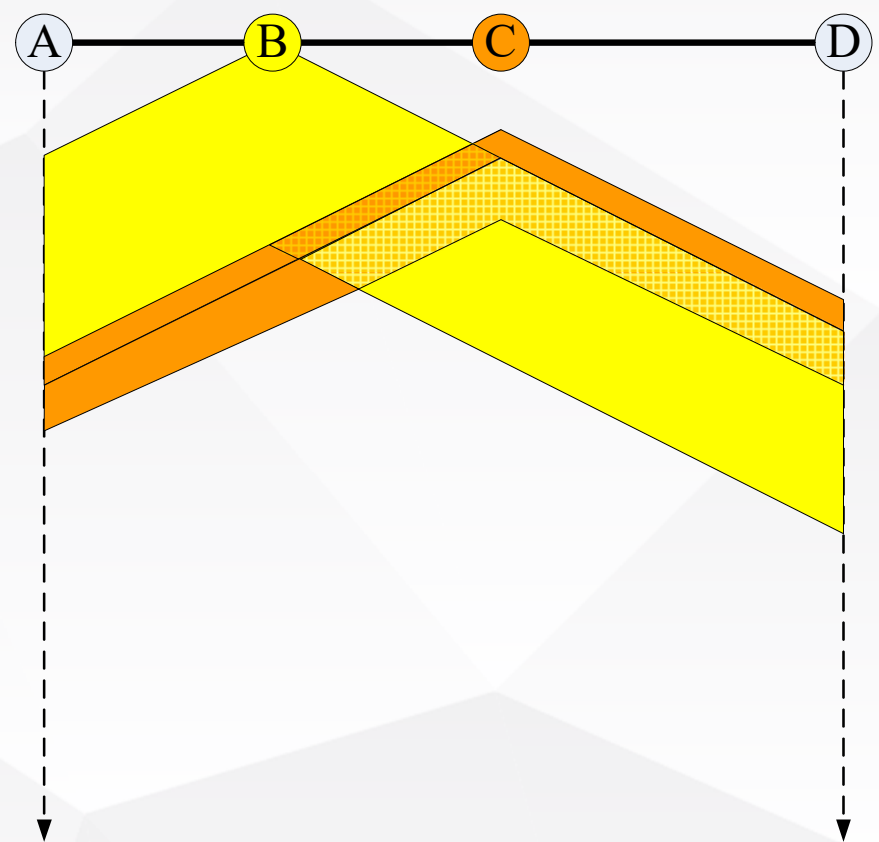


B 也能够检测到冲突，并立即停止发送数据帧，接着就发送干扰信号。这里为了简单起见，只画出 A 发送干扰信号的情况。

强化碰撞的原因



B,C发现冲突立即停止发送



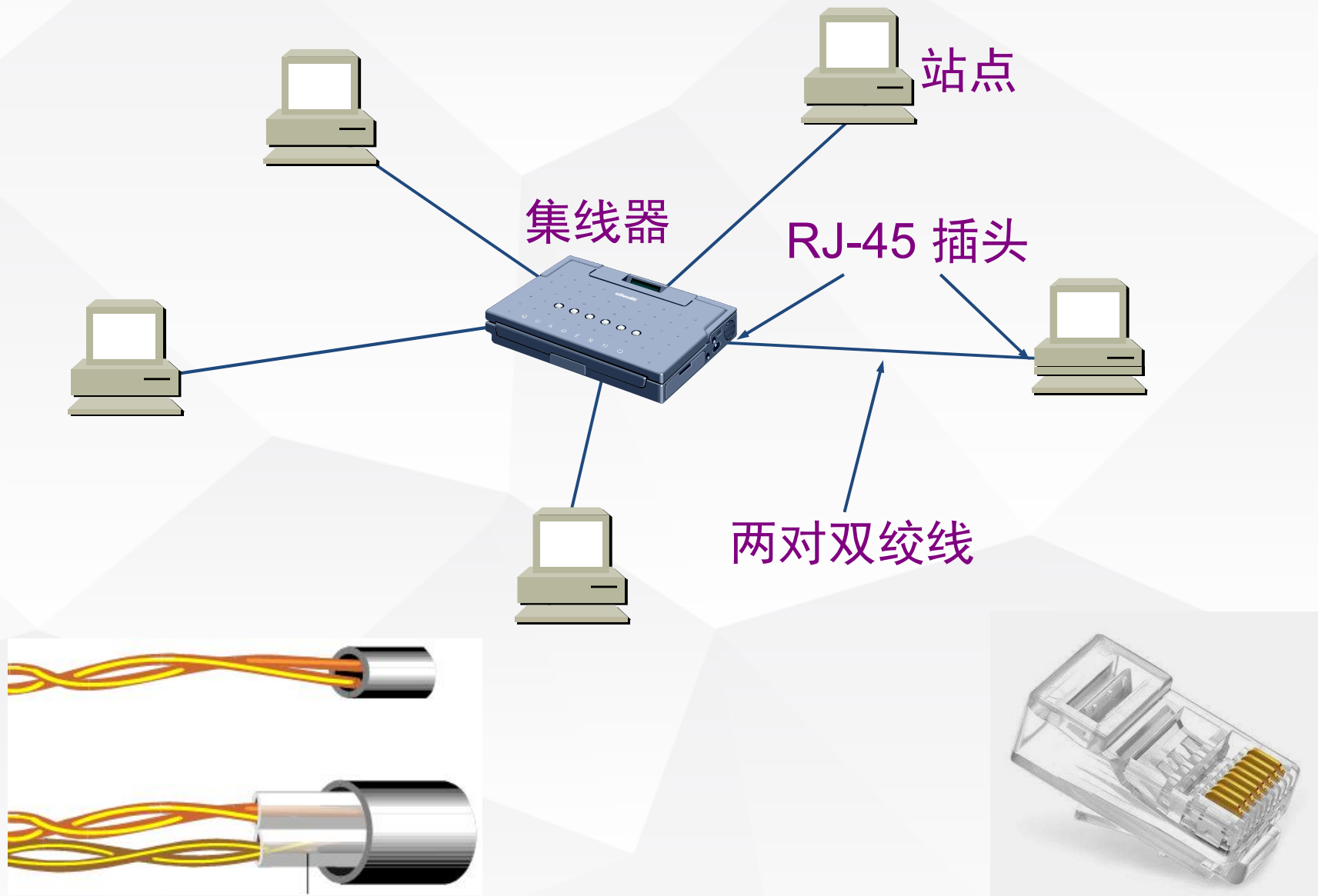
B,C发现冲突；B立即停止发送，C进行碰撞强化

3.4 使用广播信道的以太网

3.4.1 使用集线器的星形拓扑

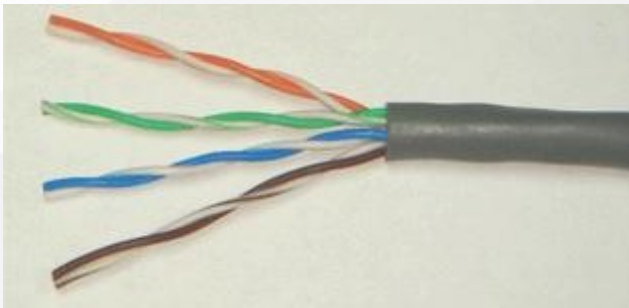
- 传统以太网最初是使用粗同轴电缆，后来演进到使用比较便宜的细同轴电缆，最后发展为使用更便宜和更灵活的双绞线。
- 这种以太网采用星形拓扑，在星形的中心则增加了一种可靠性非常高的设备，叫做集线器(hub)

