



第3章 数据链路层





两个和数据链路层有关的概念

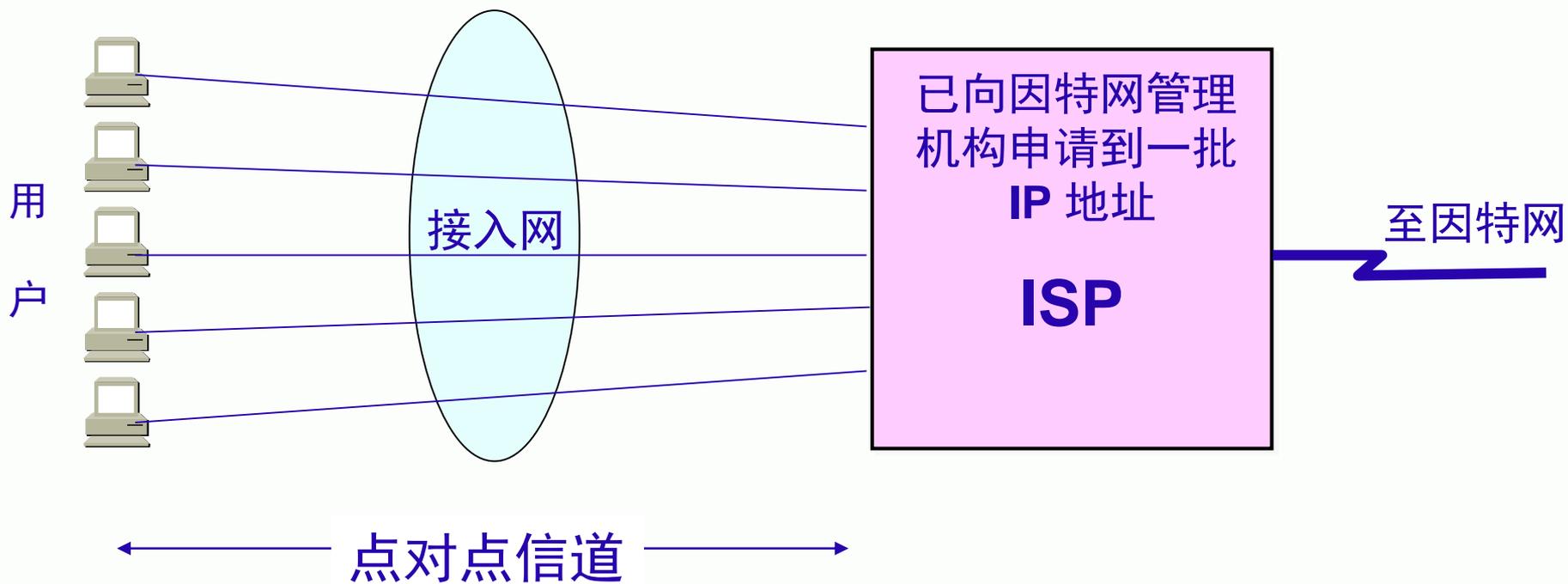


1. 数据链路层的信道

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

点对点对信道举例



广播信道举例



广播信道

2. 在数据链路层上通信

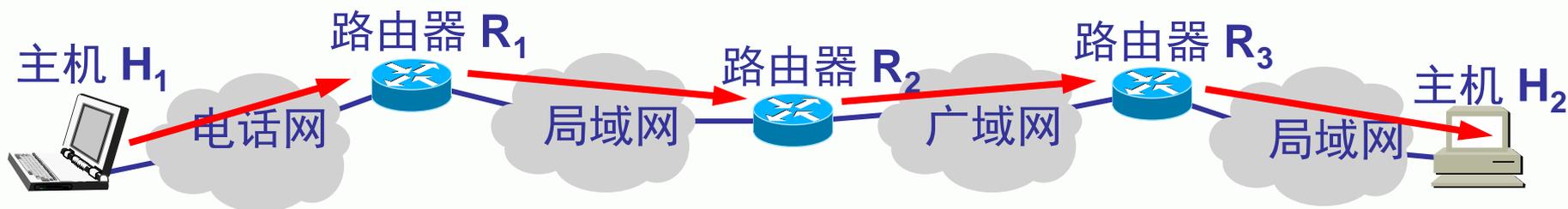
看一下两个主机通过互联网进行通信时，数据链路层所处的地位：





2. 在数据链路层上通信

主机 H_1 和主机 H_2 通过互联网通信



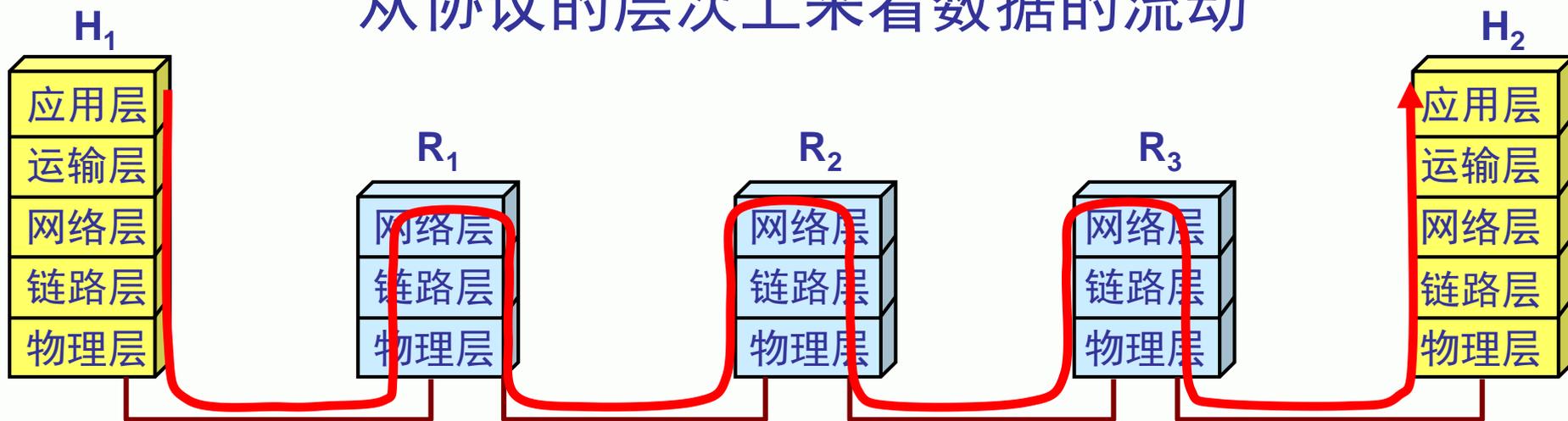
主机 H_1 通过电话线上网，中间经过三个路由器连接到远程主机 H_2 ，所经过的网络可以是多种的，如电话网、局域网和广域网。





2. 在数据链路层上通信

从协议的层次上来看数据的流动

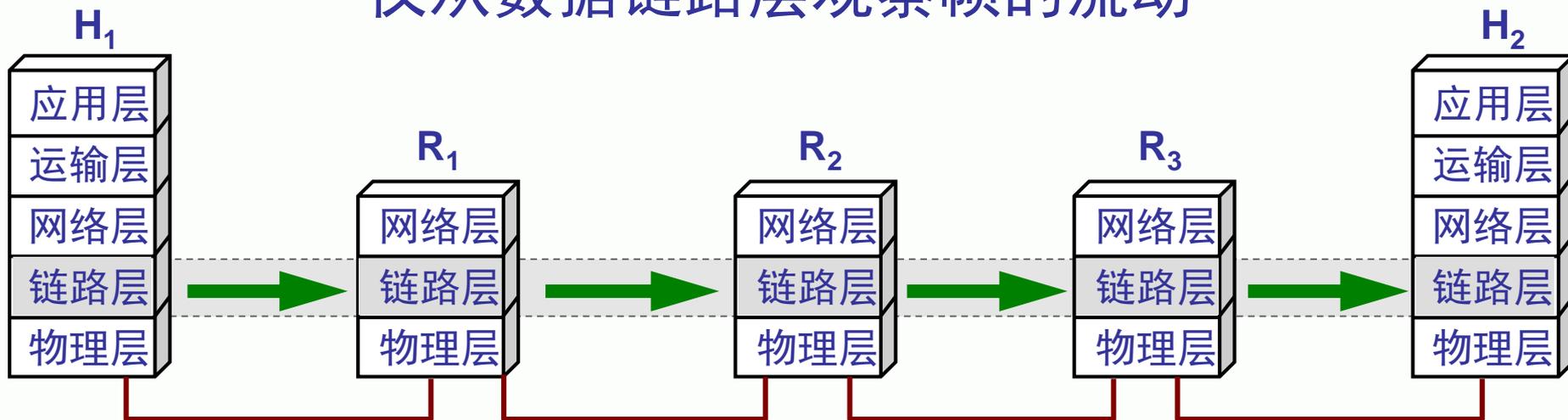


从协议的层次上看：主机H₁和主机H₂都有完整的五层协议栈，数据进入路由器后要从物理层上到网络层，在转发表中找到下一跳的地址后，再下到物理层转发出去。数据的流动如上图所示。



2. 在数据链路层上通信

仅从数据链路层观察帧的流动



当我们专门研究数据链路层的问题时，很多情况下可以只关心协议栈中的各数据链路层。于是当主机1向主机2发送数据时，可以想象数据就是在数据链路层从左向右水平传送。



3.1 使用点对点信道的数据链路层

返回



3.1 使用点对点信道的数据链路层

3.1.1 数据链路和帧

返回



3.1.1 数据链路和帧

◆ 链路与数据链路

- 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。
一条链路只是一条通路的一个组成部分。



3.1.1 数据链路和帧

◆ 链路和数据链路

- **数据链路** (data link) 除了物理线路外，还必须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。



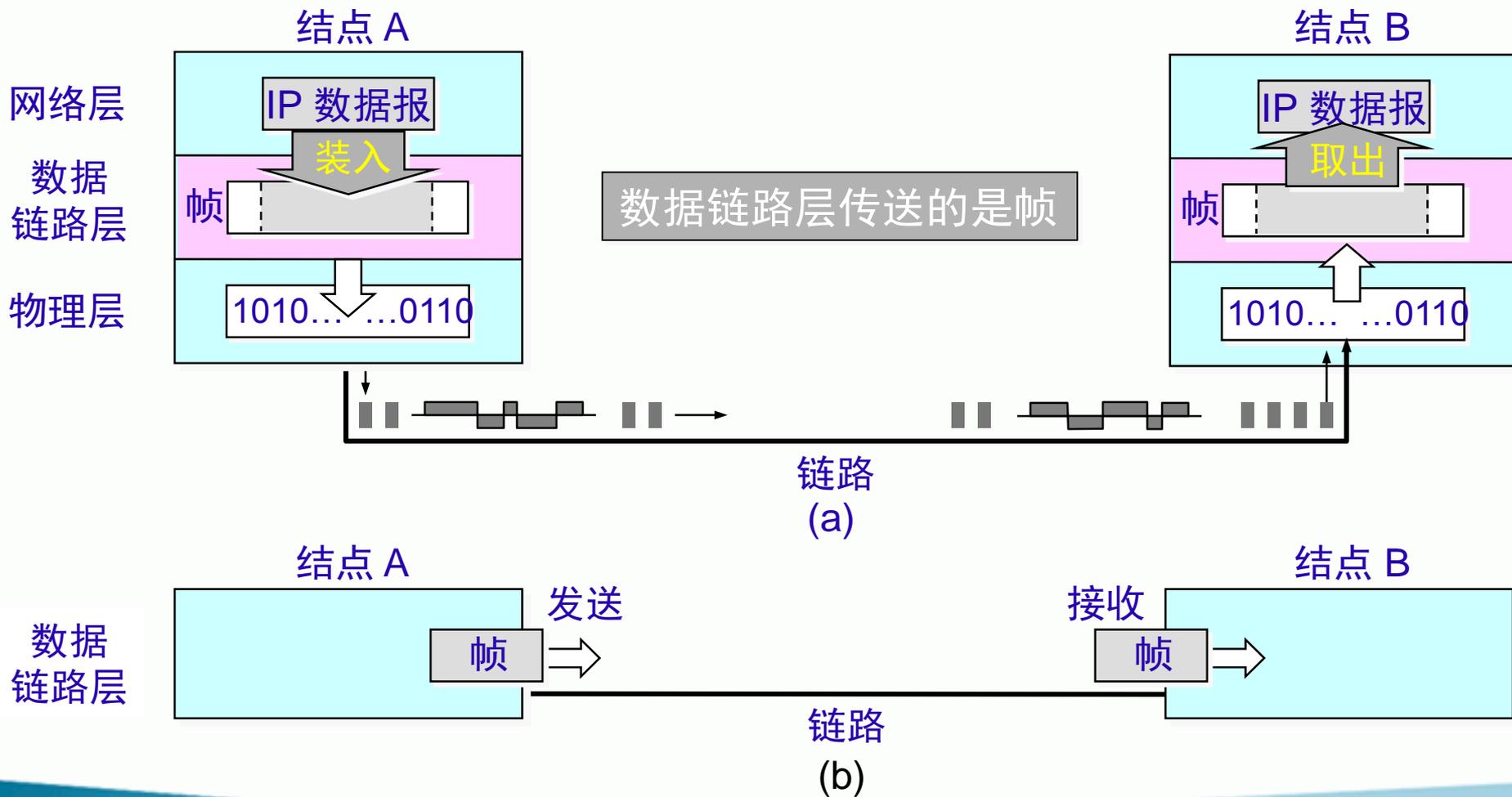
3.1.1 数据链路和帧

◆ 帧

- 在传递数据时，从一层传递到另一层之前，将数据分成数据单元，称为**协议数据单元PDU**，然后向上或者向下从一层传递到另一层。
- 在每一层上，该层的软件在PDU上添加了它自己的特殊格式或者地址，从而允许它的有效载荷成功地通过网络传递。
- 数据链路层的PDU被称作**帧**。



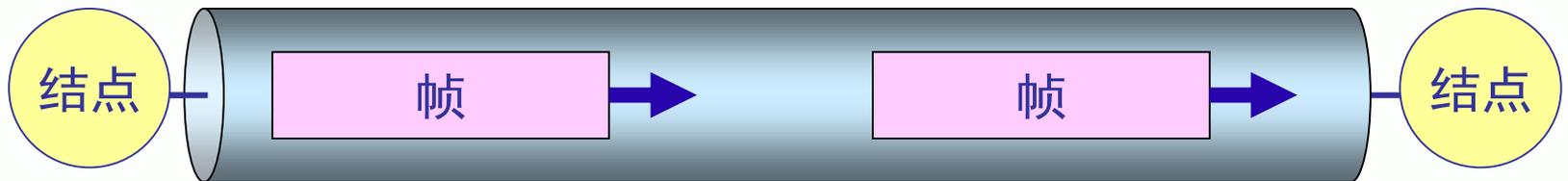
3.1.1 数据链路和帧





数据链路层像个数字管道

- 常常在两个对等的数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**。



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

返回



3.1.2 三个基本问题

- (1) 封装成帧
- (2) 透明传输
- (3) 差错控制



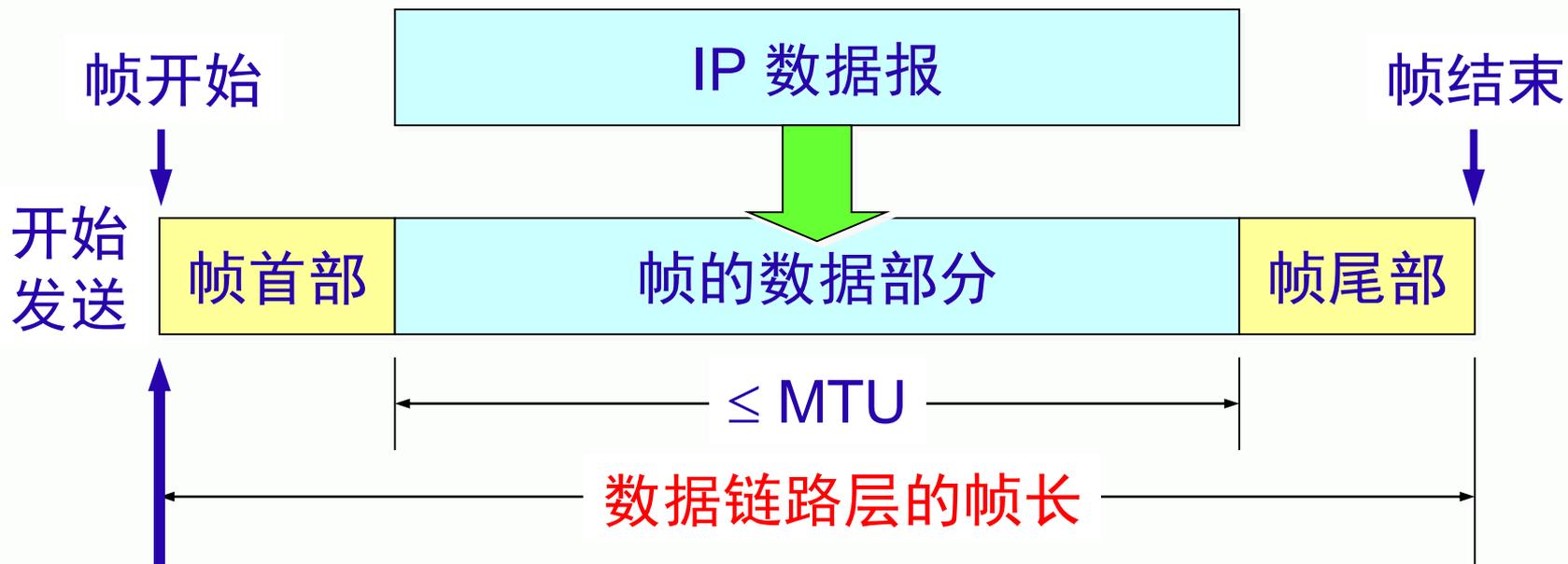
1. 封装成帧

◆ 封装成帧：

- 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。
- 首部和尾部的一个重要作用就是进行**帧定界**。这样接收端收到物理层上交的比特流后，就可以从比特流中**识别帧的开始和结束**。



1. 封装成帧



1. 封装成帧

◆ 用什么作为“帧定界符”？

如果所传输的数据都是可打印的ASCII码组成的文本文件时，帧定界符可使用ASCII码中的控制字符。



美国标准信息交换码

(American Standard Code for Information Interchange)



美国标准信息交换码（ASCII）

- ASCII码是7位编码，一共可组合成128个不同的ASCII码；
- 可打印的有95个：例如A~Z，a~z，0~9 等；
- 不可打印的控制字符有33个：例如 SOH、EOT、NUL、ESC等

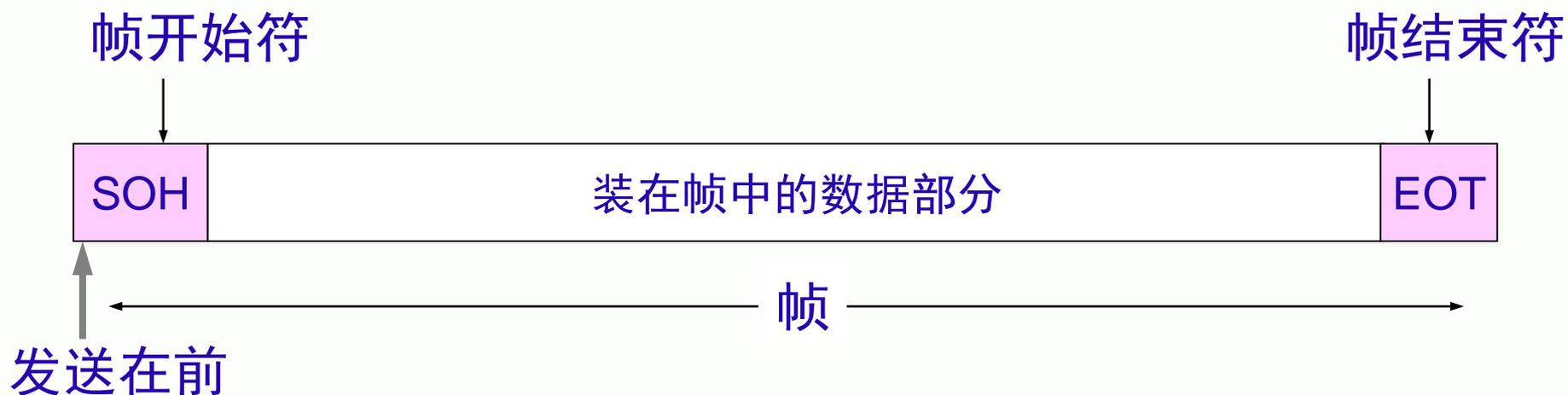
$D_3D_2D_1D_0$	$D_6D_5D_4$							
	000	001	010	011	100	101	110	111
0000	NUL	DLE	空格	0	@	P	`	p
0001	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0010	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0011	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0100	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
0101	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0110	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0111	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
1000	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
1001	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1010	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1011	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
1100	FF	FS	,	<	L	\	l	|
1101	CR	CS	-	=	M	]	m	}
1110	SO	RS	.	>	N	^	n	~
1111	SI	US	/	?	O	_	o	DEL

<<<<

<<<<

1. 封装成帧

用控制字符进行帧定界的方法举例



差错检测，丢弃不完整帧

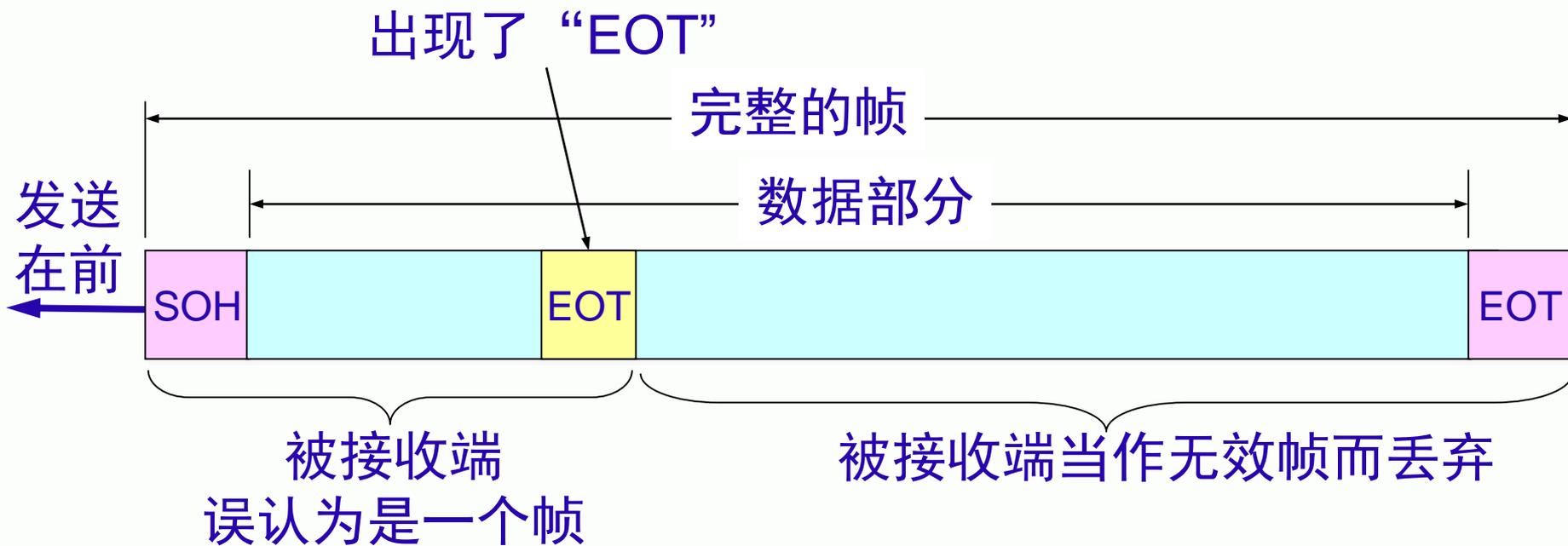


2. 透明传输

- 如果所传输的数据都是可打印的ASCII码组成的文本文件时，数据可在帧定界符中“透明传输”过去。
- 当数据部分是非ASCII码文件时（如二进制代码的程序或图像），则数据中某个字节的二进制代码，就有可能恰好和SOH和EOT这种控制字符一样……
- 这会出现什么情况？



2. 透明传输





解决透明传输问题

➤ 字节填充

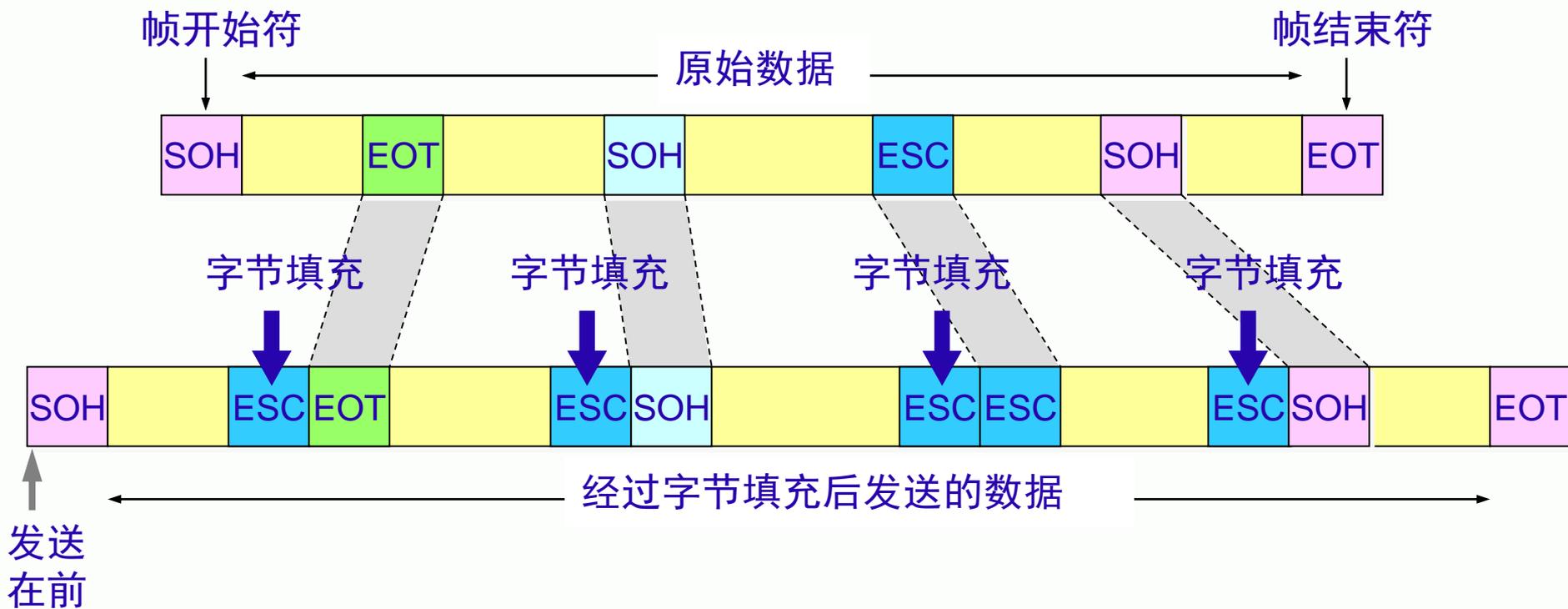
- 发送端的数据链路层在数据中出现控制字符“SOH”或“EOT”的前面插入一个转义字符“ESC”（其十六进制编码是 1B）。
- 接收端的数据链路层在将数据送往网络层之前，删除插入的转义字符。
- 如果转义字符也出现数据当中，那么应在转义字符前面插入一个转义字符。当接收端收到连续的两个转义字符时，就删除其中前面的一个。

$D_3D_2D_1D_0$	$D_6D_5D_4$							
	000	001	010	011	100	101	110	111
0000	NUL	DLE	空格	0	@	P	`	p
0001	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0010	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0011	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0100	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
0101	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0110	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0111	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
1000	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
1001	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1010	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1011	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
1100	FF	FS	,	<	L	\	l	|
1101	CR	CS	-	=	M	]	m	}
1110	SO	RS	.	>	N	^	n	~
1111	SI	US	/	?	O	_	o	DEL





用字节填充法解决透明传输的问题



3. 差错检测

➤ 比特差错

- 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。



3. 差错检测

➤ 循环冗余检验 (CRC)

- 在发送端

- ① 先把数据划分为组。
- ② 在每个分组后面再添加供差错检测用的 n 位冗余码 (冗余码称为帧检验序列 FCS (Frame Check Sequence), 和帧头一起形成一个帧。
- ③ 然后发送帧。



3. 差错检测

➤ 循环冗余检验 (CRC)

- 在接收端

- ① 在接收端，将收到的数据以帧为单位进行CRC校验：每一帧除以同样的除数 P ，然后检查得到的余数 R 是否为0
- ② 若得出的余数 $R = 0$ ，则判定这个帧没有差错，就接受(accept)。
- ③ 若余数 $R \neq 0$ ，则判定这个帧有差错，就丢弃。



3. 差错检测

➤ 要注意的几个问题

1. 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。

2. 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)。**无法实现**向网络层提供“**可靠传输**”。即“发送什么，收到什么”。

3. “无比特差错”与“无传输差错”



