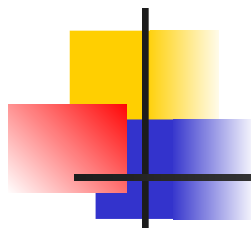




计算机网络（第 5 版）

第 3 章 数据链路层



第 3 章 数据链路层

3.1 使用点对点信道的数据链路层

3.1.1 数据链路和帧

3.1.2 三个基本问题

3.2 点对点协议 PPP

3.2.1 PPP 协议的特点

3.2.2 PPP 协议的帧格式

3.2.3 PPP 协议的工作状态



第 3 章 数据链路层 (续)

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

3.4 使用广播信道的以太网

3.4.1 使用集线器的星形拓扑

3.4.2 以太网的信道利用率

3.4.3 以太网的 MAC 层



第 3 章 数据链路层 (续)

3.5 扩展的以太网

3.5.1 在物理层扩展以太网

3.5.2 在数据链路层扩展以太网

3.6 高速以太网

3.6.1 100BASE-T 以太网

3.6.2 吉比特以太网

3.6.3 10 吉比特以太网

3.6.4 使用高速以太网进行宽带接入

3.7 其他类型的高速局域网接口



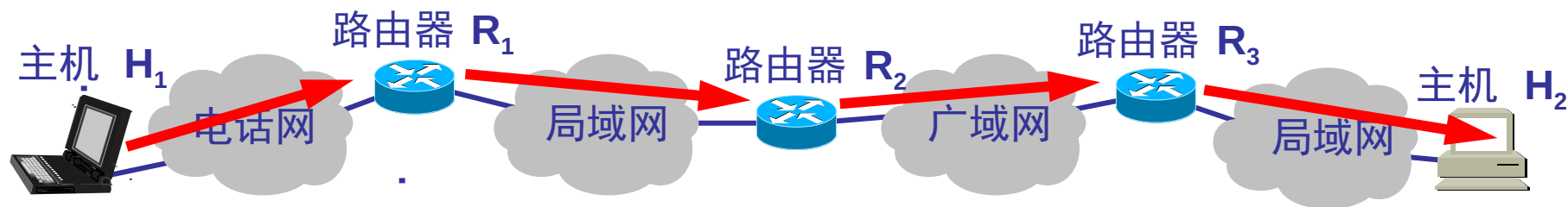
数据链路层

数据链路层使用的信道主要有以下两种类型：

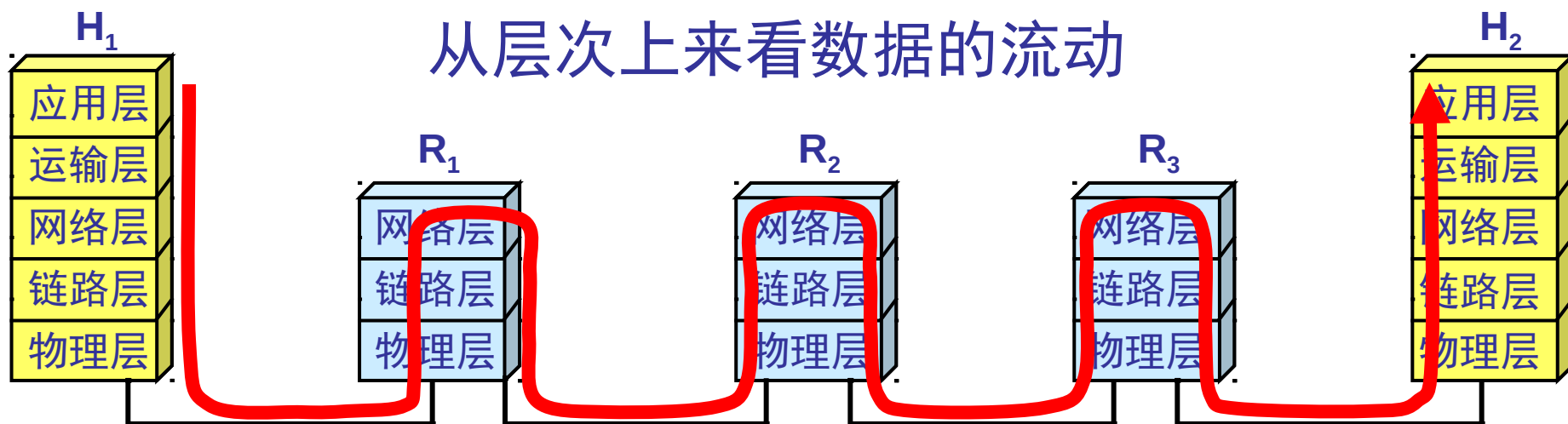
- **点对点信道**。这种信道使用一对一的点对点通信方式。
- **广播信道**。这种信道使用一对多的广播通信方式，因此过程比较复杂。广播信道上连接的主机很多，因此必须使用专用的共享信道协议来协调这些主机的数据发

数据链路层的简单模型

主机 H_1 向 H_2 发送数据

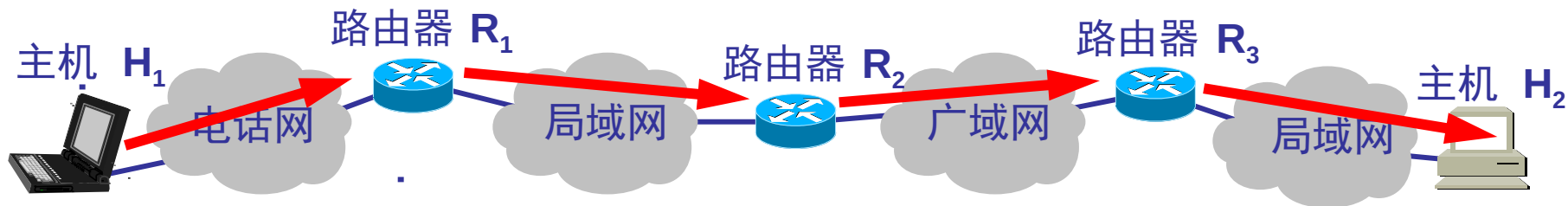


从层次上来看数据的流动

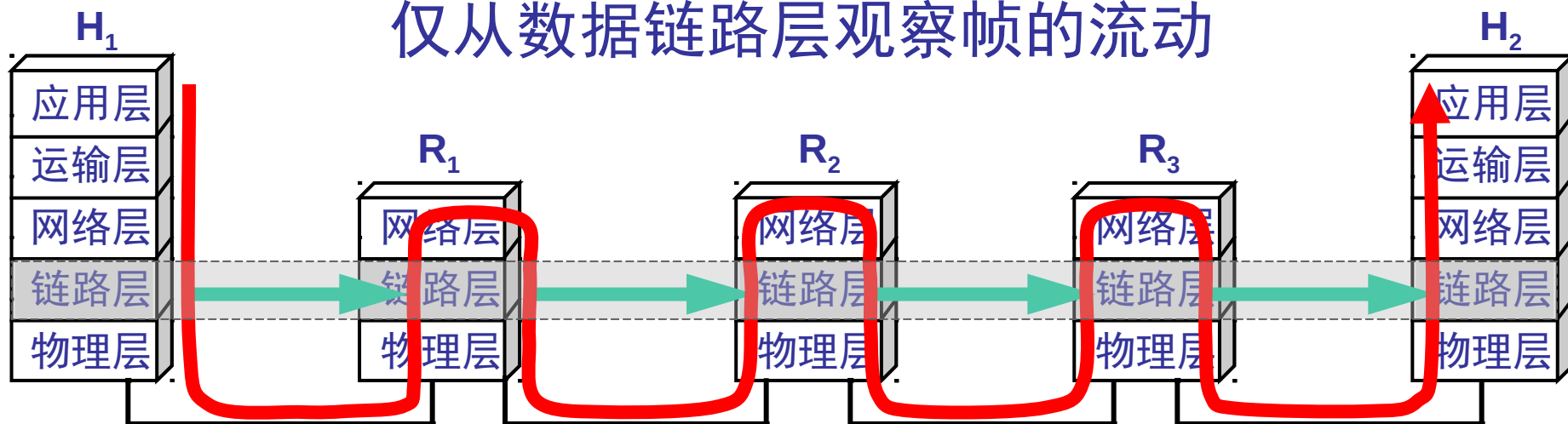


数据链路层的简单模型

主机 H_1 向 H_2 发送数据



仅从数据链路层观察帧的流动

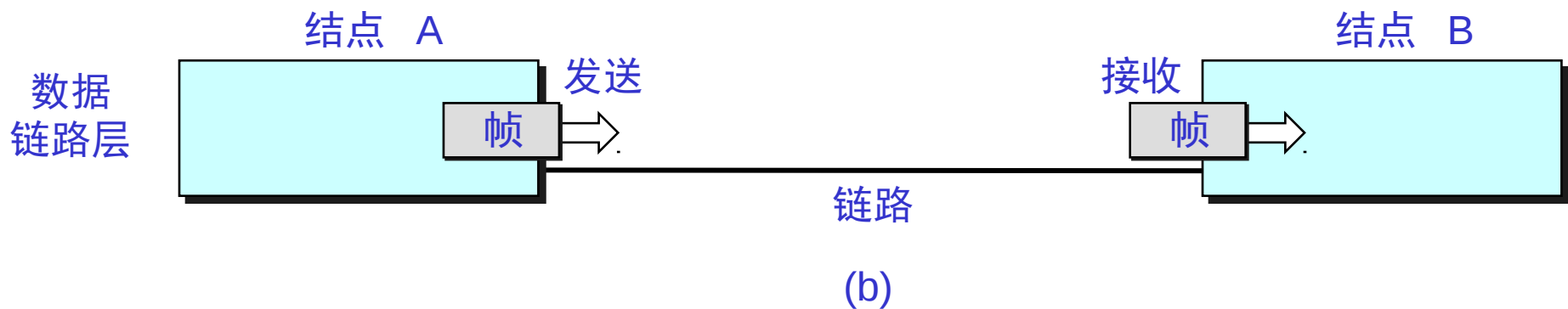
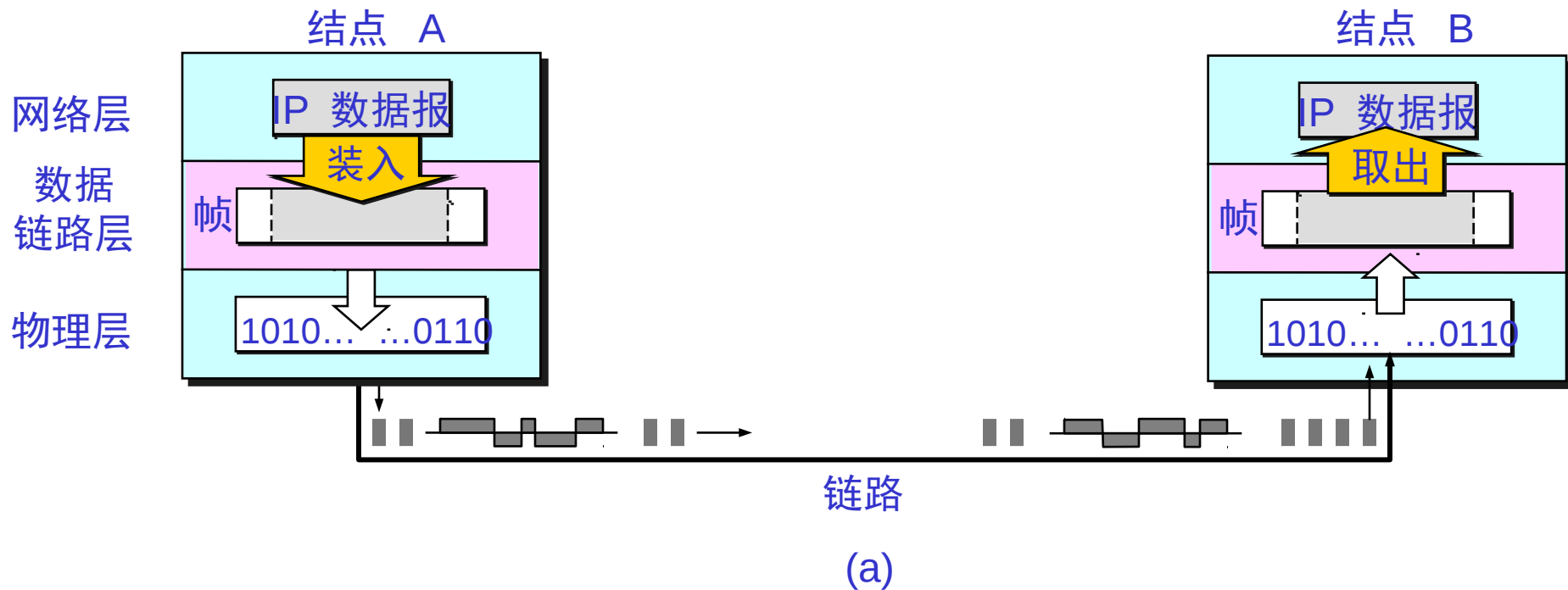


3.1 使用点对点信道的数据链路层

3.1.1 数据链路和帧

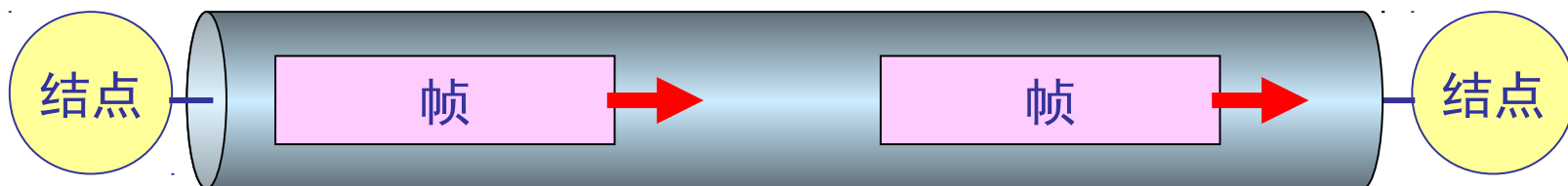
- **链路** (link) 是一条无源的点到点的物理线路段，中间没有任何其他的交换结点。
 - 一条链路只是一条通路的一个组成部分。
- **数据链路** (data link) 除了物理线路外，还必须要有通信协议来控制这些数据的传输。若把实现这些协议的硬件和软件加到链路上，就构成了数据链路。
 - 现在最常用的方法是使用**适配器**（即**网卡**）来实现这些协议的硬件和软件。
 - 一般的**适配器**都包括了**数据链路层**和**物理层**这两层的功能。

数据链路层传送的是帧



数据链路层像个数字管道

- 常常在两个对等的的数据链路层之间画出一个数字管道，而在这条数字管道上传输的数据单位是帧。



- 早期的数据通信协议曾叫作通信规程 (procedure)。因此在数据链路层，规程和协议是同义语。

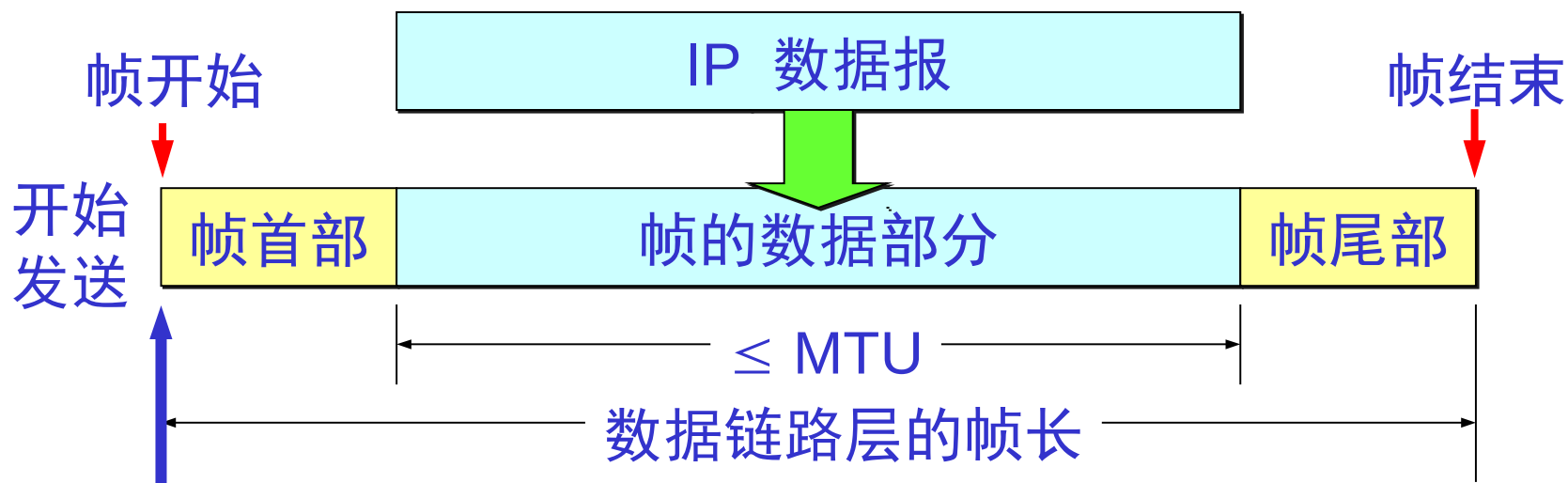


3.1.2 三个基本问题

- (1) 封装成帧
- (2) 透明传输
- (3) 差错控制

1. 封装成帧

- 封装成帧 (framing) 就是在一段数据的前后分别添加首部和尾部，然后就构成了一个帧。确定帧的界限。
- 首部和尾部的一个重要作用就是进行帧定界。





封装成帧

把数据分割、封装成帧

- 关键问题：接收者如何从位流中区分出帧的边界（帧同步或帧定界），即帧的开始和结束。
- 封装帧方法：
 - 1. 字节计数法
 - 2. 使用字符填充的首尾定界符法
 - 3. 使用比特填充的首尾标志法
 - 4. 编码违例法



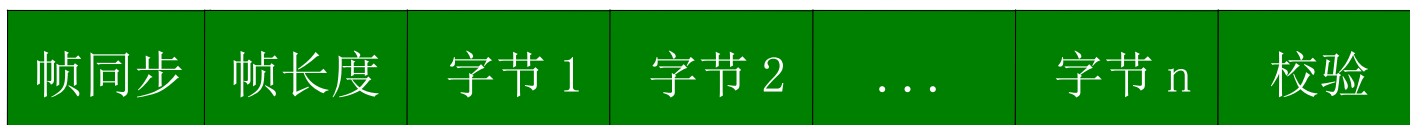
(1) 字节计数法

■ 方法：

- ① 每帧以帧同步标志字节开始，后面紧跟帧长计数器
- ② 接收方收到帧，知道帧的长度，每接收一个数据字节，计数减 1，直到为 0，便是帧尾，帧后跟校验信息。

■ 缺点：

- 如果帧的长度域出错，则同步信息完全丢失，必须重新开始建立同步。





（2）使用字符填充的首尾定界符法

■ 方法：

- ① 面向字符的通信协议，以特定的 ASCII 字符序列表示帧首、帧尾及控制字段。
- ② 帧以 SOH 开始，EOT 结束。

■ 缺点：

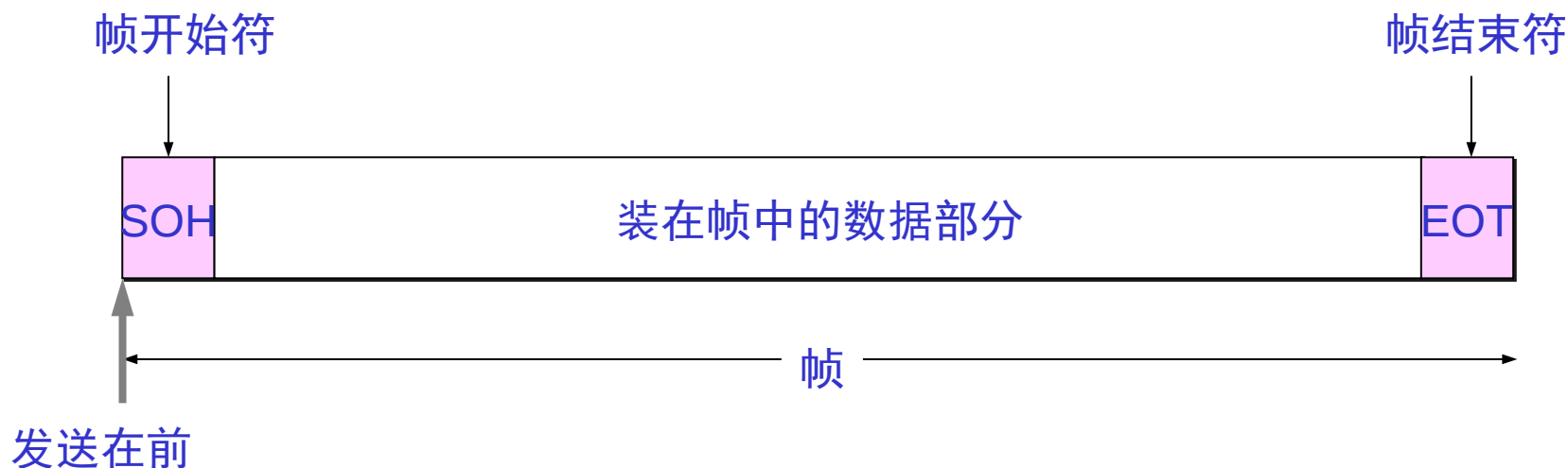
- 兼容性差（依赖于特定的字符集，如 ASCII）
- 帧长位数需为 8 的整数倍，不能传输任意长位数
- 若不用“ESC 插入删除技术”时，数据传输会不透明

如何解决此时数据传输的透明性？

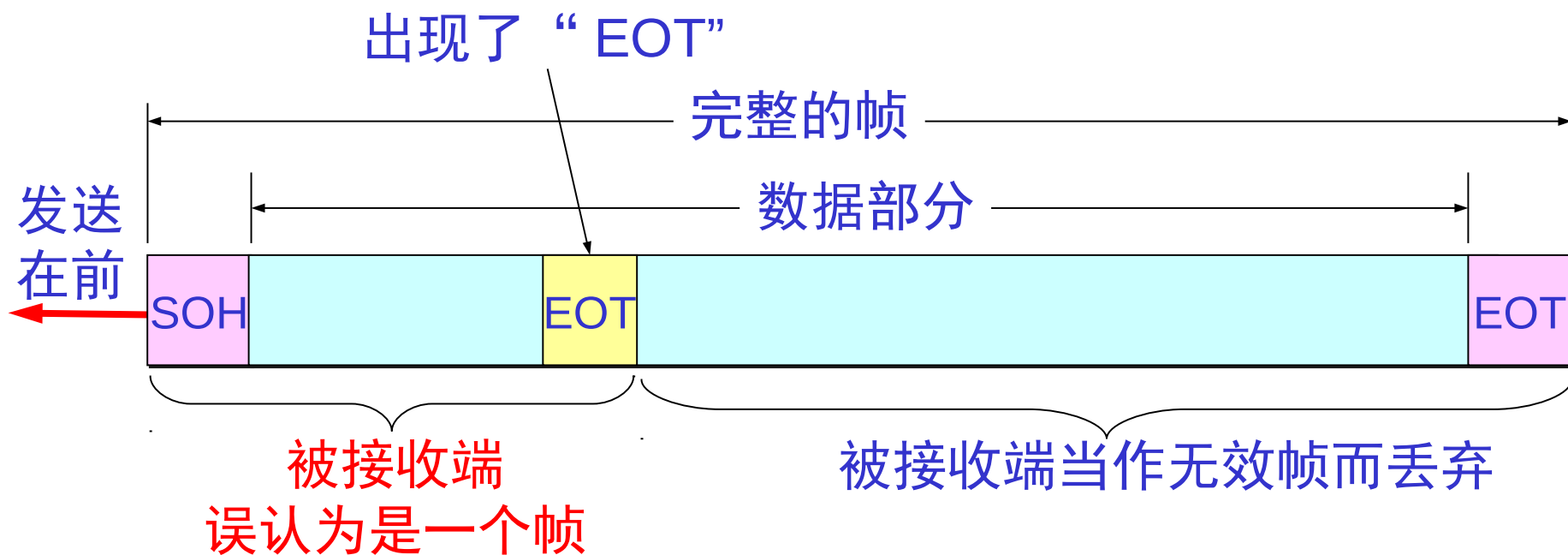
问题：当数据中恰好出现 SOH 或 EOT 时，帧的边界会被误识别。

■ 解决措施：

- 数据中出现控制字符如 SOH、EOT 前面加入 ESC。
- 对数据中的 ESC，在其前面再插入一个 ESC。



透明传输

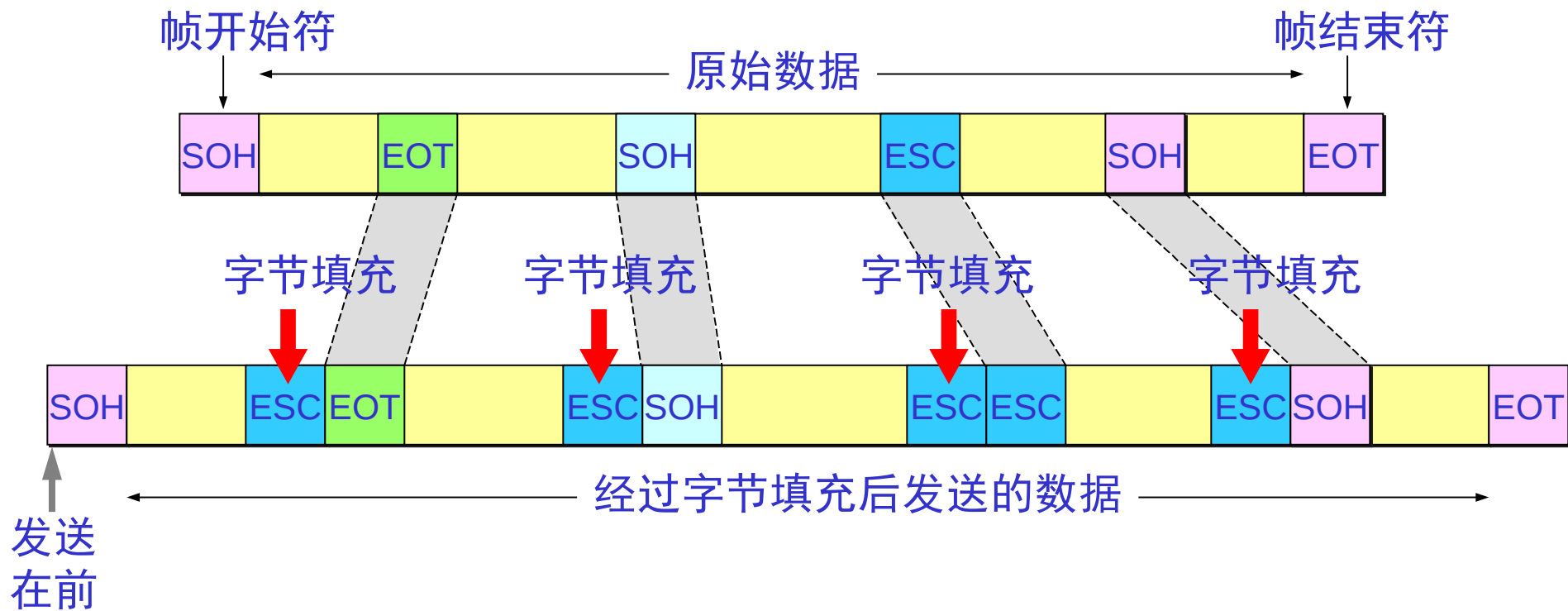




解决透明传输问题

- **字节填充 (byte stuffing) 或字符填充 (character stuffing)**——接收端的数据链路层在将数据送往网络层之前删除插入的转义字符。
- 如果**转义字符**也出现数据当中，那么应在**转义字符前面插入一个转义字符**。当接收端收到连续的两个转义字符时，就删除其中前面的一个。

用字节填充法解决透明传输的问题



(3) 使用比特填充的首尾标志

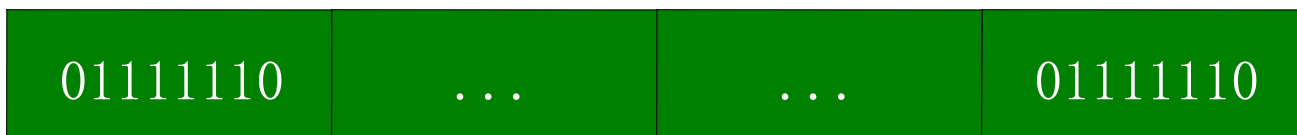
法

■ 方法：

- ① 以特殊的比特组合（如 01111110 同步序列）标志帧的开始和结束
- ② 位填充易于用硬件实现，如 ISO 的 HDLC（高级数据链路规程）

■ 优点：

- 面向位的通信协议，可传送任意位长度，通用性强





如何解决此时数据传输的透明性？

- 为防止帧中其它地方出现与帧标志相同的比特模式，发送方边发送边检查数据，每连续发送 5 个“1”后，即在后面自动插入一个“0”（叫“0”比特插入删除技术）
- 接收方在收到 5 个连续的“1”后，将后面紧跟的 1 个“0”删去，恢复原来的数据。