使用集线器的双绞线以太网



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。



无屏蔽双绞线



屏蔽双绞线

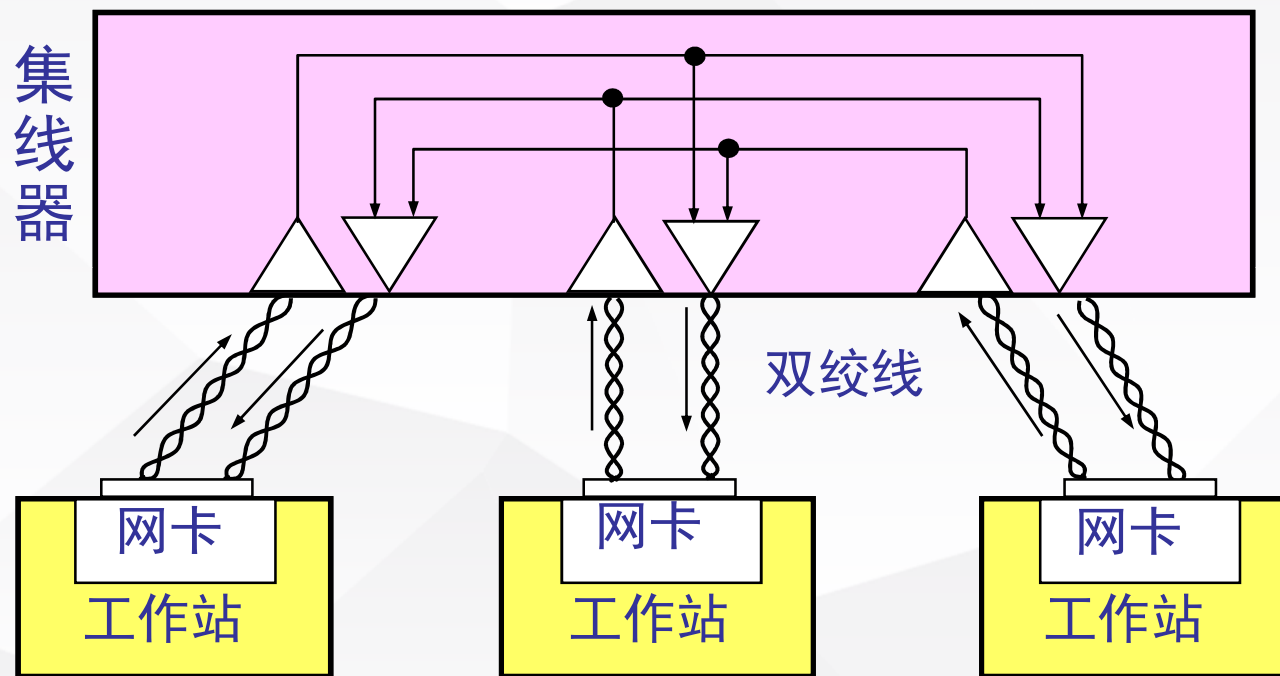
以太网在局域网中的统治地位

- 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。

具有三个接口的集线器



3.4.3 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。
- 但鉴于大家都早已习惯了将这种 48 位的“名字”称为“地址”，所以本书也采用这种习惯用法，尽管这种说法并不太严格。

48 位的 MAC 地址

- 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，必须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。这种 48 位地址称为 MAC-48，它的通用名称是 EUI-48。
- “MAC地址”实际上就是适配器地址或适配器标识符EUI-48。