3. 差错检测

➤ 要注意的几个问题

4. 要做到“可靠传输”（即发送什么就收到什么）就必须再加上**帧编号、确认和重传机制**。
5. 可靠传输的机制放在**哪一层**？
 - 数据链路层（OSI）
 - 传输层（TCP/IP）



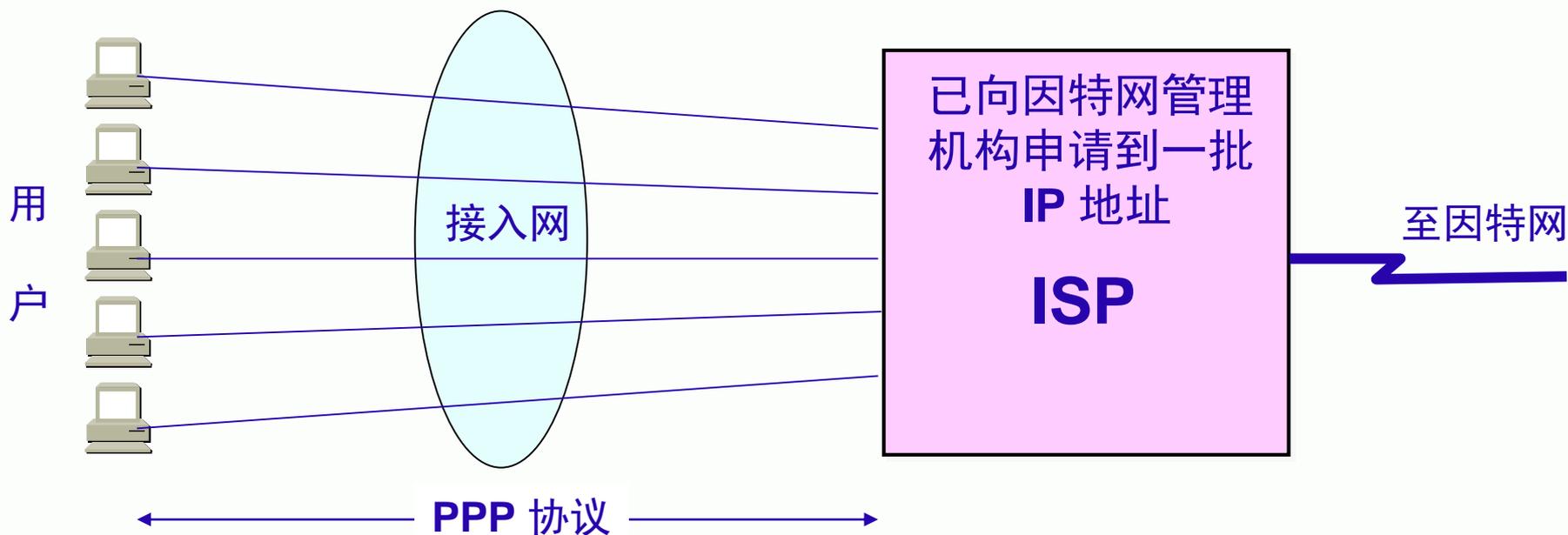
3.2 点对点协议PPP

3.2 点对点协议PPP

PPP协议

- 对于点对点链路，**点对点协议** PPP (Point-to-Point Protocol) 是使用最广泛的数据链路层协议。
- 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协议就是用户计算机与ISP进行通信时所使用的数据链路层协议。
- PPP协议是广域网协议
- PPP协议由IETF（因特网工程部）制定，是因特网的正式标准（RFC1661）。

用户到 ISP 的链路使用 PPP 协议



3.2 点对点协议PPP

3.2.1 PPP协议的特点

返回



1. PPP 协议应满足的需求

- **简单**：这是首要的要求，。
- **封装成帧**：确定帧定界符
- **透明性**：定界符的唯一性
- **多种网络层协议**：例如IP和IPX
- **多种类型链路**：串行或并行、低速或高速
- **差错检测**：CRC
- **最大传送单元**：帧中可以载荷的数据部分的最大长度
- **网络层地址协商**：使两端的网络层能够通过协商知道或配置彼此的网络层地址。



2. PPP 协议不需要的功能

- **纠错**：TCP/IP协议族中，由TCP负责
- **流量控制**：TCP/IP协议族中，由TCP负责
- **序号**：PPP是不可靠的，不需要使用序号
- **多点线路**：只支持点到点
- **半双工或单工链路**：只支持全双工

3. PPP 协议的组成

- **封装**：一种封装多协议数据报的方法。
- **链路控制协议（LCP）**：一种扩展链路控制协议，用于建立、配置、测试和管理数据链路连接。
- **网络控制协议（NCP）**：协商该链路上所传输的数据包格式与类型，建立、配置不同的网络层协议；（NCP不是一种协议，它的全称是网络控制协议，也就是说最后双方都遵循的数据传输协议，可以是IPCP，也可以是IPXCP）

3.2 点对点协议PPP

3.2.2 PPP 协议的帧格式

返回

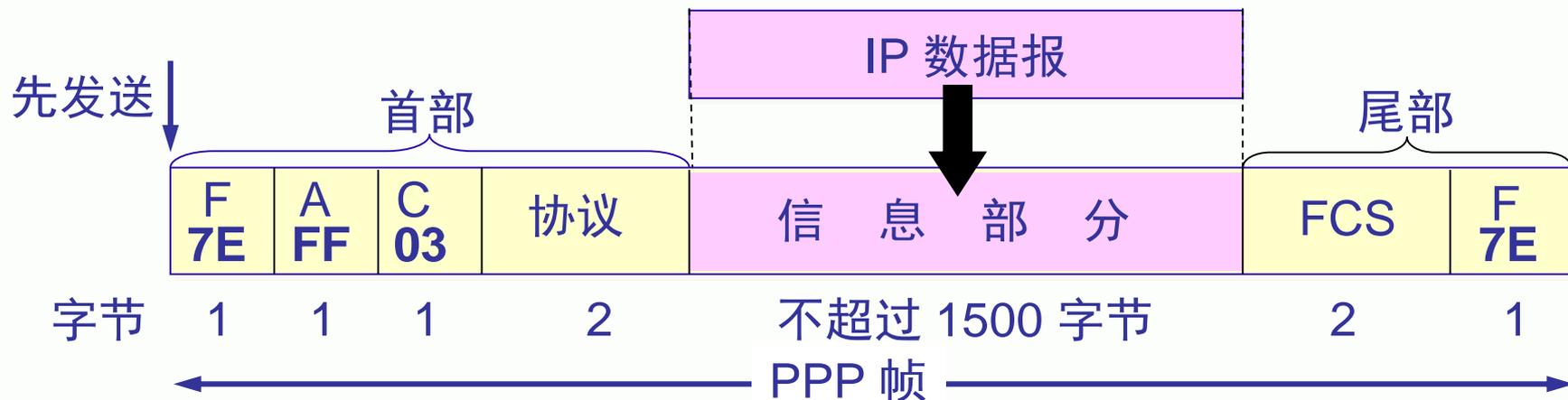


3.2.2 PPP 协议的帧格式

1. 帧格式的含义

- 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。
- 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。
 - 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。

2. 透明传输问题

- 当 PPP 用在同步传输链路时，协议规定采用硬件来完成比特填充
- 当 PPP 用在异步传输时，就使用一种特殊的字符填充法。

3.2.2 PPP 协议的帧格式

2. 透明传输问题

- 当 PPP 用在同步传输链路时，协议规定采用硬件来完成比特填充
- 当 PPP 用在异步传输时，就使用一种特殊的字符填充法。



➤ 字符填充

- 将信息字段中出现的每一个 0x7E 字节转变成为 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。



➤ 零比特填充

- PPP 协议用在 SONET/SDH 链路时，是使用同步传输（一连串的比特连续传送）。这时 PPP 协议采用零比特填充方法来实现透明传输。
- 在发送端，只要发现有 5 个连续 1，则立即填入一个 0。接收端对帧中的比特流进行扫描。每当发现 5 个连续 1 时，就把这 5 个连续 1 后的一个 0 删除，

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 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 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

3.2 点对点协议PPP

3.2.3 PPP 协议的工作过程

返回





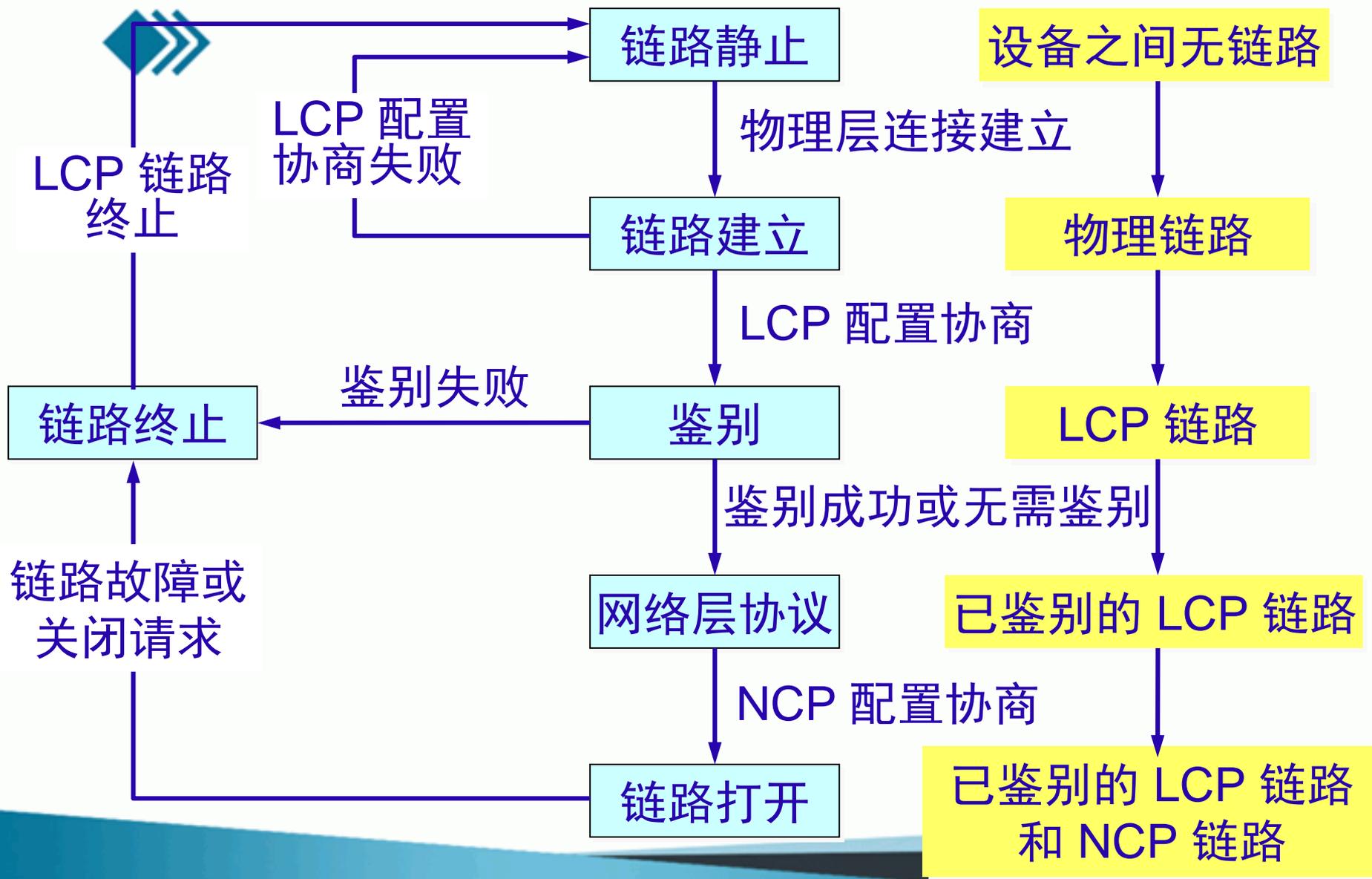
3.2.3 PPP 协议的工作过程

- ① 当一个PC终端拨号用户发起一次拨号后，此PC终端首先通过调制解调器呼叫远程访问服务器，如提供拨号服务的路由器。
- ② 当路由器上的远程访问模块应答了这个呼叫后，就建立起一个初始的物理连接。
- ③ 接下来，PC终端和远程访问服务器之间开始传送一系列经过PPP封装的LCP分组，用于协商选择将要采用的PPP参数。
- ④ 如果上一步中有一方要求认证，接下来就开始认证过程。如果认证失败，关闭物理链路回到空闲状态。如果认证成功则进行下一步。



3.2.3 PPP 协议的工作过程

- ⑤ 在这步骤中，通信双方开始交换一系列的NCP分组来配置网络层。对于上层使用的是IP协议的情形来说，此过程是由IPCP完成的。
- ⑥ 当NCP配置完成后，双方的逻辑通信链路就建立好了，双方可以开始在此链路上交换上层数据。
- ⑦ 当数据传送完成后，一方会发起断开连接的请求。这时，首先使用NCP来释放网络层的连接，归还IP地址；然后利用LCP来关闭数据链路层连接；最后，双方的通信设备或模块关闭物理链路回到空闲状态。





3.3 使用广播信道的数据链路层



3.3 使用广播信道的数据链路层

局域网的数据链路层使用的是广播信道，因此，在讨论关于广播信道的内容时，我们首先认识一下局域网。

3.3 使用广播信道的数据链路层

- 必须指出，局域网工作的层次跨越了数据链路层和物理层。由于局域网技术中有关数据链路层的内容比较丰富，因此我们就把局域网的内容放在数据链路层这一章讨论。
- 但是，这并不表示局域网仅仅和数据链路层有关。

3.3 使用广播信道的数据链路层

- (1) 局域网的特点
- (2) 局域网的分类
- (3) 局域网的标准
- (4) 关于共享信道的使用问题

返回





(1) 局域网有什么特点？





➤ 局域网的特点（1）

1. 网络所覆盖的地理范围比较小；
2. 数据的传输速率比较高；
3. 具有较低的延迟和误码率；
4. 局域网的经营权和管理权属于某个单位；
5. 协议简单、结构灵活、建网成本低、周期短、便于管理和扩充。





➤ 局域网的特点（2）

6. 局域网是一个通信网，主要体现物理层和数据链路层技术，高层功能由具体的操作系统来实现。
7. 内部大多采用**共享信道**技术，通常不单独设立网络层。
8. 我们研究局域网时，只把它当作一个通信网来研究，不考虑高层的协议。





(2) 局域网有哪些分类?

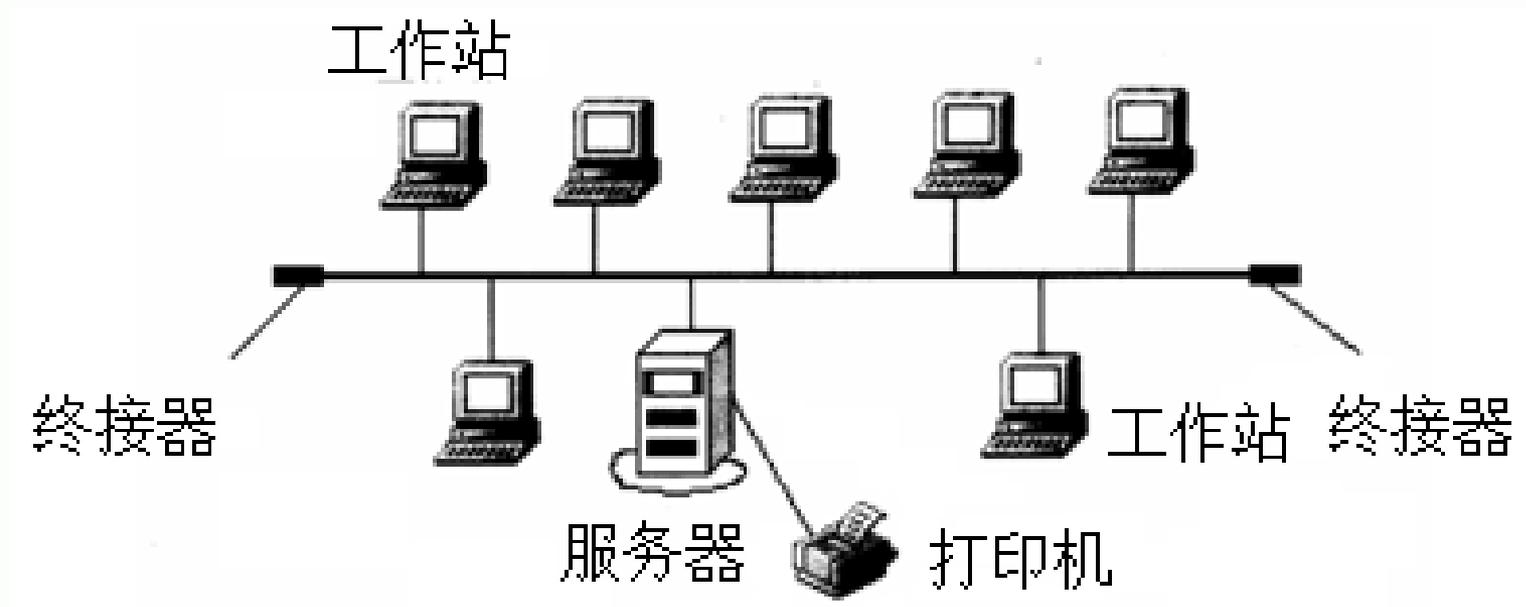




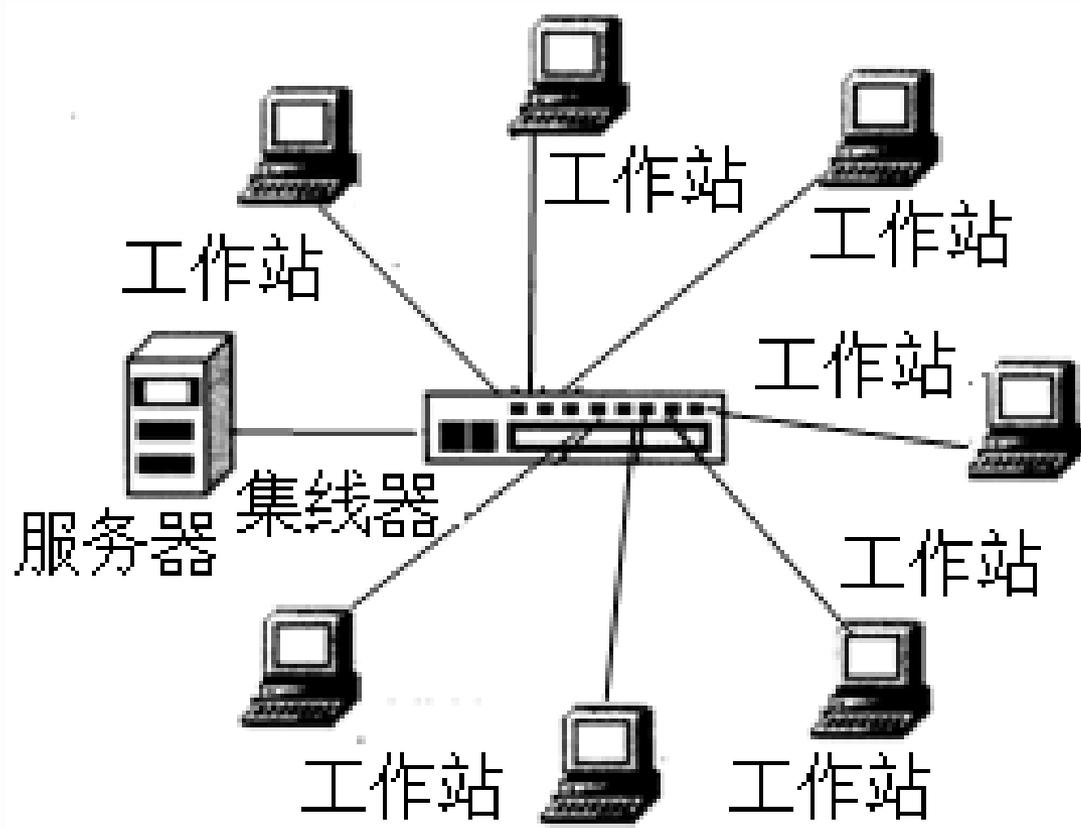
➤ 局域网有哪些分类？

(1) 按网络的拓扑结构划分

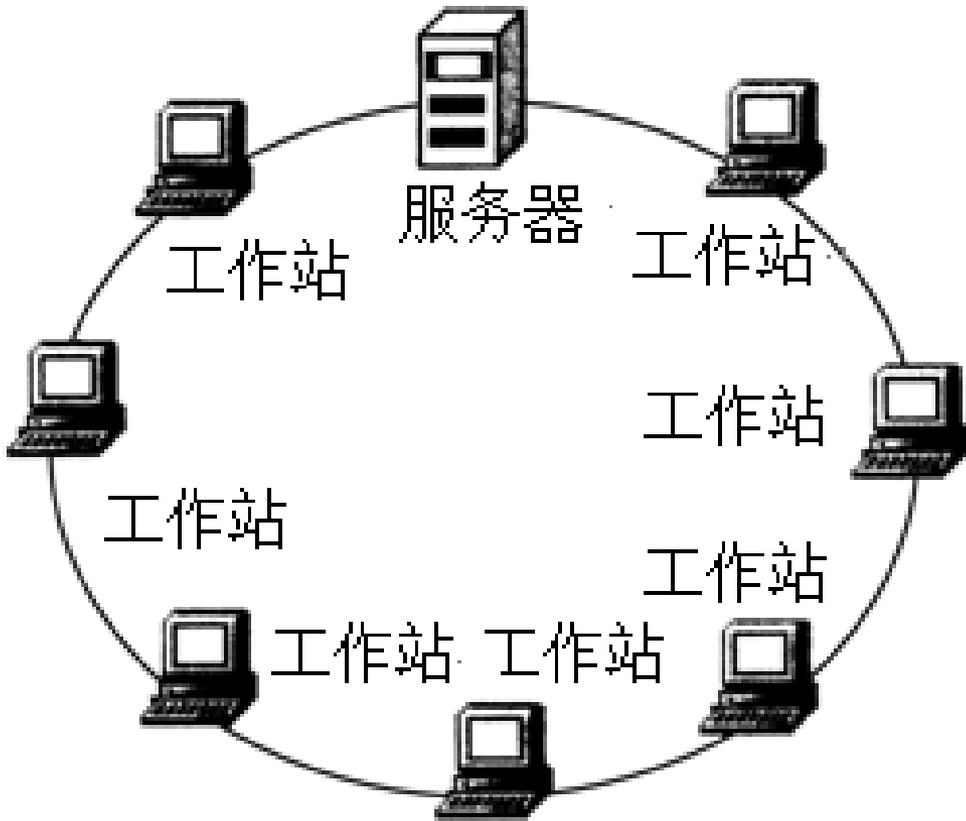
- 总线型



• 星型网络拓扑



- 环型网络拓扑





➤ 局域网有哪些分类？

(2) 按网络的介质访问控制方式划分

- 以太网 (**Ethernet**)
- 令牌环 (**Token Ring**) 网
- 令牌总线 (**Token Bus**) 网



➤ 局域网有哪些分类？

(3) 按信息的交换方式分类

- 交换式局域网
- 共享式局域网



(3) 局域网的标准

返回





➤ 局域网的标准

- 早期的局域网网络技术都是各不同厂家所专有，互不兼容。
- IEEE（美国电子与电气工程师协会）于1980年2月成立了局域网标准委员会，简称**IEEE 802委员会**，专门从事局域网的标准化工作，该委员会为局域网制定了一系列标准，统称为**IEEE 802标准**。





- 这使得在建设局域网时可以选用不同厂家的设备，并能保证其兼容性。这一系列标准覆盖了双绞线、同轴电缆、光纤和无线等多种传输媒介和组网方式，并包括网络测试和管理的内容。随着新技术的不断出现，这一系列标准仍在不断的更新变化之中。



2. IEEE 802标准系列

802.10 安全与加密

802.1 局域网概述、体系结构、网络互连与网络管理

802.2 逻辑链路控制 LLC

802.3
CSMA/CD

物理层

802.4
令牌
总线

物理层

802.5
令牌环

物理层

802.6
城域网

物理层

802.9
语音数
据综合
局域网

802.11
无线
局域网

802.12
100VG-
Any LAN

数据
链路层

物理层

802.7 宽带技术

802.8 光纤技术



➤ 局域网的标准

- 802.3 以太网
- 802.4 令牌总线网
- 802.5 令牌环网
- 802.11 无线局域网



➤ 关于共享信道的使用问题

- 静态划分信道
 - 频分复用
 - 时分复用
 - 波分复用
 - 码分复用
- 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。





3.4 认识以太网





1983年，以太网技术（802.3）、令牌总线（802.4）、令牌环（802.5）共同成为局域网领域的三大标准。

以太网技术最终在三大标准中脱颖而出，**成为**局域网的**主流技术**，并在城域网甚至广域网范围得到了进一步的应用。

本章从本节开始，都是讨论以太网技术



3.4 使用广播信道的以太网

3.4.1 以太网起源

3.4.2 将以太网作为开放式的局域网标准



3.5 传统以太网



3.5 传统以太网

- 3.5.1 早期以太网的建网特点
- 3.5.2 CSMA/CD
- 3.5.3 网卡与MAC地址
- 3.5.4 以太网帧结构
- 3.5.5 从总线型到星型
- 3.5.6 集线器与共享式以太网



3.5 传统以太网

3.5.1 早期以太网的建网特点

- (1) 总线型结构
- (2) 总线型的广播特点与一对一通信的实现
- (3) 总线型以太网的“冲突”问题





3.5 传统以太网

3.5.1 早期以太网的建网特点

(1) 总线型结构

最早的以太网是将许多计算机都连接到一根总线上，当初认为这种方法既简单又可靠，因为在哪个时代普遍认为：有源器件不可靠，无源的电缆线最可靠。





3.5 传统以太网

3.5.1 早期以太网的建网特点

(2) 总线型的广播特点与一对一通信的实现

总线的广播特点：当一台计算机发送数据时，总线上所有计算机都能检测到这个数据。这种就是广播通信方式。

如何在广播信道上实现一对一通信？

网卡 帧首部的MAC地址

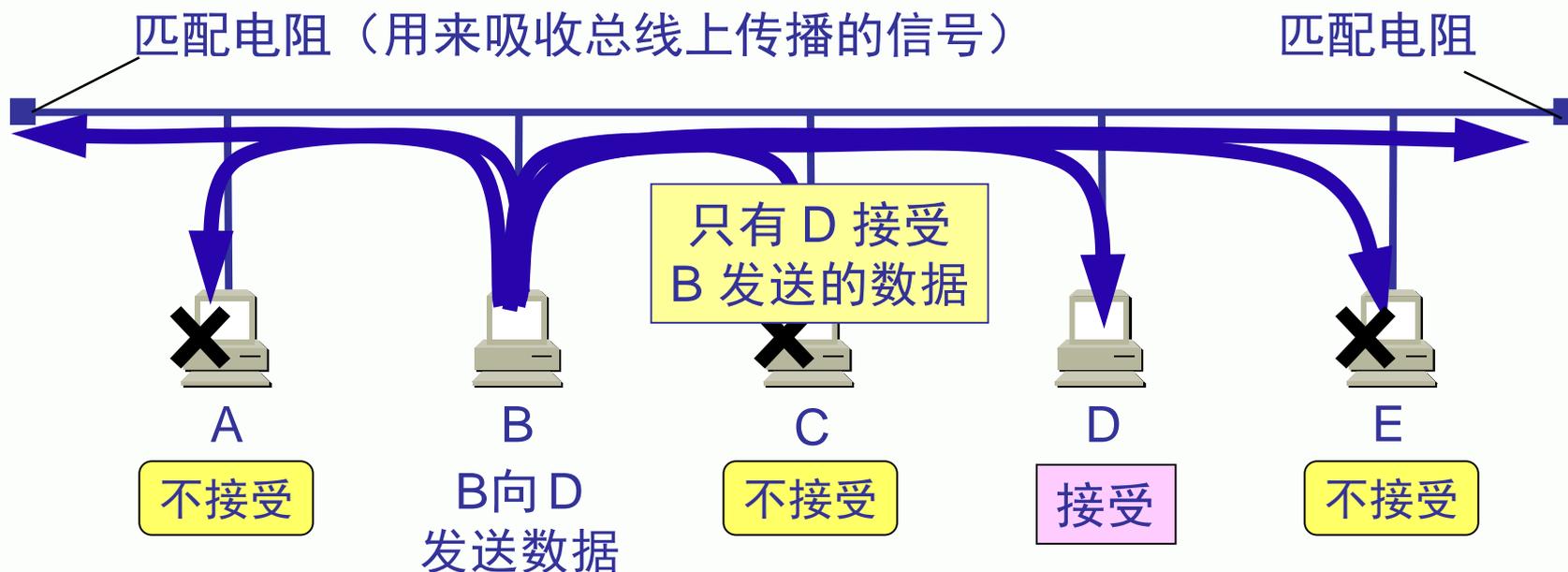




3.5 传统以太网

3.5.1 早期以太网的建网特点

(2) 总线型的广播特点与一对一通信的实现





3.5 传统以太网

3.5.1 早期以太网的建网特点

(3) 总线型以太网的“冲突”问题

总线型以太网中，若网上有两个或两个以上工作站同时发送数据，在总线上就会产生信号的混合，哪个工作站都辨别不出真正的数据是什么。这种情况称**数据冲突**又称碰撞。

因此，总线型以太网中，在同一时间只能允许一台计算机发送信息，否则各计算机之间就会互相干扰，结果大家都无法正常发送数据。



3.5 传统以太网

3.5.1 早期以太网的建网特点

3.5.2 CSMA/CD

3.5.3 网卡与MAC地址

3.5.4 以太网帧结构

3.5.5 从总线型到星型

3.5.6 集线器与共享式以太网



3.5 传统以太网

3.5.2 CSMA/CD

- (1) 如何对共享信道进行控制?
- (2) CSMA/CD起源
- (3) CSMA/CD协议的要点
- (4) CSMA/CD协议的退避算法
- (5) CSMA/CD协议的争用期
- (6) 以太网有效帧的长度是多少?
- (7) CSMA/CD的应用