零比特填充

信息字段中出现了和
标志字段 F 完全一样
的 8 比特组合

0 1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 0 1 0 1 0

会被误认为是标志字段 F

发送端在 5 个连续 1 之后
填入 0 比特再发送出去

0 1 0 0 1 1 1 1 1 0 1 0 0 0 1 0 1 0

发送端填入 0 比特





在接收端把 5 个连续 1
之后的 0 比特删除

0 1 0 0 1 1 1 1 1 0 1 0 0 0 1 0 1 0

接收端删除填入的 0 比特



(4) 编码违例法

- 采用违反编码规律的策略来标志帧的边界。优点：
： 无须填充。
- 如 Manchester 编码中 表示 0， 表示 1。而  则是违法编码

[实例] 802.5 令牌环的帧采用了差分 Manchester 编码，其帧头帧尾的定界符 SD、ED 即使用编码违例法。

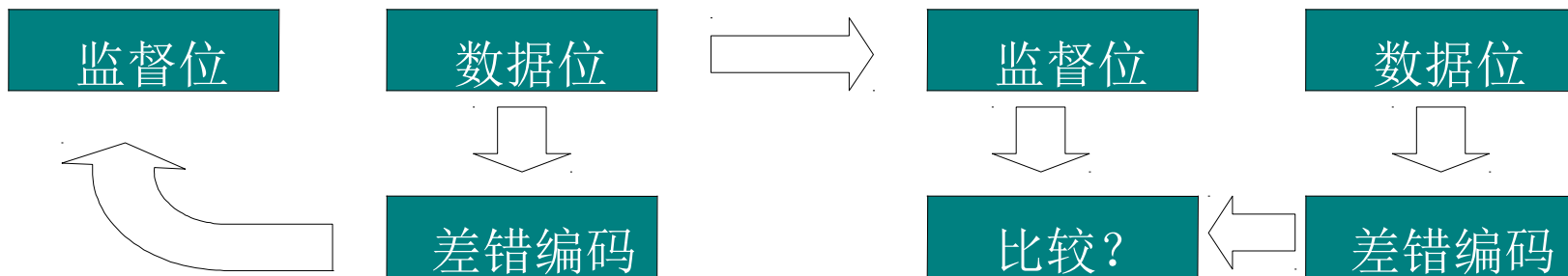


2. 差错检测

- 在传输过程中可能会产生**比特差错**：1 可能会变成 0 而 0 也可能变成 1。
- 在一段时间内，传输错误的比特占所传输比特总数的比率称为**误码率** BER (Bit Error Rate)。
- 误码率与信噪比有很大的关系。
- 为了保证数据传输的可靠性，在计算机网络传输数据时，必须采用各种**差错检测措施**。

差错编码

- 差错编码：在数据块中加入冗余信息的过程。





差错编码的方法

- 差错控制的方法
 - 检错码：奇偶校验码
循环冗余码
 - 纠错码：海明码



(1) 奇偶校验码

- 原理：

- 先将要发送的数据块分组，且在每一组的数据码元后面附加一个冗余位，使得该组连冗余位在内的码字中“1”的个数为偶数（偶校验）或奇数（奇校验）。
- 在接收端按同样的规则检查，如发现不符，就说明传输有误。

- 分类：

- 垂直奇偶校验码
- 水平奇偶校验码
- 水平垂直奇偶校验码

- 设一个字符对应的 ASCII 码为 C7C6C5C4C3C2C1，校验位为 C8
- 在下面的例子中，假定采用偶校验。（按列的次序发送）

位 \ 数字	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
C_1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
C_2	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
C_3	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
C_4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
C_5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C_6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C_7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_8	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0

水平垂直奇偶校验码

数字 位	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	校验位
C_1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1
C_2	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0
C_3	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
C_4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
C_5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
C_6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
C_7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_8	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1



举例

- 有 6 个字符的 7 位 ASCII 编码排列，再加上水平垂直奇偶校验位构成如下矩阵（最后一行 / 一列为校验位）

0	x1	x2	0	0	1	1	0
1	0	0	1	0	0	X3	1
X4	1	0	1	0	1	1	0
0	1	X5	X6	1	1	1	1
1	0	0	X7	1	0	X8	0
0	X9	1	1	1	X10	1	1
0	0	1	1	1	x11	1	x12



举例

■ 求：

$x_1x_2x_3x_4$ 处的比特

$x_5x_6x_7x_8$ 处的比特

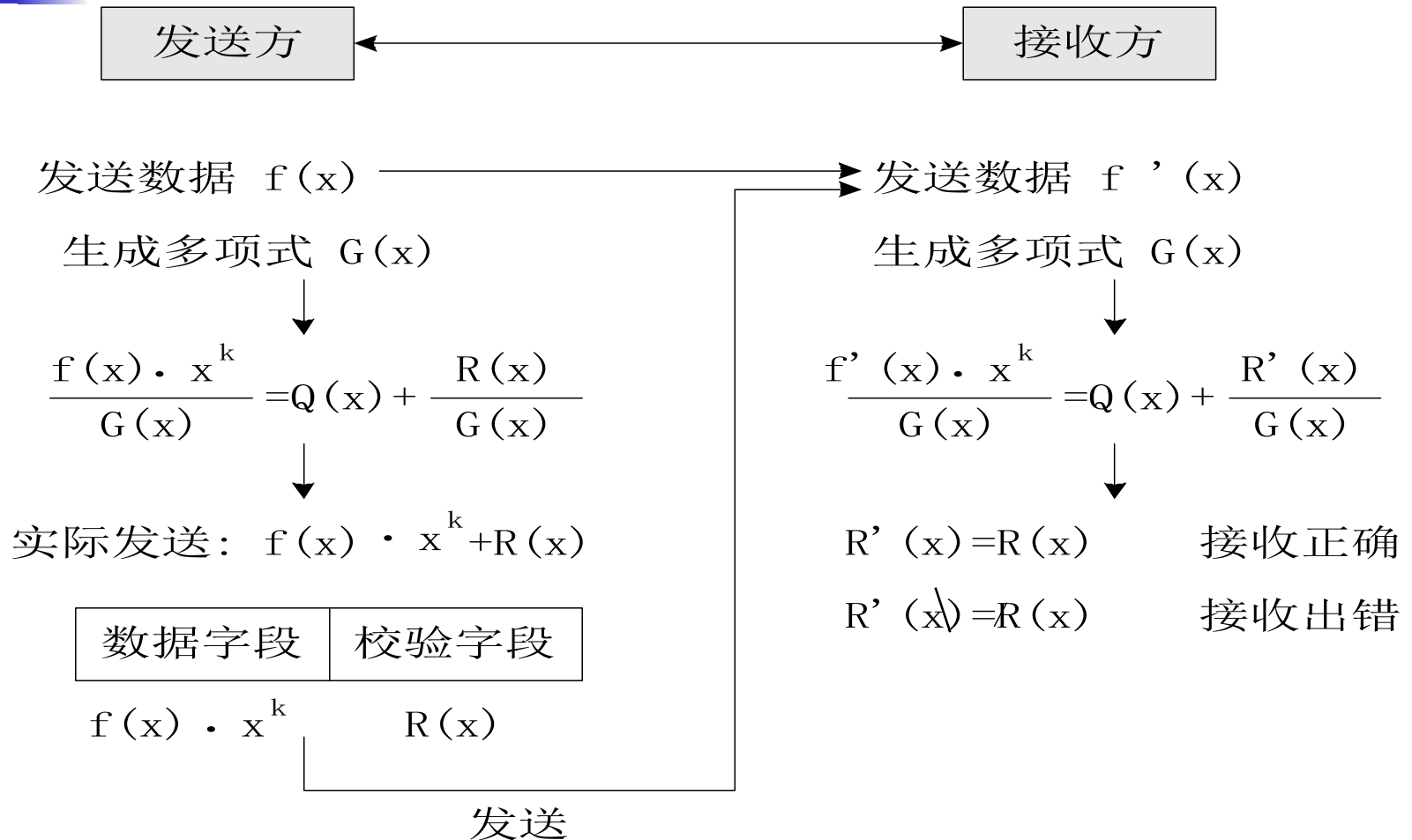
$x_9x_{10}x_{11}x_{12}$ 处的比特



(2) 循环冗余码 (CRC)

- **CRC 是目前用的最广泛的检错码。**在数据链路层传送的帧中，广泛使用了循环冗余码 (CRC) 的检错技术。
- **原理：**设定一个除数 d 。
 - **发送：**将数据用除数 d 来相除，产生的余数作为 CRC 码，附加在数据后发送。
 - **接收：**将收到的数据和 CRC 码（接受端收到的数据）用 d 来相除，若余数为 0，则正确，否则出错。
- **模 2 运算特点：**
 - 模 2 加、模 2 减：等于按位加（异或）运算（模 2 加、模 2 减可用异或等硬件电路实现）

循环冗余编码工作原理





CRC/ 多项式

多项式表达：除数可以用多项式来表达。

■ 如多项式： $X^7 + X^5 + X^2 + X + 1 =$

■ $1 \cdot X^7 + 0 \cdot X^6 + 1 \cdot X^5 + 0 \cdot X^4 + 0 \cdot X^3 + 1 \cdot X^2 + 1 \cdot X + 1 \cdot X^0$

■ 即对应于除数 1 0 1 0 0 1 1 1

■ 一些生成多项式 $G(X)$ 的国际标准：

■ CRC-12 : $X^{12} + X^{11} + X^3 + X^2 + X + 1$

■ CRC-16 : $X^{16} + X^{15} + X^2 + 1$

■ CRC-CCITT : $X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$

■ CRC-32 : $X^{32} + X^{26} + X^{23} + X^{22} + X^{16} + X^{12} + X^{11} +$
 $+ X^{10} + X^8 + X^7 + X^5 + X^4 + X^2 + X + 1$

举例：

$$f(x) = X^5 + X^4 + X + 1 \quad G(x) = X^4 + X^3 + 1$$

Long division diagram showing the calculation of the CRC remainder $R(x)$ from the divisor $G(x)$ and the dividend $f(x) \cdot x^k$.

Divisor: $G(x) \rightarrow 11001$

Dividend: $f(x) \cdot x^k \rightarrow 1100110000$ (The last three zeros are red in the original image)

Quotient: $Q(x) \leftarrow 100001$

Remainder: $R(x) \leftarrow 1001$

1 1 0 0 1 1	1 0 0 1
<hr/>	
发送数据 比特序列	CRC 校验码 比特序列
<hr/>	

带 CRC 校验码的
发送数据比特序列

验证

$$\begin{array}{r} \\ 11001 \overline{) 1100111001} \\ \underline{11001} \\ 11001 \\ \underline{11001} \\ 0 \end{array}$$

整除！表明没有
错误。

CRC 校验示例

待发送数据: 1101011011, $G(x) = x^4 + x + 1$,
即 10011

$$\begin{array}{r} \text{1 0 0 1 1} \overline{) \text{1 1 0 1 0 1 1 0 1 1 0 0 0 0}} \\ \underline{\text{1 0 0 1 1}} \\ \text{1 1 0 0 1 1} \\ \underline{ \text{1 0 0 1 1}} \\ \text{0 0 0 0 1 0 1 1 0} \\ \underline{ \text{1 0 0 1 1}} \\ \text{1 0 1 0 0} \\ \underline{ \text{1 0 0 1 1}} \\ \text{1 1 1 0} \end{array}$$

余数

\therefore 传送序列 $T(x) = \text{11010110111110}$ (待发数据 + 余数)

接收数据: **1101011011110**, $G(x) =$

~~**x^4+x+1 ，即 10011**~~

$$\begin{array}{r}
 10011 \overline{) 1100000101} \\
 \underline{10011} \\
 100011 \\
 \underline{10001} \\
 110011 \\
 \underline{11001} \\
 000010111 \\
 \underline{10011} \\
 10011 \\
 \underline{10011} \\
 0000 \text{ 余数}
 \end{array}$$

∴ 接收正确，数据部分为 **1101011011**



帧检验序列 FCS

- 在数据后面添加上的冗余码称为**帧检验序列** FCS (Frame Check Sequence) 。
- 循环冗余检验 CRC 和帧检验序列 FCS 并不等同。
 - CRC 是一种常用的**检错方法**，而 FCS 是添加在数据后面的**冗余码**。
 - FCS 可以用 CRC 这种方法得出，但 CRC 并非用来获得 FCS 的唯一方法。



应当注意

- 仅用循环冗余检验 CRC 差错检测技术只能做到无差错**接受** (accept)。
- “无差错接受”是指：“凡是接受的帧（即**不包括丢弃的帧**），我们都能以非常接近于 1 的概率认为这些帧在传输过程中没有产生差错”。
- 也就是说：“凡是接收端数据链路层接受的帧都没有传输差错”（有差错的帧就丢弃而不接受）。
- 要做到“**可靠传输**”（即发送什么就收到什么）就必须再加上**确认**和**重传**机制。

例 1:

- 已知：信息码：110011 信息多项式： $K(X) = X^5 + X^4 + X + 1$
 生成码：11001 生成多项式： $G(X) = X^4 + X^3 + 1$ ($r=4$)
 求：循环冗余码和码字。
- 解：1) $(X^5 + X^4 + X + 1) * X^4$ 的积是 $X^9 + X^8 + X^5 + X^4$ 对应的码是 1100110000。
 2) 积 / $G(X)$ (按模二算法)。

$$\begin{array}{r}
 \\
 G(x) \rightarrow 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \) \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \\
 \underline{1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1} \\

 \end{array}$$

由计算结果知冗余码是 1001
 , 码字就是 1100111001。

$$\begin{array}{r}
 \\
 \\
 \underline{1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0} \\
 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \\
 \underline{1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1} \\
 1 \ 0 \ 0 \ 1 \leftarrow (\text{冗余码})
 \end{array}$$

已知：接收码字：1100111001 多项

多项

生成多项式 : $G(X) = X^4 + X^3 + 1$ ($r=4$)

■ 解： 1) 用码字除以生成码，余数为 0，所以码字正确。

[illegible]

2) 因 $r=4$ ，所以冗余码是：11001，信息码是：110011



3.2 点对点协议 PPP

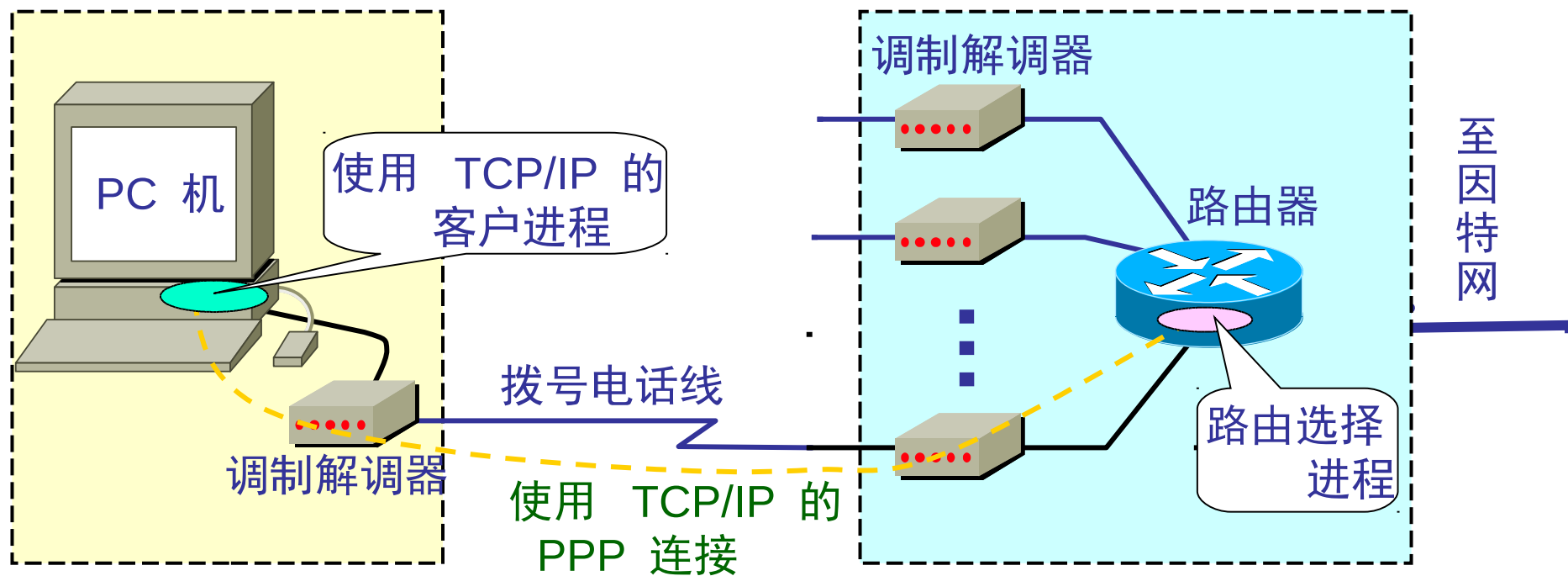
3.2.1 PPP 协议的特点

- 现在全世界使用得最多的数据链路层协议是**点对点协议** PPP (Point-to-Point Protocol) 。
- 用户使用拨号电话线接入因特网时，一般都是使用 PPP 协议。
- PPP 协议是在大多数家庭个人计算机和 ISP 之间使用的协议，它可以作为在高速广域网和社区宽带网协议族的一部分。

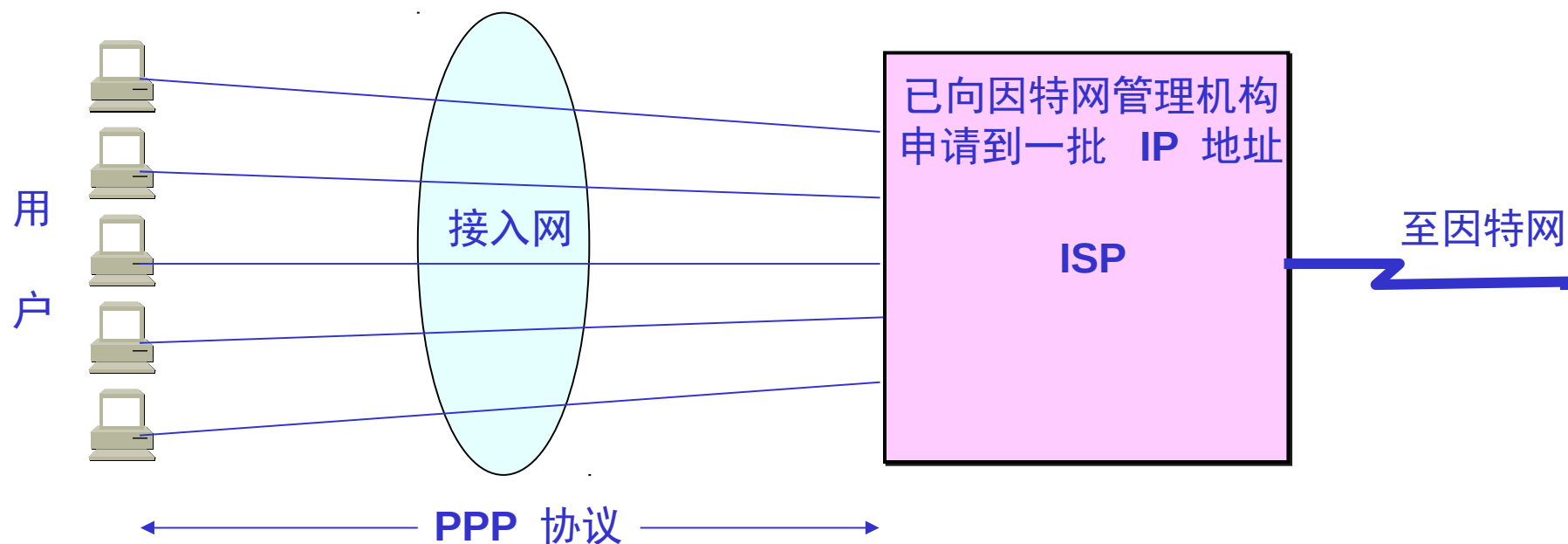
用户拨号入网的示意图

用户家庭

因特网服务提供者 (ISP)



用户到 ISP 的链路使用 PPP 协议





1. PPP 协议应满足的需求

- 简单——这是首要的要求
- 封装成帧
- 透明性
- 多种网络层协议
- 多种类型链路
- 差错检测
- 检测连接状态
- 最大传送单元
- 网络层地址协商
- 数据压缩协商



2. PPP 协议不需要的功能

- 纠错
- 流量控制
- 序号
- 多点线路
- 半双工或单工链路



3. PPP 协议的组成

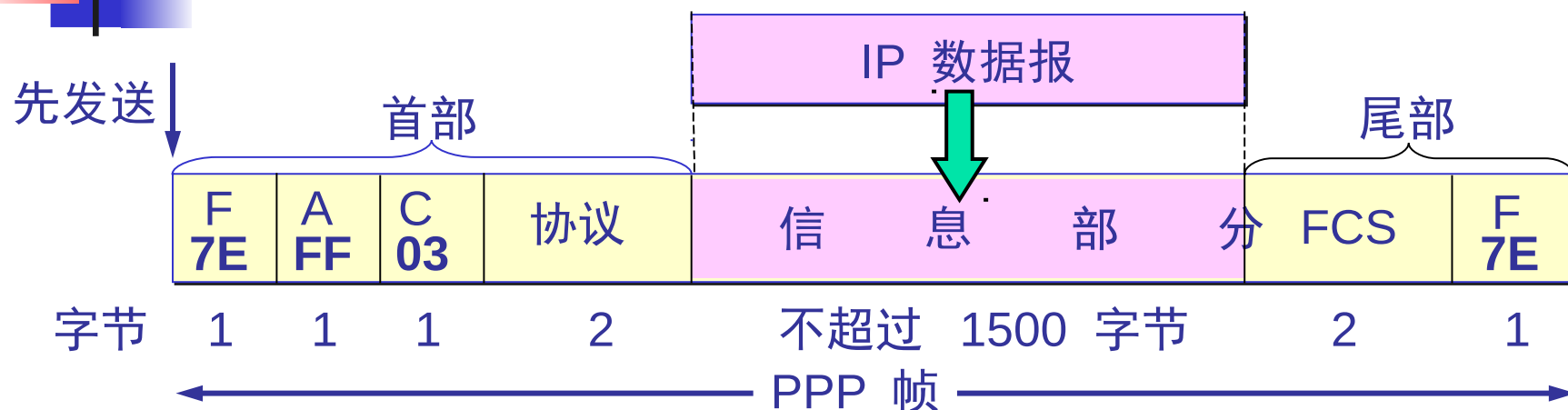
- 1992 年制订了 PPP 协议。经过 1993 年和 1994 年的修订，现在的 PPP 协议已成为因特网的正式标准 [RFC 1661]。
- PPP 协议有三个组成部分
 - 一个将 IP 数据报封装到串行链路的方法。
 - 一个链路控制协议 LCP (Link Control Protocol)。用于建立、配置和测试链路及不需要时关闭链路。
 - 一套网络控制协议 NCP (Network Control Protocol)。是一种协商网络层选项的方法，且协商方法与网络层的协议无关。NCP 实际是一族协议，其中的每一个协议支持不同的网络层协议。



3.2.2 PPP 协议的帧格式

- 标志字段 $F = 0x7E$ （符号“0x”表示后面的字符是用十六进制表示。十六进制的 7E 的二进制表示是 01111110）。
- 地址字段 A 只置为 $0xFF$ 。地址字段实际上并不起作用。
- 控制字段 C 通常置为 $0x03$ ，是一个常量，表明这是一个无编号帧。
- PPP 是面向字节的，所有的 PPP 帧的长度都是整数字节。

PPP 协议的帧格式



- PPP 有一个 2 个字节的协议字段。
 - 当协议字段为 0x0021 时，PPP 帧的信息字段就是 IP 数据报。 0x0023H—OSI 分组；
 - 若为 0xC021，则信息字段是 PPP 链路控制数据。
 - 若为 0x8021，则表示这是网络控制数据。



透明传输问题

- PPP 协议用在 SONET/SDH 链路时，使用**同步传输**（一连串的比特连续传送）。这时 PPP 协议采用硬件来完成**零比特填充**方法实现透明传输。
- 当 PPP 用在**异步传输**时，就使用一种特殊的**字符填充法**。



异步传输时的字符填充

- 将信息字段中出现的每一个 0x7E 字节转变成成为 2 字节序列 (0x7D, 0x5E)。
- 若信息字段中出现一个 0x7D 的字节，则将其转变成成为 2 字节序列 (0x7D, 0x5D)。
- 若信息字段中出现 ASCII 码的控制字符（即数值小于 0x20 的字符），则在该字符前面要加入一个 0x7D 字节，同时将该字符的编码加以改变。



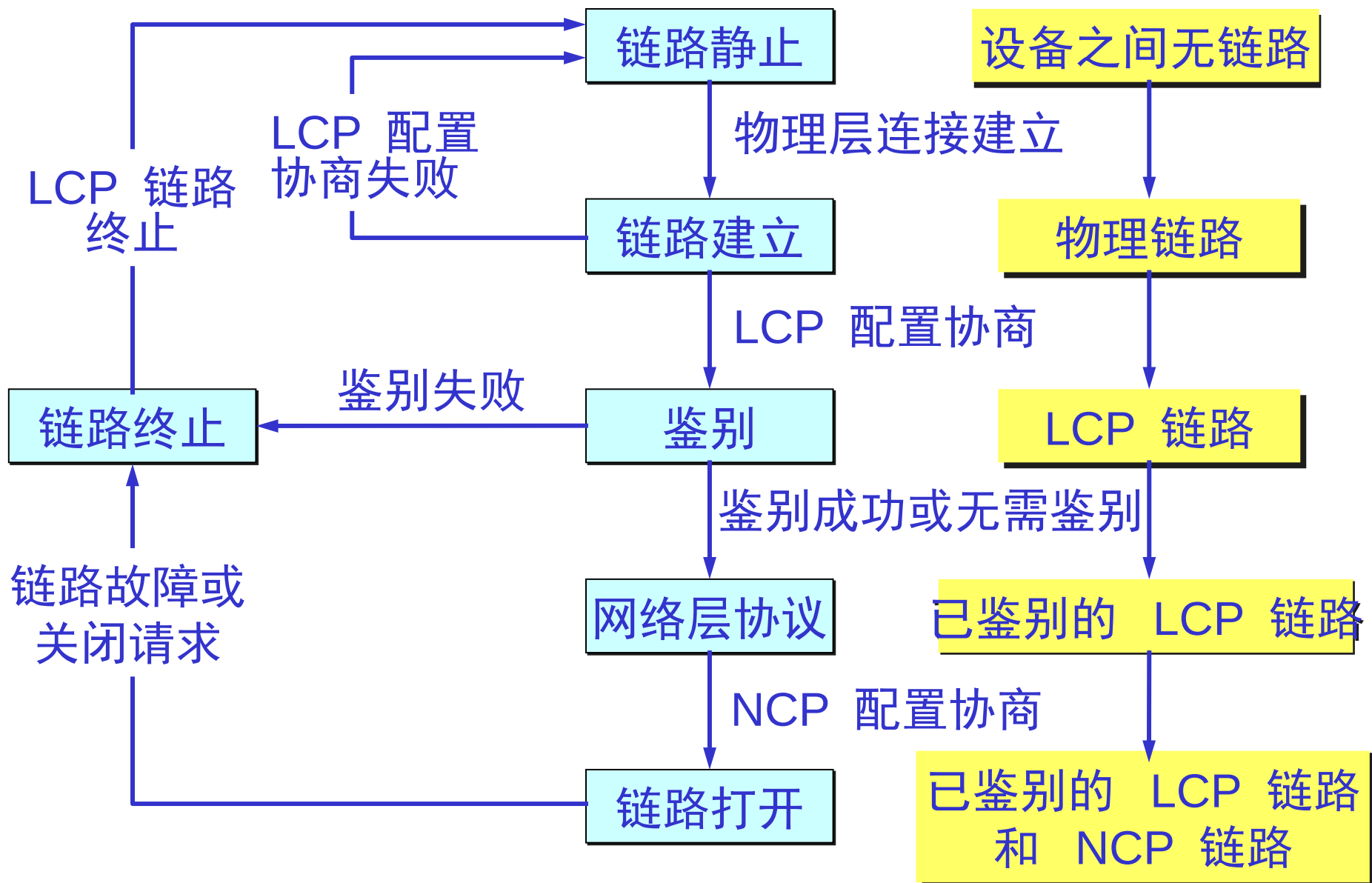
不提供使用序号和确认 的可靠传输

- PPP 协议之所以不使用序号和确认机制是出于以下的考虑：
 - 在数据链路层出现差错的概率不大时，使用比较简单的 PPP 协议较为合理。
 - 在因特网环境下，PPP 的信息字段放入的数据是 IP 数据报。数据链路层的可靠传输并不能够保证网络层的传输也是可靠的。
 - 帧检验序列 FCS 字段可保证无差错接受。



