北京郵電大學

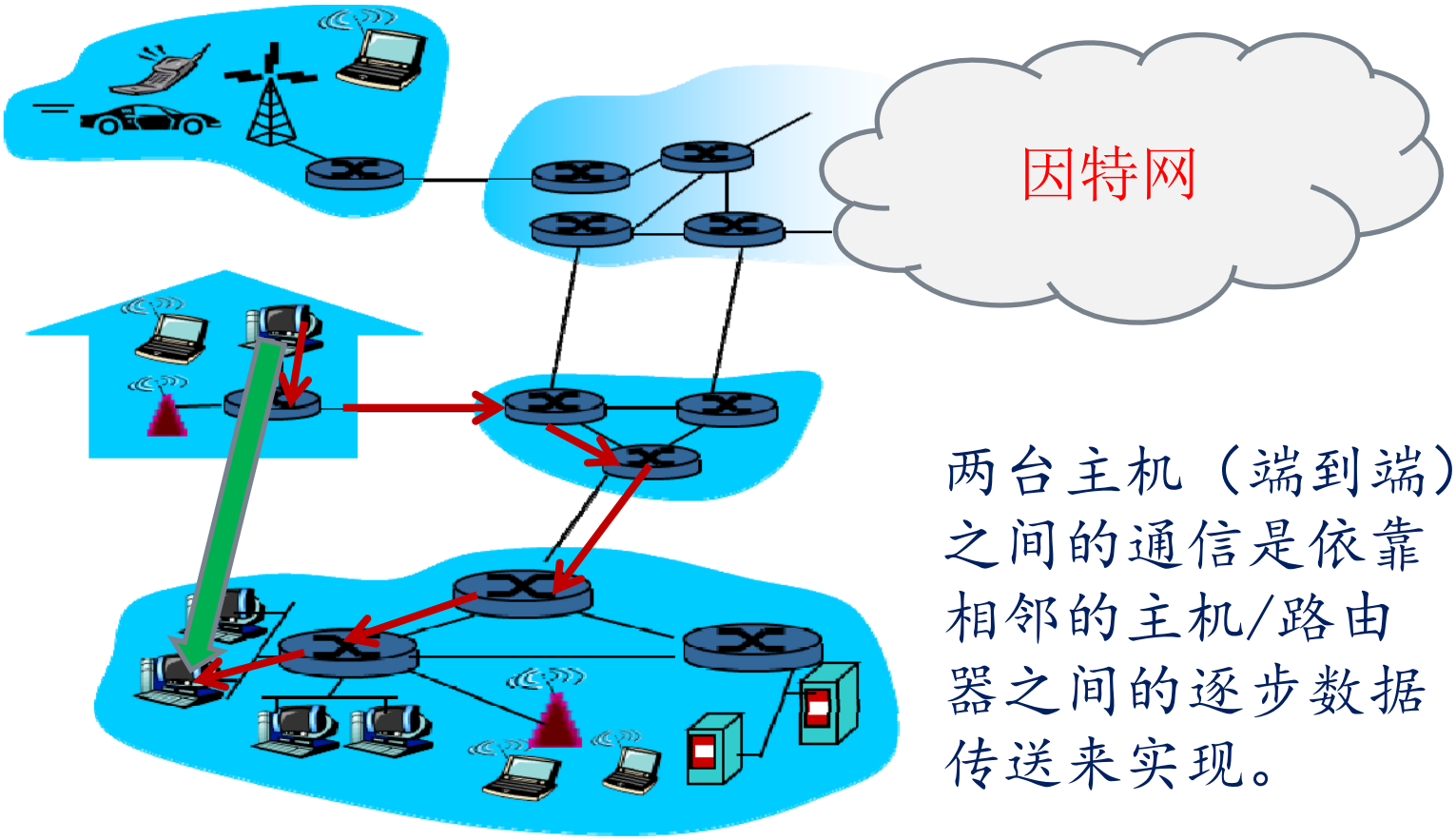
计算机网络

第五章 数据链路层

计算机学院

2016年12月

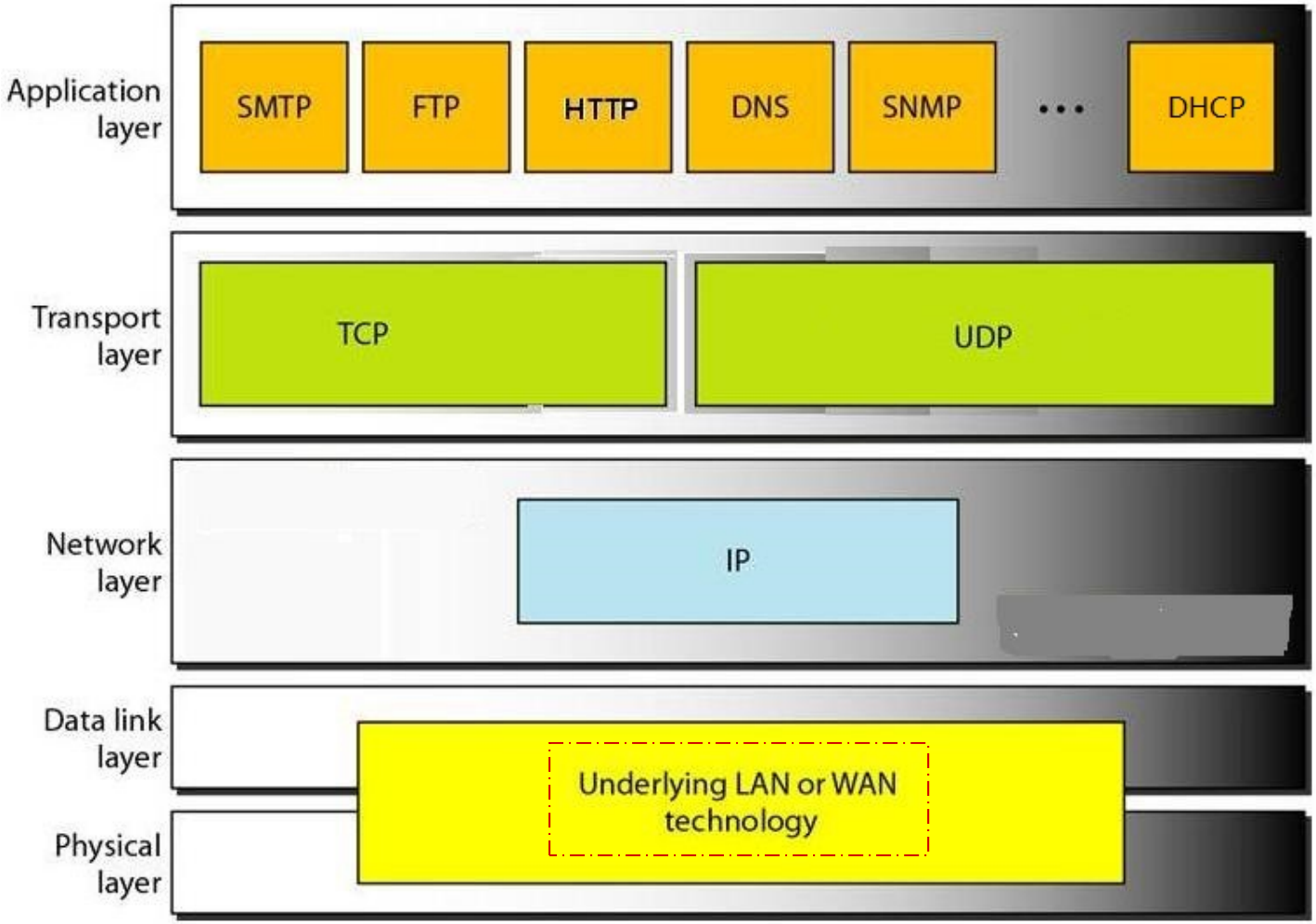
数据链路层的作用？



两台主机（端到端）之间的通信是依靠相邻的主机/路由器之间的逐步数据传送来实现。

[Kurose]

TCP/IP协议栈


Application layer
SMTP
FTP
HTTP
DNS
SNMP
• • •
DHCP
Transport layer
TCP
UDP
Network layer
IP
Data link layer
Underlying LAN or WAN technology
Physical layer

教学要求及内容

- 掌握数据链路层的功能和实现的技术要点
  - 数据成帧方法
  - 差错检测方法：CRC校验
  - 编址方法
- 了解数据链路层的协议实例
  - HDLC
  - PPP

内容提要

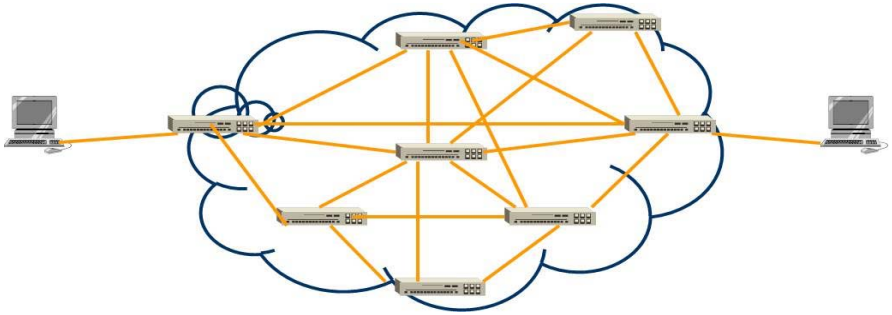
- *5.1　数据链路层的功能及服务*
- 5.2　数据链路层的成帧原理
- 5.3　差错检测与纠错技术
- 5.4　数据链路层的编址
- 5.5　数据链路层的协议实例
- 5.6　数据链路层的安全隐患

为什么需要数据链路层？

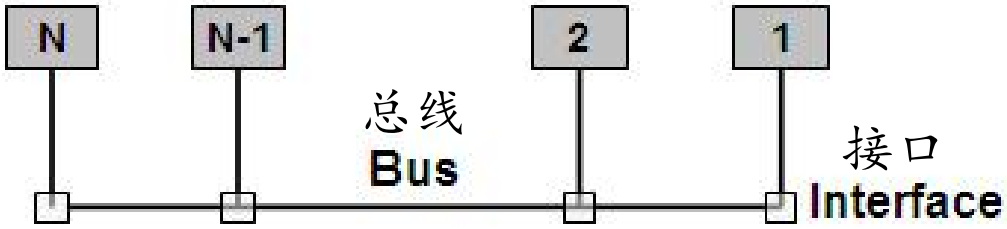
- 物理信道是不可靠的!
  - 噪声的干扰可能导致数据传输差错
    - 需要进行差错检测和纠正
  - 发送方的速率可能大于接收方的速率，从而导致数据丢失
    - 需要进行流量控制
- 数据链路层实现相邻主机/路由器间的可靠的数据传输

数据链路层的信道类型

- 点到点信道
  - 一条信道上只有两台设备
  - 独占信道
  - 一对一通信
  - 本章学习

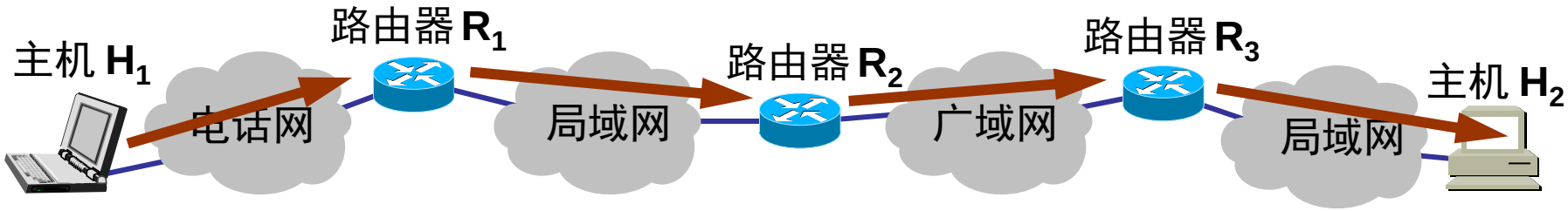


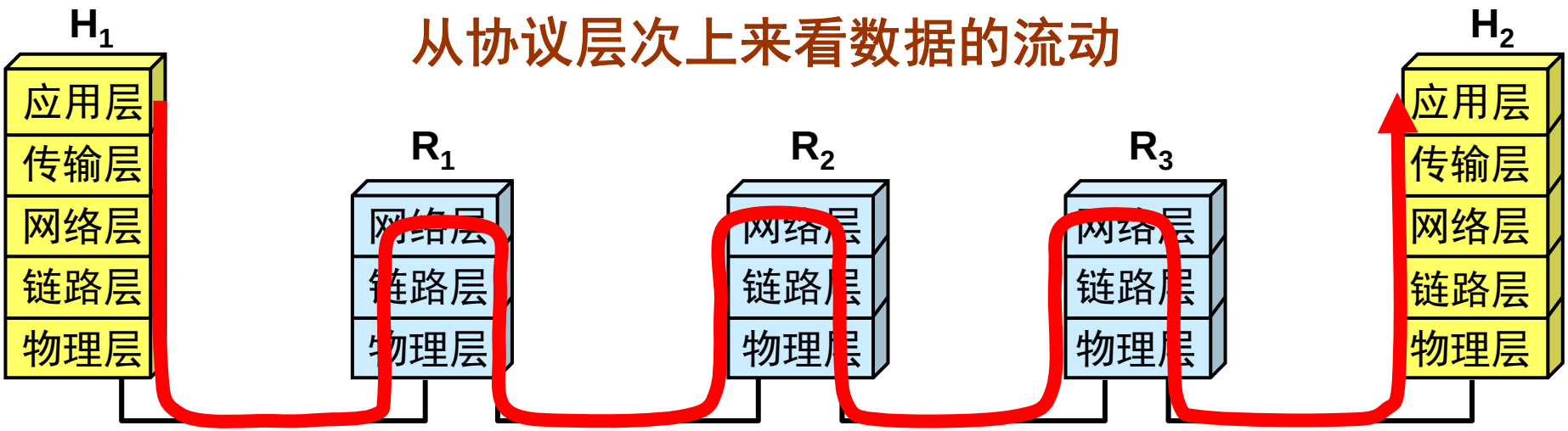
- 广播信道
  - 多个设备共享一条公共信道
  - 一对多通信
  - 需要解决信道竞争
  - LAN采用
  - 在第6章学习



网络层：主机-主机通信

主机 H_1 向 H_2 发送数据

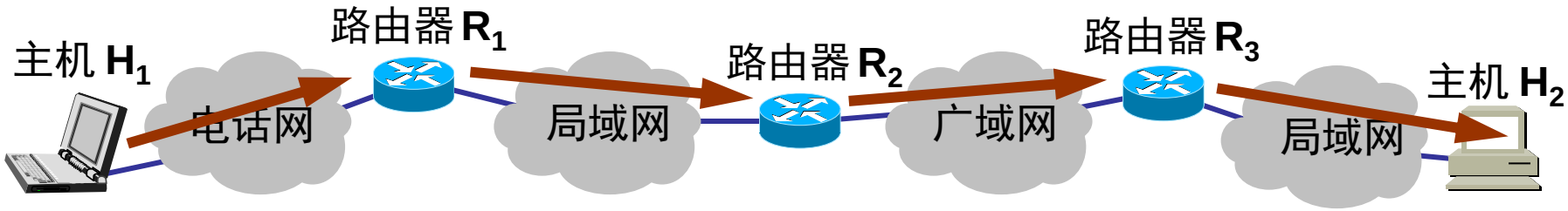


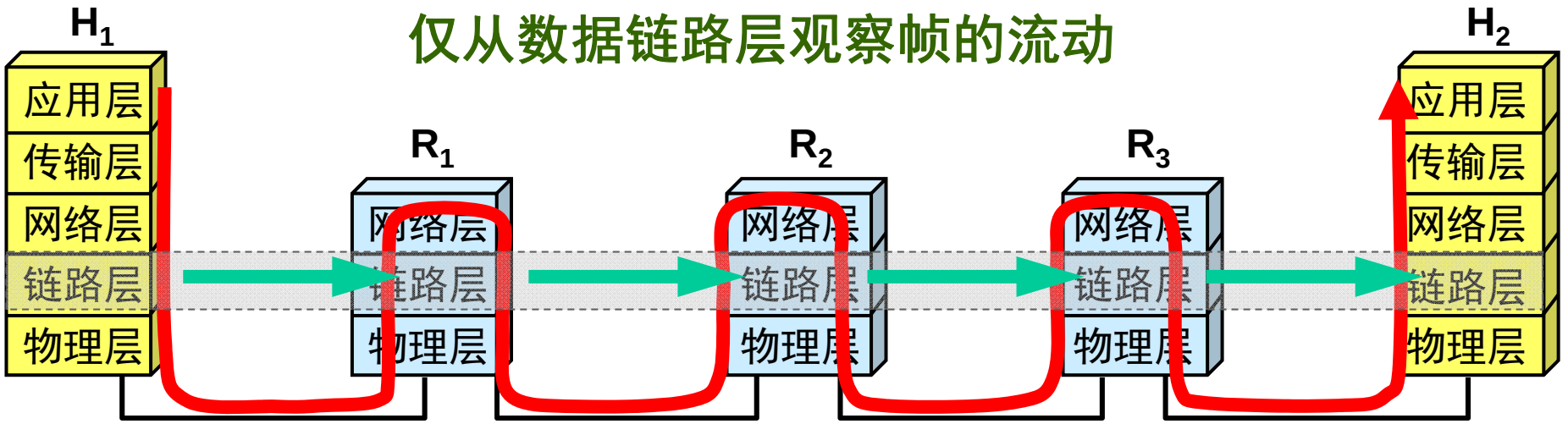


[谢]

