

第 3 章 数据链路层

数据链路层的基本功能
点对点 and 广播信道

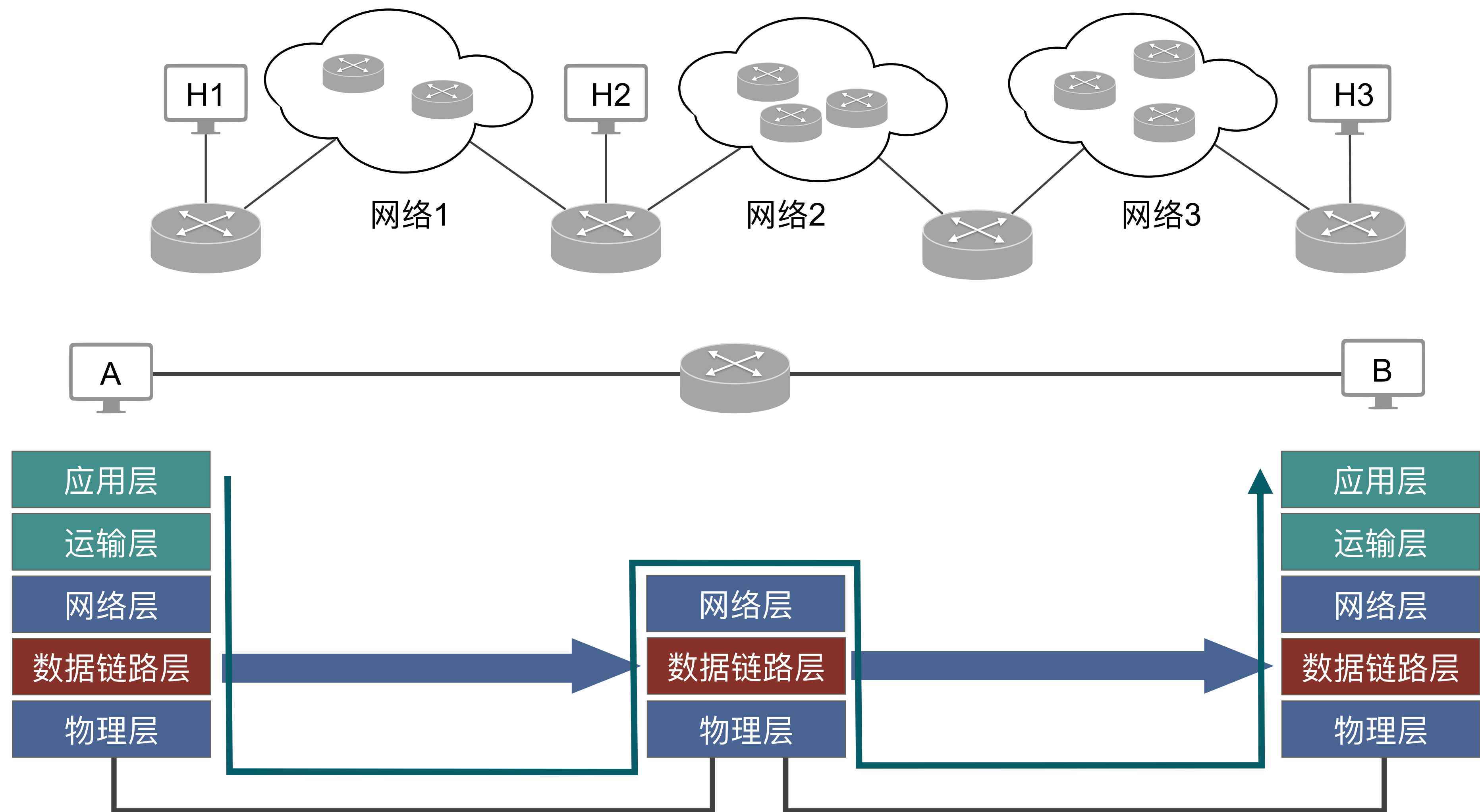
为什么需要数据链路

- 数据链路层
- 数据链路层概述
 - 信道类型
- 三个基本功能
 - 封装成帧
 - 透明传输
 - 差错检测
 - CRC检验方法

- 结点：主机、路由器。
- 物理层解决了相邻结点透明传输比特的問題。
- 物理层没有解决的问题：
 - 传输错误问题，发送端发送比特1，而接收端收到比特0，接收端无法知道接收的是否正确？
 - 谁接收的问题，多个设备连接问题：谁能发送数据？数据发送给谁？谁负责接收和处理？
 - 传输结束问题，如何知道一组数据即将到来？这组数据何时结束？

比特错误一般为连续比特错误（外界干扰影响连续比特传输）
离散比特错误不易检测

协议栈上看数据链路层



数据链路层的基本术语

- **链路**：结点间的**物理通道**。是一条无源的点到点的**物理线路段**（双绞线、光纤等），中间没有任何其他**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**：是结点间的逻辑通道。除了物理线路以外，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：

数据链路 = 链路 + 协议

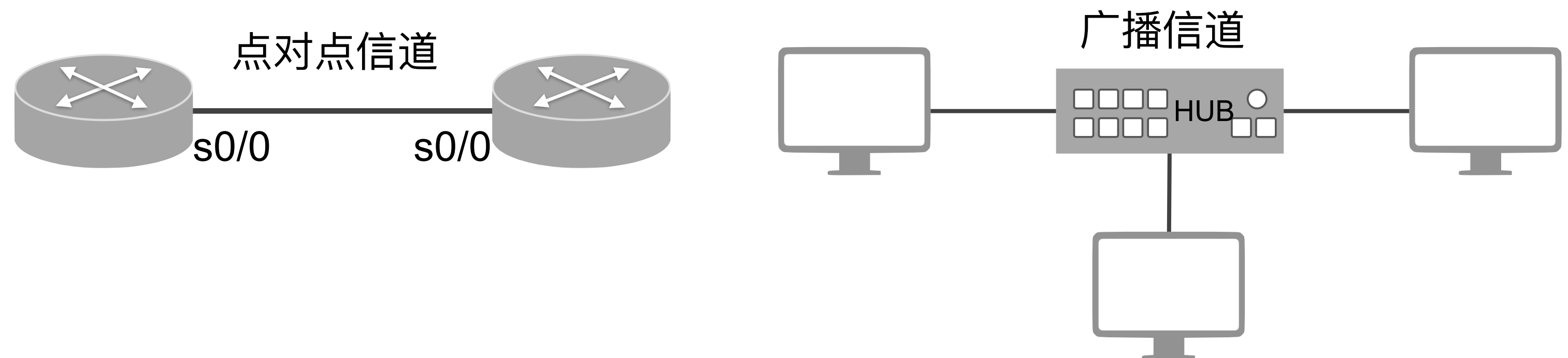
- 链路中通信双方的**信道使用形式不同**，会相应有不同的**控制协议**。

- **帧**：链路层协议数据单元，封装网络层的数据报。
- **数据链路层**：负责通过一条链路从一个结点向物理链路**直接相连**的相邻结点传送帧。
- 网卡实现的物理层和数据链路层协议。
- **数据链路的例子**：
 - 城市交通=街道+汽车交通规则；
 - 铁路交通=铁轨+火车运行规则；
 -

数据链路层信道类型

- 数据链路层
- 数据链路层概述
 - 信道类型
- 三个基本功能
 - 封装成帧
 - 透明传输
 - 差错检测
 - CRC检验方法

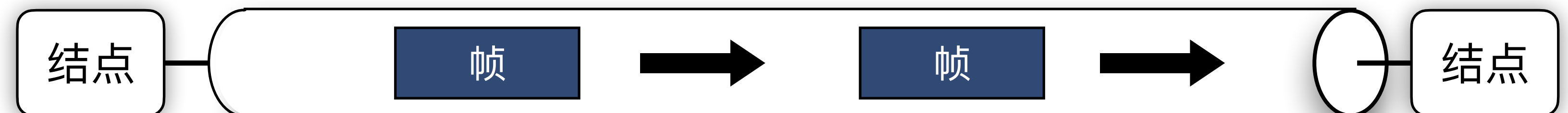
- 点对点信道：
 - 这种信道使用一对一的点对点通信方式，控制协议相对简单。
- 广播信道：
 - 使用一对多的广播通信方式，通信过程比较复杂。广播信道上连接的主机很多，因此必须使用专用的共享协议来协调这些主机的数据发送，控制协议相对复杂。



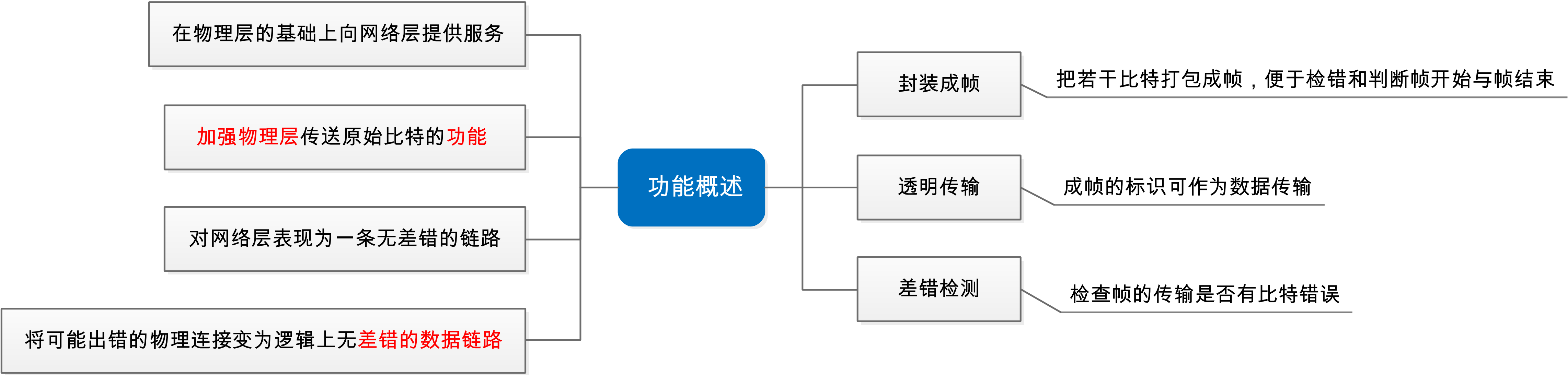
数据链路层像个数字管道

- 数据链路层
 - 数据链路层概述
 - 信道类型
 - 三个基本功能
 - 封装成帧
 - 透明传输
 - 差错检测
 - CRC检验方法

- 数据链路层不必考虑物理层如何实现比特传输的细节。
- 甚至还可以更简单地设想好像是沿着两个数据链路层之间的水平方向把帧直接发送到对方。



数据链路层的三个基本功能



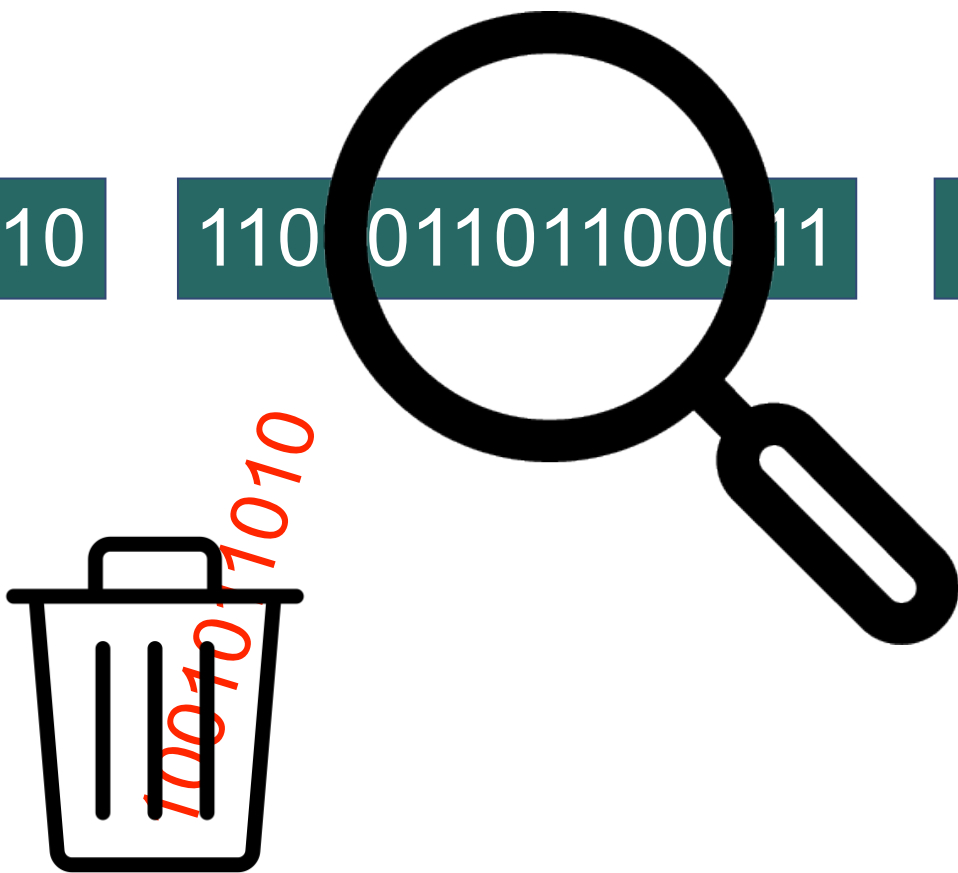
010010110010100

111001100100010

110 01101100011

100010100100110

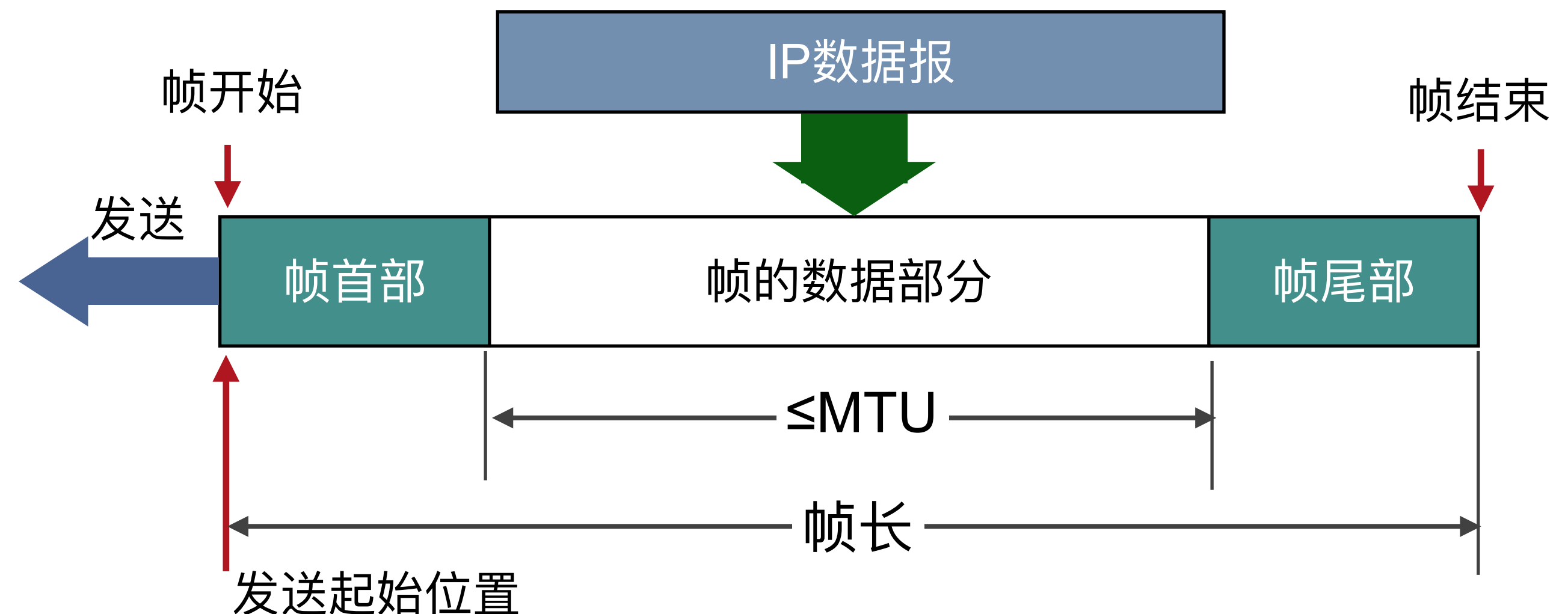
010010111100101



封装成帧

- 数据链路层
 - 数据链路层概述
 - 信道类型
 - 三个基本功能
 - 封装成帧
 - 透明传输
 - 差错检测
 - CRC检验方法

- 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。首部和尾部的一个重要作用就是进行帧定界，确定帧的界限。



封装成帧

- 数据链路层
 - 数据链路层概述
 - 信道类型
 - 三个基本功能
 - 封装成帧
 - 透明传输
 - 差错检测
 - CRC检验方法

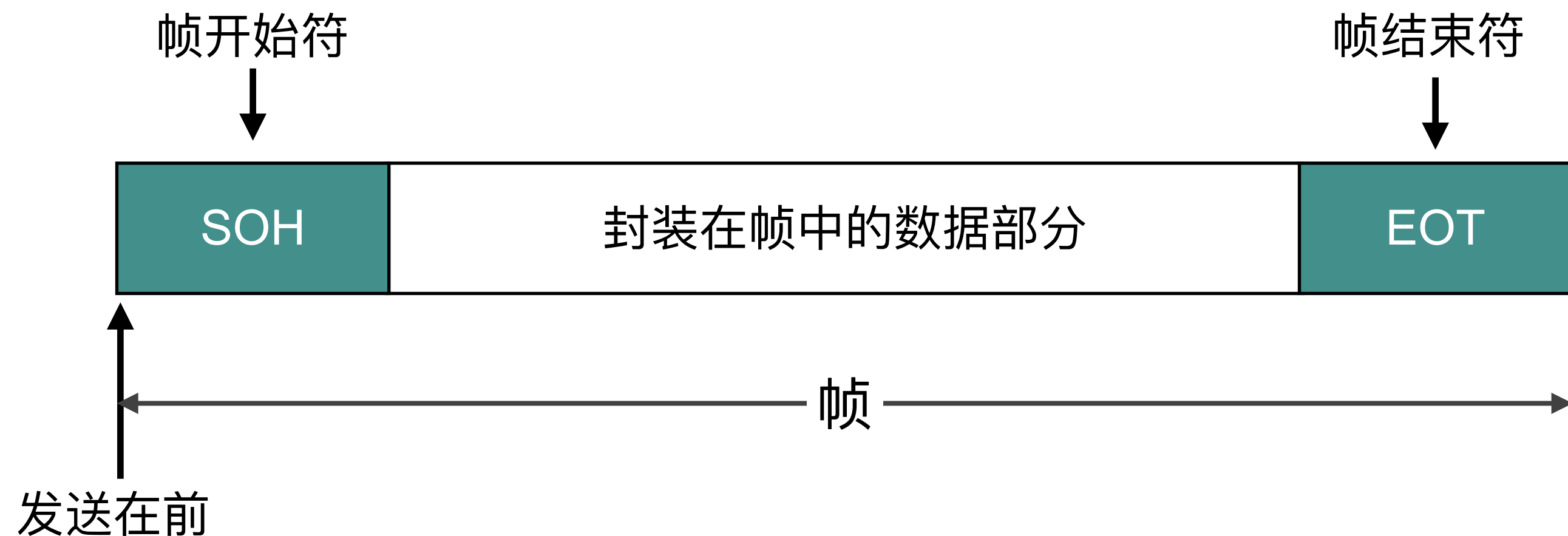
- 可以这样理解：
 - 物理层发送的和接收的是一个一个的字母；
 - 数据链路层发送和接收的是一个一个的单词；
 - 接收端无法判别字母传输错误，但可以判别单词错误。

如何成帧

- 数据链路层
 - 数据链路层概述
 - 信道类型
 - 三个基本功能
 - 封装成帧
 - 透明传输
 - 差错检测
 - CRC检验方法

当数据是由可打印的 **ASCII 码** 组成的文本文件时，帧定界可以使用特殊的**帧定界符**。

控制字符 SOH (Start Of Header) 放在一帧的最前面，表示帧的首部开始，**控制字符 EOT** (End Of Transmission) 表示帧的结束。



ASCII表

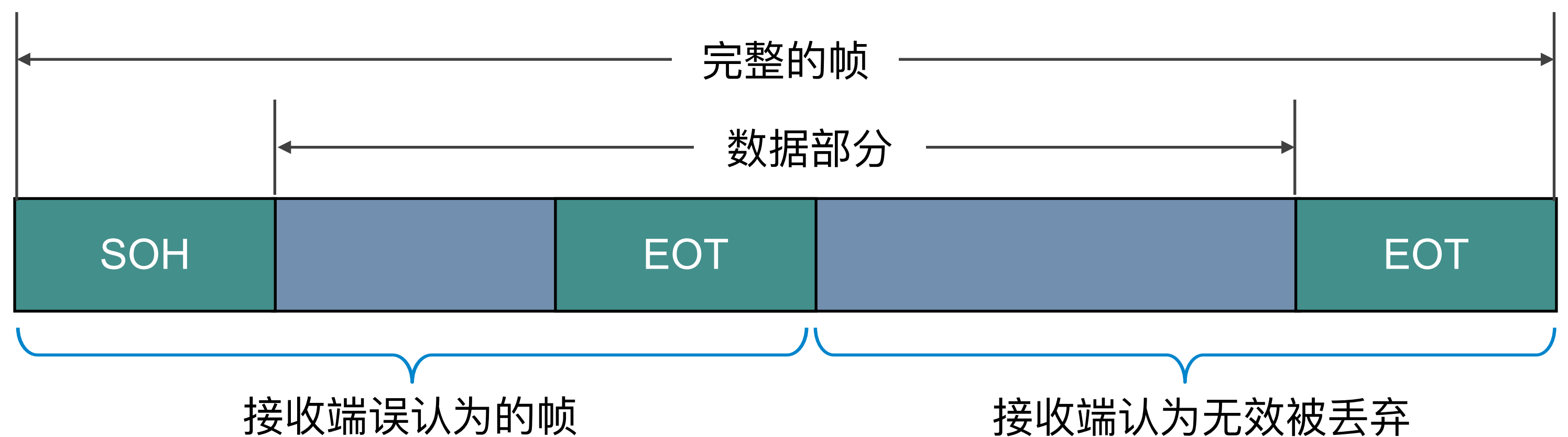
- 数据链路层
 - 数据链路层概述
 - 信道类型
 - 三个基本功能
 - 封装成帧
 - 透明传输
 - 差错检测
 - CRC检验方法

<div><div><div><div><div></div></div></div><div><div><div><i>b2b1b0</i></div></div></div><div><div><div><i>b7b5b4b3</i></div></div></div></div></div>	000	001	010	011	100	101	110	111
0000	NULL	DLE	SPACE	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	ENO	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	GS	-	=	M	]	m	}
1110	SO	RS	.	>	N	^	n	~
1111	SI	US	/	?	O	_	o	DEL

透明传输

- 数据链路层
 - 数据链路层概述
 - 信道类型
 - 三个基本功能
 - 封装成帧
 - 透明传输
 - 差错检测
 - CRC检验方法

- 如果数据中的某个字节的二进制代码恰好和 SOH 或 EOT 一样，数据链路层就会错误地“找到帧的边界”。

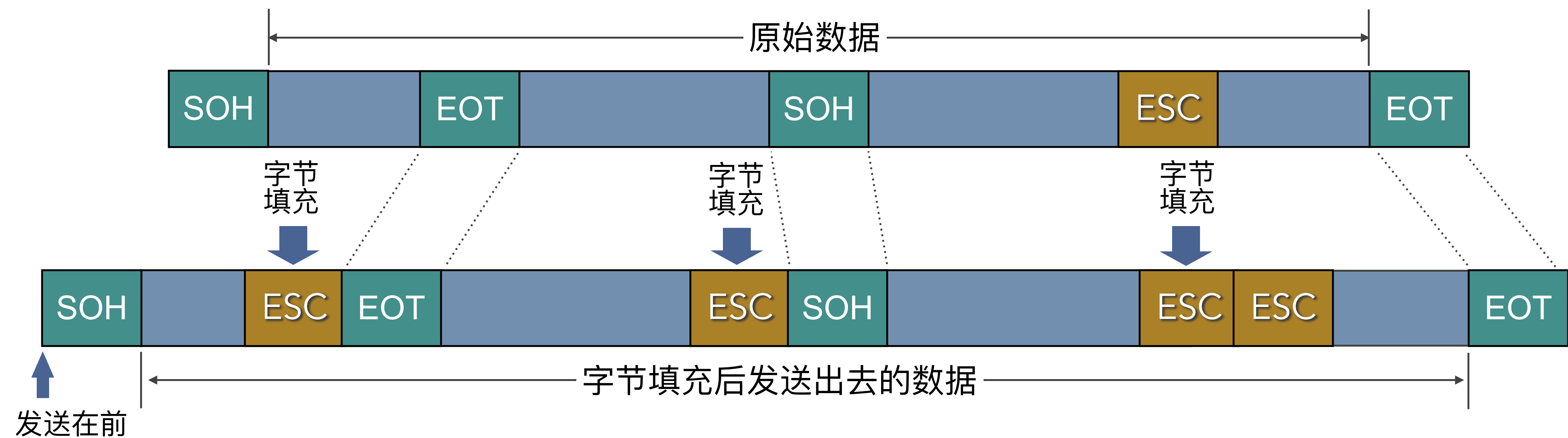


解决办法

- 数据链路层
 - 数据链路层功能
 - 三个基本功能
 - 透明传输
 - 差错检测
 - CRC检验方法

- 字节填充 (byte stuffing) 或字符填充 (character stuffing):
 - 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”;
 - 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在数据当中, 那么应在转义字符前面插入一个转义字符 ESC。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。