3.2.3 PPP 协议的工作状态

- 当用户拨号接入 ISP 时，路由器的调制解调器对拨号做出确认，并建立一条物理连接。
- PC 机向路由器发送一系列的 LCP 分组（封装成多个 PPP 帧）。
- 这些分组及其响应选择一些 PPP 参数，和进行网络层配置，NCP 给新接入的 PC 机分配一个临时的 IP 地址，使 PC 机成为因特网上的一个主机。
- 通信完毕时，NCP 释放网络层连接，收回原来分配出去的 IP 地址。接着，LCP 释放数据链路层连接。最后释放的是物理层的连接。





PPP 帧

- 优点：
 - 透明性
 - 支持多个网络层协议
（ IP 、 ARP 、 XNS 、 AppleTalk 、 DECnet ） 等
 - 错误检测
 - 网络层地址协商
 - 简洁性



PPP 帧

■ 缺点：

- 无纠错功能。
- 无流控。
- 无顺序保证。
- 仅适用于点对点通信。



局域网概述

- 局域网产生的原因
 - 80 年代初，微型机发展迅速，彼此需要相互通信（近距离），共享资源；
 - 分布式的网络应用：分布式计算，分布式数据库
- 定义
 - 局域网是一种将小区域内的各种通信设备互连在一起的通信网络。
- 局域网的基本特点
 - 高数据传输率（ $10 \sim 1000 \text{ Mbps}$ ）
 - 短距离（ $0.1 \sim 10 \text{ km}$ ）
 - 低出错率（ $10^{-8} \sim 10^{-11}$ ）



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

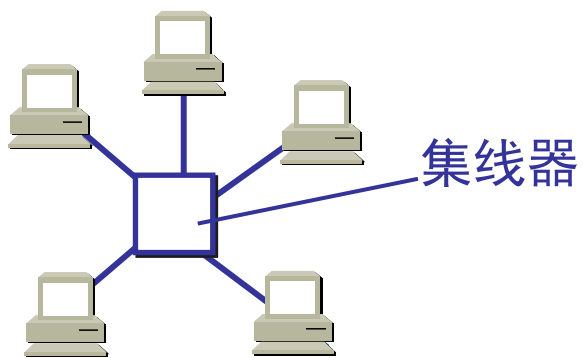
- 局域网最主要的特点是：网络为一个单位所拥有，且地理范围和站点数目均有限。
- 局域网具有如下的一些主要优点：
 - 具有广播功能，从一个站点可很方便地访问全网。局域网上的主机可共享连接在局域网上的各种硬件和软件资源。
 - 便于系统的扩展和逐渐地演变，各设备的位置可灵活调整和改变。
 - 提高了系统的可靠性、可用性和残存性。



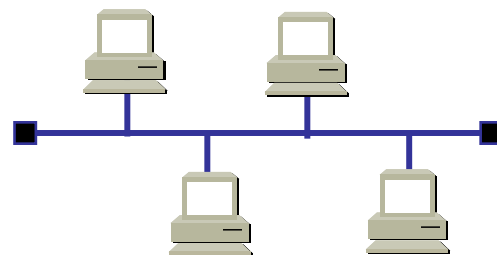
局域网

- 一、局域网的拓扑
- 二、媒体共享技术（信道分配策略）
- 三、 数据链路层分层
- 四、 IEEE 802 标准系列
- 五、 适配器的作用
- 六、 局域网三要素

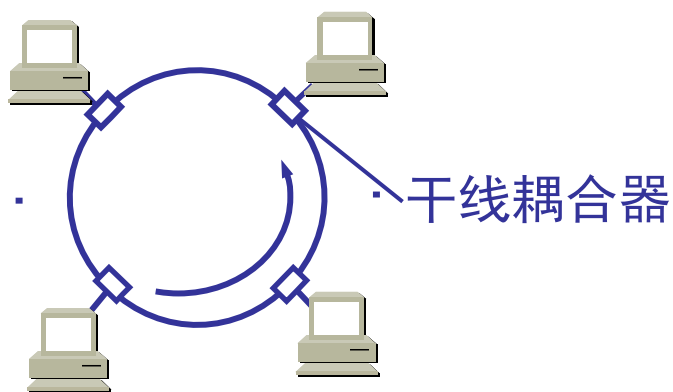
一、局域网的拓扑



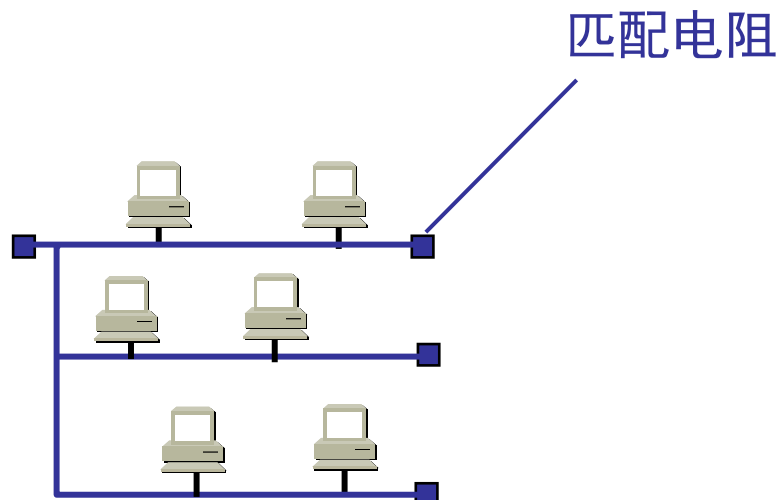
星形网



总线网



环形网



树形网



二、媒体共享技术（信道分配策略）

■ 静态划分信道

- 频分复用
- 时分复用
- 波分复用
- 码分复用

将频带或时间片等
固定分给各站点。
站点少且固定、造
成信道资源浪费。

■ 动态媒体接入控制（多点接入）

- 随机接入
- 受控接入，如多点线路探询 (polling)
，或轮询。



动态分配

- **随机接入**：又称争用，各节点只要有数据就发送（争着发送），发生冲突之后再采取措施解决冲突（有冲突）。**适合负载较轻时使用。**
- **受控接入**：控制访问是使发送节点首先获得发送权，再发送数据，不会出现冲突。它有**轮转**和**预约**两种。轮转是使各节点轮流发送数据；预约是使各节点先声明自己有数据要发送，然后根据预约的顺序依次发送数据。



三、 数据链路层分层

■为了使数据链路层能更好地适应多种局域网标准，802 委员会就将局域网的数据链路层拆成两个子层：

◆介质访问控制（MAC）子层：负责解决共享信道问题；

◆逻辑链路控制（LLC）子层：完成通常意义下的数据链路层功能。如差错、流量控制等；

■与接入到传输媒体有关的内容都放在 MAC 子层，而 LLC 子层则与传输媒体无关，不管采用何种协议的局域网对 LLC 子层来说都是透明的。

MAC 子层与 LLC 子层

高层 PDU

高层数据

IP 分组

LLC 帧

LLC 首部

LLC 数据

MAC 帧

MAC 首部

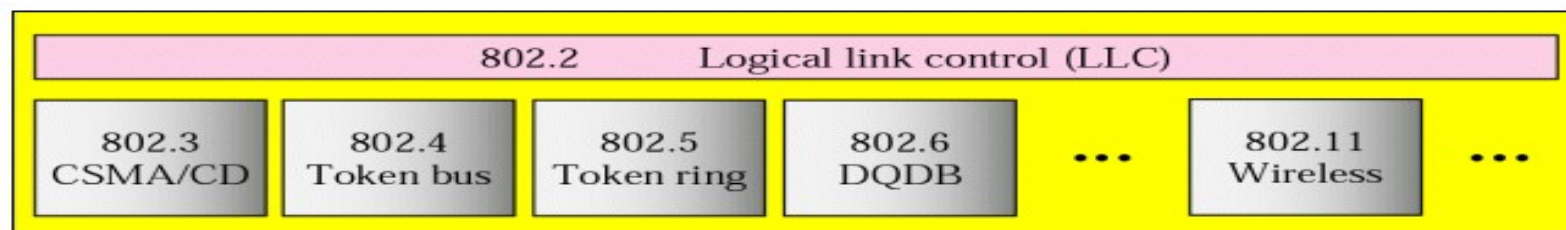
MAC 数据

MAC 尾部

目的地址、源地址
、控制信息

帧校验序列

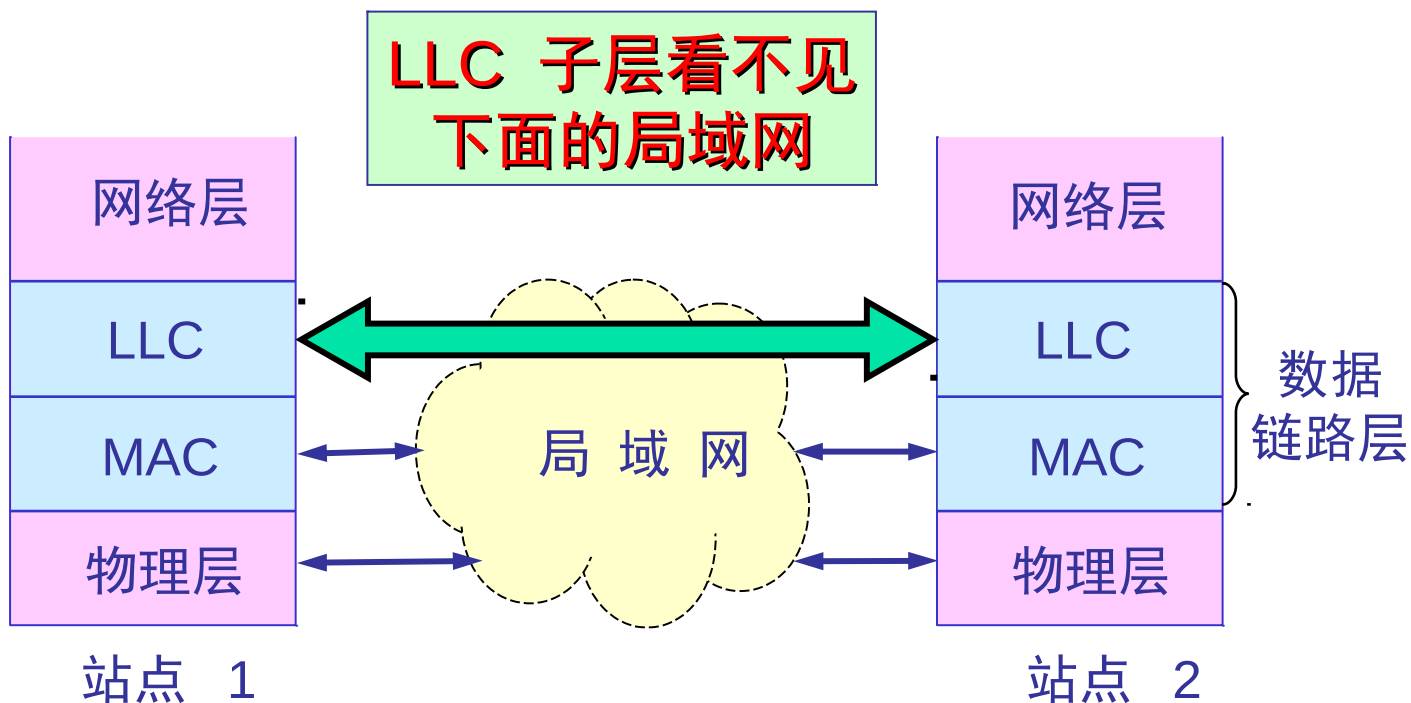
分成 MAC 、 LLC 两个子层的好处



- 不同的物理网络，物理层与 MAC 子层不同，而 LLC 子层相同，网络的上层协议可运行于任何一种 IEEE 802 标准的局域网。
- 这种分层方法也使得 IEEE 802 标准具有良好的可扩充性，可以很方便地接纳新的介质与介质访问控制方法。

局域网对 LLC 子层 是透明的

逻辑链路控制
媒体接入控制





以后一般不考虑 LLC 子层

- 由于 TCP/IP 体系经常使用的局域网是 Ethernet V2 而不是 802.3 标准中的几种局域网，因此现在 802 委员会制定的逻辑链路控制子层 LLC（即 802.2 标准）的作用已经不大了。
- 很多厂商生产的网卡上就仅装有 MAC 协议而没有 LLC 协议。

四、IEEE 802 标准系列

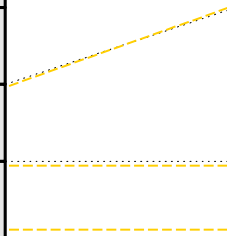
- ◆ IEEE 802 标准所描述的局域网参考模型与 OSI 参考模型的关系：

OSI参考模型

应 用 层
表 示 层
会 话 层
传 输 层
网 络 层
数据链路层
物 理 层

IEEE 802参考模型

逻辑链路控制子层
介质访问控制子层
物 理 层





IEEE 802 标准

■ IEEE 802 标准

- 为了使得不同厂家生产的局域网能够相互连通进行通信，IEEE 于 1980 年 2 月下设了一个 802 委员会，专门从事局域网城域网标准的制订，形成的一系列标准统称为 IEEE 802 标准。

■ ISO 8802 标准

- ISO 于 1984 年 3 月采纳其作为局域网和城域网的国际标准系列，称为 ISO 8802 标准。

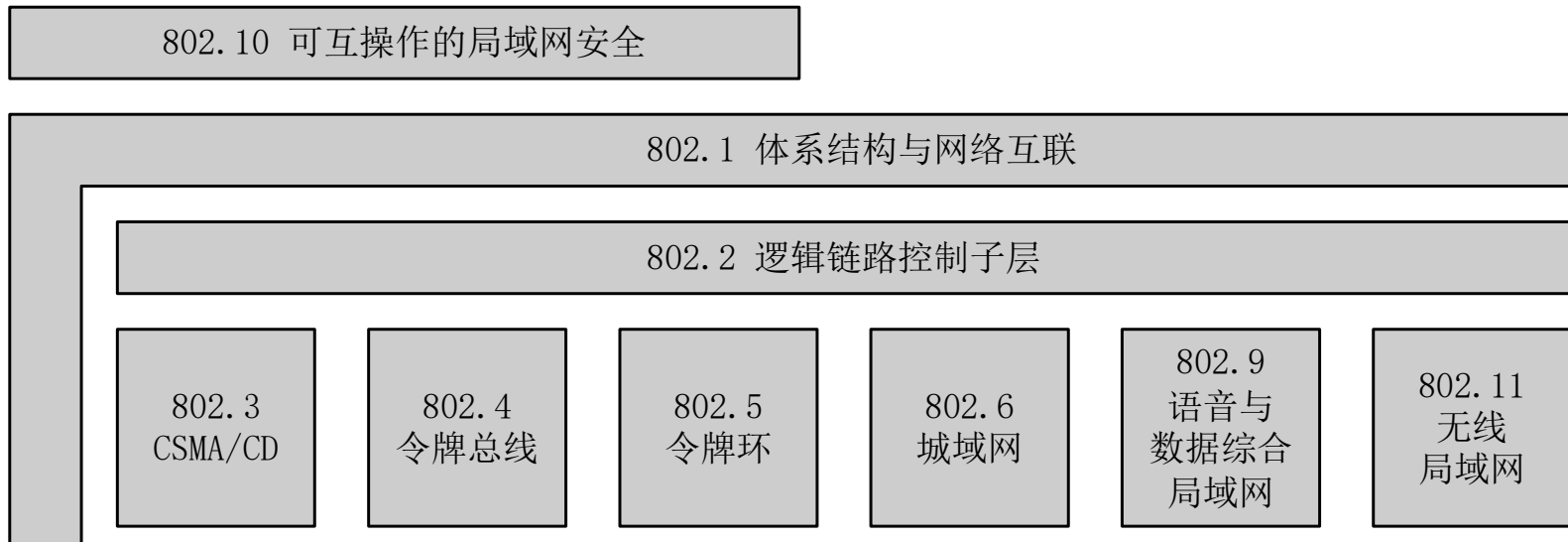
■ IEEE 802 标准的内容

- 主要涉及物理层、数据链路层以及网络层的一部分。高层协议与网络结构无关。



IEEE 802 标准

- ◆ IEEE 802 委员会为局域网制定了一系列标准，它们统称为 IEEE 802 标准；
- ◆ IEEE 802 标准之间的关系：





IEEE 802 标准系列

- 802.1 : 体系结构和桥接
- 802.2 : 逻辑链路控制 LLC
- 802.3 : CSMA/CD 总线网的 MAC 和 PHY 规范
- 802.4 : 令牌总线网的 MAC 和 PHY 规范
- 802.5 : 令牌环网的 MAC 和 PHY 规范
- 802.6 : 城域网 DQDB 的接入方法和物理层规范
- 802.7 : 宽带技术
- 802.8 : 光纤技术
- 802.9 : 综合话音数据局域网 (Voice/Data Integration)
- 802.10 : 可互操作的 LAN / MAN 安全
- 802.11 : 无线局域网 (WLAN) 的 MAC 和 PHY 规范
- 802.12 : 优先级高速局域网 (100BaseVG AnyLan)



IEEE 802 标准系列（续）

- 802.14 : 有线电视（Cable-TV）网上的数据传输
- 802.15 : 无线个人网（WPAN / Bluetooth）
- 802.16 : 宽带无线接入（BWA, i.e. WirelessMAN）
- 802.17 : 弹性分组环（Resilient Packet Ring）
- 802.18 : 无线电调整（Radio Regulatory）
- 802.19 : 共存（Coexistence）
- 802.20 : 移动宽带无线访问（MBWA, i.e. Wireless Mobility）

五、 适配器的作用

- 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**”。网卡一般插在每台工作站和文件服务器主机板的扩展槽里。

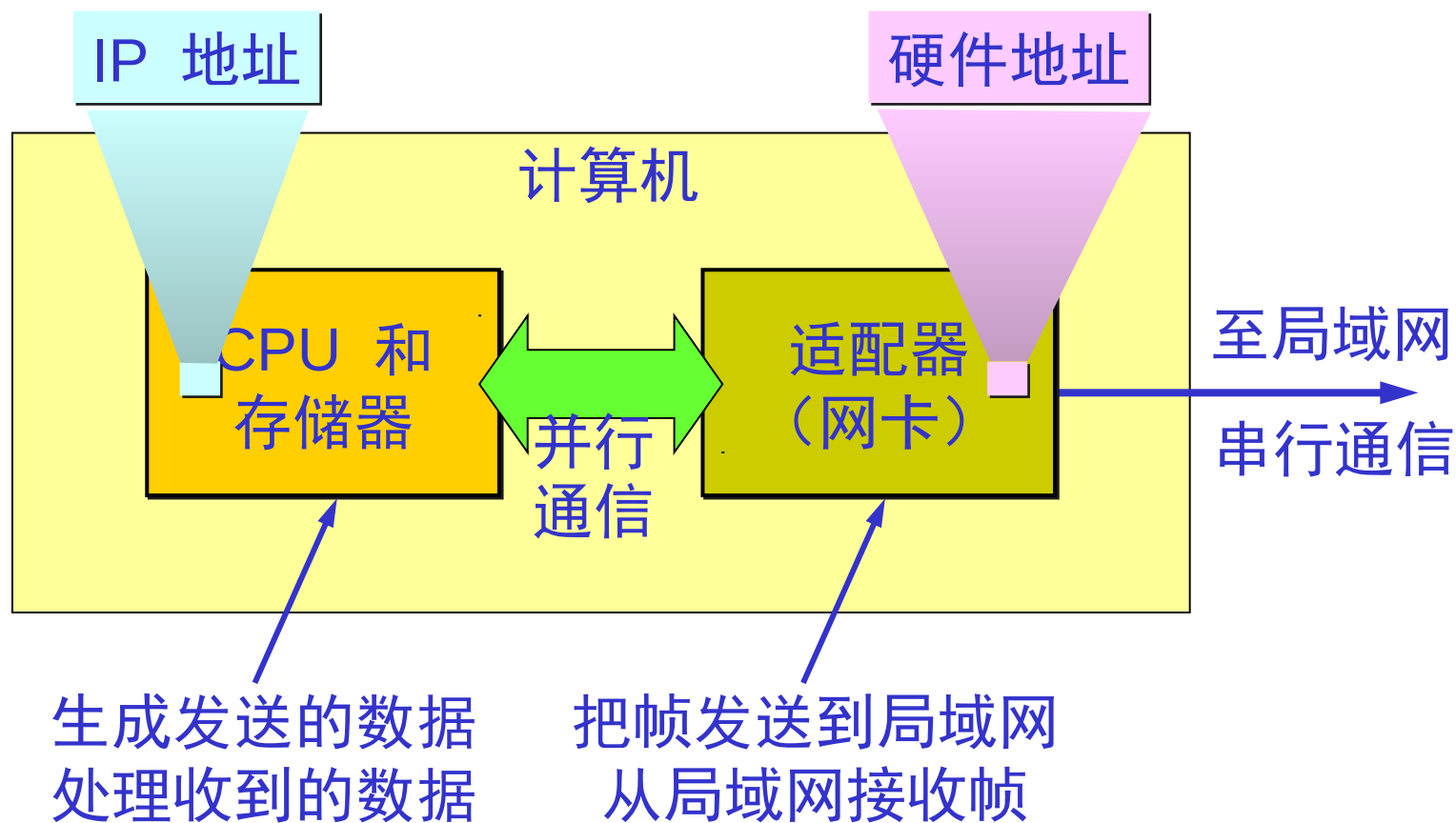




网卡的作用

- 网卡除了起到物理接口作用外，还有**控制数据传送**的功能。
- 网卡**一方面**负责接收网络上传过来信号，解码成比特帧，解帧后交给网络层，数据通过主板上的总线传输给本地计算机；**另一方面**它将本地计算机上的数据组帧，再编码成信号送入网络。所以网卡是**下层设备**。
- 进行串行 / 并行转换。
- 对数据进行缓存。
- 实现以太网协议。

计算机通过适配器和局域网进行通信





网卡参数

- 网卡参数的设置：
 - 每种类型的网卡一般都有多组跳线或开关用于设置网卡参数。
 - 有些网卡可由购买时所附的软件设置参数
 - 即插即用的网卡则自动设置参数，不需另外手工设置。
- 中断号（IRQ）
 - 网卡的请求和 CPU 对网卡的响应和处理，靠硬件中断和中断处理程序完成。
 - 网卡可选择的中断级的值通常有 IRQ3 — 7，10，11，出厂缺省值一般是 IRQ3。



网卡参数（续）

I/O 基地址（I/O Base Address）

- 主机对网卡的控制、数据交换和寄存器的访问都要通过 I/O 端口进行
- 常用网卡有 16 个 I/O 端口地址供主机访问，基地址是其首地址。
- 可使用的 I/O 端口地址一般为 300H—30FH，缺省值是 300H。

DMA 通道

- DMA 通道为网卡和计算机之间进行数据交换提供一条直接存储的通道。
- 网卡上可选用的 DMA 通道有 DMA1 和 DMA3，通常使用 DMA3。



网卡参数（续）

■ 网卡的 MAC 地址

- 在每块网卡上都有一个全球唯一的 MAC 地址，该地址存放在网卡的站地址寄存器（PROM）中。
- MAC 地址是一个 48 位地址，它用 12 个 16 进制数表示，如 02-60-8C-37-A4-E5；
- MAC 地址分为两部分，前 24 位表示网卡制造厂家的标识号（Vendor Code），由 IEEE 统一分配。后 24 位是网卡的序列号，由网卡的生产厂家分配。

02 - 60 - 8C - 37 - A4 - E5

厂家标识码

序列号

(Vendor Code)

(Serial Number)



六、局域网三要素

决定局域网性能的三要素：

- ◆ 网络拓扑结构
- ◆ 传输介质
- ◆ 介质访问控制方法

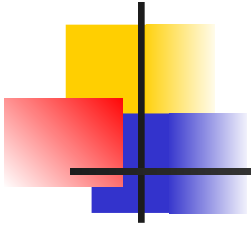


常用介质访问控制方法：

IEEE802.2 定义的介质访问控制方法
主要有 3 种：

- ◆ 带冲突检测的载波侦听多路访问
(CSMA/CD)——总线网
- ◆ 令牌总线 (token bus)
- ◆ 令牌环 (token ring)

3.3.2 以太网（Ethernet） （总线局域网）



Ethernet 的发展

- ◆ Ethernet 的核心技术是 **CSMA/CD** 介质访问控制方法；
- ◆ **随机争用技术**起源于夏威夷大学校园网 ALOHA；
- ◆ 1972 年，Xerox 公司开始 Ethernet 实验网的研究；
- ◆ 1979 年，Xerox 公司宣布了 Ethernet 产品；
- ◆ 1980 年，Xerox、DEC 与 Intel 联合宣布 Ethernet V2.0 规范；



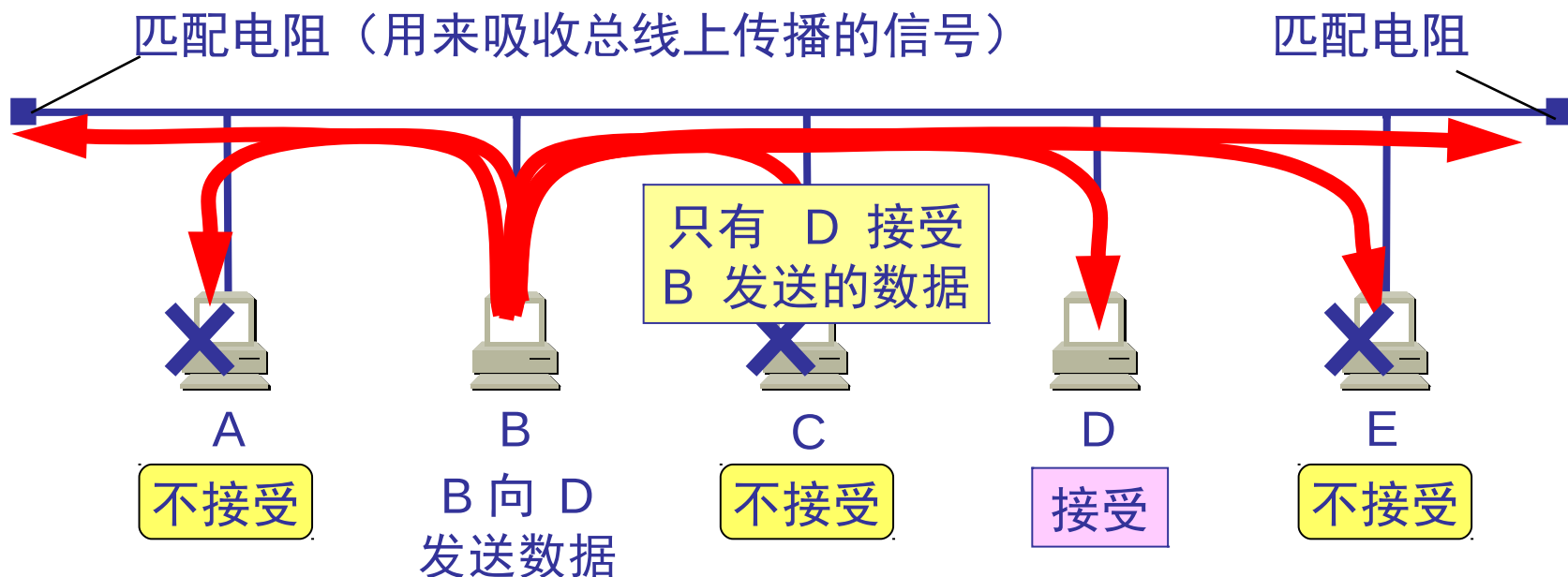
传统以太网

■ 两个标准

- Xerox（施乐）公司联合 DEC 和 Intel 公司（DIX 小组）开发该产品，为 10Mbps 以太网制订了标准 ETHERNET V2。DIX Ethernet V2 是世界上第一个局域网产品（以太网）的规约。
- IEEE 以此为基础，于 1989 年制订了 IEEE 802.3（两者略有差别）
- 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”。但是严格说来，“以太网”应当是指符合 DIX Ethernet V2 标准的局域网。