数据链路层：点到点通信

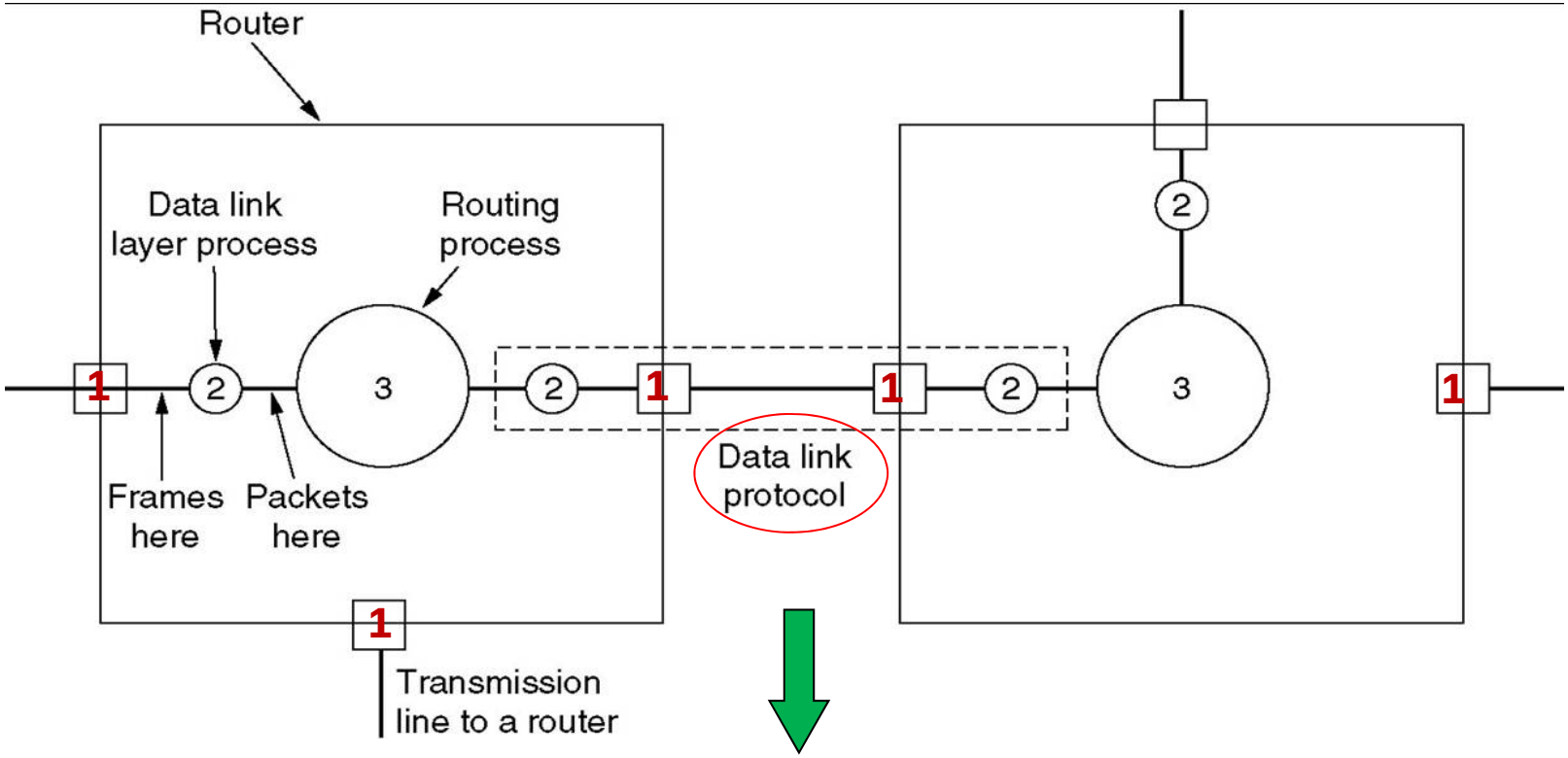
主机 H_1 向 H_2 发送数据





[谢]

数据链路层的功能



- 流量控制：可以发送多少数据?
- 差错控制：如何发现传输差错并纠正?
- 访问控制：谁能发送？

[Tanenbaum]

数据链路层的主要功能

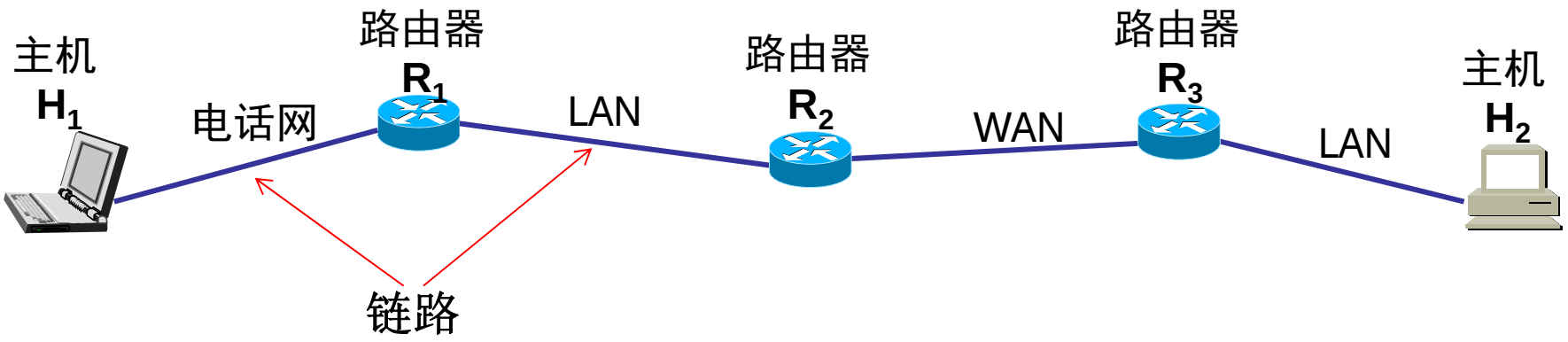
- 链路管理
  - 数据链路的建立、维护和释放，以提供面向连接的服务，
- 封装成帧
  - 将网络层的数据（如IP包）加上首部和尾部，组成帧
- 差错控制
  - 检查物理层的传输差错，并纠正错误
- 透明传输
  - 允许网络层的数据包含任何比特串
- 链路寻址：给网卡编址（物理地址/硬件地址）

数据链路层的服务

- 无确认的无连接服务
  - 只发送不确认
  - 适合于低误码率的信道，如LAN
- 有确认的无连接服务
  - 接收方收到数据后要回送确认
  - 适合于误码率相对较高的不可靠信道，如WLAN
- 面向连接的服务
  - 在发送数据之前首先要建立连接，确保数据传输的可靠性
  - WAN采用

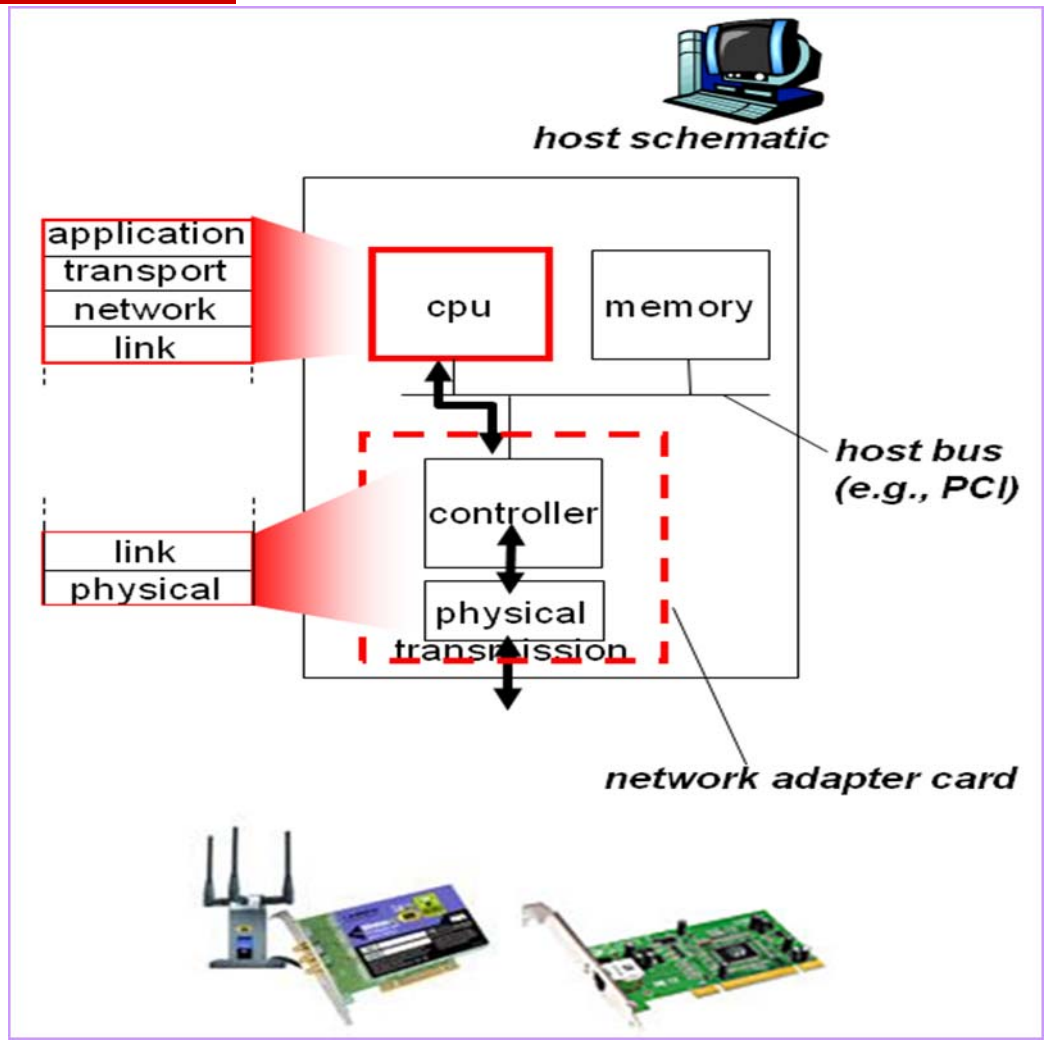
链路和数据链路

- **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
  - 链路是一条路径的组成部分
- **数据链路（data link）：**链路+数据链路层协议
  - 不同的链路可能采用不同的协议



数据链路层协议一般由网卡实现

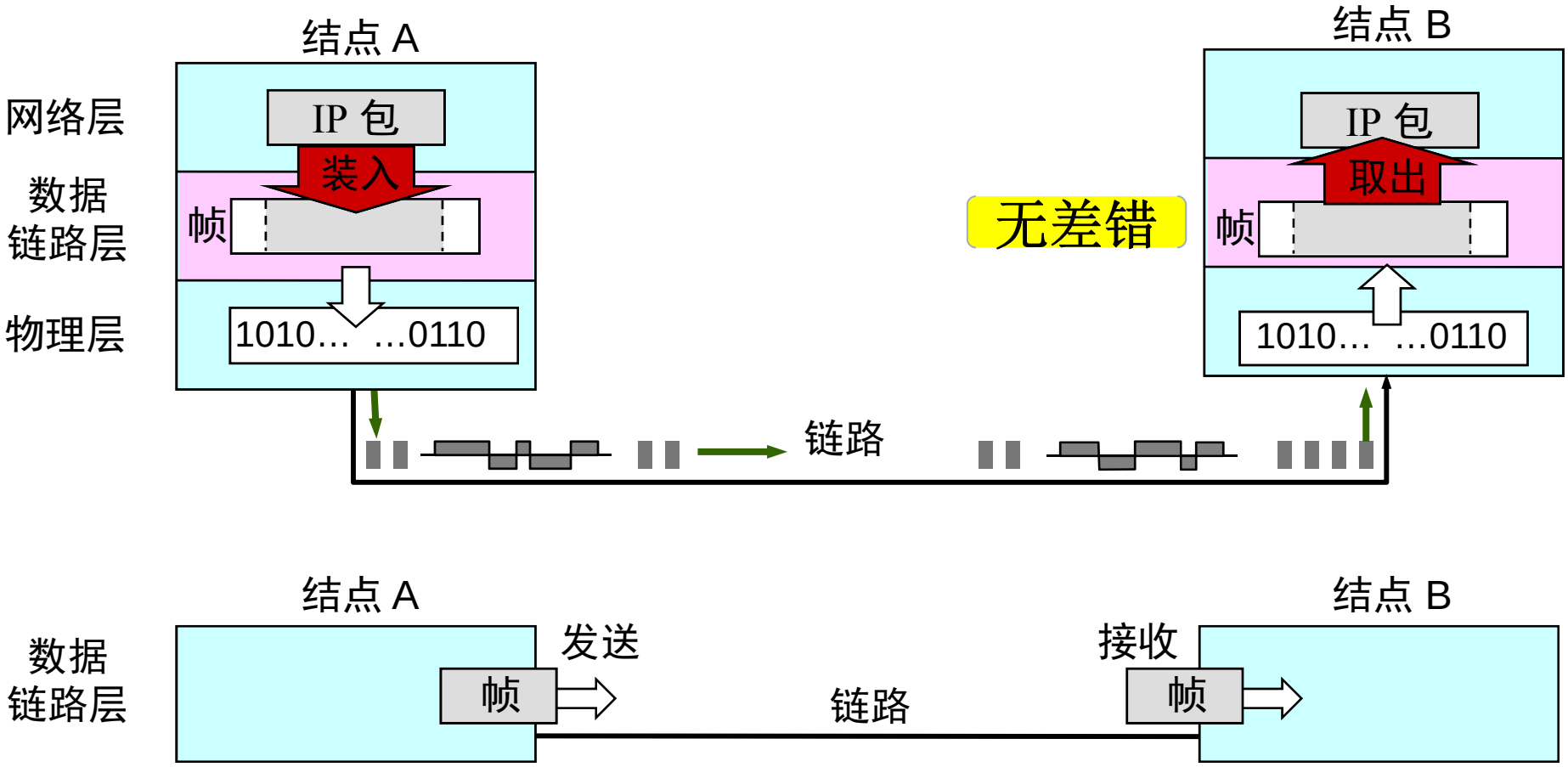
- 网卡
  - 网络适配器：NIC
  - 一般实现数据链路层协议和物理层协议



[Kurose]

数据链路和帧

- 帧：数据链路上传输的数据单元

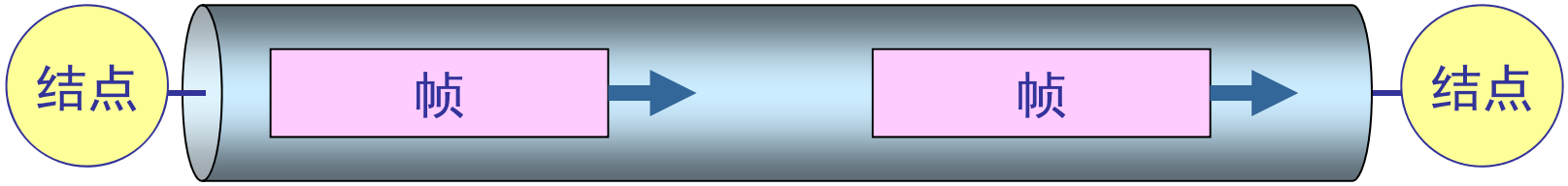


[谢]