字节填充解决透明传输问题



差错检测

- 数据链路层
 - 数据链路层概述
 - 信道类型
 - 三个基本功能
 - 封装成帧
 - 透明传输
 - 差错检测
 - CRC检验方法

- 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。

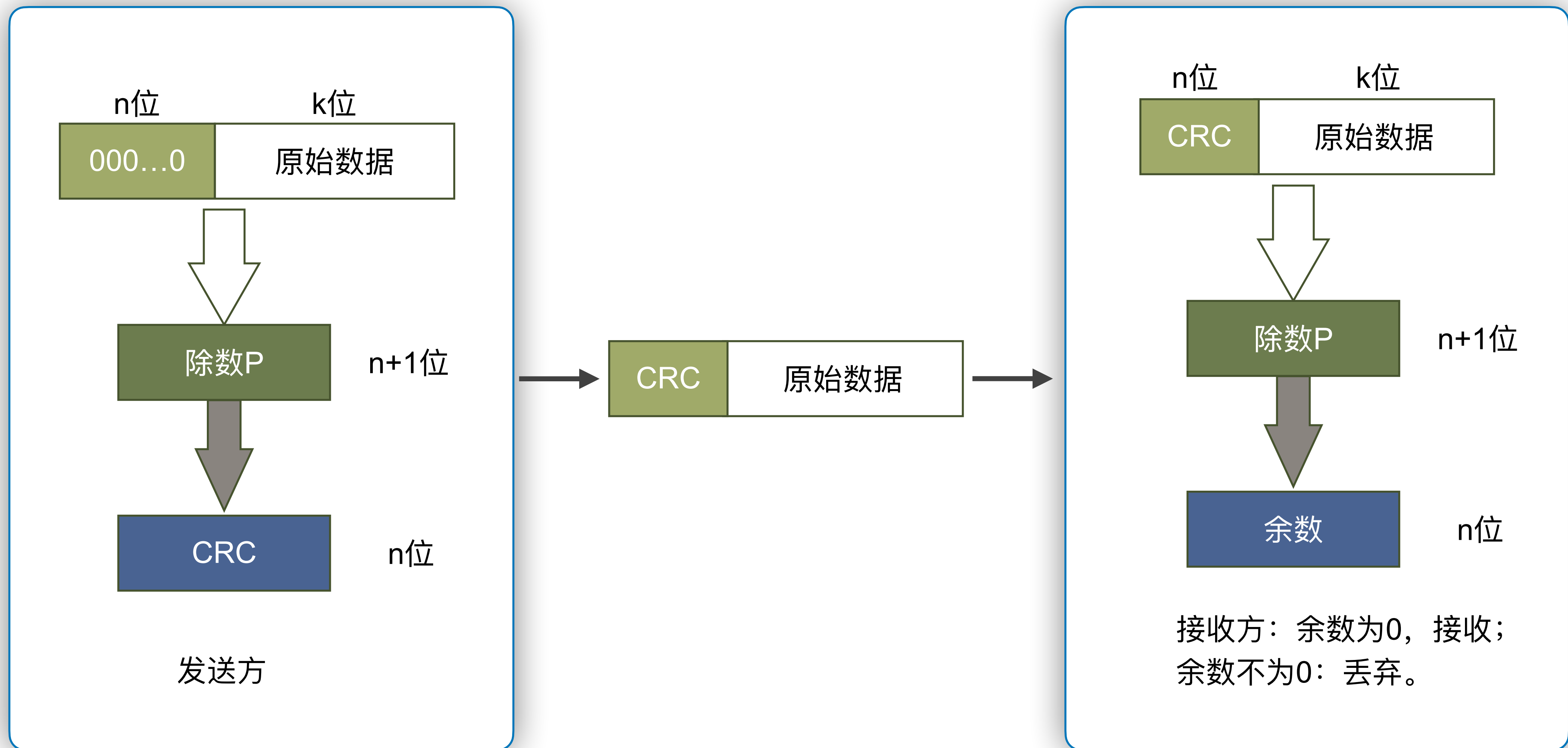
CRC循环冗余检验（模2运算即异或运算：不同为1,相同为0，两0为0）

- 数据链路层
 - 数据链路层概述
 - 信道类型
 - 三个基本功能
 - 封装成帧
 - 透明传输
 - 差错检测
 - CRC检验方法

- 在数据链路层，广泛使用了循环冗余检验 CRC 的检错技术：
 - 在发送端，先把数据划分为组。假定每组 k 个比特；
 - 假设待传送的一组数据 $M = 101001$ （现在 $k = 6$ ）。我们在 M 的后面再添加供差错检测用的 n 位冗余码一起发送。

- n 位冗余码的计算：
 - 用二进制的模 2 运算进行 2^n 乘 M 的运算，这相当于在 M 后面添加 n 个 0；
 - 得到的 $(k + n)$ 位的数除以事先选定好的长度为 $(n + 1)$ 位的除数 P ，得出商是 Q 而余数是 R ，余数 R 比除数 P 少 1 位，即 R 是 n 位；
 - 将余数 R 作为冗余码拼接在数据 M 后面发送出去。

CRC冗余码的计算



接收端对收到的每一帧进行 CRC 检验

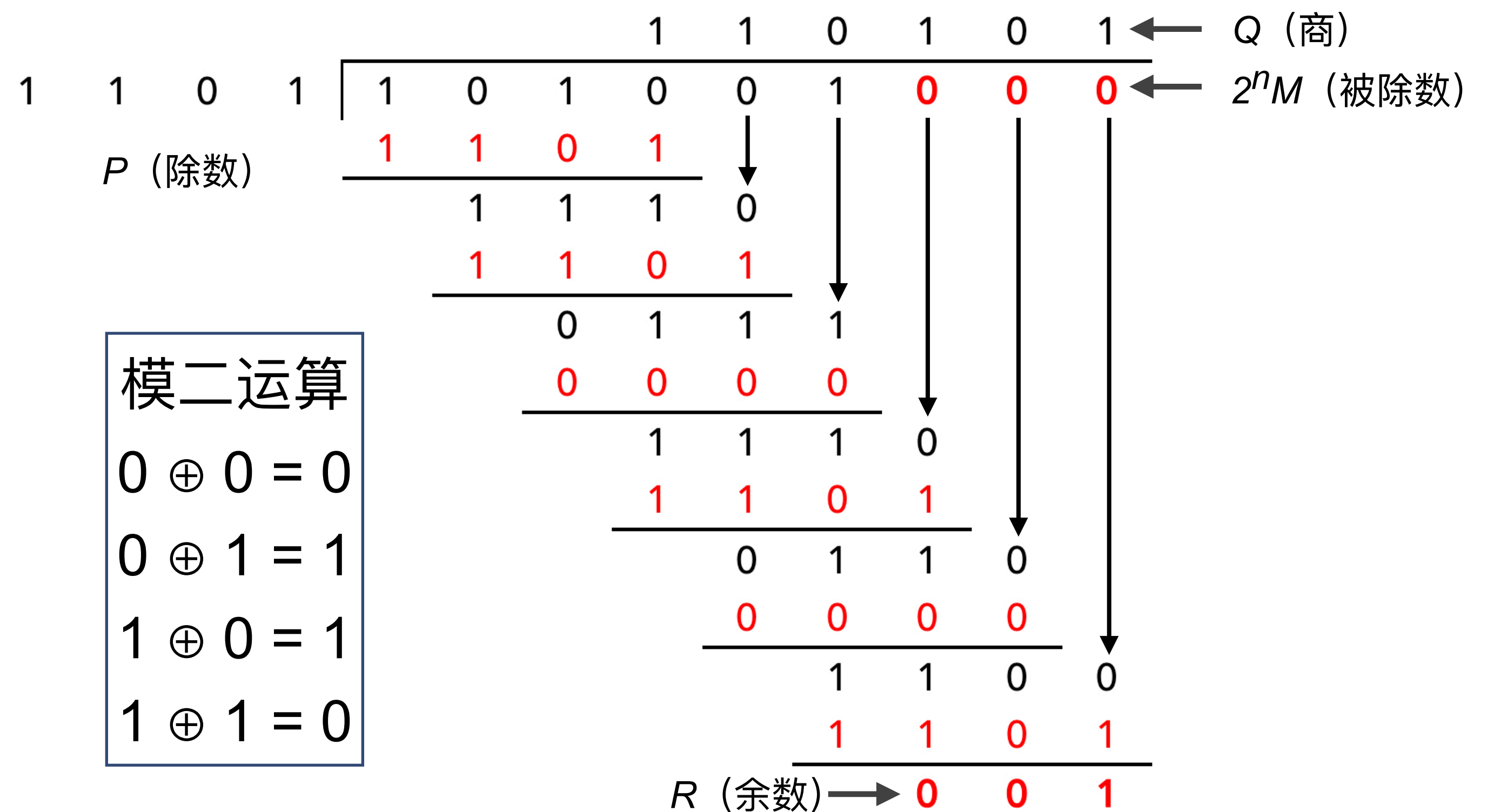
- 数据链路层
 - 数据链路层概述
 - 信道类型
 - 三个基本功能
 - 封装成帧
 - 透明传输
 - 差错检测
 - CRC检验方法

- 若得出的余数 $R = 0$ ，则判定这个帧没有差错，就接受 (accept)。
- 若余数 $R \neq 0$ ，则判定这个帧有差错，就丢弃。
- 但这种检测方法并**不能确定**究竟是**哪一个或哪几个比特出现了差错**。

只要经过**严格的挑选**，并使用**位数足够多的除数 P** ，那么出现**检测不到**的差错的**概率就很小很小**。

CRC计算实例

- 现在 $k = 6$, $M = 101001$ 。
- 设 $n = 3$, 除数 $P = 1101$ 。
- 被除数是 $2^n M = 101001000$ 。
- 模 2 运算的结果是:
 - 商 $Q = 110101$;
 - 余数 $R = 001$ 。
- 把余数 R 作为冗余码添加在数据 M 的后面发送出去。发送的数据是:
 $2^n M + R$, 即:
 - 101001001 , 共 $(k + n)$ 位。



多项式表示CRC方法

- 数据链路层
 - 数据链路层概述
 - 信道类型
 - 三个基本功能
 - 封装成帧
 - 透明传输
 - 差错检测
 - CRC检验方法

例如： $P(x)=x^3+x^2+1$, 表示除数 $p=1101$ 。

$$CRC-16 = x^{16}+x^{15}+x^2+1$$

$$CRC-CCIT = x^{16}+x^{15}+x^{12}+x^5+1$$

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

帧检验序列 FCS

- 数据链路层
 - 数据链路层概述
 - 信道类型
 - 三个基本功能
 - 封装成帧
 - 透明传输
 - 差错检测
 - CRC检验方法

- 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。

注意

- 数据链路层
 - 数据链路层概述
 - 信道类型
 - 三个基本功能
 - 封装成帧
 - 透明传输
 - 差错检测
 - **CRC检验方法**

- 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。

小结

- 数据链路层
 - 数据链路层概述
 - 信道类型
 - 三个基本功能
 - 封装成帧
 - 透明传输
 - 差错检测
 - CRC检验方法

- 基本概念：
 - 链路；
 - 数据链路；
 - 帧。
- 三个功能：
 - 封装成帧；
 - 透明传输（字节填充）；
 - 差错检测（CRC、FCS）。
- 信道类型：
 - 点对点信道；
 - 广播信道。

点对点协议 PPP

- 数据链路层
 - 点对点协议PPP
 - PPP协议的特点
 - PPP的基本要求
 - PPP 协议的组成
 - PPP帧格式
 - PPP透明传输
 - 可靠传输问题
 - PPP工作状态

- PPP协议的特点。
- PPP协议的帧格式。
- PPP协议的工作状态。

PPP 协议的特点

- 数据链路层
 - 点对点协议PPP
 - **PPP协议的特点**
 - PPP的基本要求
 - PPP 协议的组成
 - PPP帧格式
 - PPP透明传输
 - 可靠传输问题
 - PPP工作状态
- 1994年成为互联网的正式标准。
- **能够在多种链路上运行：**
 - 串行的、并行的；
 - 同步链路、异步链路；
 - 低速链路、高速链路；
 - 交换的（动态的）、非交换的（静态的）；
 - 电的、光的；
 - **PPPoE (PPP over Ethernet) :**
 - 实现了传统以太网没有身份验证、加密以及压缩等功能。

PPP协议的基本要求

- 数据链路层
 - 点对点协议PPP
 - PPP协议的特点
 - **PPP的基本要求**
 - PPP协议的组成
 - PPP帧格式
 - PPP透明传输
 - 可靠传输问题
 - PPP工作状态

- **简单**：这是首要的要求。
- **封装成帧**：必须规定特殊的字符作为帧定界符。
- **透明性**：必须保证数据传输的透明性。
- **多种网络层协议**：支持多种网络层协议（IP/IPX）。
- **多种类型链路**：能够在多种类型的链路上运行。
- **差错检测**：对收到的帧进行检测，并丢弃有差错的帧。

简单

- 数据链路层
 - 点对点协议PPP
 - PPP协议的特点
 - **PPP的基本要求**
 - PPP协议的组成
 - PPP帧格式
 - PPP透明传输
 - 可靠传输问题
 - PPP工作状态

- Internet最复杂的部分在TCP协议中，**IP也相对比较简单**，仅提供不可靠的数据报服务。因此，**数据链路层**没有必要提供比**IP**协议更多的功能：
 - 数据链路层的帧，不需要纠错，不需要序号，也不需要流量控制；
 - 误码率比较高的无线链路上需要更为复杂的链路层协议；
 - **简单使协议**在实现时**不容易出错**，提高了不同厂商对协议的不同实现的互操作性；
 - **不支持多点接入，不支持半双式或单工通信**（全双工）。

PPP非常简单：每收到一个帧，进行CRC检验，如果CRC检验正确，就收下这个帧，反之，就丢弃这个帧，其他什么也不做。

PPP 协议应满足的需求

- 数据链路层
 - 点对点协议PPP
 - PPP协议的特点
 - **PPP的基本要求**
 - PPP 协议的组成
 - PPP帧格式
 - PPP透明传输
 - 可靠传输问题
 - PPP工作状态
- **检测连接状态**：能够及时自动检测出链路是否处于正常工作状态。
- **最大传送单元**：必须对每一种类型的点对点链路设置最大传送单元 MTU 的标准默认值，促进各种实现之间的互操作性。
- **网络层地址协商**：必须提供一种机制使通信的两个网络层实体能够通过协商知道或能够配置彼此的网络层地址。
- **数据压缩协商**：必须提供一种方法来协商使用数据压缩算法。

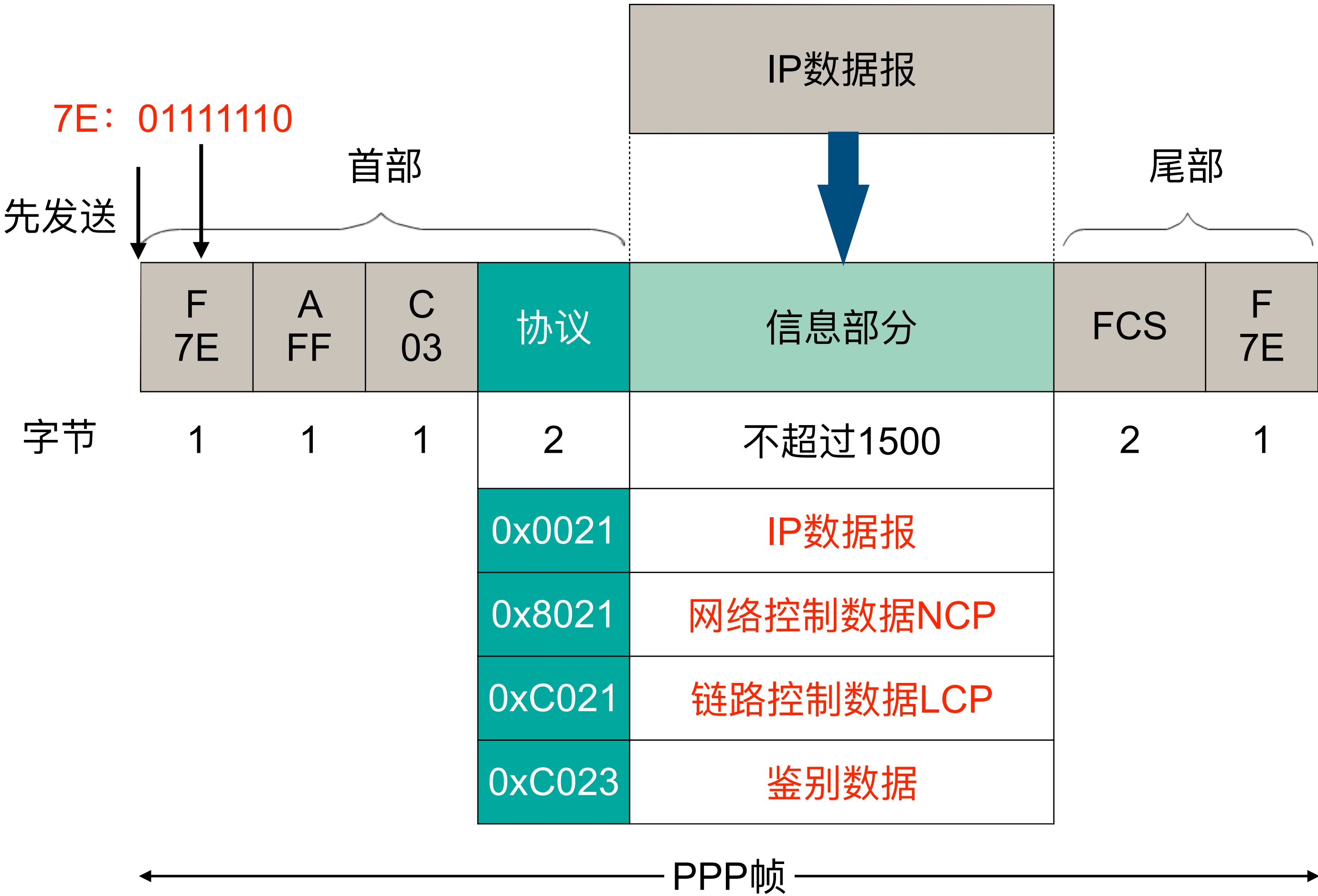
PPP 协议的组成

- 数据链路层
 - 点对点协议PPP
 - PPP协议的特点
 - PPP的基本要求
 - **PPP 协议的组成**
 - PPP帧格式
 - PPP透明传输
 - 可靠传输问题
 - PPP工作状态

- PPP 协议由**三个组成部分**:
 - **一种**将 IP 数据报封装到串行链路（同步串行/异步串行）的**方法**；
 - **链路控制协议 LCP** (Link Control Protocol), 用来建立、配置和测试链路，其最重的功能之一是身份验证（PAP, CHAP）；
 - 配置确认帧：所有选项都能接受；
 - 配置否认帧：所有选项都理解但不接受；
 - 配置拒绝帧：选项有无法识别或不能接受内容，需要协商。
 - **网络控制协议 NCP** (Network Control Protocol), 支持不同的网络层协议（IP、OSI的网络层、AppleTalk等）。

PPP帧格式（语法、语义）

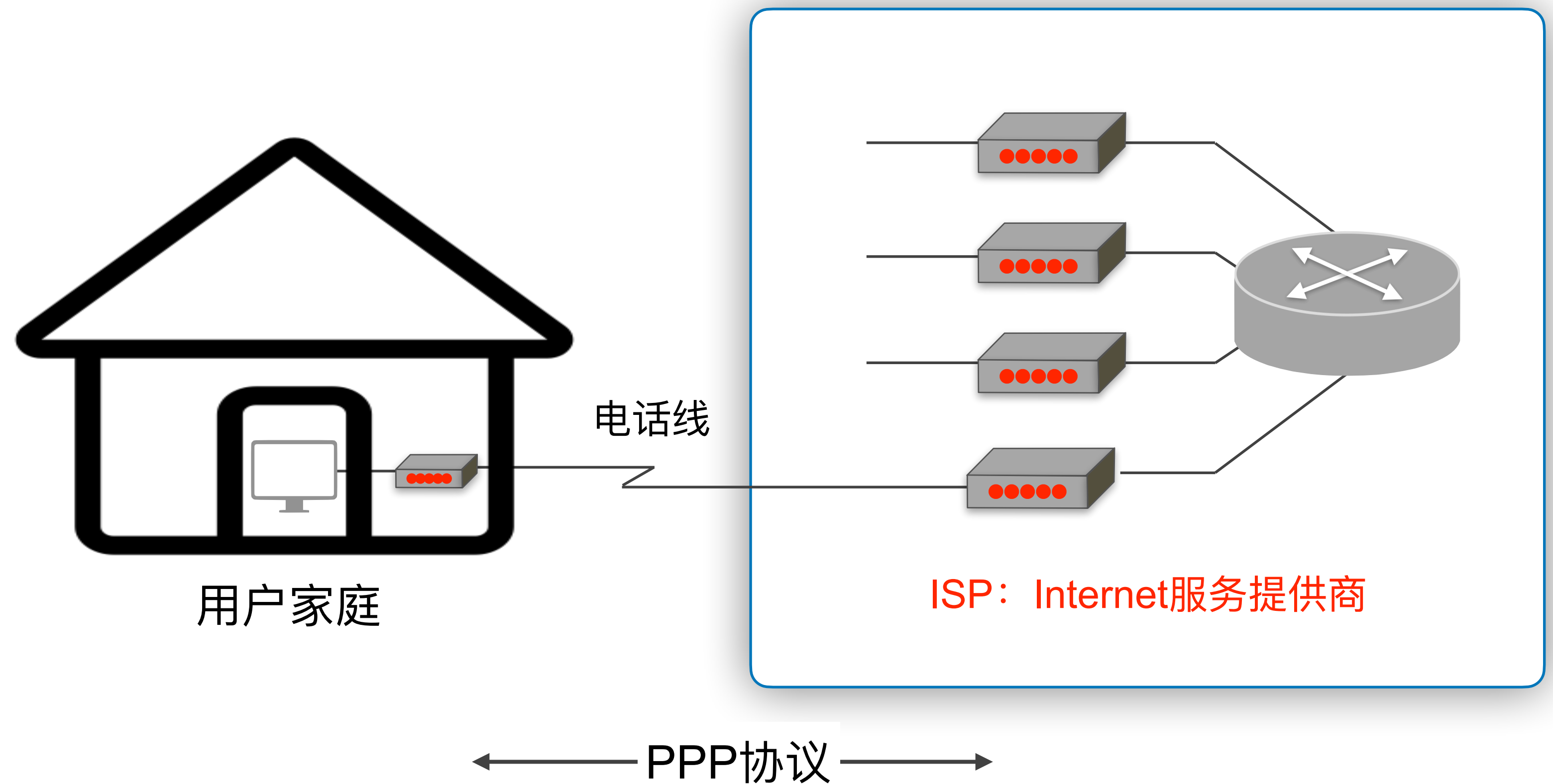
- 数据链路层
 - 点对点协议PPP
 - PPP协议的特点
 - PPP的基本要求
 - PPP 协议的组成
 - **PPP帧格式**
 - PPP透明传输
 - 可靠传输问题
 - PPP工作状态



PPP 是面向字节的，所有的 PPP 帧的长度都是整数字节。

PPP协议经典应用

- 数据链路层
 - 点对点协议PPP
 - PPP协议的特点
 - PPP的基本要求
 - PPP 协议的组成
 - PPP帧格式
 - PPP透明传输
 - 可靠传输问题
 - PPP工作状态



PPP同步传输和异步传输

- **同步传输**：面向比特的传输，同步传输的单位是帧。
 - 同步传输收发双**时钟统一**、字符间传输**同步无间隔**。
- **异步传输**：面向字节的传输，异步传输的单位是字符。
 - 异步传输**效率低，高速链路开销大**。



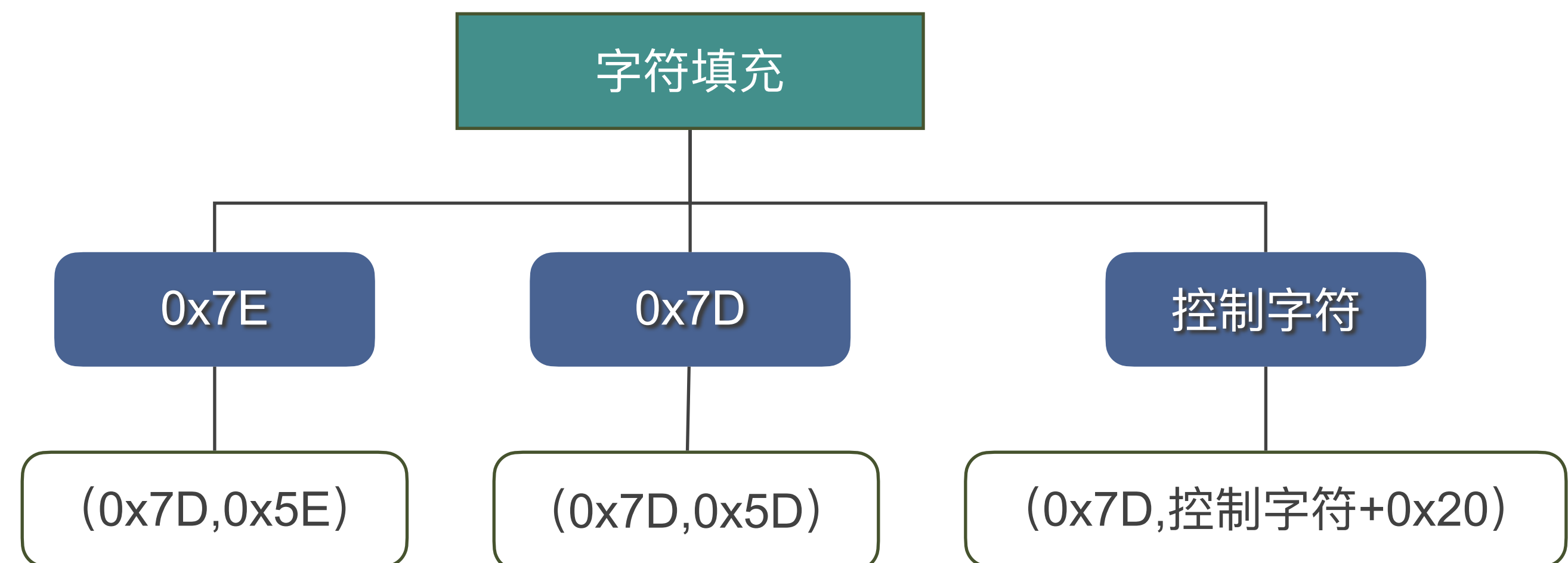
- **同步问题：**
 - 异步传输通过字符**起止的开始和停止码**进行同步，线路空闲时携带着代表着比特1的信号，传输开始位使信号变为0，数据传输结束，停止位使信号重新变为1；
 - 同步传输在数据中**提取同步信息**（帧定界比特组合）。

问题：PPP是面向比特的还是面向字符类型的协议？

PPP异步传输时透明传输（字符填充）

- 数据链路层
 - 点对点协议PPP
 - PPP协议的特点
 - PPP的基本要求
 - PPP协议的组成
 - PPP帧格式
 - **PPP透明传输**
 - 可靠传输问题
 - PPP工作状态

- 控制字符填充举例：
 - 字符0x01,经字符填充后为**0x21**;
 - 字符0x03,经字符填充后为**0x23**;
 - 接收端一个字符一个字符地接收，最终**根据帧定界符还原成帧。**



PPP同步传输时透明传输（0比特填充）



- 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。

不提供使用序号和确认的可靠传输

- 数据链路层
 - 点对点协议PPP
 - PPP协议的特点
 - PPP的基本要求
 - PPP协议的组成
 - PPP帧格式
 - PPP透明传输
 - 可靠传输问题
 - PPP工作状态

- PPP 协议不使用序号和确认机制：
 - 在数据链路层出现差错概率不大时，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收。