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。





以太网的广播方式发送

- 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。
- 具有广播特性的总线上实现了一对一的通信。

为了通信的简便

以太网采取了两种重要的措施

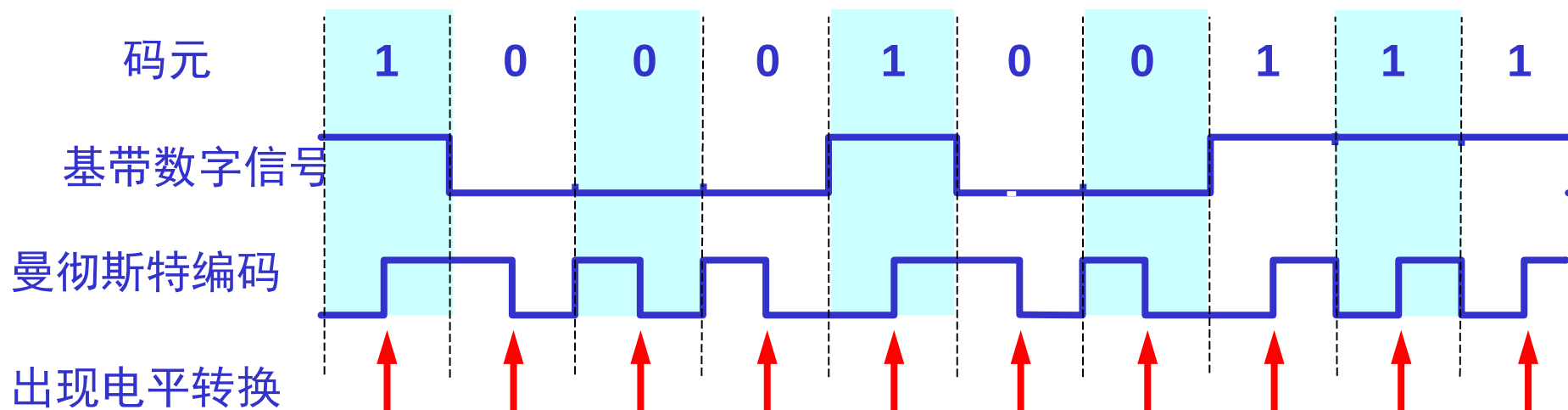
- 采用较为灵活的无连接的工作方式，即不必先建立连接就可以直接发送数据。
- 以太网对发送的数据帧不进行编号，也不要求对方发回确认。
 - 这样做的理由是局域网信道的质量很好，因信道质量产生差错的概率是很小的。



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



曼彻斯特编码： 数据代码中的“1”前半周期用 $-E$ 电压，后半周期用 $+E$ 电压表示，“0”前半周期用 $+E$ ，后半周期用 $-E$ 电压表示。



曼彻斯特 (manchester) 编码

曼彻斯特编码的规则：

- ◆ 每比特的周期 T 分为前 $T/2$ 与后 $T/2$ 两部分；
- ◆ 通过前 $T/2$ 传送该比特的反码，通过后 $T/2$ 传送该比特的原码；

曼彻斯特编码的优点：

- ◆ 每个比特的中间有一次电压跳变，两次电压跳变的时间间隔可以是 T ；
- ◆ 利用电压跳变可以产生收发双方的同步信号；发送时无需另发同步信号。



Ethernet 的信道分配策略（CSMA/CD）

- ◆ CSMA/CD 表示 Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection。载波监听多点接入 / 碰撞检测（带有冲突检测的载波监听多路访问协议）。
- ◆ CSMA/CD 是采用争用技术，各节点都独立决定发送帧，当检测到冲突发生时，则等待随机时间间隔后重发帧。CSMA/CD 一般用于总线网。



CSMA/CD 的发送流程分为四步：

- ◆ 先听后发
- ◆ 边听边发
- ◆ 冲突停止
- ◆ 随机延时后重发



第 1 步：载波侦听过程（先听）

- “**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。



电磁波在总线上的 有限传播速率的影响

- 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。



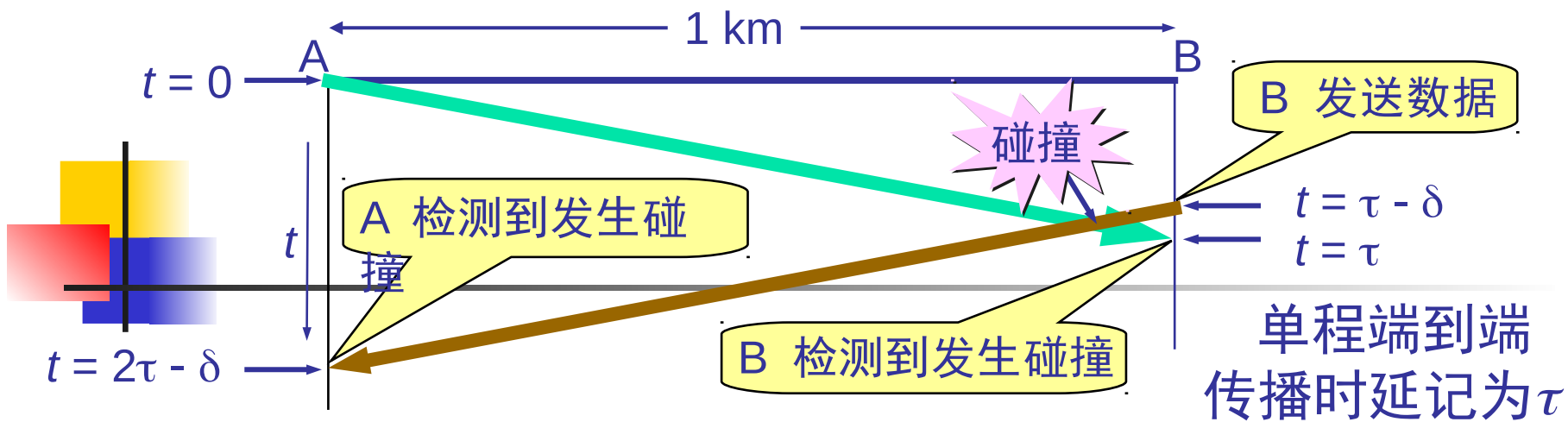
第 2 步：冲突检测

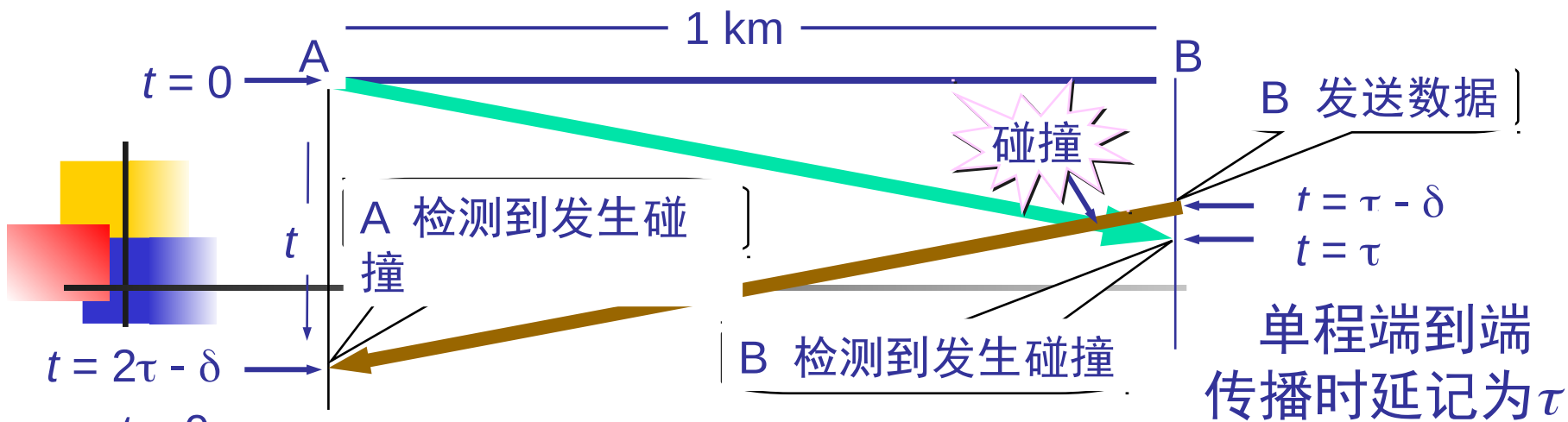
- 最先发送数据帧的站，在发送数据帧后至多经过时间 2τ （两倍的端到端往返时延）就可知道发送的数据帧是否遭受了碰撞。
- 以太网的端到端往返时延 2τ 称为争用期，或冲突窗口。
- 经过争用期这段时间还没有检测到碰撞，才能肯定这次发送不会发生碰撞。



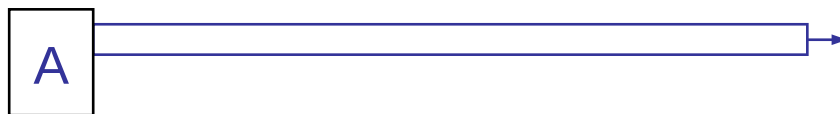
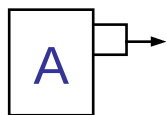
冲突检测

- ◆ 若超过两倍的传播延迟（ 2τ ，即冲突窗口）时间没有检测到冲突，表明发送成功；
- ◆ 判断冲突方法：
 - 比较法：发送节点在发送帧的同时，将其发送的信号波形与在总线上接受到的信号波形作比较。
 - 编码违例判决法：检查在总线上接受的信号波形，如接受的信号波形不符合 Manchester 编码就说明出现了冲突。

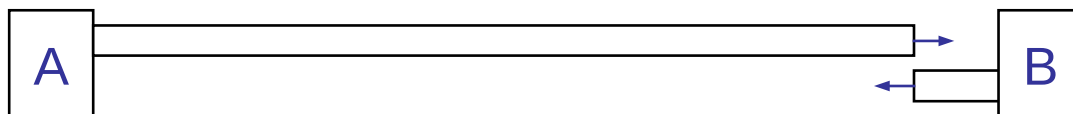
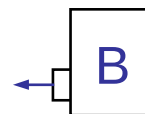




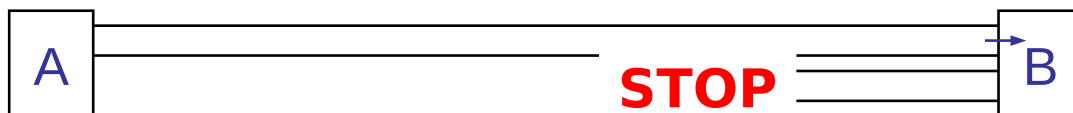
$t = 0$
A 检测到信道空闲
发送数据



$t = \tau - \delta$
B 检测到信道空闲
发送数据

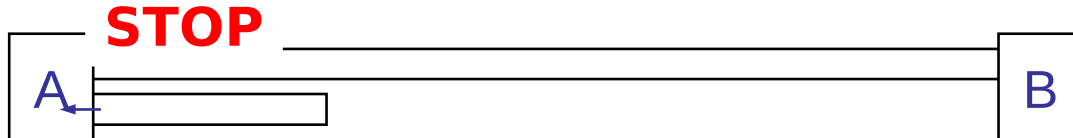


$t = \tau - \delta / 2$
发生碰撞



$t = \tau$
B 检测到发生碰撞
停止发送

$t = 2\tau - \delta$
A 检测到发生碰撞





冲突窗口的长度

- 以太网取 $51.2\ \mu\text{s}$ 为冲突窗口的长度（对于一个最大长度为 2500 米，具有 4 个中继器的 10Mbps LAN，在最差情况下，往返一周的时间为 $51.2\ \mu\text{s}$ ）。
- 对于 10 Mb/s 以太网，在冲突窗口内可发送 $512\ \text{bit}$ （ $51.2\ \mu\text{s} * 10\ \text{Mb/s}$ ），即 $64\ \text{字节}$ （在 10Mbps 情况下，一位约需 100ns）。
- 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。



第 3 步：发现冲突，停止发送

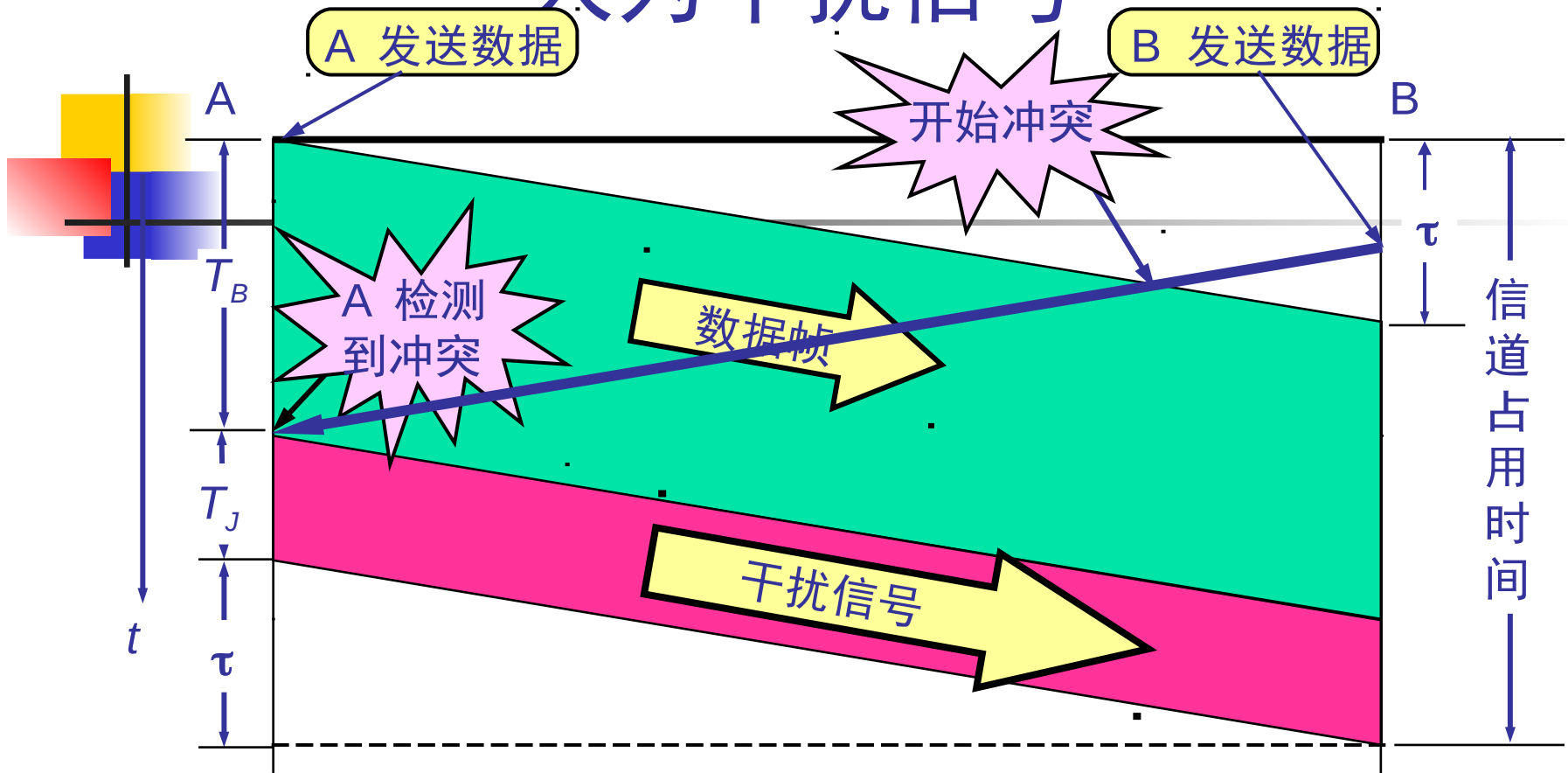
- ◆ 每一个正在发送数据的站，**边发送数据边检测**信道上的信号电压，当检测到冲突，就要立即停止发送，免得继续浪费网络资源，然后**等待一段随机时间**后再次发送。



强化碰撞

- 当发送数据的站一旦发现发生了碰撞时，除了立即停止发送数据外，还要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。



第 4 步：随机延迟重发

- 二进制指数退避算法：
 - 随机时间的基本单位：争用期 2τ
 - τ 一端到端的传播时延（即最远两个站之间的传播时延）
- 算法规则如下：（设 1 个时间片等于 2τ ）
 - (1) 对每个数据帧，当第一次发生冲突时，设置一个参量 $k=1$
 - (2) 退避的随机时间取 n 个时间片；（ n 为 $\{0, 1, 2, \dots, 2^k - 1\}$ 中的一个随机数）
 - (3) 当数据帧再次发生冲突，将参量 $k + 1$ ，但若 k 加到 10 后便不再增加，仍维持 $k=10$ ，即 $k = \min[\text{重发次数}, 10]$ ，转 (2)；
 - (4) 设置一个最大重发次数 16，超过该次数，则不再重传，并报告出错。



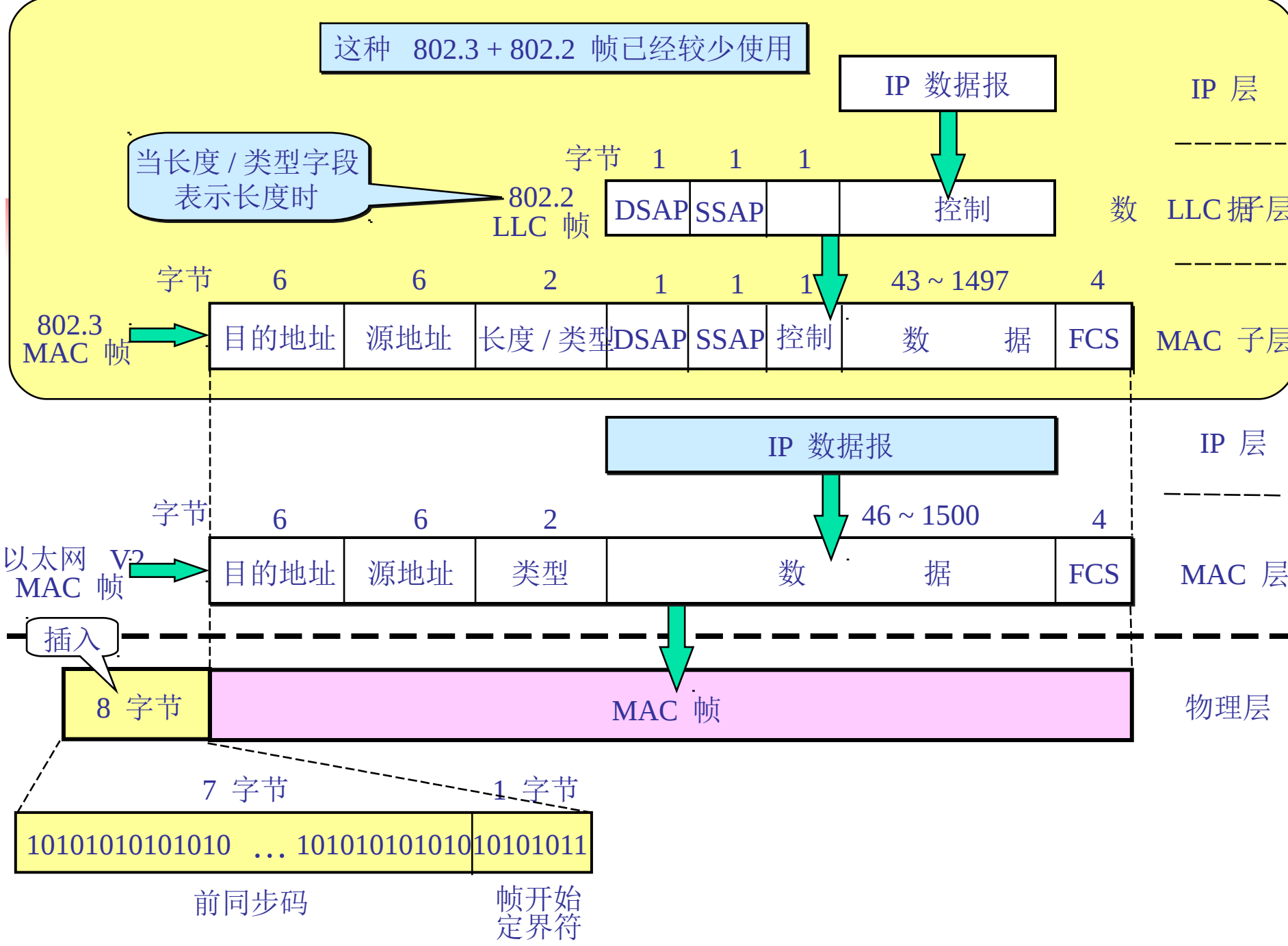
重要特性

- 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。



3.3.3 Ethernet 帧结构

- 常用的以太网帧格式有两种标准：
 - 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。



LLC 帧结构中的 SAP 地址

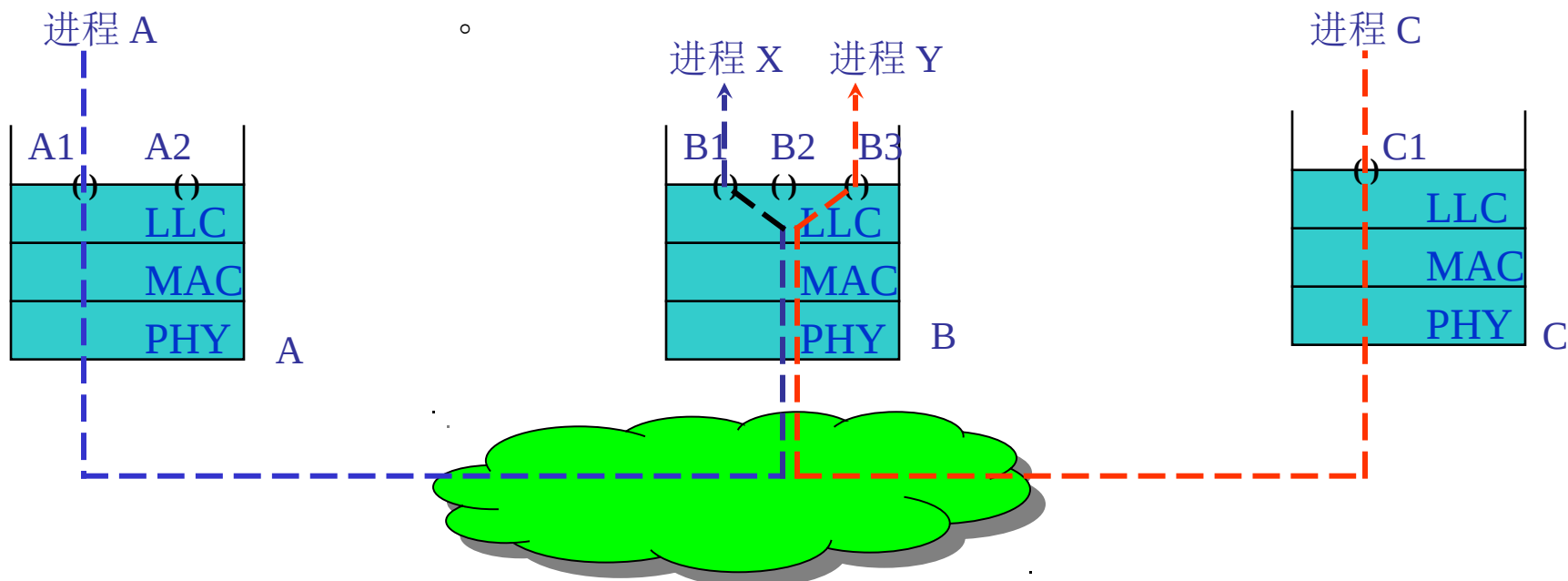
LLC 帧:



LLC 首部

DSAP : 目的服务访问点, 表示数据上交给哪个协议。

SSAP : 源服务访问点, 表示数据从哪个协议发送过来的





MAC 地址与 SAP 地址

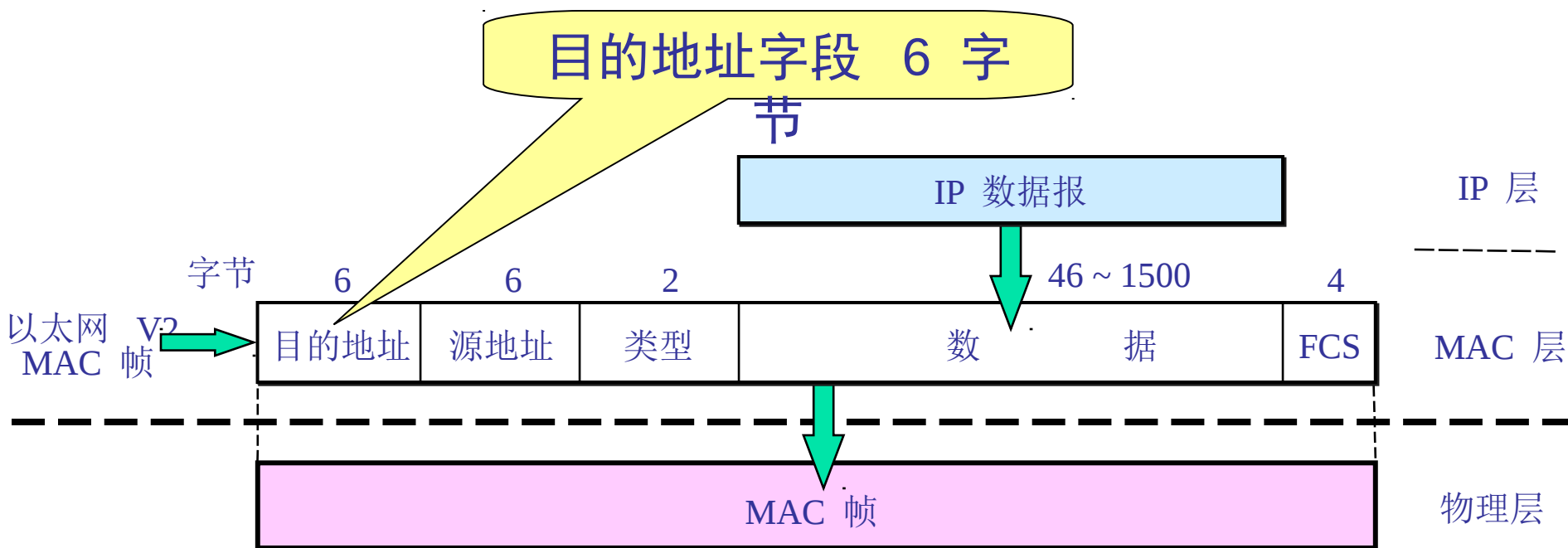
■ 两种地址

- MAC 地址，数据终端设备 DTE 在网络中的物理地址（站地址），在 MAC 帧中传送
- SAP 地址，进程在 DTE 中的逻辑地址，在 LLC 帧中传送

■ LAN 中的寻址

- ① 根据 MAC 地址找到目的站点
- ② 根据 SAP 地址找到该 DTE 中的相应进程

以太网 V2 的 MAC 帧格式





MAC 层的硬件地址

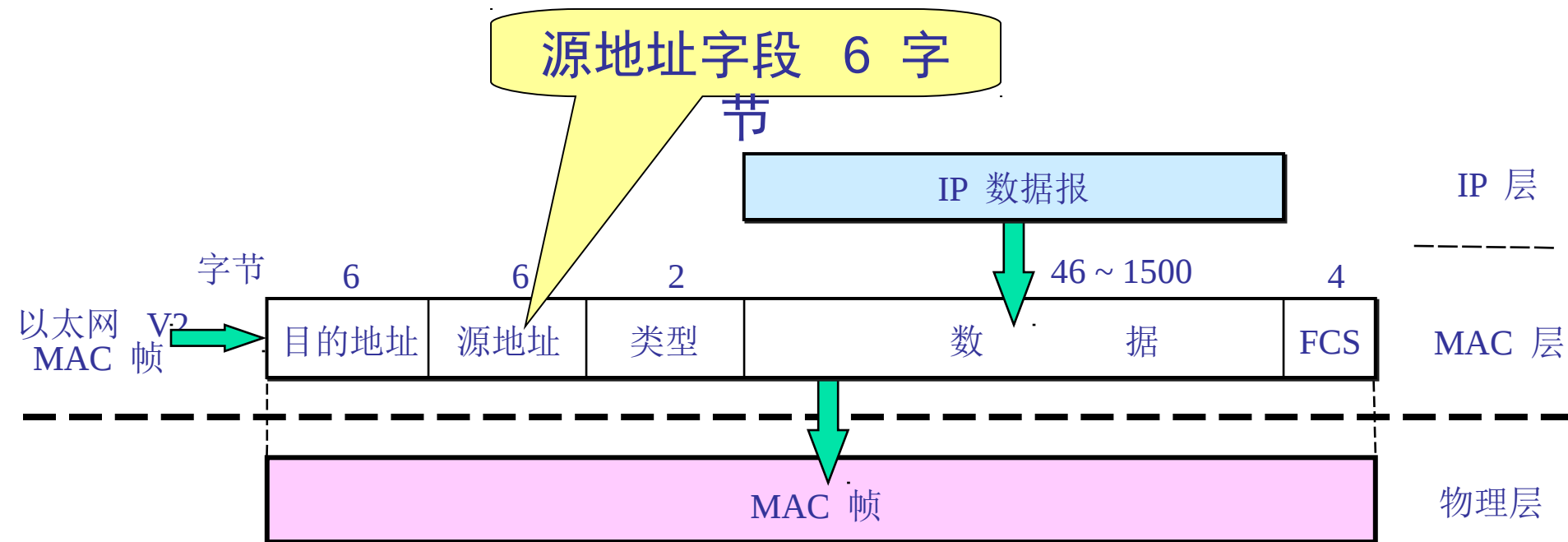
- 在局域网中，**硬件地址**又称为**物理地址**，或**MAC 地址**。
- **地址**实际上就是适配器地址或适配器标识符 MAC-48 。
- 802 标准所说的“地址”严格地讲应当是每一个站的“**名字**”或**标识符**。
- 但鉴于大家都早已习惯了将这种 48 位的“名字”称为“地址”，所以本书也采用这种习惯用法，尽管这种说法并不太严格。