数据链路和帧

- 数据链路层像个数字管道

  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。

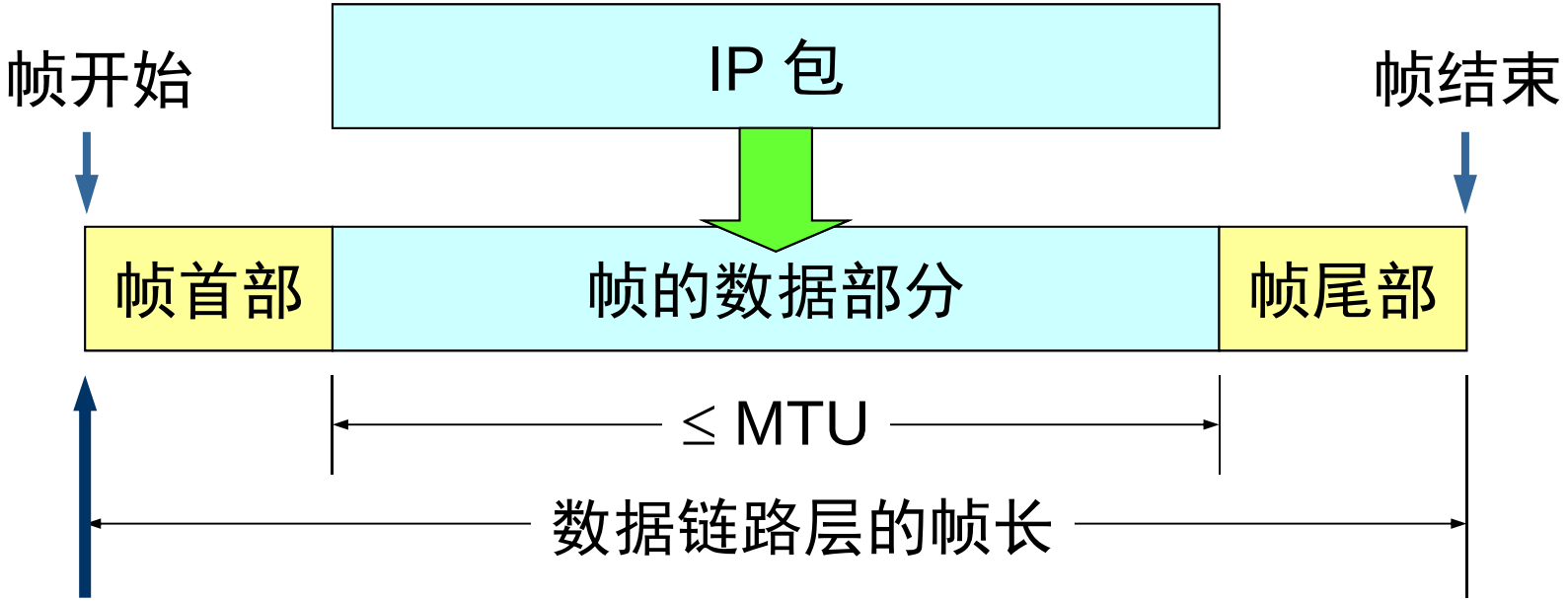
[谢]

内容提要

- 5.1　数据链路层的功能及服务
- *5.2　数据链路层的成帧原理*
- 5.3　差错检测与纠错技术
- 5.4　数据链路层的编址
- 5.5　数据链路层的协议实例
- 5.6　数据链路层的安全隐患

什么是成帧？

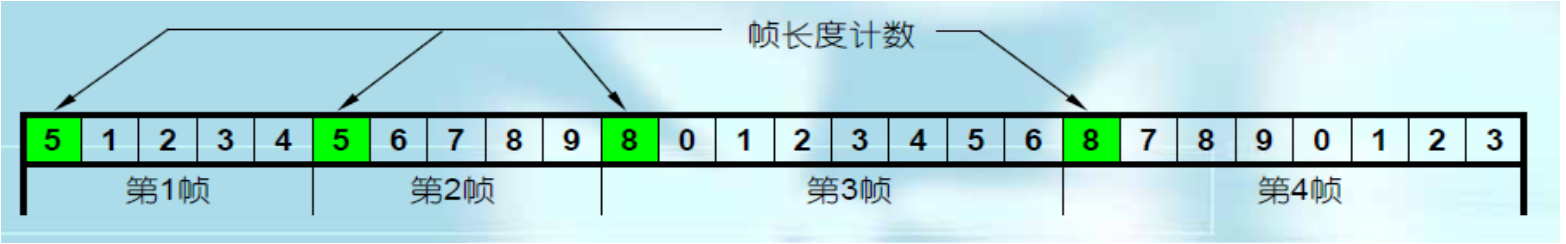
- 在上层数据的前后分别添加首部和尾部，就构成了一个帧
- 首部和尾部的一个重要作用就是进行帧定界（帧同步），即标记帧的开始和结束



[谢]

成帧方法：字符计数法

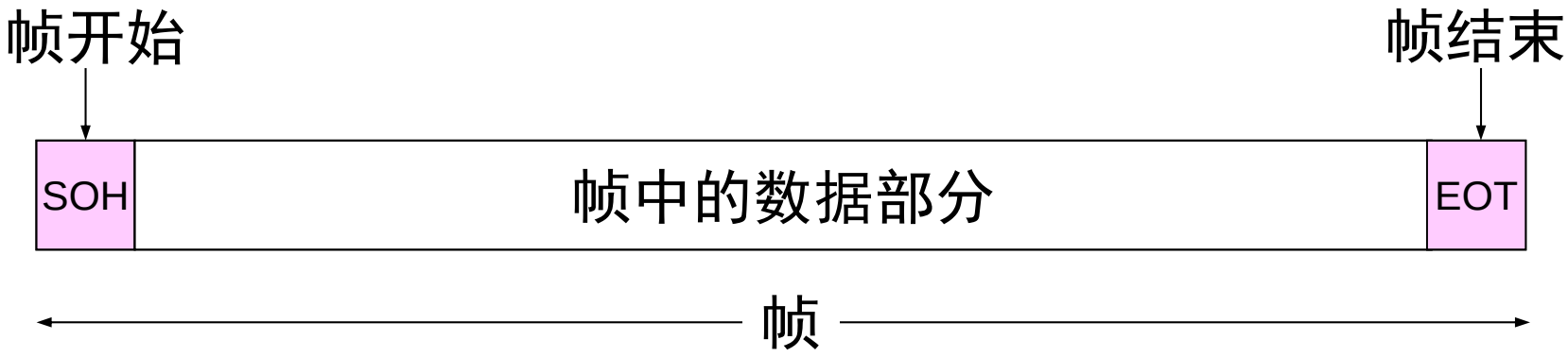
- 在帧中增加一个长度字段，表示帧的总字节数
- 早期的DDCMP协议使用



- 问题：一旦帧长度字段出错，无法再恢复同步！

成帧方法：字符填充法（1）

- 采用固定的字符作为帧首部和尾部
- 示例：IBM的BISYNC协议
- 帧首字符：SOH（0x01）
- 帧尾字符：EOT（0x02）

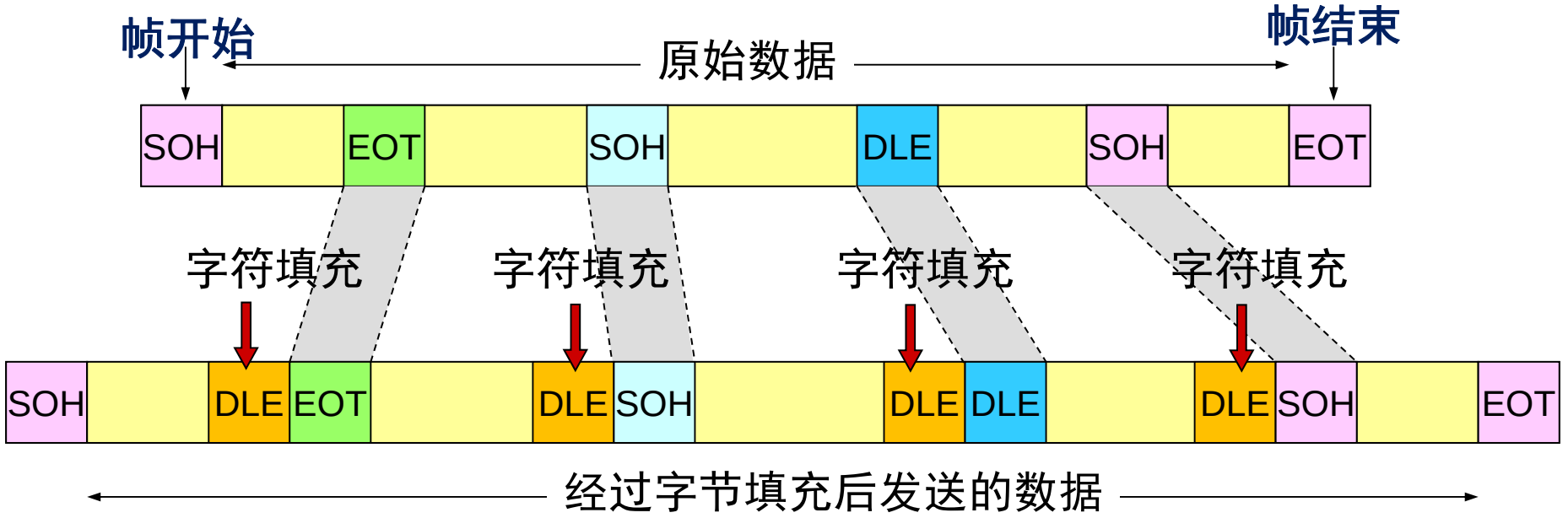


[谢]

成帧方法：字符填充法（2）

- **透明传输**：帧的数据中可以包含任何字符，即可以出现与帧首、帧尾相同的字符
- **字符填充**：一旦数据中出现和帧首/尾字符相同的字符，则填充转义字符，以进行区别
- 转义字符：DLE（0x10）

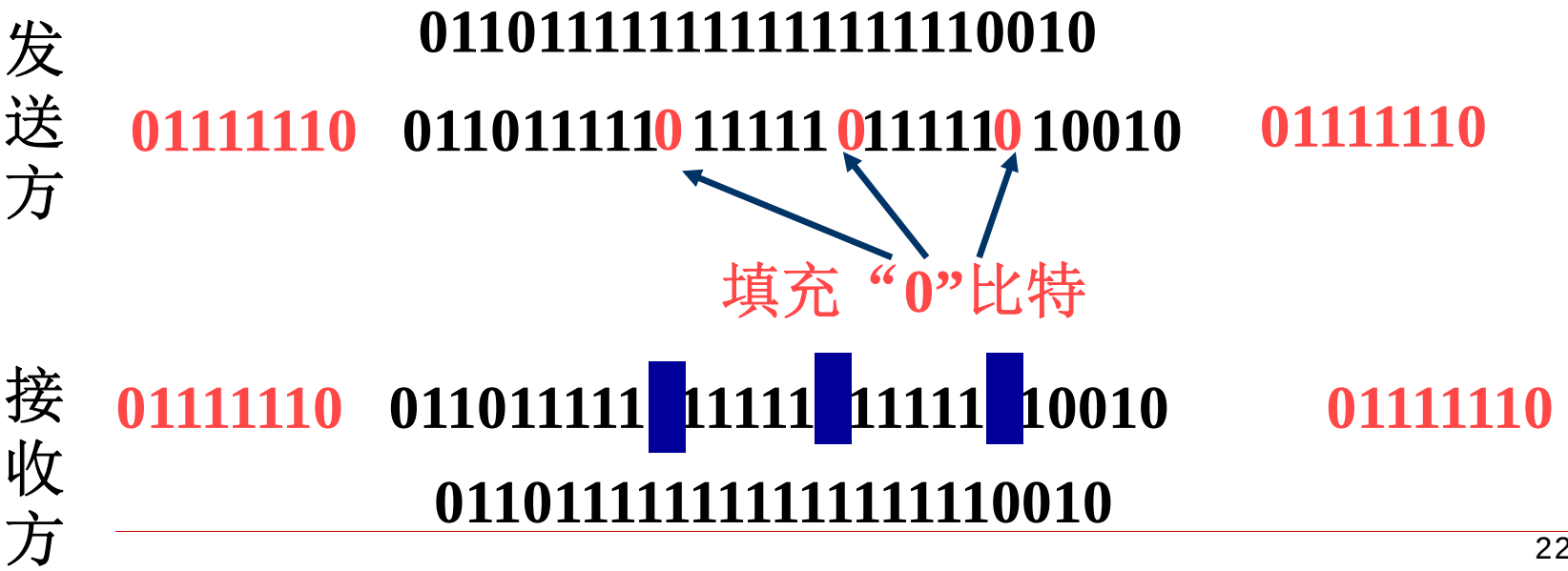
缺点：依赖于字符集



[谢]

成帧方法：零比特填充法

- 帧的长度为任意比特数
- 不依赖于字符集
- 帧首尾标志：0111 1110
- 透明传输：零比特填充
  - 当帧中的数据出现连续5个1时，在其后插入一个0



成帧方法：物理层编码违例法

- 物理层编码有冗余
  - 曼彻斯特编码：码元中间的跳变表示0和1
  - 中间无跳变的码元即是冗余码元，可以表示帧的开始和结束
  - 无需填充！

内容提要

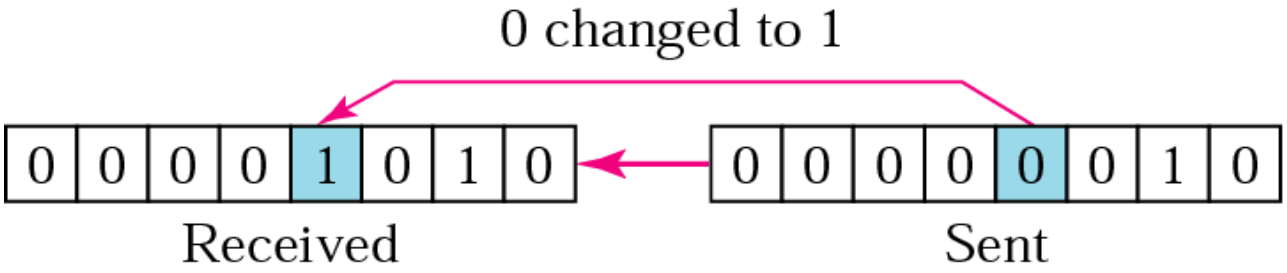
- 5.1　数据链路层的功能及服务
- 5.2　数据链路层的成帧原理
- *5.3　差错检测与纠错技术*
- 5.4　数据链路层的编址
- 5.5　数据链路层的协议实例
- 5.6　数据链路层的安全隐患

什么是差错控制？

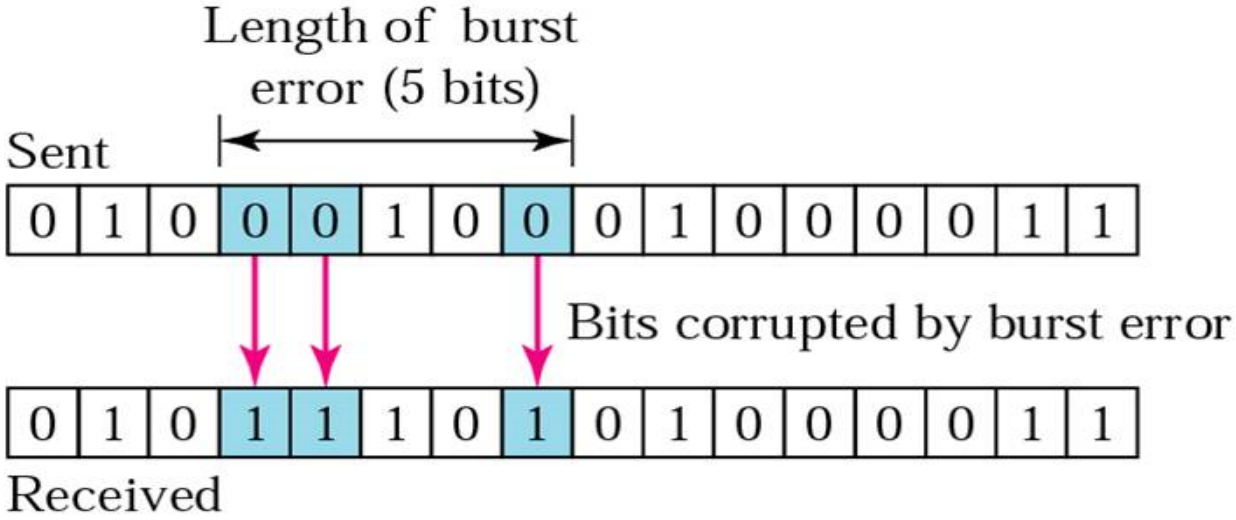
- 由于噪声的影响，数据在传输过程中可能会产生比特差错：1->0，0->1，增加、删除1个比特
- 误码率 BER (Bit Error Rate)：在一段时间内，传输错误的比特占所传输比特总数的比率
- 差错种类
  - 单比特差错
  - 突发差错
- 差错控制
  - 差错检测：发现传输差错
  - 差错纠正：恢复正确数据