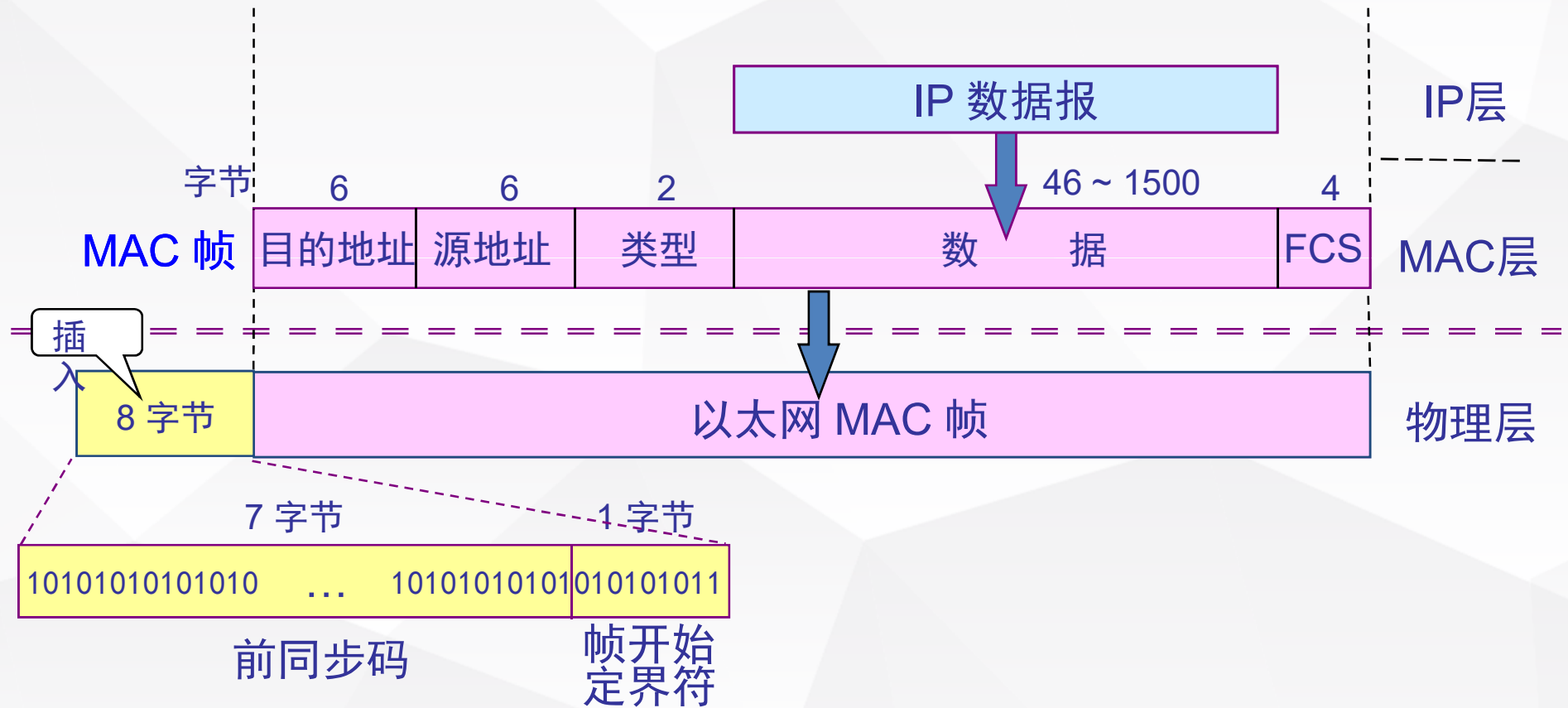
适配器检查 MAC 地址

- 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）

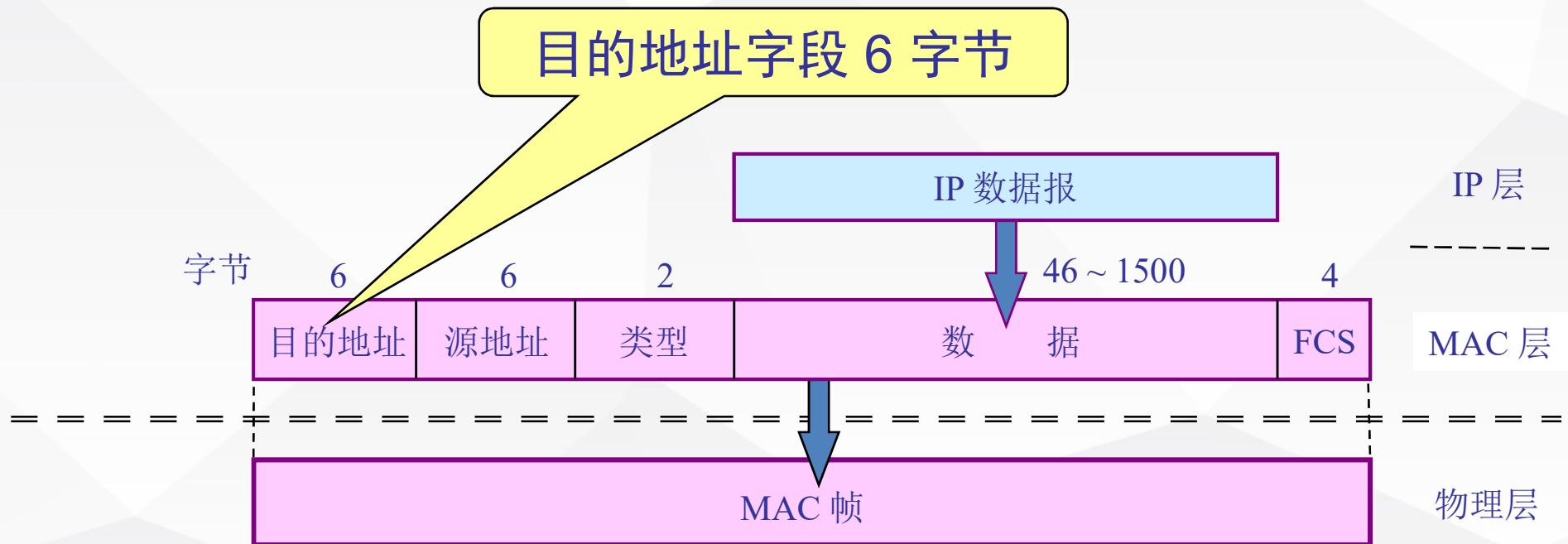
2. MAC 帧的格式