网卡检查 MAC 地址

- 网卡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，地址全为 1)
 - 多播 (multicast) 帧 (一对多，组播方式)

以太网 V2 的 MAC 帧格式

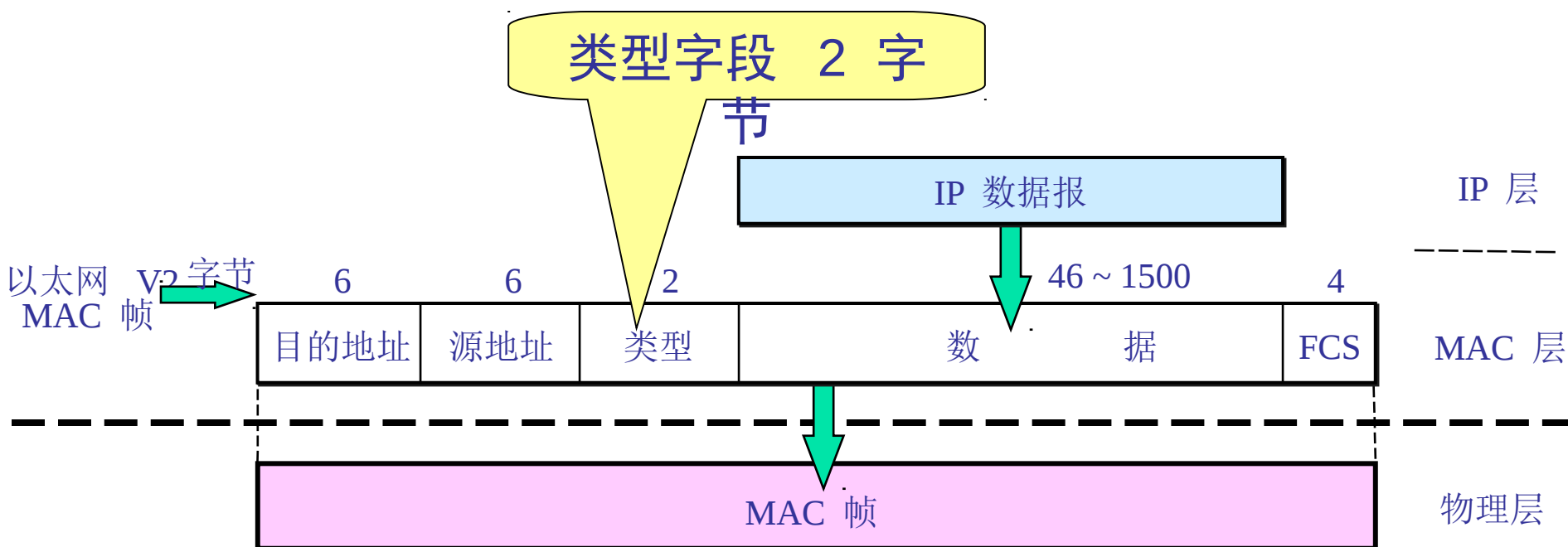


以太网 V2 的 MAC 帧格式

类型字段用来标志上一层使用的是什么协议，

TYPE : 0X0800 IP , 0X8137 IPX

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

数据字段 46 ~ 1500 字节

IP 数据报

IP 层

字节

6

6

2

46 ~ 1500

4

目的地址

源地址

类型

数据

FCS

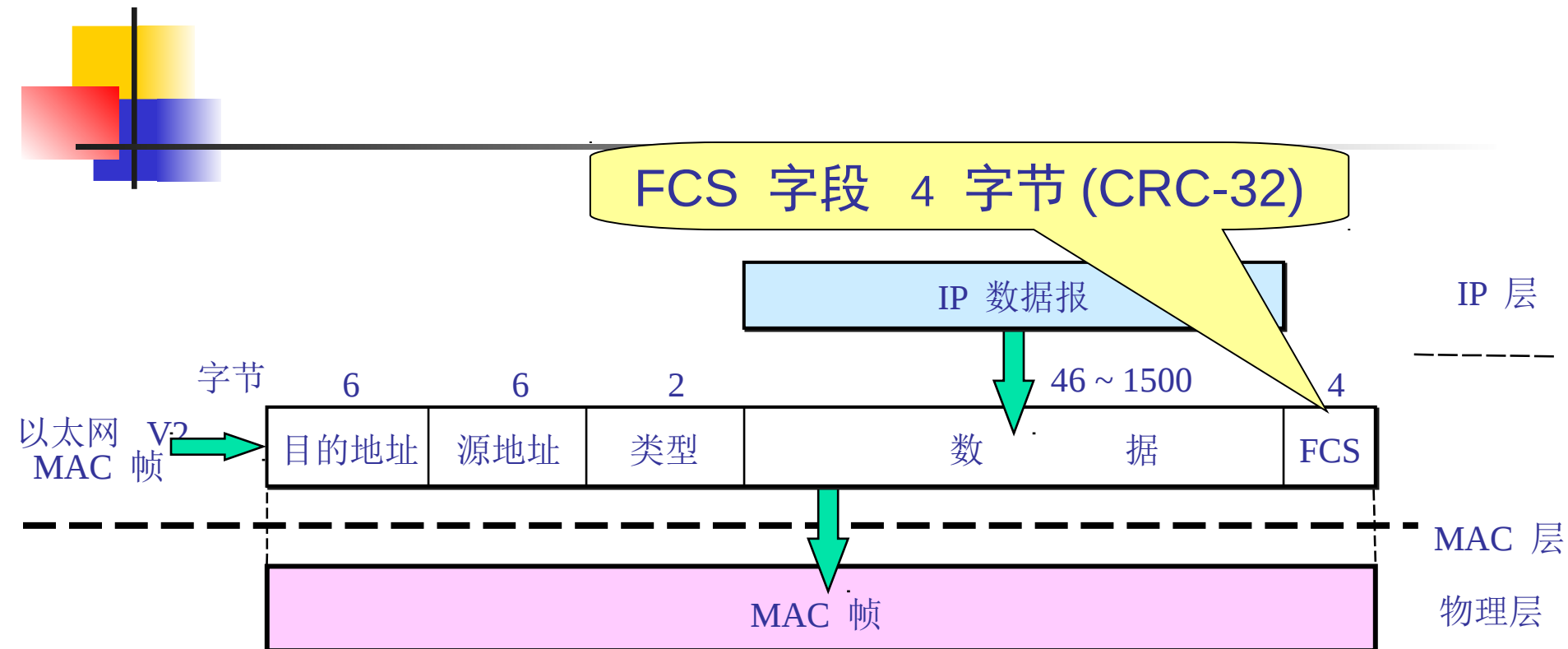
MAC 层

MAC 帧

物理层

以太网 V2
MAC 帧

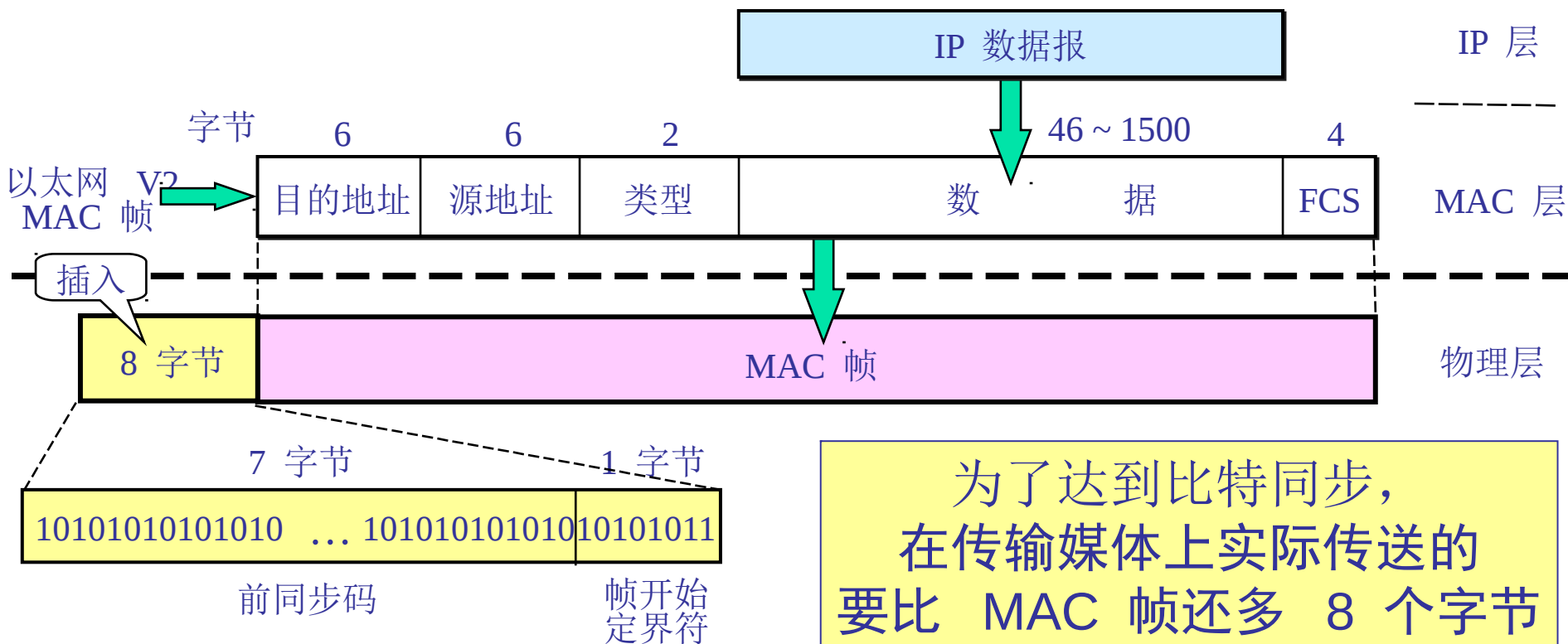
以太网 V2 的 MAC 帧格式



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 $9.6 \mu\text{s}$ （标准规定），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。



以太网种类

- 以太网：传统以太网和高速以太网
- 速率达到或超过 100 Mb/s 的以太网称为高速以太网。
- 几种高速以太网：
 - ◆ 100Mbps 快速以太网
 - ◆ 1000Mbps 千兆（吉比特）以太网
 - ◆ 10 吉比特以太网



3.4 传统以太网

- 传统以太网可使用的传输媒体有四种：
 - 铜缆（粗缆或细缆）
 - 铜线（双绞线）
 - 光缆
- 这样，以太网就有四种不同的物理层。

以太网媒体接入控制 MAC

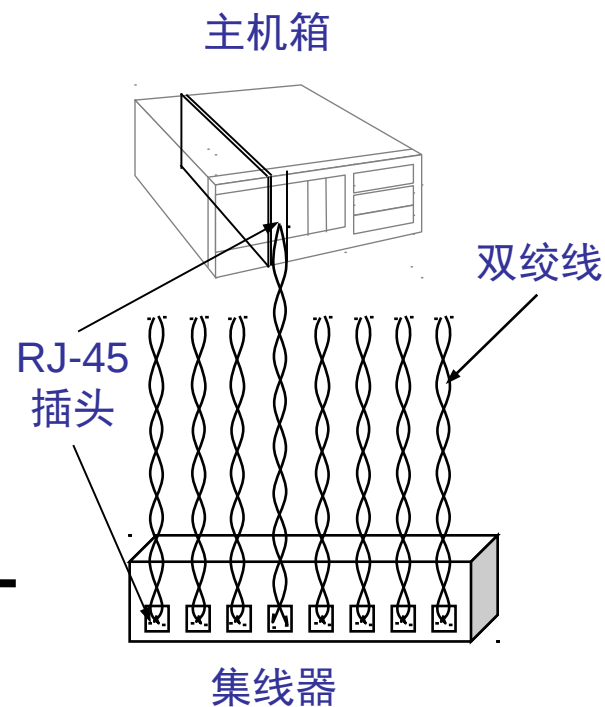
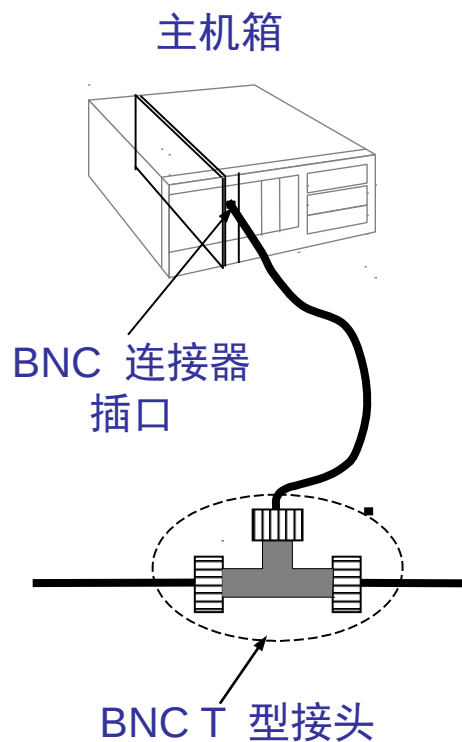
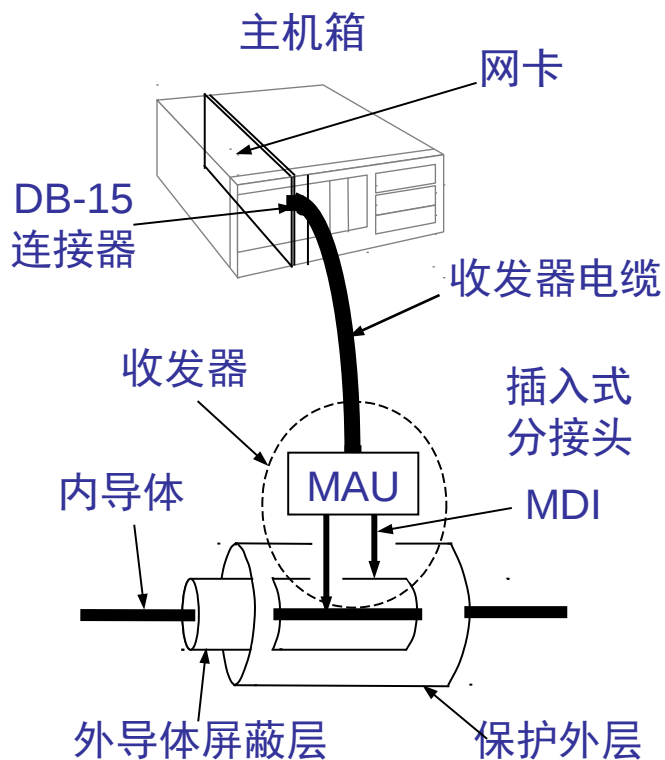
10BASE5
粗缆

10BASE2
细缆

10BASE-T
双绞线

10BASE-F
光缆

铜缆或铜线连接到以太网的示意图





10Mbps 以太网布线原则

3-4-5 原则：

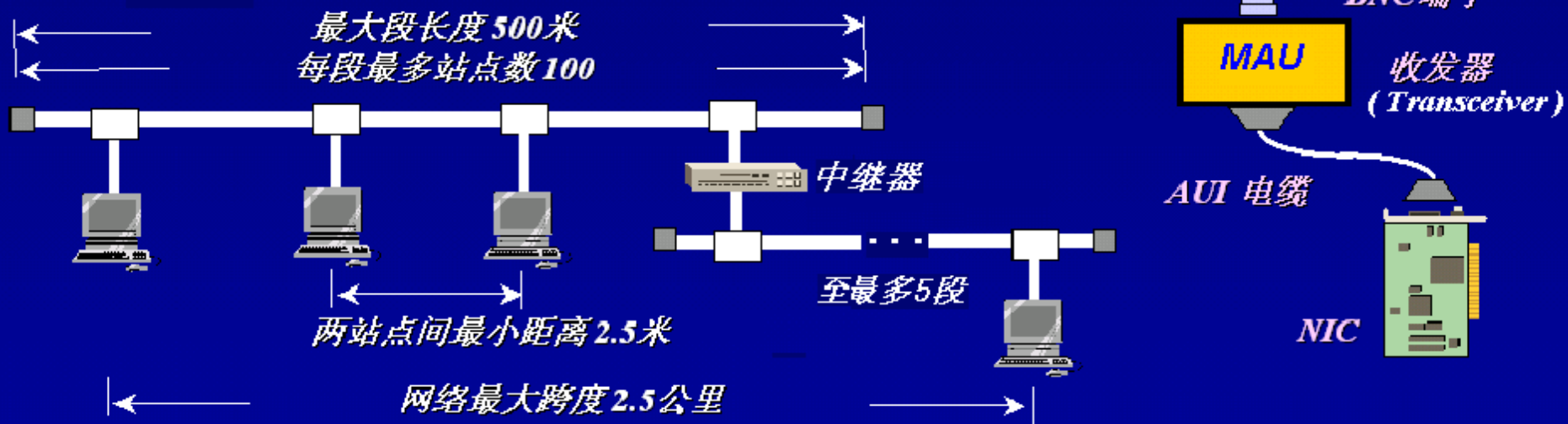
- **10Mbps** 以太网规划中应该遵循的规则，从而保证以太网能够正常工作。
- 5 一指任意两个站点间最多有 5 个以太网网段
- 4 一任意两个站点间最多有 4 个中继器
- 3 一表示任意两个站点间最多有 3 个网段有站点相连

■ 注意点：

- 如果两个站点间有 5 个以太网网段，并不是所有的网段都可以连接站点，有些网段只是用来扩展网络的距离。

10BASE-5 (粗缆)

- 吸血蝠插头：插入电缆
- 收发器：发送/接收, 冲突检测, 电气隔离, 超长控制
- AUI：连接单元接口
- MAU：介质连接单元
- 用于骨干网
- 粗同轴电缆, 直径10mm, 阻抗50欧



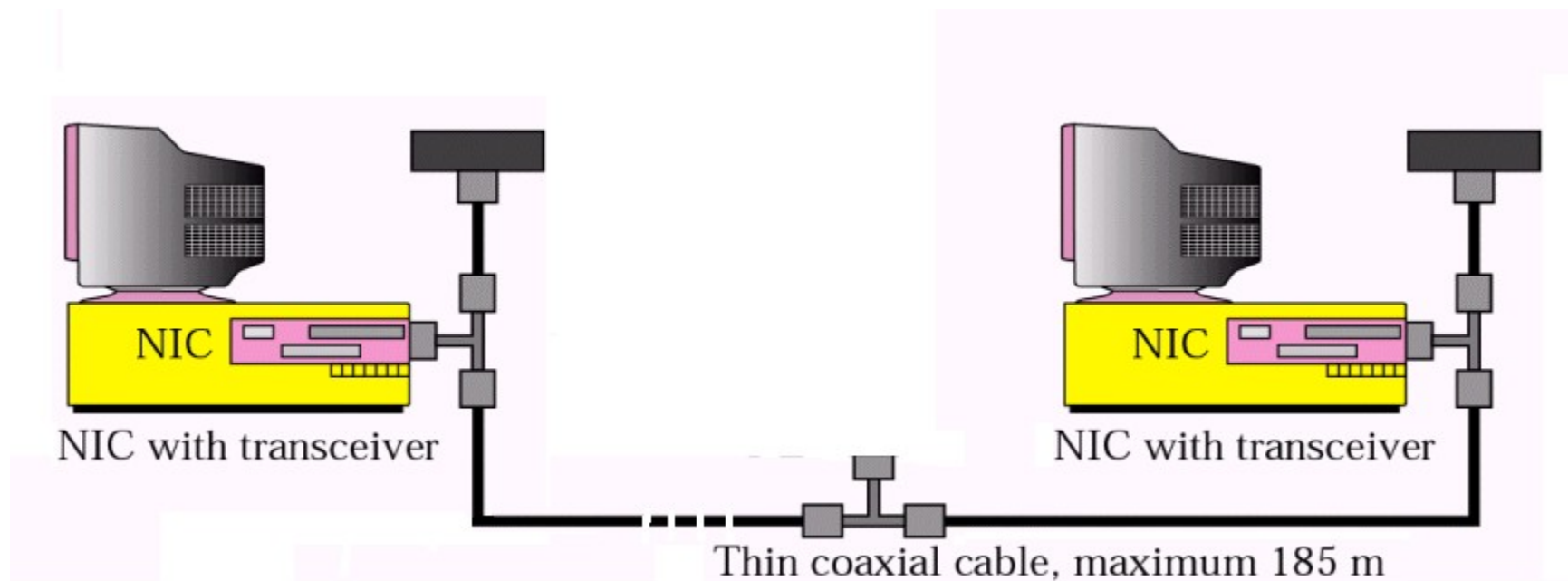
10BASE-2 (细缆)

- **BNC T型接头**
- 收发器在网卡上
- 用于办公室**LAN**
- 细同轴电缆，直径5mm，阻抗50欧
- 与粗缆一样，每段总线两端要加50欧终端匹配器



10BASE-2 使用网卡上的内部收发

器



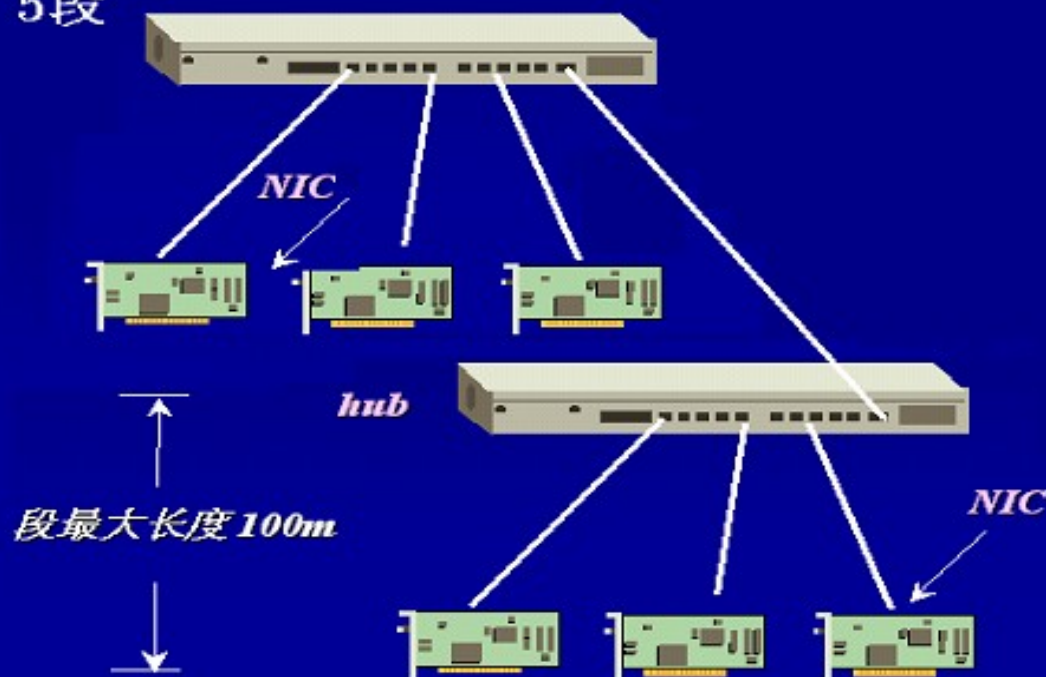


细缆以太网 10BASE2

- 用更便宜的直径为 5 mm 的细同轴电缆 (特性阻抗仍为 $50\ \Omega$)，可代替粗同轴电缆。
- 将媒体连接单元 MAU 和媒体相关接口 MDI 都安装在网卡上，取消了外部的 AUI 电缆。
- 细缆直接用标准 **BNC T 型接头** 连接到网卡上的 BNC 连接器的插口。

10BASE-T（双绞线）

- **Hub**（集线器）相当于多端口转发器
- 用于办公室**LAN**
- 拓扑结构为星形，逻辑上仍然是总线形。
- 转发器/中继器的作用：扩充信号传输距离。将信号放大并整形后再转发，消除信号传输的失真和衰减。是物理层设备。
- 两站点间最远经过4个Hub，5段
- \geq Cat. 3 UTP，RJ-45接头
- 收发器在网卡上

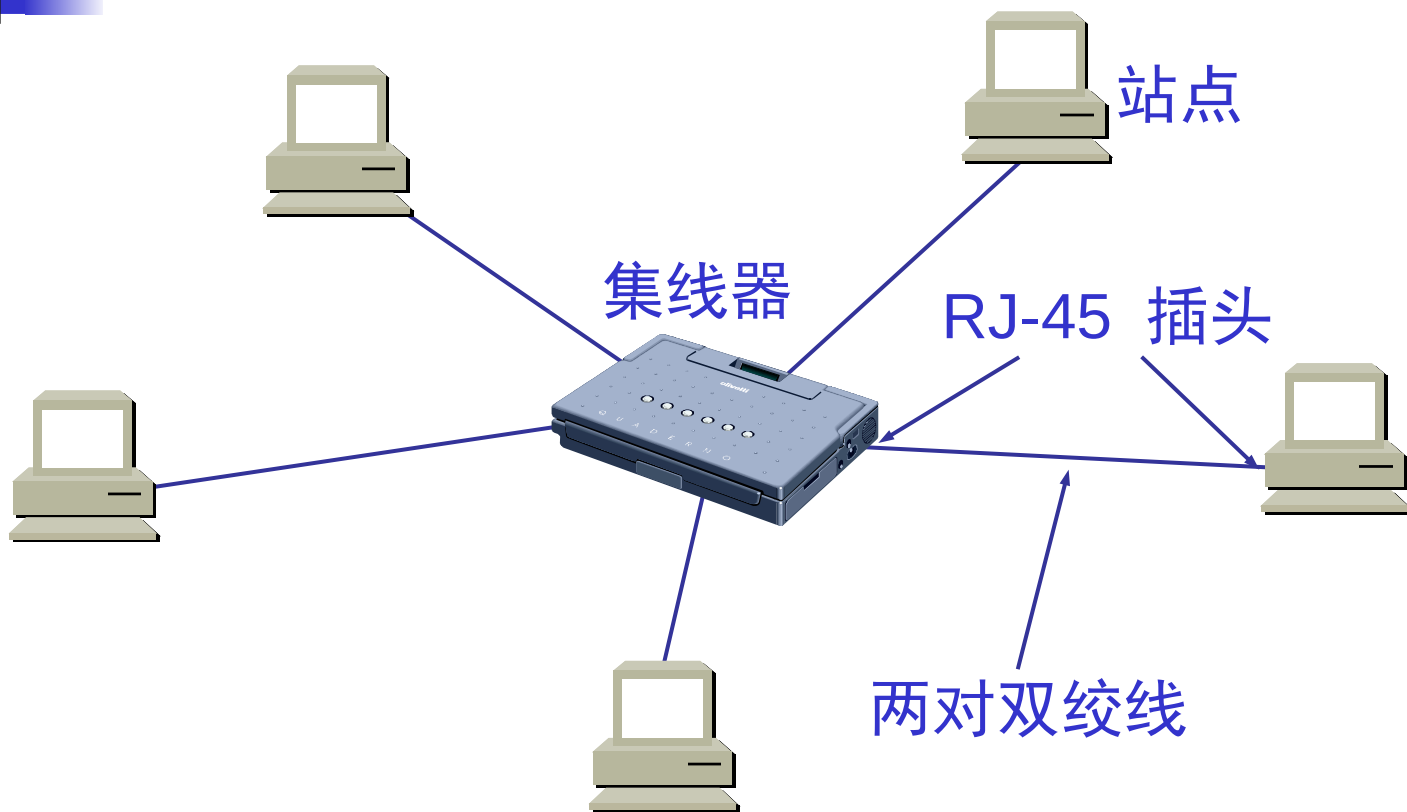




星形网 10BASE-T

- 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。
- 在星形网的中心则增加了一种可靠性非常高的设备，叫做**集线器** (hub)。
- 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。