单比特差错与突发差错

- 单比特差错：只有1个比特错误



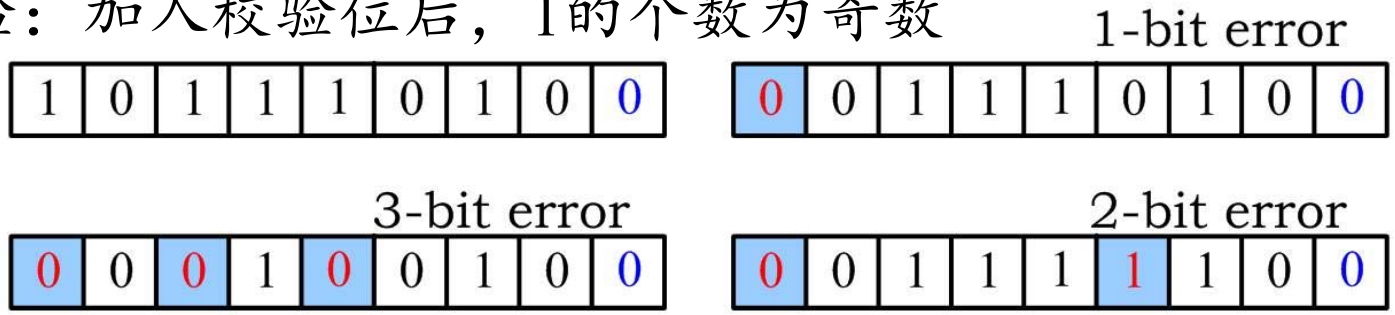
- 突发差错：两个比特或更多比特发生错误



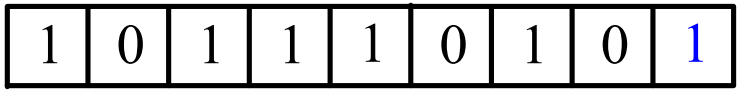
[Forouzan]

差错检测方法：奇偶校验

- 检错码：发送方在传输的数据中加入校验信息，接收方通过计算可以发现传输差错
- 奇偶校验码
  - 1个校验比特
  - 奇校验：加入校验位后，1的个数为奇数



  - 偶校验：加入校验位后，1的个数为偶数



  - 检错能力：如果发生错误的比特总数为奇数个，能发现

[Forouzan]

差错检测方法：循环冗余校验

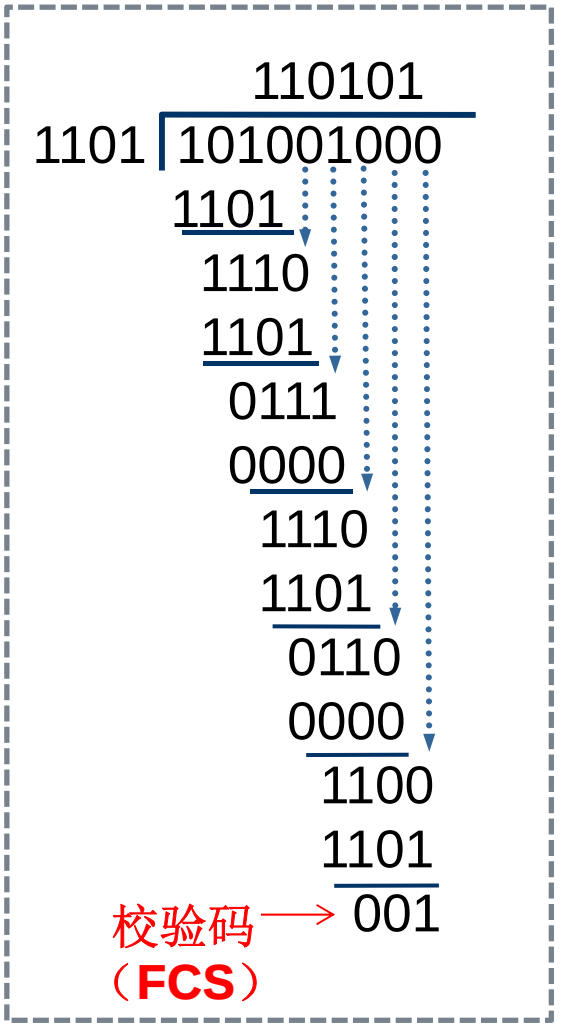
- CRC（Cyclic Redundancy Code），又称为多项式编码
- 把被处理的数据块看做是一个n阶的二进制多项式：$a_0x_0 + a_1x_1 + \cdots + a_{n-1}x_{n-1}$
  - 如10110101对应的多项式是：$x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + 1$
- 采用模二除法计算校验码
- 生成多项式G(x)：发送方和接收方约定，作为除数
- 校验码：余数

CRC的计算方法

- 若生成多项式G(x)为r+1个比特，即最高阶为r，则在待校验数据后面增加r个0
- 采用模二除法，除以G(x)
  - 对应比特异或
  - 不进位、不借位
- 余数即是所求的校验码
- 将余数附在数据之后发送到信道上

CRC的计算示例

- 待校验数据：101001
- 生成多项式G(x)= $x^3 + x^2 + 1$
- 被除数：101001 000
- 除数：1101
- 余数：001
- 发送的数据：101001001
- 接收方：
  - 用收到的数据比特串除以G(x)，余数=0，则认为传输正确；否则，认为传输有差错



CRC的检错能力

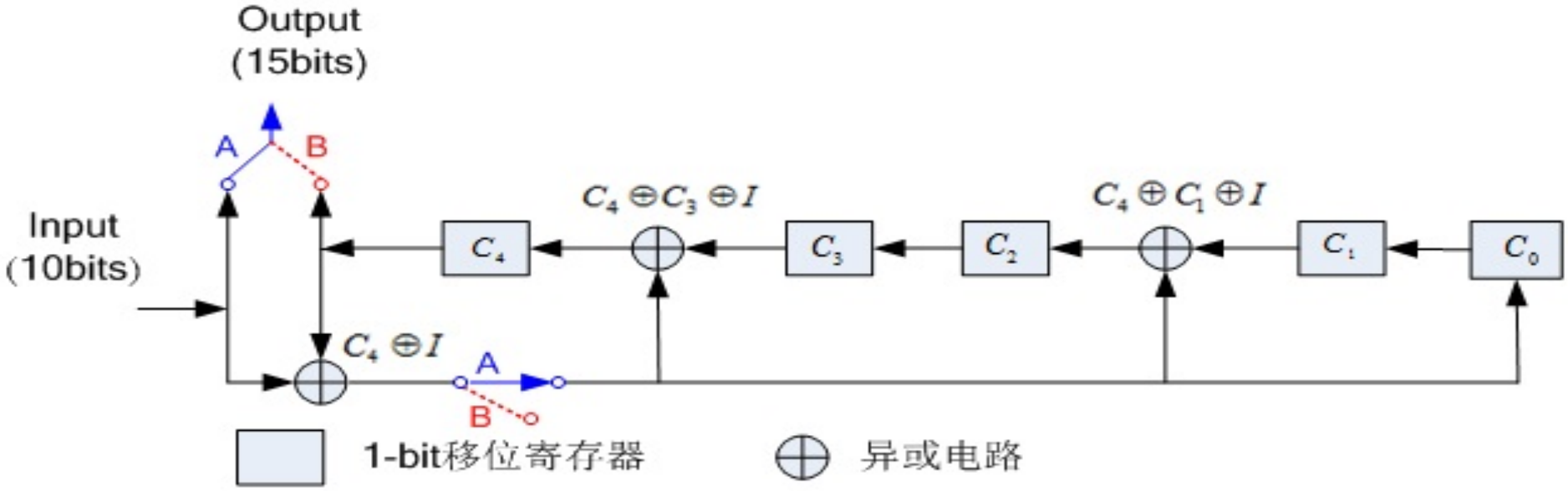
- 若G(x)为r阶，则可以检测出长度不超过r的突发错误
- 可以检测出任意两个孤立的单比特错误
- 可以检测出错误比特数为奇数的错误
- 对于长度超过r的突发错误
  - 无法检测出差错的概率为2^{-r}

CRC的标准

- CRC-12码： 传送6位字符串
- CRC-16码： 传送8位字符，美国采用
- CRC-CCITT码：传送8位字符，HDLC采用
- CRC-32码：LAN采用
- 常用的CRC标准生成多项式：
  - CRC-16：$X^{16}+X^{15}+X^{2}+1$
  - CRC(CCITT)：$X^{16}+X^{12}+X^{5}+1$
  - CRC-32：
    $X^{32}+X^{26}+X^{23}+X^{16}+X^{12}+X^{11}+X^{10}+X^{8}+X^{7}+X^{5}+X^{4}+X^{2}+X+1$

CRC的硬件实现方法

- 移位寄存器+异或门电路



- $G(x)=x^5+x^4+x^2+1$
- 初始时移位寄存器C_0~C_4清0
- 10个信息位发送之后，断开A接通B,发送5位校验和，并将C_0~C_4清零，为下次发送做好准备

CRC硬件的计算示例

	C_4	C_3	C_2	C_1	C_0	$C_4 \oplus C_3 \oplus I$	$C_4 \oplus C_1 \oplus I$	$C_4 \oplus I$	I(Input)
Initial	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Step 1	1	0	1	0	1	1	1	1	0
Step 2	1	1	1	1	1	1	1	0	1
Step 3	1	1	1	1	0	0	0	1	0
Step 4	0	1	0	0	1	1	0	0	0
Step 5	1	0	0	1	0	1	0	1	0
Step 6	1	0	0	0	1	0	0	0	1
Step 7	0	0	0	1	0	1	0	1	1
Step 8	1	0	0	0	1	1	1	1	0
Step 9	1	0	1	1	1	0	1	0	1
Step10	0	1	1	1	0				

差错纠正方法

- 纠错码
  - 校验码足够长，不但能够检测出差错，而且能够发现差错的位置，直接恢复原始数据
  - 示例：汉明码（Hamming code，海明码），能纠正一比特错误
- 重传（ARQ协议）
  - 发送方发送完一帧数据后，启动一个定时器
  - 接收方发现错误后，丢弃收到的数据帧
  - 发送方定时器超时，重发数据帧

纠错码示例：汉明码

- 基本思想：将待校验数据信息按某种规律分成若干组，每组安排一个校验比特，进行奇偶校验，因此能提供多比特检错信息，以发现出错的比特，从而将其纠正
- 实质上，汉明码是一种多重校验
- 位置分布：从左至右，对数据比特进行编号，编号为2的幂次的位置保留给校验比特
  - 例如：要校验的数据是 1011

编号:	1	2	3	4	5	6	7
传输的码字:	1	0	1	1	0	1	1

汉明码的校验方法（1）

- 发送方编码：

  3=1+2， 5=1+4， 6=2+4， 7=1+2+4

  即第1个校验比特是对编号为3、5和7的数据比特校验的值，第2个校验比特对编号为3、6和7的数据比特校验，…

- 以奇校验为例，数据比特串为b_3 b_5 b_6 b_7 1 0 1 1

  p1⊕b3⊕b5⊕b7 =1, 求出p1=1

  p2⊕b3⊕b6⊕b7 =1, 求出p2=0

  p4⊕b5⊕b6⊕b7 =1, 求出p4=1

  因此传输的比特串为1011011

汉明码的校验方法（2）

- 接收方纠错

  若b1⊕b3⊕b5⊕b7 =1, 则k=0；否则k=1

  若b2⊕b3⊕b6⊕b7 =1, 则k=0；否则k=2

  若b4⊕b5⊕b6⊕b7 =1, 则k=0；否则k=4

  出错比特的编号：出错校验比特编号之和，即 $\sum k$

- 示例：假设收到的比特串为1011001

  b1⊕b3⊕b5⊕b7 =1，无错 k=0

  b2⊕b3⊕b6⊕b7 =0，有错 k=2

  b4⊕b5⊕b6⊕b7 =0，有错 k=4

  因此出错的比特的编号=$\sum k$=2+4=6

计算汉明码的简便方法（以偶校验为例）

例： 数据 = 1011，

b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7
P1	*P2*	1	*P3*	0	1	1

编码简便法：将码字中为1的各位码字位号表示为二进制码，再按模2求和，所得结果就是校验码。

b3 = 011

b6 = 110

⊕ b7 = 111

P3P2P1 = 010

发送的码字：

b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7
0	***1***	1	***0***	0	1	1

收到的码字：

b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7
0	***1***	1	***0***	0	1	0

差错位

解码简便法：将码字中为1的各位码字位号表示为二进制码，再按模2求和，若和为0，则无差错。若和不为0，则指明差错的位号。

b2 = 010

b3 = 011

⊕ b6 = 110

S4S2S1 = 111

汉明码的开销

- 设待校验的数据（有效信息）为m比特，校验信息为r比特
- 发送的码字：n=m+r 比特
- 合法码字有2^m个
- 一个合法码字错1位而产生的非法码字有n个
- 合法码字与非法码字一共$(n+1)2^m$个

$$(n+1)2^m \le 2^n$$

$$(m+r+1) \le 2^r$$

例如： m=4, r≥3

上节内容回顾

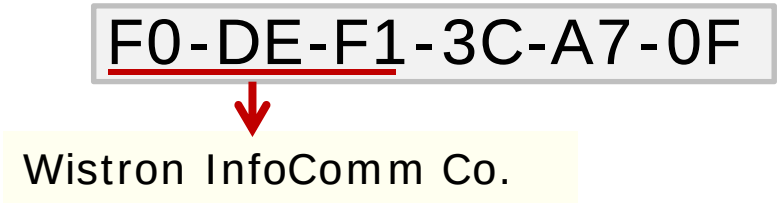
- 数据链路层实现了相邻节点（主机/路由器）之间的可靠的数据传输
- 主要功能
  - 将网络层数据封装成帧
    - 透明传输方法：字节填充法、零比特填充法、物理层编码违例法
  - 差错控制：直接纠错——汉明码
    检错重发——CRC校验码
  - 流量控制：ARQ协议

内容提要

- 5.1　数据链路层的功能及服务
- 5.2　数据链路层的成帧原理
- 5.3　差错检测与纠错技术
- ***5.4　数据链路层的编址***
- 5.5　数据链路层的协议实例
- 5.6　数据链路层的安全隐患

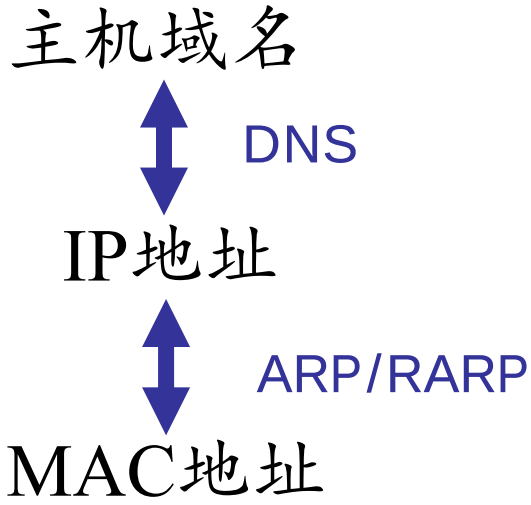
物理地址

- 数据链路层的地址又称为物理地址或硬件地址
- 每个网络接口（网卡）一个地址
- 示例：MAC（媒体访问控制/介质访问控制）地址
  - LAN内使用
  - 48位，以16进制表示
  - 前24位为生产厂商标识OUI（Organizationally Unique Identifier）
  - 后24位为由厂商设定的内部编号