- 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。

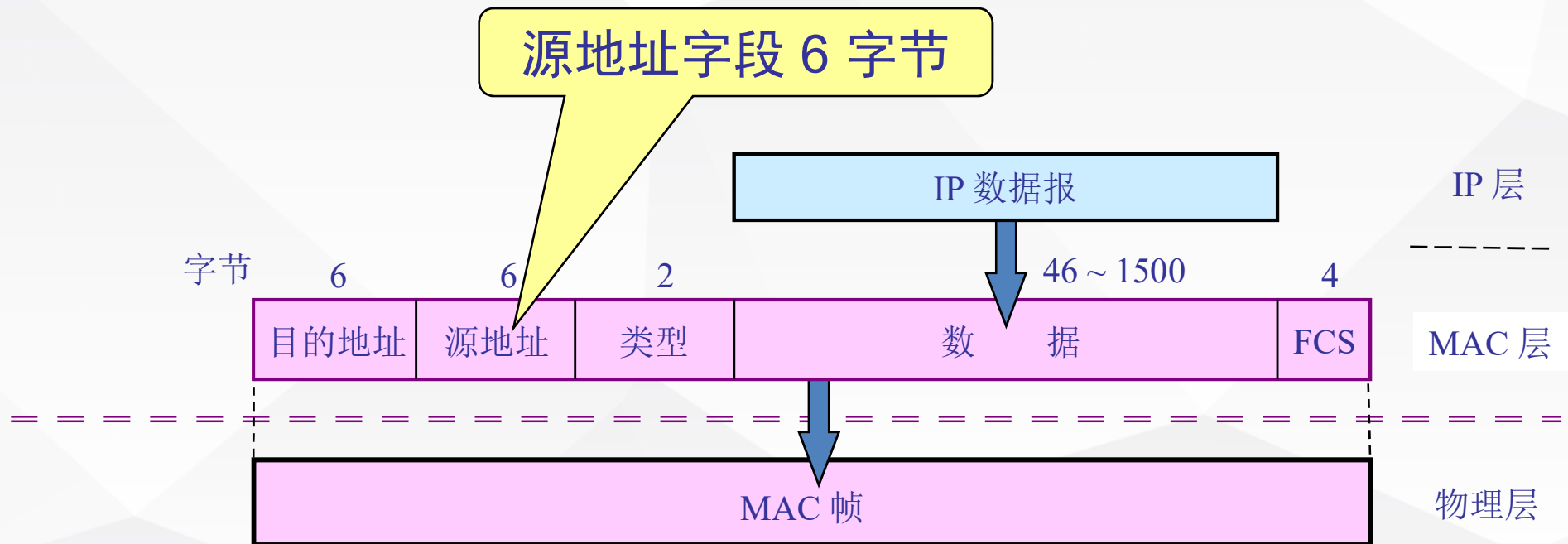
以太网的 MAC 帧格式



以太网 V2 的 MAC 帧格式

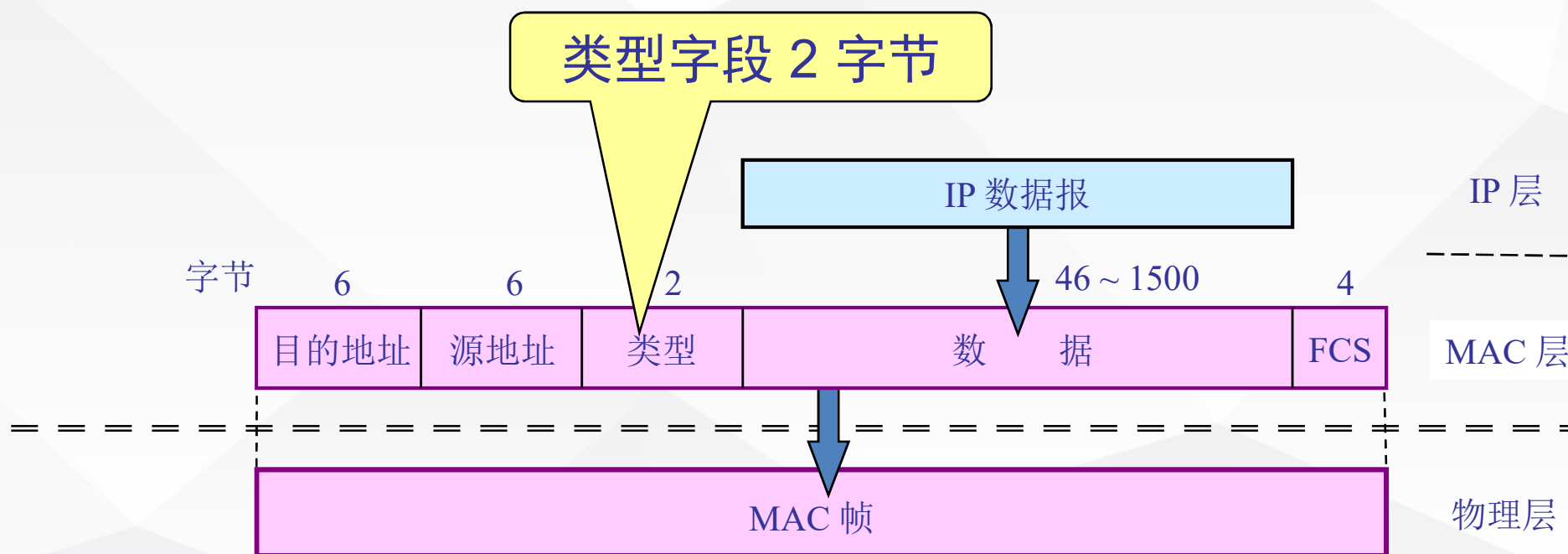