3.5 传统以太网

3.5.2 CSMA/CD

(1) 如何对共享信道进行控制？

采用**介质访问控制协议**对共享信道进行控制。介质访问控制协议是一套规则，用来协调和控制连接到共享信道上的一组计算机对信道的访问。





3.5 传统以太网

3.5.2 CSMA/CD

- (1) 如何对共享信道进行控制？
- (2) **CSMA/CD起源**
- (3) CSMA/CD协议的要点
- (4) CSMA/CD协议的退避算法
- (5) CSMA/CD协议的争用期
- (6) 以太网有效帧的长度是多少？
- (7) CSMA/CD的应用





3.5 传统以太网

3.5.2 CSMA/CD

(2) CSMA/CD起源

是Carrier Sense Multiple access/Collision Detected 的缩写，可译为“载波侦听多路访问/冲突检测”。

CSMA/CD是一种争用型的介质访问控制协议。它起源于美国夏威夷大学开发的ALOHA网所采用的争用型协议，并进行了改进，使之具有比ALOHA协议更高的介质利用率





3.5 传统以太网

3.5.2 CSMA/CD

(2) CSMA/CD起源

ALOHA协议工作原理：站点只要产生帧，就立即发送到信道上；规定时间内若收到应答，表示发送成功，否则重发。

ALOHA重发策略：等待一段随机的时间，然后重发；如再次冲突，则再等待一段随机的时间，直到重发成功为止

ALOHA优缺点：简单易行、极容易冲突





3.5 传统以太网

3.5.2 CSMA/CD

- (1) 如何对共享信道进行控制?
- (2) CSMA/CD起源
- (3) CSMA/CD协议的要点**
- (4) CSMA/CD协议的退避算法
- (5) CSMA/CD协议的争用期
- (6) 以太网有效帧的长度是多少?
- (7) CSMA/CD的应用





3.5 传统以太网

3.5.2 CSMA/CD

(3) CSMA/CD协议的要点

- CSMA/CD应用在 OSI 的第二层 数据链路层
- 它的工作原理是：发送数据前 先侦听信道是否空闲，若空闲 则立即发送数据。在发送数据时，边发送边继续侦听。若侦听到冲突，则立即停止发送数据。等待一段随机时间，再重新尝试。

先听后说，边听边说；
一旦冲突，立即停说；
等待时机，然后再说；





3.5 传统以太网

3.5.2 CSMA/CD

(3) CSMA/CD协议的要点

- ① 封装成帧
- ② 载波侦听 (carrier sense)
- ③ 多路访问 (multiple access)
- ④ 冲突检测 (collision detected)
- ⑤ 退避算法
- ⑥ 半双工通信





3.5 传统以太网

3.5.2 CSMA/CD

(3) CSMA/CD协议的要点

① 封装成帧

适配器从网络层获得一个分组，加上以太网的首部和尾部，组成以太网帧，放入适配器的缓存中，准备发送。





3.5 传统以太网

3.5.2 CSMA/CD

(3) CSMA/CD协议的要点

②载波侦听 (carrier sense)

意思是网络上各个工作站在发送数据前都要检测总线上有
没有数据传输（即在96比特时间内没有检测到信道上有信号）。
若有数据传输（称总线为忙），则不发送数据，继续检测并等
待信道空闲，然后再发送；若无数据传输（称总线为空），立
即发送准备好的数据。





3.5 传统以太网

3.5.2 CSMA/CD

(3) CSMA/CD协议的要点

③多路访问 (multiple access)

意思是网络上所有工作站收发数据共同使用同一条总线，且发送数据是广播式的。





3.5 传统以太网

3.5.2 CSMA/CD

(3) CSMA/CD协议的要点

④冲突检测 (collision detected)

就是“边发送边监听”，即网卡边发送数据边检测信道上的信号电压的变化情况，以便判断自己在发送数据时其他站是否也在发送数据。当几个站同时在总线上发送数据时，总线上的信号电压变化幅度会增大（互相叠加）。当适配器检测到的信号电压变化幅度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，即“冲突”。

若检测到碰撞，则中止数据的发送，并发送人为干扰信号。若一直没有检测到冲突，则顺利把这个帧成功发送完毕。





3.5 传统以太网

3.5.2 CSMA/CD

(3) CSMA/CD协议的要点

⑤退避算法

在中止发送后，适配器就执行指数退避算法，等待一个随机时间后，再次发送。即再次从“载波侦听”开始进行。





3.5 传统以太网

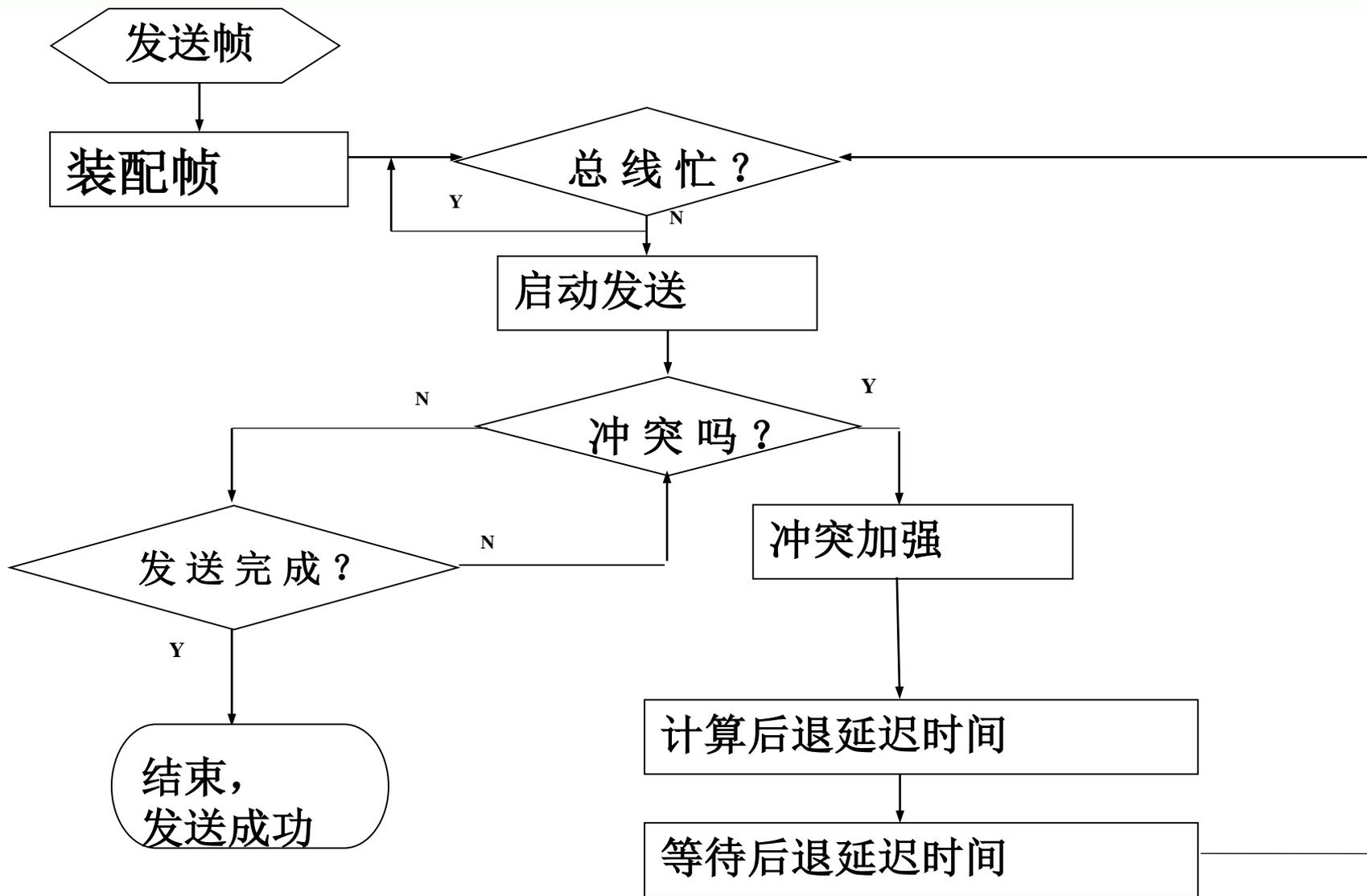
3.5.2 CSMA/CD

(3) CSMA/CD协议的要点

⑥半双工通信

使用 CSMA/CD 协议的以太网，一个站不可能同时进行发送和接收。因此使用 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）。





1、带冲突检测的载波侦听多路访问 (CSMA/CD)

- a. 信道分配方法：“争用”。
- b. 网络逻辑拓扑结构：总线型。
- c. 标准协议：IEEE802.3。

要点

先听后发，边听边发，
冲突停止，随机延迟后重发。



CSMA/CD方式的主要特点

- 控制简单，易于实现；
- 网络负载轻时，有较好的性能：
 - 30%—40%以内
 - 延迟时间短、速度快
- 网络负载重时，性能急遽下降：
 - 70%—80%以上
 - 冲突数量的增长使网络速度大幅度下降





3.5 传统以太网

3.5.2 CSMA/CD

- (1) 如何对共享信道进行控制?
- (2) CSMA/CD起源
- (3) CSMA/CD协议的要点
- (4) CSMA/CD协议的退避算法**
- (5) CSMA/CD协议的争用期
- (6) 以太网有效帧的长度是多少?
- (7) CSMA/CD的应用





3.5 传统以太网

3.5.2 CSMA/CD

(4) CSMA/CD协议的退避算法

当出现线路冲突时，如果冲突的各站点都采用同样的退避间隔时间，则很容易产生二次、三次的碰撞。因此，要求各个站点的退避间隔时间具有差异性。这要求通过退避算法来实现。





3.5 传统以太网

截断的二进制指数退避算法（退避算法之一）

当一个站点发现线路忙时，要等待一个延时时间 M ，然后再进行侦听工作。延时时间 M 用以下算法决定：

- ① 确定基本退避时间，它就是争用期 2τ 。传统以太网(10Mbps)把争用期定为 $51.2\mu\text{s}$ ，在争用期内可发送512比特数据（64字节），后来就把争用期定义为512比特时间。因此，争用期与以太网的速率有密切关系。
- ② 从离散的正整数集合 $[0, 1, 2, \dots, (2^k-1)]$ 中随机取出一个数，记为 r 。重传应推后的时间是 r 倍的争用期。其中 k 为重传次数，其最大为10，即当重传次数超过10次时， k 一直等于10。
- ③ 当重传16次仍不能成功时，表明连续发生冲突，则丢弃该帧，并向高层报告。





3.5 传统以太网

3.5.2 CSMA/CD

- (1) 如何对共享信道进行控制?
- (2) CSMA/CD起源
- (3) CSMA/CD协议的要点
- (4) CSMA/CD协议的退避算法
- (5) CSMA/CD协议的争用期**
- (6) 以太网有效帧的长度是多少?
- (7) CSMA/CD的应用





3.5 传统以太网

3.5.2 CSMA/CD

(5) CSMA/CD协议的争用期

既然每一个站在发送数据之前已经监听到信道为“空闲”，那么为什么还会出现“冲突”呢？





3.5 传统以太网

3.5.2 CSMA/CD

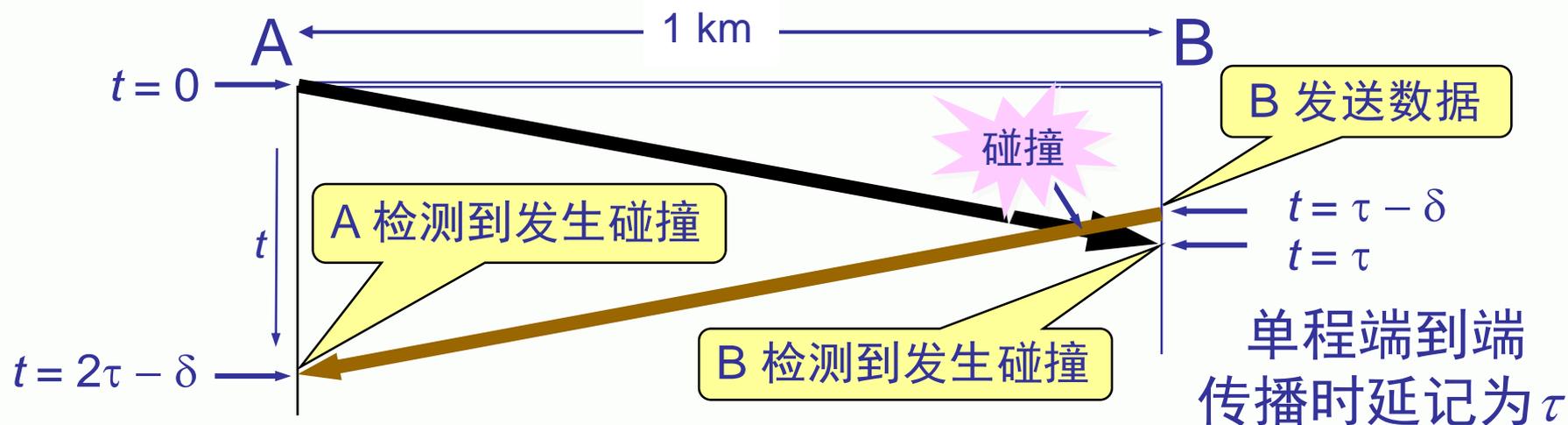
(5) CSMA/CD协议的争用期

- 电磁波在总线上传播速率是有限的，电磁波在1km电缆的传播时延是5us；
- 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。





传播时延对载波监听的影响





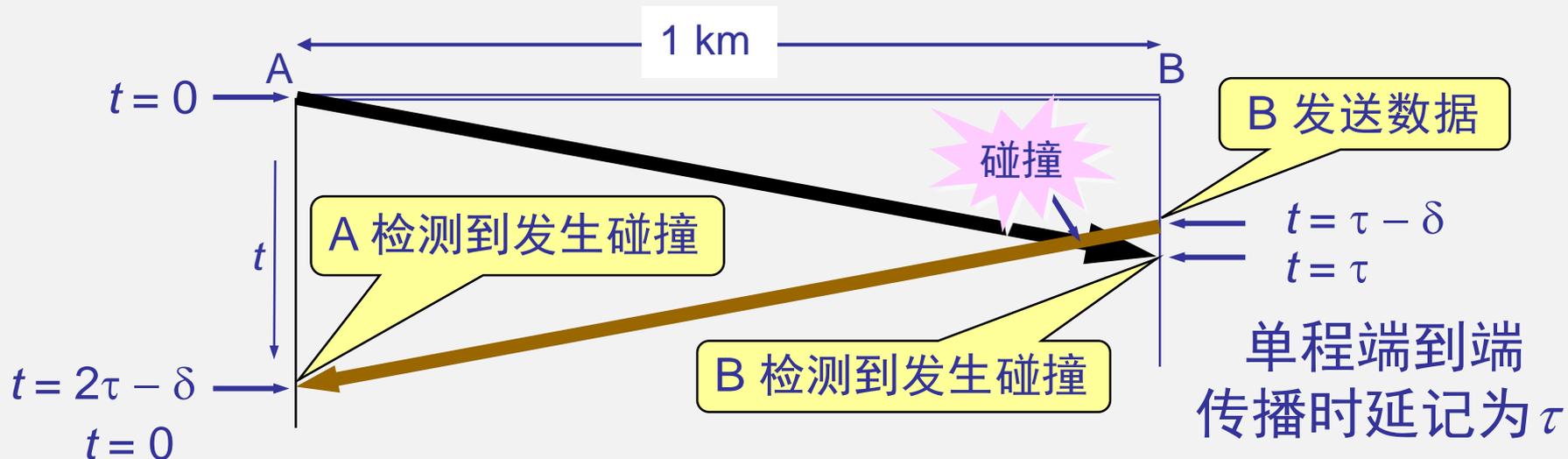
3.5 传统以太网

3.5.2 CSMA/CD

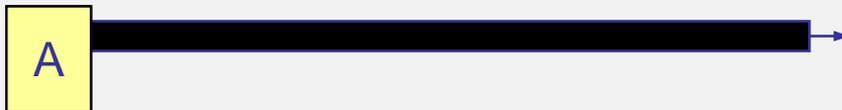
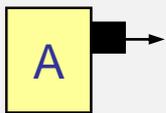
(5) CSMA/CD协议的争用期

那么，A发出数据后，**最迟**要经过多长时间才能知道自己发送的数据和其他站发送的数据有没有发生碰撞？

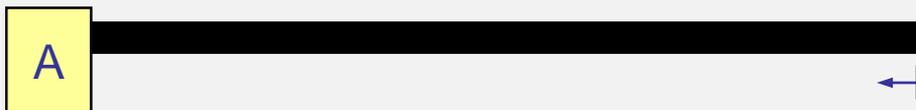
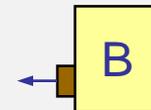




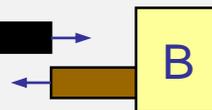
A 检测到
信道空闲
发送数据



$t = \tau - \delta$
B 检测到信道空闲
发送数据

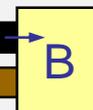


$t = \tau - \delta / 2$
发生碰撞



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





3.5 传统以太网

3.5.2 CSMA/CD

(5) CSMA/CD协议的争用期

那么，A发出数据后，最迟要经过多长时间才能知道自己发送的数据和其他站发送的数据有没有发生碰撞？

结论：

发送数据帧的站，在发送数据帧后至多经过两倍的总线端到端传播时延（ 2τ ），就可知道发送的数据帧是否遭受了碰撞。





3.5 传统以太网

3.5.2 CSMA/CD

(5) CSMA/CD协议的争用期

● 争用期

以太网总线的端到端往返时延，经过争用期这段时间还没有检测到碰撞，发送端才能肯定这次发送不会发生碰撞。也就是说，在争用期期间，发送端必须边发送边监听，过了争用期，就不需要再进行冲突检测了。

- 传统以太网（10Mbps）取 $51.2 \mu\text{s}$ 为争用期的长度。
- 在争用期内可发送512 bit数据，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。





3.5 传统以太网

3.5.2 CSMA/CD

- (1) 如何对共享信道进行控制?
- (2) CSMA/CD起源
- (3) CSMA/CD协议的要点
- (4) CSMA/CD协议的退避算法
- (5) CSMA/CD协议的争用期
- (6) 以太网有效帧的长度是多少?**
- (7) CSMA/CD的应用





3.5 传统以太网

3.5.2 CSMA/CD

(5) 以太网有效帧的长度是多少？

- 根据IEEE802.3标准，有效的以太网帧长度为64~1518字节之间。

为什么必须有个最小帧长的限制？





3.5 传统以太网

3.5.2 CSMA/CD

(5) 以太网有效帧的长度是多少？

- 为什么必须有个最小帧长的限制？

考虑如下极限的情况，主机发送的帧很小，而两台冲突主机相距很远。在主机A发送的帧传输到B的前一刻，B开始发送帧。这样，当A的帧到达B时，B检测到冲突，于是发送冲突信号。假如在B的冲突信号传输到A之前，A的帧已经发送完毕，那么A将检测不到冲突而误认为已发送成功。由于信号传播是有时延的，因此检测冲突也需要一定的时间。换句话说，**当A发送一个数据帧时，在争用期结束之前，这个帧不能发送完，否则，将无法对已经发出的帧做出是否有问题的判断。**这也是为什么必须有个最小帧长的限制。





3.5 传统以太网

3.5.2 CSMA/CD

(5) 以太网有效帧的长度是多少？

● 为什么传统以太网（10Mbps）取 51.2us 为争用期的长度？

- 按照标准，10Mbps以太网采用中继器时，连接的最大长度是2500米，最多经过4个中继器。
- 传输介质：同轴电缆（粗缆），传输带宽为10Mbps，最大传输距离为500m；
- 端到端传播时延：电磁波在1km电缆的传播时延是5us；
- 争用期的考虑：传播时延+中继时延（处理时延）+ 强化碰撞时间
- 因此，规定对10Mbps以太网一帧的最小发送时间为51.2微秒。





3.5 传统以太网

3.5.2 CSMA/CD

(5) 以太网有效帧的长度是多少？

● 为什么以太网帧最小64字节？

- 传统以太网(10Mbps)把争用期定为 $51.2 \mu s$ ，在争用期内可发送512比特数据，即 64 字节。
- 后来就把争用期定义为512比特时间。因此，争用期与以太网的速率有密切关系。
- 争用期的绝对时间虽然变了，但争用期内所能发送的比特数没变，都是512比特，即64字节，
- 这就是以太网帧最小64字节的原因。





3.5 传统以太网

3.5.2 CSMA/CD

(5) 以太网有效帧的长度是多少？

- 以太网最大帧长是多少？

512位时是主机捕获信道的时间。如果某主机发送一个帧的64字节仍无冲突，以后也就不会再发生冲突了，称此主机捕获了信道。由于信道是所有主机共享的，为避免单一主机占用信道时间过长，规定了以太网帧的最大帧长为1518字节。





3.5 传统以太网

3.5.2 CSMA/CD

- (1) 如何对共享信道进行控制?
- (2) CSMA/CD起源
- (3) CSMA/CD协议的要点
- (4) CSMA/CD协议的退避算法
- (5) CSMA/CD协议的争用期
- (6) 以太网有效帧的长度是多少?
- (7) **CSMA/CD的应用**





3.5 传统以太网

3.5.2 CSMA/CD

(7) CSMA/CD的应用

CSMA/CD 曾经用于各种总线结构以太网 (bus topology Ethernet) 和双绞线以太网 (twisted-pair Ethernet) 的早期版本中。现代以太网基于交换机和全双工连接建立, 不会有碰撞, 因此没有必要使用CSMA/CD。



3.5 传统以太网

3.5.1 早期以太网的建网特点

3.5.2 CSMA/CD

3.5.3 网卡与MAC地址

3.5.4 以太网帧结构

3.5.5 从总线型到星型

3.5.6 集线器与共享式以太网



3.5.3 网卡与MAC地址

- 网卡是工作在数据链路层的网路组件，是局域网中连接计算机和传输介质的接口。
- 常见的网卡插在计算机主板的扩展槽中。



外设接口

PCI插槽
(插PCI设备, 如声
卡, 网卡等)

太网

AGP插槽(插
显示卡)

CPU插
槽

北桥芯片

主板
BIOS

南桥
芯片

内存插槽

3. 5.





3.5.3 网卡与MAC地址

(1) 网卡的主要功能

- 帧的发送与接收
- 帧的封装与拆封
- 介质访问控制（以太网：实现CSMA/CD）
- 数据缓存





3.5.3 网卡与MAC地址

(2) 网卡的地址：MAC地址

问题：网卡如何判断数据是发给自己的？

解释：在网络底层的物理传输过程中，是通过物理地址（MAC地址）来识别主机的。



网卡的地址 (2)

● 网卡的物理地址 (1)

- 世界上的每一块网卡都有一个唯一的编码，称为MAC地址或物理地址，它是网络上用于识别一个网络硬件设备的标识符。

网卡的地址 (3)

● 网卡的物理地址 (2)

- IEEE802.3标准规定MAC地址的长度一般为48位（6个字节），如44-45-53-54-AF-00。
- 其中前24位称为机构唯一标识符，由IEEE分配用以标识设备生产厂商。后3个字节称为扩展标识符，用以表示生产出来的每块网卡。扩展标识符由厂家自行指派，只要保证不重复即可。

网卡的地址 (4)

● 网卡的物理地址(3)

- 网卡厂家在生产时通常已将MAC地址固化在网卡EPROM（可擦除可编程只读存储器）内，网卡一旦生产出来，其MAC地址一般不会改变。

网卡的地址 (5)

- 回忆一下，OSI模型中的数据链路层.....

OSI模型各层的功能— 链路层

3. 网络层数据包



2. 数据链路层

链路层的功能:

- (1)对网络层的数据进行必要处理;
- (2)明确目的计算机的MAC地址, 根据MAC地址, 精确的找到目的计算机。



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）

网卡的地址 (6)

- 我们通常把网卡称作数据链路层的设备，简称二层设备

返回





认识网卡

网卡的组成

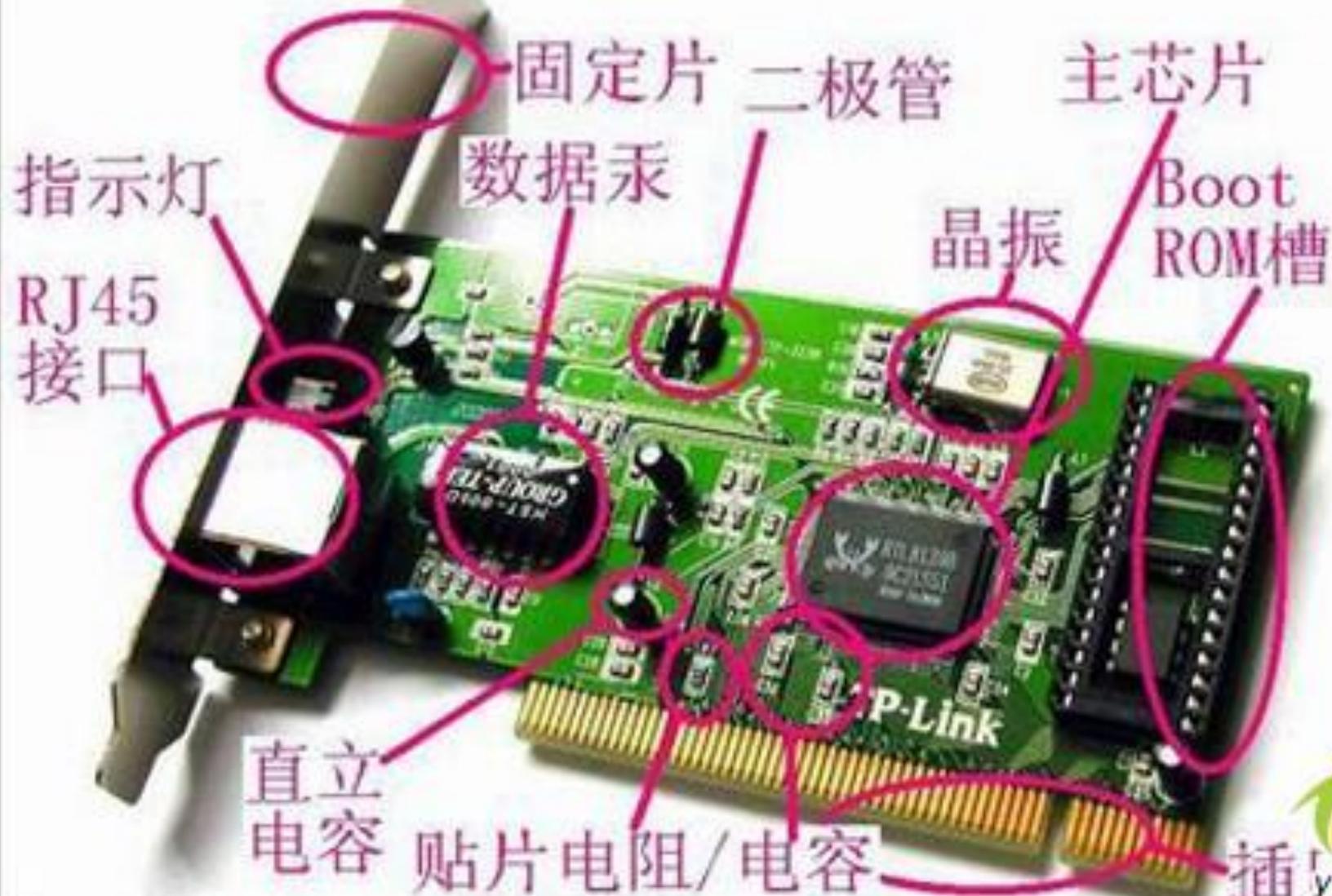
返回



网卡的组成 (1)

网卡图解

网卡解剖图



网卡的组成 (2)

(1) 网卡主芯片

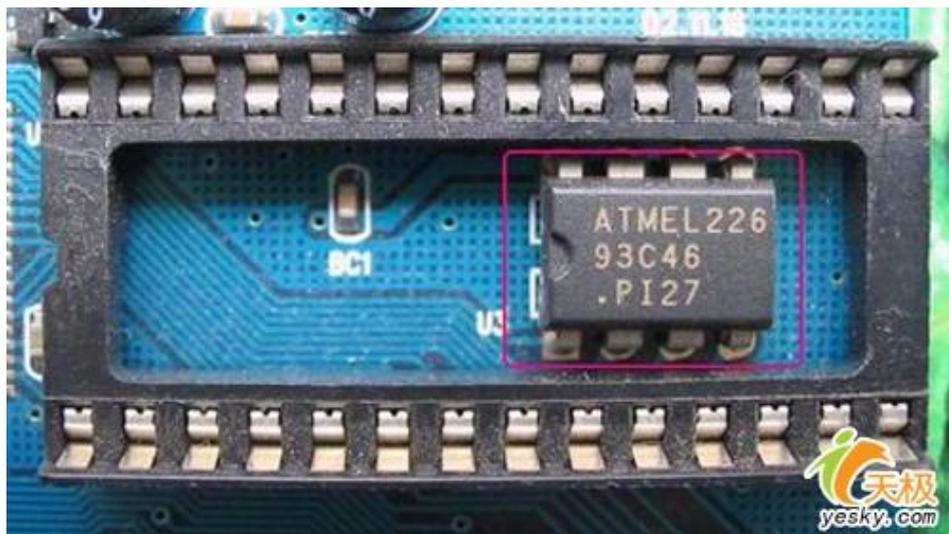
- 是网卡的核心元件，决定一块网卡性能和功能的强弱。
- 右图是常见的Realtek公司推出的RTL8139芯片。