PPP协议的工作状态（同步）

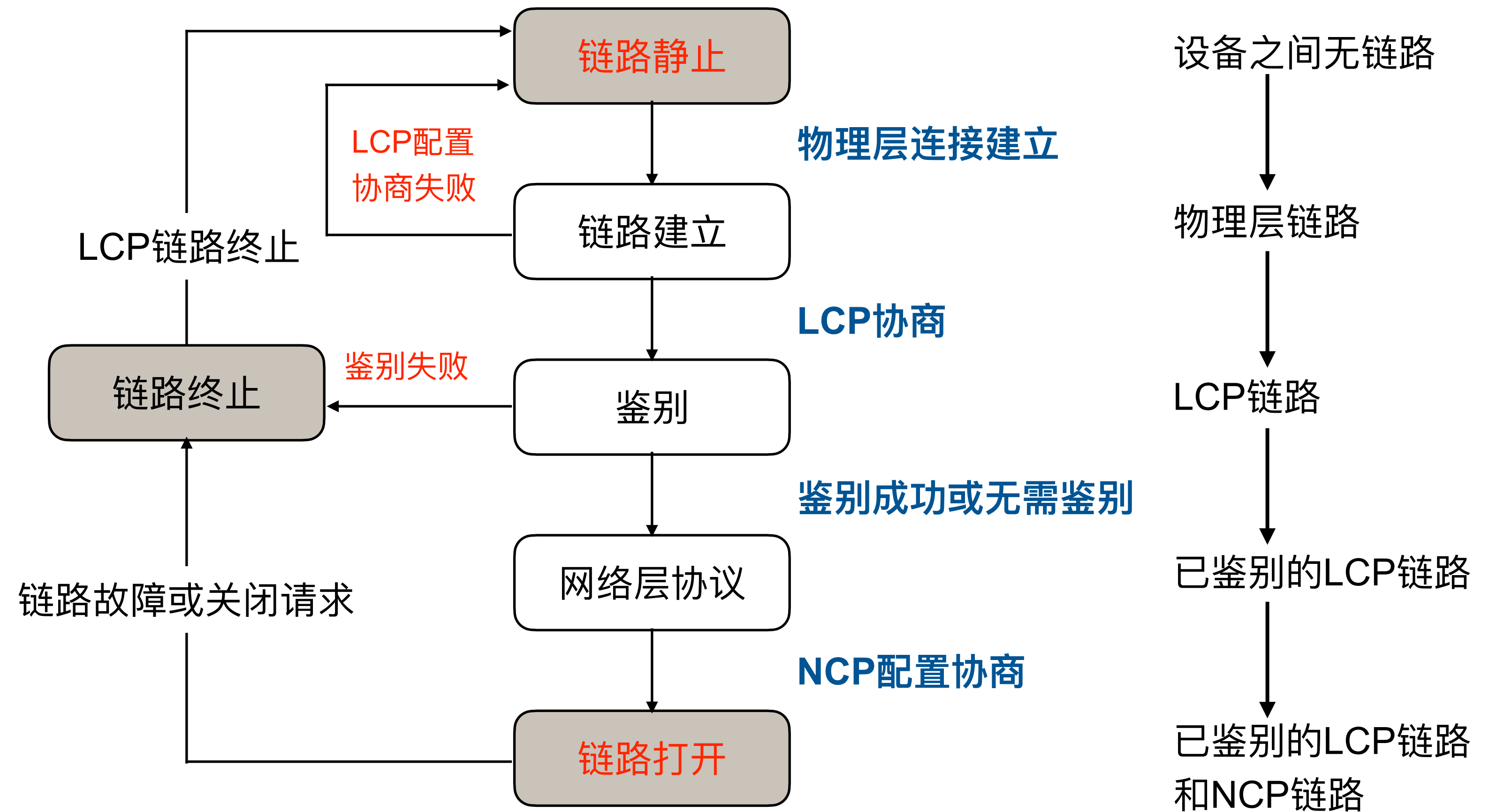
- 数据链路层
 - 点对点协议PPP
 - PPP协议的特点
 - PPP的基本要求
 - PPP协议的组成
 - PPP帧格式
 - PPP透明传输
 - 可靠传输问题
 - PPP工作状态

- 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**，并**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**。

可见，PPP 协议已不是纯粹的数据链路层的协议，**它还包含了物理层和网络层的内容**。

PPP协议的工作状态（同步）

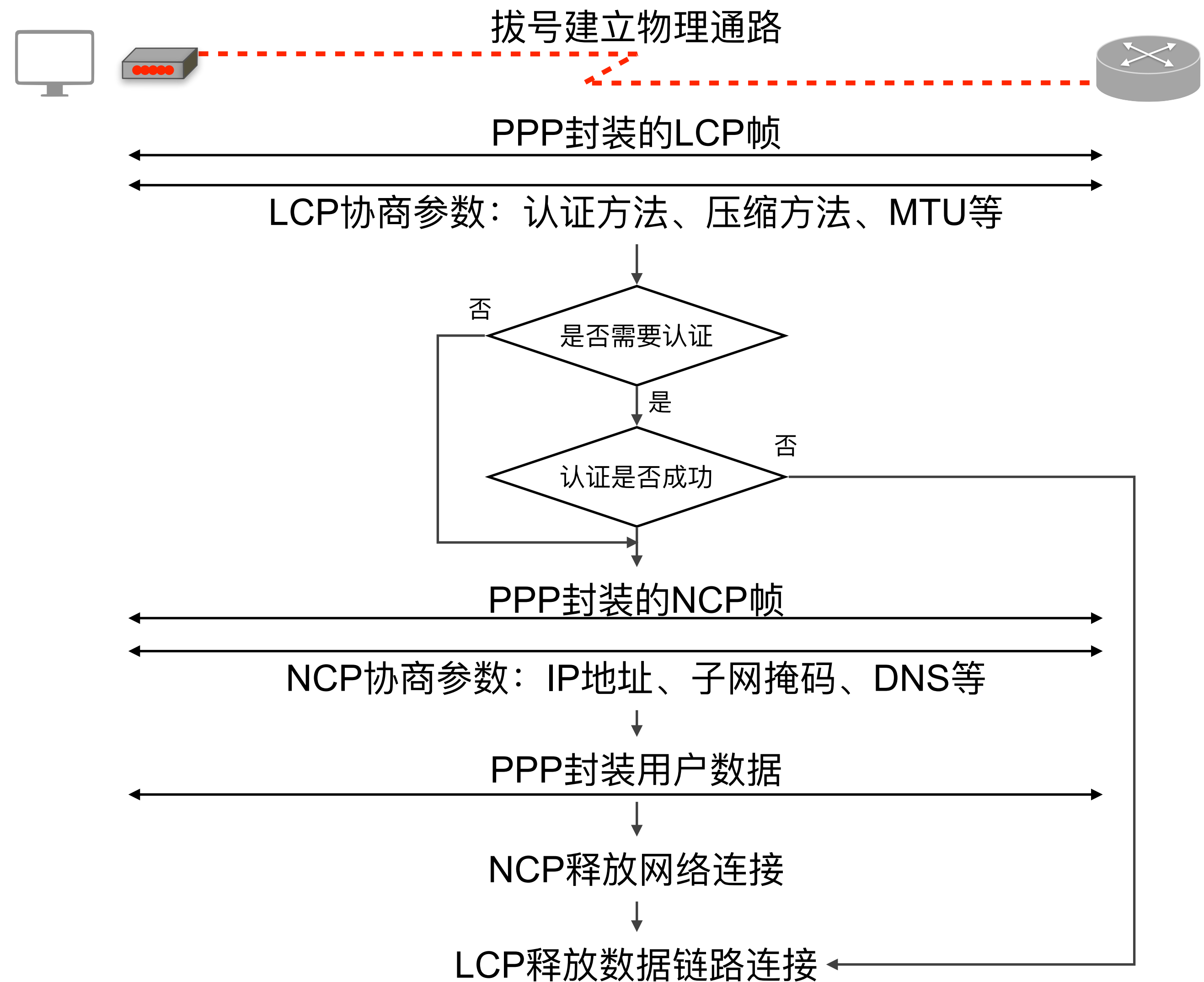
- 数据链路层
 - 点对点协议PPP
 - PPP协议的特点
 - PPP的基本要求
 - PPP协议的组成
 - PPP帧格式
 - PPP透明传输
 - 可靠传输问题
 - **PPP工作状态**



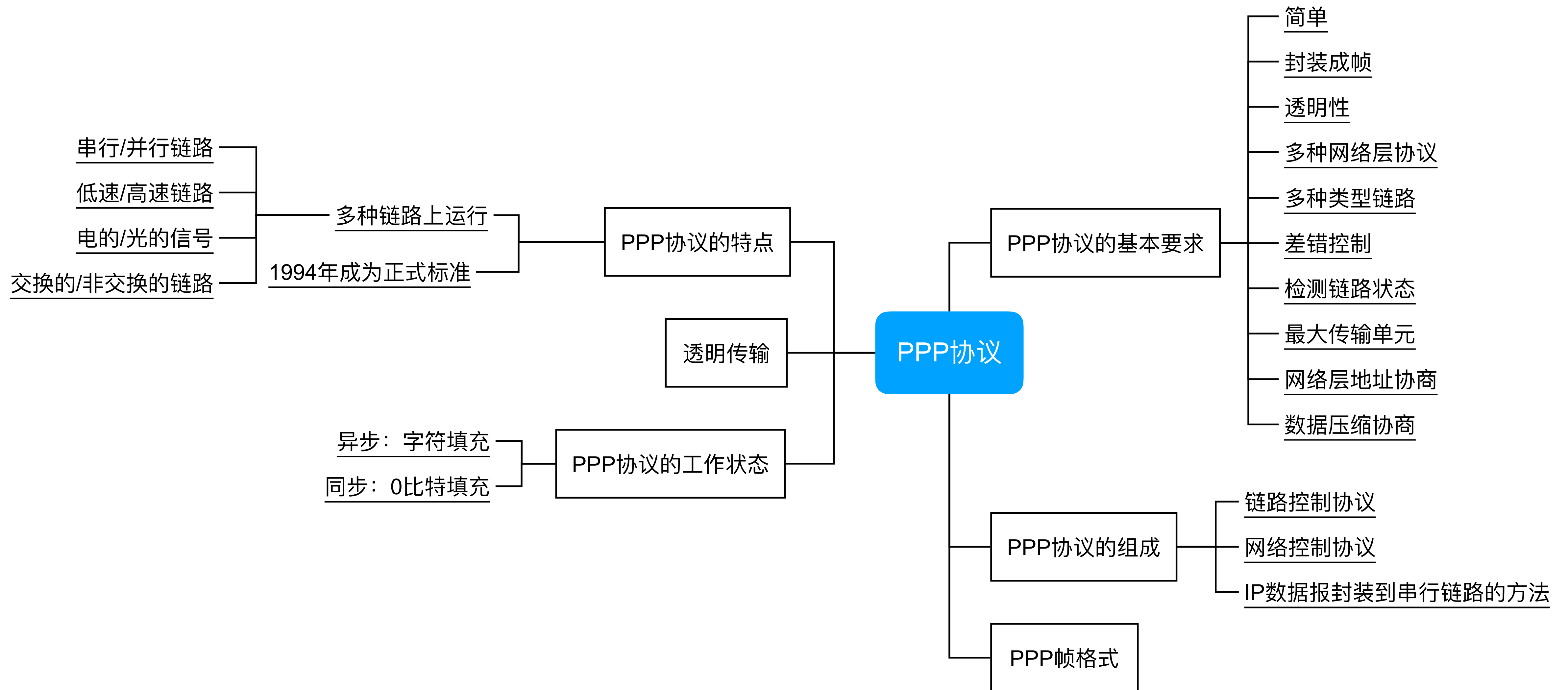
链路UP状态，身份认证状态，NCP协商状态，链路维持状态

PPP协议的工作状态（同步）

- 数据链路层
 - 点对点协议PPP
 - PPP协议的特点
 - PPP的基本要求
 - PPP 协议的组成
 - PPP帧格式
 - PPP透明传输
 - 可靠传输问题
 - **PPP工作状态**



小结



使用广播信道的数据链路层

- 数据链路层
 - 局域网的特点
 - 媒体共享技术
 - 两个标准
 - 以太网
 - CSMA/CD协议

局域网的数据链路层

CSMA/CD 协议

使用集线器的星形拓扑

以太网的信道利用率

以太网的 MAC 层

局域网的数据链路层

- 数据链路层
 - 局域网的特点
 - 媒体共享技术
 - 两个标准
 - 以太网
 - CSMA/CD协议

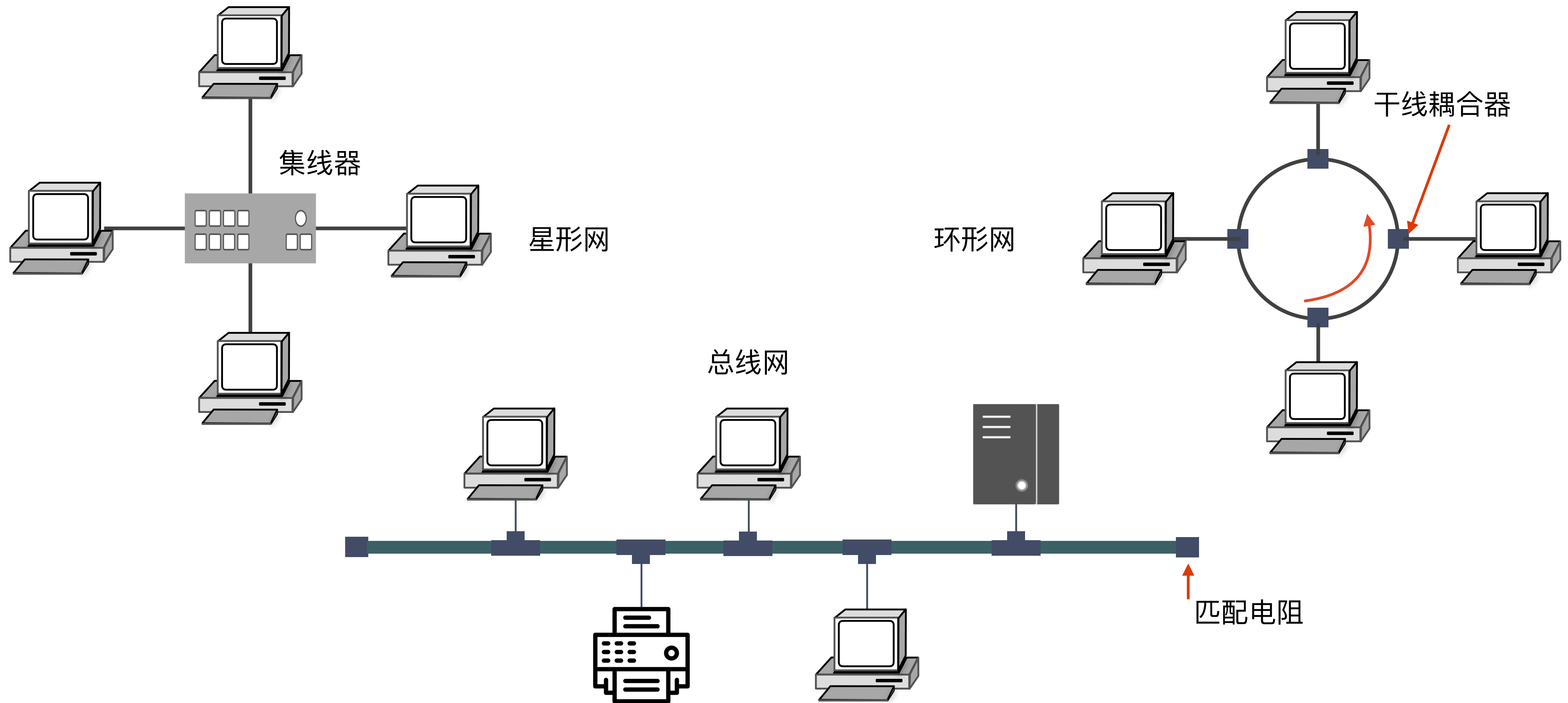
- 局域网具有如下主要优点：

- 具有广播功能，从一个站点可很方便地访问全网。局域网上的主机可共享连接在局域网上的各种硬件和软件资源；
- 便于系统的扩展和逐渐地演变，各设备的位置可灵活调整和改变；
- 提高了系统的可靠性、可用性和残存性。

局域网最主要的**特点**是：

- 网络为一个单位所拥有；
- 地理范围和站点数目均有限。

局域网拓扑结构



媒体共享技术

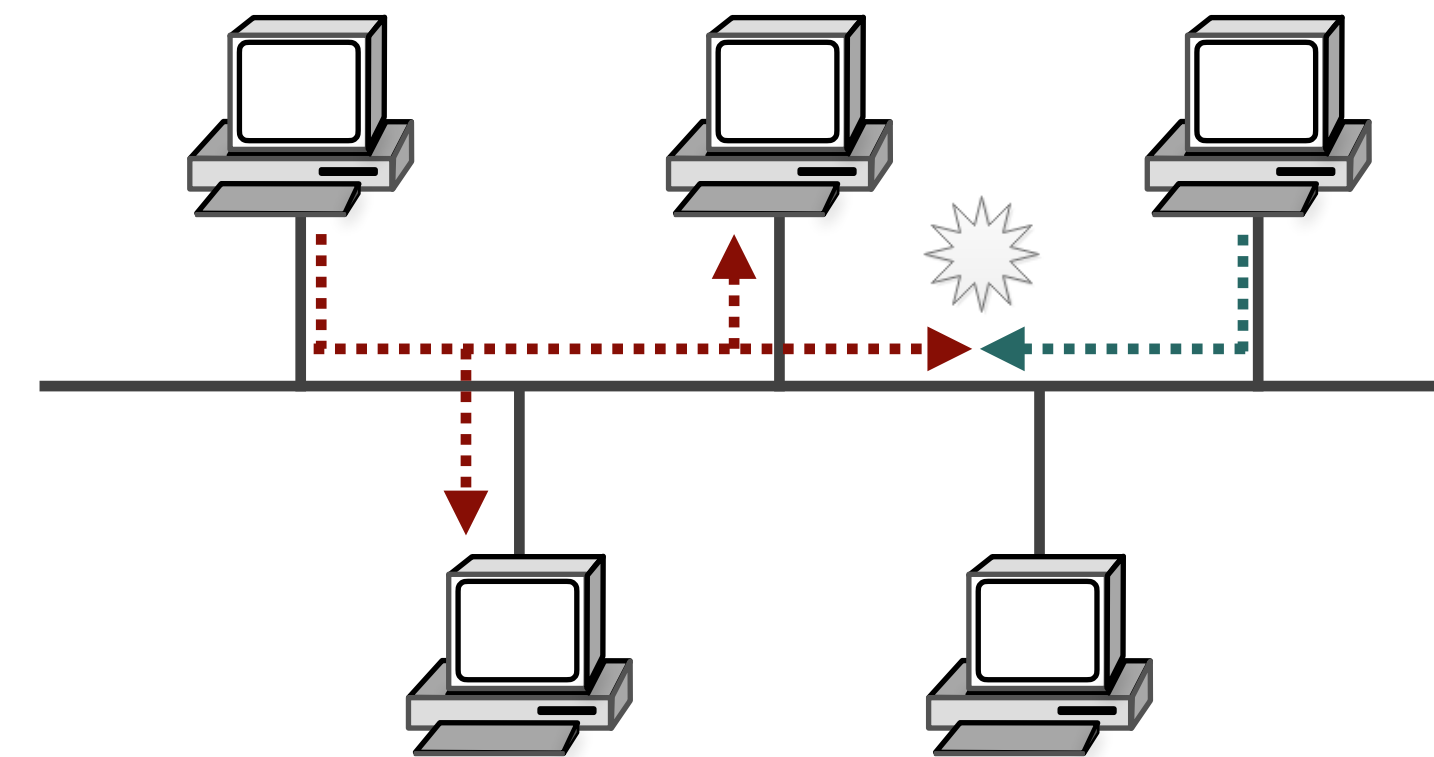
- 数据链路层
- 局域网的特点
- 媒体共享技术
- 两个标准
- 以太网
- CSMA/CD协议

- 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，如多点线路探测 (polling)，或轮询。



- 使用一对多的广播通信方式：

- 问题：若多个设备在共享的广播信道上同时发送数据，则会造成彼此干扰，导致发送失败。

以太网的标准

- 数据链路层
 - 局域网的特点
 - 媒体共享技术
 - 两个标准
 - 以太网
 - CSMA/CD协议

- DIX Ethernet V2 是世界上第一个局域网产品（以太网）的规约。
- IEEE 802.3 是第一个 IEEE 的以太网标准：
 - DIX Ethernet V2 标准与 IEEE 的 802.3 标准只有很小的差别，因此可以将 802.3 局域网简称为“以太网”；
 - 严格说来，“以太网”应当是指符合 DIX Ethernet V2 标准的局域网。

- IEEE 802又称为LMSC（LAN /MAN Standards Committee， 局域网/城域网标准委员会），致力于研究局域网和城域网的物理层和MAC层中定义的服务和协议，对应OSI网络参考模型的最低两层（即物理层和数据链路层）。

IEEE802委员会

802.10安全与加密

802.1局域网概述、体系结构、网络互连和网络管理

802.2 逻辑链路控制LLC

802.3	802.4	802.5	802.6	802.9	802.11	802.12	802.14	802.15	802.16	802.17	802.20
以太网	令牌总线	令牌环	城域网	语音数据网	无线局域网	100VG Any LAN	交互式电视网	无线蓝牙	无线城域网	电信以太网	移动宽带网
物理层	物理层	物理层	物理层	物理层	物理层	物理层	物理层	物理层	物理层	物理层	物理层

....
LLC层

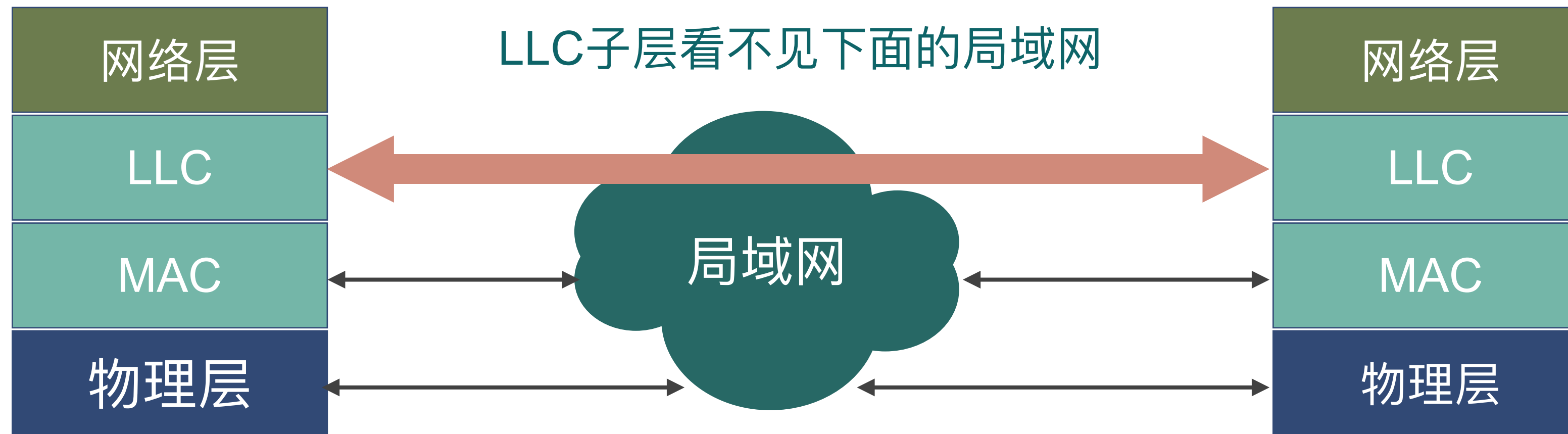
MAC层

物理层

802.7宽带技术

802.8光纤技术

数据链路层的两个子层（局域网对 LLC 子层是透明的）



- 为了使数据链路层能更好地适应多种局域网标准，IEEE 802 委员会就将局域网的数据链路层拆成两个子层：
 - 逻辑链路控制 LLC (Logical Link Control)子层；
 - 媒体接入控制 MAC (Medium Access Control)子层；
 - 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。

802.3帧实例（部分二层协议使用）

- 数据链路层
 - 局域网的特点
 - 媒体共享技术
 - 两个标准
 - 以太网
 - CSMA/CD协议

IEEE 802.3 Ethernet

Destination: CDP/VTP/DTP/PAgP/UDLD (01:00:0c:cc:cc:cc)

Source: cc:03:09:98:f1:0e (cc:03:09:98:f1:0e)

Length: 330

Logical-Link Control

DSAP: SNAP (0xaa)

SSAP: SNAP (0xaa)

Control field: U, func=UI (0x03)

Organization Code: 00:00:0c (Cisco Systems, Inc)

PID: CDP (0x2000)

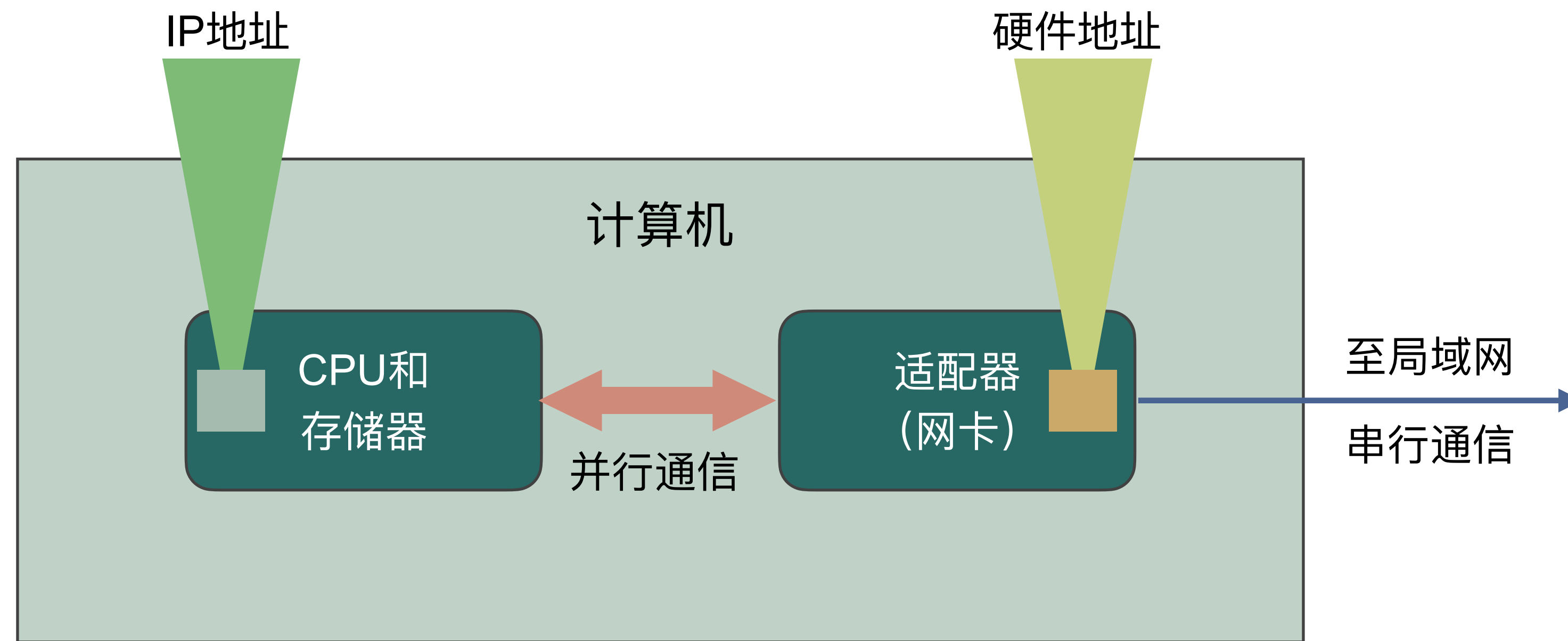
Cisco Discovery Protocol

一般不考虑 LLC 子层

- 数据链路层
 - 局域网的特点
 - 媒体共享技术
 - 两个标准
 - 以太网
 - CSMA/CD协议

- 由于 TCP/IP 体系经常使用的局域网是 DIX 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。
- 很多厂商生产的适配器上就仅装有 MAC 协议而没有 LLC 协议。