使用集线器的双绞线以太网

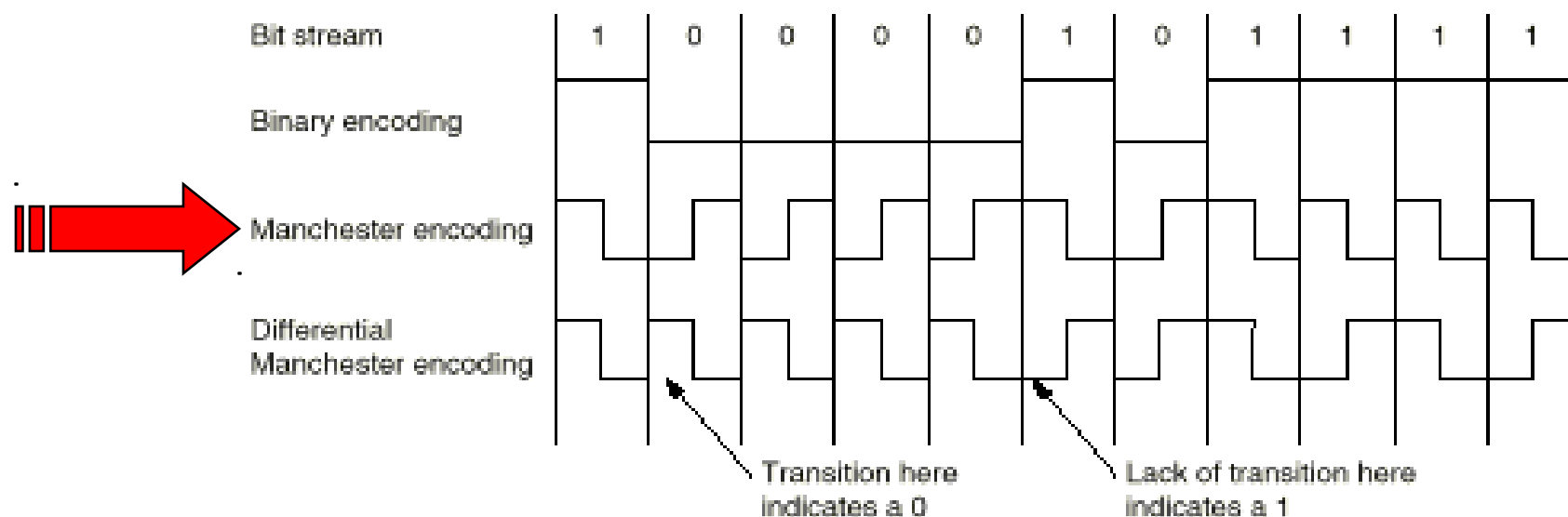




以太网在局域网中的统治地位

- 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。

10BASE-5/2/T/F Manchester 编码



□ 不仅 10BASE-5, 而且 10BASE-2, 10BASE-T, 10BASE-F 都使用 Manchester 编码

□ 好处: 每一位有跳变, 便于恢复时钟



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。



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**。
- ◆ 1995 年 9 月，IEEE 802 委员会正式批准了 Fast Ethernet 标准 IEEE 802.3u 。



100BASE-T 以太网的特点

- 可在全双工方式下工作而无冲突发生。因此，不使用 CSMA/CD 协议。
- MAC 帧类型、帧长、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

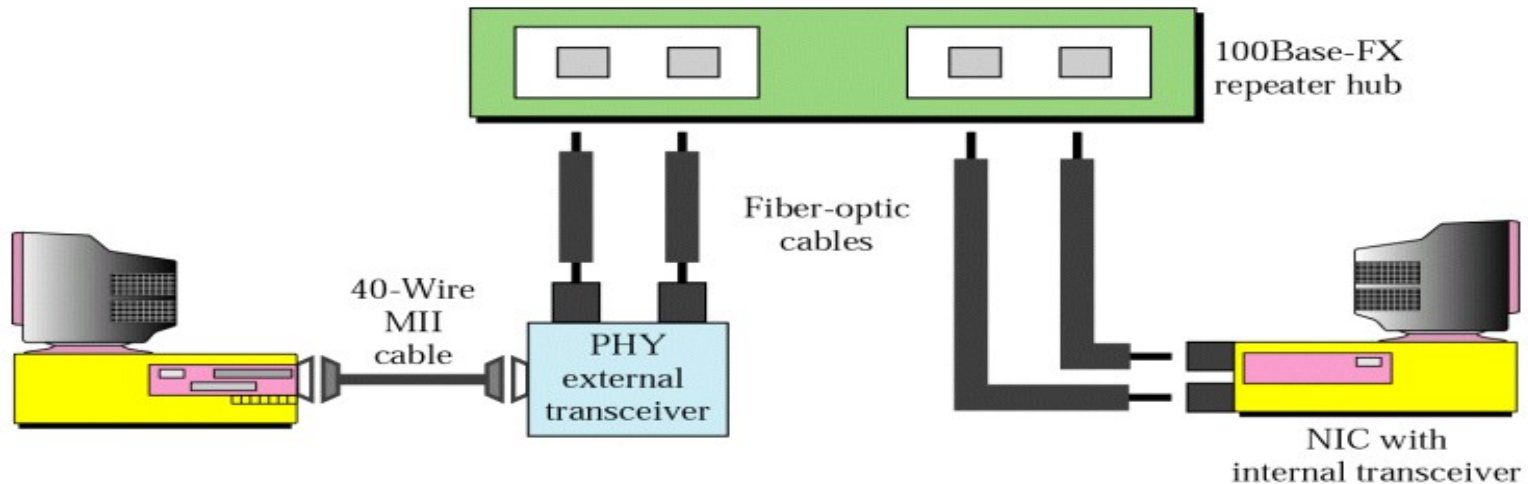
- 100BASE-TX
 - 使用 2 对 UTP 5 类线或屏蔽双绞线 STP。
- 100BASE-FX
 - 使用 2 对光纤。
- 100BASE-T4
 - 使用 4 对 UTP 3 类线或 5 类线。



100BASE-TX 实现

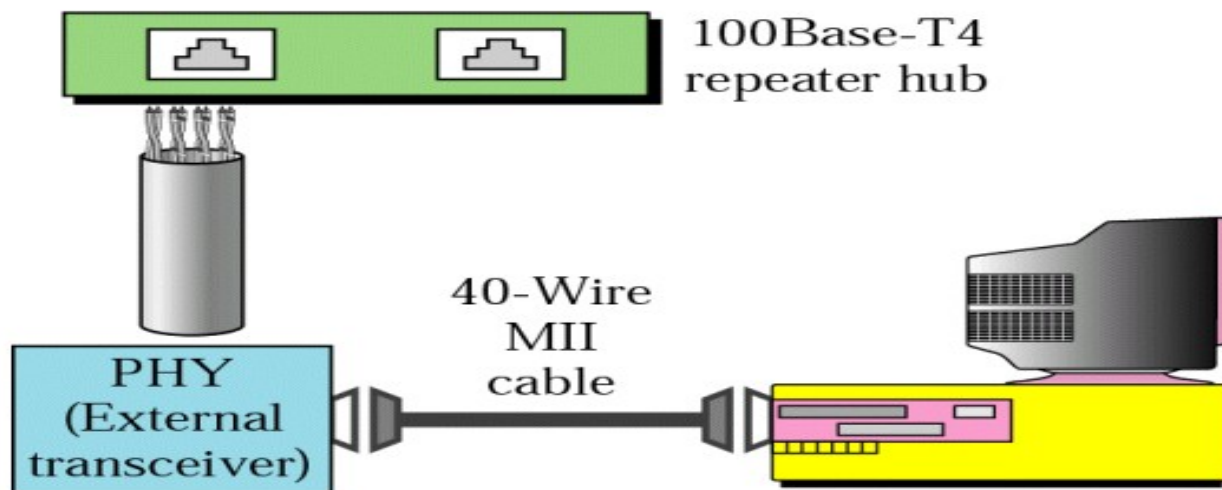
- 100BASE-TX 使用 2 对 5 类 UTP 电缆，物理层使用 4B / 5B 编码。
- 用线对 1/2 (发送)，3/6 (接收)，电缆制作同 10BASE-T。
- 连接器使用 8 针 RJ-45 连接器。
- 从站点到集线器或交换机间的距离应小于 100m。

100BASE-FX 实现



- 使用 2 芯 多模或单模光纤，物理层使用 4B / 5B 编码。
- 一根光纤用来发送， 一根用来接收。

100BASE-T4 实现



- 使用 4 对 3/4/5 类的 UTP 电缆，8 针 RJ-45 连接器。
- 站点使用三对线 1/2, 4/5, 7/8 来发送和接收数据，使用一对线 3/6 来检测冲突；
- HUB 使用三对线 3/6, 4/5, 7/8 来传送数据，使用一对线 1/2 来检测冲突。
- 不能全双工，站点与 HUB 间最大距离 100m 。



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：对应于 802.3z 标准，该标准基于光纤通道的物理层，其中包括 1000BASE-SX，1000BASE-LX、1000BASE-CX。这三种标准物理层均采用 8B/10B 编码方案。

- 1000BASE-SX SX 表示短波长 850nm 的多模光纤。
- 1000BASE-LX LX 表示长波长 1300nm 的单模光纤。
- 1000BASE-CX CX 表示屏蔽双绞线。

■ 1000BASE-T：对应于 802.3ab 标准，该标准使用 4 对 5 类非屏蔽双绞线，采用与 100BASE-TX 相同的自动协商机制，距离 100m。

- 使用 4 对 5 类线 UTP



吉比特以太网的关键技术

- 吉比特以太网工作在**半双工**方式时，使用 CSMA/CD 协议，所以必须进行碰撞检测。
- 吉比特以太网仍然保持一个网段的最大长度为 100 m（双绞线），最短帧长仍为 64 字节（512 位，这样可以保持兼容性），但采用了“**载波延伸**”的办法，同时将**争用时间增大为 512 字节**（即 4096 位时间）。

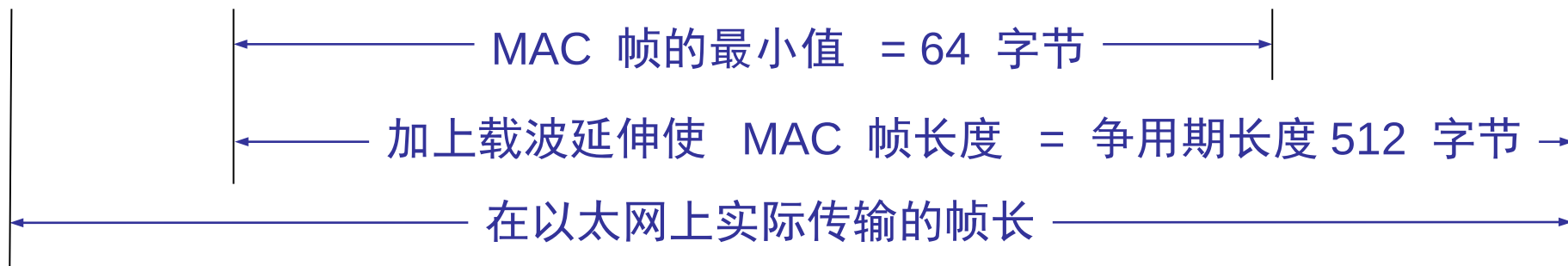


吉比特以太网的关键技术

- “**载波延伸**”：如果帧长小于 512 字节，那么物理层将发送一个特殊的“扩展载波”符号序列进行填充（由硬件实现），直至帧长达到 512 字节。
- 千兆比以太网增加了一种称为**分组突发**的功能。当有很多短帧要发送时，第一个短帧用载波扩展的方法进行填充，但随后的一些短帧则可一个接一个地发送，它们之间只需留有必要的帧间最小间隔即可。

在短 MAC 帧后面加上载波延伸

- 凡发送的 MAC 帧长不足 512 字节时，就用一些特殊字符填充在帧的后面，使 MAC 帧的发送长度增大到 512 字节，但这对有效载荷并无影响。
- 接收端在收到以太网的 MAC 帧后，要将所填充的特殊字符删除后才向高层交付。





载波延伸的作用

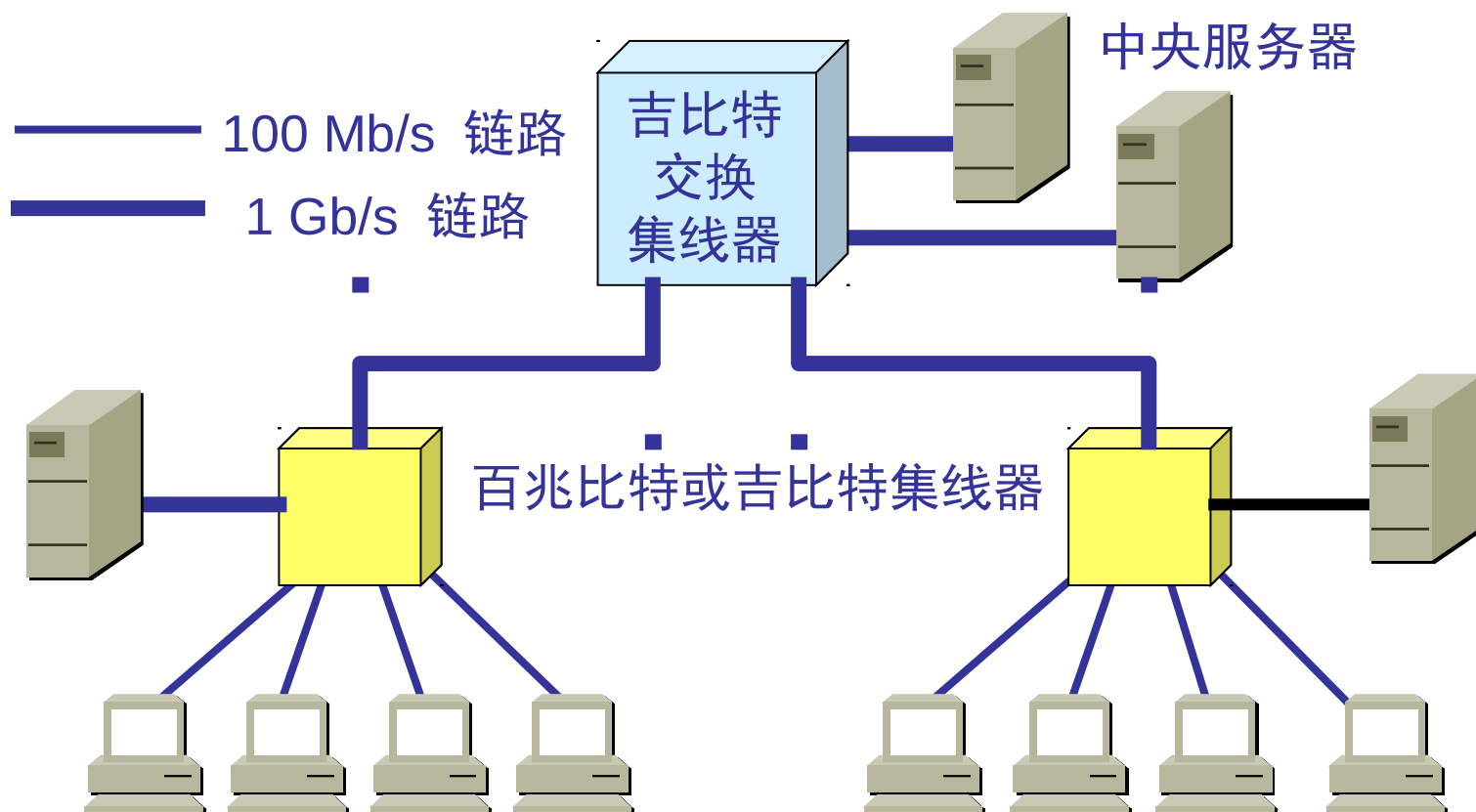
- 吉比特以太网工作在半双工方式时，就必须进行碰撞检测。由于数据率提高了，因此只有减小最大电缆长度或增大帧的最小长度，才能使参数保持为较小的数值。
- 吉比特以太网仍然保持一个网段的最大长度为 100 m，但采用了“载波延伸”的办法，使最短帧长仍为 64 字节（这样可以保持兼容性），同时将争用时间增大为 512 字节。



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





3.6.3 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。



10Gb/s Ethernet 的物理层协议

10Gb/s Ethernet 有以下两种物理层协议标准：

- ◆ 局域网物理层标准

一个 10Gb/s Ethernet 交换机可以支持 10 个 Gigabit Ethernet 网端口；

- ◆ 可选的广域网物理层标准

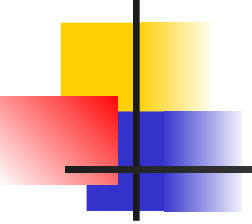
广域网物理层符合光纤通道技术速率体系的 SONET/SDH 的 OC-192/STM-64 的标准（其数据率为 9.95328 Gb/s）。

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。



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

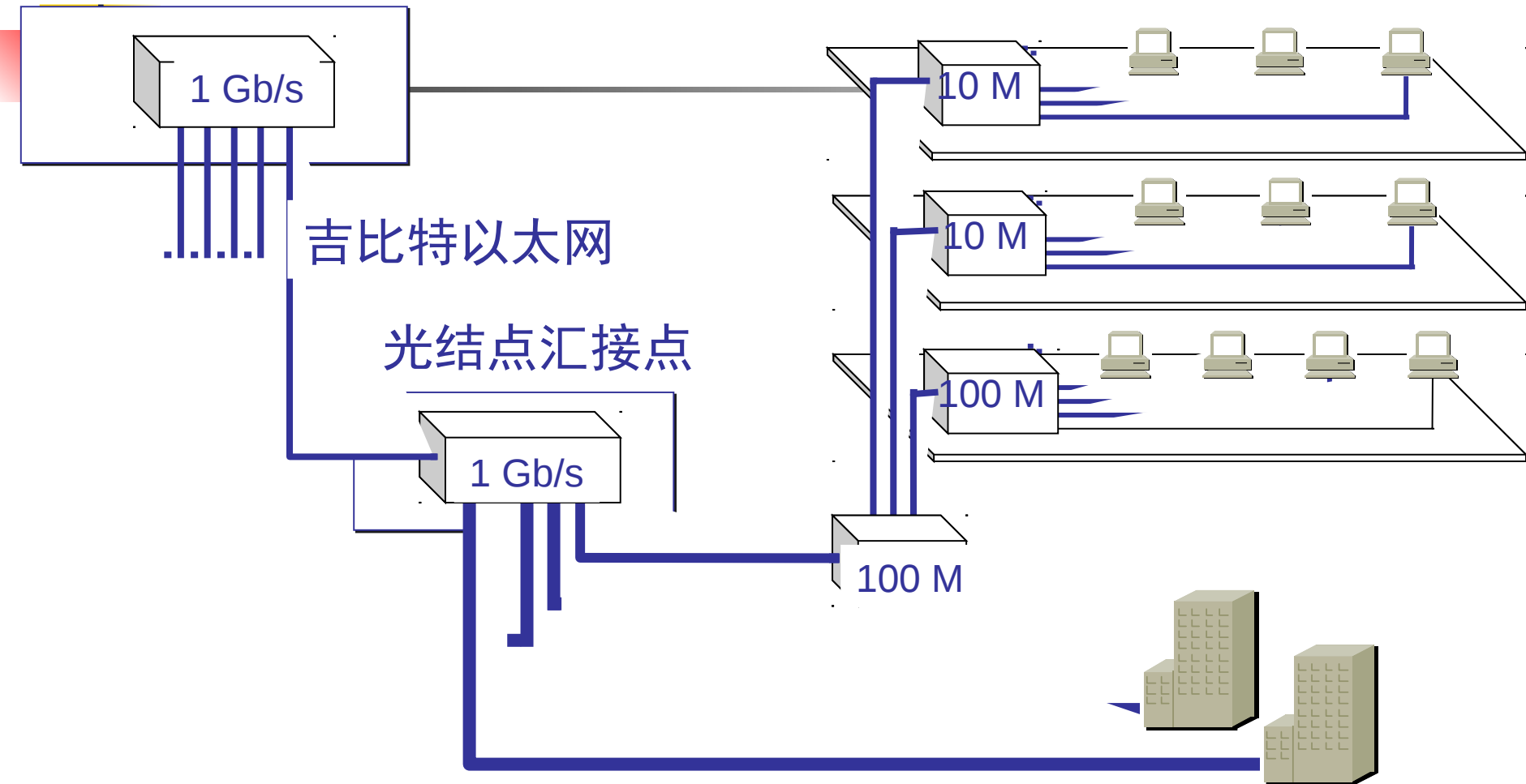
- 以太网从 10 Mb/s 到 10 Gb/s 的演进证明了以太网是：
 - 可扩展的（从 10 Mb/s 到 10 Gb/s ）。
 - 灵活的（多种传输媒体、全 / 半双工、共享 / 交换）。
 - 易于安装。
 - 稳健性好。

3.6.4 使用高速以太网 进行宽带接入

- 以太网已成功地把速率提高到 $1 \sim 10 \text{ Gb/s}$, 所覆盖的地理范围也扩展到了城域网和广域网, 因此现在人们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 FTTTB