网卡的组成 (3)

(2) BOOTROM

- BOOTROM插座也就是常说的无盘启动ROM接口，用来通过远程启动服务构造无盘工作站的。



网卡的组成 (4)

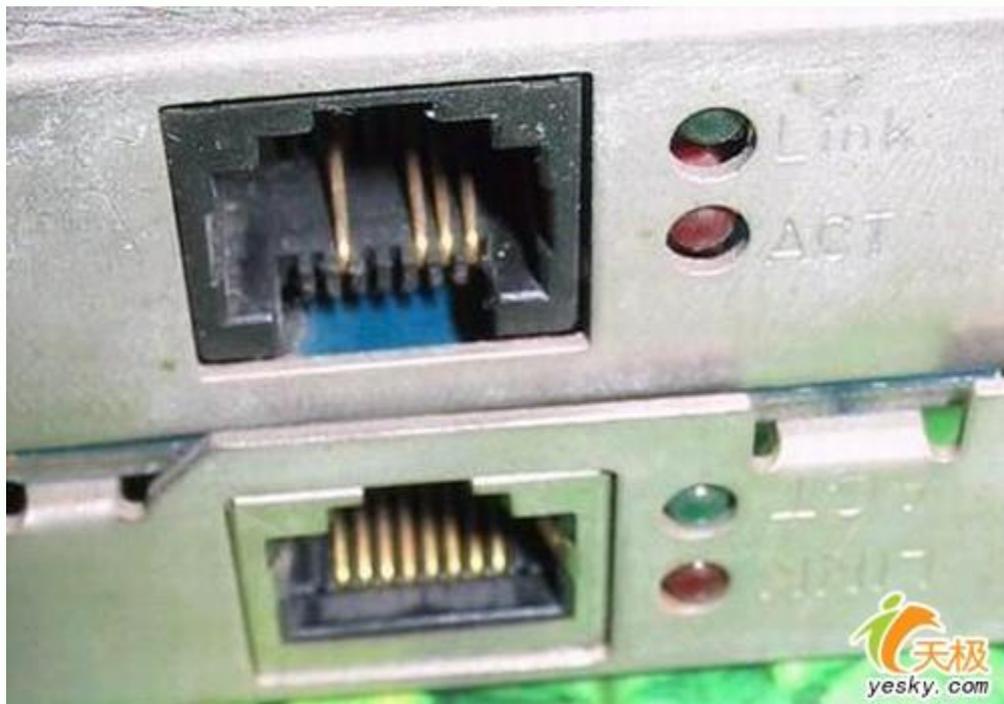
(3) LED指示灯

- 一般来讲，每块网卡都具有1个以上的LED(Light Emitting Diode发光二极管)指示灯，用来表示网卡的不同工作状态，以方便我们查看网卡是否工作正常。

网卡的组成 (5)

(3) LED指示灯

- 典型的LED指示灯有 Link/Act、Full、等。
- Link/Act表示连接活动状态，Full表示是否全双工。



网卡的组成 (6)

(4) 网线接口

- RJ-45接口
- 8芯线



网卡的组成 (7)

(5) 总线接口

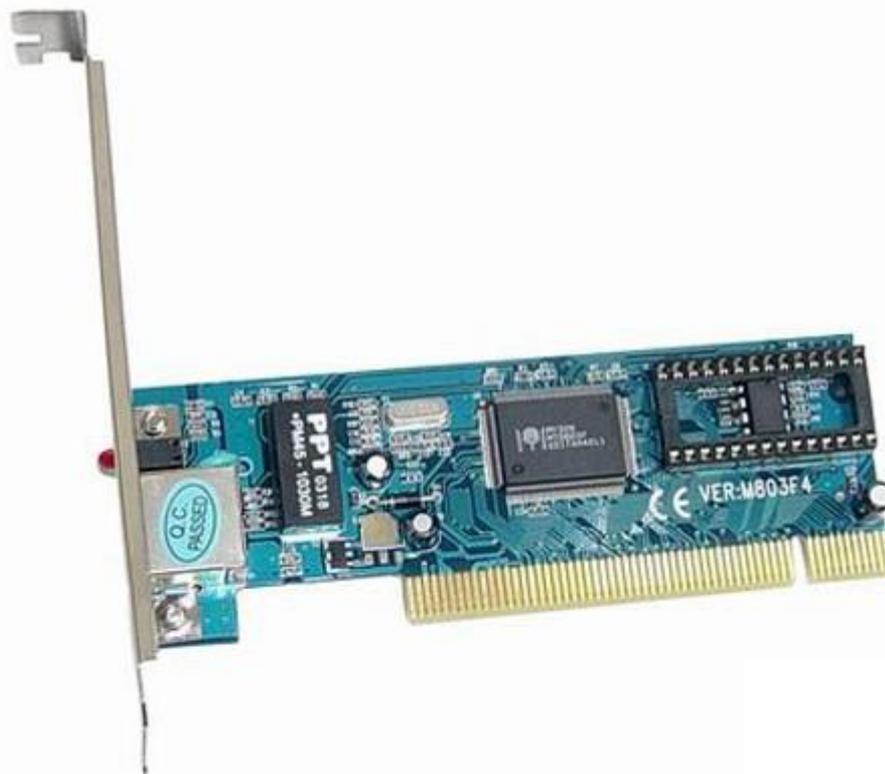
➤ ISA接口网卡



网卡的组成 (8)

(5) 总线接口

➤ PCI接口网卡



网卡的组成 (9)

(5) 总线接口

- PCI-E 接口网卡





网卡的速率

返回





➤ 什么是Mbps?

网卡的传输速率用Mbps表示，即Mb/秒。局域网网卡有10M、100M、10M/100M及千兆网卡，甚至更高速的。目前常用的是千兆网卡。





➤ 什么是自适应网卡？

自适应是指网卡可以与远端网络设备（集线器或交换机）自动协商，确定当前的可用速率是10M还是100M，不需要进行人为的设定。





➤ 是不是越快越好？

不是速率越高就越合适。例如，为连接在只具备100M传输速度的双绞线上的计算机配置1000M的网卡就是一种浪费，因为其至多也只能实现100M的传输速率。



3.5 传统以太网

3.5.1 早期以太网的建网特点

3.5.2 CSMA/CD

3.5.3 网卡与MAC地址

3.5.4 以太网帧结构

3.5.5 从总线型到星型

3.5.6 集线器与共享式以太网

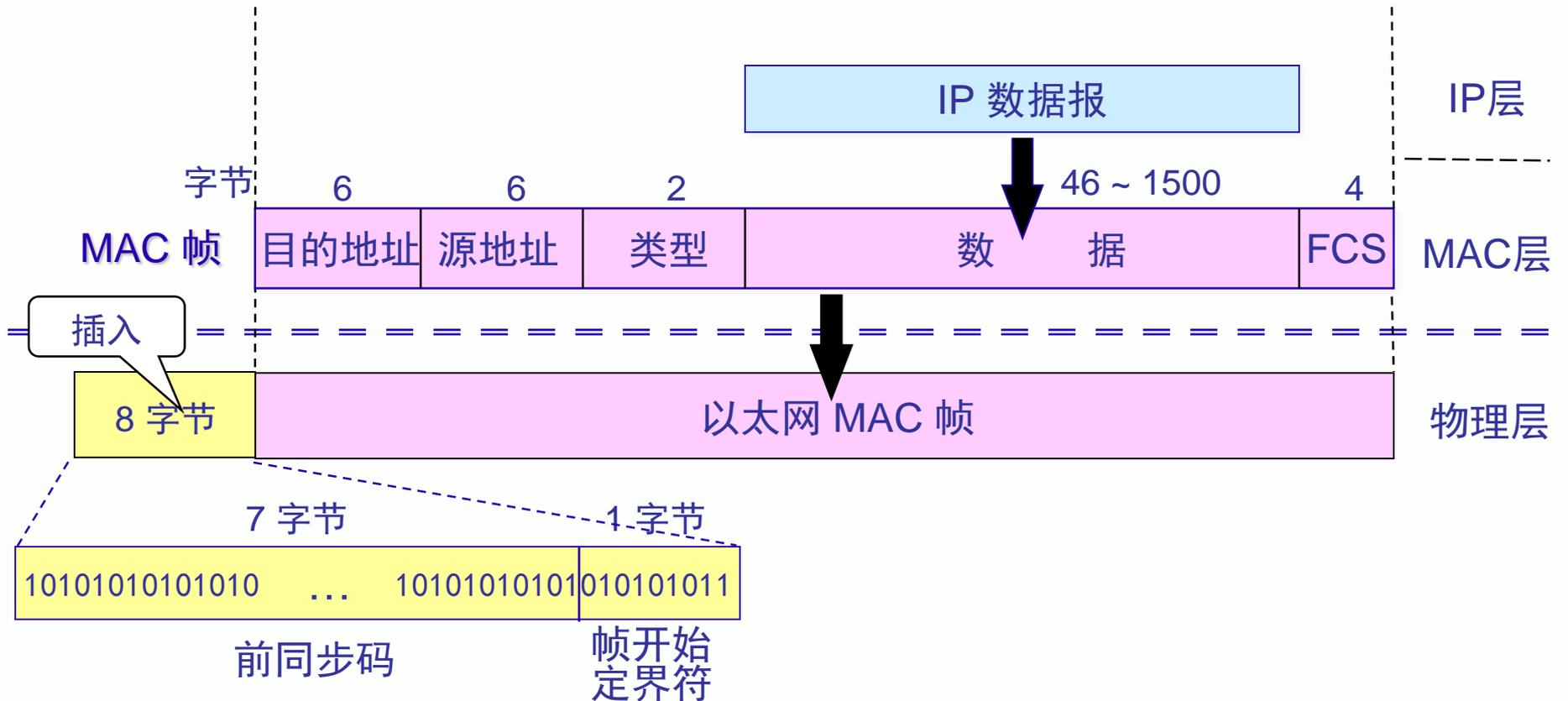


MAC 帧的格式

- 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。

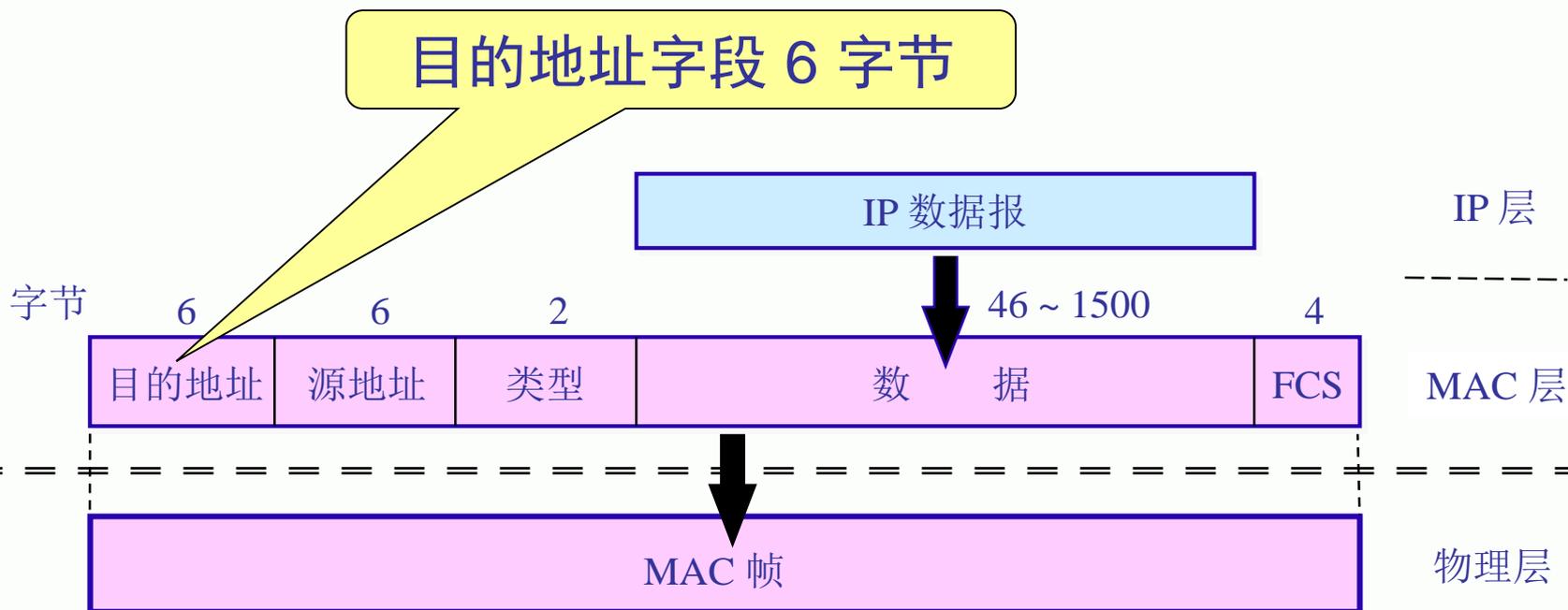


以太网的 MAC 帧格式



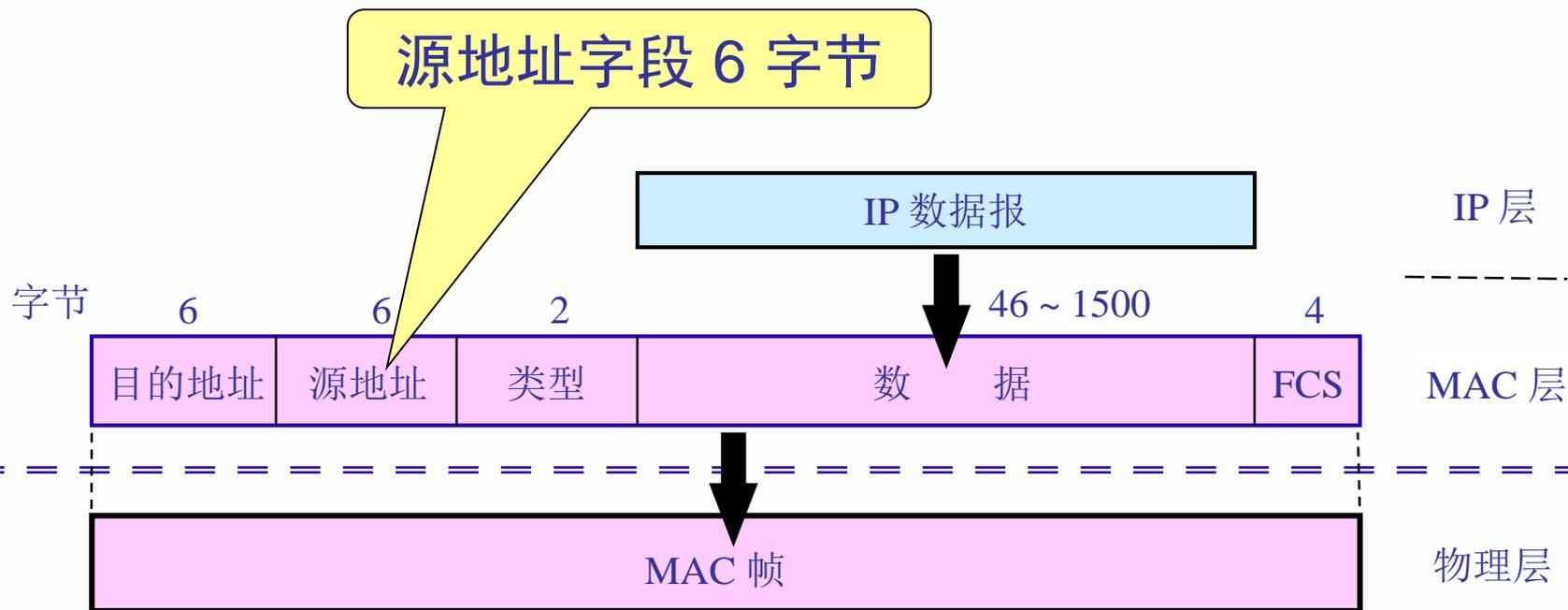


以太网 V2 的 MAC 帧格式





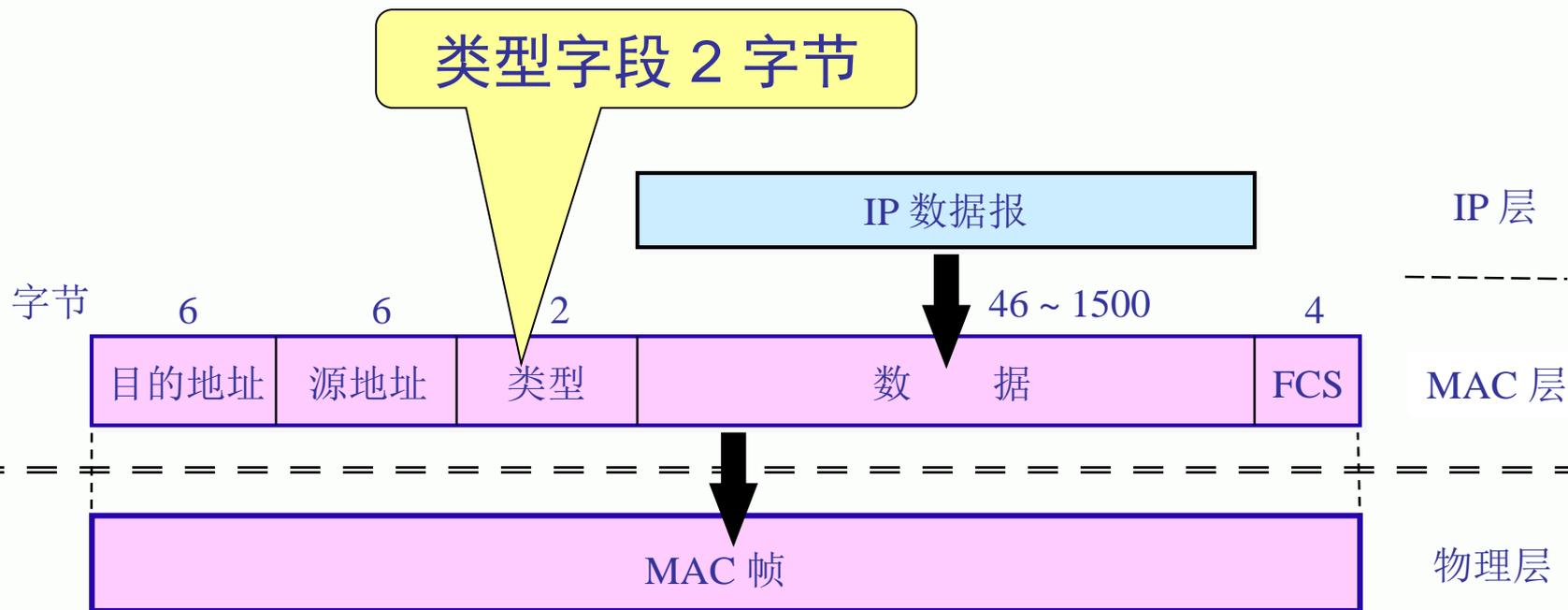
以太网 V2 的 MAC 帧格式





以太网 V2 的 MAC 帧格式

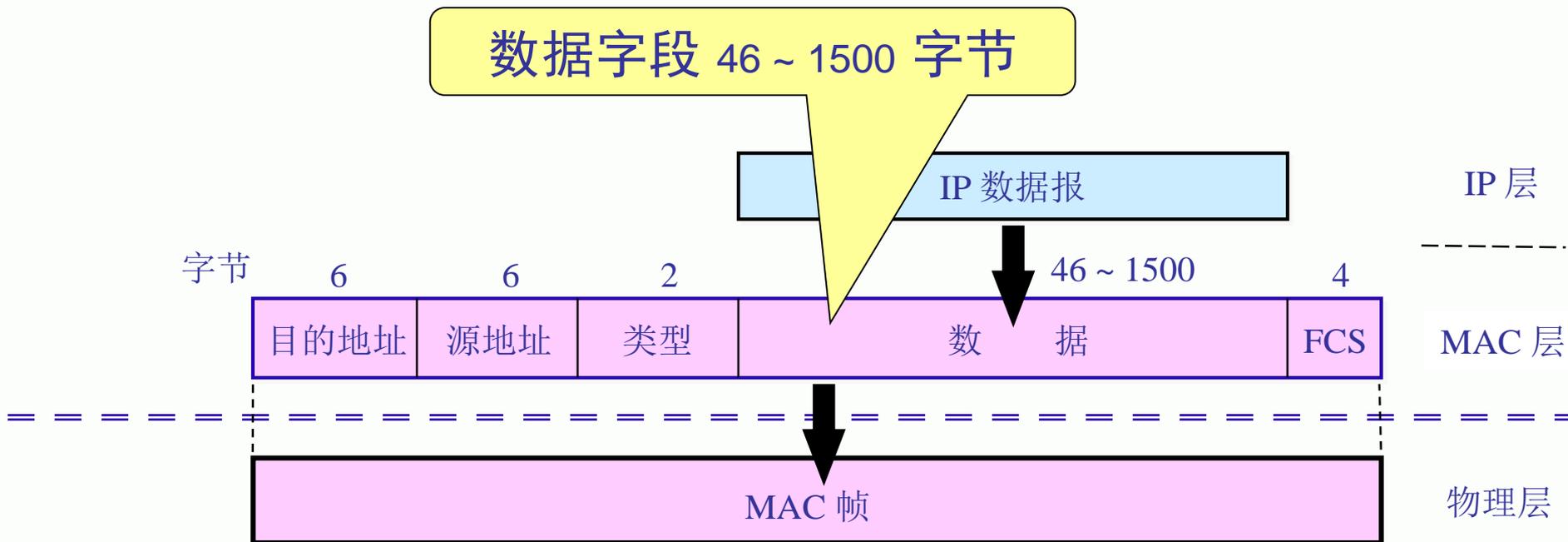
类型字段用来标志上一层使用的是什么协议，以便把收到的 MAC 帧的数据上交给上一层的这个协议。





以太网 V2 的 MAC 帧格式

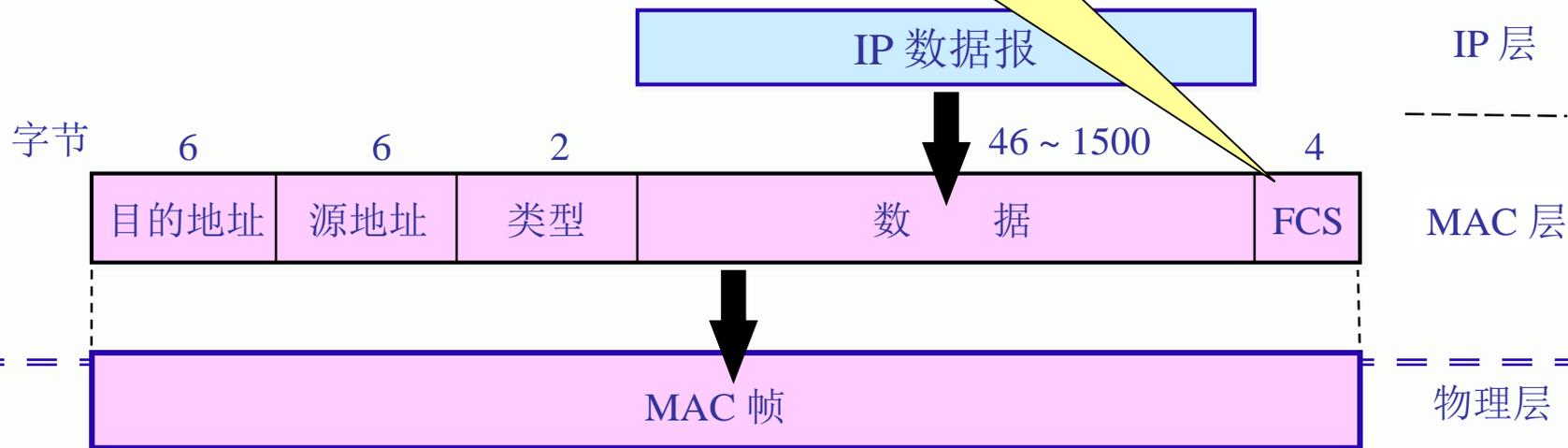
数据字段的正式名称是 **MAC 客户数据字段**
最小长度 **64 字节** - 18 字节的首部和尾部 = 数据字段的最小长度



以太网 V2 的 MAC 帧格式

用于CRC校验，检测比特错误

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。



为什么以太网帧前面还有8个字节

返回





数据帧的结构



这8个字节有什么用？



数据帧的结构

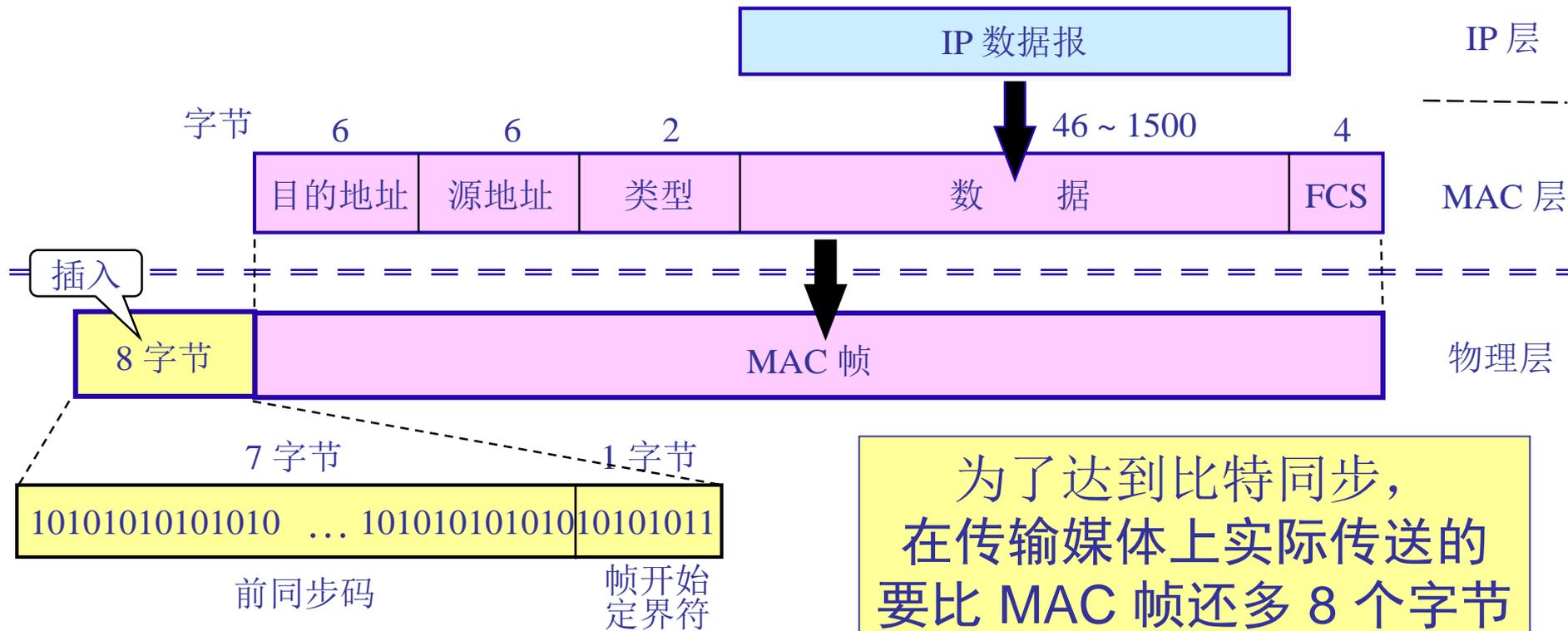
7字节	1字节	6字节	6字节	2字节	46-1500字节	4字节
前导字段	帧起始定界符	目的MAC	源MAC	类型/长度	数据	校验码

为了使适配器的时钟与到达的比特流达成同步，从MAC子层向下传到物理层时还要在帧的前面插入8字节（由硬件完成），包括7字节的前导同步码（1和0交替码），1字节的帧开始定界符，定义为10101011。最后两个连续的1就是告诉接收端适配器：“MAC帧的信息马上就要来了，注意接收”。



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。



为了达到比特同步，在传输媒体上实际传送的要比 MAC 帧还多 8 个字节



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。

3.5 传统以太网

3.5.1 早期以太网的建网特点

3.5.2 CSMA/CD

3.5.3 网卡与MAC地址

3.5.4 以太网帧结构

3.5.5 从总线型到星型

3.5.6 集线器与共享式以太网

3.5 传统以太网

3.5.5 从总线型到星型

- (1) 从同轴电缆到双绞线
- (2) 使用集线器的星型拓扑
- (3) IEEE: 10BASE-T 星型以太网标准

3.5 传统以太网

3.5.5 从总线型到星型

(1) 从同轴电缆到双绞线

传统以太网最初使用粗同轴电缆，后来演进都使用比较便宜的细缆，最后发展为更便宜、更灵活的双绞线。

3.5 传统以太网

3.5.5 从总线型到星型

(2) 使用集线器的星型拓扑

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)