计算机通过适配器和局域网进行通信



- 适配器的重要功能：
 - 进行串行/并行转换；
 - 对数据进行缓存；
 - 在计算机的操作系统中安装设备驱动程序；
 - 实现以太网协议。

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”。

以太网采取了两种重要的措施

- 数据链路层
 - 局域网的特点
 - 媒体共享技术
 - 两个标准
 - 以太网
 - CSMA/CD协议

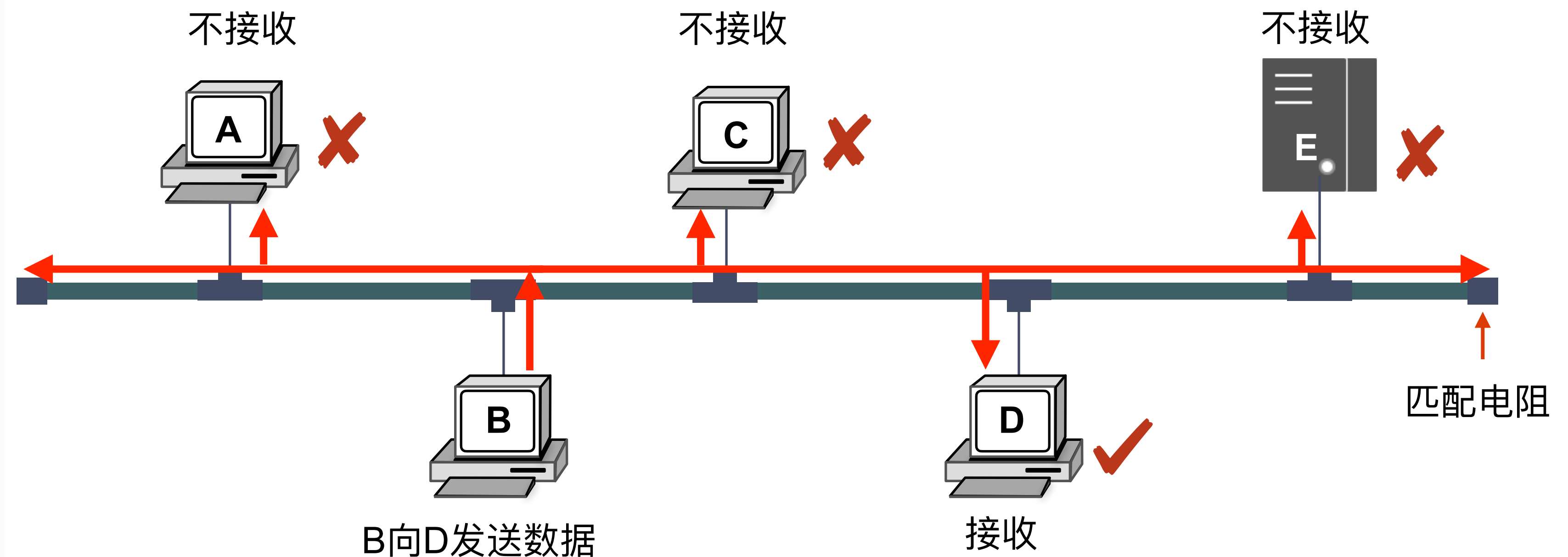
- 不必先建立连接就可以直接发送数据：
 - 对发送的数据帧不进行编号，也不要求对方发回确认；
 - 这样做的理由是局域网信道的质量很好，因信道质量产生差错的概率是很小的。
- 以太网发送的数据都使用曼彻斯特编码，其缺点如下：
 - 它所占的频带宽度比原始的基带信号增加了一倍。

以太网提供的服务

- 数据链路层
 - 局域网的特点
 - 媒体共享技术
 - 两个标准
 - 以太网
 - CSMA/CD协议
- 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。

CSMA/CD 协议

- 数据链路层
 - 局域网的特点
 - 媒体共享技术
 - 两个标准
 - 以太网
 - 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。易于实现广播通信。当初认为这样的连接方法既简单又可靠，因为总线上没有有源器件。

以太网采用广播方式发送

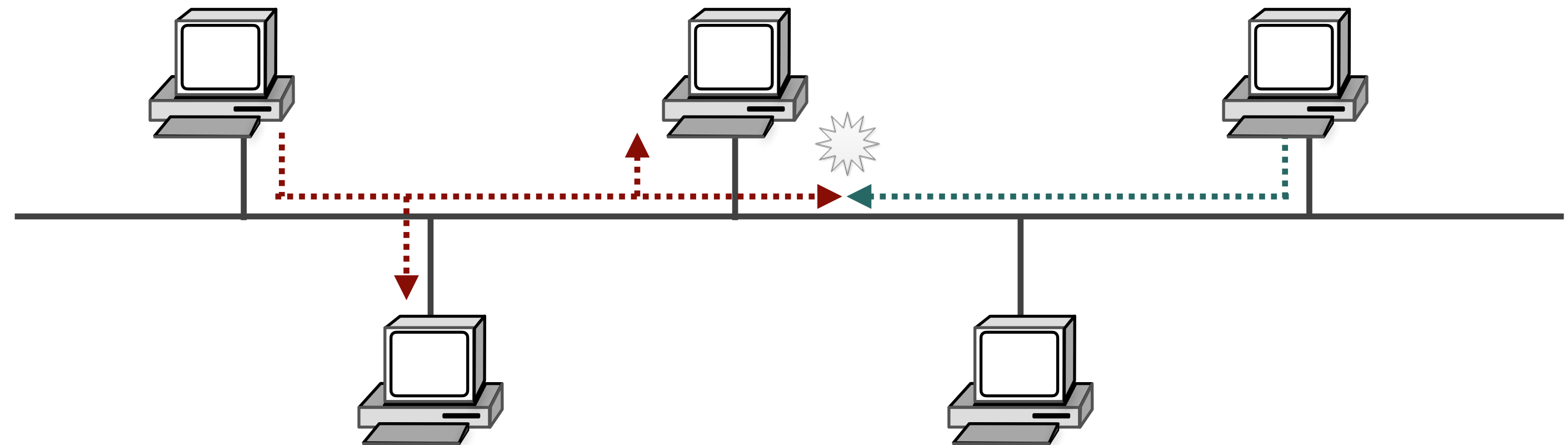
- 数据链路层
 - 局域网的特点
 - 媒体共享技术
 - 两个标准
 - 以太网
 - CSMA/CD协议

- 总线上的每一个工作的计算机都能检测到B发送的数据信号：
 - 由于只有计算机D的地址与数据帧首部写入的地址一致，因此只有D才接收这个数据帧。
 - 其他所有的计算机（A, C 和 E）都检测到不是发送给它们的数据帧，因此就丢弃这个数据帧而不能够收下来；
 - 在具有广播特性的总线上实现了一对一的通信。
- 为了实现一对一通信，将接收站的硬件地址写入帧首部中的目的地址字段中：
 - 仅当数据帧中的目的地址与适配器的硬件地址一致时，才能接收这个数据帧。

多台设备同时发送数据

- 数据链路层
 - 局域网的特点
 - 媒体共享技术
 - 两个标准
 - 以太网
 - CSMA/CD协议

- 总线的缺点：
 - 若多个设备在共享的广播信道上同时发送数据，则会造成彼此干扰，导致发送失败。



CSMA/CD协议

- 数据链路层
 - 局域网的特点
 - 媒体共享技术
 - 两个标准
 - 以太网
 - CSMA/CD协议

- CSMA/CD 含义：载波监听多点接入 / 碰撞检测 (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) 。
 - 载波监听 (CS)：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；
 - 多点接入 (MA)：表示许多计算机以多点接入的方式连接在一根总线上；
 - 碰撞检测 (CD)：边发送边监听，判断发送的数据是否与其他站发送的数据产生了冲突。

总线上并没有什么“载波”：

“载波监听”是用电子技术检测总线上有没有其他计算机发送的数据信号。

碰撞检测

- 数据链路层
 - 局域网的特点
 - 媒体共享技术
 - 两个标准
 - 以太网
 - CSMA/CD协议

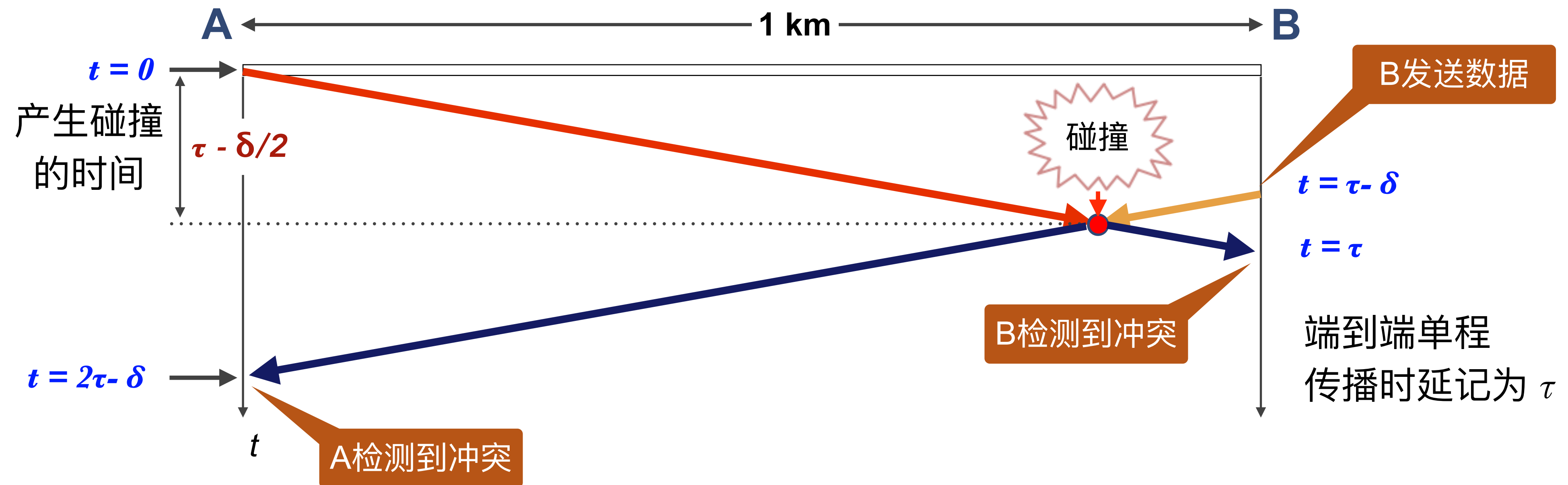
- “碰撞检测”就是计算机边发送数据边检测信道上的信号电压大小：
 - 当几个站同时在总线上发送数据时，总线上的信号电压摆动值将会增大（互相叠加）；
 - 当一个站检测到的信号电压摆动值超过一定的门限值时，就认为总线上至少有两个站同时在发送数据，表明产生了碰撞；
 - 所谓“碰撞”就是发生了冲突。因此“碰撞检测”也称为“冲突检测”。
- 在发生碰撞时，总线上传输的信号产生了严重的失真，无法从中恢复出有用的信息来：
 - 每一个正在发送数据的站，一旦发现总线上出现了碰撞，就要立即停止发送，免得继续浪费网络资源，然后等待一段随机时间后再次发送。

为什么要进行碰撞检测？

- 数据链路层
 - 局域网的特点
 - 媒体共享技术
 - 两个标准
 - 以太网
 - CSMA/CD协议

- 电磁波在总线上的传播速率是有限的 ($200\text{m}/\mu\text{s}$)，当某个站监听到总线是空闲时，也可能总线并非真正是空闲的：
 - A 向 B 发出的信息，要经过一定的时间后才能传送到 B；
 - B 若在 A 发送的信息到达 B 之前发送自己的帧 (因为这时 B 的载波监听检测不到 A 所发送的信息)，则必然要在某个时间和 A 发送的帧发生碰撞。碰撞的结果是两个帧都变得无用；
 - 所以需要在发送期间进行碰撞检测，以检测冲突。

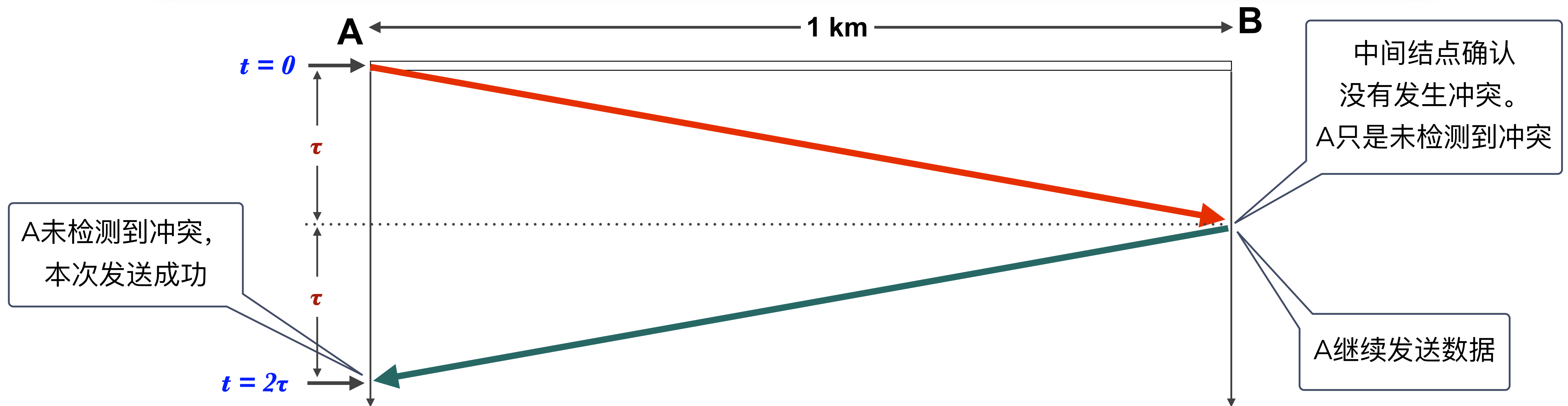
信号传播时延对载波监听的影响



A需要单程传播时延的2倍的时间，才能检测到与 B 的发送产生了冲突。

争用期

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



二进制指数类型退避算法

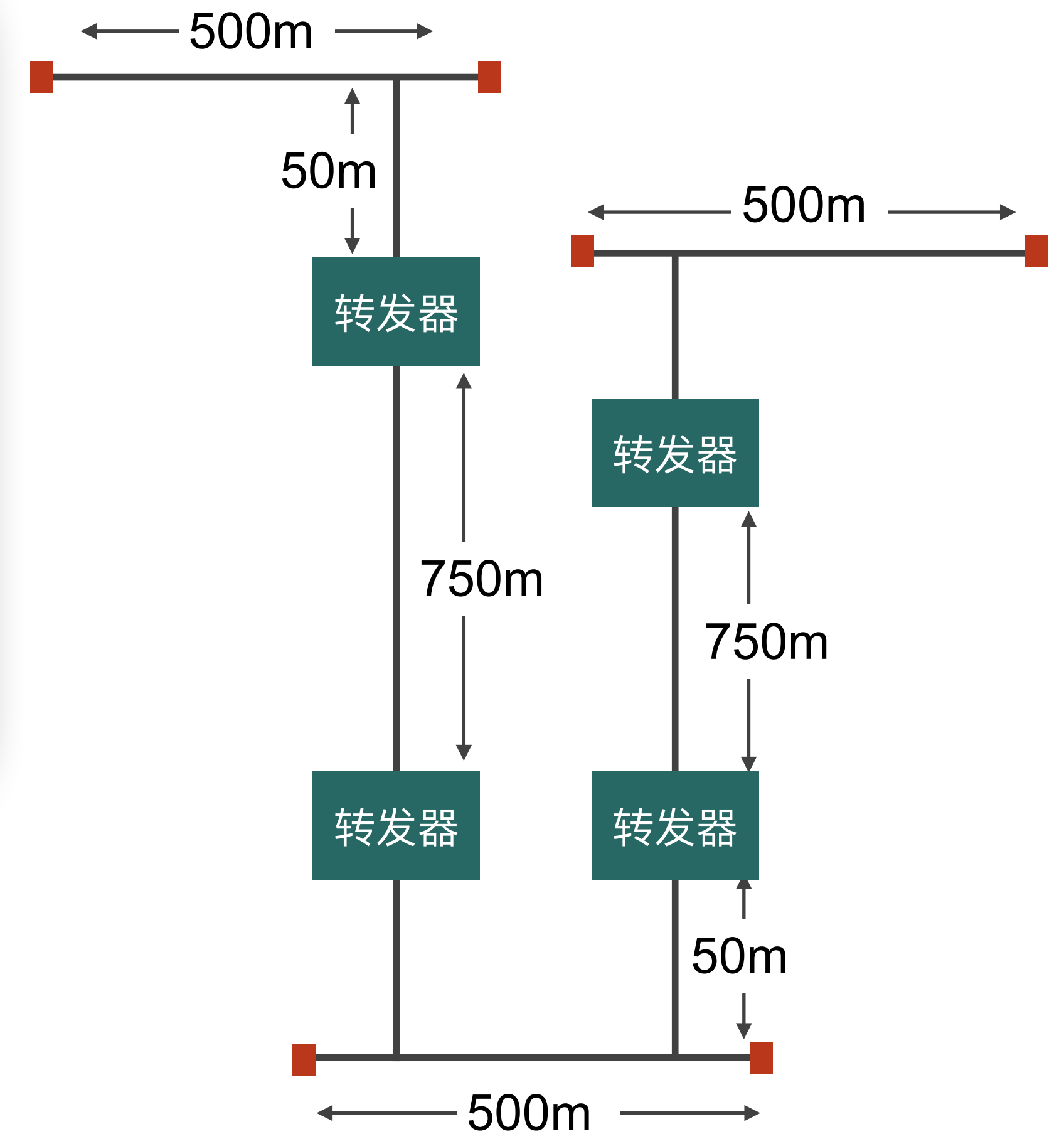
- 数据链路层
 - 局域网的特点
 - 媒体共享技术
 - 两个标准
 - 以太网
 - CSMA/CD协议

- 发生碰撞的站在停止发送数据后，要推迟（退避）一个随机时间才能再发送数据：
 - 基本退避时间取为争用期 2τ ；
 - 从整数集合 $[0, 1, \dots, (2^k - 1)]$ 中随机地取出一个数，记为 r 。重传所需的时延就是 r 倍的基本退避时间；
 - 参数 k 按下面的公式计算：
$$k = \text{Min}[\text{重传次数}, 10]$$
 - 当 $k \leq 10$ 时，参数 k 等于重传次数；
 - 当重传达 16 次仍不能成功时即丢弃该帧，并向高层报告。

争用期的长度

- 传统粗缆总线型以太网网络直径约为**3km**；
- 端到端的传播时延约为 **$15\mu\text{s}$** ；
- 往返时延为 **$30\mu\text{s}$** ；
- 加上中继器等处理时延，取**争用期 $51.2\mu\text{s}$** 。
- 10 Mbit/s 以太网取 **51.2 s 为争用期的长度**。对于10 Mbit/s 以太网，在争用期内可发送 **512 bit ，即 64 字节**。

- 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**。
- 因此**以太网最小有效帧长为64字节**。长度小于 64 字节的帧都是由于冲突而异常中止的无效帧。



5-4-3规则

最小帧长计算

- 数据链路层
 - 局域网的特点
 - 媒体共享技术
 - 两个标准
 - 以太网
 - CSMA/CD协议

$$\frac{F_l}{D_s} \geq 2\tau$$

$$F_{lmin} = 2\tau \times D_s$$

- 信道长度6公里，信号在信道中的传播速率为200m/μs，数据传输速率为20Mb/s。求满足该信道的最小帧长。

$$\tau = 6000/200$$

$$= 30\mu s$$

$$= 30 \times 10^{-6}s$$

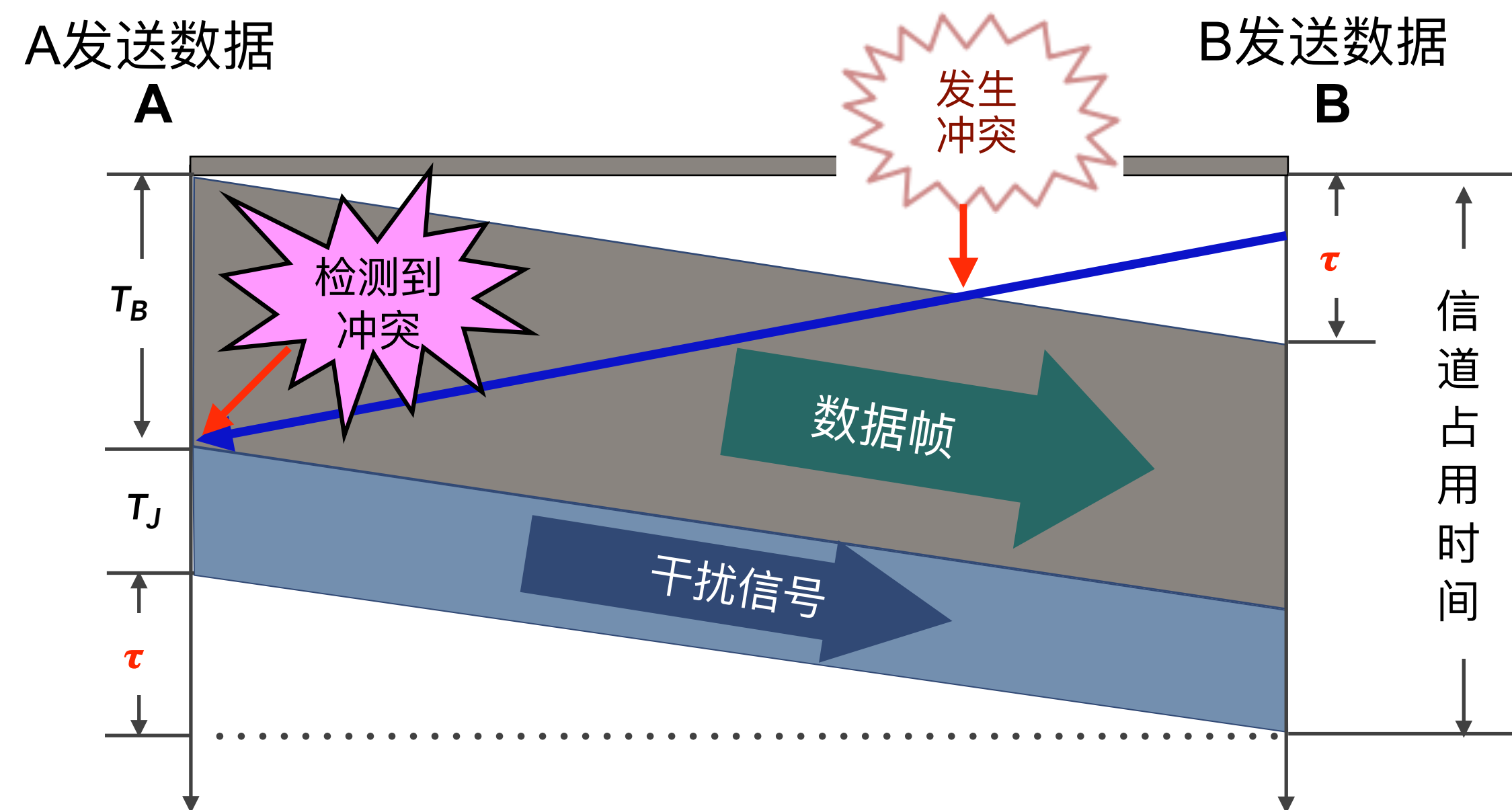
$$F_{lmin} = 2 \times \tau \times 20 \times 10^6$$

$$= 1200bit$$

人为干扰信号

- 数据链路层
 - 局域网的特点
 - 媒体共享技术
 - 两个标准
 - 以太网
 - CSMA/CD协议

- 发生碰撞之后，发送端**需强化碰撞**：
 - 立即停止发送数据，再继续发送若干比特的人为干扰信号，让所有用户都知道现在已经发生了碰撞；
 - 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。



CSMA/CD 重要特性

- 数据链路层
 - 局域网的特点
 - 媒体共享技术
 - 两个标准
 - 以太网
 - CSMA/CD协议
- 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髙数据率。

CSMA/CD协议的要点

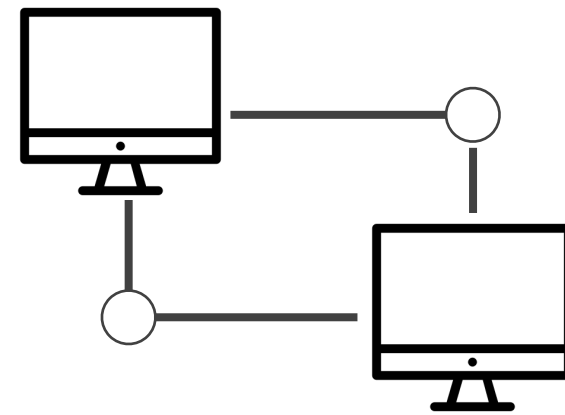
- 数据链路层
 - 局域网的特点
 - 媒体共享技术
 - 两个标准
 - 以太网
 - CSMA/CD协议

- (1) **准备发送**。但在发送之前，必须**先检测信道**。
- (2) **检测信道**。若检测到信道忙，则应不停地检测，一直等待信道转为空闲。若检测到信道空闲，并在 **96** 比特时间内信道保持空闲（保证了帧间最小间隔），就发送这个帧。
- (3) **检查碰撞**。网络适配器要**边发送边监听**。这里只有两种可能性：
 - ① 发送成功：在争用期内一直未检测到碰撞，发送成功。发送完毕后，其他什么也不做。然后回到 (1)；
 - ② 发送失败：在争用期内检测到碰撞。立即停止发送数据，并发送人为干扰信号，执行指数退避算法，等待 **r 倍 512** 比特时间后，返回到步骤 (2)。

重传达 16 次仍不能成功，则停止重传而向上报错。

CSMA/CD协议的要点

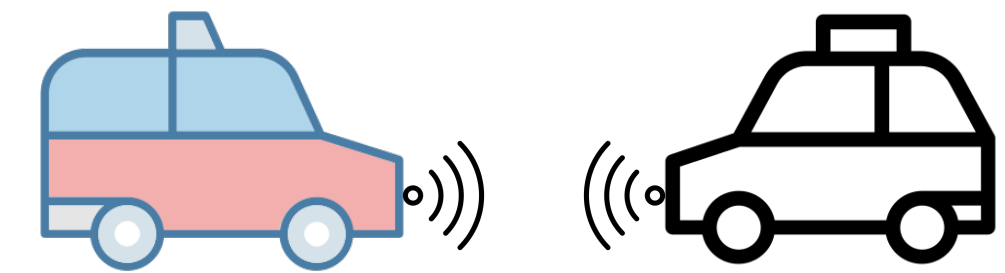
- 数据链路层
 - 局域网的特点
 - 媒体共享技术
 - 两个标准
 - 以太网
 - CSMA/CD协议