以太网 V2 的 MAC 帧格式



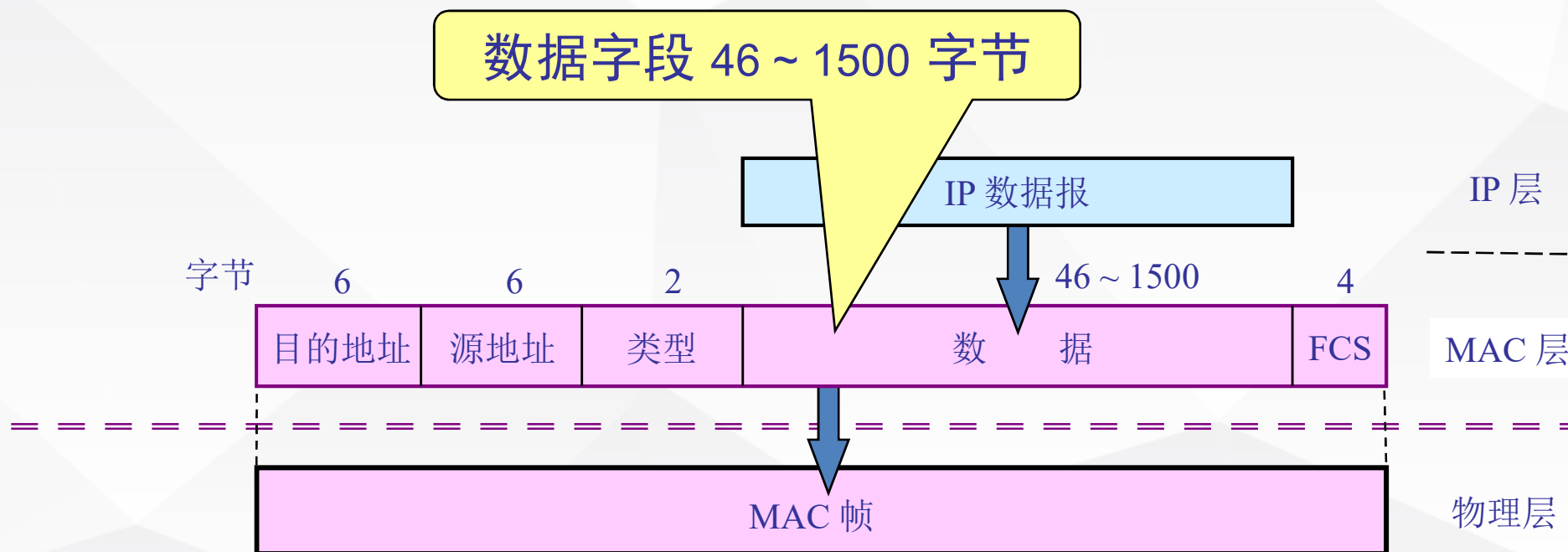
以太网 V2 的 MAC 帧格式

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。