http://standards.ieee.org/develop/regauth/oui/public.html

地址转换

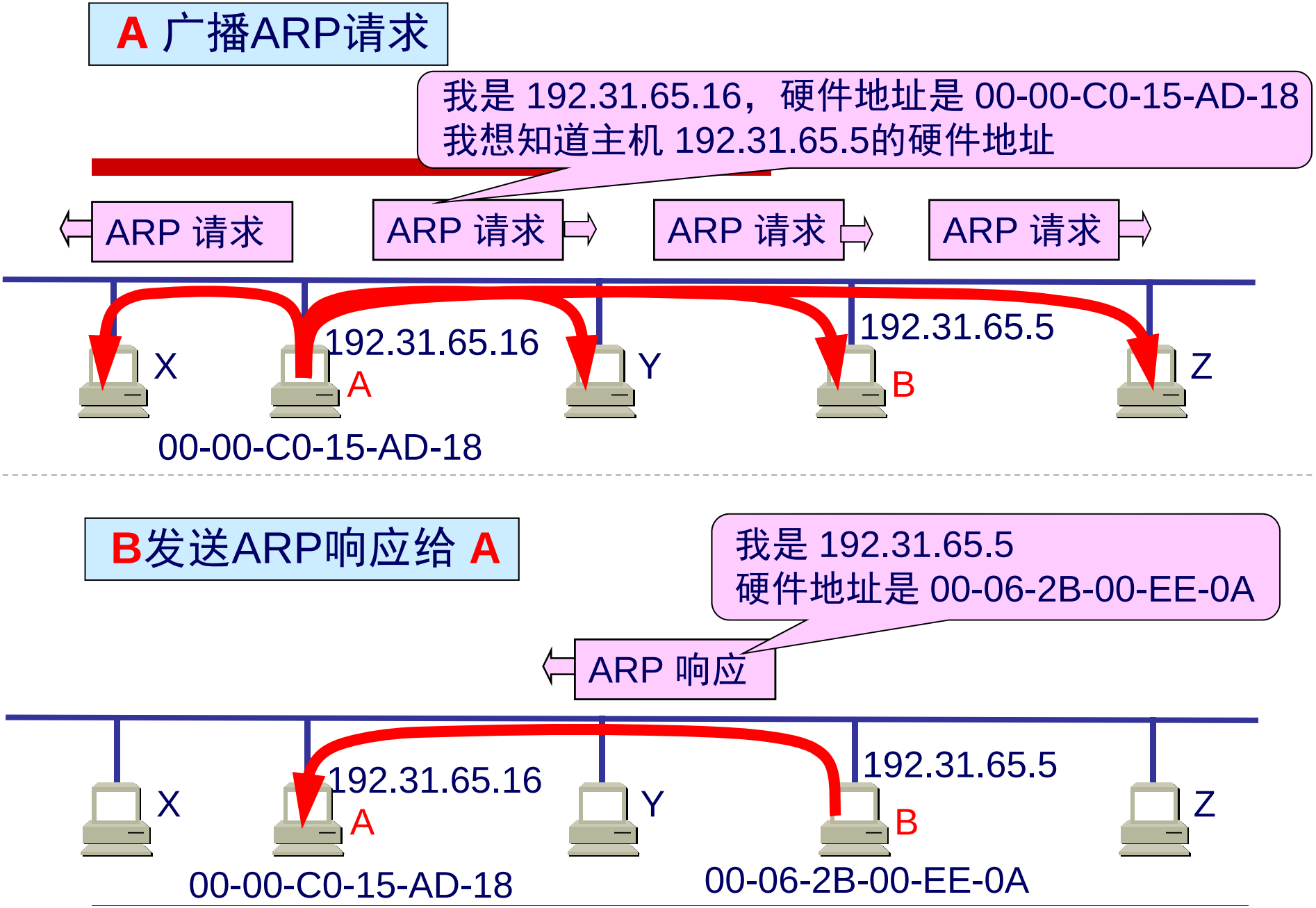


- 地址解析协议：ARP(Address Resolution Protocol)
  - 将IP地址转换为MAC地址
- 逆向地址解析协议：RARP（Reverse ARP）
  - 有MAC地址，查找对应的IP地址
  - 无盘工作站启动时，请求IP地址

ARP缓存表

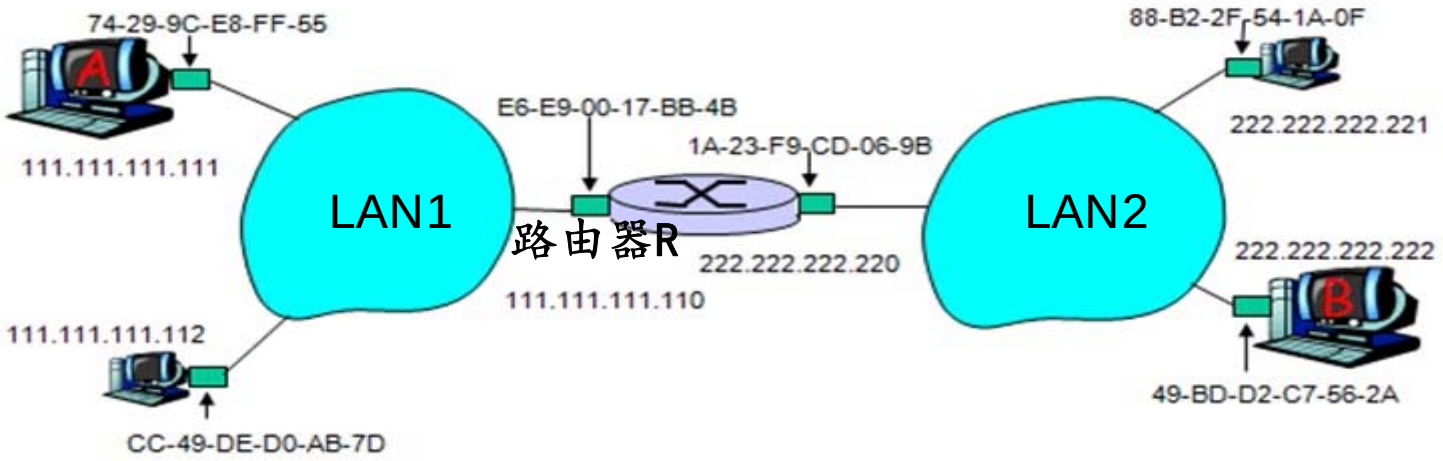
```
C:\Users\chengli>arp -a

接口: 192.168.0.101 --- 0xe
  Internet 地址         物理地址              类型
  192.168.0.1           78-54-2e-e2-f9-24     动态
  192.168.0.255         ff-ff-ff-ff-ff-ff     静态
```

- LAN的每个站点都有一个ARP缓存表，记录MAC地址与IP地址的映射关系
- 在LAN内发送IP包之前，源节点广播ARP请求，包含目的节点的IP地址
- 目的节点将自己的MAC地址放到ARP响应中，单播发送给源节点
- 源节点将ARP映射关系加入ARP表
- ARP缓存表会定时删除无用的内容


A 广播ARP请求
我是 192.31.65.16，硬件地址是 00-00-C0-15-AD-18
我想知道主机 192.31.65.5的硬件地址
ARP 请求
ARP 请求
ARP 请求
ARP 请求
X
192.31.65.16
A
Y
192.31.65.5
B
Z
00-00-C0-15-AD-18
B发送ARP响应给 A
我是 192.31.65.5
硬件地址是 00-06-2B-00-EE-0A
ARP 响应
X
192.31.65.16
A
Y
192.31.65.5
B
Z
00-00-C0-15-AD-18
00-06-2B-00-EE-0A

跨子网的数据传输过程

- 源主机A和目的主机B不在同一个子网



A-R：源IP 111.111.111.111　　目的IP 222.222.222.222

　　源MAC 74-29-9C-E8-FF-55　目的MAC E6-E9-00-17-BB-4B

R-B：源IP 111.111.111.111　　目的IP 222.222.222.222

　　源MAC 1A-23-F9-CD-06-9B　目的MAC 49-BD-D2-C7-56-2A

[Kurose]

内容提要

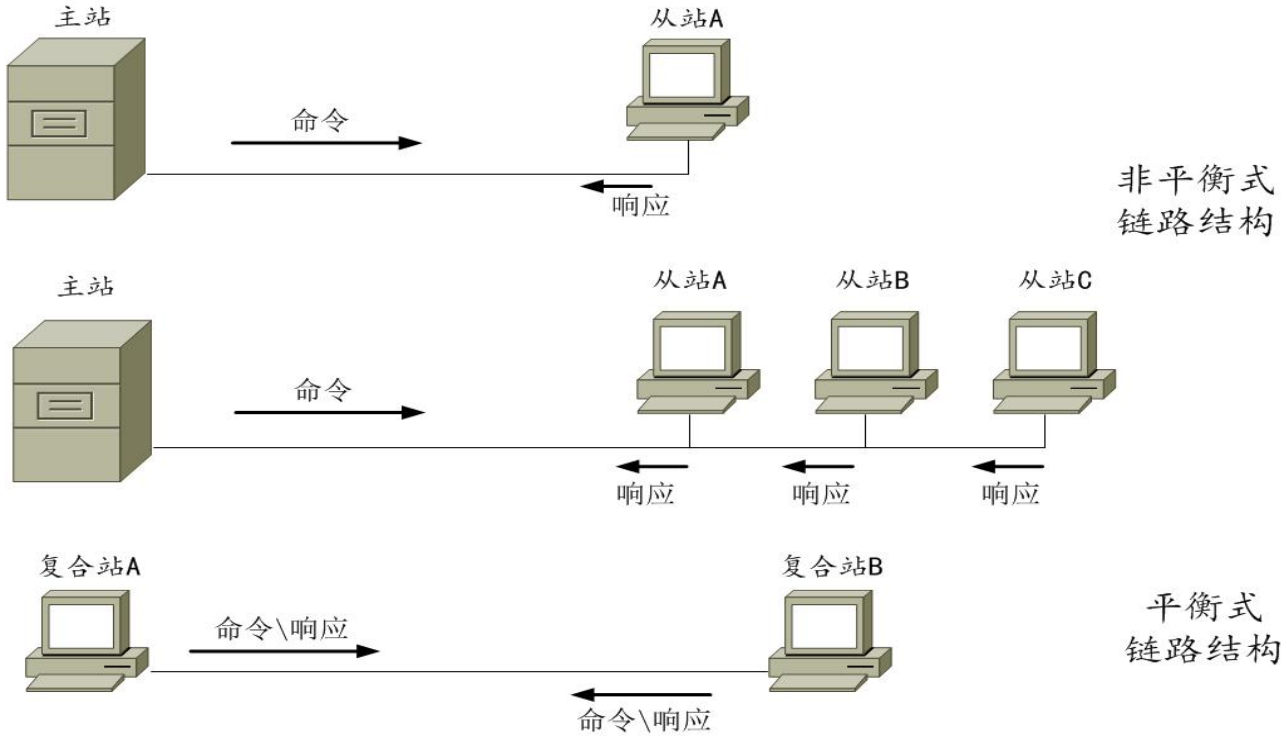
- 5.1 数据链路层的功能及服务
- 5.2 数据链路层的成帧原理
- 5.3 差错检测与纠错技术
- 5.4 数据链路层的编址
- *5.5 数据链路层的协议实例*
  - *HDLC协议*
  - PPP协议
- 5.6 数据链路层的安全隐患

HDLC协议

- 高级数据链路控制规程（High-Level Data Link Control ）
- 面向比特的协议，支持全双工传输
- 采用零比特填充方式实现透明传输
- 提供了点对点和点对多点两种连接方式
- 应用场合：
  - 广域网
    - X.25分组交换网（LAPB）
    - ISDN（LAPD）
    - 帧中继（LAPF）
    - PPP
  - LAN：LLC子层协议

HDLC的站类型

- 主站：控制通信，发送命令，维护数据链路
- 从站：不能主动发起通信，只能响应主站的命令
- 复合站：双方都可以发送命令或响应

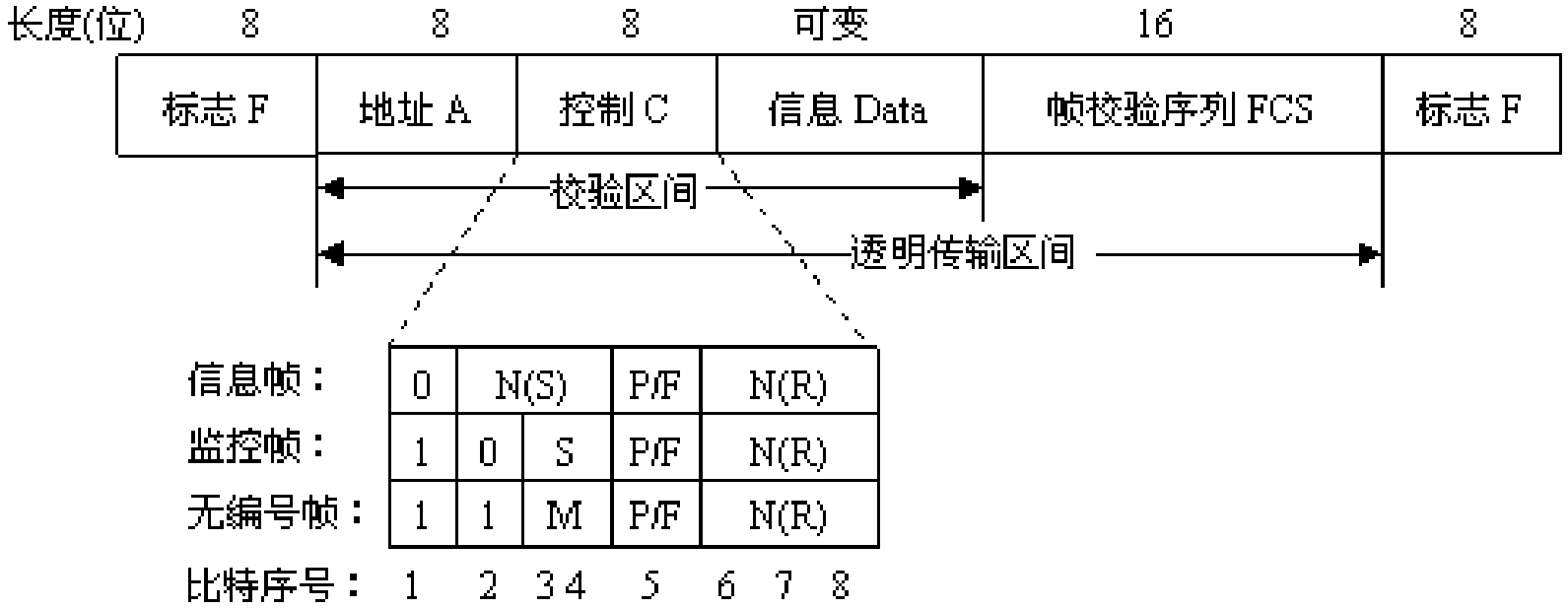


HDLC的数据响应方式

- 正常响应方式（NRM）
  - 应用于非平衡式链路结构
- 异步响应方式（ARM）
  - 应用于非平衡式链路结构；允许从站自行开始传输数据，主站仍然负责链路管理
- 异步平衡方式（ABM）
  - 应用于平衡式链路结构
  - 任何一个复合站均可以开始通信

HDLC协议规定的帧结构

- 数据帧和控制帧采用统一的帧结构
- 帧首尾标志：0111 1110
- 地址：从站/应答站的地址
- FCS：采用CRC-16计算出的校验信息



HDLC的帧的类型

- 信息帧（I帧）Information

  用来传输用户数据；

帧标志	地址	控制	数据	帧校验	帧标志

- 监控帧（S帧）Supervisory，监督帧

  用来传输控制信息（如流量和差错控制信息）；

帧标志	地址	控制	帧校验	帧标志

- 无序号帧（U帧） Unnumbered，无编号帧

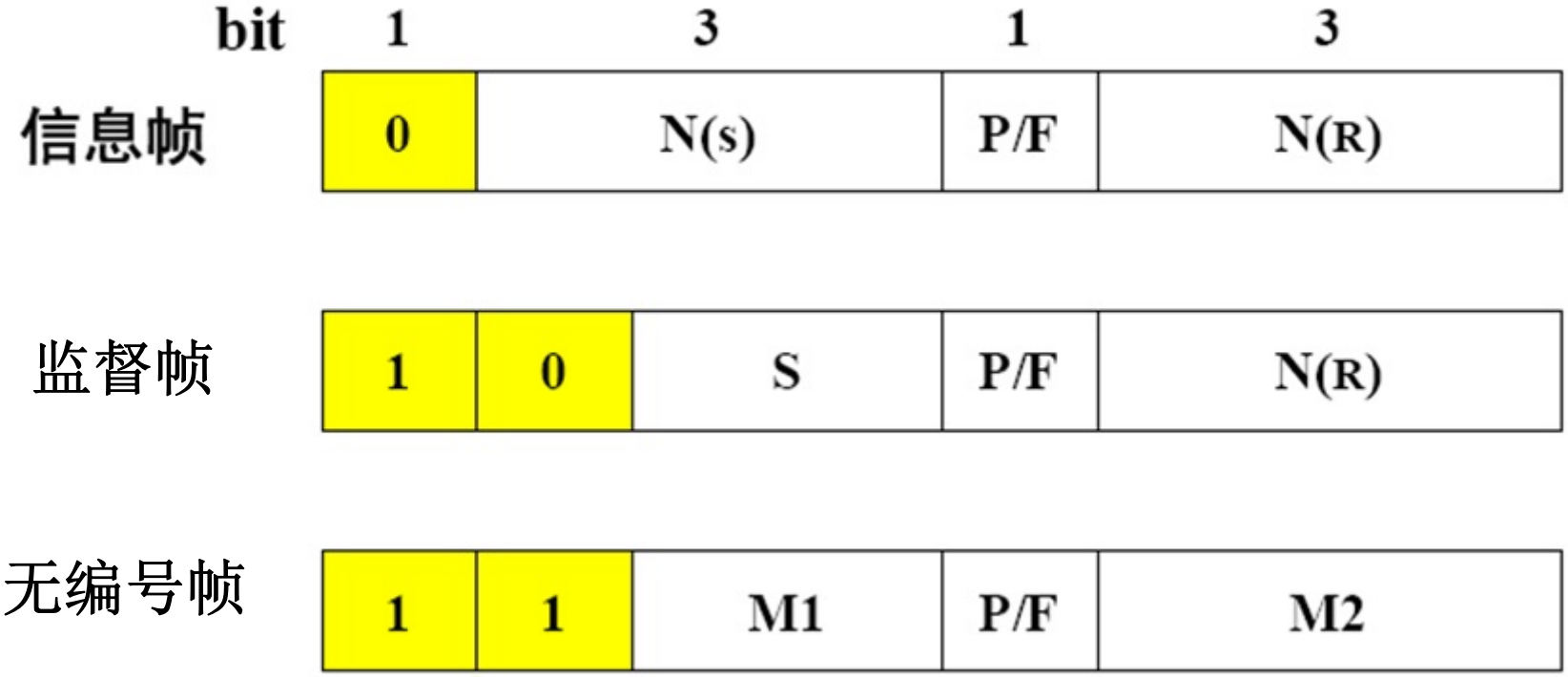
  用来传输网络管理信息；

帧标志	地址	控制	管理信息	帧校验	帧标志

[来源于网络]