什么是集线器？



◆>>> 什么是集线器？

- 集线器的英文名称是**HUB**，是“中心”的意思。是一个**多口的中继器**



什么是集线器？



集线器（**HUB**）属于数据通信系统中的基础设备，它和双绞线等传输介质一样，是一种不需任何软件支持或只需很少管理软件管理的硬件设备。它被广泛应用到各种场合。集线器工作在以太网（**LAN**）环境，应用于**OSI**参考模型第一层，因此又被称为**物理层设备**



2.2 认识集线器

集线器有什么功能？



集线器有什么功能？

回忆一下

信号传输距离>100米，怎么办？



集线器有什么功能？

措施1

更换传输介质

例如，使用光缆等传输距离更远的介质





集线器有什么功能？

措施2

使用中继设备





集线器有什么功能？

集线器实际上就是中继器的一种，其区别仅在于集线器能够提供更多的端口服务，所以集线器又叫多口中继器。





集线器有什么功能？

集线器的功能

(1) 放大信号

对网络信号进行再生和重定时。集线器与中继器有相似的特性，都可以对信号进行再生。





2.2 认识集线器

集线器的功能

(2) 扩展网络

集线器又称为多端口中继器（**multiport repeater**）。可以连接多台计算机。





集线器有什么功能？

集线器的功能

(3) 扩展方便

与同轴电缆组成的网络相比，扩展网络更方便。用户的加入和退出也很自由。





集线器有什么功能？

集线器的功能

(4) 可靠性增强

与同轴电缆组成的网络相比，单一电缆出故障，不会中断整个网络。



3.5 传统以太网

3.5.1 早期以太网的建网特点

3.5.2 CSMA/CD

3.5.3 网卡与MAC地址

3.5.4 以太网帧结构

3.5.5 从总线型到星型

3.5.6 共享式以太网

3.5 传统以太网

3.5.6 共享式以太网

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。

共享式以太网：使用集线器的以太网。

3.5 传统以太网

3.5.6 共享式以太网

- (1) 集线器的工作方式
- (2) 集线器的冲突域
- (3) 共享式以太网的不足之处



集线器的工作方式

集线器是如何工作的？

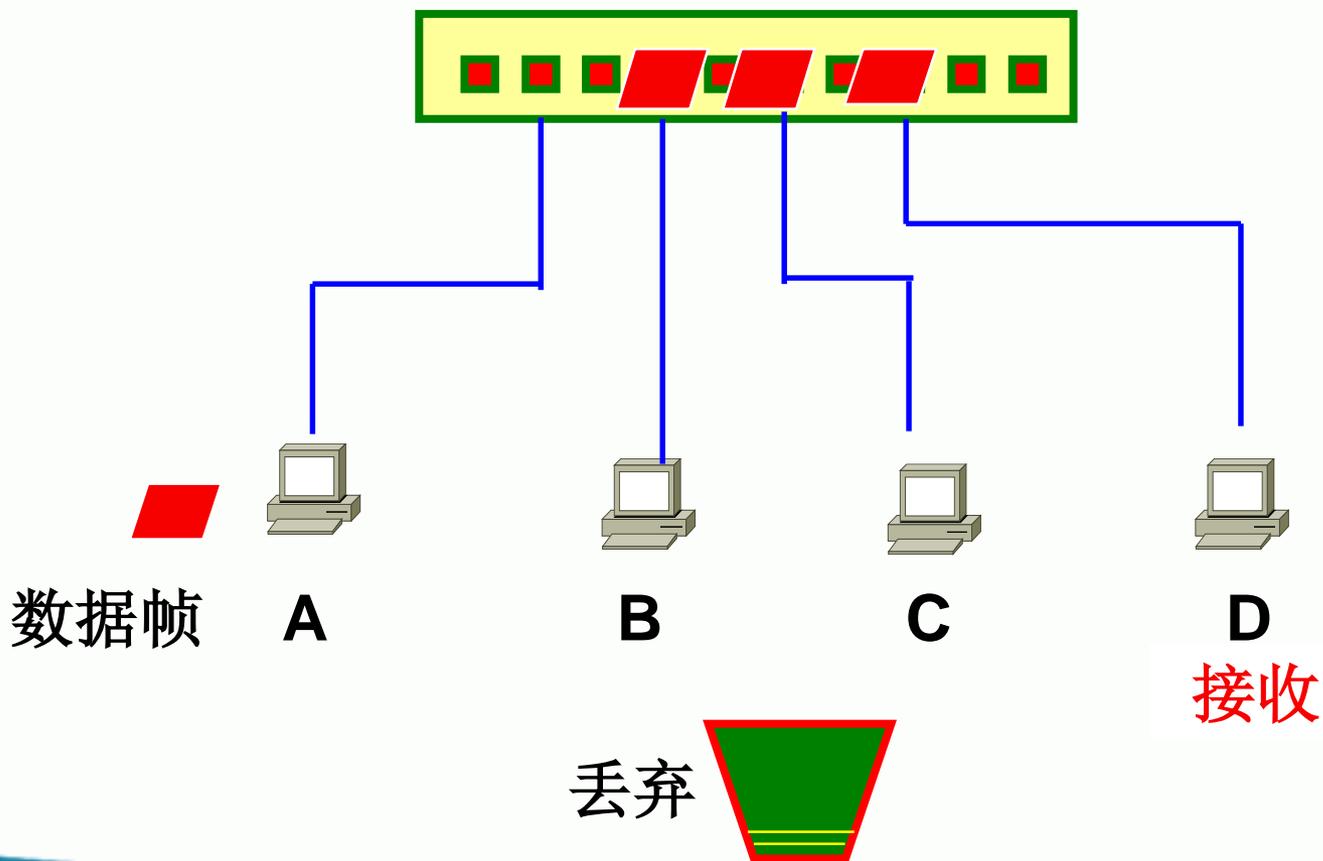
- 集线器属于物理层设备，不能识别数据帧包含的地址信息，所以它就不知道一个端口收到的数据（帧）应该转发到哪个端口。
- 只好把帧发送到除源端口以外的所有端口。
- 这样集线器所连接的所有主机都可以收到这些帧。这种工作方式被称作**广播**。





集线器是如何工作的？

A要向D发送数据





2.2 认识集线器

集线器的冲突域

集线器的冲突域

- 集线器的端口**只能**采用**广播**的方式发送信息，因此，通过集线器连接的网络中，只要有一台主机在发送数据，网络上的所有其它主机都只能处于接收状态，无法发送数据。
- 若两个以上主机同时发送数据，则出现“冲突”。
- 因此，称集线器所有的端口属于同一个**冲突域**。



集线器的冲突域



所有端口属于同一个冲突域



2.2 认识集线器

共享式以太网有哪些不足

共享式以太网有哪些不足

(1) 使用集线器不能分割冲突域

- 集线器所有端口属于同一冲突域，只要网络上有一台主机在发送帧，网络上的所有其它主机都只能处于接收状态，无法发送数据。
- 若两个以上主机同时发送数据，则出现“冲突”。
- 所以，集线器不能单独应用于较大的网络中，否则，网络越大，出现网络碰撞的几率越大，数据传输效率越低。

共享式以太网有哪些不足

(2) “半双工”问题:

- 集线器采用“广播”工作方式，只要网络上有一台主机在发送帧，网络上的所有其它主机都只能处于接收状态，无法发送数据。
- 也就是说，发送数据的站点，不可能同时接收到来自其他站点的数据信息。
- 因此，集线器网络只能实现半双工通信。





共享式以太网有哪些不足

(3) “带宽共享”问题:

- **共享**: 集线器网络中, 所有主机共享一条传输介质来传输信息, 这里“共享”的其实就是集线器内部的总线。
- **带宽**: 数字信道所能传送的最高数据率。单位是**bps** (位每秒)。
- 带宽共享, 并不是多个帧可以同时传输, 信道在同一时刻只能被一个主机使用。即在任一时刻, 所有带宽只分配给正在发送的那台主机。



共享式以太网有哪些不足

(3) “带宽共享”问题:

- **带宽共享**: 指较长一段时间内, 各主机获得的**平均带宽为 \approx 总带宽 \div 主机数**。



随着网络规模的不断扩大，网络速度的不断提高，集线器逐步退出网络应用的环境。





3.6 以太网的发展





3.4 以太网发展

- 以太网发展可以分为四个阶段：
 - 传统以太网： 1~10Mbps的速率；
 - 快速以太网： 100Mbps的速率；
 - 千兆以太网： 1000Mbps的速率；
 - 万兆以太网： 10,000Mbps的速率；



IEEE 802.3标准最为常用，它定义了四种不同介质10Mbps以太网规范，**传统以太网**：

- 10Base-2 使用细同轴电缆，最大网段长度为185m，基带传输方法；
- 10Base-5 使用粗同轴电缆，最大网段长度为500m，基带传输方法；
- 10Base-T 使用双绞线电缆，最大网段长度为100m；
- 10Base-F 使用光纤，传输率为10Mbps。

其中10Base-T应用最为广泛，10表示传输速度，单位为Mbps；T表示传输介质为双绞线；Base表示基带；如果是BROAD，则表示宽带。



快速以太网— IEEE802.3u

- 快速以太网是从10Base-T 发展而来的。1995年5月，IEEE正式通过了802.3u，即100Base-T的快速以太网标准，作为现行IEEE 802.3标准的补充。快速以太网保留了传统以太网的所有特征，即相同的帧格式、相同的介质访问方法CSMA/CD以及相同的组网方法，采用星形拓扑结构。用户可很方便地由10Base-T以太网直接升级到100Mbps，而不必改变网络的拓扑结构。





千兆以太网

- 千兆位以太网的体系结构类似于IEEE 802.3标准所描述的体系结构。1998年6月，IEEE通过了千兆以太网标准802.3z，1999年9月，IEEE通过了千兆以太网标准802.3ab。
- 802.3z以及802.3ab与802.3标准最大区别体现在物理层上，802.3z和802.3ab的物理层中包括了“编码/译码”，“收发器”以及“媒体”三个主要模块，还包括了MAC子层与物理层连接的逻辑“与媒体无关的接口”。





万兆以太网

- 万兆以太网传输速率可达到10Gbps。和以往的以太网技术一样，万兆以太网仍然采用IEEE 802.3标准的以太网介质访问控制方法CSMA/CD、帧格式和帧长度，无论从技术上还是应用上都保持了高度的兼容性，给用户升级提供了极大的方便。





3.7 以太网交换机

返回



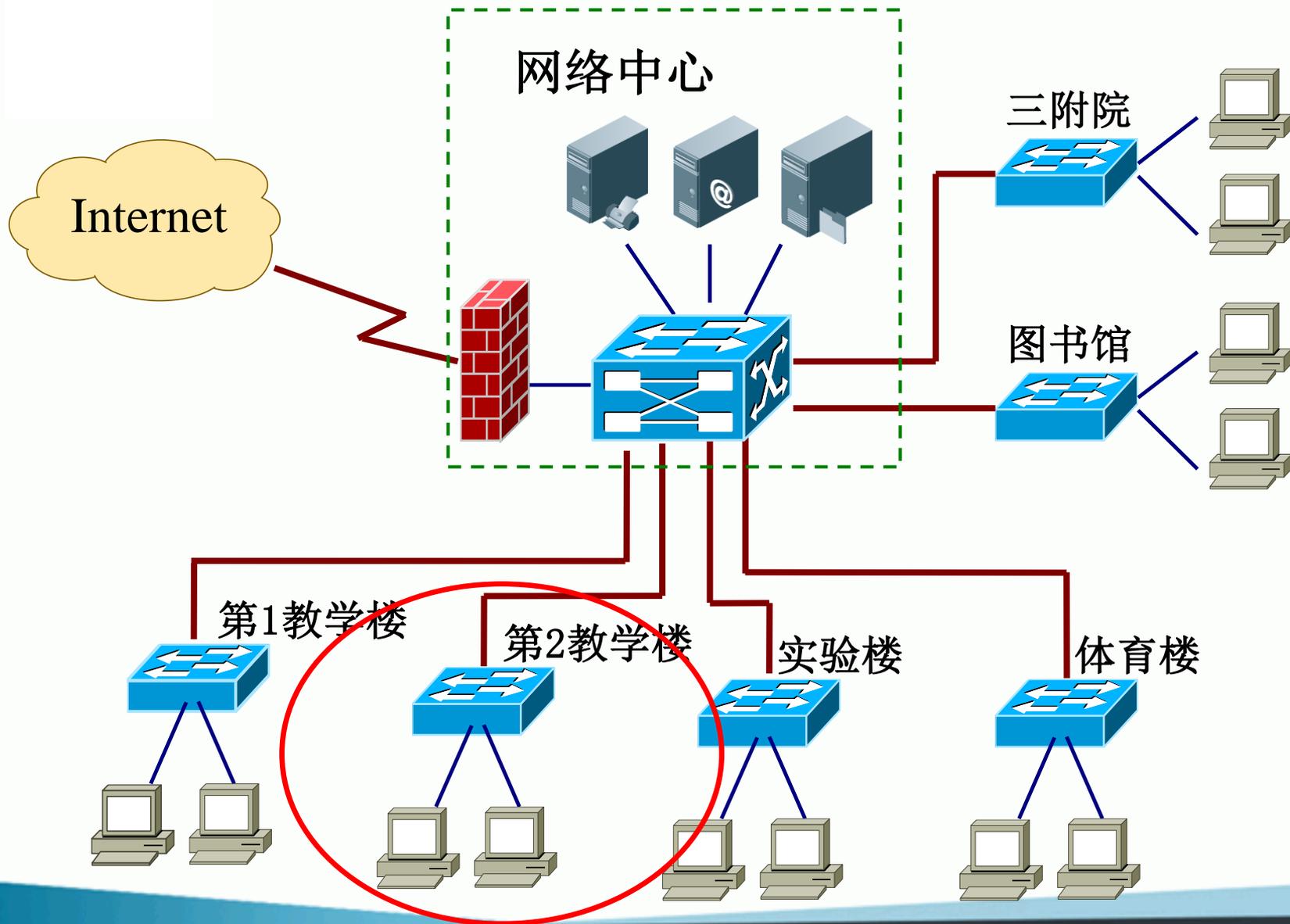


●讨论

- 集线器“纯广播”式的工作原理，使得它不能单独应用于较大的网络中。
- 随着网络规模的不断扩大，网络速度的不断提高，集线器逐步退出网络应用的环境。

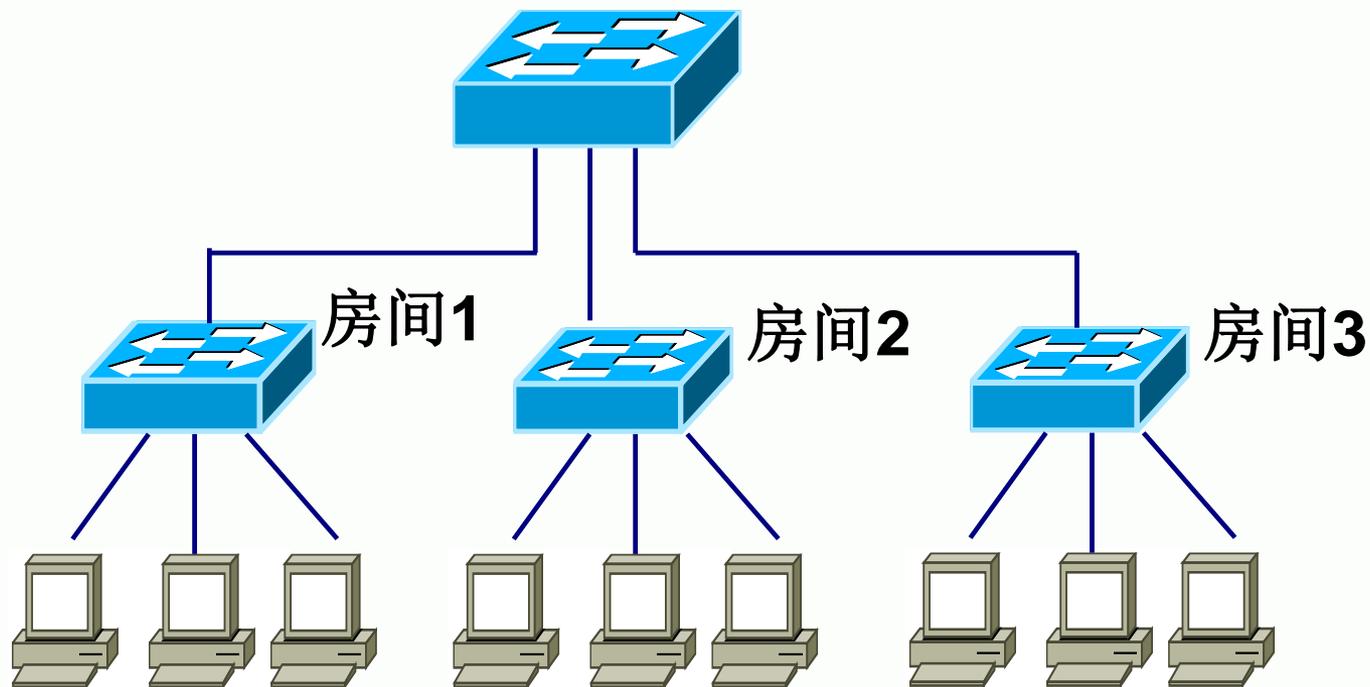
问题： 用什么来代替集线器？







➤ 如何将各部门的工作组网络连接起来，扩大网络规模，形成一个小型企业网？





3.7 以太网交换机

- 3.7.1 交换机的工作原理
- 3.7.2 交换机的工作过程
- 3.7.3 交换机的交换方式
- 3.7.4 交换机与集线器的区别
- 3.7.5 交换机的分类
- 3.7.6 交换机的性能指标
- 3.7.7 交换机之间的连接

返回





3.5.1 交换机的工作原理

返回



3.5.1 交换机的工作原理

- **核心思想**

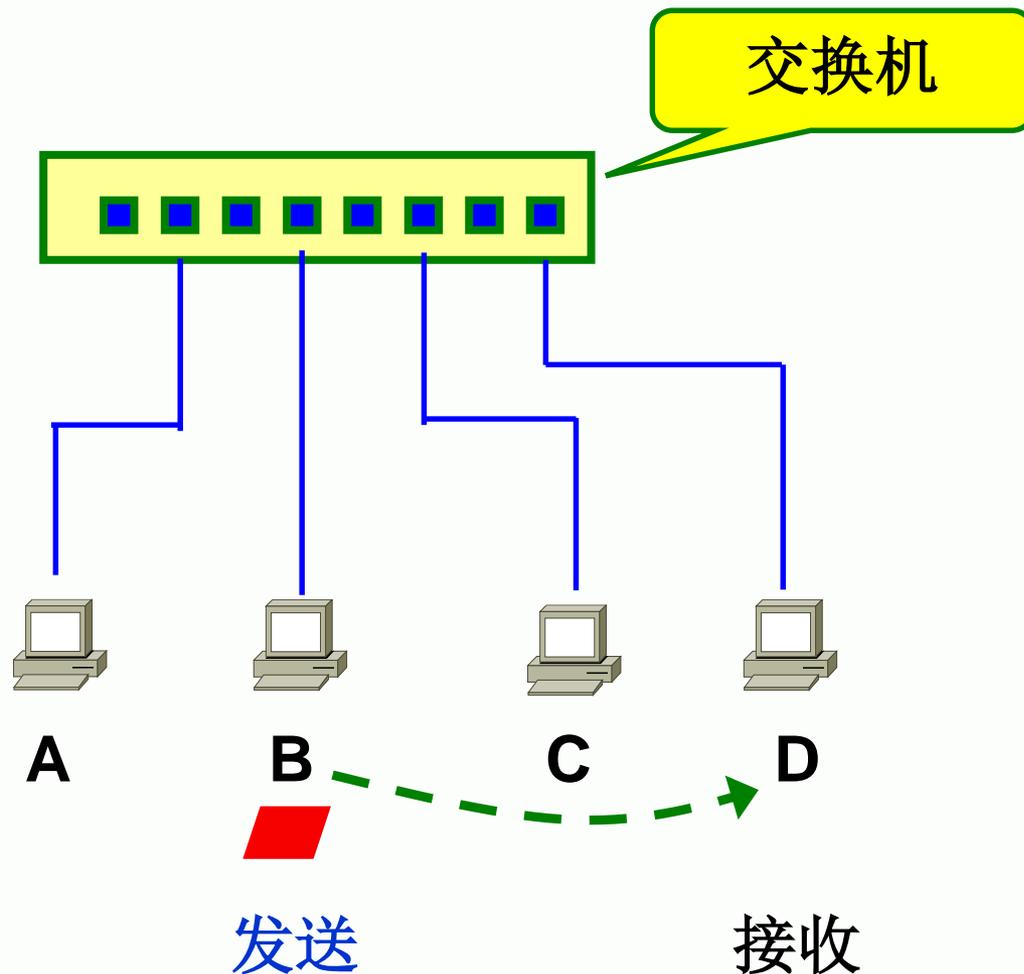
根据MAC地址，实现帧交换。

[看图说明](#)

3.5.1 交换机的工作原理

● 举例

当**B**向**D**发送信息的时候，交换机可根据目的地的**MAC**地址，直接把信息发给**D**，**A**和**C**不参与此动作。



3.5.1 交换机的工作原理

● 引申讨论

交换机是一种基于MAC地址识别的网络设备，在通信时，不再像集线器那样采用“纯广播”的工作方式，而是可以根据MAC地址，实现端口之间的直接通信。

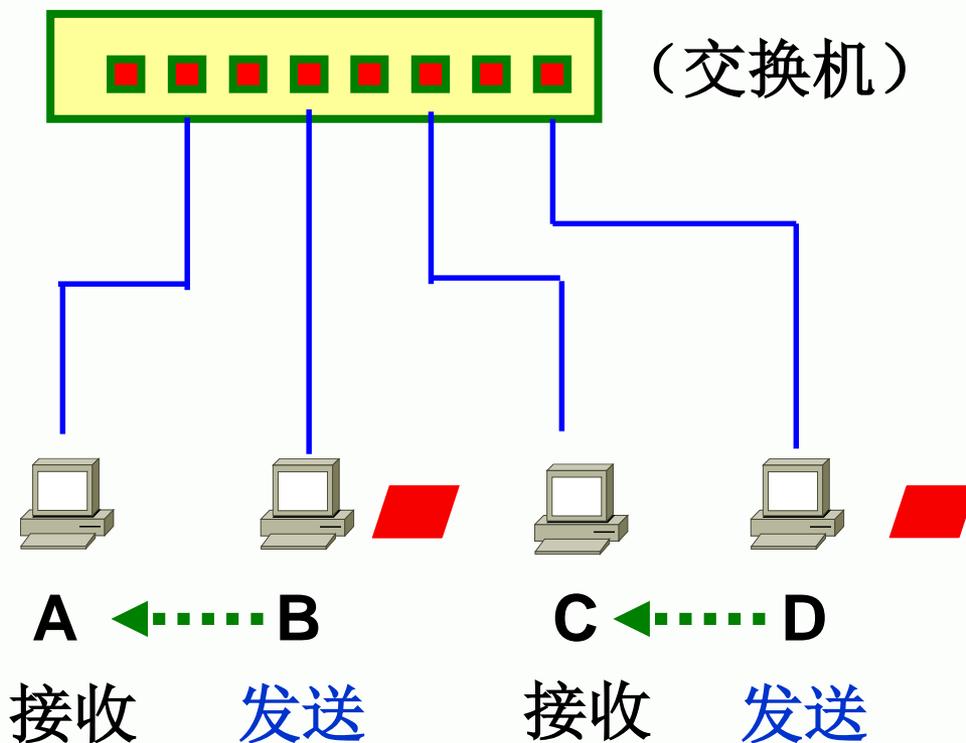
引申分析：交换机的各个端口**不属于**同一个冲突域。

[看图说明](#)

3.5.1 交换机的工作原理

● 举例

当**D**和**C**之间进行通信的同时，**B**也可以和**A**进行通信。





3.5.1 交换机的工作原理

● 归纳

1. 交换机是一种基于MAC地址识别的网络设备，可以实现端口之间的直接通信，从而提高网络通信效率。
2. 交换机的各个端口**不属于**同一个冲突域，可以同时进行通信，从而大大提高传输速率和带宽。