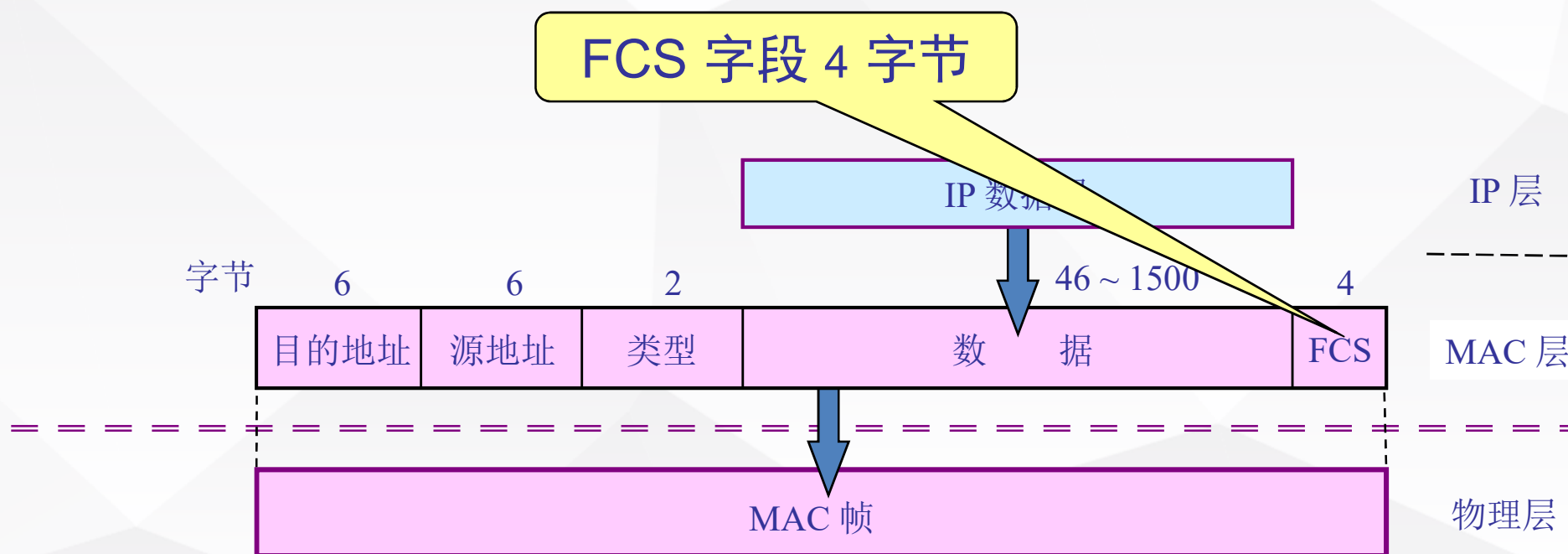
以太网 V2 的 MAC 帧格式

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

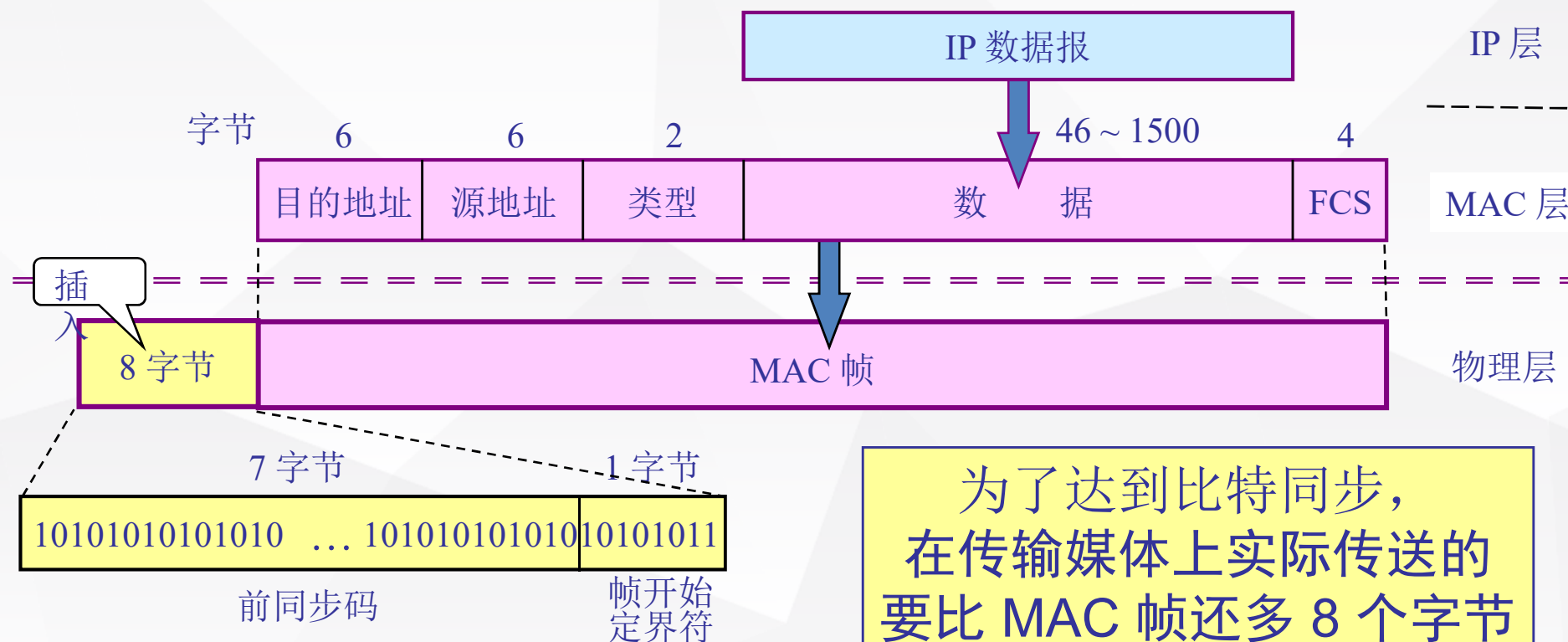
当传输媒体的误码率为 1×10^{-8} 时，
MAC 子层可使未检测到的差错小于 1×10^{-14} 。



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。
- 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。