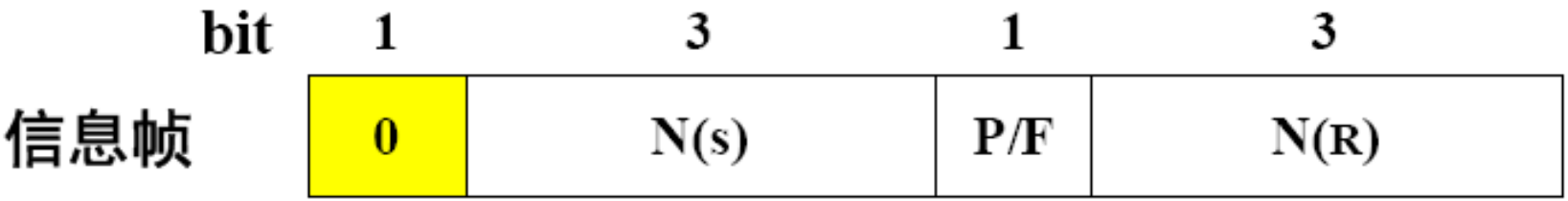
HDLC帧中的控制字段

标识帧的类型和功能，使对方站执行特定的操作。



[来源于网络]

HDLC帧中的控制字段：信息帧



N(s) – 发送序号

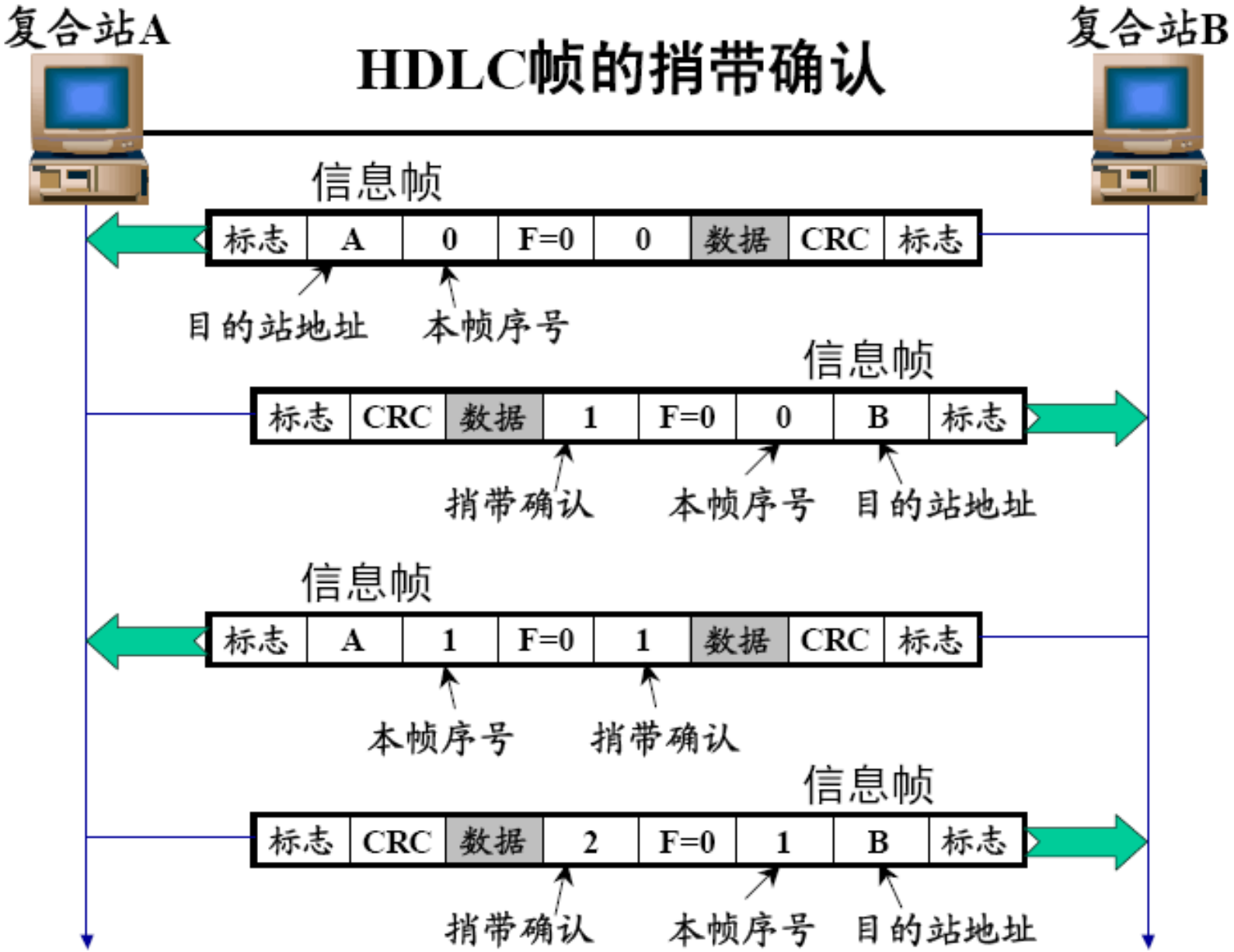
表示当前发送的信息帧的序号，使用滑动窗口技术，3位序号，发送窗口 $Ws=7$;

N(r) – 接收序号（确认序号）

表示本站期望收到的帧的发送序号，而不是最后一个已收到的帧序号;

它具有**捎带确认**功能。

[来源于网络]


复合站A
HDLC帧的捎带确认
复合站B
信息帧
标志 A 0 F=0 0 数据 CRC 标志
目的站地址
本帧序号
信息帧
标志 CRC 数据 1 F=0 0 B 标志
捎带确认
本帧序号
目的站地址
信息帧
标志 A 1 F=0 1 数据 CRC 标志
本帧序号
捎带确认
信息帧
标志 CRC 数据 2 F=0 1 B 标志
捎带确认
本帧序号
目的站地址

[来源于网络]

HDLC帧中的控制字段：监督帧

bit	1	1	2	1	3
	1	0	S	P/F	N(R)

S	帧 名	功 能
00	RR（接收准备就绪）	准备接收下一帧 确认序号为N(R)-1及其以前的各帧
10	RNR（接收未就绪）	暂停接收下一帧 确认序号为N(R)-1及其以前的各帧
01	REJ（拒绝）	否认从N(R)起以后的所有帧
11	SREJ（选择拒绝）	只否认N(R)帧

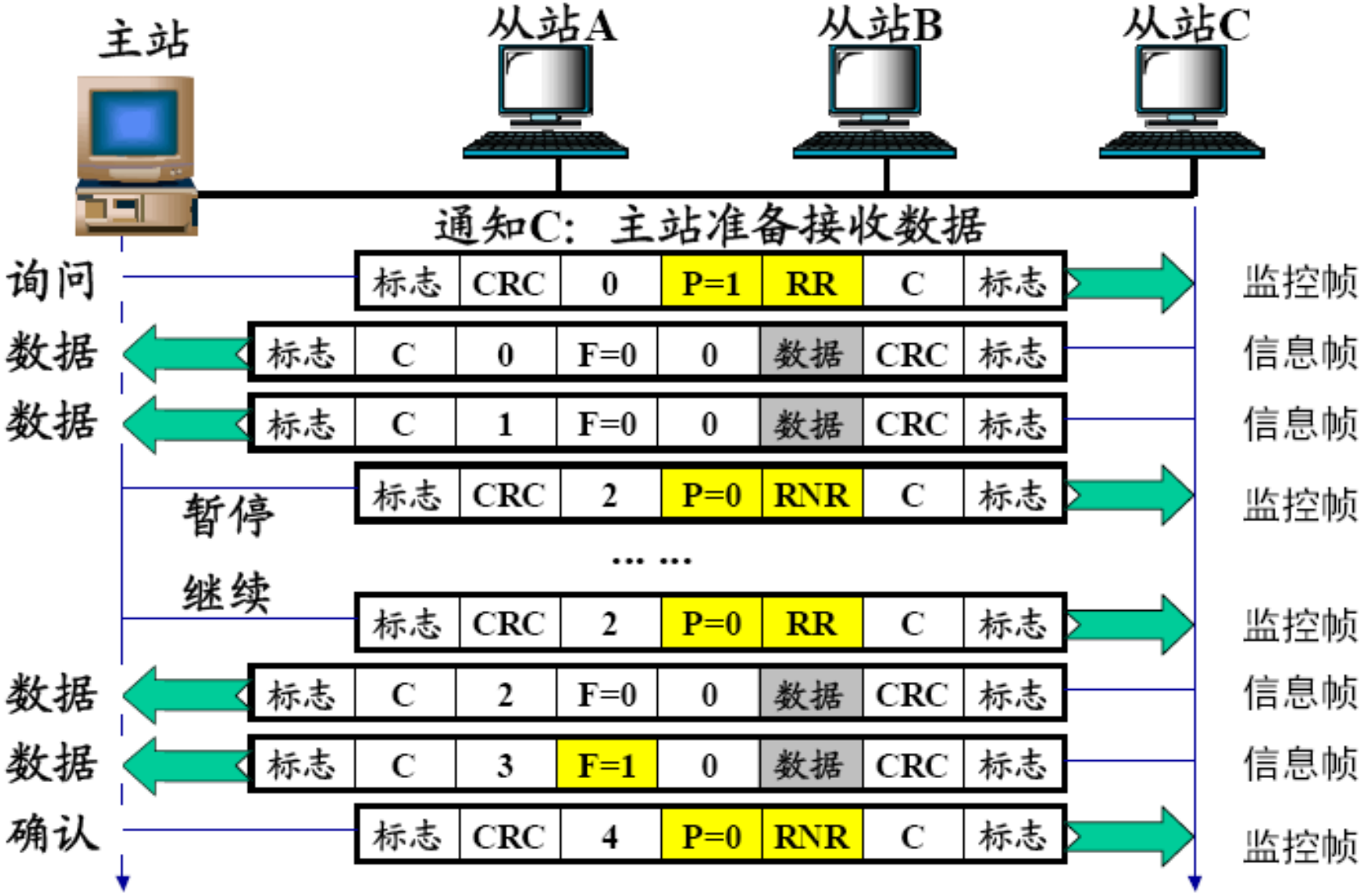
RR和RNR具有流量控制作用。

REJ用于回退N帧ARQ协议；SREJ用于选择重发协议。

回退N步（Go-back-N）

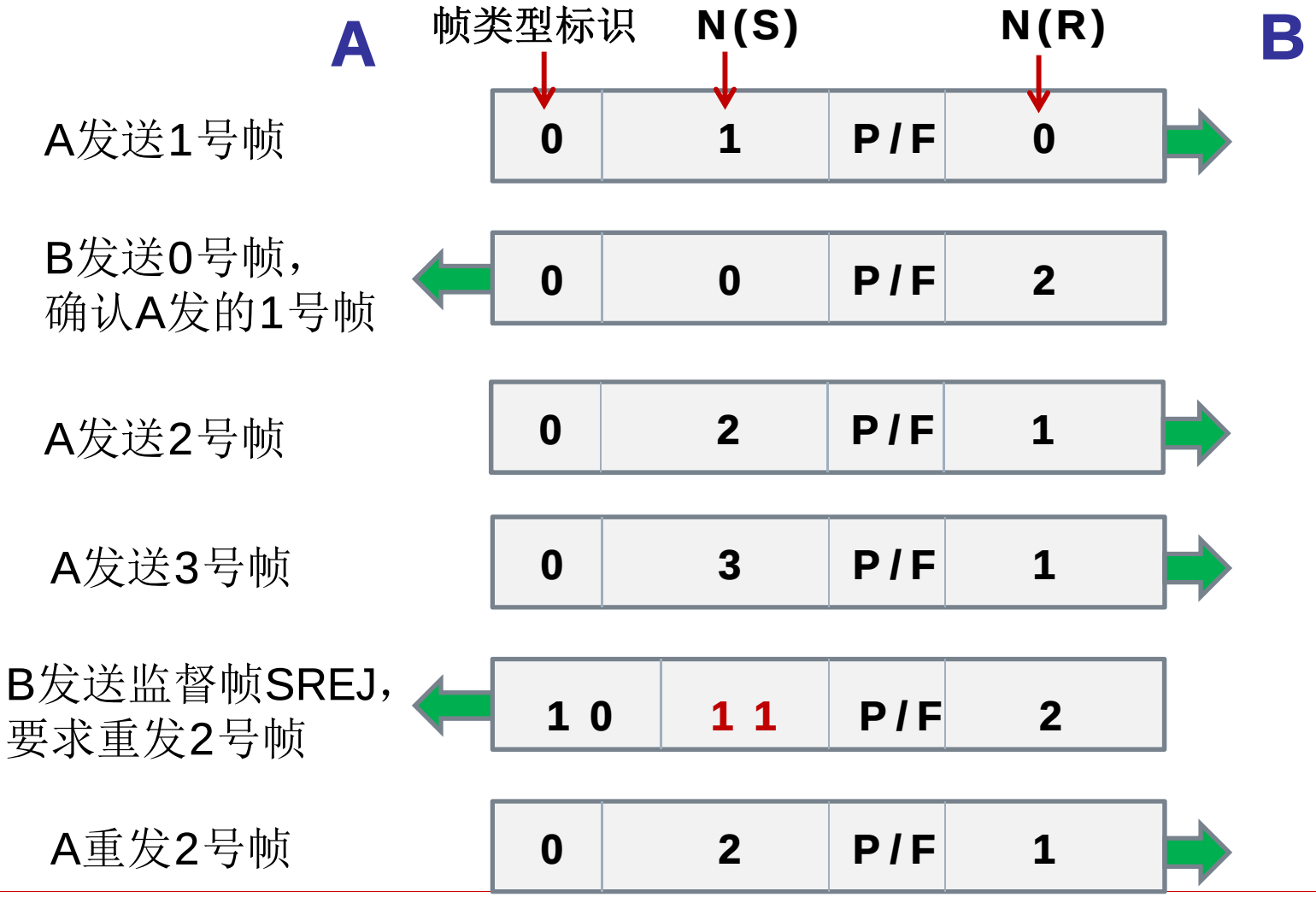
[来源于网络]