3.5.1 交换机的工作原理

讨论几个问题





3.5.1 交换机的工作原理

第1个问题

第1个问题

能根据MAC地址，实现帧交换。

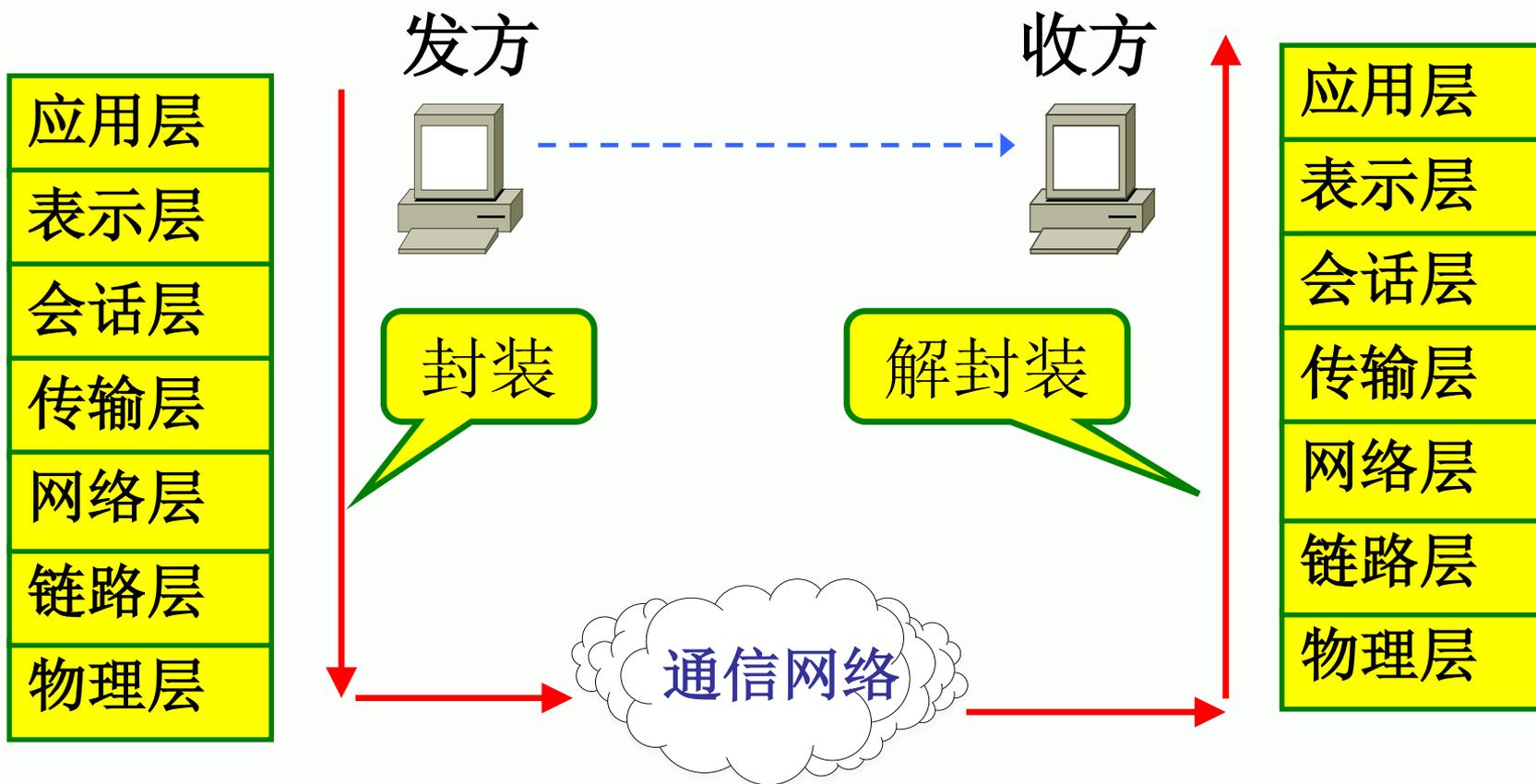
如何根据MAC地址 ？

第1个问题：如何识别MAC地址？

- 回忆一下：

通信过程中的封装与解封装

通信过程中的封装与解封装



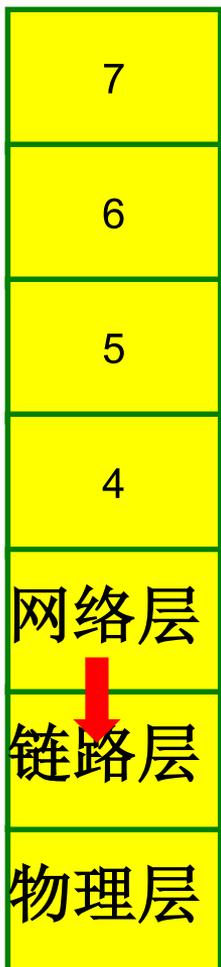


- 分析一下刚才的通信过程，

数据链路层，完成了哪些工作？

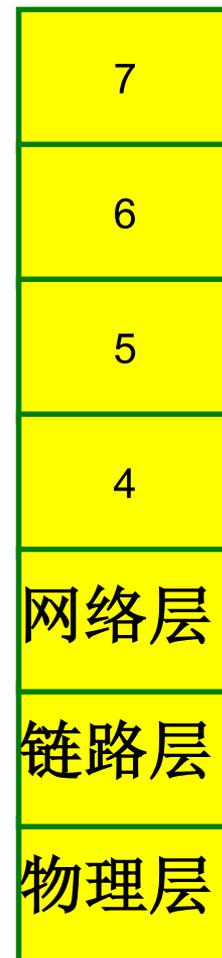


计算机1



在发送方数据链路层的工作

计算机2



链路层首部

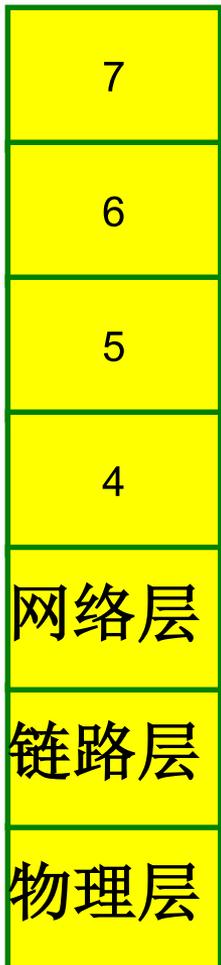
网络层的分组

链路层尾部



封装成数据帧

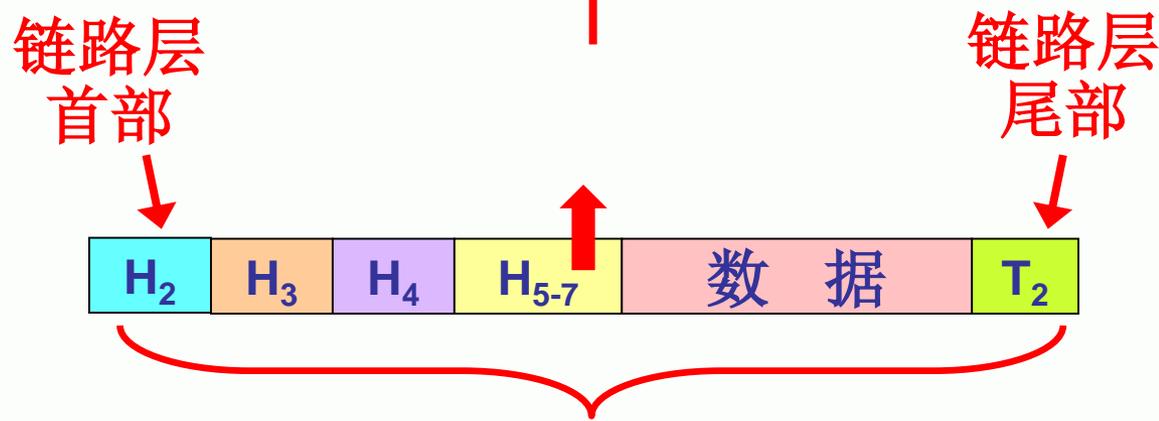
计算机1



计算机2



在接收方数据链路层的工作



剥去帧头帧尾



◆>>> 归纳一下链路层的工作

1. 数据链路层完成了对数据帧的封装（添加帧首和帧尾）与解封装（剥去帧首和帧尾）；
2. 也就是说，只有数据链路层才能识别数据帧的帧首和帧尾；

这和交换机的寻址有什么关系？



数据帧的帧首包含哪些信息？



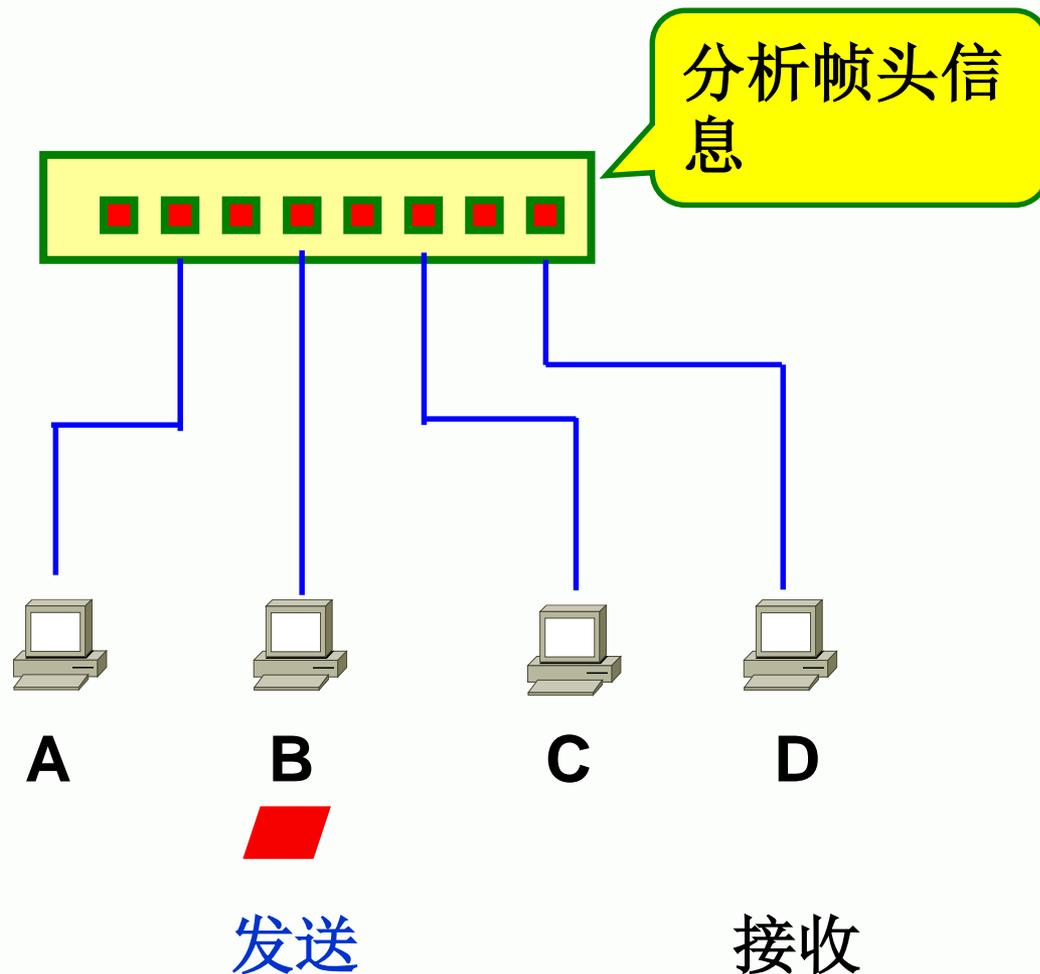
数据帧的结构



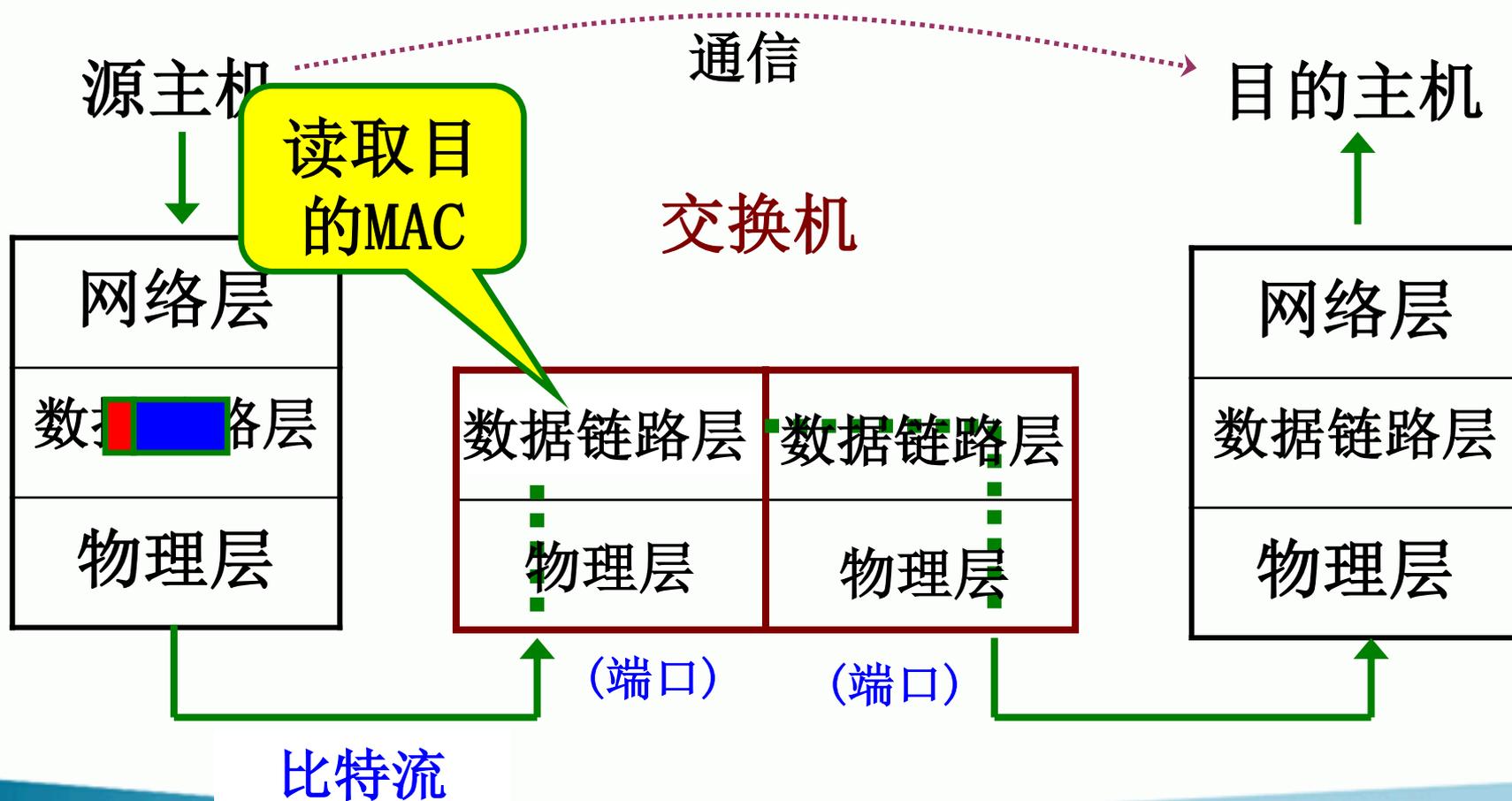
帧中的数据字段将被送往网络层，由网络层来处理

3.5.1 交换机的工作原理

- 在数据帧的帧首里，包含有发送方的MAC地址和接收方的MAC地址。
- 交换机通过分析所收到的数据帧的帧头信息，找出目的MAC，从而完成转发。



在交换机的结构中转发数据的过程



3.5.1 交换机的工作原理

● 解答 问题1： 如何根据MAC地址？

1. 交换机收到数据帧后，读取里面的目的MAC地址；
2. 根据目的MAC地址，找到目的主机对应的端口，由目的端口发出去。从而完成一次数据转发。
3. 由于MAC地址应用于网络模型的第2层，所以交换机又被称作“**二层设备**”。





3.5.1 交换机的工作原理

第2个问题



第2个问题

- 根据目的MAC地址，找到目的主机对应的端口，由目的端口发出去。从而完成一次数据转发。

交换机怎么知道目的MAC对应的是哪个端口？



第2个问题

●交换机怎么知道目的**MAC**对应哪个端口？

- 在交换机的内存中，有一个关于端口与其所连接主机的MAC地址的对照表，又叫**MAC地址表**。
- 交换机收到数据帧后，会查找MAC地址表，以确定具有目的MAC地址的网卡挂接在哪个端口上，然后进行转发。

看图说明





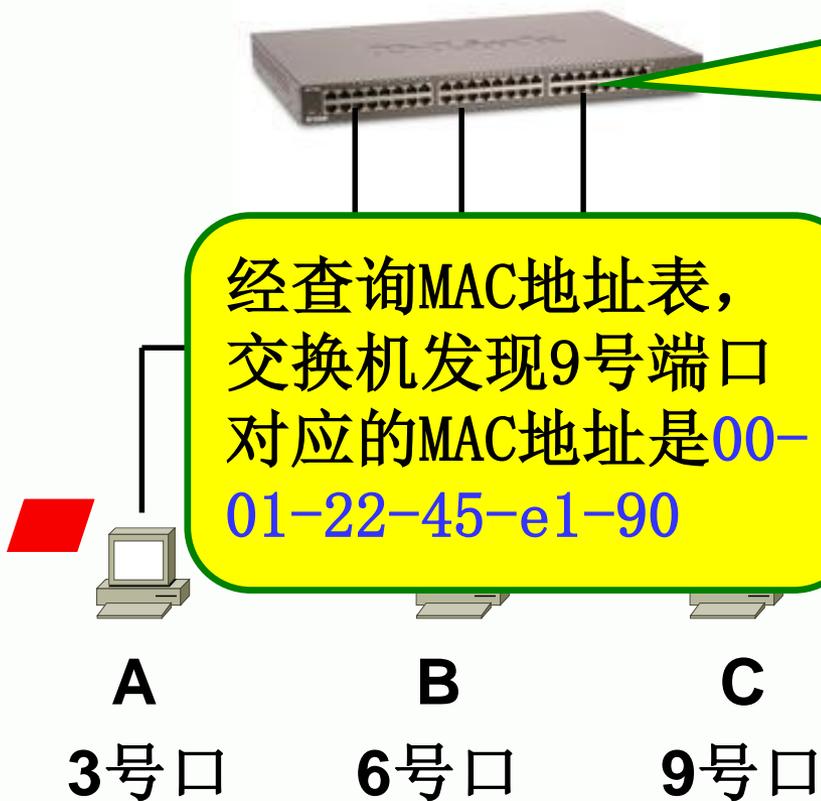
第2个问题

交换机将A发出的数据帧转发到9号端口，并进一步传给C。

经查询MAC地址表，交换机发现9号端口对应的MAC地址是00-01-22-45-e1-90

MAC地址表(在交换机中)

MAC地址	端口
00-01-22-45-e1-34	1
00-01-22-45-e1-50	3
00-01-22-45-e1-90	9
.....	...



3.5.1 交换机的工作原理

● 结论：第2个问题

交换机怎么知道目的MAC对应的是哪个端口？

- 交换机通过查询其内部的MAC地址表，找出目的MAC对应哪个端口。





3.5.1 交换机的工作原理

第3个问题



3.5.1 交换机的工作原理

● 第3个问题

- 交换机刚买回来时，不可能知道网络中各节点的**MAC**地址，也就是说在交换机刚刚打开电源时，其**MAC**地址表是一片空白。那么，交换机的地址表是怎样建立起来的呢？

交换机的地址表是怎样建立起来的？

3.5.1 交换机的工作原理

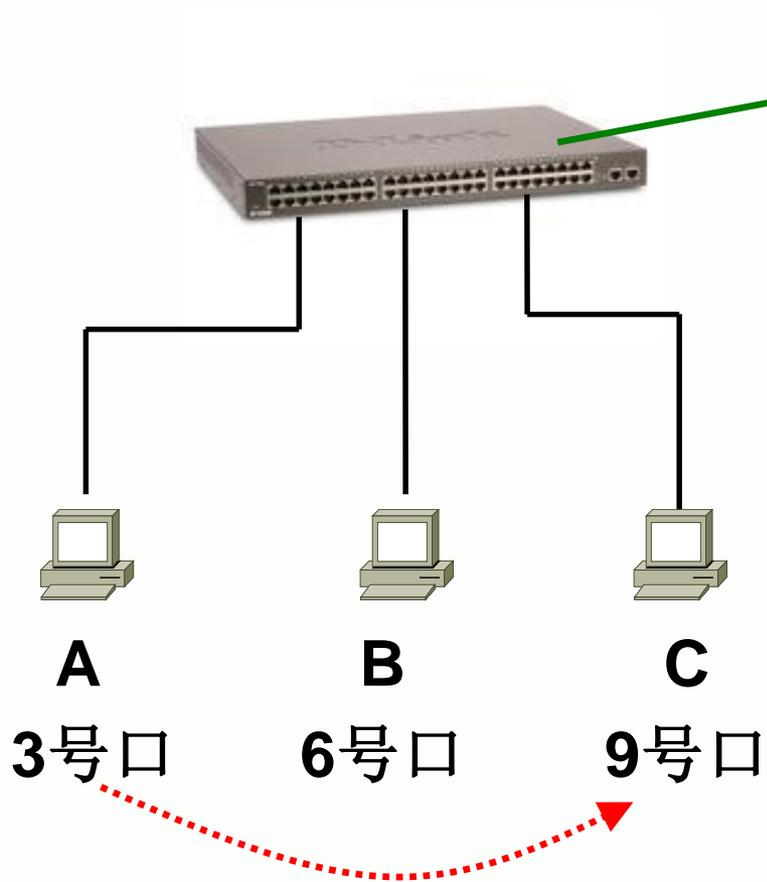
● 第3个问题

交换机的地址表是怎样建立起来的？

- 方法1：自动生成
- 方法2：手工建立



第3个问题



MAC地址表(刚开机时)

MAC地址	端口
空白	
空白	

A: 00-01-22-45-e1-30

B: 00-01-22-45-e1-60

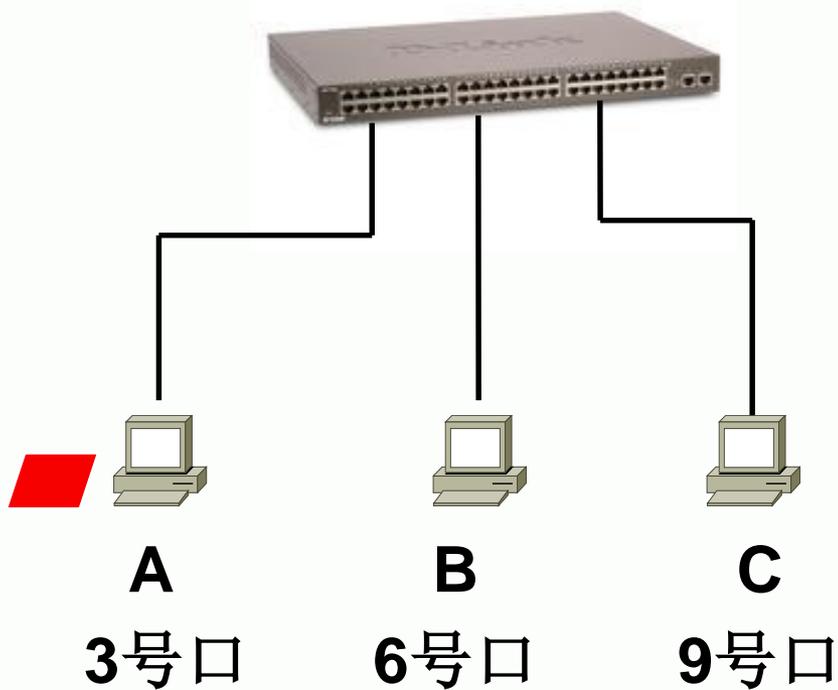
C: 00-01-22-45-e1-90

如何通信?





第3个问题

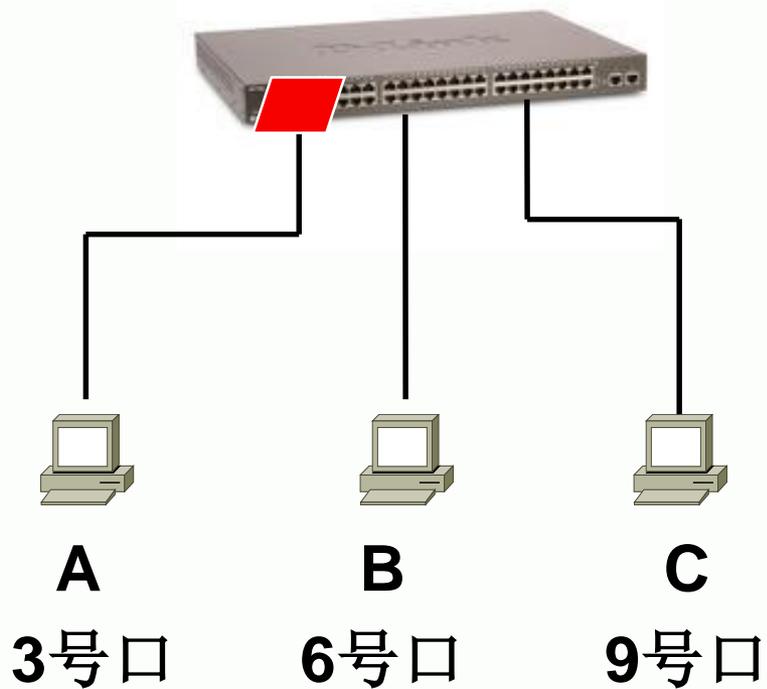


1. 交换机的3号口收到A发来的数据帧，里面包含有源MAC地址(...-30)和目的MAC地址 (...-90)
2. 此时，交换机就知道了3号端口对应的MAC地址。





第3个问题



MAC地址表

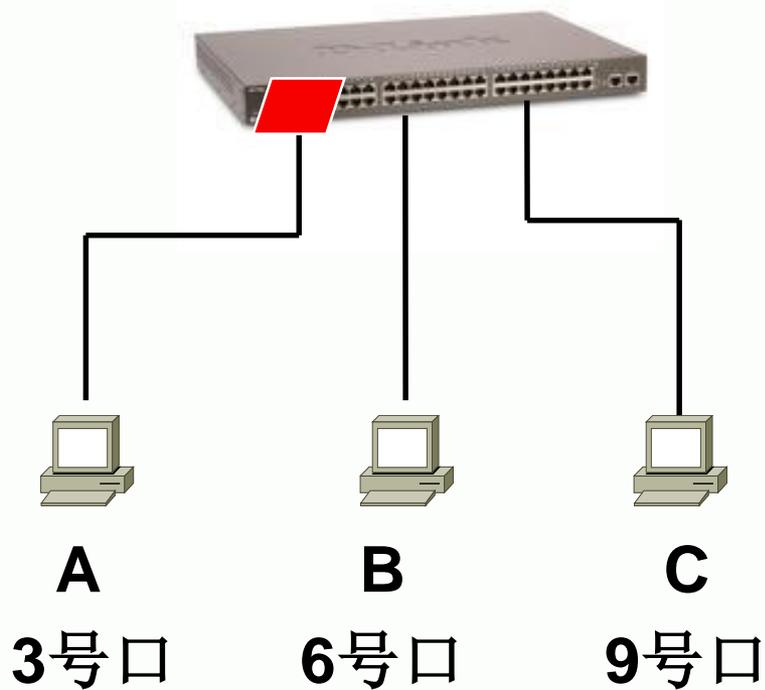
MAC地址	端口
00-01-22-45-e1-30	3

3. 于是，交换机的MAC表中就有了第1条信息。





第3个问题



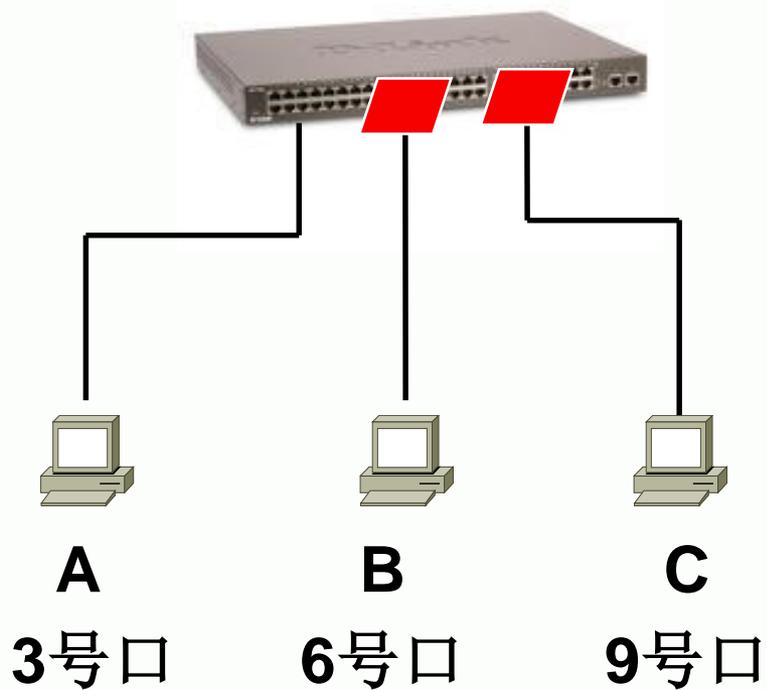
4. 但是，交换机不知道目的**MAC**地址 (...-90) 对应哪个端口，**接下来**怎么办呢？

采用广播！





第3个问题

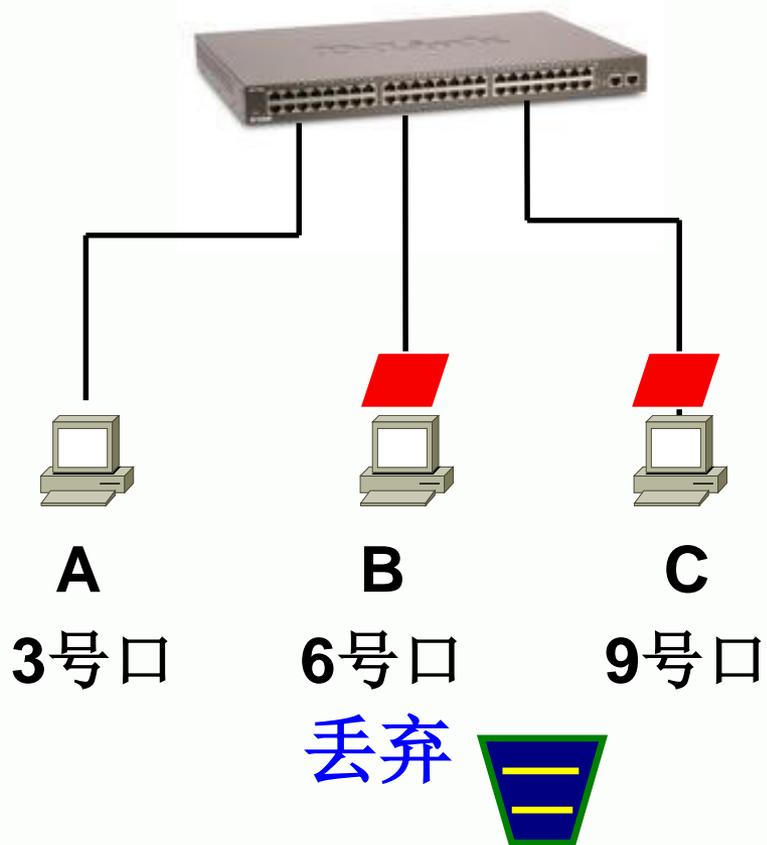


5. 交换机把帧发到除来源端口外的所有端口，于是**B**和**C**都收到了**A**发来的数据帧。





第3个问题

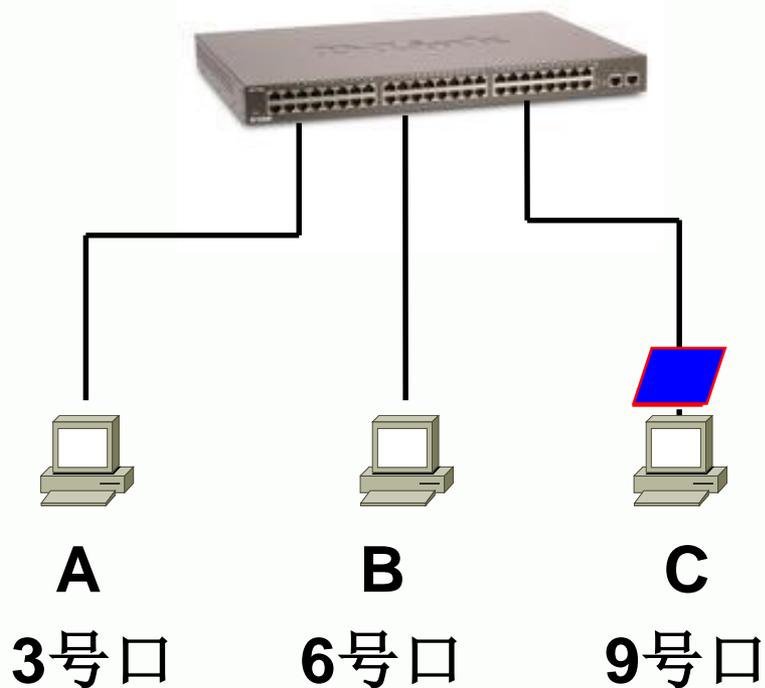


6. B发现帧中的目的MAC不是自己，就把收到的帧丢弃了。





第3个问题



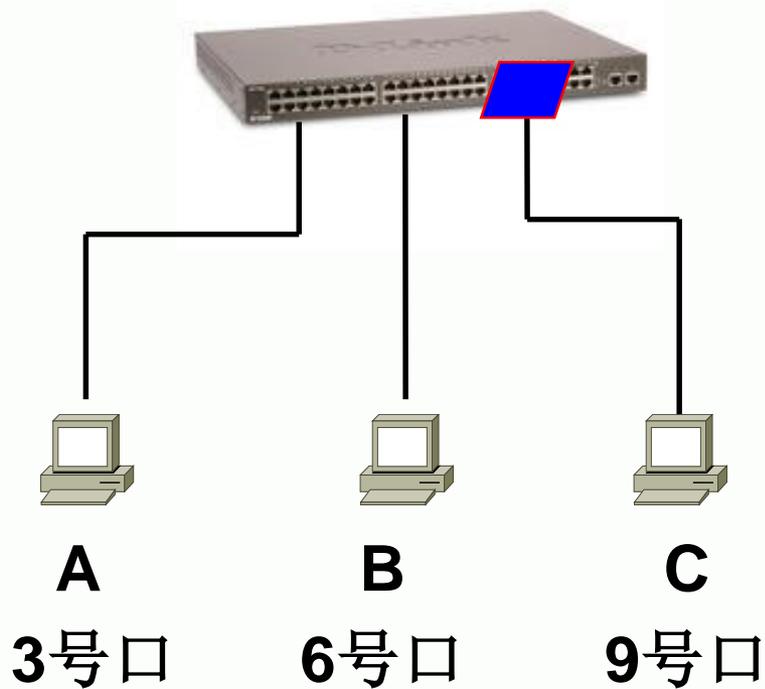
7. **C**发现帧中的目的**MAC**是自己，就收下，并且向**A**发回一个确认消息。