多点接入



载波监听

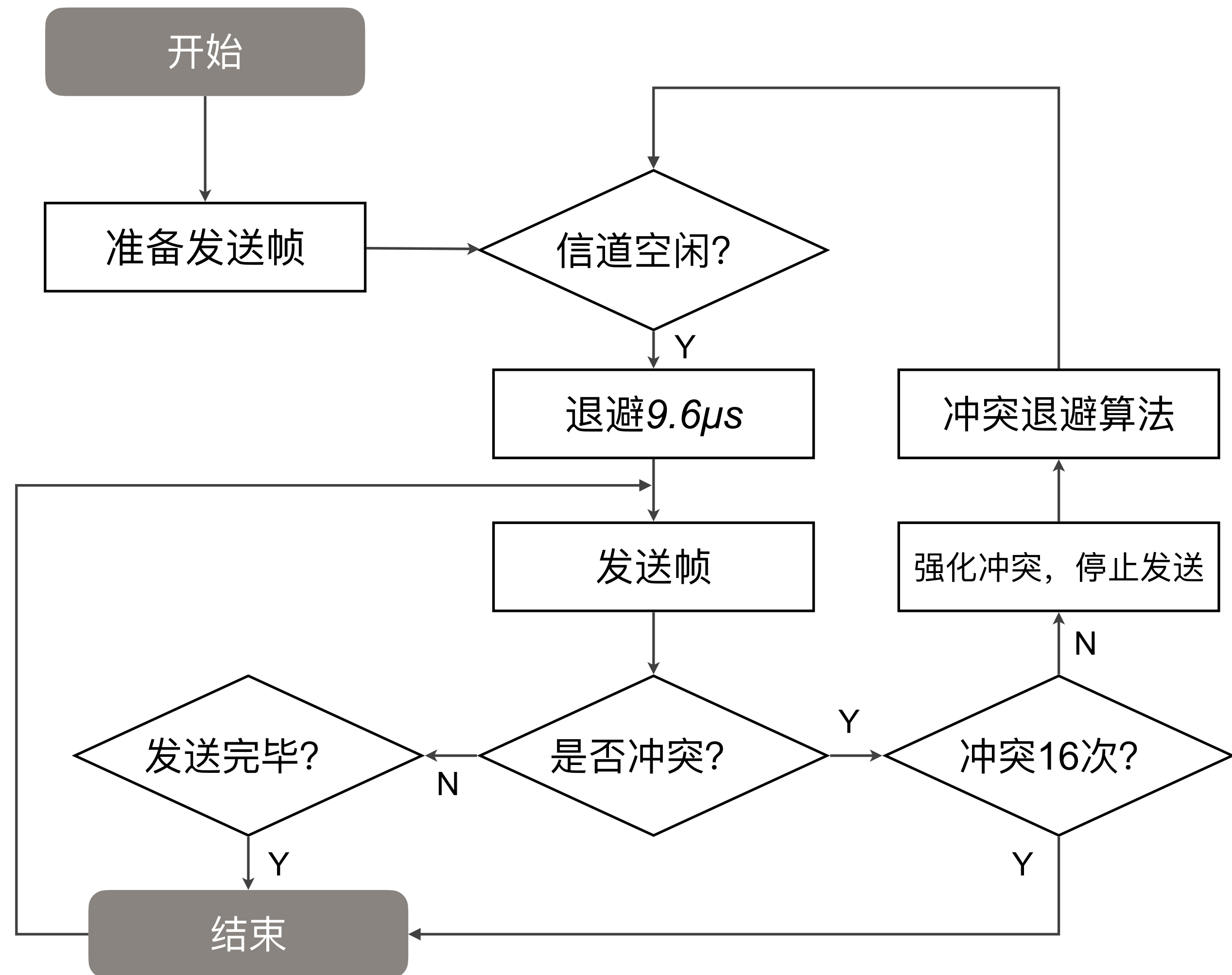


碰撞检测

先听后说，边说边听，冲突停止，延迟重发。

以太网MAC帧发送过程

- 数据链路层
- 局域网的特点
- 媒体共享技术
- 两个标准
- 以太网
- CSMA/CD协议



小结

- 数据链路层
 - 局域网的特点
 - 媒体共享技术
 - 两个标准
 - 以太网
 - CSMA/CD协议

广播信道数据链路层	广播信道的特点	广播功能 便于扩展 可靠性强
	网络拓扑结构	星型 环型 总线型
	信道划分方法	静态划分 动态划分
	两个标准	IEEE802.3 DIX Ethernet V2
	适配器的作用	串行/并行转换 缓存数据 发送/接收帧
	CSMA/CD协议	多点接入 载波监听 冲突检测 二进制指数退避算法 64字节最小帧要求

以太网星型拓扑及以太网信道利用率

- 数据链路层
 - 集线器组网
 - 10BASE-T特点
 - 集线器的特点
 - 信道利用率

- 集线器构成的星型结构以太网。
- 10BASE-T的特点。
- 集线器的特点。
- 以太网信道利用率。

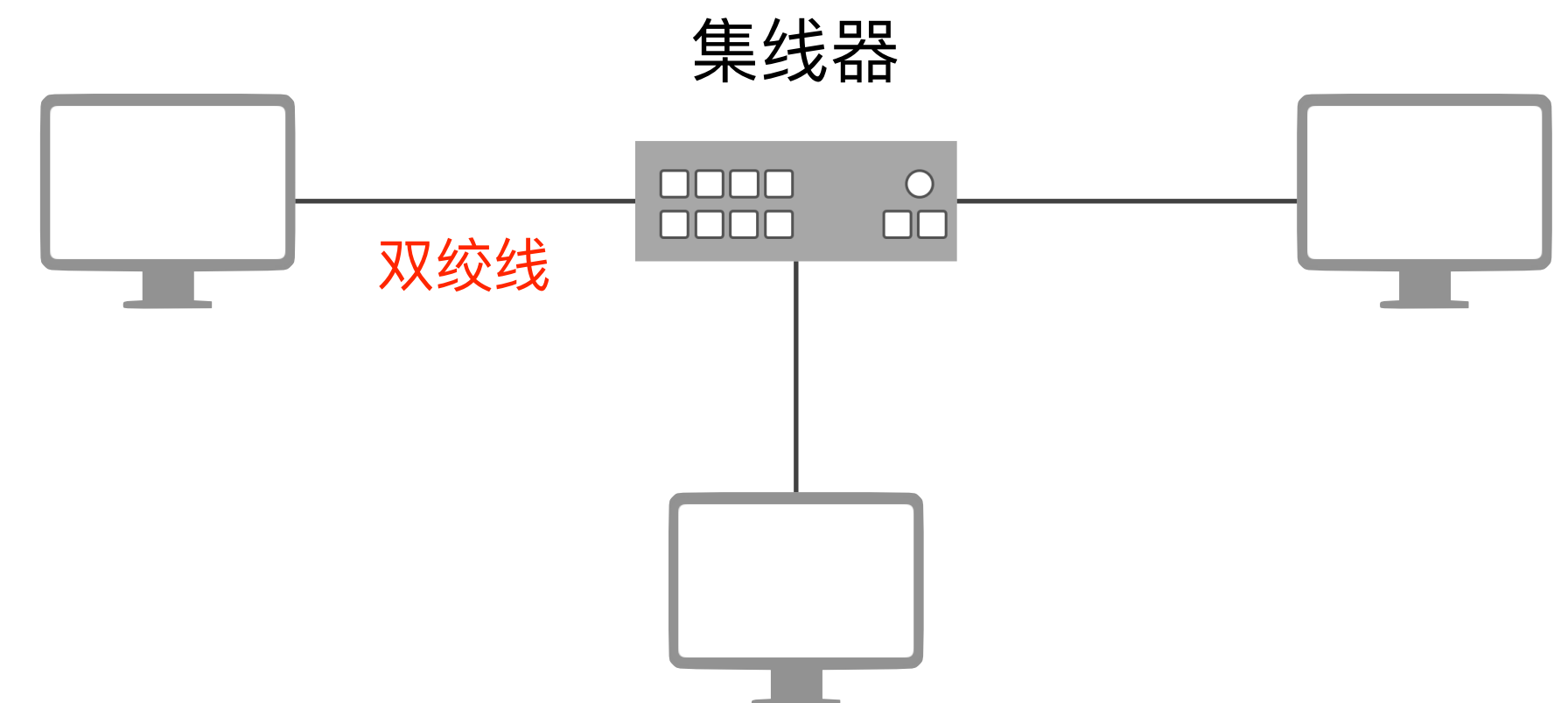
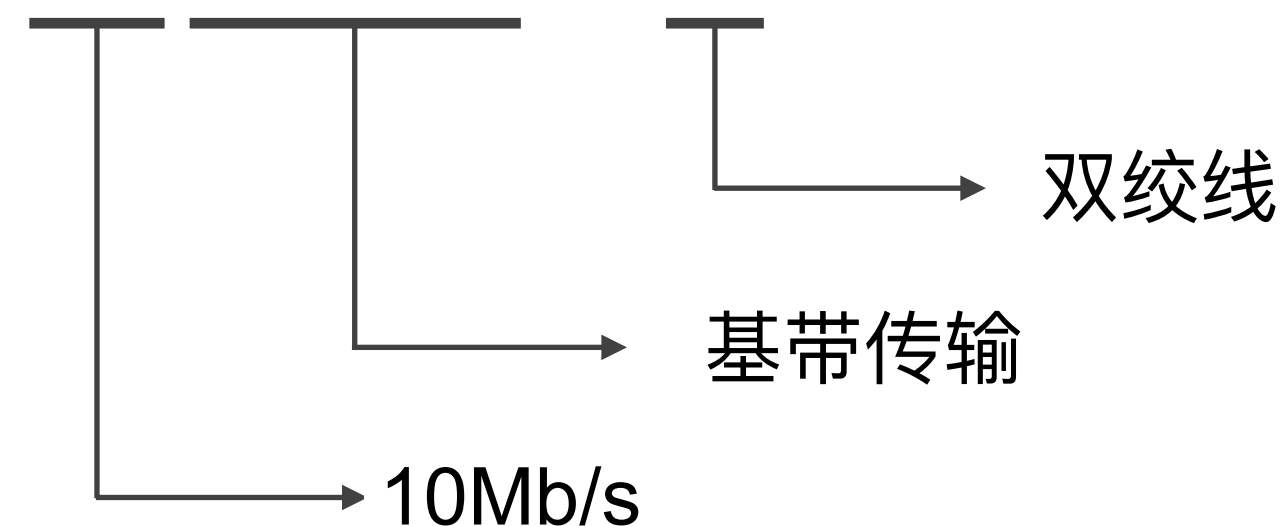
使用集线器的星形拓扑

- 数据链路层
 - 集线器组网
 - 10BASE-T特点
 - 集线器的特点
 - 信道利用率

- 传统以太网最初是使用粗同轴电缆，后来演进到使用比较便宜的细同轴电缆，最后发展为使用更便宜和更灵活的双绞线：
 - 采用双绞线的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)。

1990年 IEEE 制定出星形以太网：

10 BASE—T 的标准 802.3i。



Dec、Intel和Xero于1982年定义了Ethernet V2

10 BASE-T特点

- 数据链路层
- 集线器组网
- 10BASE-T特点
- 集线器的特点
- 信道利用率

- 使用无屏蔽双绞线，采用星形拓扑。
- 每个站需要用两对双绞线，分别用于发送和接收。
- 双绞线的两端使用 RJ-45 插头。
- 集线器使用了大规模集成电路芯片模拟总线，因此集线器的可靠性提高。
- 10BASE-T 的通信距离稍短，每个站到集线器的距离不超过 100 m。
- 成本低，性价比高。

- 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：
 - 从此以太网的拓扑就从总线型变为更加方便的星型网络，而以太网也就在局域网中占据了统治地位。

集线器的特点

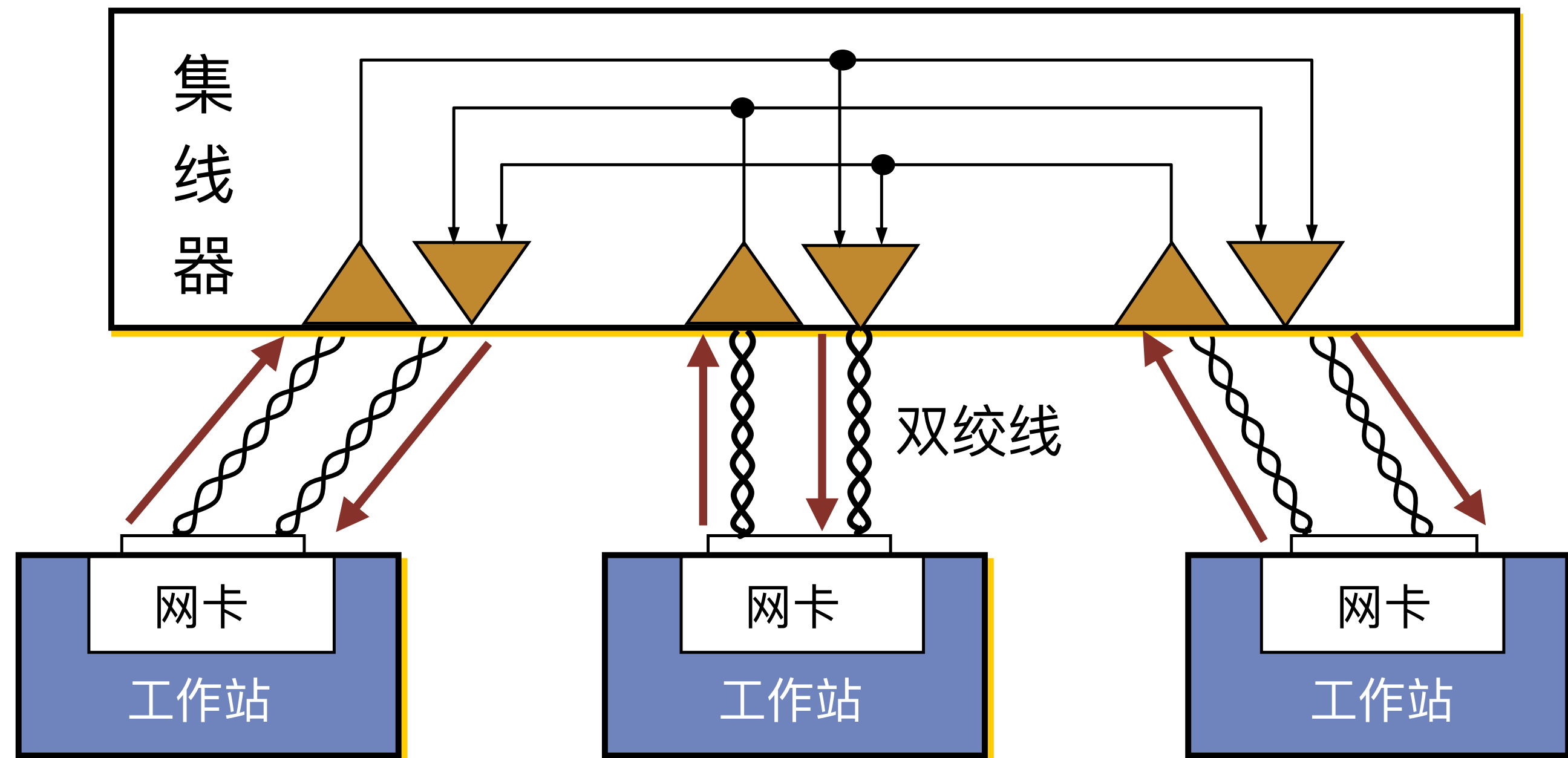
- 数据链路层
- 集线器组网
- 10BASE-T特点
- 集线器的特点
- 信道利用率

- 集线器是使用电子器件来模拟实际电缆线的工作，因此整个系统仍然像一个传统的以太网那样运行。
- 使用集线器的以太网在逻辑上仍是一个总线网，各工作站使用的还是CSMA/CD 协议，并共享逻辑上的总线。
- 集线器很像一个多接口的转发器，工作在物理层。
- 集线器采用了专门的芯片，进行自适应串音回波抵消，减少了近端串音。

物理上是星型，逻辑上仍然是总线型

三个接口的集线器

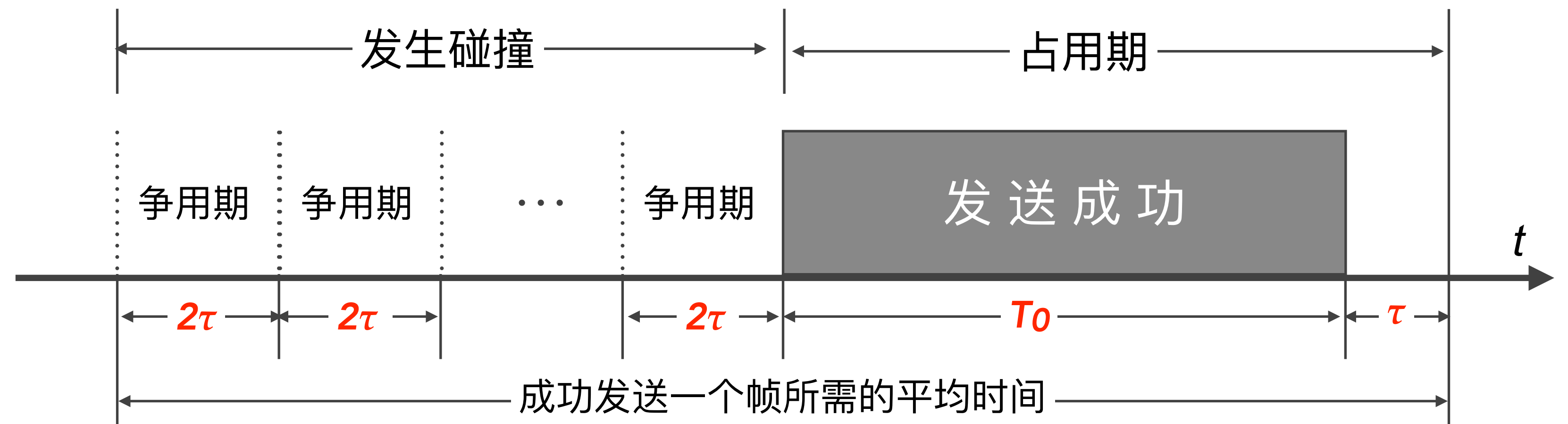
- 数据链路层
- 集线器组网
- 10BASE-T特点
- 集线器的特点
- 信道利用率



以太网信道利用率

- 数据链路层
 - 集线器组网
 - 10BASE-T特点
 - 集线器的特点
 - 信道利用率

- 一个站发送一个数据帧，可能要经过若干个争用期，才能发送成功。假定发送帧需要的时间是 T_0 ，且检测到碰撞后不发送干扰信号。
- 设帧长为 L (bit)，数据发送速率为 C (bit/s)，则帧的发送时间为：
 - $T_0 = L/C$ (s)。



参数 α 与利用率

- 数据链路层
 - 集线器组网
 - 10BASE-T特点
 - 集线器的特点
 - 信道利用率

- 要提高以太网的信道利用率，就必须减小 τ 与 T_0 之比。
- 在以太网中定义了参数 α ，它是以太网单程端到端时延 τ 与帧的发送时间 T_0 之比：

$$\alpha = \tau / T_0$$

- $\alpha \rightarrow 0$ ，表示一发生碰撞就立即可以检测出来，并立即停止发送，因而信道利用率很高。
- α 越大，争用期所占的比例增大，发生一次碰撞浪费许多信道资源，使得信道利用率降低。

对以太网参数 α 的要求

- 数据链路层
 - 集线器组网
 - 10BASE-T特点
 - 集线器的特点
 - 信道利用率

- 为提高利用率，以太网的参数 α 的值应当尽可能小些。
- 对以太网参数 α 的要求是：
 - 以太网的长度受到限制，否则 τ 的数值会太大；
 - 以太网的帧长不能太短，否则 T_0 的值会太小，使 α 值太大。

信道利用率的最大值 S_{max}

- 在理想化的情况下，以太网上的各站发送数据都不会产生碰撞（这显然已经不是 CSMA/CD，而是需要使用一种特殊的调度方法），即总线一旦空闲就有某一个站立即发送数据。
- 发送一帧占用线路的时间是 $T_0 + \tau$ ，而帧本身的发送时间是 T_0 。理想情况下的极限信道利用率 S_{max} 为：

$$S_{max} = \frac{T_0}{T_0 + \tau} = \frac{1}{1 + \alpha}$$

只有当参数 α 远小于1才能得到尽可能高的极限信道利用率。

当以太网的利用率达到 30%时就已经处于重载状态。很多的网络容量被网上的碰撞消耗掉了。

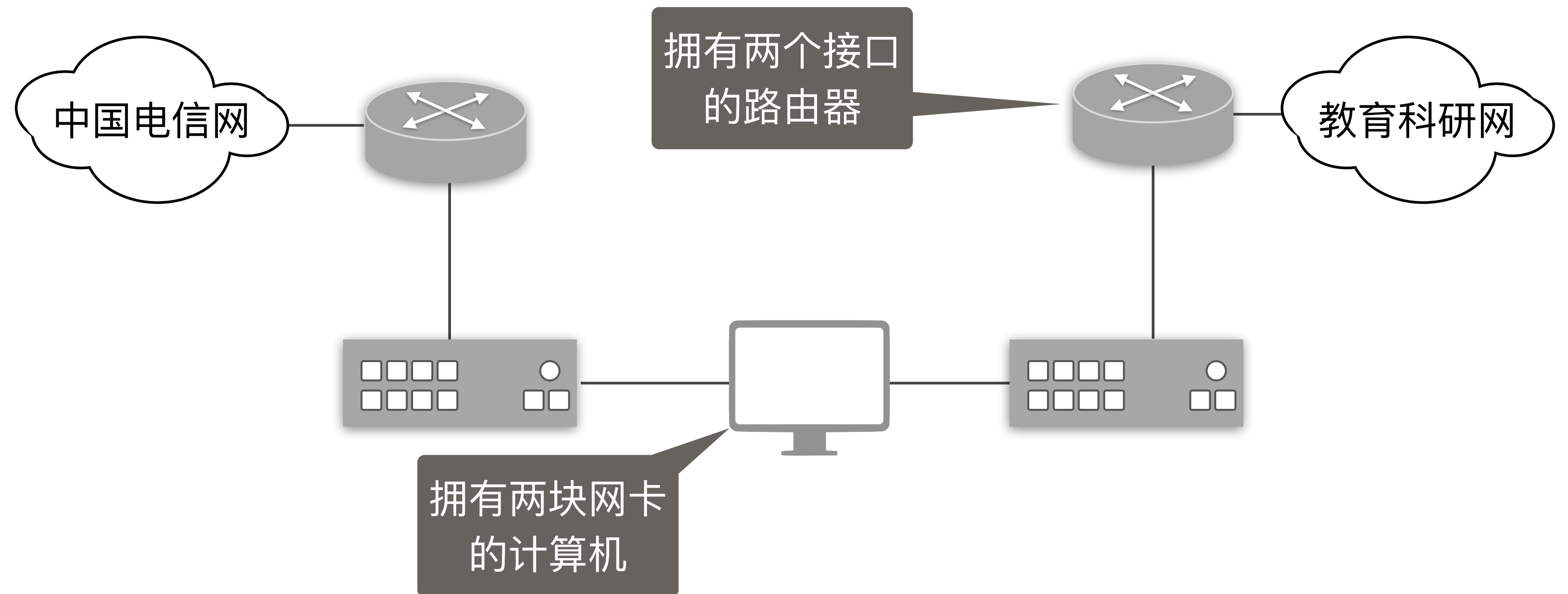
小结

- 数据链路层
 - 集线器组网
 - 10BASE-T特点
 - 集线器的特点
 - 信道利用率
- 集线器组建的以太网：
 - 物理星型；
 - 逻辑总线型；
 - 10BASE-T特点；
 - 以太网的统治地位。
- 以太网的利用率。

以太网的 MAC 地址

- 数据链路层
 - 以太网MAC地址
 - 硬件地址的构成
 - 查询生产厂商
 - MAC地址分类
 - 全球/本地管理
 - MAC帧的分类

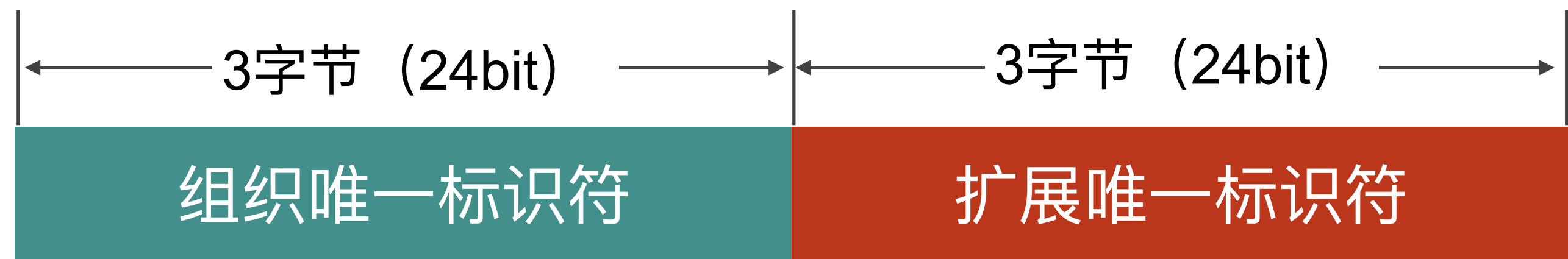
- 在局域网中，**硬件地址**又称为**物理地址**，或 MAC 地址：
 - 如果连接在局域网上的主机或路由器安装有**多个适配器**，那么这样的主机或路由器就有**多个“地址”**。



48 位的 MAC 地址

- 数据链路层
 - 以太网MAC地址
 - 硬件地址的构成
 - 查询生产厂商
 - MAC地址分类
 - 全球/本地管理
 - MAC帧的分类

- 以太网MAC地址共 6 字节 (48 bit):
 - IEEE 的注册管理机构 RA 负责向厂家分配MAC地址的前三个字节 (即高位 24 位), 称为组织唯一标识符;
 - MAC地址的后三个字节 (即低位 24 位) 由厂家自行指派, 称为扩展唯一标识符, 必须保证生产出的适配器没有重复地址。



48位的MAC地址

MAC地址

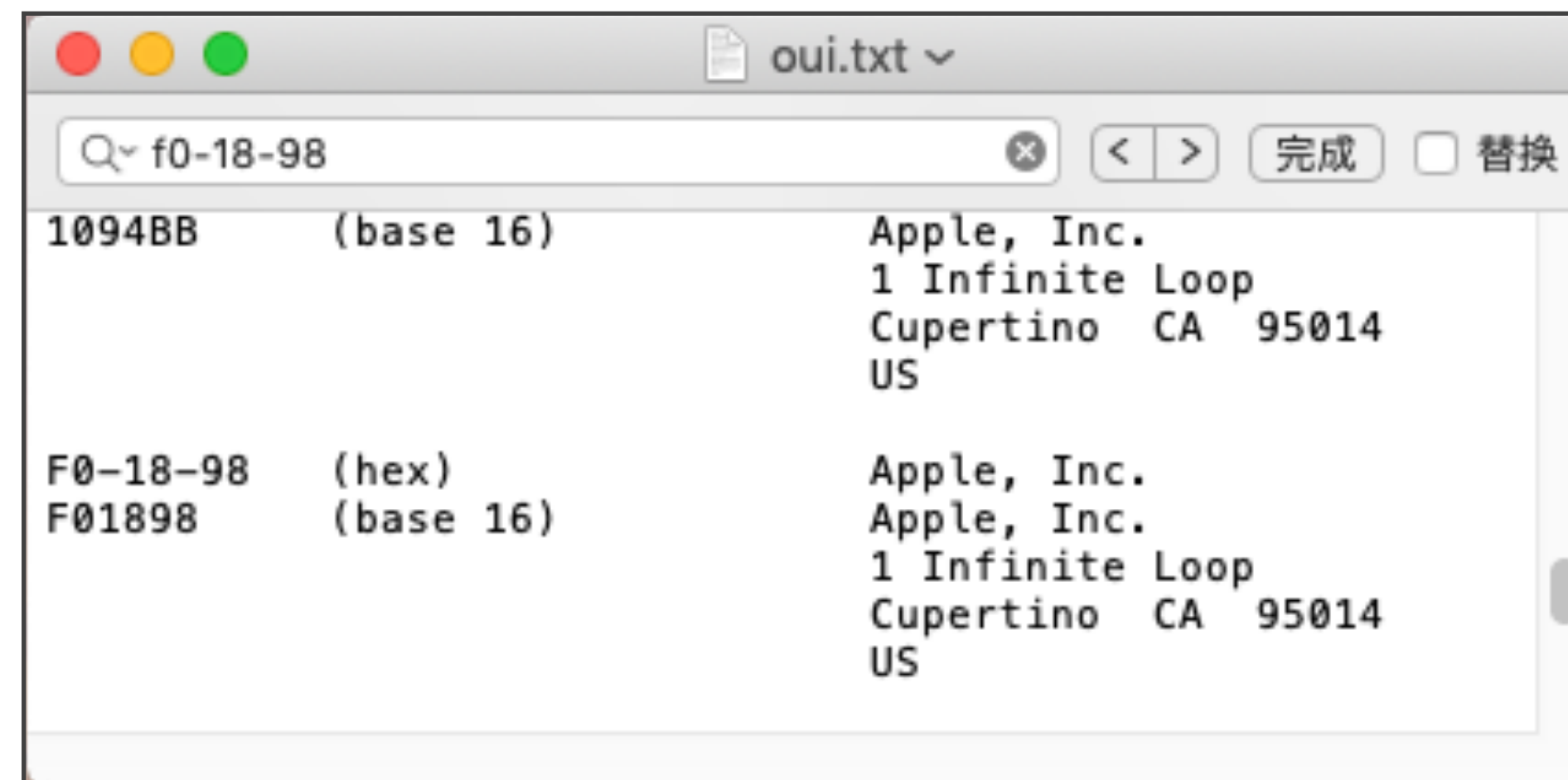
- 数据链路层
 - 以太网MAC地址
 - 硬件地址的构成
 - 查询生产厂商
 - MAC地址分类
 - 全球/本地管理
 - MAC帧的分类