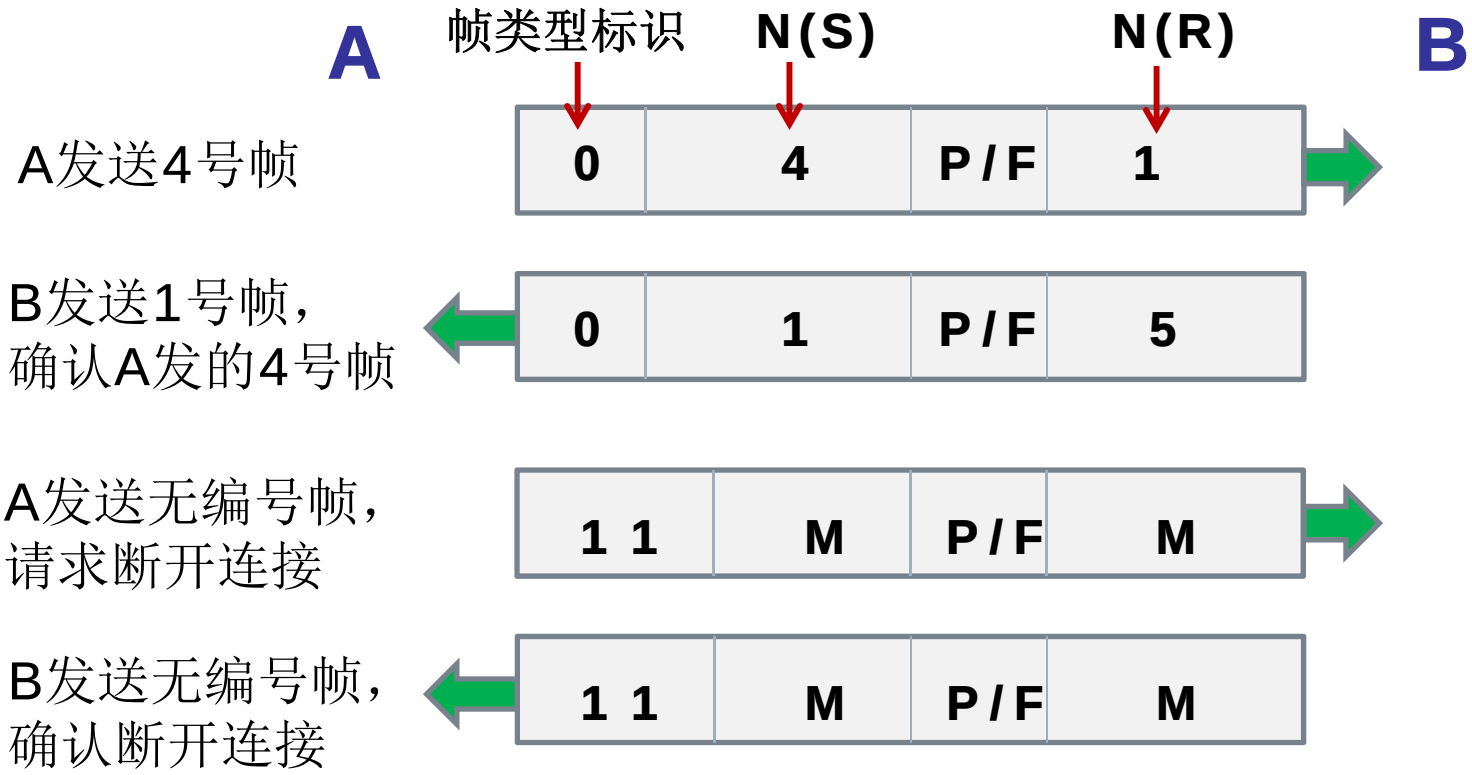
HDLC进行询问示例：从站数据→主站



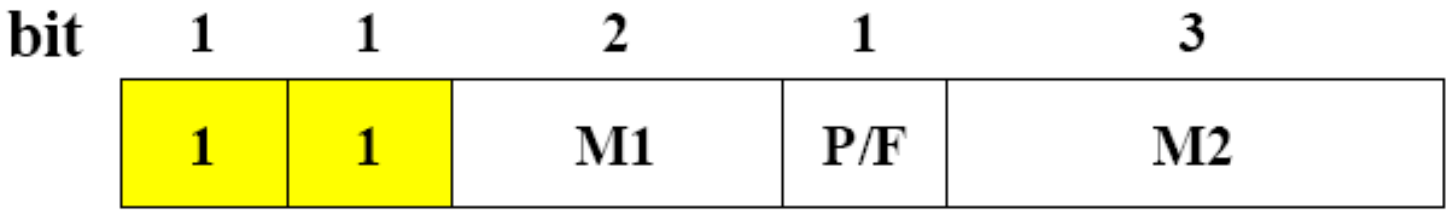
[来源于网络]

HDLC数据传输示例（书p177 图5-15）




A
帧类型标识
N(S)
N(R)
B
A发送4号帧
0
4
P/F
1
B发送1号帧，
确认A发的4号帧
0
1
P/F
5
A发送无编号帧，
请求断开连接
1 1
M
P/F
M
B发送无编号帧，
确认断开连接
1 1
M
P/F
M

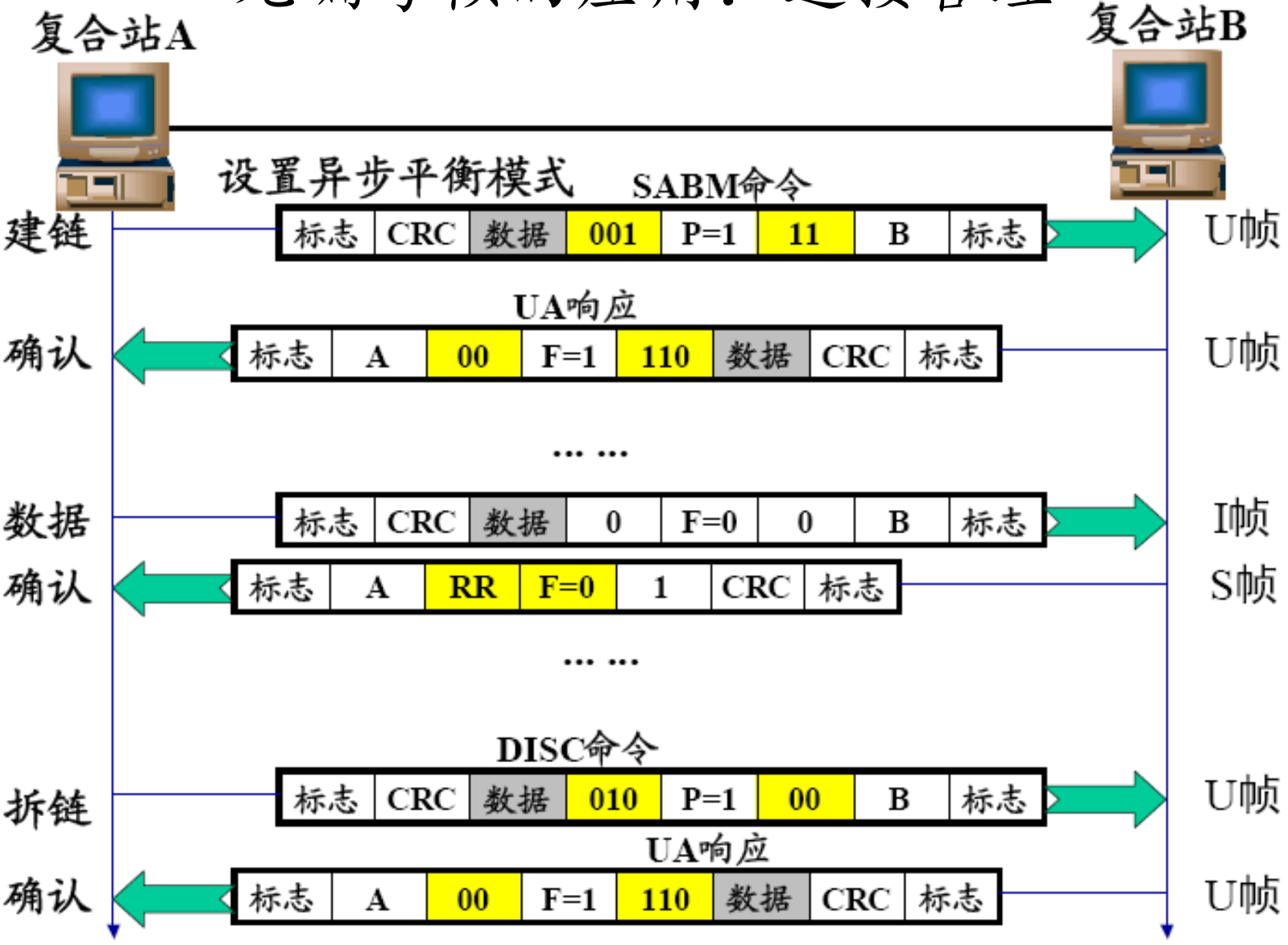
HDLC帧中的控制字段：无编号帧



M1	M2	帧 名	功 能
00	001	SNRM（命令）	设置正常响应模式
11	000	SARM（命令）	设置异步响应模式
11	100	SABM（命令）	设置异步平衡模式
00	010	DISC（命令）	断开连接
00	110	UA（响应）	对U帧命令确认
…	…	……	……

[来源于网络]

无编号帧的应用：连接管理



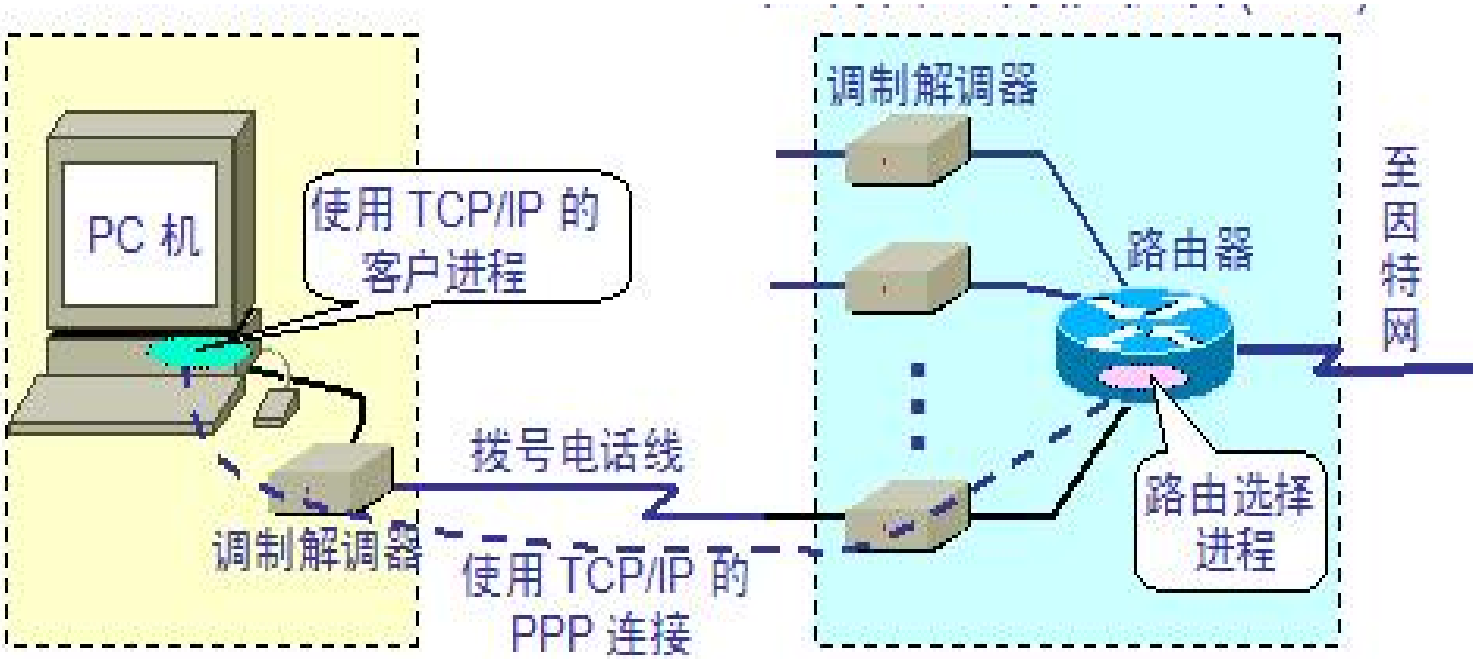
[来源于网络]

内容提要

- 5.1 数据链路层的功能及服务
- 5.2 数据链路层的成帧原理
- 5.3 差错检测与纠错技术
- 5.4 数据链路层的编址
- *5.5 数据链路层的协议实例*
  - HDLC协议
  - *PPP协议*
- 5.6 数据链路层的安全隐患

PPP协议

- 点对点协议（Point-to-Point Protocol）
- 用户使用电话线接入因特网时使用
  - 用户与ISP之间的通信协议



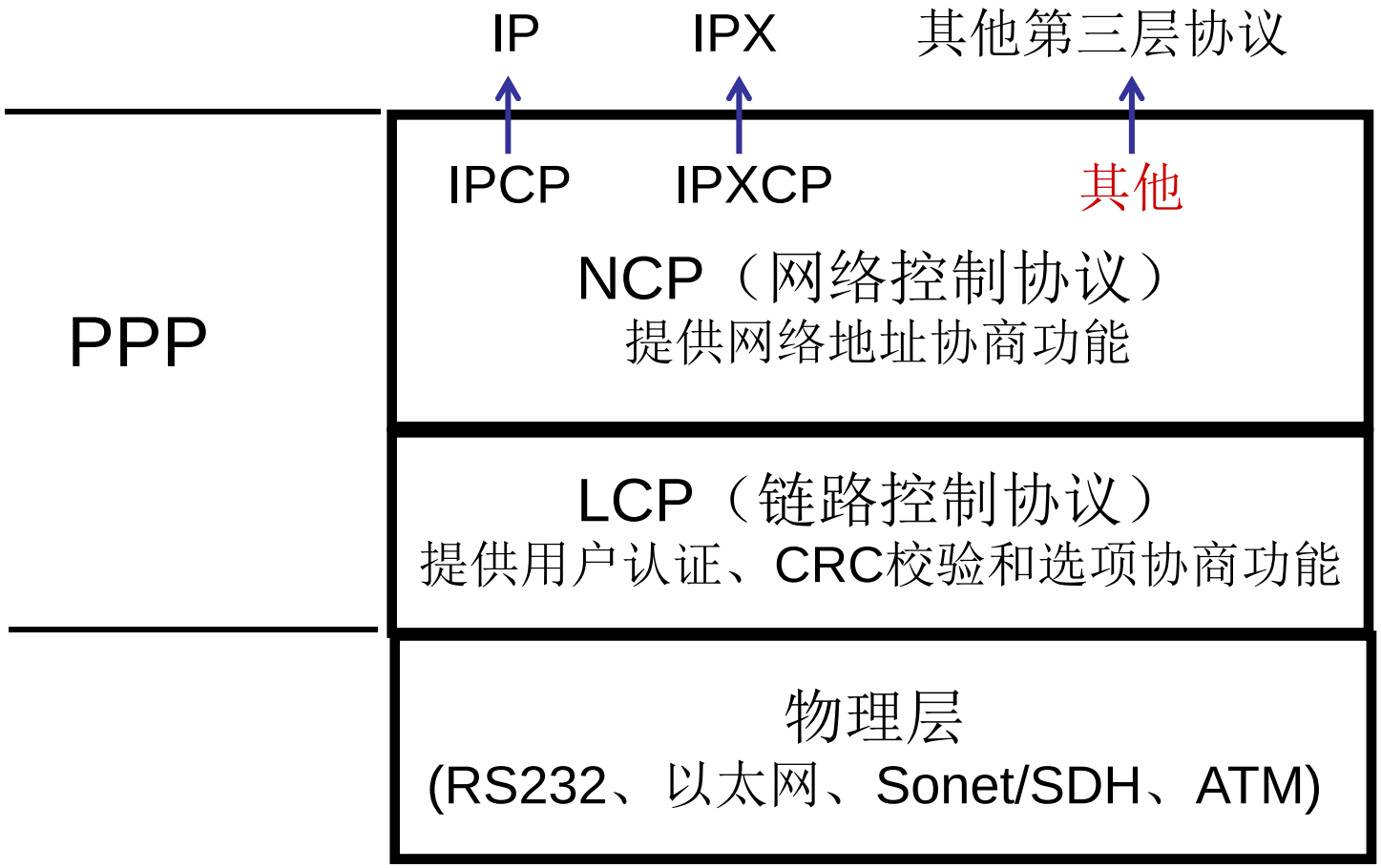
[谢]

PPP协议的特点

RFC 1661,1662,1663

- 简单
- 面向连接
- 支持多种网络层协议
- 支持多种类型的物理链路
- 提供了建立数据链路连接、用户认证、帧头压缩协商等多种能力
- PPP取消了HDLC的下列功能：
  - 差错恢复（只检错不纠错）
  - 流量控制
  - 序号
  - 点到多点链路