8. 该确认消息的帧中，源**MAC**是**C**的**MAC**地址，目的**MAC**是**A**的**MAC**地址。





第3个问题



MAC地址表

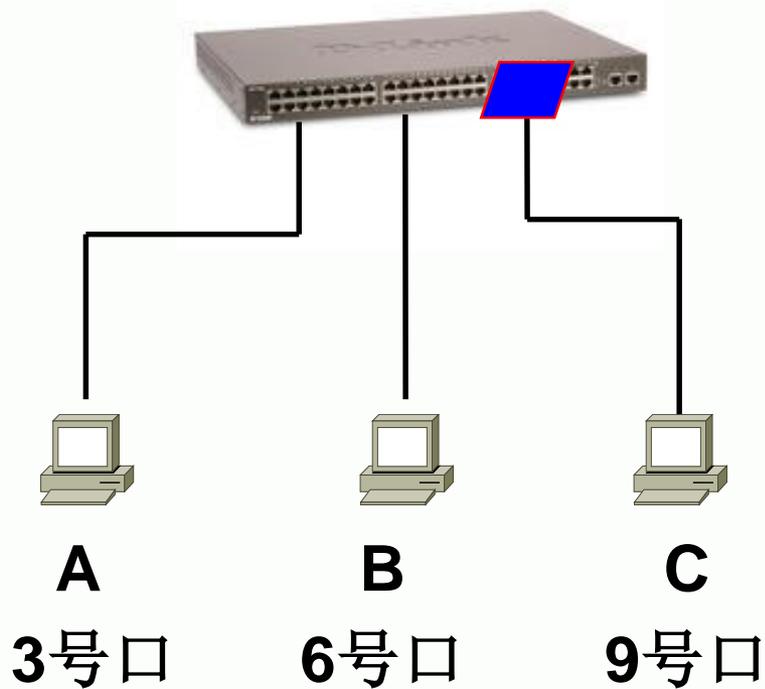
MAC地址	端口
00-01-22-45-e1-30	3
00-01-22-45-e1-90	9

9. 交换机收到确认帧后，就知道了9号端口对应的MAC地址。于是MAC地址表就有了第2项信息。





第3个问题



通信完毕

MAC地址表

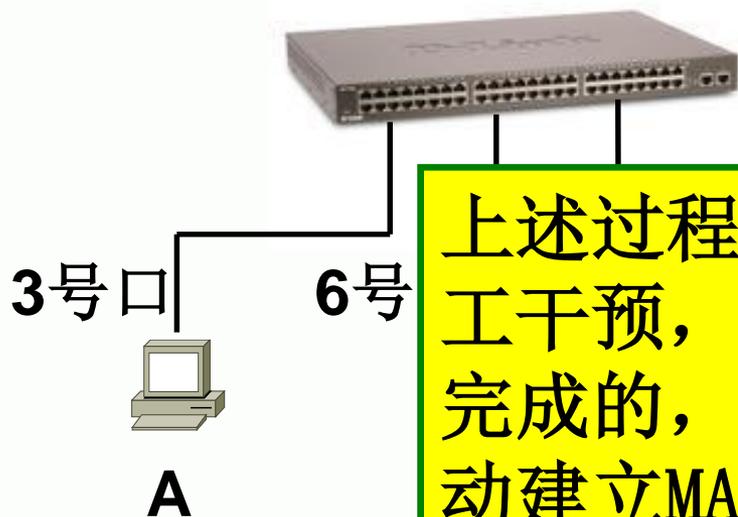
MAC地址	端口
00-01-22-45-e1-30	3
00-01-22-45-e1-90	9

10. 交换机查询MAC地址表，发现确认帧的目的MAC对应的是3号端口，就把帧转发到3号口，帧最终到达A。





第3个问题



上述过程中，并不需要人工干预，而是交换机自己完成的，我们把交换机自动建立MAC地址表的过程，称作“地址学习”。

MAC地址	端口
00-01-22-45-e1-30	3
00-01-22-45-e1-90	9

11. 现在，交换机的MAC地址表中就有了A和C的MAC地址以及对应的端口号，

通信时，就，而可以直接的通信了。

交换机的中会出现越来越

越多的信息。



3.5.1 交换机的工作原理

- 结论：第3个问题

交换机的地址表是怎样建立起来的？

交换机通过地址学习，自动建立MAC地址表

3.5.1 交换机的工作原理

方法2:

如何手工建立MAC地址表?

3.5.1 交换机的工作原理

- 如何手工建立**MAC**地址表？

- (1) 登录交换机

- (2) 进入MAC地址配置界面

- (3) 输入MAC地址信息以及所对应的端口信息

- (4) 保存配置

上述过程又被称作交换机的**MAC**地址绑定



3.5.1 交换机的工作原理

第4个问题



3.5.1 交换机的工作原理

● 第4个问题

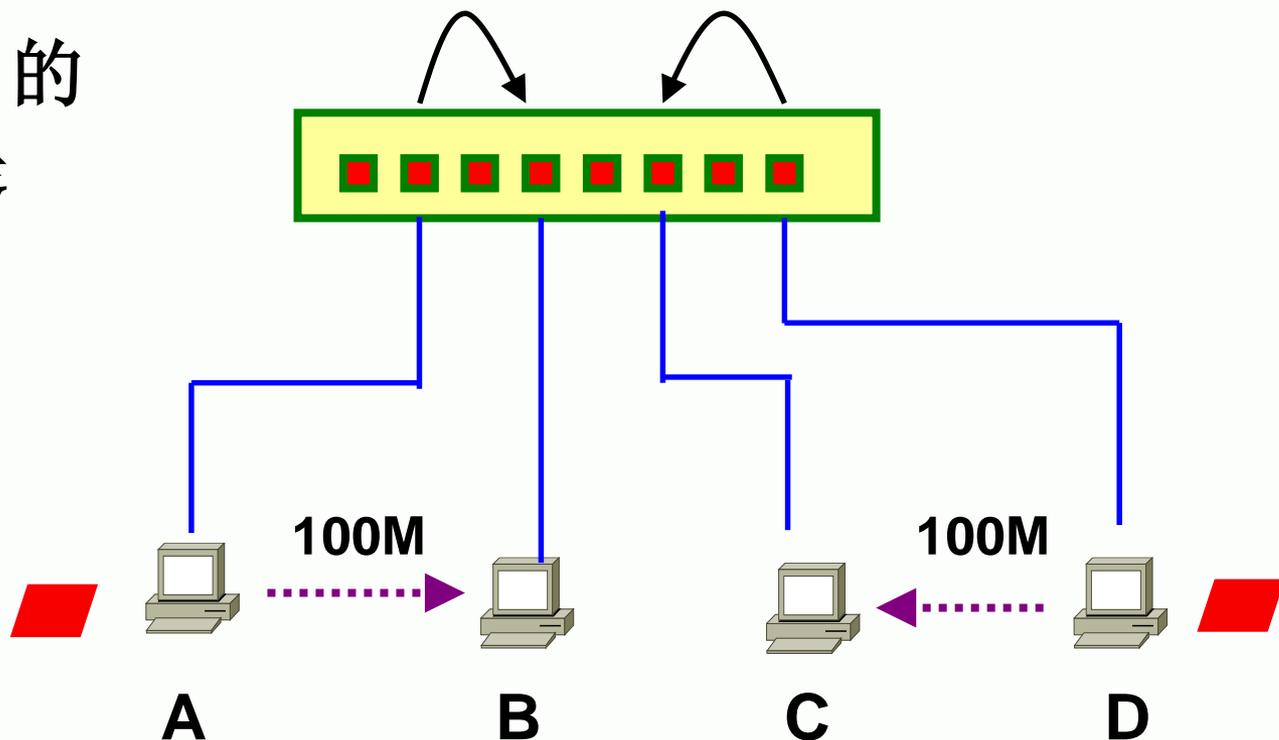
- 对于一台带宽为100Mbps的交换机，假如其中4个端口上的主机同时都在通信，那么，每个端口的带宽是多少？
- 是 $100/4=25\text{Mbps}$ 吗？

第4个问题

- 交换机拥有一条带宽很高的背部总线和内部交换矩阵。交换机的所有的端口都挂接在这条背部总线上，交换机在同一时刻可进行**多个端口对**之间的数据传输。
- 每一端口都可视为独立的网段，连接在其上的网络设备**独自享有全部的带宽**，无须同其他设备竞争使用。

第4个问题

交换机端口的工作带宽是
100Mbps





第4个问题

- 结论: 交换机的带宽问题

每一端口都可视为独立的网段，连接在其上的网络设备独自享有全部的带宽，无须同其他设备竞争使用。





- 归纳一下：

交换机的工作原理



◆>>> 归纳：交换机的工作原理

1. 工作在数据链路层；
2. 能通过地址学习或手工的方式建立**MAC**地址表，并可依据该表，将帧直接转发到目的端口；
3. 每个端口独享带宽；
4. 每个端口属于独立的冲突域；
5. 默认情况下，所有端口属于同一个广播域；



交换机参数举例

产品图片	产品型号	参考报价
 加入对比	神州数码 DCS-3950-26C 交换机：接入交换机 传输速率：10/100/1000 网管功能：CLI, WEB, SNMP 包转发率：10.1Mpps, 全线速 上市日期：2007年03月	¥5200 2010-04-06 查询商家报价 网上购买 全部参数>> [产品图片] [点评] [共6家商家]
 加入对比	神州数码 DCRS-5950-28T 交换机：万兆以太网交换机 传输速率：10/100/1000/10000 网管功能：支持CLI、支持Conso... 包转发率：274Mpps 上市日期：2007年03月	¥10万 2010-04-06 查询商家报价 网上购买 神 全部参数>> [产品图片] [点评] [共3家商家]

交换机参数举例

应用层级：二层

交换机接口：24个10/100M端口 ...

背板带宽：32Gbps

MAC地址表：16K

产品图片	产品型号	参考价格
	神州数码 DCS-3950-26C 交换机：接入交换机 传输速率：10/100/1000 网管功能：CLI, WEB, SNMP 包转发率：10.1Mpps, 全线速 上市日期：2007年03月	¥5200 2010-04-06 查询商家报价 网上购买
	神州数码 DCRS-5950-28T 交换机：万兆以太网交换机 传输速率：10/100/1000/10000 网管功能：支持CLI、支持Conso... 包转发率：274Mpps 上市日期：2007年03月	¥10万 2010-04-06 查询商家报价 网上购买

返回





3.5.2 交换机的工作过程

返回



4.1.2 交换机的工作过程

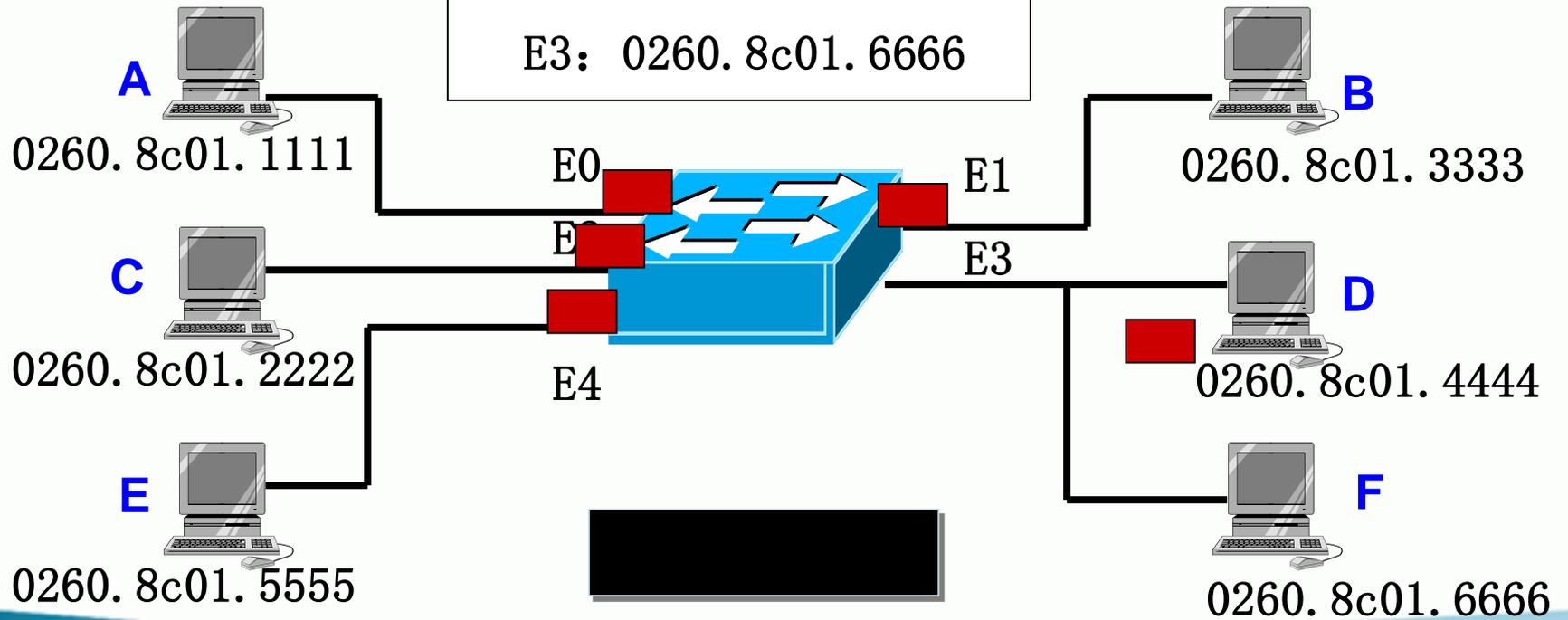
● 情况1

- 若数据帧的目的MAC地址是广播地址或组播地址，则向除源端口外的所有端口转发。



MAC address table

E0:	0260.8c01.1111
E1:	0260.8c01.3333
E2:	0260.8c01.2222
E3:	0260.8c01.4444
E3:	0260.8c01.6666



4.1.2 交换机的工作过程

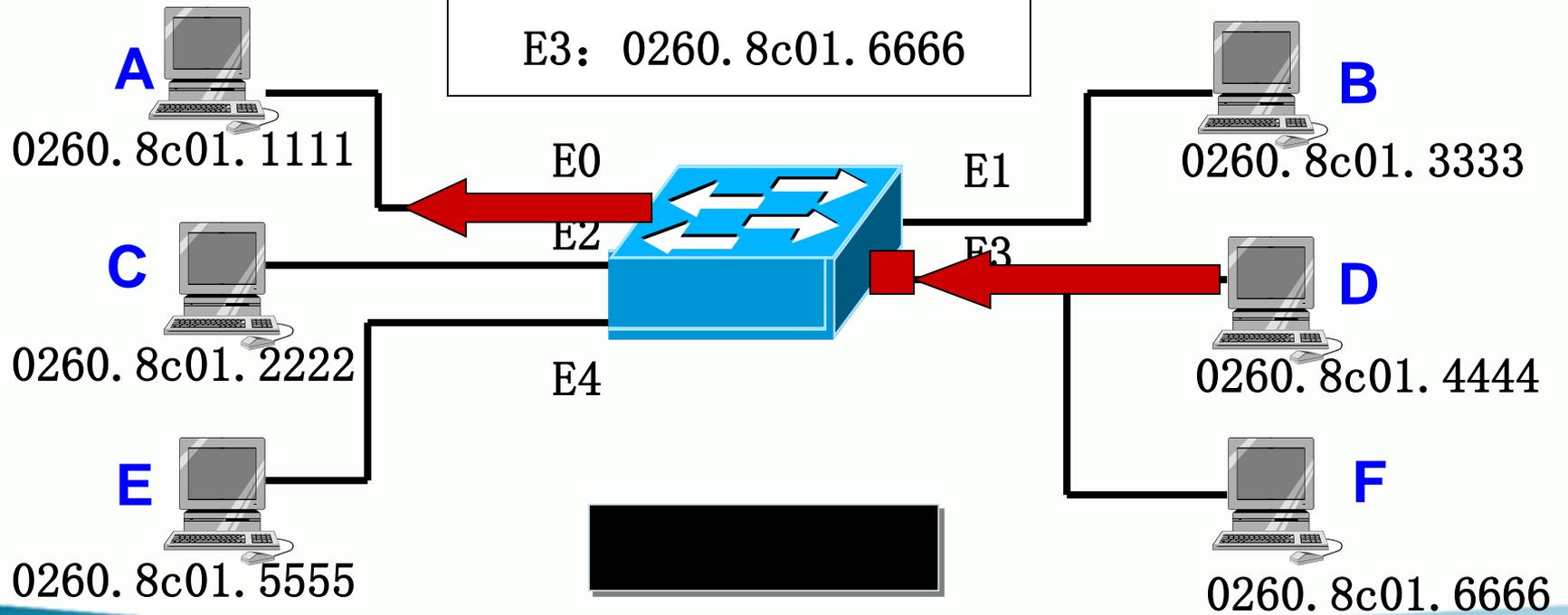
● 情况2

- 若目的MAC地址是单播地址，且存在于MAC地址对照表中，则转发到相应的端口。



MAC address table

E0:	0260.8c01.1111
E1:	0260.8c01.3333
E2:	0260.8c01.2222
E3:	0260.8c01.4444
E3:	0260.8c01.6666



4.1.2 交换机的工作过程

● 情况3

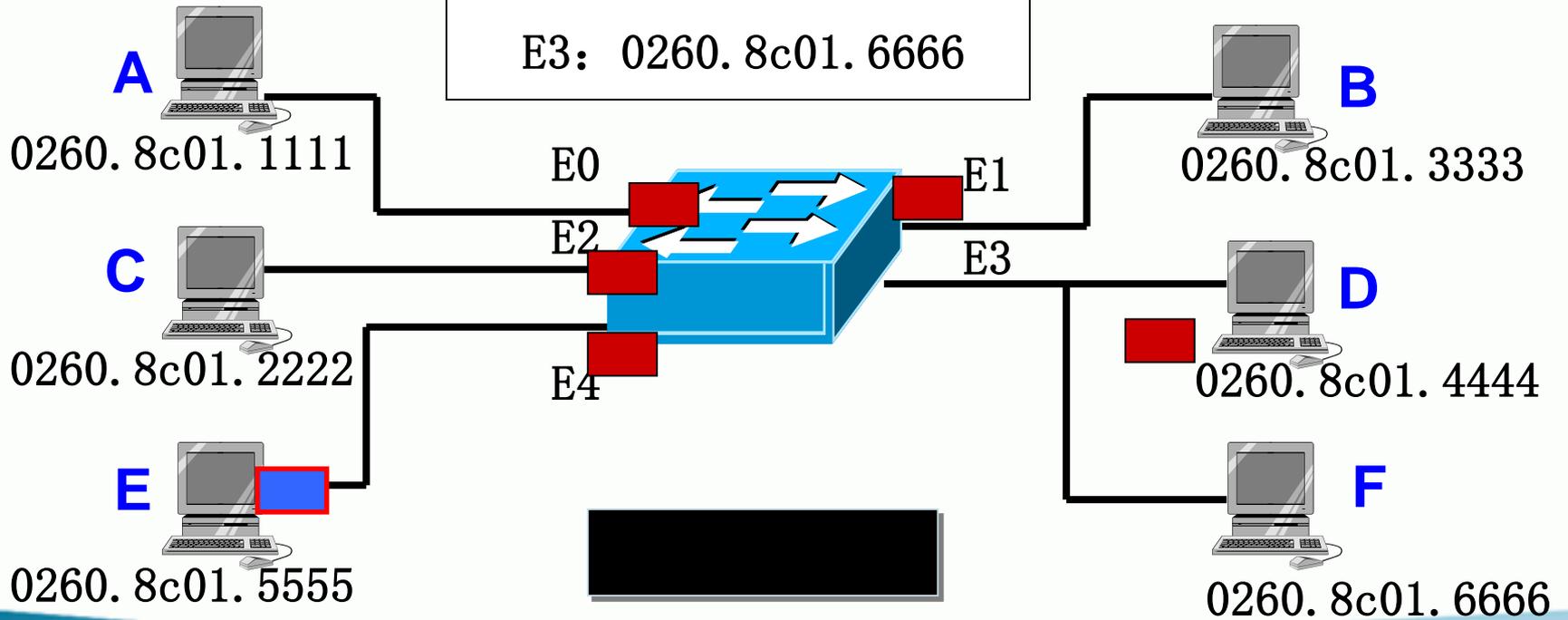
- 若目的MAC地址是单播地址，但在MAC地址表中不存在，则也会向除源端口外的所有端口转发。
- 目的端口收到帧后，会发确认信息



MAC address table

E0:	0260.8c01.1111
E1:	0260.8c01.3333
E2:	0260.8c01.2222
E3:	0260.8c01.4444
E3:	0260.8c01.6666

没有E的MAC地址表项



4.1.2 交换机的工作过程

● 情况4

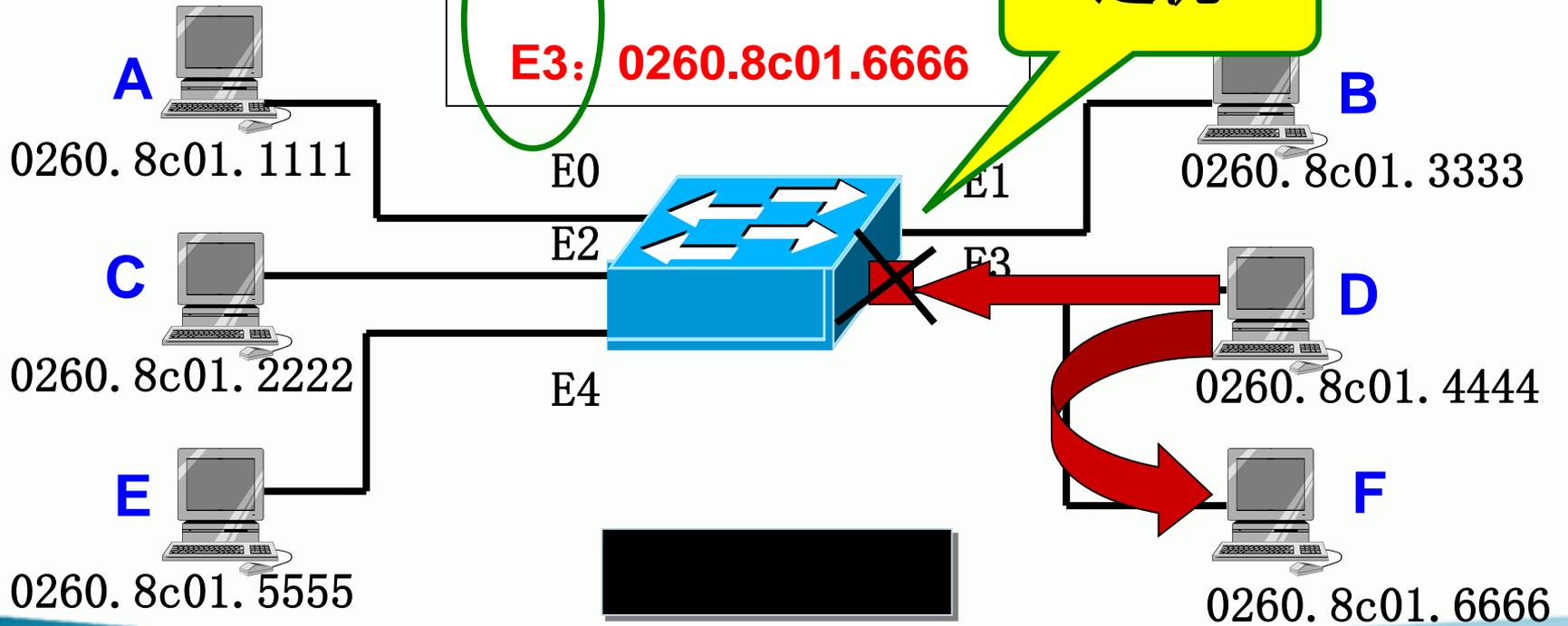
- 若目的MAC地址与源地址对应同一端口，则不进行交换，丢弃该帧，即进行过滤。



MAC address table

E0:	0260.8c01.1111
E1:	0260.8c01.3333
E2:	0260.8c01.2222
E3:	0260.8c01.4444
E3:	0260.8c01.6666

过滤



4.1.2 交换机的工作过程

● 情况5

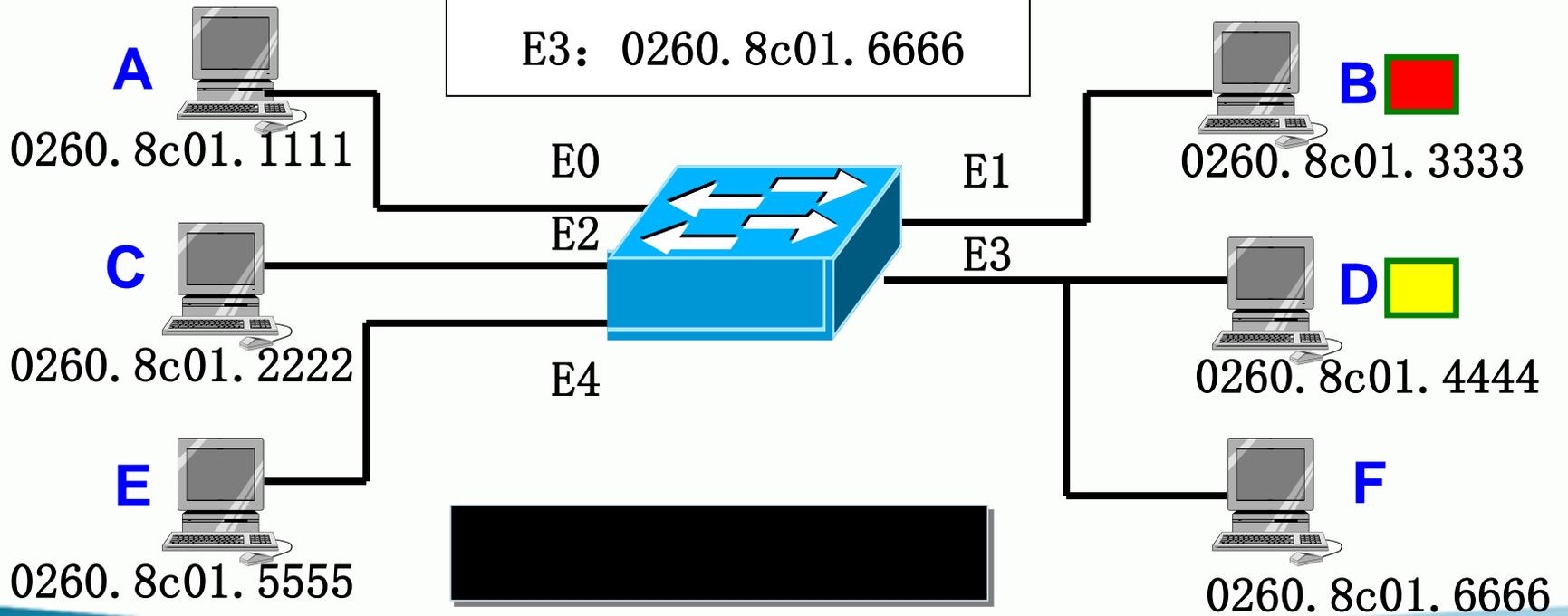
- D与A通信的同时，B也向C发送数据，则交换机会通过内部的硬件交换电路**建立两条**链路，分别转发各自的数据，**不会产生冲突**；
- 通信结束后再拆除此链路。



MAC address table

返回

E0:	0260.8c01.1111
E1:	0260.8c01.3333
E2:	0260.8c01.2222
E3:	0260.8c01.4444
E3:	0260.8c01.6666