高速汇接点 GigaPoP



3.5 扩展的局域网

3.5.1 在物理层扩展局域网 ---- 集线器

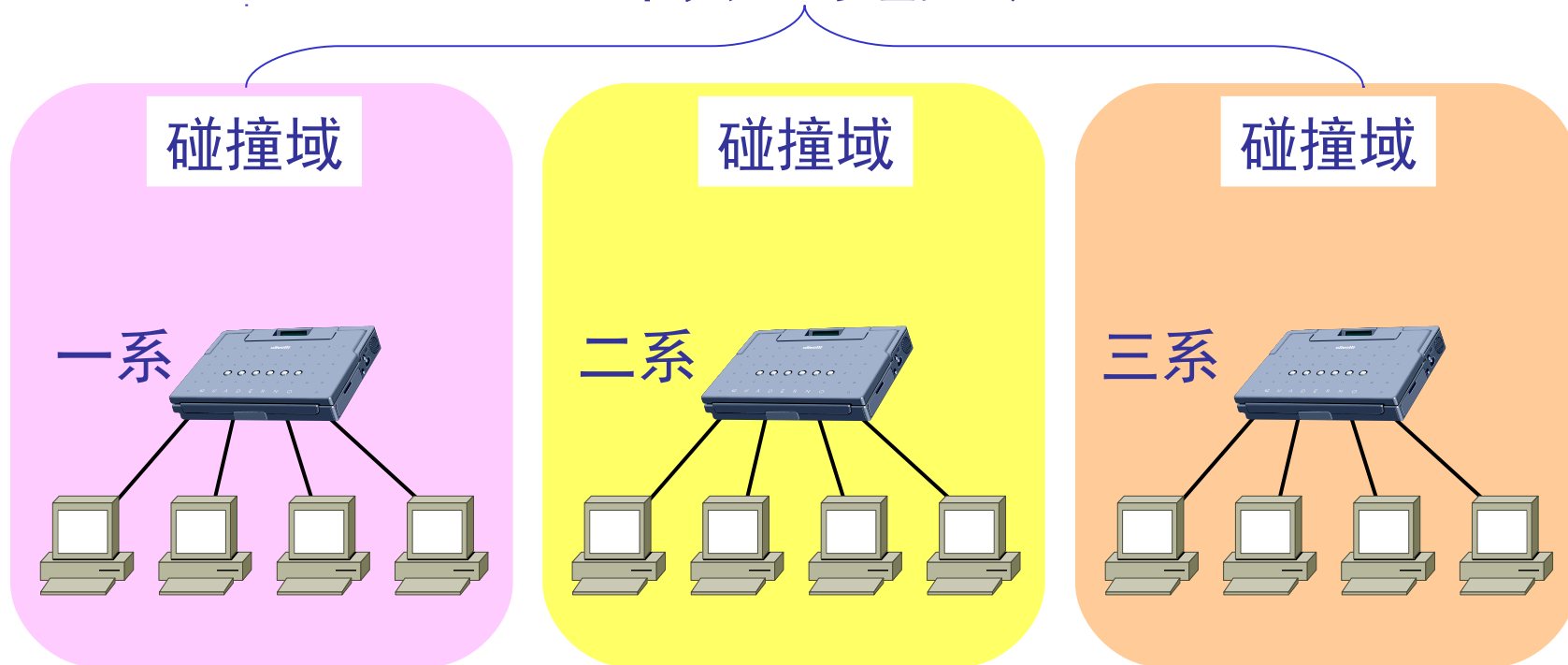
- 主机使用光纤和一对光纤调制解调器连接到集线器。



用多个集线器可连成更大的局域网

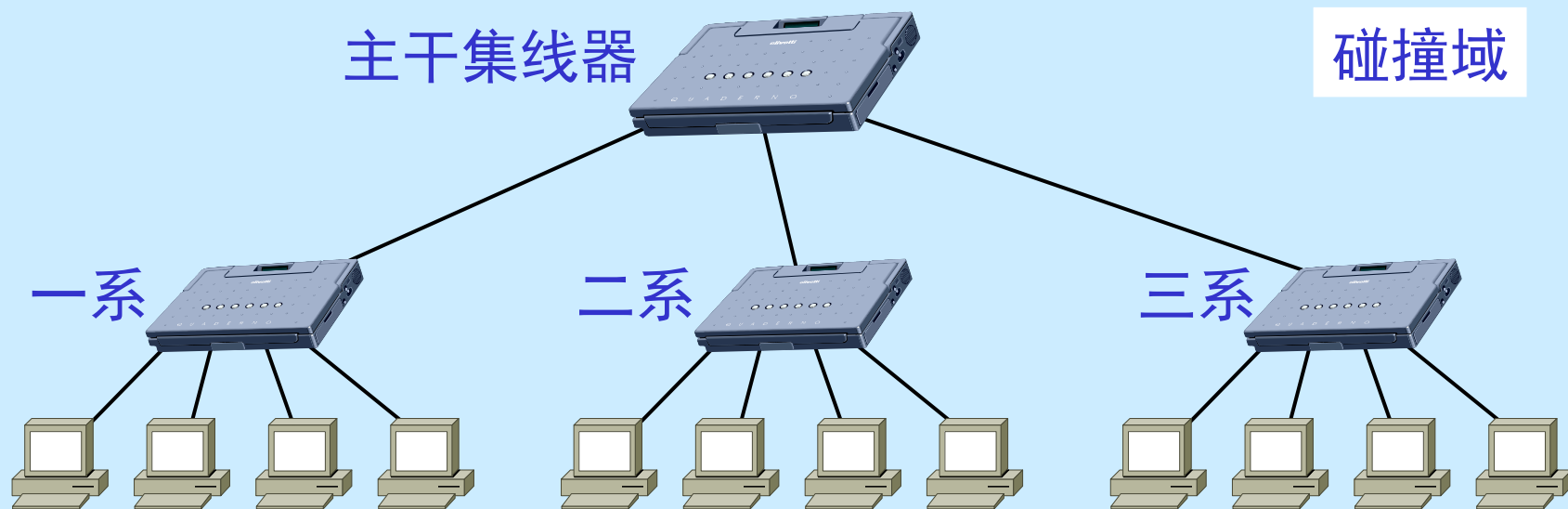
- 某大学有三个系，各自有一个局域网

三个独立的碰撞域



用集线器组成更大的局域网 都在一个碰撞域中

一个更大的碰撞域

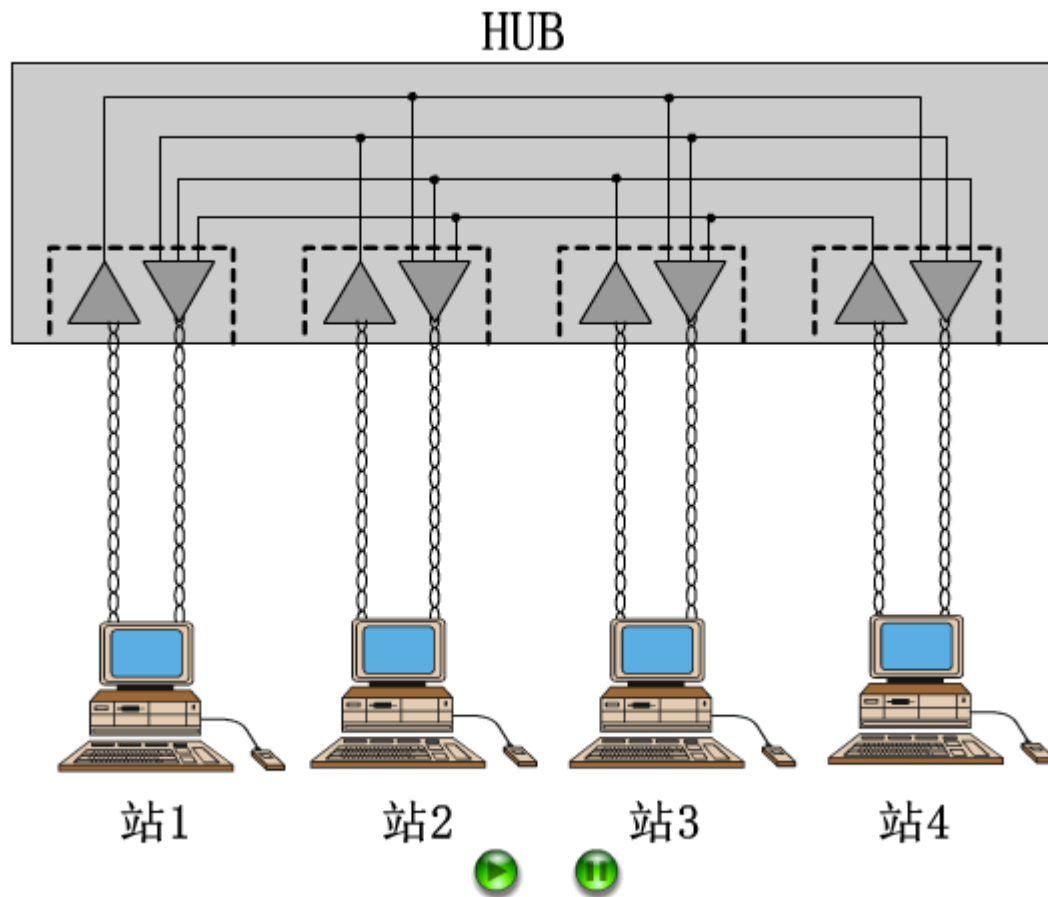


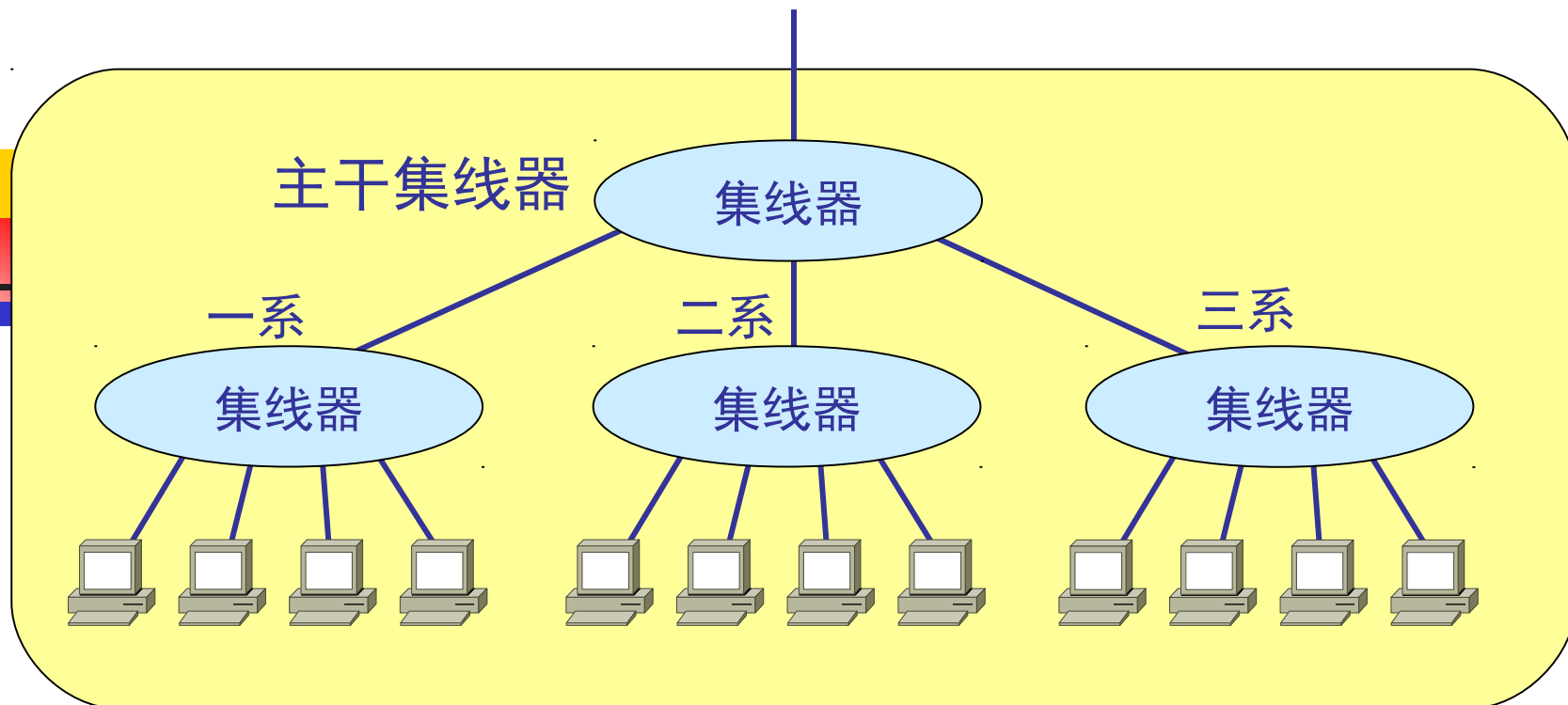
网络集线器 HUB

- 多端口的中继器，属于物理层设备
- 功能：在网段之间拷贝比特流，信号整形和放大，当比特进入集线器接口时，HUB 简单的将该比特从所有其他的接口上传送出去，HUB 是广播型的设备
- 可改变网络物理拓扑形式：总线连接→星形连接
- 端口数：常见的有 8，12，16，24 口



HUB likes a shorten bus





上图的所有局域网网段都属于同一个冲突域，也就是说，无论什么时候，只要该局域网中有两个以上的节点同时传送信息，就会产生冲突，并且所有正在传送的节点将会进入指数后退状态。



用集线器扩展局域网

■ 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

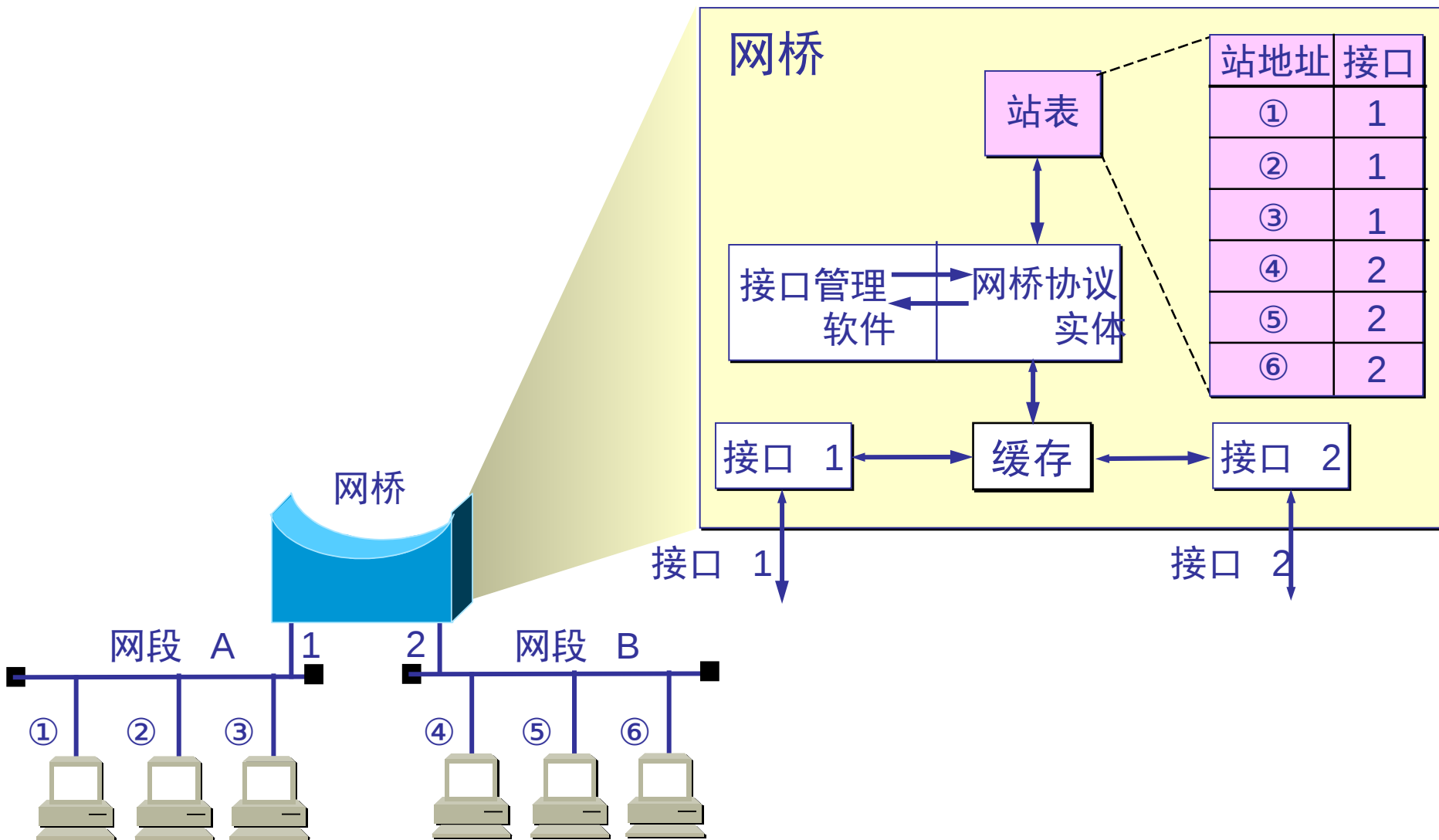
- 碰撞域增大了，但总的吞吐量并未提高。
- 如果不同的碰撞域使用不同的数据率，那么就不能用集线器将它们互连起来。



3.5.2 在数据链路层扩展局域网

- 在数据链路层扩展局域网是使用网桥。
- 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



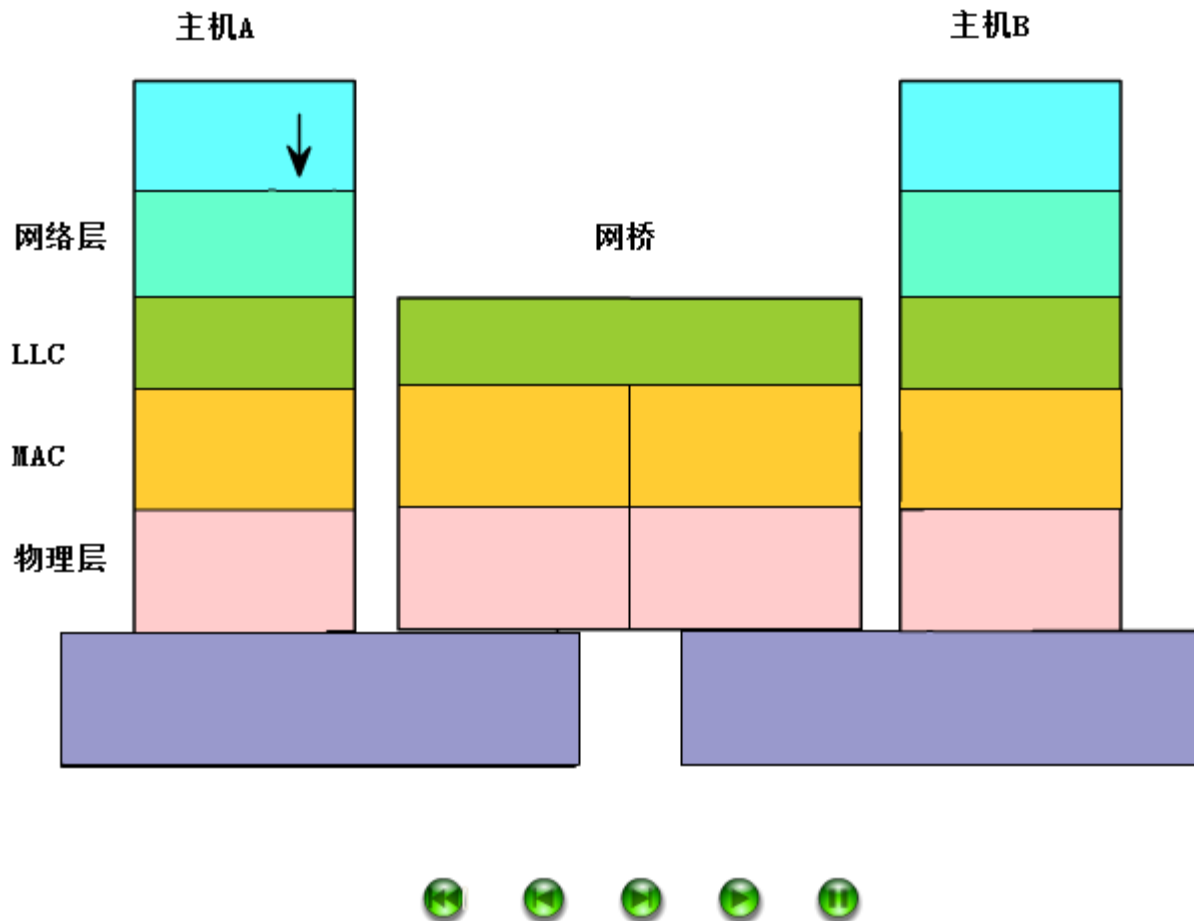


使用网桥带来的好处

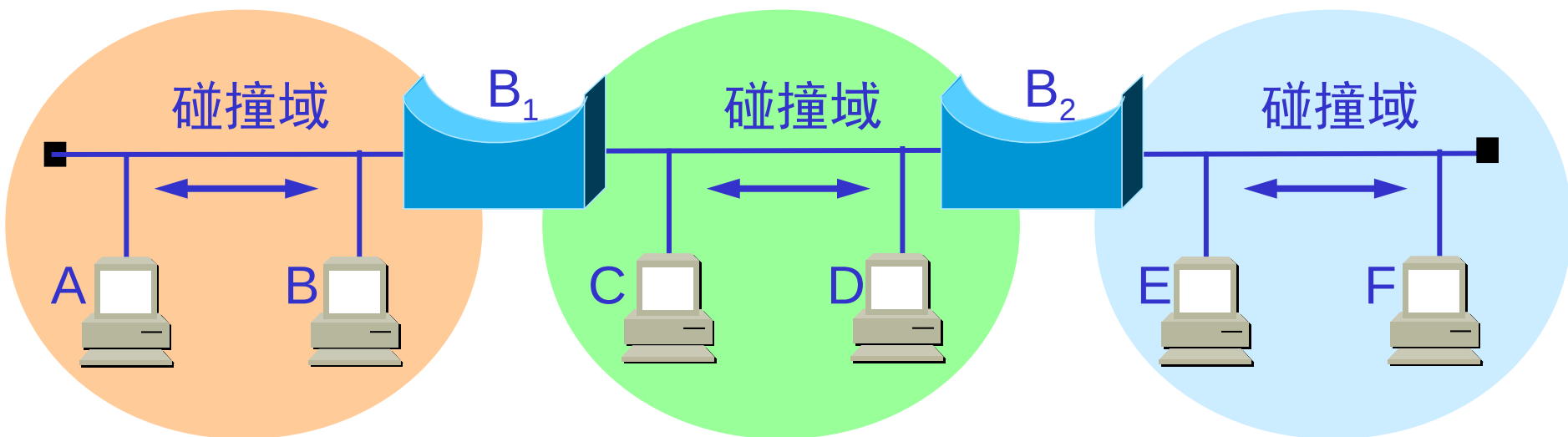
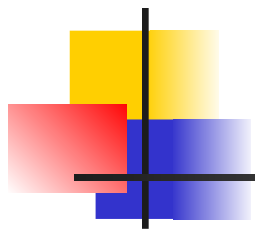
- 过滤通信量。
- 扩大了物理范围。
- 提高了可靠性。
- 可互连不同物理层、不同 MAC 子层和不同速率（如 10 Mb/s 和 100 Mb/s 以太网）的局域网。

从 802. x 到 802. y 局域网桥的操作

作



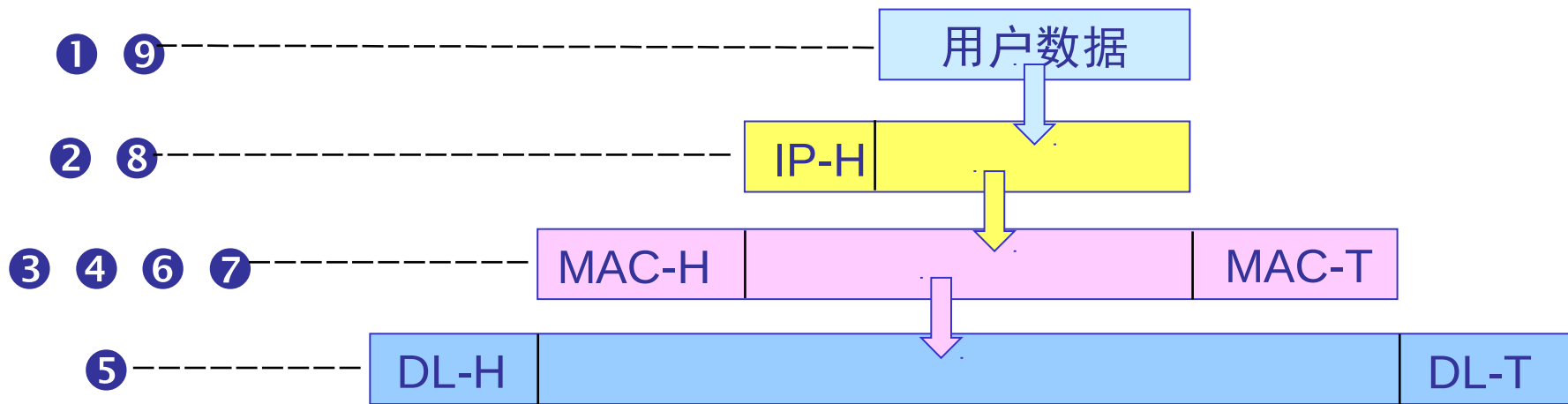
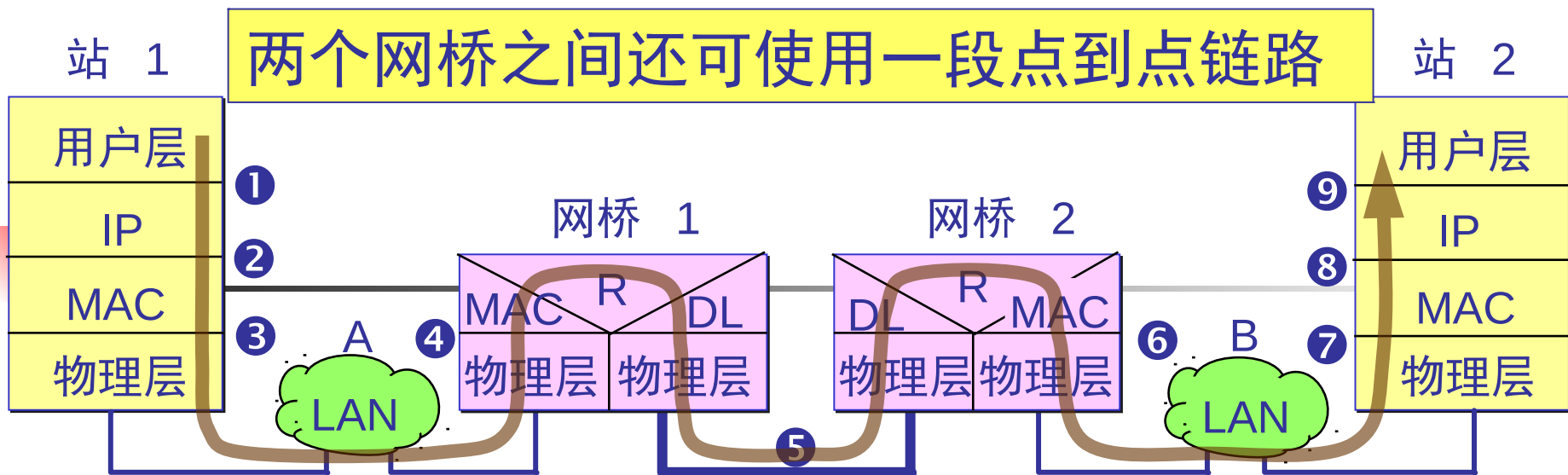
网桥使各网段成为 隔离开的碰撞域





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。
- 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，否则有时还会因传播过多的广播信息而产生网络拥塞。这就是所谓的**广播风暴**。



网桥不改变它转发的帧的源地址



网桥和集线器的不同

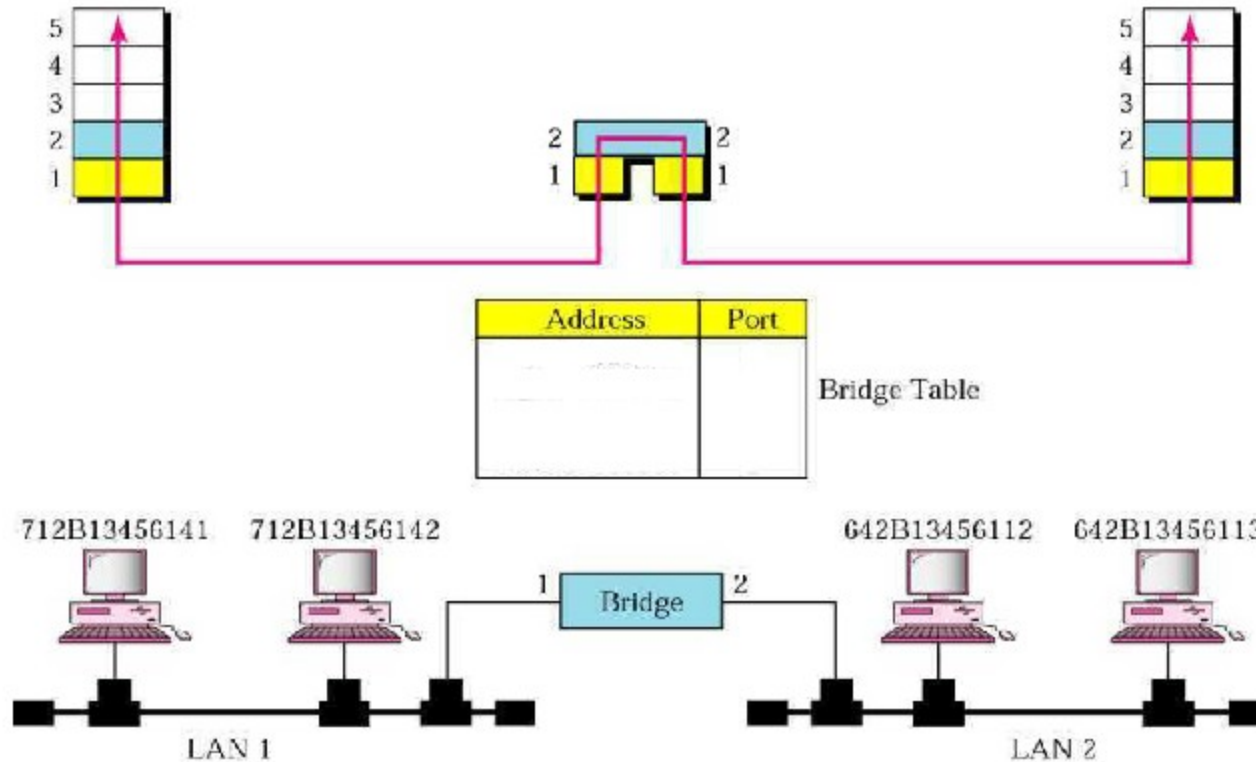
- 集线器在转发帧时，不对传输媒体进行检测。
- 网桥在转发帧之前必须执行 CSMA/CD 算法。
 - 若在发送过程中出现碰撞，就必须停止发送和进行退避。
 - 在这一点上网桥的接口很像一个网卡。但网桥却没有网卡。
- 由于网桥没有网卡，因此网桥并不改变它转发的帧的源地址。



2. 透明网桥

- 网桥目前有两类：透明网桥和源路径网桥
- 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 。

透明网桥工作举例

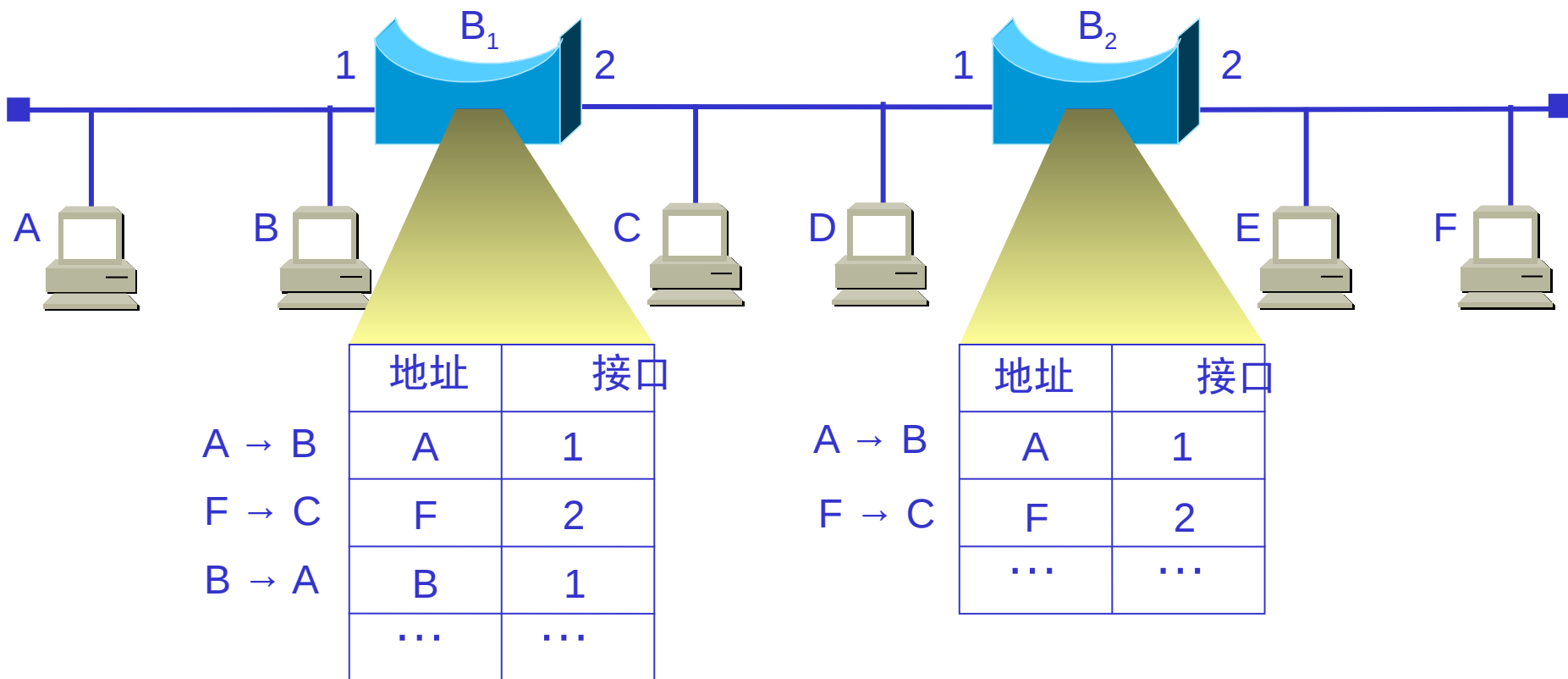




网桥在转发表中 登记以下三个信息

- 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。
- 这是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（这就改变了站点的地址）。另外，以太网上的工作站并非总是接通电源的。
- 把每个帧到达网桥的时间登记下来，就可以在转发表中只保留网络拓扑的最新状态信息。这样就使得网桥中的转发表能反映当前网络的最新拓扑状态。

转发表的建立过程举例





网桥的自学习和转发帧的步骤归纳

- 网桥收到一帧后先进行**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。如没有，就在转发表中增加一个项目（源地址、进入的接口和时间）。如有，则把原有的项目进行更新。
- **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（但进入网桥的接口除外）按进行转发。
 - 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（因为这时不需要经过网桥进行转发）。