- 一个地址块可以生成 2^{24} 个不同的地址。这种 48 位地址称为 MAC-48，它的通用名称是 EUI-48：6 字节的 MAC 地址已被固化在适配器的 ROM；
- 因此，MAC 地址也叫作硬件地址 (hardware address) 或物理地址；
- “MAC地址”实际上就是适配器地址或适配器标识符 EUI-48。

OUI (Organization Unique Identifier, 组织唯一识别符)

- 数据链路层
 - 以太网MAC地址
 - 硬件地址的构成
 - 查询生产厂商
 - MAC地址分类
 - 全球/本地管理
 - MAC帧的分类

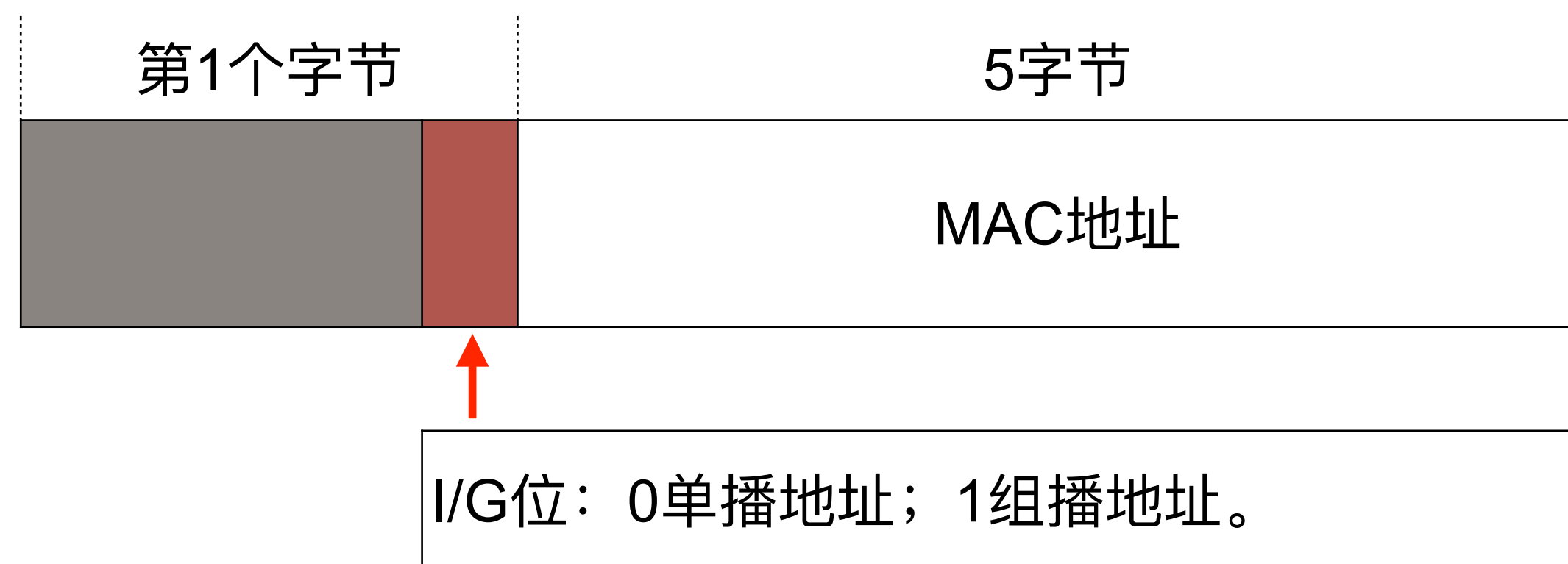
- 根据MAC地址的OUI查询生产厂商信息：
 - 获取MAC地址的OUI: f0:18:98:ee:37:42 (ifconfig/ipconfig) ;
 - 根据OUI到IEEE组织提供的OUI列表中查询;
 - <http://standards-oui.ieee.org/oui/oui.txt>。



MAC地址分类

- 数据链路层
 - 以太网MAC地址
 - 硬件地址的构成
 - 查询生产厂商
 - **MAC地址分类**
 - 全球/本地管理
 - MAC帧的分类

- **单播MAC地址**：是指第一个字节的最低位是0的MAC地址,代表了一块特定的网卡。
- **组播MAC地址**：是指第一个字节的最低位是1的MAC地址,代表了一组网卡。
- **广播MAC地址**：是指每一位都是1的MAC地址，广播MAC地址是组播MAC地址的一个特例，代表了所有网卡。
- **广播/组播地址只能作为目的地址使用。**

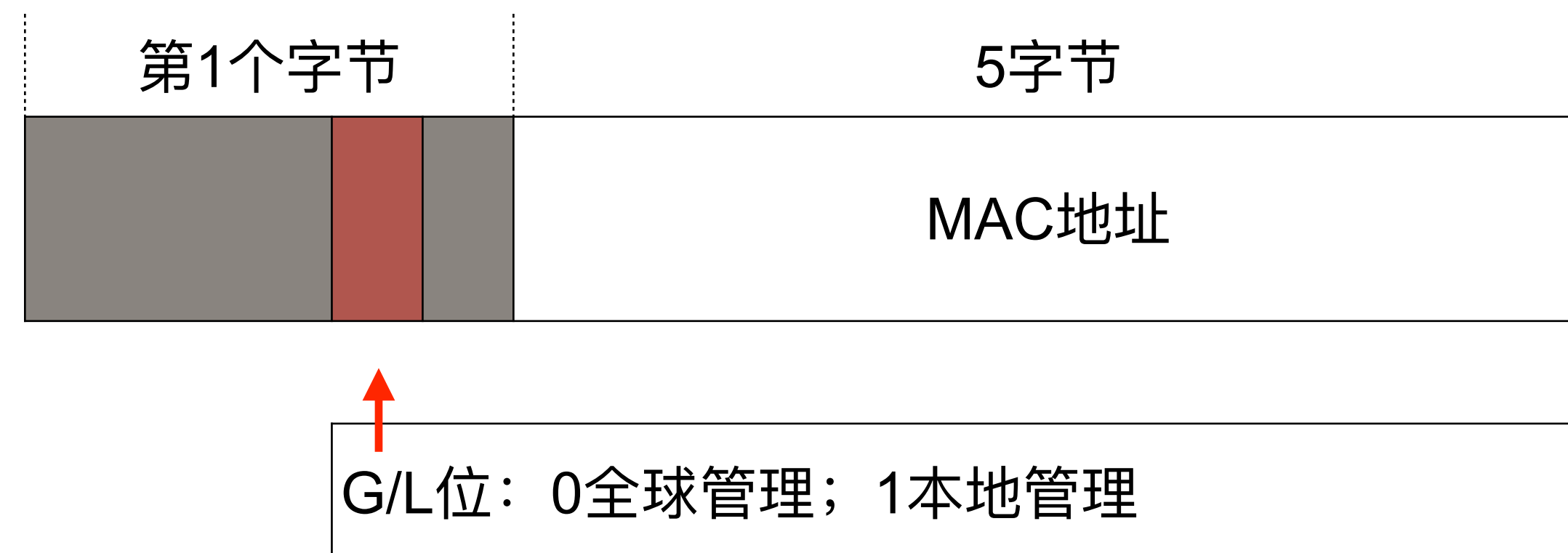


MAC地址可以**软件修改**后使用，但其固化的MAC址不能修改。
大仙，你说啥呢？

全球管理与本地管理

- 数据链路层
 - 以太网MAC地址
 - 硬件地址的构成
 - 查询生产厂商
 - MAC地址分类
 - 全球/本地管理
 - MAC帧的分类

- IEEE 把地址字段第一字节的最低第 2 位规定为 G/L 位：
 - 当 G/L位=0 时，是全球管理（保证在全球没有相同的地址），厂商向IEEE购买的 OUI 都属于全球管理；
 - 当 G/L位=1 时，是本地管理，用户可任意分配网络上的地址。



适配器检查 MAC 地址

- 数据链路层
 - 以太网MAC地址
 - 硬件地址的构成
 - 查询生产厂商
 - MAC地址分类
 - 全球/本地管理
 - **MAC帧的分类**

- 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）。

适配器检查 MAC 地址

- 所有的适配器都至少能够识别前两种帧，即能够识别单播地址和广播地址。
- 有的适配器可用编程方法识别多播地址。
- 只有目的地址才能使用广播地址和多播地址。
- 以混杂方式 (promiscuous mode) 工作的以太网适配器只要“听到”有帧在以太网上传输就都接收下来。

```
ens32  Link encap:Ethernet HWaddr 00:50:56:a6:00:17
        inet addr:202.193.96.153 Bcast:202.193.96.191 Mask:255.255.255.192
        UP BROADCAST RUNNING MULTICAST MTU:1500 Metric:1
        RX packets:26103282 errors:0 dropped:556 overruns:0 frame:0
        TX packets:4351490 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
        collisions:0 txqueuelen:1000
        RX bytes:2563974906 (2.5 GB) TX bytes:670680903 (670.6 MB)
```

```
ifconfig ens32 promisc
```

```
ens32  Link encap:Ethernet HWaddr 00:50:56:a6:00:17
        inet addr:202.193.96.153 Bcast:202.193.96.191 Mask:255.255.255.192
        UP BROADCAST RUNNING PROMISC MULTICAST MTU:1500 Metric:1
        RX packets:26103618 errors:0 dropped:556 overruns:0 frame:0
        TX packets:4351593 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
        collisions:0 txqueuelen:1000
        RX bytes:2563999385 (2.5 GB) TX bytes:670694100 (670.6 MB)
```

小结

- 数据链路层
 - 以太网MAC地址
 - 硬件地址的构成
 - 查询生产厂商
 - MAC地址分类
 - 全球/本地管理
 - MAC帧的分类

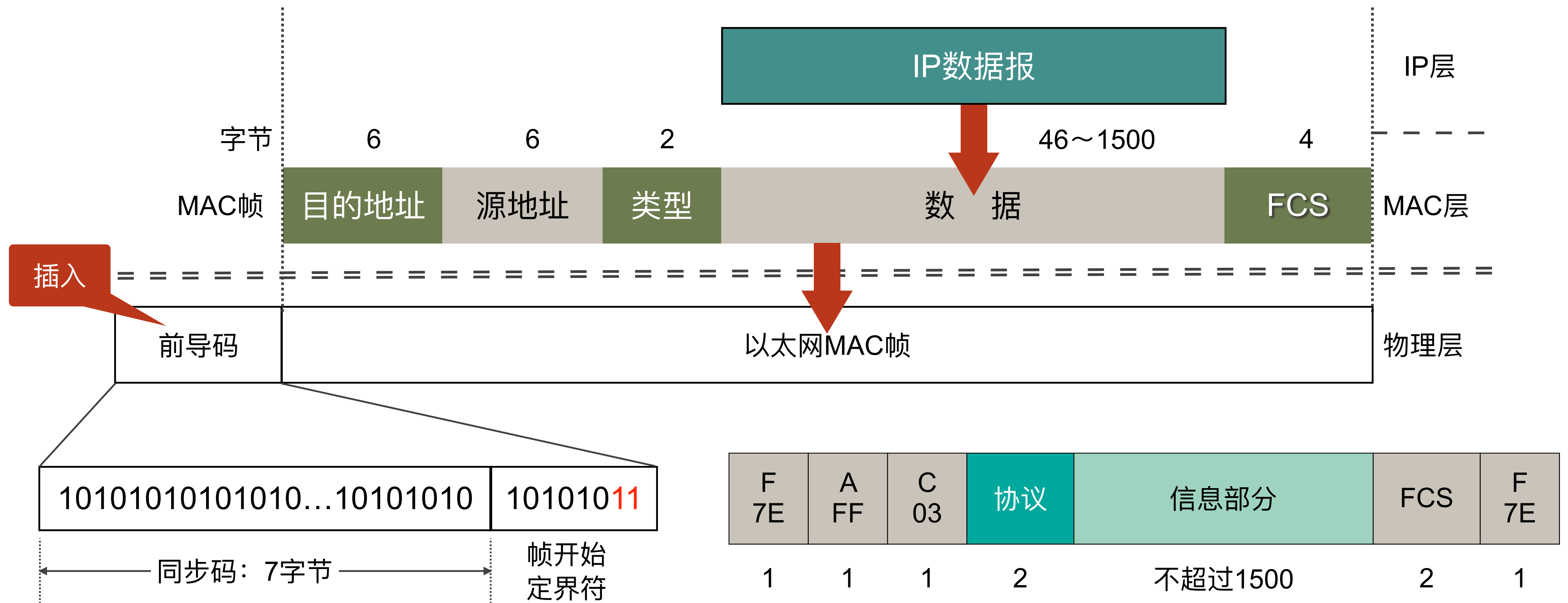
- **MAC地址：**
 - MAC地址的概念（物理地址）、OUI。
- **以太网MAC地址组成：**
 - 单播地址、组播地址、多播地址；
 - 全球管理地址、本地管理地址。
- **以太网卡的工作模式。**

MAC 帧的格式

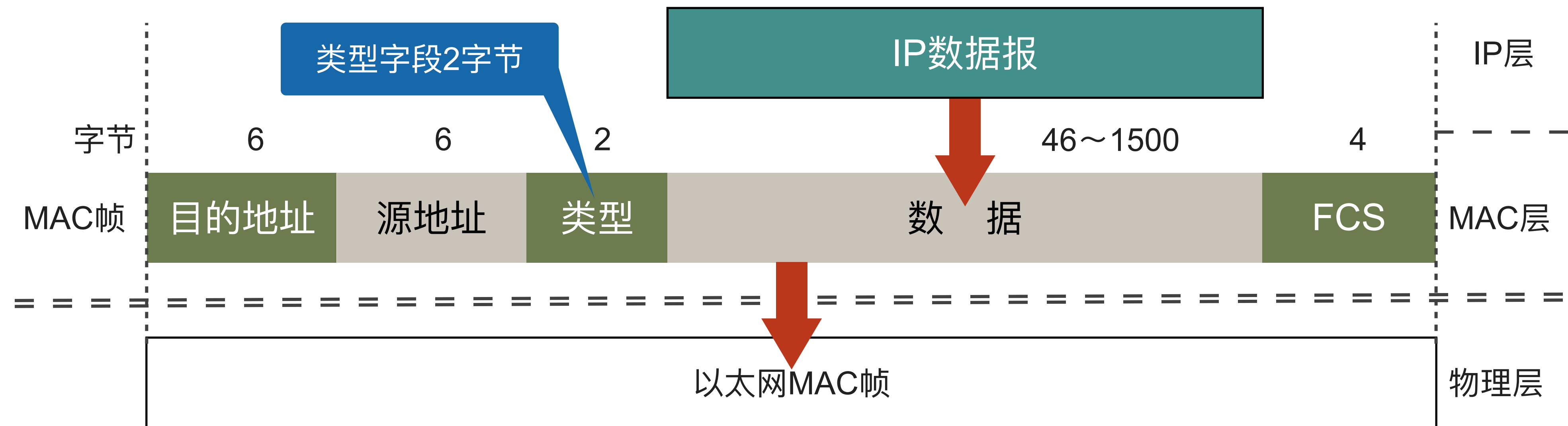
- 数据链路层
 - **MAC帧格式**
 - 常用协议类型
 - 无效的帧
 - 帧间间隔
 - 帧的发送与接收

- 常用的以太网 MAC 帧格式有**两种标准**：
 - DIX Ethernet V2 标准；
 - IEEE 的 802.3 标准。
- 最常用的 MAC 帧是以太网 V2 的格式。

以太网 V2 的 MAC 帧格式（语法、语义）



以太网 V2 的 MAC 帧格式（语法、语义）



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

常用协议类型值

- 数据链路层
 - MAC帧格式
 - 常用协议类型
 - 无效的帧
 - 帧间间隔
 - 帧的发送与接收

IPv4: 0x0800
ARP: 0x0806
PPPoE: 0x8864
802.1Q tag: 0x8100
IPV6: 0x86DD
MPLS Label: 0x8847

目的地址

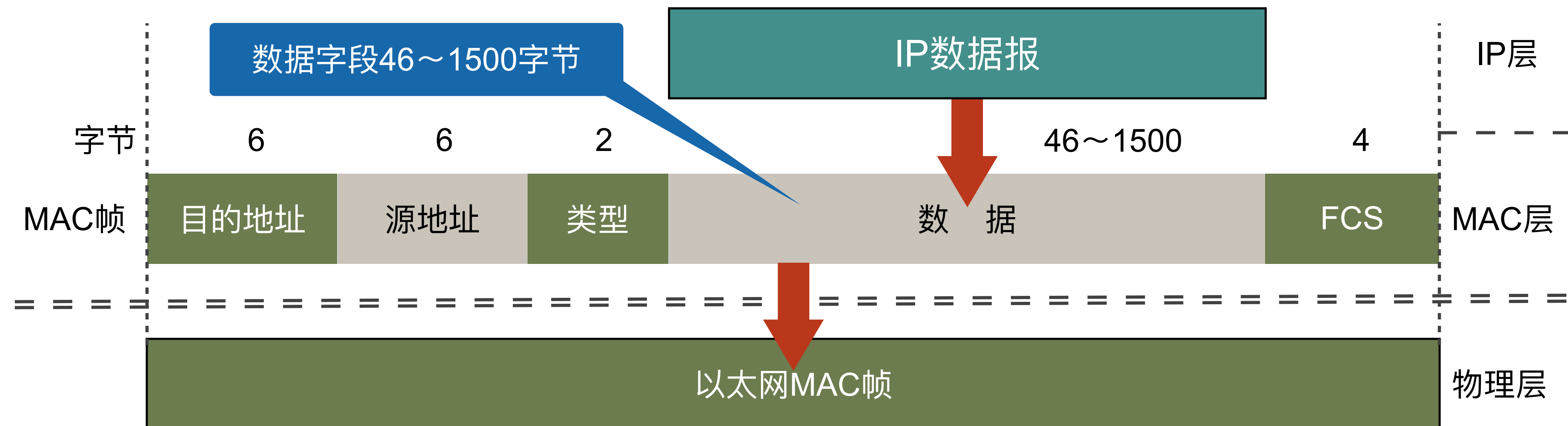
源地址

类型

数 据

FCS

以太网 V2 的 MAC 帧格式（语法、语义）

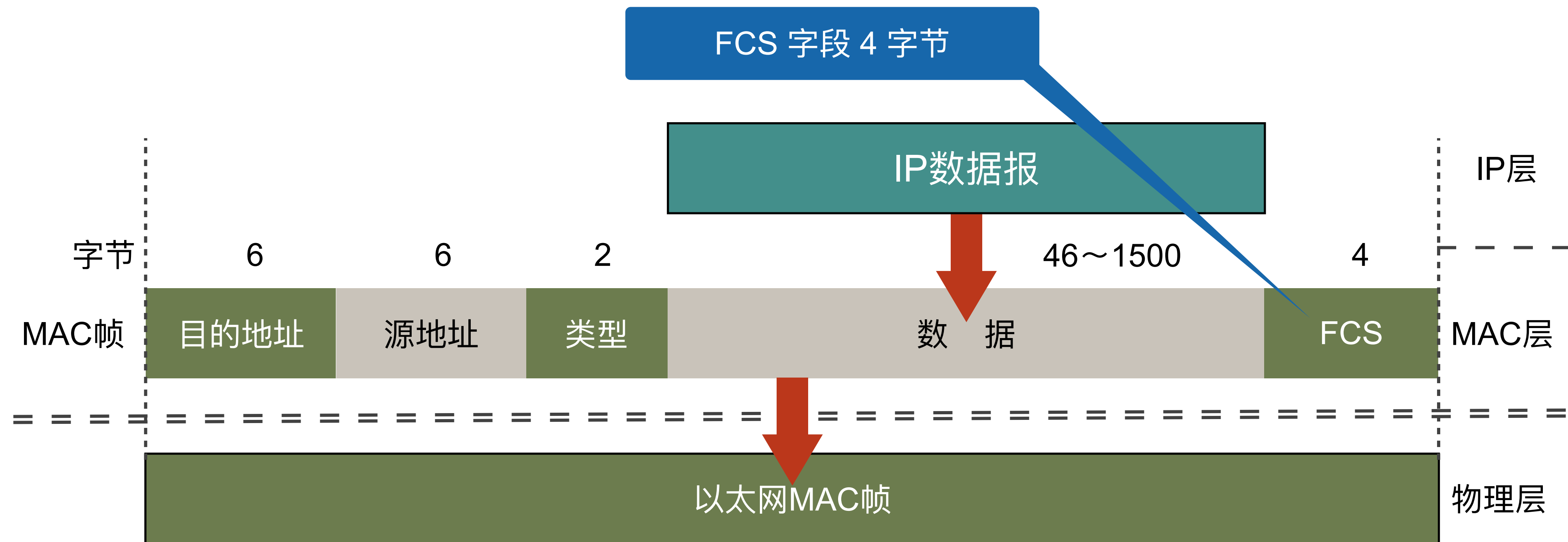


数据部分不足46字节或超过1500字节如何处理？

数据字段的正式名称：**MAC 客户数据字段**。

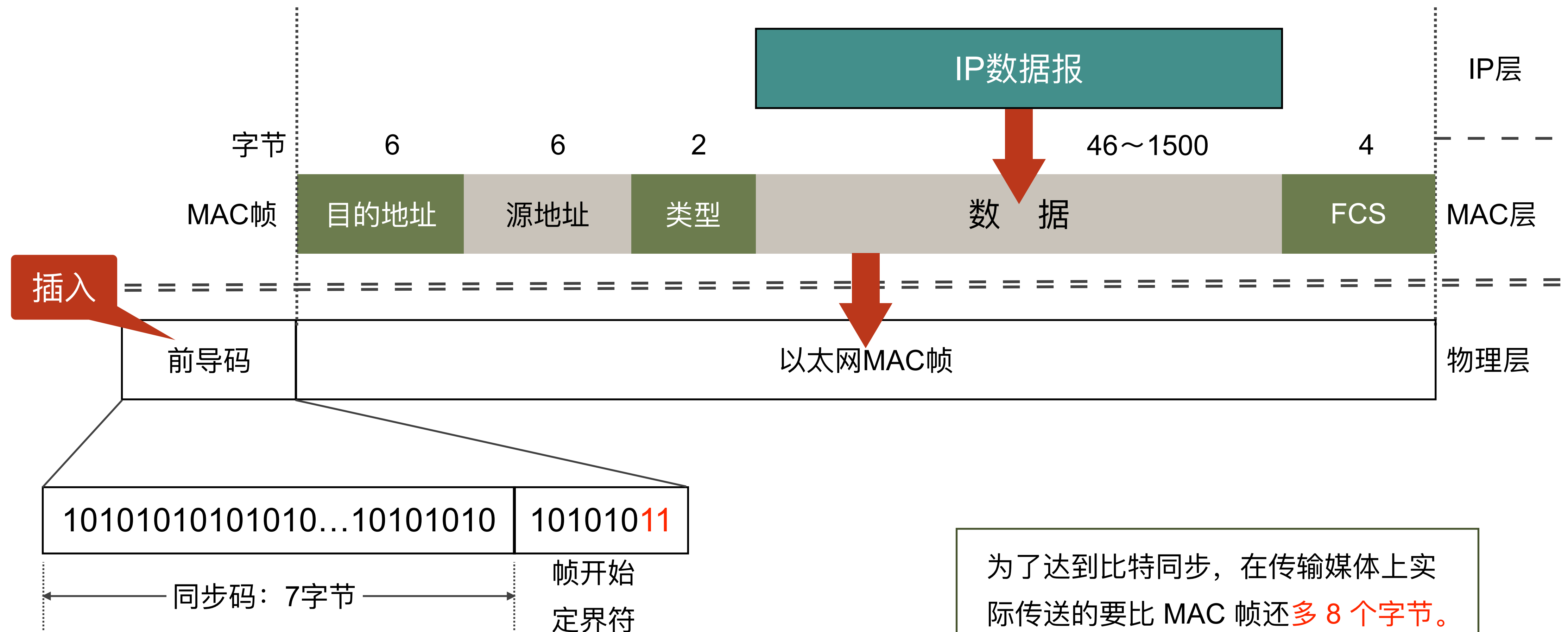
最小长度 64 字节 - 18 字节的首部和尾部 = 数据字段的最小长度（46字节）。

以太网 V2 的 MAC 帧格式（语法、语义）



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

以太网 V2 的 MAC 帧格式（语法、语义）



无效的 MAC 帧

- 数据链路层
 - MAC帧格式
 - 常用协议类型
 - 无效的帧
 - 帧间间隔
 - 帧的发送与接收

- 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。
- 可靠传输由高层负责。
- 可靠传输的三个要素是什么？