3.5.3 交换机的交换方式

返回



3.5.3 交换机的交换方式

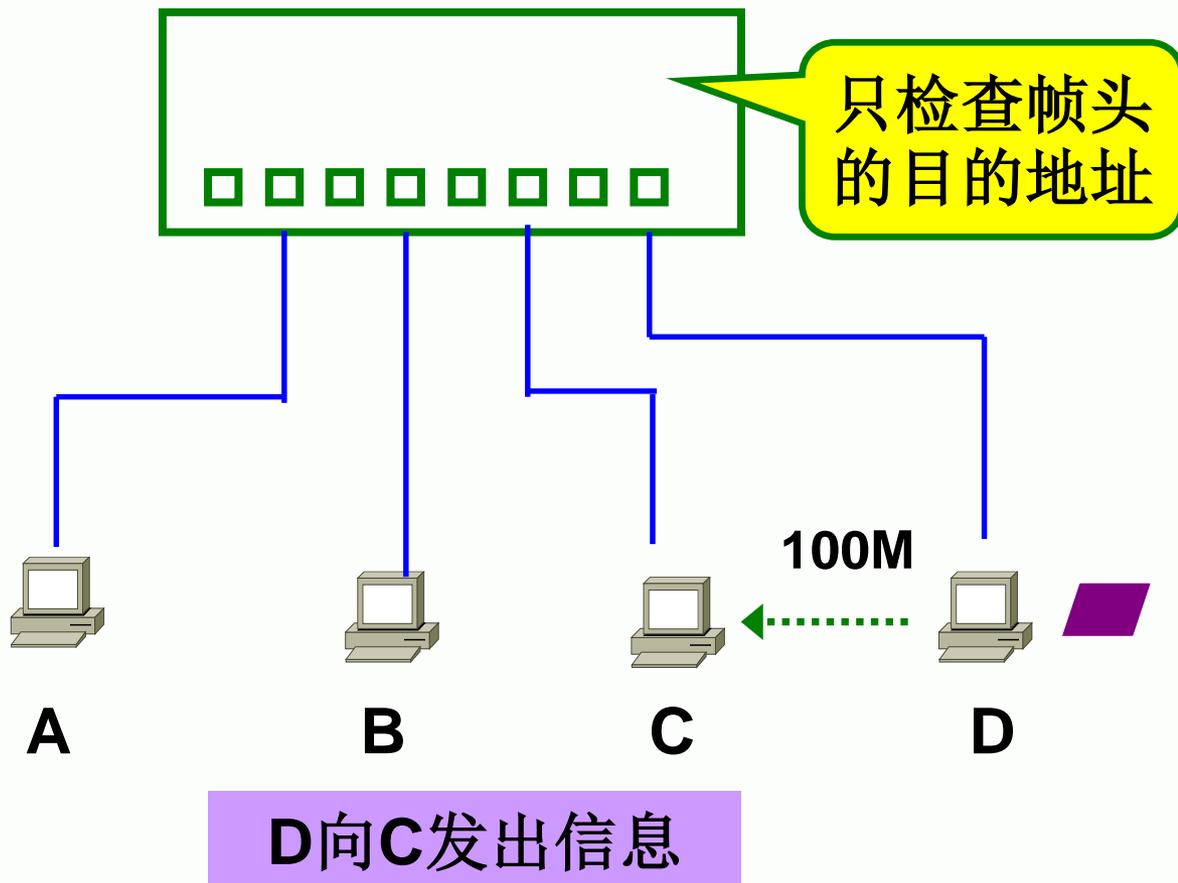
- 交换机的基本功能，就是把收到的数据帧，按照一定的方式转发出去
- 交换机转发数据的方式可分为三类
 - 直通式
 - 存储—转发
 - 碎片隔离

3.5.3 交换机的交换方式 — 直通

● 直通式

交换机在输入端口检测到一个数据帧时，检查该帧的帧头，获取目的MAC地址，启动内部的动态查找表转换成相应的输出端口，把数据帧直通到相应的端口，实现交换功能。

3.5.3 交换机的交换方式 — 直通



3.5.3 交换机的交换方式 — 直通

● 直通式

优点：

由于不需要存储帧，延迟非常小、交换非常快。

缺点：

(1) 因为数据帧内容并没有被以太网交换机保存下来，所以无法检查所传送的数据包是否有误，~~不能提供错误检测能力。~~

~~(2) 由于没有缓存，~~不能将具有不同速率的输入/输出端口直接接通，而且容易丢包。

3.5.3 交换机的交换方式 — 存储转发

● 存储转发

存储转发方式是计算机网络领域应用最为广泛的方式。它把输入端口的数据包先存储起来，然后进行CRC（循环冗余码校验）检查，在对错误包处理后才取出数据包的目的地址，通过查找表转换成输出端口送出包。



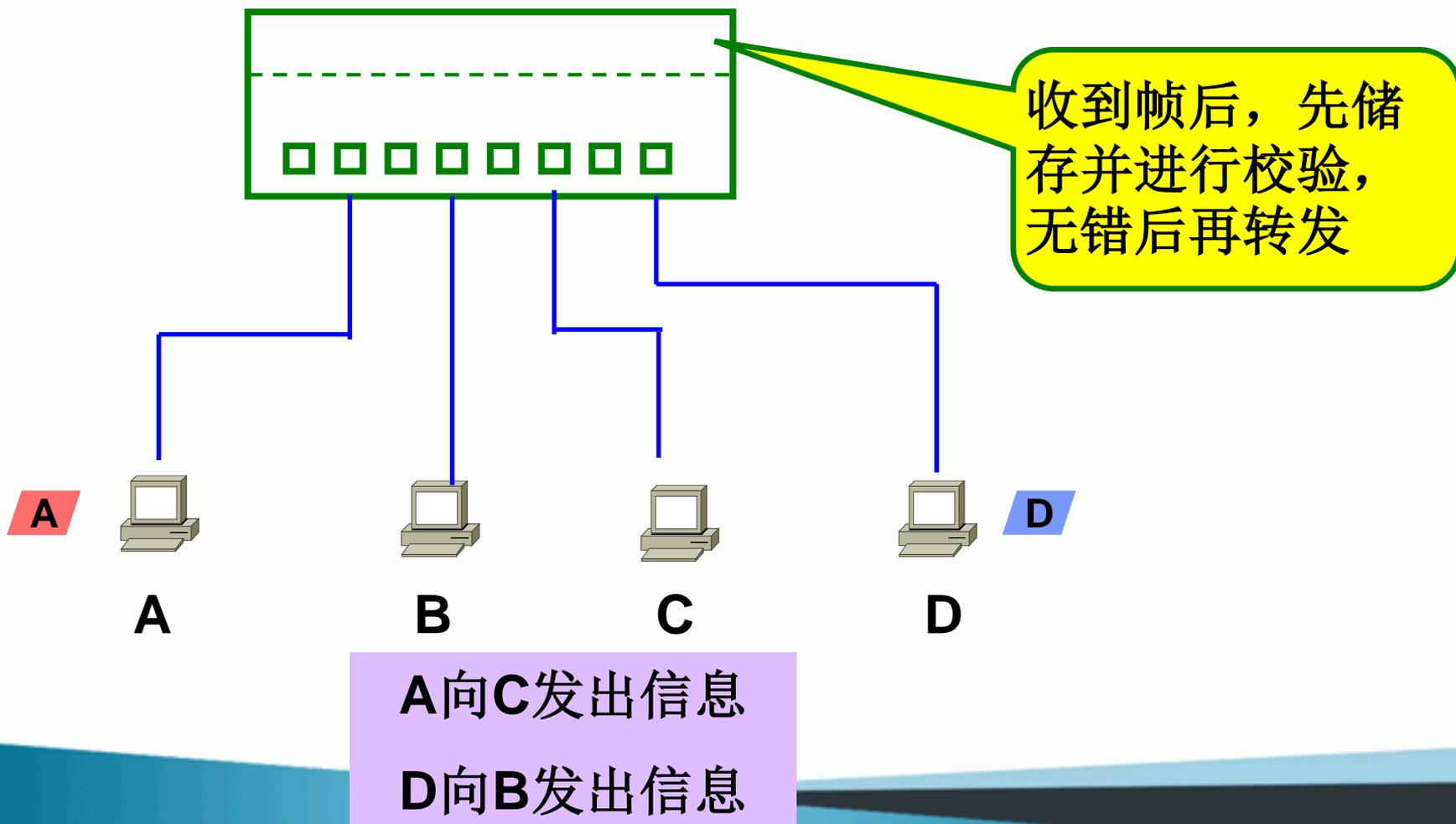
数据帧的帧首包含哪些信息？



- **数据**：在接收方，帧中的数据字段将被送往网络层，由网络层来处理。



3.5.3 交换机的交换方式 — 存储转发



3.5.3 交换机的交换方式 — 存储转发

● 存储转发

正因如此，存储转发方式在数据处理时**延时大**，这是它的不足，但是它可以对进入交换机的数据包进行错误检测，有效地**改善网络性能**。尤其重要的是它可以**支持不同速度的端口间的转换**，保持高速端口与低速端口间的协同工作。

3.5.3 交换机的交换方式 — 碎片隔离

● 碎片隔离

这是介于前两者之间的一种解决方案。它检查数据包的长度是否够64个字节，如果小于64字节，说明是假包，则丢弃该包；如果大于64字节，则发送该包。这种方式也不提供数据校验。它的数据处理速度比存储转发方式快，但比直通式慢。



数据帧的帧首包含哪些信息？



一个有效帧最小是64个字节 (B)





3.5.4 交换机与集线器的区别

返回





3.5.4 交换机与集线器的区别

1. 在OSI/RM中对应的层次不同：集线器在物理层，而交换机至少工作在数据链路层。
2. 最根本的区别是工作机制不一样。集线器使用的是广播式传输数据，交换机是基于MAC地址进行交换，因此交换机可以实现真正意义上的点到点方式的数据传输。



3.5.4 交换机与集线器的区别

3. 集线器是所有端口共享集线器的总带宽，而交换机的每个端口都具有自己的带宽，因此，交换机的数据传输速率比集线器要快很多。
4. 集线器是采用半双工方式进行传输，而交换机是采用全双工方式来传输数据的，提高了信息吞吐量。
5. 安全？



3.5.5 交换机的分类

返回



3.5.5 交换机的分类

● 广义划分

- 从广义上来看，网络交换机分为两种：广域网交换机和局域网交换机。
- 广域网交换机主要应用于电信领域，提供通信的基础平台。而局域网交换机则应用于局域网络，用于连接终端设备，如PC机及网络打印机等。

3.5.5 交换机的分类

- 从传输速度

- 从传输介质和传输速度上可分为以太网交换机、快速以太网交换机、千兆以太网交换机、FDDI交换机、ATM交换机和令牌环交换机等。

3.5.5 交换机的分类

● 按照应用规模分

- 工作组级交换机：支持**100**个以下信息点
- 部门级交换机：支持**300**个信息点
- 企业级交换机：支持**500**个信息点以上

3.5.5 交换机的分类

● 按照OSI的七层网络模型分

- 二层交换机
- 三层交换机
- 四层交换机



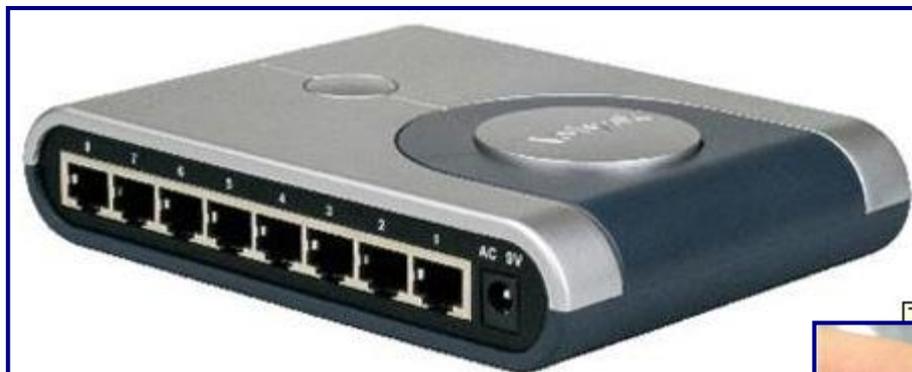
3.5.5 交换机的分类

- 4口
- 8口
- 16口
- 24口



24口10/100M

3.5.5 交换机的分类



5口桌面型交换机

8口桌面型交换机



3.5.5 交换机的分类



16口10/100M

48口10/100M



3.5.5 交换机的分类

- RJ45接口（电口）
- 光纤接口（光口）



◆ 3.5.5 交换机的分类

- 网络建设时，我们选择什么样的交换机？

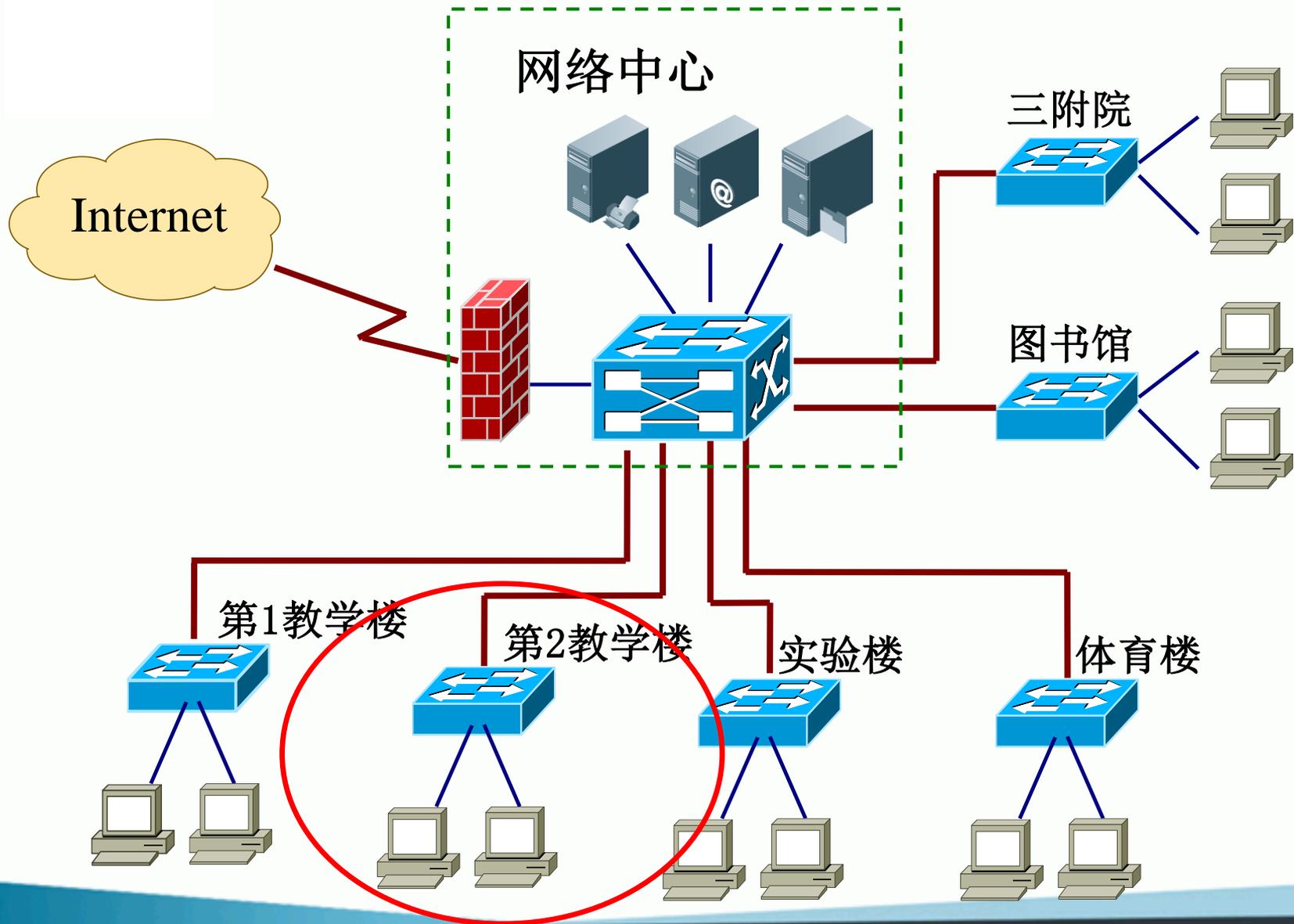
在建设网络时，我们会依据设计目标，从性价比的角度去选择交换机。



3.5.5 交换机的分类

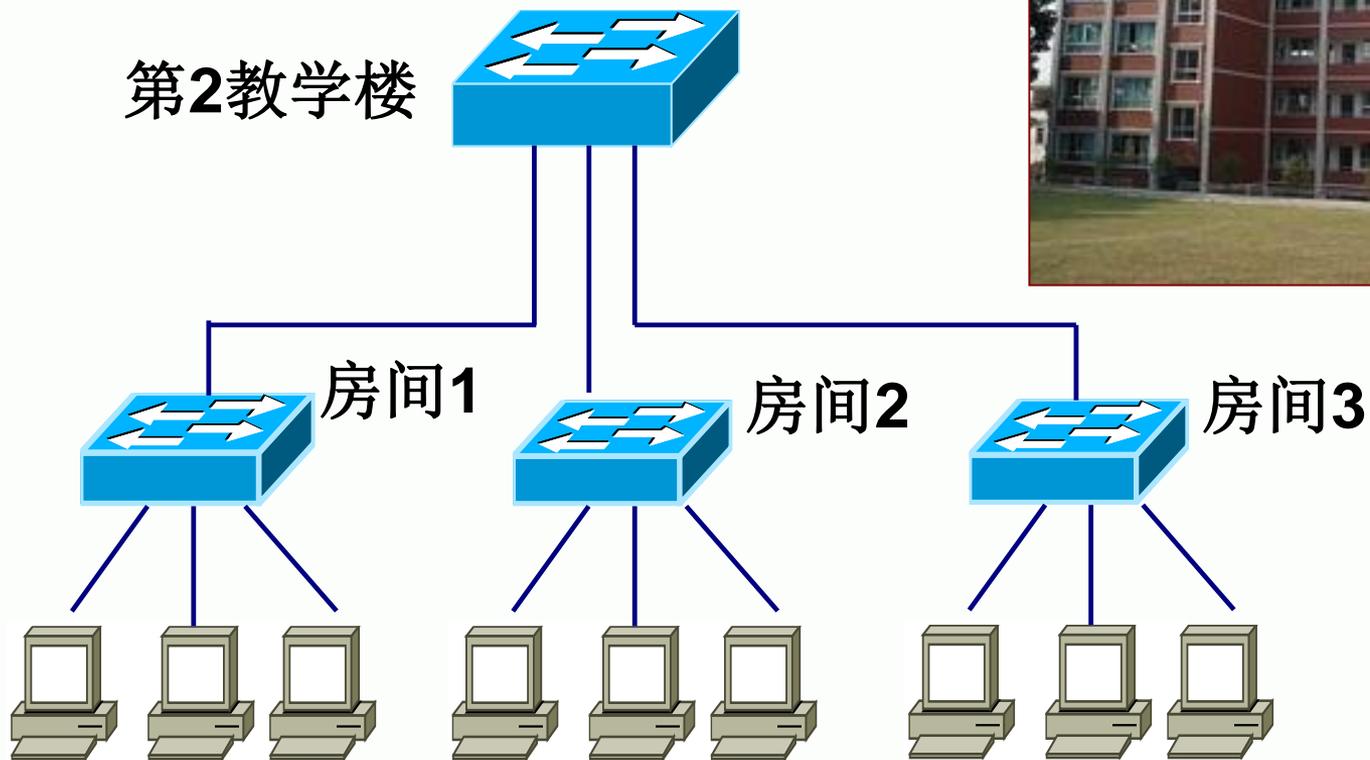
某园区网网络拓扑



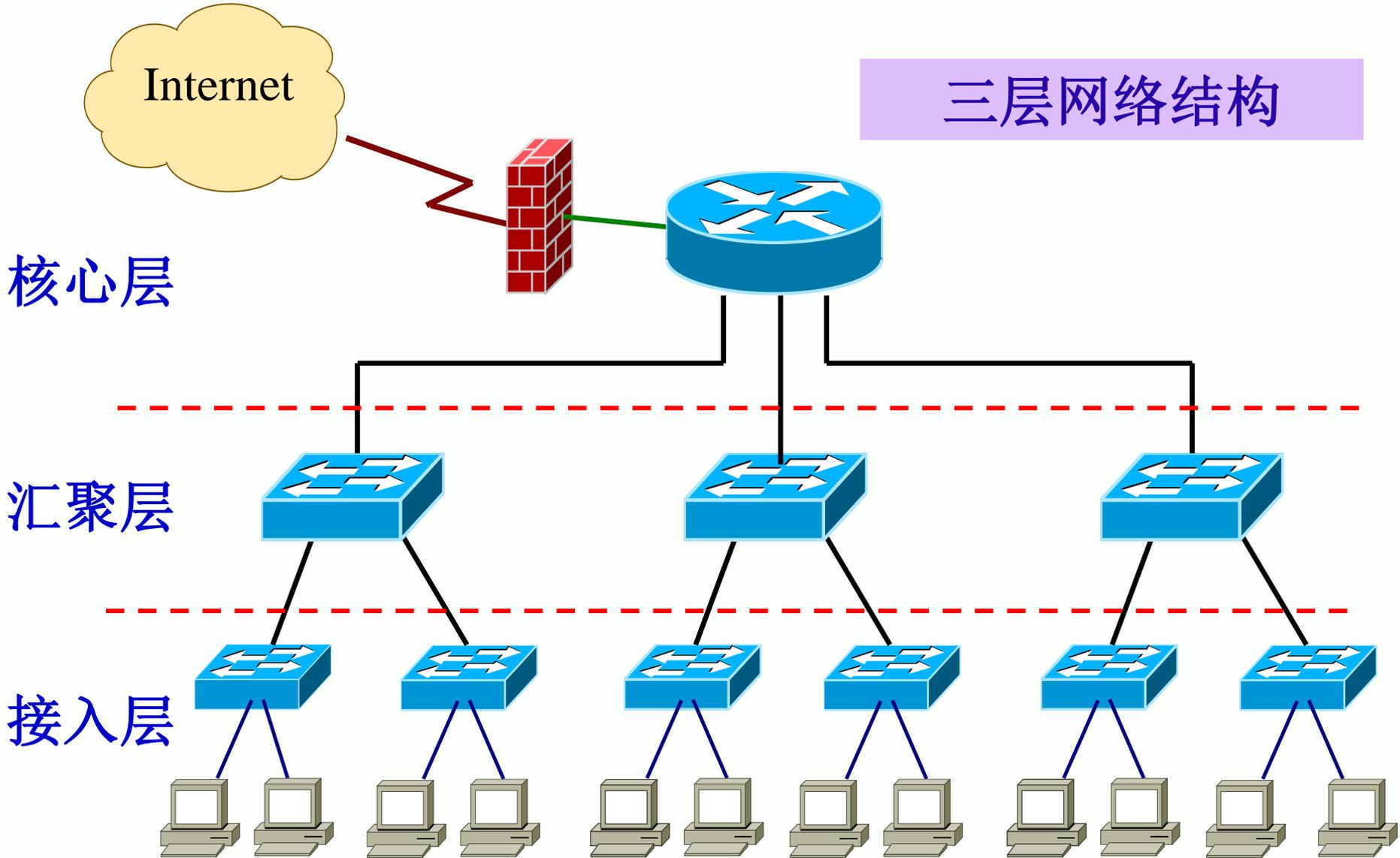




第2教学楼



三层网络结构



核心层

汇聚层

接入层





●交换机的选择

- 接入层交换机：中低端交换机
- 汇聚层交换机：中高端交换机
- 核心层交换机：高端交换机或路由器





高端交换机与低端交换机的性能对比



主要参数

交换机类型：千兆以太网交换机

传输速率：10/100/1000

网管功能：SNMP, CLI, Web

包转发率：13.1 Mpps

VLAN功能：支持

端口结构：固定端口

网络标准：IEEE 802.3, IEEE 802.3u, IEEE 802.3x

堆叠功能：能堆叠

应用层级：三层

交换机接口：10/100/1000Base-TX, 1000Base-FX/SX

背板带宽：32Gbps

MAC地址表：12000K

网管支持：可网管型

接口数量：48个

模块化插槽数：4个

思科 WS-C3750-48TS



参考价格：¥18999

主要参数

交换机类型：桌面型百兆以太网交换机

传输速率：10/100

网管功能：无

包转发率：10Mbps:14880pps 100Mbps:148800pps

VLAN功能：不支持

端口结构：固定端口

网络标准：IEEE 802.3, IEEE 802.3u, IEEE 802.3a...

应用层级：二层

交换机接口：10/100M自适应RJ45端口

背板带宽：4.8Gbps

MAC地址表：8K

网管支持：非网管型

接口数量：24个

堆叠功能：不可堆叠

TP-LINK SF1024交换机



参考价格：¥410

TP-LINK SF1024交换机

交换机类型: 桌面型百兆以太网交换机

传输速率: 10/100

网管功能: 无

包转发率: 10Mbps:14880pps 100Mbps:148800pps

VLAN功能: 不支持

端口结构: 固定端口

网络标准: IEEE 802.3, IEEE 802.3u, IEEE 802.3a...

应用层级: 二层

交换机接口: 10/100M自适应RJ45端口

背板带宽: 4.8Gbps

MAC地址表: 8K

网管支持: 非网管型

接口数量: 24个

堆叠功能: 不可堆叠

思科 WS-C3750-48TS

交换机类型: 千兆以太网交换机

传输速率: 10/100/1000

网管功能: SNMP, CLI, Web

包转发率: 13.1 Mpps

VLAN功能: 支持

端口结构: 固定端口

网络标准: IEEE 802.3, IEEE 802.3u, IEEE 802.3x

堆叠功能: 能堆叠

应用层级: 三层

交换机接口: 10/100/1000Base-TX, 1000Base-FX/SX

背板带宽: 32Gbps

MAC地址表: 12000K

网管支持: 可网管型

接口数量: 48个

模块化插槽数: 4个

参考价格: ¥410

参考价格: ¥18999



● 高端交换机

- 性能稳定
- 功能多
 - ✓ 带网络管理功能
 - ✓ 支持端口**MAC**绑定
 - ✓ 支持**VLAN**划分
 - ✓ 支持端口工作速率控制
 - ✓ 支持远程访问

.....

● 低端交换机

- 功能较少
- 性能不稳定

返回





3.5.6 交换机的性能指标

返回



3.5.6 交换机的性能指标

➤ 高端产品:

较常见的品牌有思科、华为3COM等;

➤ 低端产品:

较常见的品牌有D-LINK、TP-LINK等。

选购交换机时要注意的几个主要方面:

3.5.6 交换机的性能指标

1. 数据转发方式

——直通式：适合对数据的传输速率要求较高

优点：只检查包头，不需要存储，延迟小、交换速度快；

缺点：无法进行错误校验。

——存储转发方式：适合对数据的传输速率要求不是太高

缺点：在数据处理时延迟大

优点：进行错误检测，能支持不同速度端口间的交换，有效地改善网络性能。

3.5.6 交换机的性能指标

2. 延时

延迟时间是指从交换机接收到数据包到开始向目的端口发送数据包之间的时间间隔。

延时越小，数据的传输速率越快，网络的效率也就越高。

所以交换机的延迟时间越小越好，当然延时越小的交换机价格也就越贵。

3.5.6 交换机的性能指标

3. 管理功能

- 管理功能是指交换机如何控制用户访问交换机，以及系统管理人员通过软件对交换机的可管理程度如何。
- 网管型交换机：中、高档交换机，价格贵；
- 非网管型：低档的交换机，属“傻瓜”型的，只需接上电源、插好网线即可正常工作。

3.5.6 交换机的性能指标

3. 管理功能

- 性能稳定
- 功能多
 - ✓ 带网络管理功能
 - ✓ 支持端口**MAC**绑定
 - ✓ 支持**VLAN**划分
 - ✓ 支持端口工作速率控制
 - ✓ 支持远程访问

.....

3.5.6 交换机的性能指标

4. MAC地址数

- 交换机能支持点到点通信，最关键的技术就是可以识别网卡MAC地址，形成MAC地址表，存放于交换机每个端口的缓存中。
- 缓存容量的大小决定了交换机所能记忆的MAC地址数的多少。
- 不同档次的交换机端口所能够支持的MAC地址数量不同。

3.5.6 交换机的性能指标

5. 背板带宽

所有端口间的通讯都需要通过背板完成，背板带宽是端口间并发通讯时的总带宽。

- 带宽越大，数据交换速度越快；
- 带宽越小，数据交换速度也就越慢。

在端口带宽、延迟时间相同的情况下，背板带宽越宽，交换器才能提供高负荷下的高速交换。

3.5.6 交换机的性能指标

6. 端口

—交换机端口的带宽是独享的；

—集线器端口的带宽是共享的。

•常用交换机的端口带宽主要有：10M、100M和1000M。

•最常见的组合形式：

➤ $n * 10 / 100M$ ：100Mbps：到桌面或小型网络中心节点

➤ $n * 1000M + m * 100M$ ：小型网络中心交换机或骨干交换机

➤ $n * 1000M$ ：大中型网络中心交换机或骨干交换机

3.5.6 交换机的性能指标

7. 光纤解决方案

- 选择具有光纤接口的交换机，性能最好，但不够灵活，而且价格较贵；
- 可以在模块结构的交换机中加装光纤模块，具有较强的灵活配置能力，性能也较好，但价格最贵；
- 加装光纤与双绞线的转发器，最便宜，但性能受影响较大。

返回



交换机的重要实验

实验5

- 如何对交换机进行基本的管理？
 - 如何登录交换机
 - 配置交换机的IP地址
 - 查看交换机的MAC地址表
 - 手工配置MAC地址表
 -



- 问题:

数据链路层中，安全和管理问题会有哪些？





- 数据链路层的安全与管理:

交换机的问题