PPP的三个子层

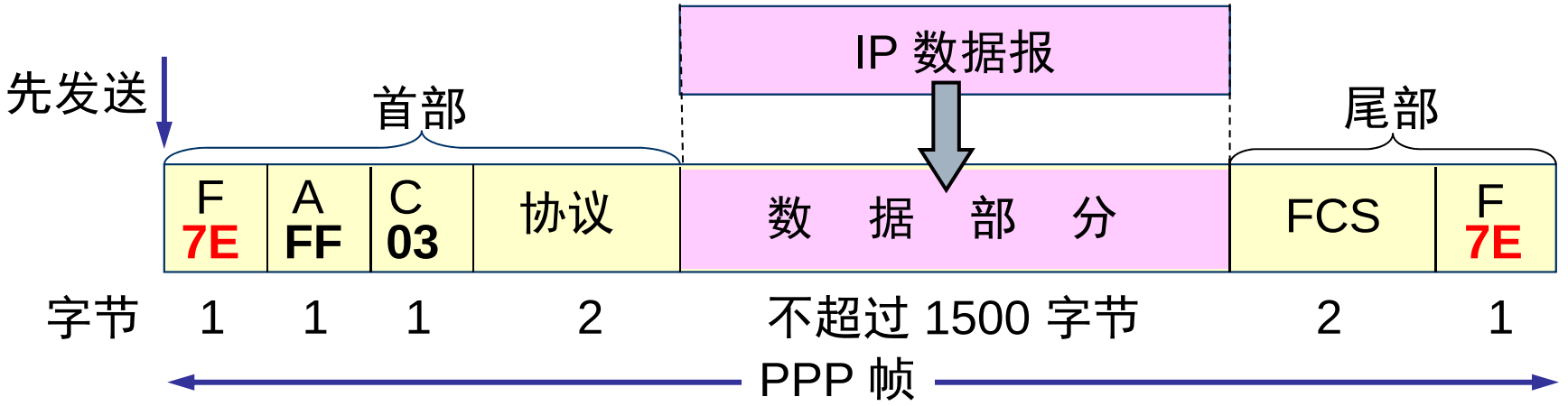


PPPoE：PPP over Ethernet

PPP支持的传输模式

- **同步传输**：以多个字符或多个比特组成的数据块——帧为传输单位，在帧的起始进行同步，使帧内维持固定的时钟
  - 位同步
  - 字节同步
- **异步传输**：以字符作为独立的传输单位，在每个字符的起始处开始对字符内的比特实现同步，但字符与字符之间的间隔时间是不固定的(字符之间是异步)

PPP的帧格式：PPPoE



- 面向字符，即整个帧的长度为字节的整数倍
- 地址：FF表示任意站点
- 控制：03表示无编号帧
- 协议：表示数据部分是哪个协议的数据包，例如LCP、NCP、IP、IPX、AppleTalk……
- FCS：采用CRC-16

[谢]

PPP的透明传输

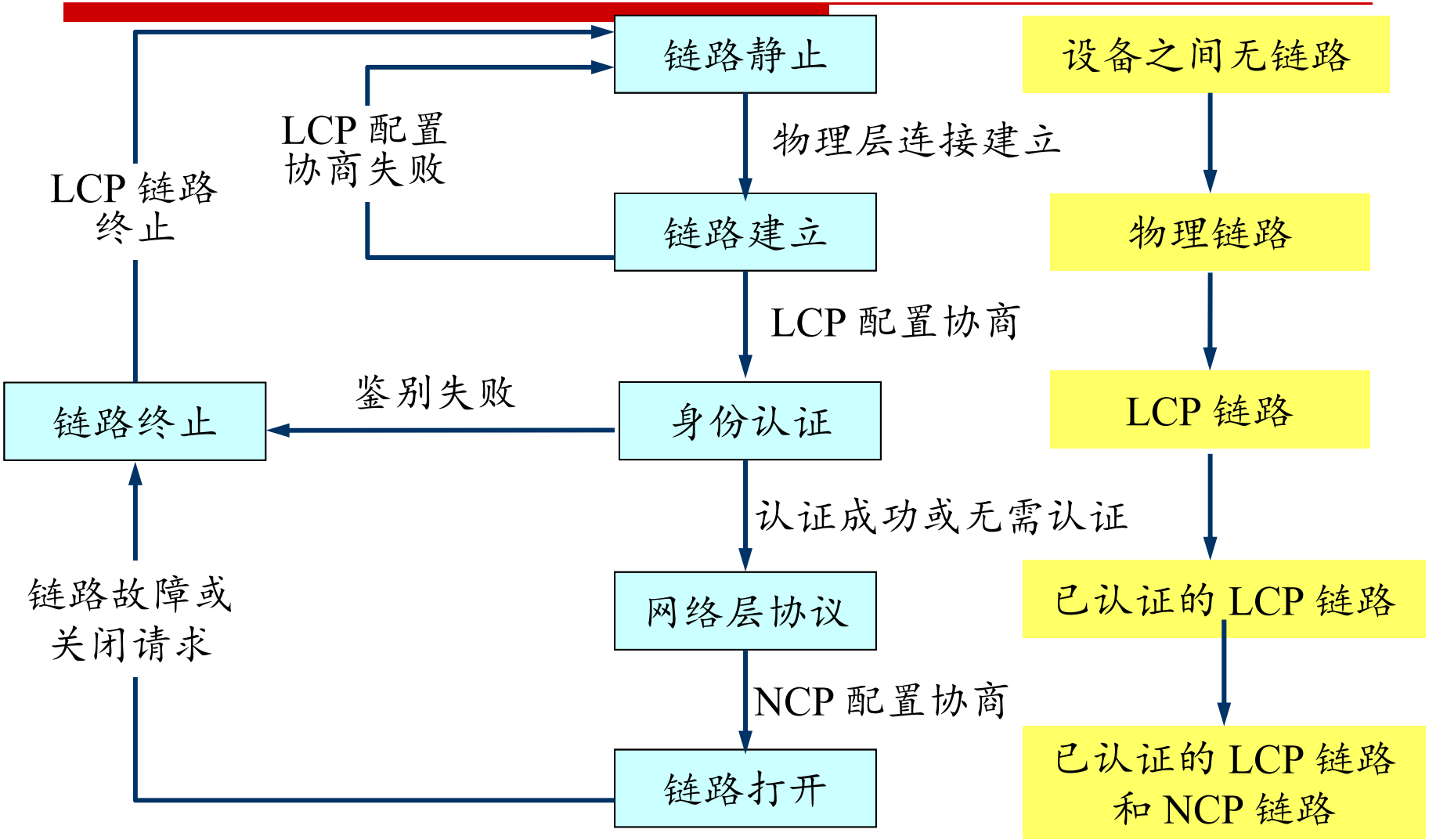
- 在异步传输模式和字节同步传输模式下，采用字符填充
  - 转义字符：0x7D
  - 0x7E→ 0x7D 0x5E
  - 0x7D→ 0x7D 0x5D
  - 在ASCII码控制字符(≤0x20)前面也要加上0x7D

- 在位同步传输模式下，采用零比特填充
  - 用于同步传输的SONET/SDH 链路时，在连续的5个“1”比特之后填充一个比特“0”

PPP协议的工作过程：拨号上网

- 当用户拨号接入ISP时，ISP的路由器（接入服务器）确认并建立一条物理连接
- 用户计算机向路由器发送多个LCP分组，建立数据链路连接，进行用户认证和MTU、压缩标准等选项协商
- 使用NCP，为用户计算机分配IP地址，开始网络通信
- 通信结束后，收回IP地址，释放数据链路连接
- 释放物理连接

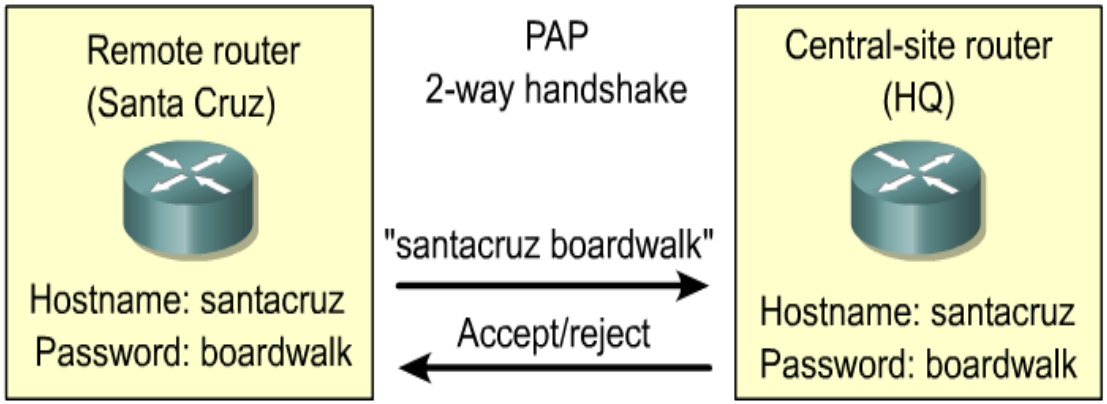
拨号上网时，PPP工作过程



[谢]

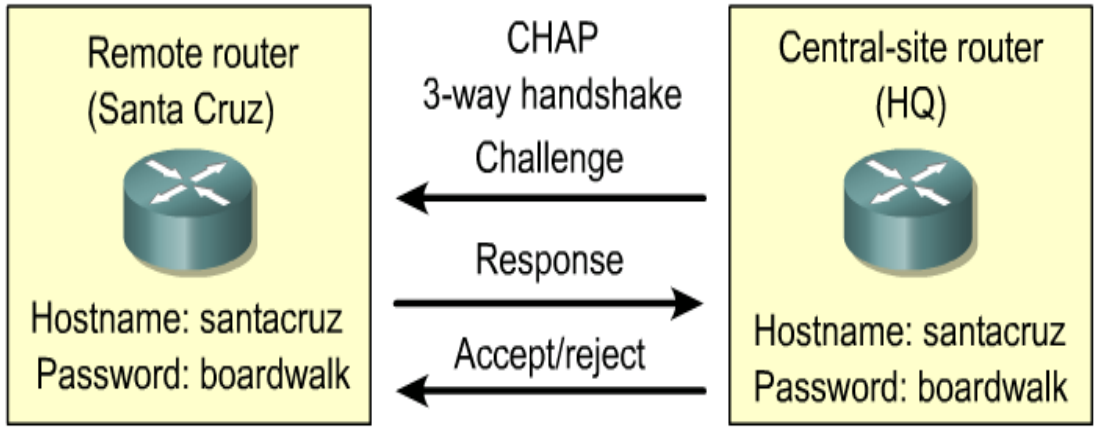
PPP身份认证：PAP 或 CHAP

PAP: Password Authentication Protocol



- 密码明文传输
- 用户控制尝试登录的次数

CHAP： Challenge Handshake Authentication Protocol



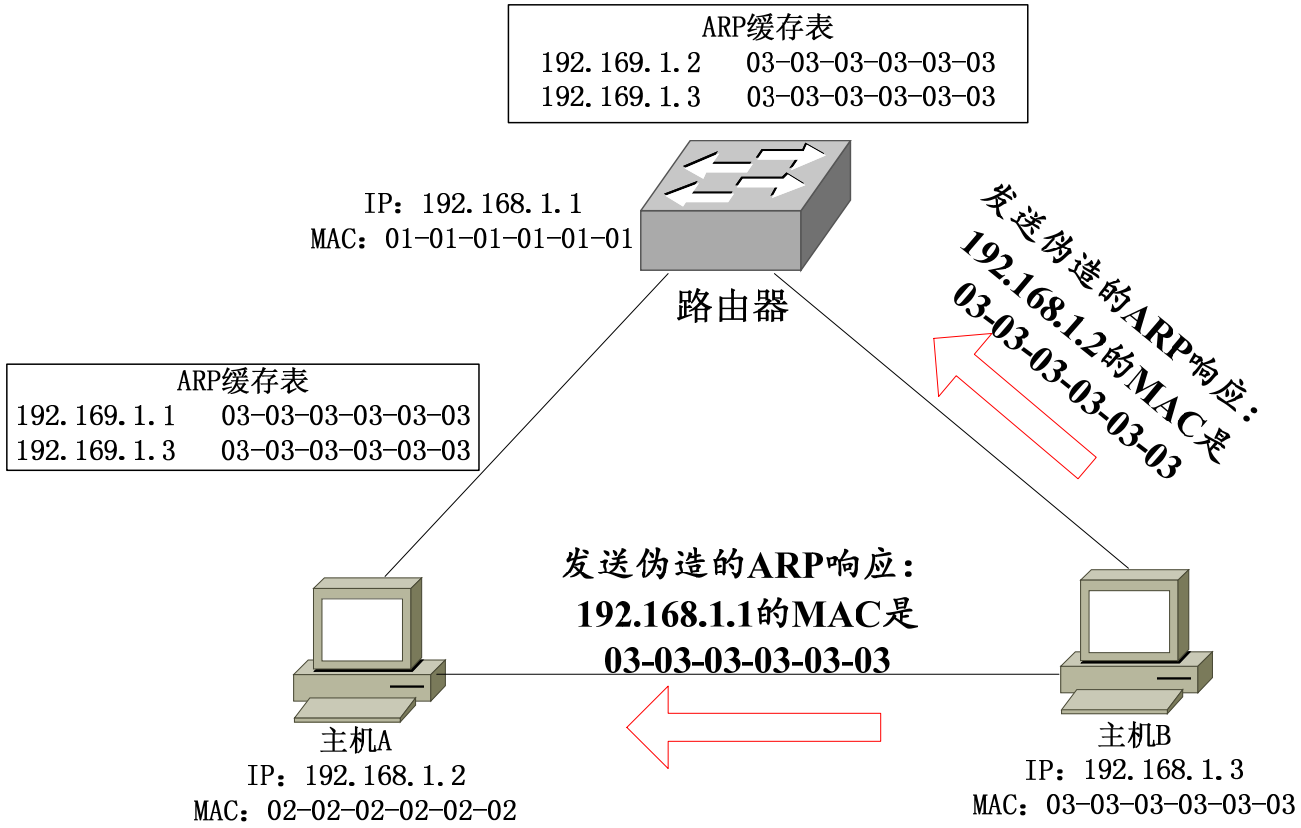
- ISP 路由器发送Challenge消息，包含一个由MD5计算出的值
- 用户根据Challenge值产生响应
- 密码加密传输
- 登录次数由ISP控制

内容提要

- 5.1 数据链路层的功能及服务
- 5.2 数据链路层的成帧原理
- 5.3 差错检测与纠错技术
- 5.4 数据链路层的编址
- 5.5 数据链路层的协议实例
- *5.6 数据链路层的安全隐患*

ARP欺骗

- 伪造IP地址和MAC地址，发送虚假的ARP请求/响应报文，导致LAN内的其他主机在ARP缓存表中记录错误的信息，从而将IP包发送给假冒主机



MAC地址洪泛攻击

- 在LAN交换机中，交换机的端口与所连接设备的MAC地址的映射保存在CAM (Content Addressable Memory，内容寻址存储器)中
- 收到数据帧时，LAN根据CAM表确定转发的端口
- MAC地址泛洪攻击又称为CAM表溢出攻击
- 攻击者向交换机发送大量虚构的具有不同源MAC地址的数据帧，导致交换机的CAM表填满，交换机进入失效开放（fail open）模式，对收到的数据帧进行洪泛式转发
- 攻击者将截获来自所有其他主机的信息

第五章小结

- 数据链路层的功能及服务
- 数据链路层的技术要点
  - 成帧及透明传输：字符填充、比特填充、物理层编码违例法
  - 差错控制：CRC的原理、汉明码的原理
  - MAC地址和ARP的功能
- 数据链路层协议实例
  - HDLC的主要概念
  - PPP的应用场合、分层及主要协议、成帧
- ARP欺骗和MAC洪泛攻击的概念

版权说明

- 本讲义中有部分图片来源于下列教材所附讲义：
  - Andrew S. Tanenbaum, Computer Networks, Fourth Edition, 清华大学出版社（影印版），2004，引用时标记为*[Tanenbaum]*;
  - 谢希仁，计算机网络，第五版，电子工业出版社，2008年1月,引用时标记为*[谢]*;
  - Behrouz A. Forouzan，Data Communications and Networking，Fourth Edition, McGraw-Hill Higher Education, 2007年1月，引用时标记为*[Forouzan]*
  - James F. Kurose, Keith W. Ross著，陈鸣译，计算机网络：自顶向下方法，机械工业出版社，2009，引用时标记为*[Kurose]*;
  - 部分图片来源于网络，未找到确切来源，引用时标记为*[来源于网络]*。

本章作业（1）

- Q1-2：教材p182-183: 5-8, 5-9,
- 补充题：
- Q3： 设要传输的数据是：0001 0000 0111 1110 1110 1111 1111 1100， （1）分别写出采用下列方法构成的帧：

  (a) 字符计数法；

  (b) BISYNC的字符填充法；

  (c) 零比特填充法；

  (d) RS-232 串行传输：每个8比特字符前面增加1个起始比特“0”，后面增加1个停止比特“1”。
- （2）计算上述每种方法的效率（有效数据量/传输总数据量）。

本章作业（2）

- Q4：若要传输一个ASCII字符m(1101101)，采用汉明码进行校验（假定采用偶校验）

  （1）校验信息至少应该为多少比特？

  （2）请写出完整的传输码字。

- Q5：RARP 协议和DHCP/BOOTP协议都是通过MAC地址来获得本主机的IP 地址，这两个协议有哪些区别？
- Q6：在本讲义45页的图中，主机A要发送一个IP 包给主机B，假设主机A和路由器的ARP 缓存表均为空，请写出这个IP 包的传输过程。
- Q7: 教材p187 5.9.3