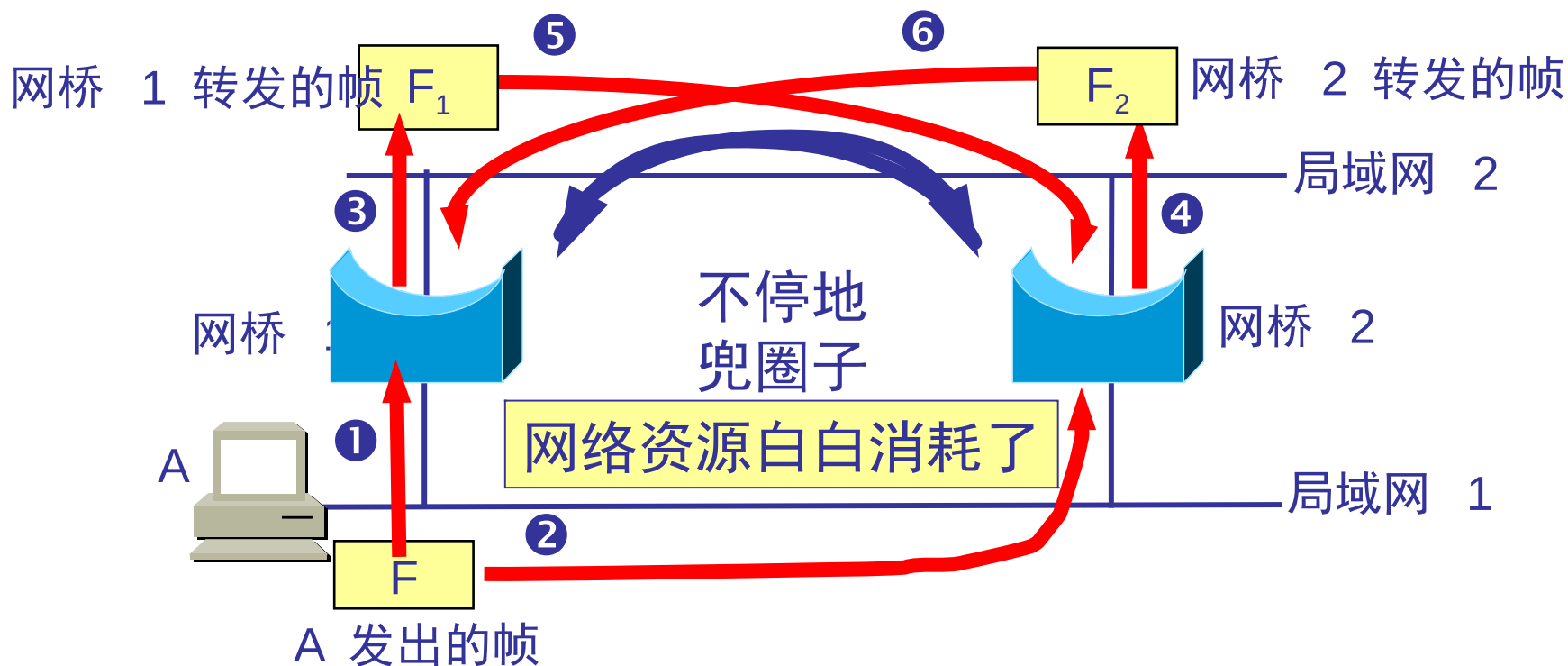
处理动态拓扑（时间项）

为了处理动态拓扑问题：

- 每当增加路径表项时，需在该项中注明帧的到达时间。
- 若目的地已在表中的帧到达时，将以当前时间**更新该项**。从表中每项的时间即可知道该节点的最后帧到来的时间。
- 网桥中有一个**进程定期地扫描网桥表**，清除时间早于当前时间若干分钟的全部表项。于是，如果从 LAN 上取下一台计算机，并在别处重新连到 LAN 上的话，那么在几分钟内，它即可重新开始正常工作而无须人工干预。这个算法同时也意味着，如果机器在几分钟内无动作，那么发给它的帧将不得不散发，一直到它自己发送出一帧为止。

透明网桥使用了生成树算法

- 这是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。



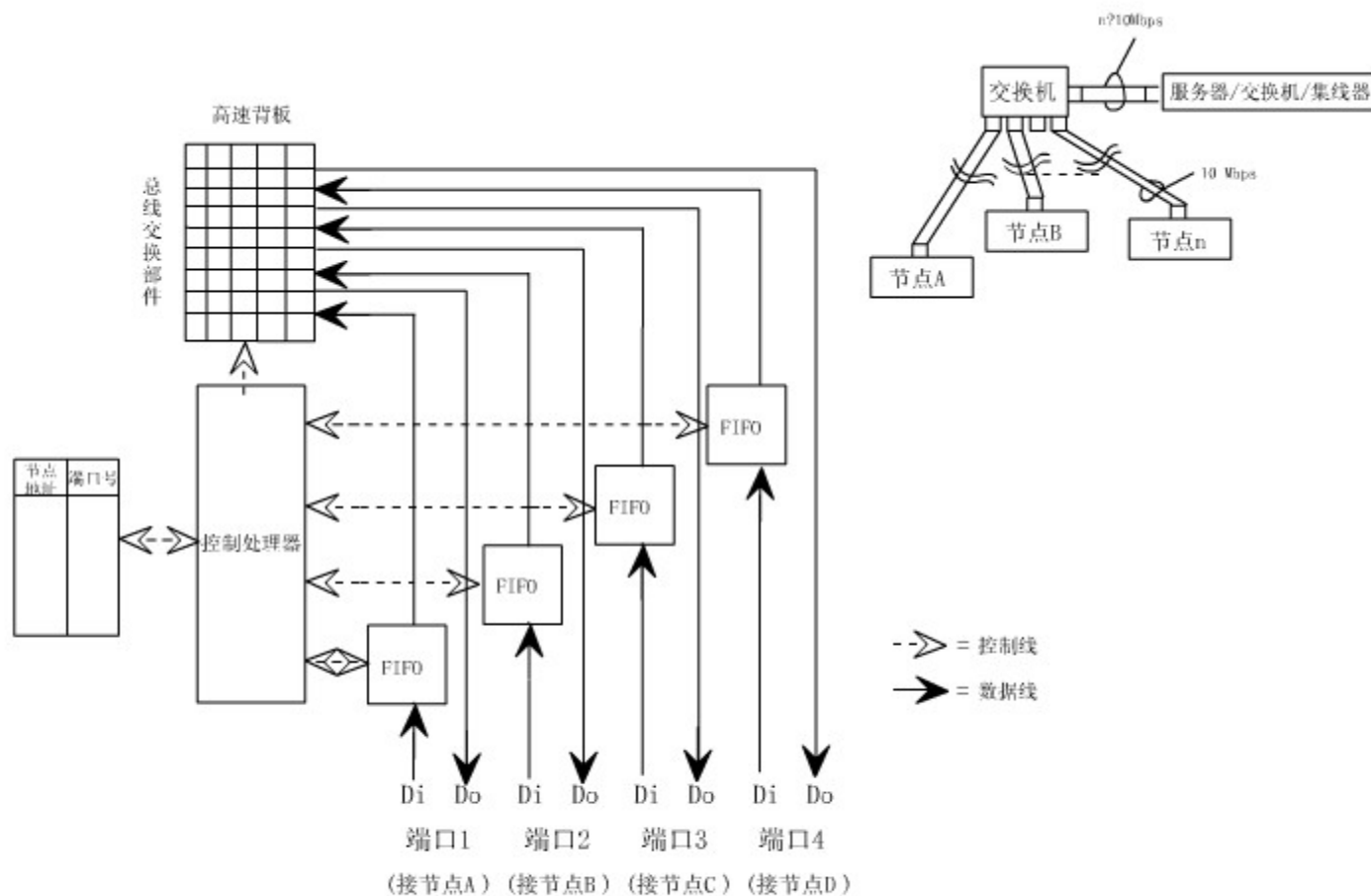
3. 源路由网桥

- 透明网桥容易安装，但网络资源的利用不充分。
- **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中。
- 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。源站在得知这些路由后，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，都必须携带源站所确定的这一路由信息。

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**，
- 交换机工作在数据链路层。

交换机是一种快速的多端口网桥





以太网交换机的特点

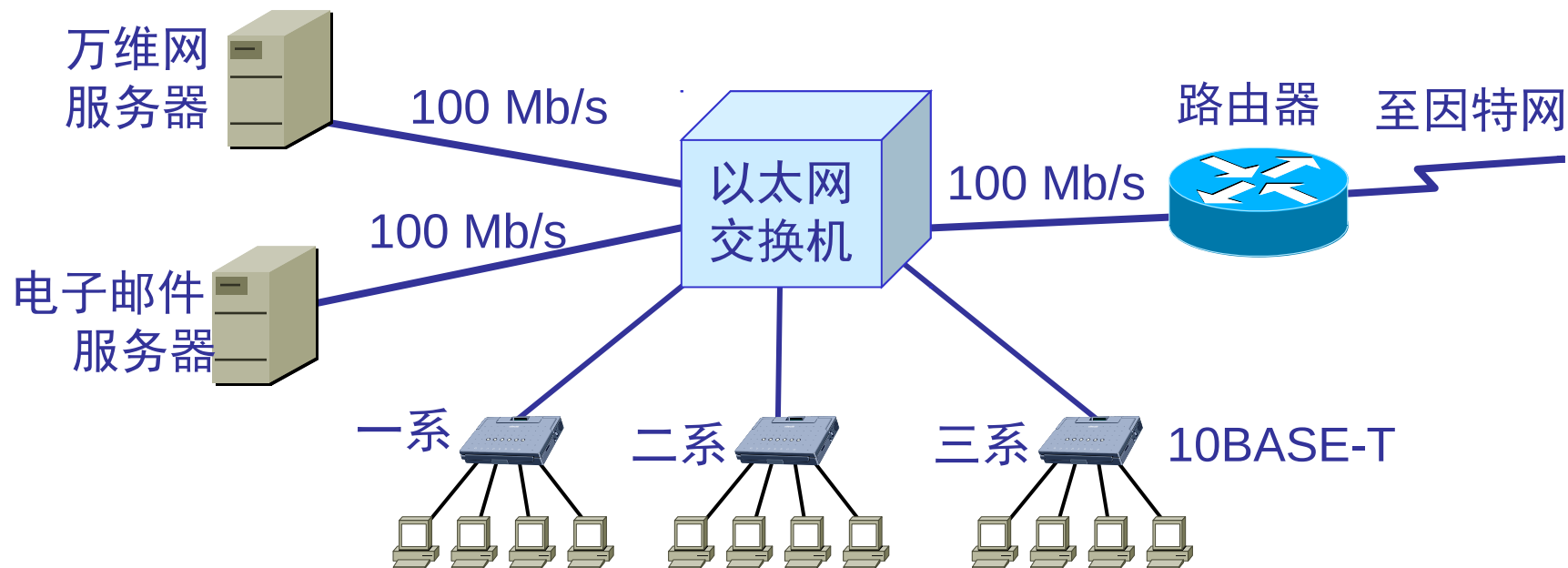
- 以太网交换机的每个接口都直接与主机相连，并且一般都工作在全双工方式。
- 交换机能同时连通许多对的接口，使每一对相互通信的主机都能像独占通信媒体那样，进行无碰撞地传输数据。
- 以太网交换机由于使用了专用的交换结构芯片，其交换速率就较高。
- 支持虚拟局域网服务。



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。

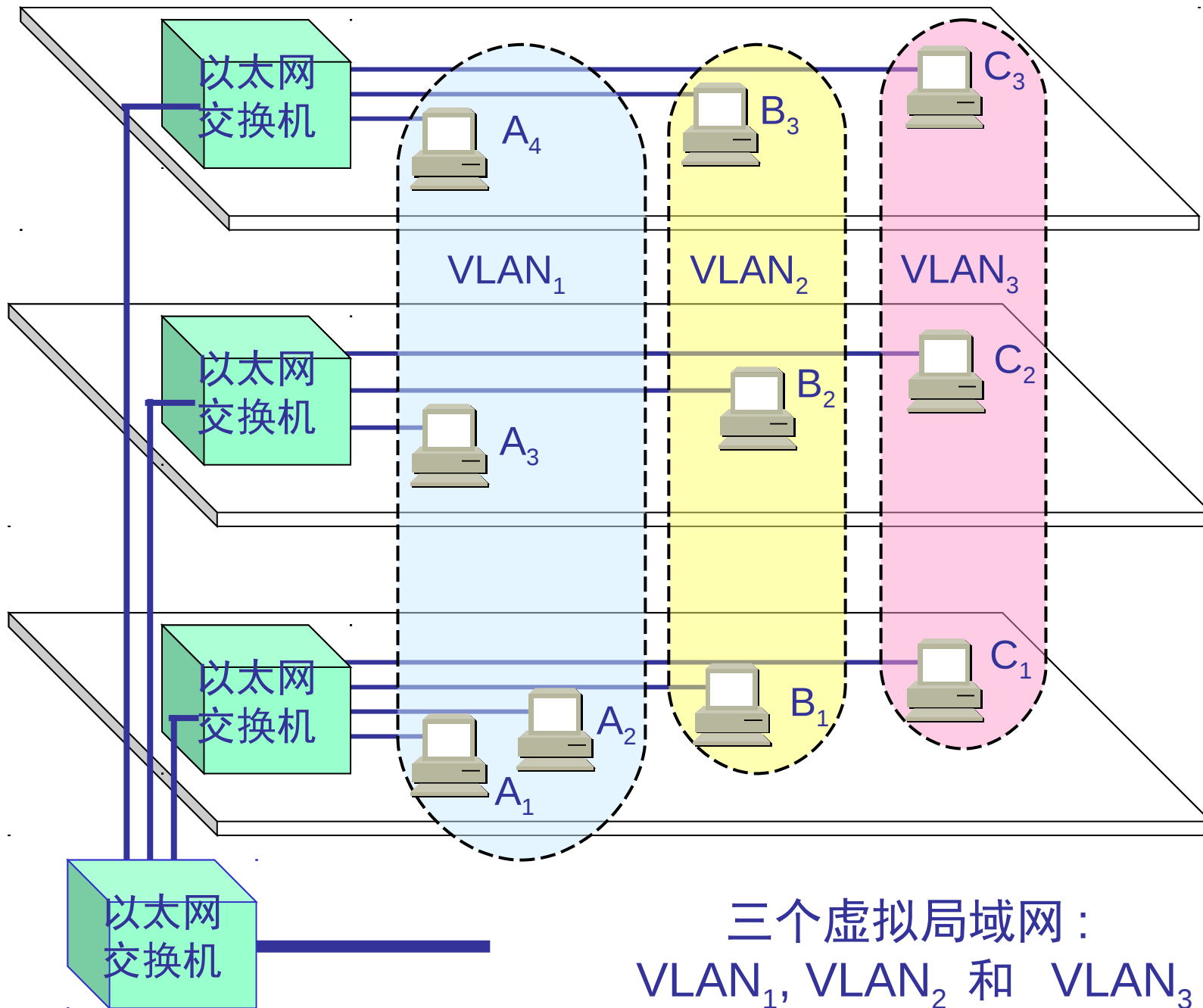
用以太网交换机扩展局域网

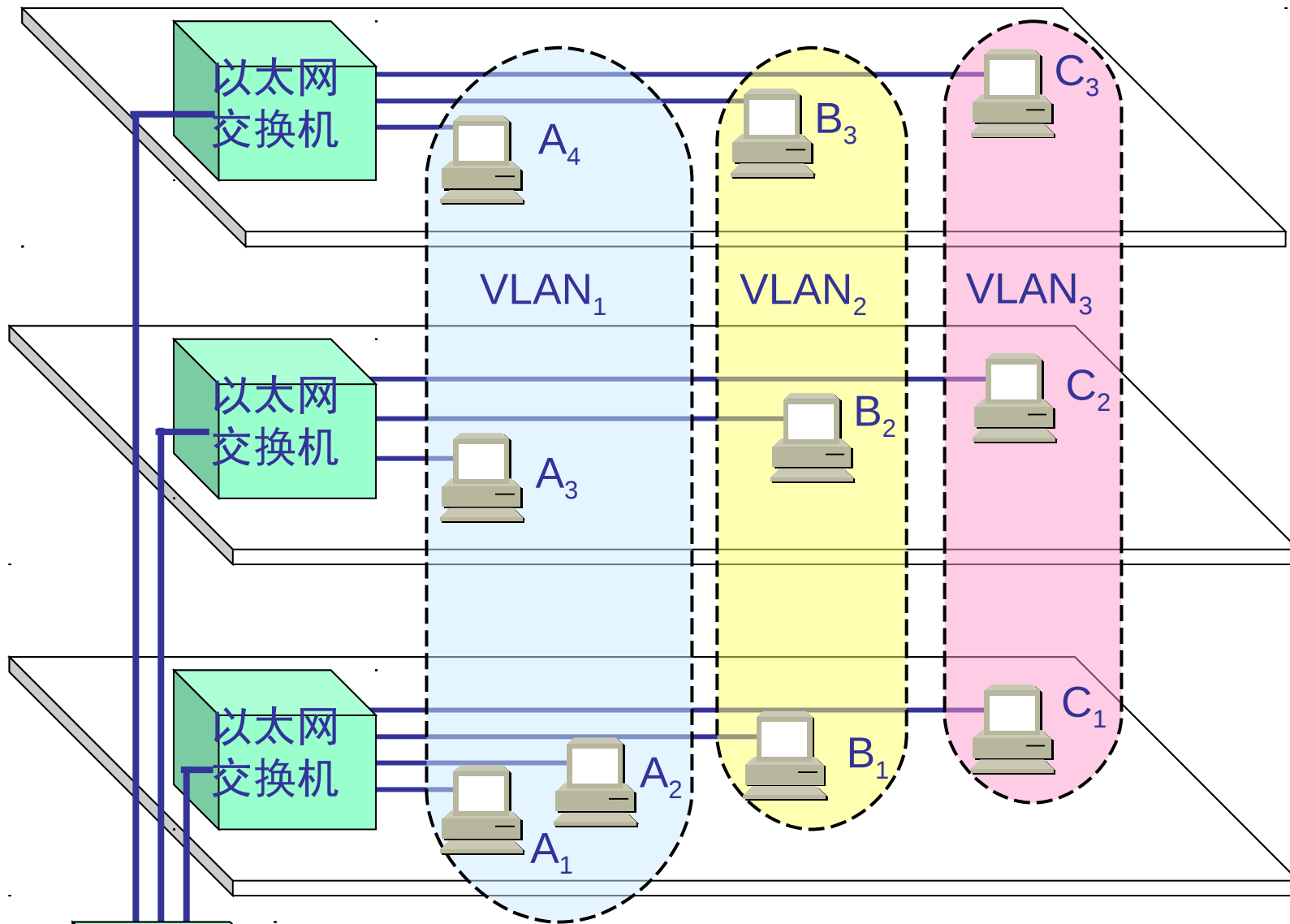




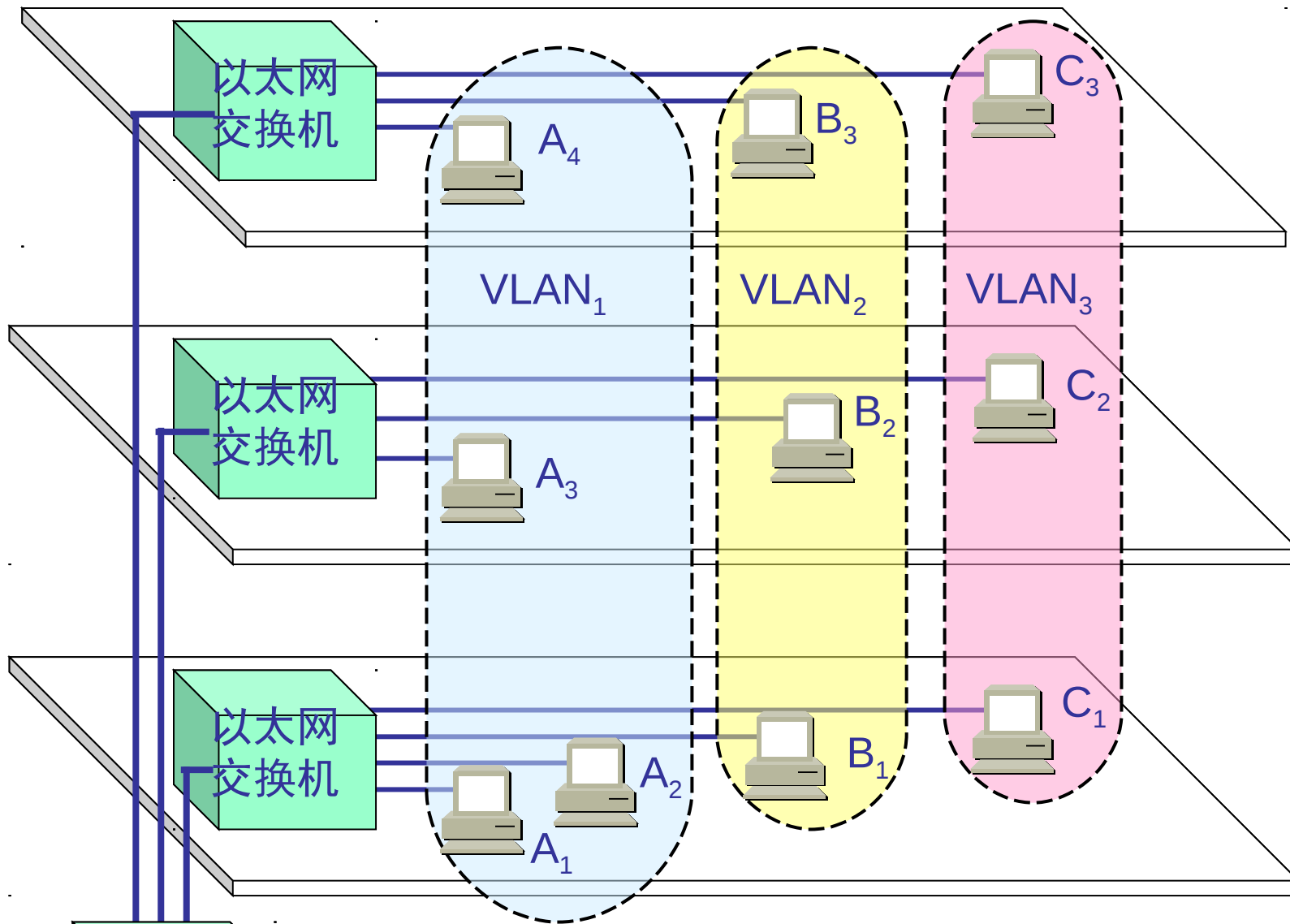
利用以太网交换机可以很方便地实现虚拟局域网

- **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的的一种服务，而并不是一种新型局域网。

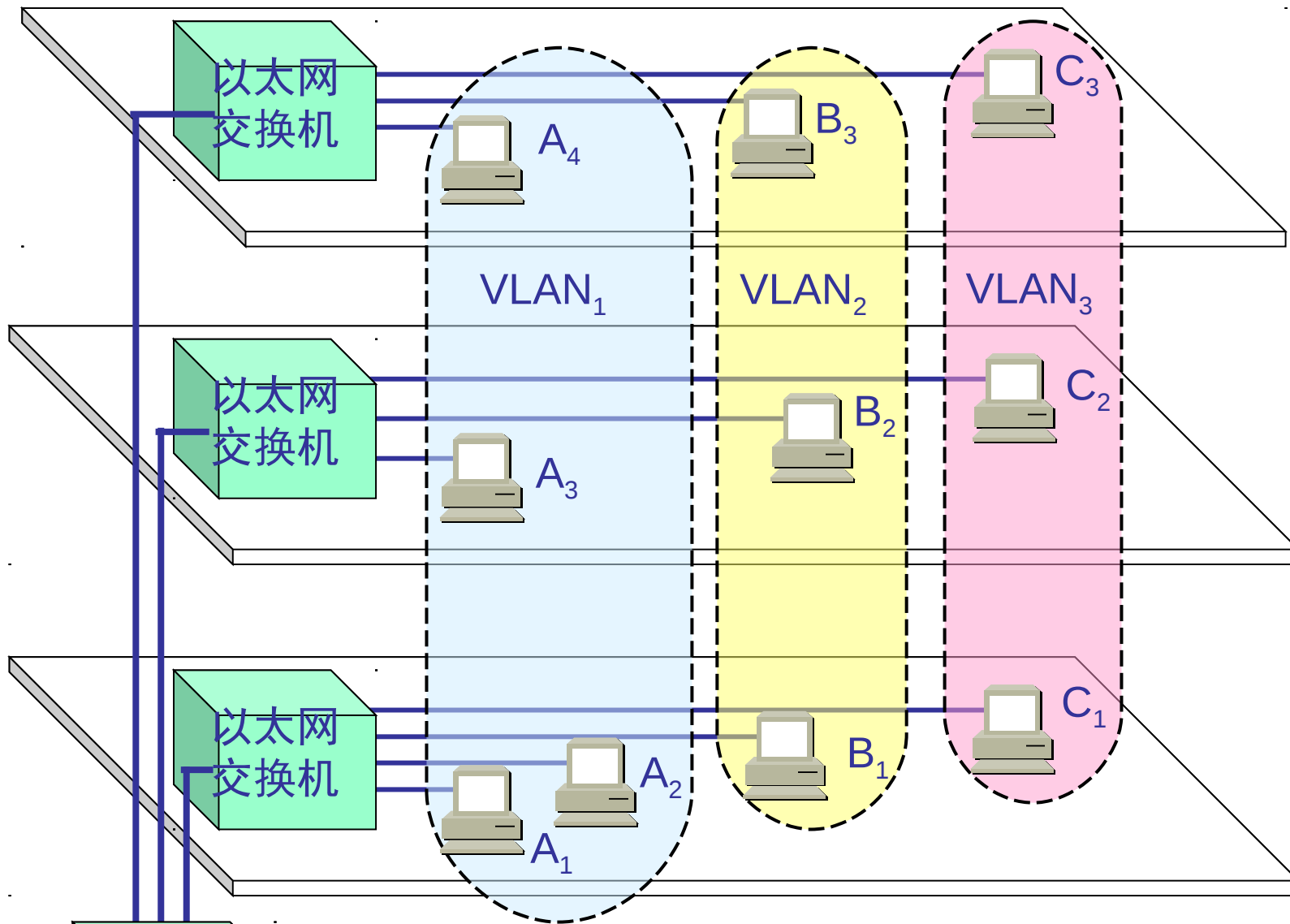




当 B₁ 向 VLAN₂ 工作组内成员发送数据时，
工作站 B₂ 和 B₃ 将会收到广播的信息。



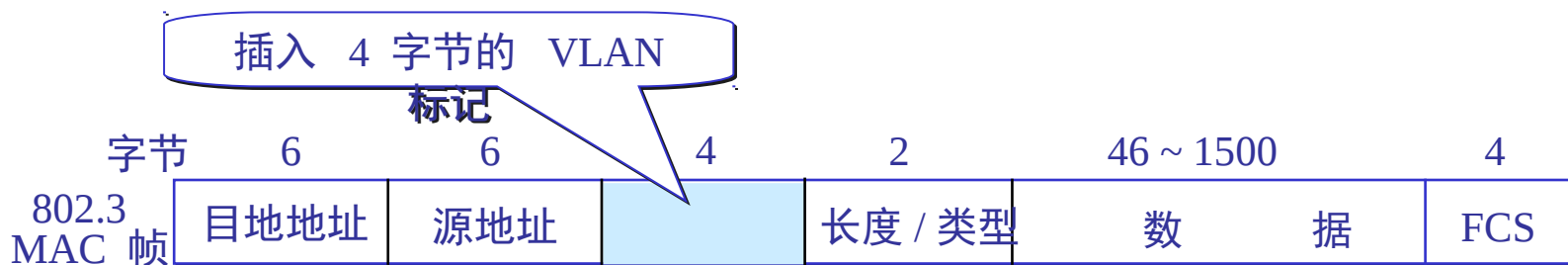
B₁ 发送数据时，工作站 A₁, A₂ 和 C₁ 都不会收到 B₁ 发出的广播信息。



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。



2 字节

用户优先级 CFI

2 字节

VID : VLAN 标识符



交换机分类

从传输介质和传输速度上看，局域网交换机可以分为以太网交换机、快速以太网交换机、千兆以太网交换机、10 千兆以太网交换机、FDDI 交换机、ATM 交换机等多种。

(1) 以太网交换机

指带宽在 100Mbps 以下的以太网所用交换机。它包括三种网络接口：RJ — 45、BNC 和 AUI，所用的传输介质分别为：双绞线、细同轴电缆和粗同轴电缆。

。



(2) 快速以太网交换机

指一种在普通双绞线或光纤上实现 100Mbps 传输带宽的网络技术，目前主要指 10 / 100Mbps 自适应型的网络。采用的介质为双绞线或光纤。



(3) 千兆以太网交换机

它的带宽可以达到 1000Mbps，一般用于骨干网段，所采用的传输介质有光纤、双绞线两种，对应的接口为“SC SC”和“RJ - 45”接口两种。（用于传输网络信号的光收发器采用 SC 光接口）



(4)10 千兆以太网交换机

它的带宽可以达到 10 千兆，一般用于骨干网段，采用的传输介质为光纤，其接口方式为光纤接口。



(5)ATM 交换机

ATM 交换机是用于 ATM 网络的交换机产品。



(6)FDDI 交换机

FDDI 交换机是用于老式中、小型企业的快速数据交换网络中的，它的接口形式都为光纤接口。



(7) 三层交换机

它对应于 OSI 模型的第三层，即工作在网络层，具有**路由功能**，可将 IP 地址信息提供给网络路径选择，并实现不同网段间数据的线速交换。





小 结

- ◆ 物理传输线路上传输数据信号是有差错的；
- ◆ 数据链路层是将一条原始的、有差错的物理线路变为对网络层无差错的数据链路；
- ◆ 数据链路层完成链路管理、帧传输、差错控制等功能；
- ◆ 数据链路层协议基本可以分为两类：面向字符型与面向比特型；
- ◆ PPP 协议不仅用于拨号电话线，并且可以用于路由器—路由器之间的专用线路上。



小 结

- ◆ 决定局域网特性的三要素是：网络拓扑、传输介质与介质访问控制方法；
- ◆ 目前应用最为广泛的局域网是 10Mb/s 速率的 Ethernet 网，速率为 100Mb/s 的 Fast Ethernet 与 1Gb/s 的 Gigabit Ethernet 已成为高速局域网方案中的首选技术，更高传输速率的 10Gb/s 的 Ethernet 正在研究中；
- ◆ 交换式局域网通过局域网交换机支持连接到交换机端口的结点之间的多个并发连接，实现多结点之间数据的并发传输，增加了网络带宽，改善局域网的性能与服务质量；
- ◆ 交换技术的发展为虚拟局域网的实现提供了技术基础。