帧间最小间隔

- 数据链路层
 - MAC帧格式
 - 常用协议类型
 - 无效的帧
 - 帧间间隔
 - 帧的发送与接收

- 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。

为什么以太网MAC帧没有帧结束定界符？

分析抓取的以太网MAC帧

Ethernet II, Src: 7c:c3:a1:88:6f:32, Dst:00:0f:e2:e1:c9:06

Ethernet VII帧

Destination: 00:0f:e2:e1:c9:06

目的地址

Address: 00:0f:e2:e1:c9:06

源地址

.... ..0. = LG bit: Globally unique address

全球管理

.... ..0 = IG bit: Individual address

单播地址

Source: 7c:c3:a1:88:6f:32

Address: 7c:c3:a1:88:6f:32

.... ..0. = LG bit: Globally unique address

.... ..0 = IG bit: Individual address

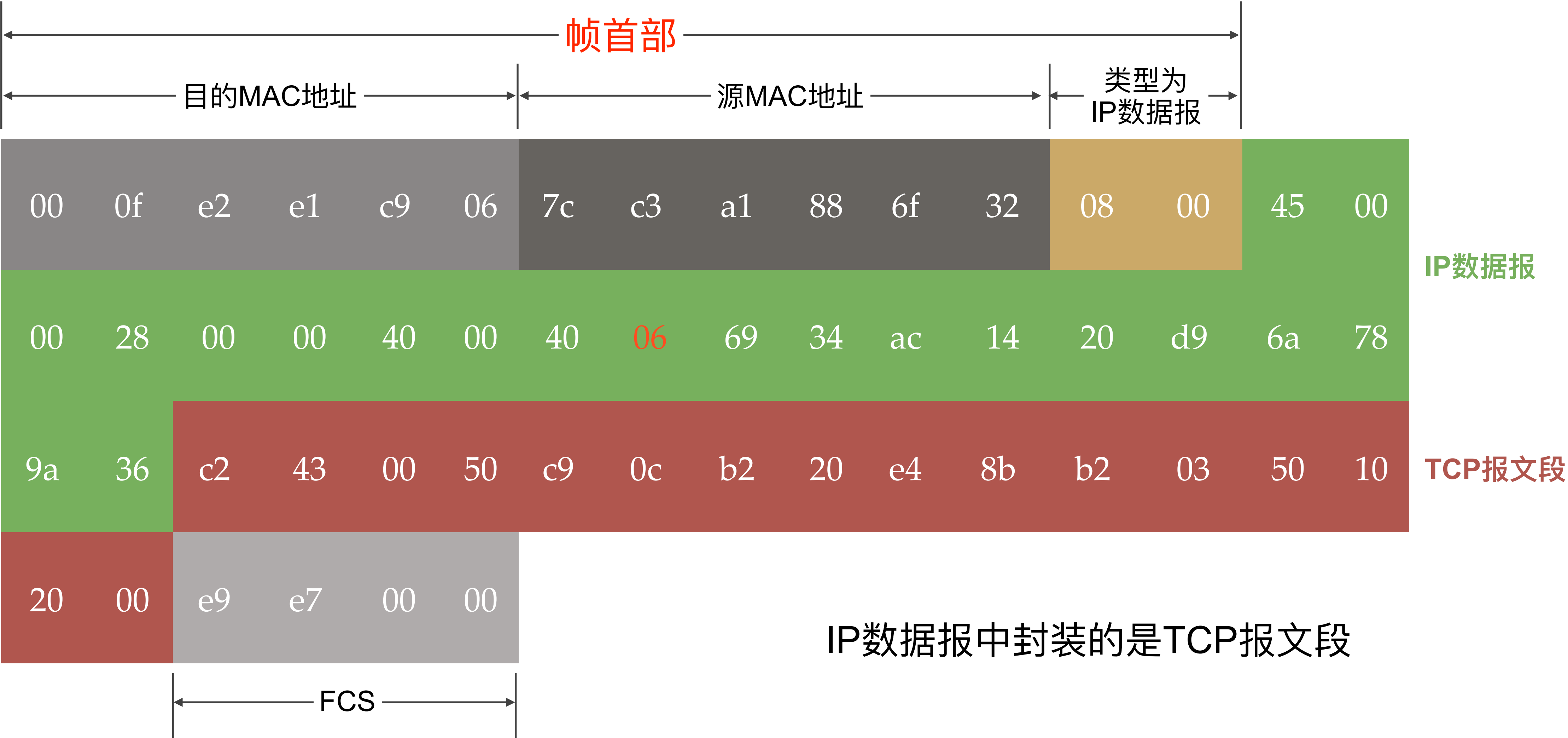
Type: IPv4 (0x0800)

类型，封装数据为IP数据报

Frame check sequence: 0xe9e70000 incorrect, should be 0x4224d39e #FCS, 帧检验序列

Internet Protocol Version 4, Src: 172.20.32.217, Dst: 106.120.154.54 #IP数据报

分析抓取的以太网MAC帧



帧的发送与接收

- 数据链路层
 - MAC帧格式
 - 常用协议类型
 - 无效的帧
 - 帧间间隔
 - 帧的发送与接收

- 发送方：
 - 接收上层数据；
 - 获取目的站MAC地址；
 - 封装成数据帧；
 - 发送数据帧；
 - 发送FCS。
- 接收方：
 - 判别帧是否到来；
 - 接收数据帧；
 - 帧检验；
 - 检验正确剥去帧头帧尾上交；
 - 检验不正确丢弃该帧。

小结

- 数据链路层
 - MAC帧格式
 - 常用协议类型
 - 无效的帧
 - 帧间间隔
 - 帧的发送与接收

- 以太网MAC帧格式：
 - 目的地址6字节；
 - 源地址6字节；
 - 类型2字节：指明数据部分采用的协议类型；
 - 数据。
- 无效帧的处理。
- 分析以太网MAC帧。

扩展以太网

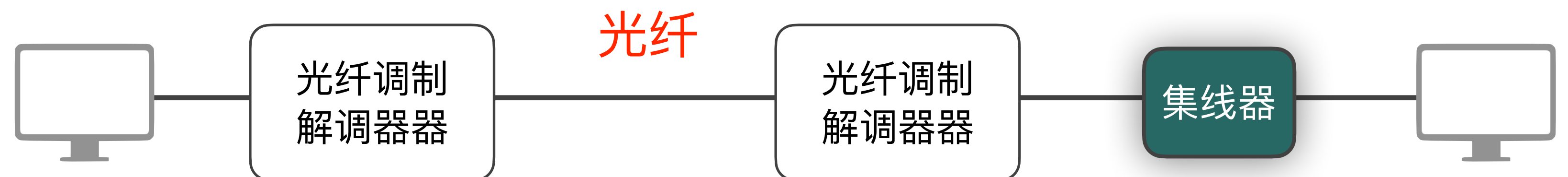
- 数据链路层
 - 扩展以太网
 - 物理层上扩展
 - 数据链路上扩展
 - 交换机的优点
 - 交换方式
 - 交换机学习功能

- 物理层上扩展以太网。
- 数据链路层上扩展以太网。
- 冲突域、广播域的概念。
- MAC地址学习。
- 网桥MAC帧转发过程。

在物理层扩展以太网

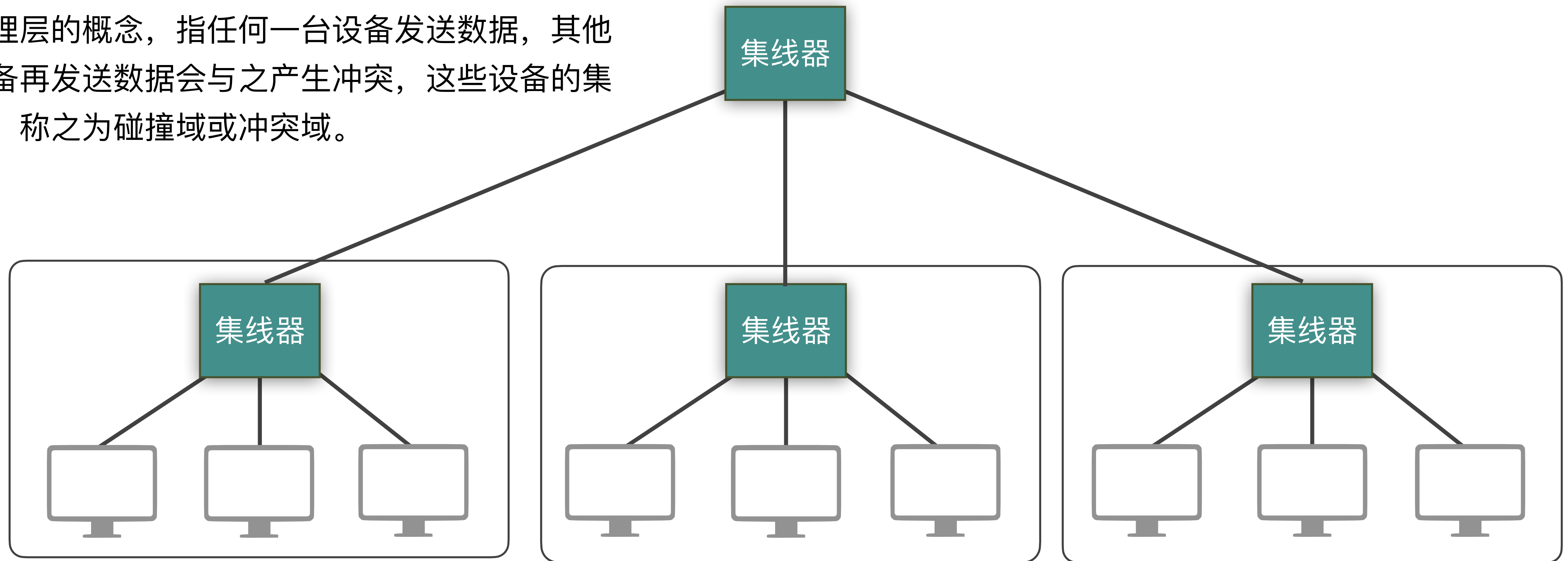
- 数据链路层
 - 扩展以太网
 - 物理层上扩展
 - 数据链路上扩展
 - 交换机的优点
 - 交换方式
 - 交换机学习功能

- 使用光纤扩展：
 - 主机使用光纤（通常是一对光纤）和一对光纤调制解调器连接到集线器；
 - 很容易使主机和几公里以外的集线器相连接。



使用集线器扩展

- **碰撞域：**
 - 物理层的概念，指任何一台设备发送数据，其他设备再发送数据会与之产生冲突，这些设备的集合，称之为碰撞域或冲突域。



三个独立的小的碰撞域变成一个**更大的碰撞域**

用集线器扩展以太网

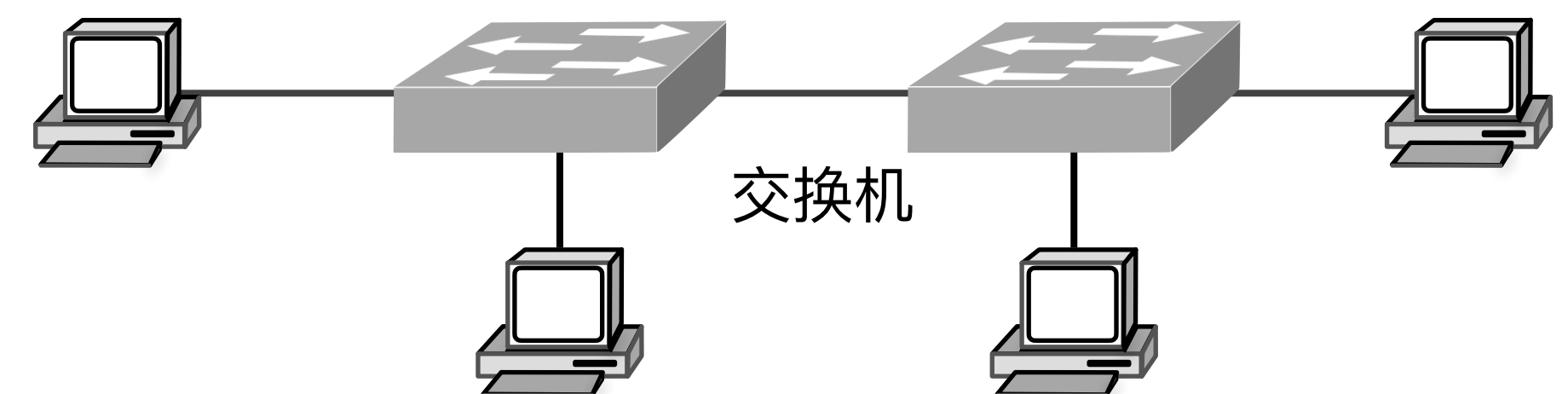
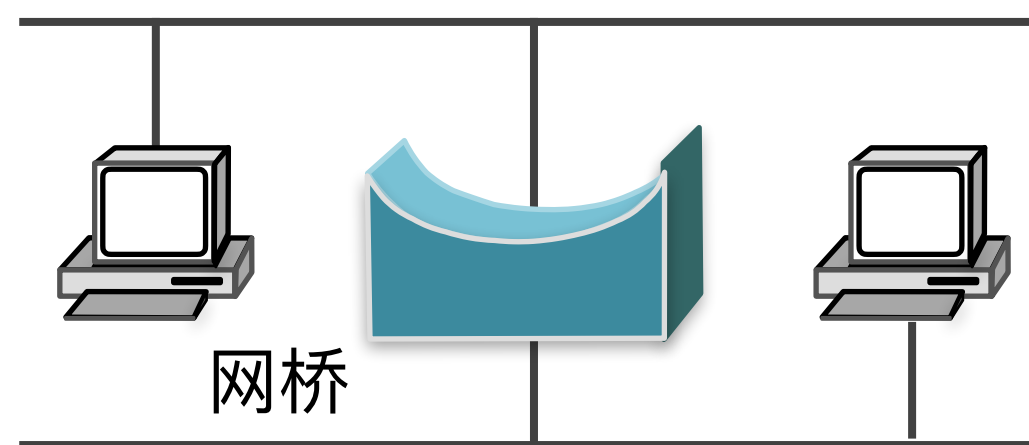
- 数据链路层
 - 扩展以太网
 - 物理层上扩展
 - 数据链路上扩展
 - 交换机的优点
 - 交换方式
 - 交换机学习功能

- 优点：
 - 使原来属于不同碰撞域的以太网上的计算机能够进行跨碰撞域的通信；
 - 扩大了以太网覆盖的地理范围。
- 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。

在数据链路层扩展以太网

- 数据链路层
 - 扩展以太网
 - 物理层上扩展
 - 数据链路上扩展
 - 交换机的优点
 - 交换方式
 - 交换机学习功能

- 扩展以太网更常用的方法是在数据链路层进行。
- 早期使用网桥，现在使用以太网交换机：
 - 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和过滤；
 - 网桥收到一个帧时，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，或把它丢弃；
 - 隔离碰撞域。



网桥与交换机

- 数据链路层
 - 扩展以太网
 - 物理层上扩展
 - 数据链路上扩展
 - 交换机的优点
 - 交换方式
 - 交换机学习功能

- 1990 年问世的交换式集线器 (switching hub) 可明显地提高以太网的性能。
- 交换式集线器常称为以太网交换机 (switch) 或第二层交换机 (L2 switch), 强调这种交换机工作在数据链路层。

以太网交换机的特点

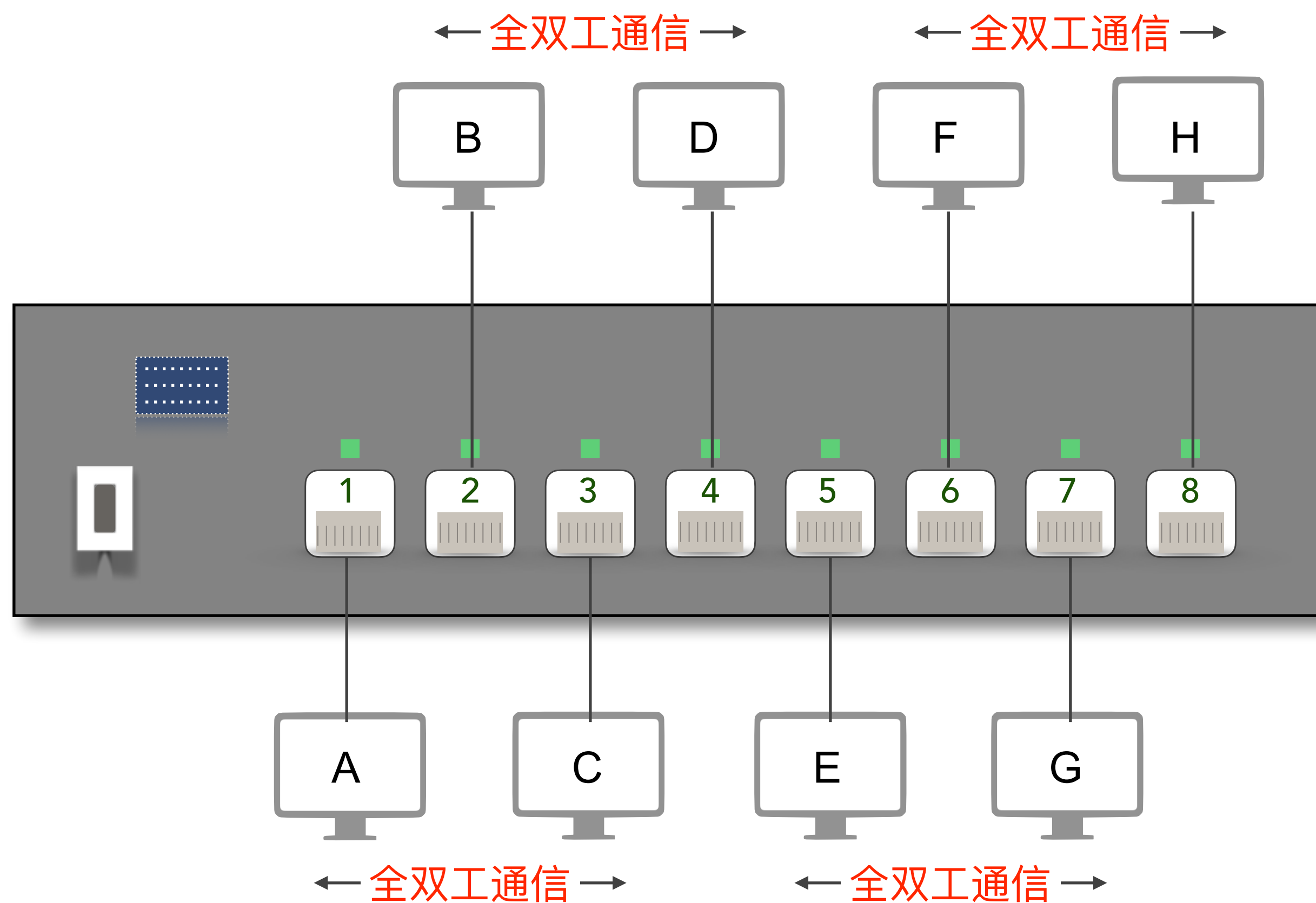
- 数据链路层
 - 扩展以太网
 - 物理层上扩展
 - 数据链路上扩展
 - 交换机的优点
 - 交换方式
 - 交换机学习功能

接口数量多	交换是一个多接口的网桥，具有十几个或更多的接口
全双工工作	接口与一台主机或另一个交换机相连，工作在全双工方式
具有并行性	能同时连通多对接口，使多对主机能同时通信
传输无冲突	相互通信的主机都是独占传输媒体，无碰撞地传输数据
接口存储器	接口有存储器，能在输出端口繁忙时把到来的帧进行缓存
能即插即用	即插即用设备，其内部的帧交换表是通过自学习算法自动地逐渐建立起来的
转发速率高	采用专用的交换结构芯片，硬件转发，转发速率比使用软件转发的网桥快很多

以太网交换机的优点

- 数据链路层
 - 扩展以太网
 - 物理层上扩展
 - 数据链路上扩展
 - 交换机的优点
 - 交换方式
 - 交换机学习功能
- 用户独享带宽，增加了总容量。
- 共享式以太网（ 10 Mbit/s ），若共有 N 个用户，每个用户的平均带宽只有总带宽的 $1/N$ 。
- 交换式以太网（ 10 Mbit/s ），虽然在每个接口到主机的带宽还是 10 Mbit/s ， N 个接口的交换机的总容量为 $2 \times N/2 \times 10\text{ Mbit/s}$ 。
- 共享总线以太网转到交换式以太网，所有接入设备无需任何改动：
 - 向下兼容。
- 支持有多种速率的接口。

交换机



- 具有 8 口的 10Mb/s 的交换机，可同时支持 4 对计算机全双工通信。
- 交换机总容量为 80Mb/s，该交换机的背板带宽应该 $\geq 80\text{Mb/s}$ 。

- 广播域的概念：
 - 是数据链路层的概念，任何一个站发送一个广播帧，所有能够收到这个广播帧的设备的集合；
 - 每个端口是一个独立的碰撞域。

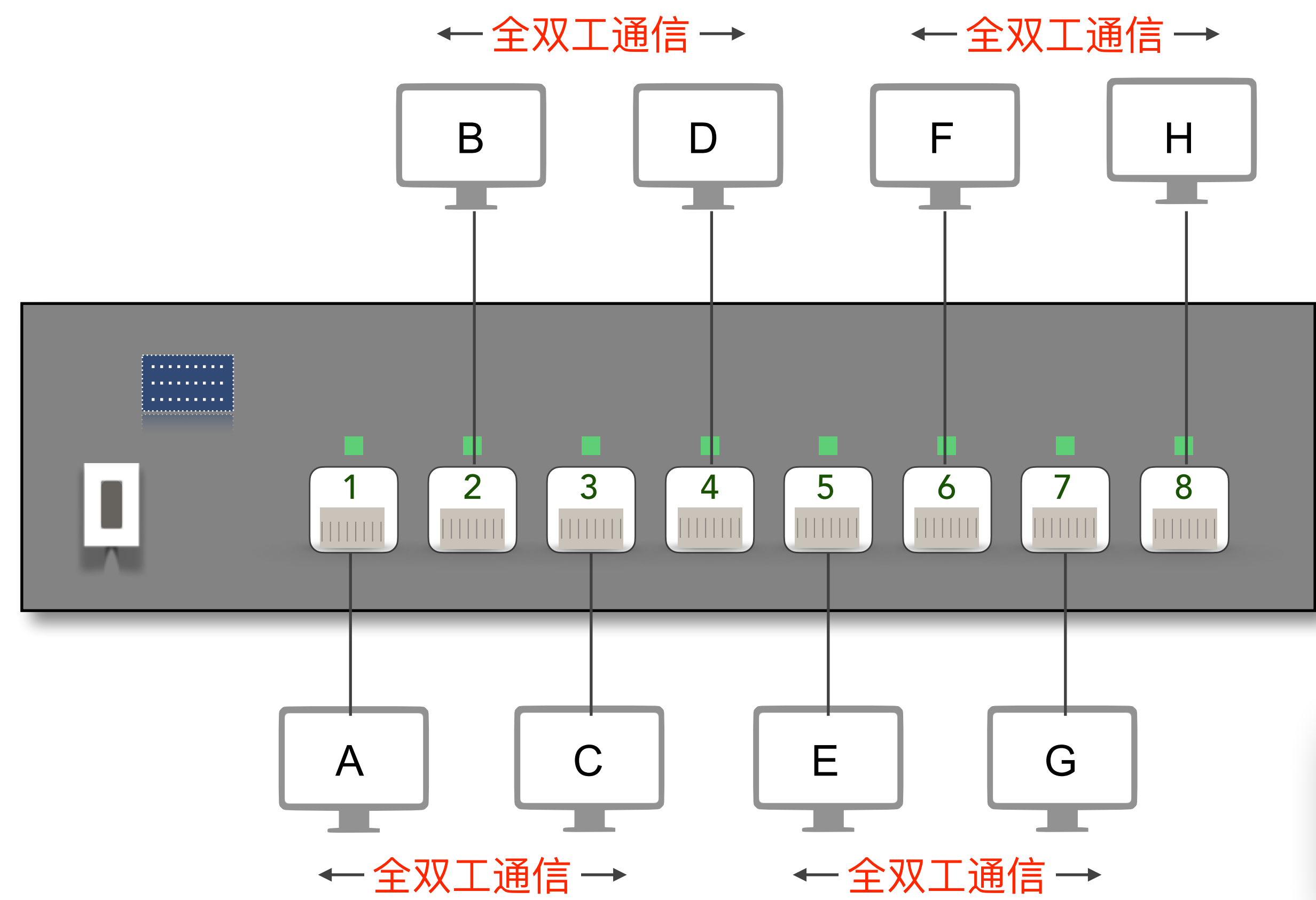
以太网交换机的交换方式

- 数据链路层
 - 扩展以太网
 - 物理层上扩展
 - 数据链路上扩展
 - 交换机的优点
 - 交换方式
 - 交换机学习功能

- 存储转发方式：
 - 数据帧先缓存，检验正确性，正确转发，错误丢弃。延迟大，可靠性高，支持不同速率的端口交换。
- 直通 (cut-through) 方式：
 - 检查数据帧的目的 MAC 地址之后立即转发，延迟小，可靠性低，不支持不同速率的端口交换；
 - 有可能转发一些无效的帧。

在某些情况下，仍需要采用基于软件的存储转发方式进行交换，例如，当需要进行线路速率匹配、协议转换或差错检测时。

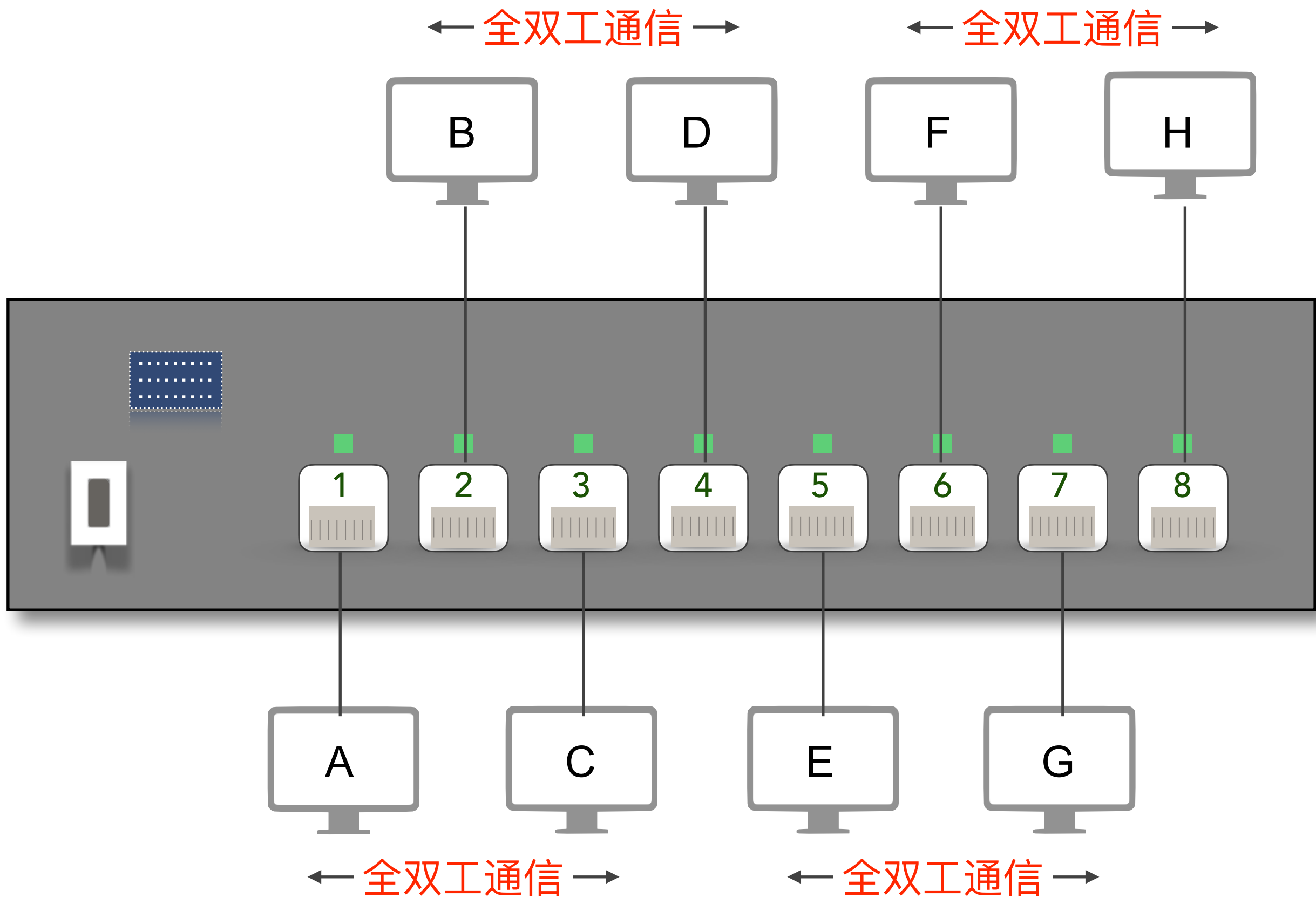
以太网交换机的自学习功能



MAC地址	接口	有效时间

以太网交换机运行自学习算法自动维护交换表
刚开始时，以太网交换机里面的交换表是空的。

交换机自学习和转发帧的步骤



MAC地址	接口	有效时间
MAC-A	1	
MAC-C	3	
...		

有效时间：解决接口更换，或主机更换网络适配器的

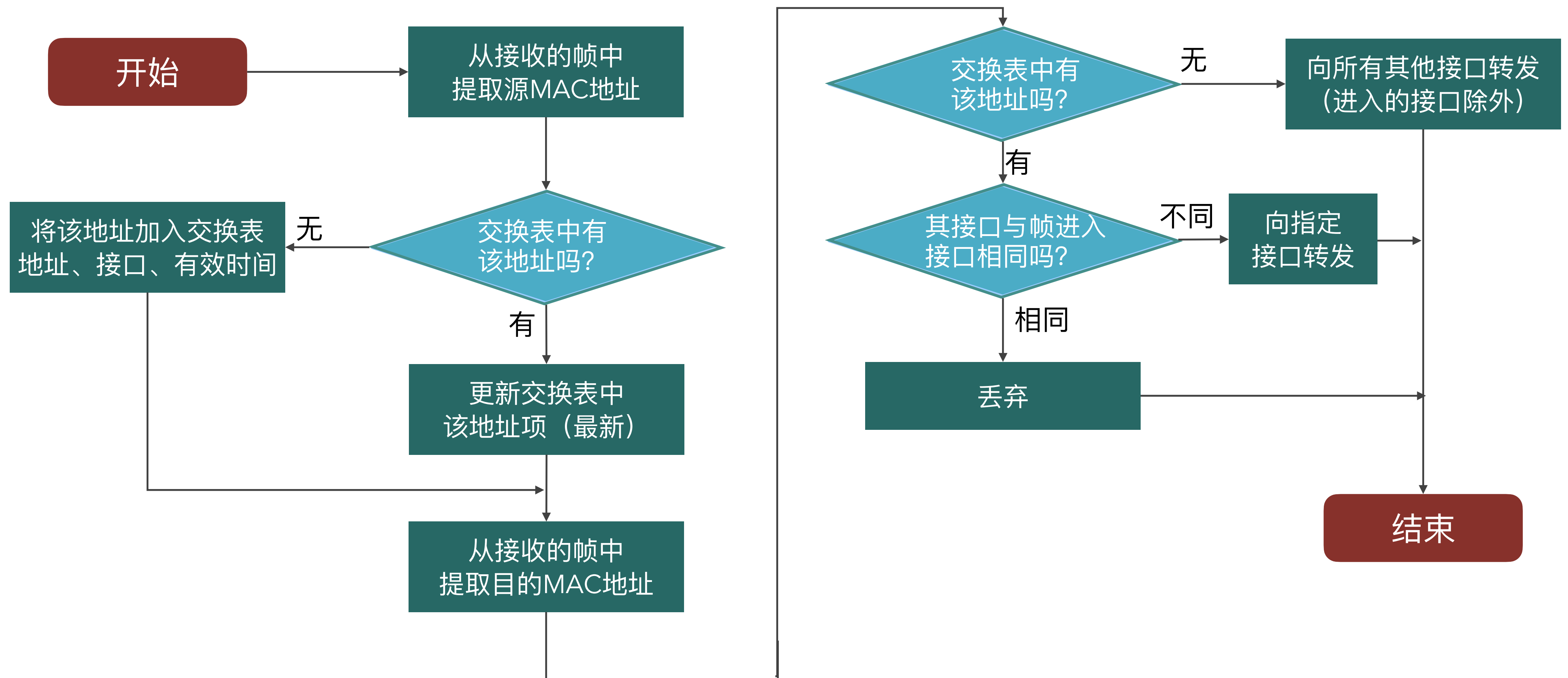
- 假设A发送数据帧给C，此时，交换机只能广播，并记下源站的MAC地址及连接的接口。
- C发送数据帧给A，交换机直接从接口 1 转发，并记下源站的MAC地址及连接的接口。

交换机自学习和转发帧的步骤

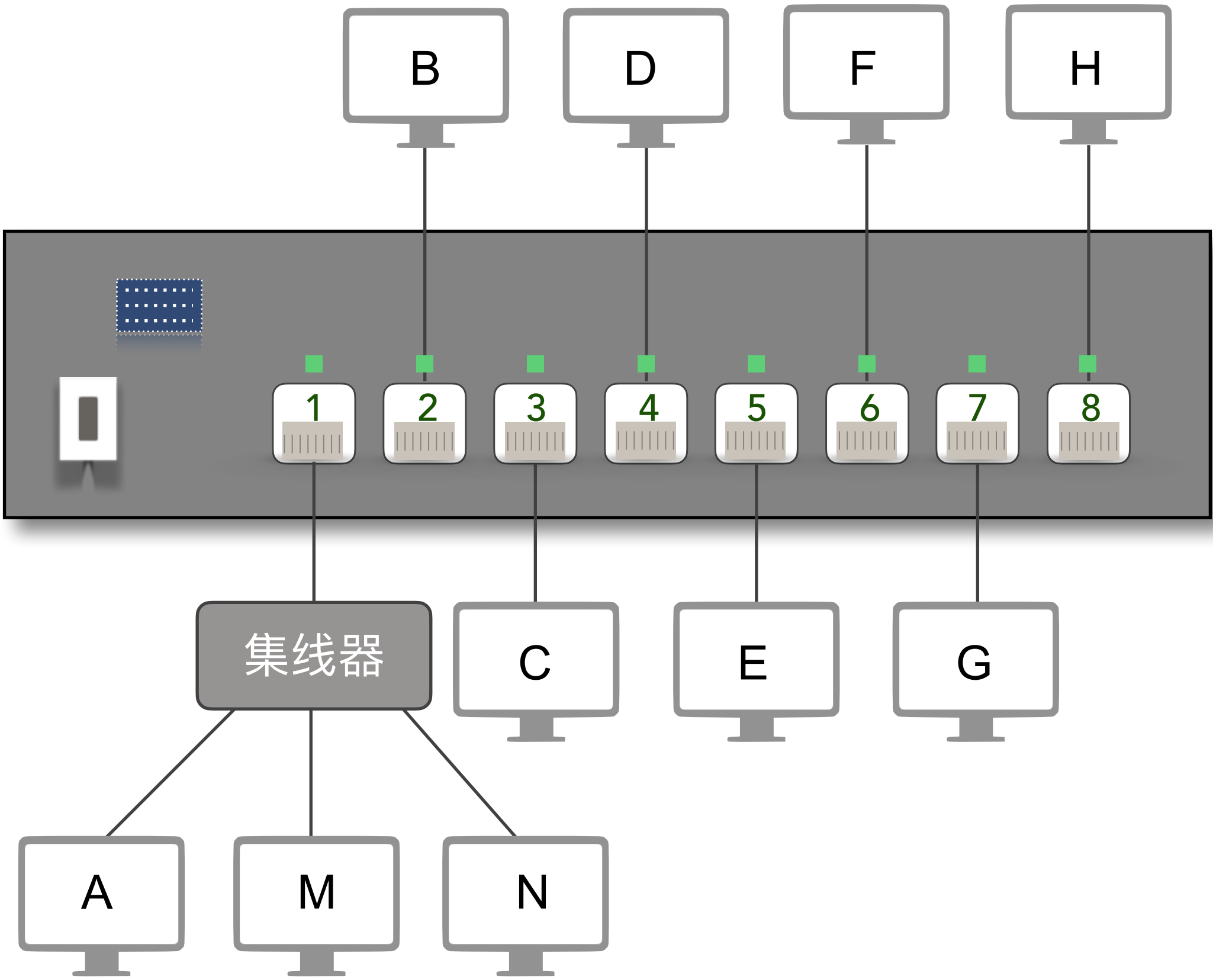
- 数据链路层
 - 扩展以太网
 - 物理层上扩展
 - 数据链路上扩展
 - 交换机的优点
 - 交换方式
 - 交换机学习功能

- 交换机收到一帧后**先进行自学习**。查找交换表中与收到帧的源地地址有无相匹配的项目：
 - **如没有**，就在交换表中增加一个项目（源地地址、进入的接口和有效时间）；
 - **如有**，则把原有的项目进行**更新并转发帧**，同时查找交换表中与收到帧的目的地址有无相匹配的项目：
 - **如没有**，则向**所有**其他接口（进入的接口除外）转发；
 - **如有**，则按交换表中给出的接口进行转发；
 - 若交换表中给出的接口就是该帧进入交换机的接口，则应丢弃这个帧（因为这时不需要经过交换机进行转发）。

交换机自学习和转发帧的步骤归纳



多个主机连接交换机同一接口



MAC地址	接口	有效时间
MAC-A	1	
MAC-C	3	
MAC-M	1	
MAC-N	1	
...		

- 问题：
 - 如果每个接口只能记住一个MAC地址，会产生什么问题？
 - 图中有多少个广播域？多少个冲突域？

小结

- 数据链路层
 - 扩展以太网
 - 物理层上扩展
 - 数据链路上扩展
 - 交换机的优点
 - 交换方式
 - 交换机学习功能

- 物理层上扩展以太网：
 - 同一个冲突域、同一个广播域；
 - 不支持不同速率的网络扩展。
- 数据链路层上扩展以太网：
 - 交换机每个接口是一个冲突域、同一个广播域；
 - 交换机自主学习MAC地址表；
 - 交换机转发MAC帧的过程。

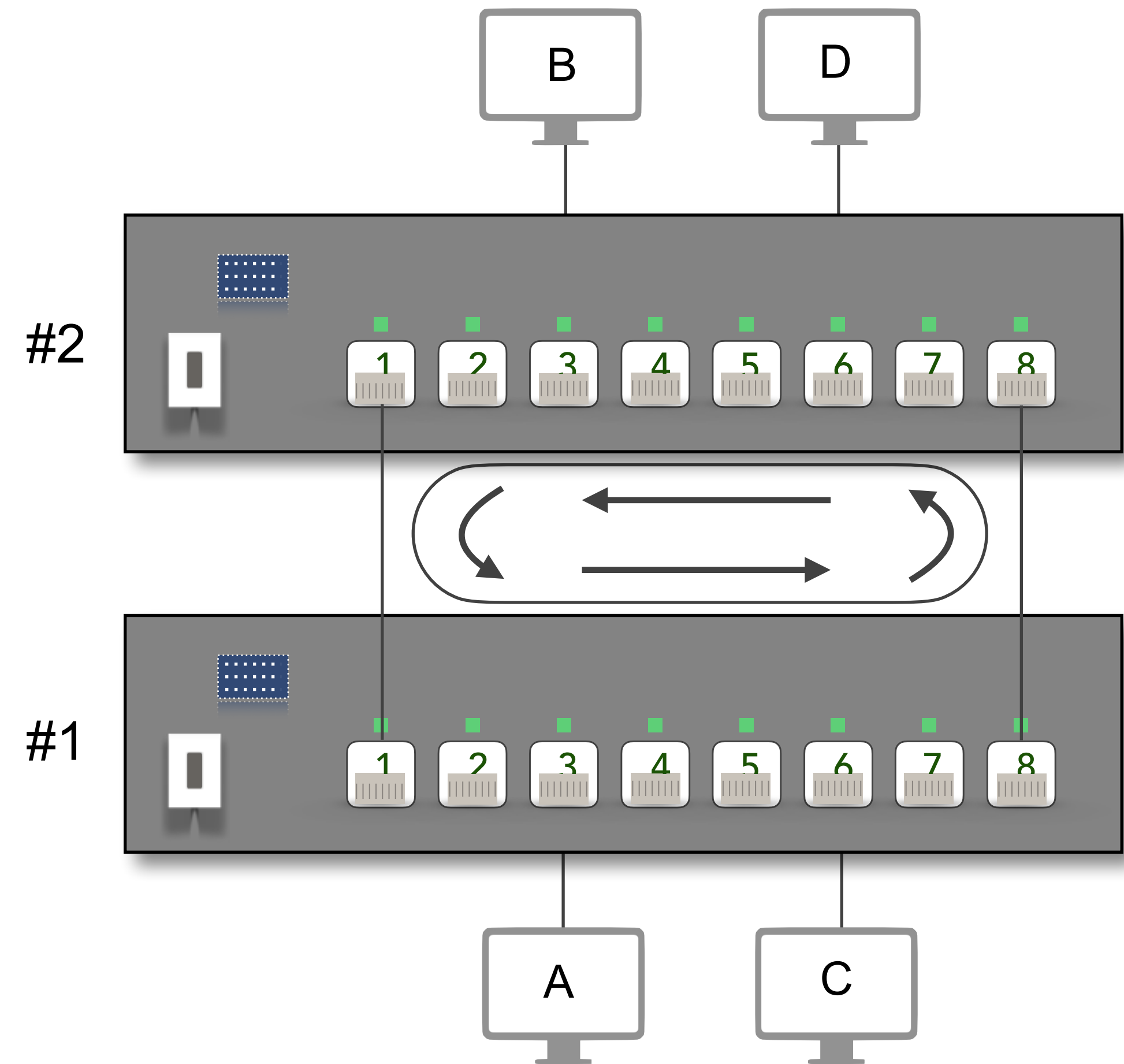
生成树协议和虚拟局域网

- 数据链路层
 - 生成树协议
 - 虚拟局域网
 - 802.1Q帧
 - VLAN的优点
 - 划分方法
 - VLAN实验结果

- 生成树协议。
- 虚拟局域网。
- VLAN实验。

生成树协议

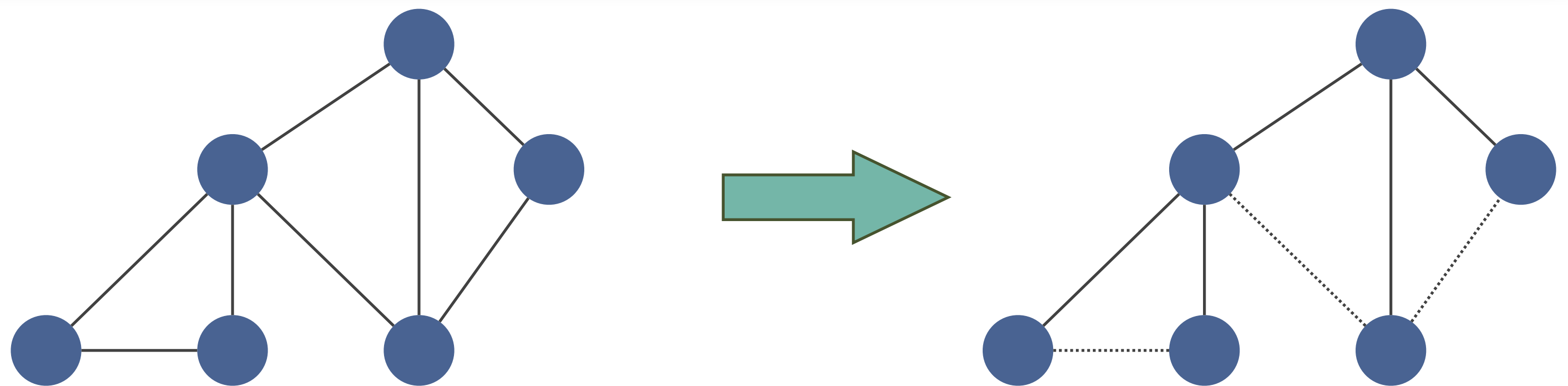
- **增加冗余链路时**（为什么增加？），自学习的过程就可能导致以太网帧在网络的某个环路中无限制地兜圈子：
- 如图，假定开始时，交换机 #1 和 #2 的交换表都是空的，主机 A 通过接口交换机 #1 向主机 B 发送一帧。



交换机使用了生成树协议

- 数据链路层
 - 生成树协议
 - 虚拟局域网
 - 802.1Q帧
 - VLAN的优点
 - 划分方法
 - VLAN实验结果

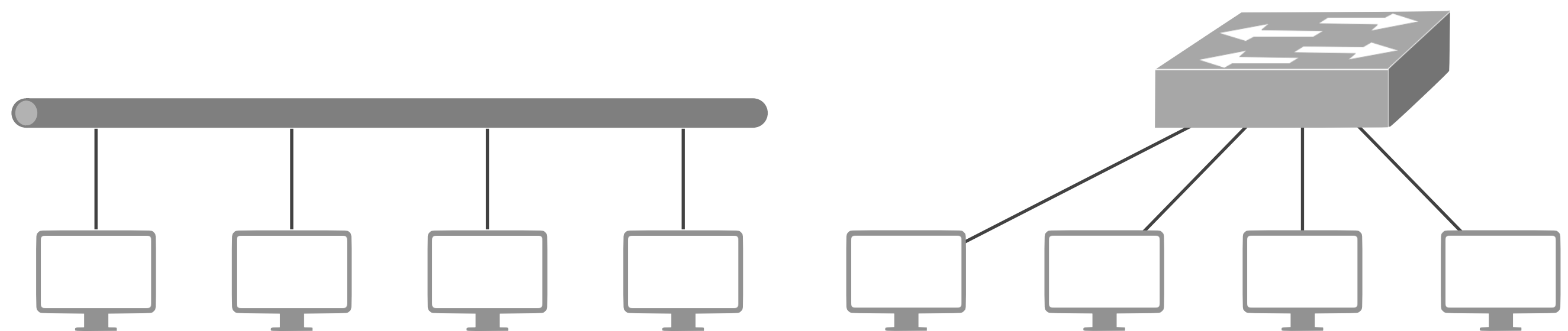
- IEEE 802.1D 标准制定了一个生成树协议 STP (Spanning Tree Protocol)。其要点是：
 - 不改变网络的实际拓扑，但在逻辑上则切断某些链路，使得从一台主机到所有其他主机的路径是无环路的树状结构，从而消除了兜圈子现象。



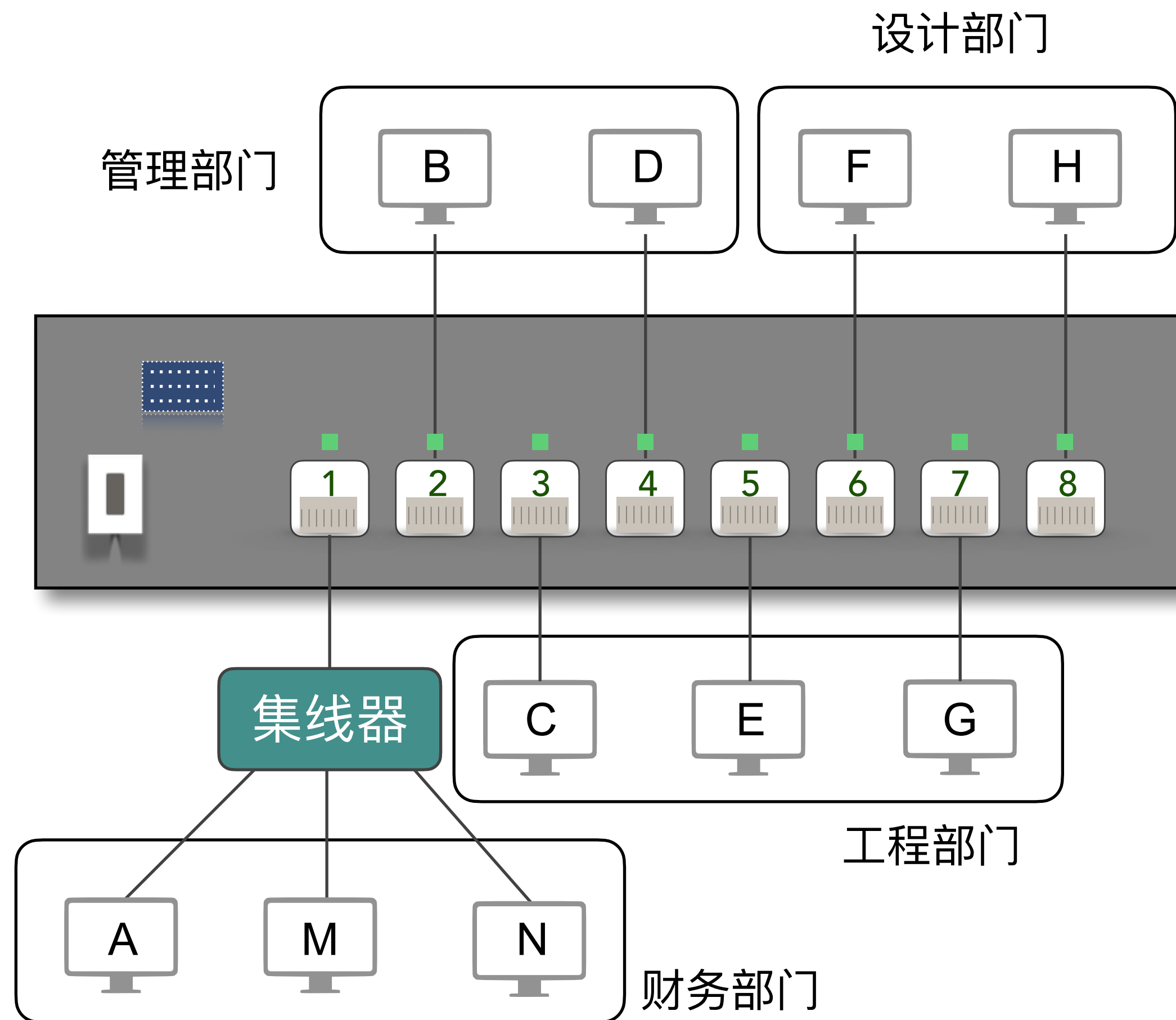
交换机使用了生成树协议

- 数据链路层
 - 生成树协议
 - 虚拟局域网
 - 802.1Q帧
 - VLAN的优点
 - 划分方法
 - VLAN实验结果

- 总线以太网使用 CSMA/CD 协议，以半双工方式工作。
- 以太网交换机不使用共享总线，没有碰撞问题，因此不使用 CSMA/CD 协议，而是以全双工方式工作。但仍然采用以太网的帧结构。



虚拟局域网



- 实际工作中，各部门功能单一，**部门内部可以相互访问**，部门间不能相互访问。
- 因此，**需要一种技术**，将各部门从单一的广播域隔离出来，以增加网络安全性：
- 虚拟局域网技术可以解决上述问题。

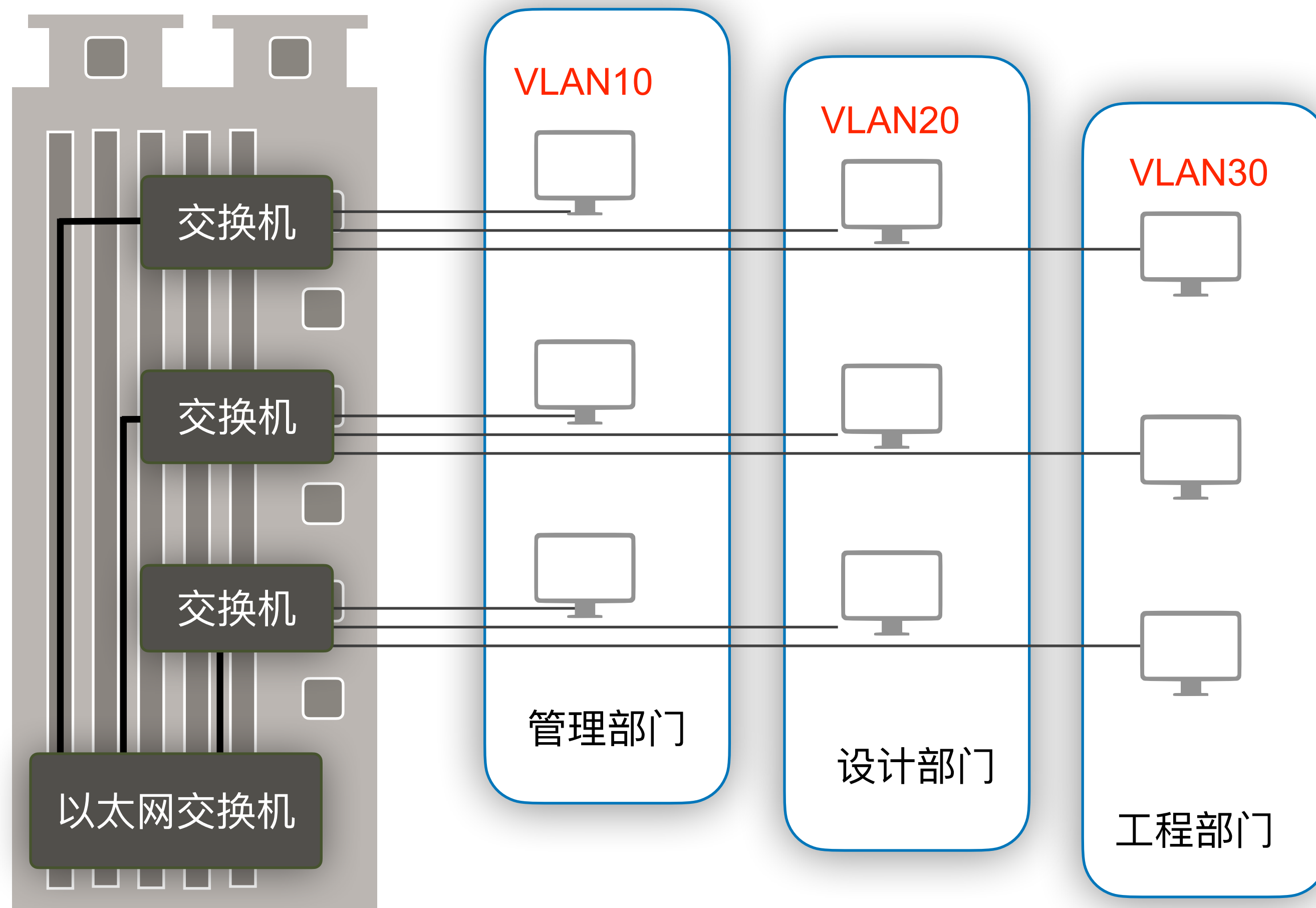
- 集线器：**
 - 所有计算机都处于同一个碰撞域（或冲突域）中和同一个广播域中。

虚拟局域网

- 数据链路层
 - 生成树协议
 - 虚拟局域网
 - 802.1Q帧
 - VLAN的优点
 - 划分方法
 - VLAN实验结果

- 虚拟局域网 VLAN (Virtual LAN) 是由一些局域网网段构成的与物理位置无关的逻辑组：
 - 这些组有共同需求；
 - 每一个 VLAN 的帧都有一个明确的标识符，指明发送这个帧的计算机是属于哪一个 VLAN；
 - 由以太网交换机实现；
 - 虚拟局域网其实只是局域网给用户提供的**一种服务**，而并不是一种新型局域网。

虚拟局域网



VLAN = 广播域 + 逻辑网段

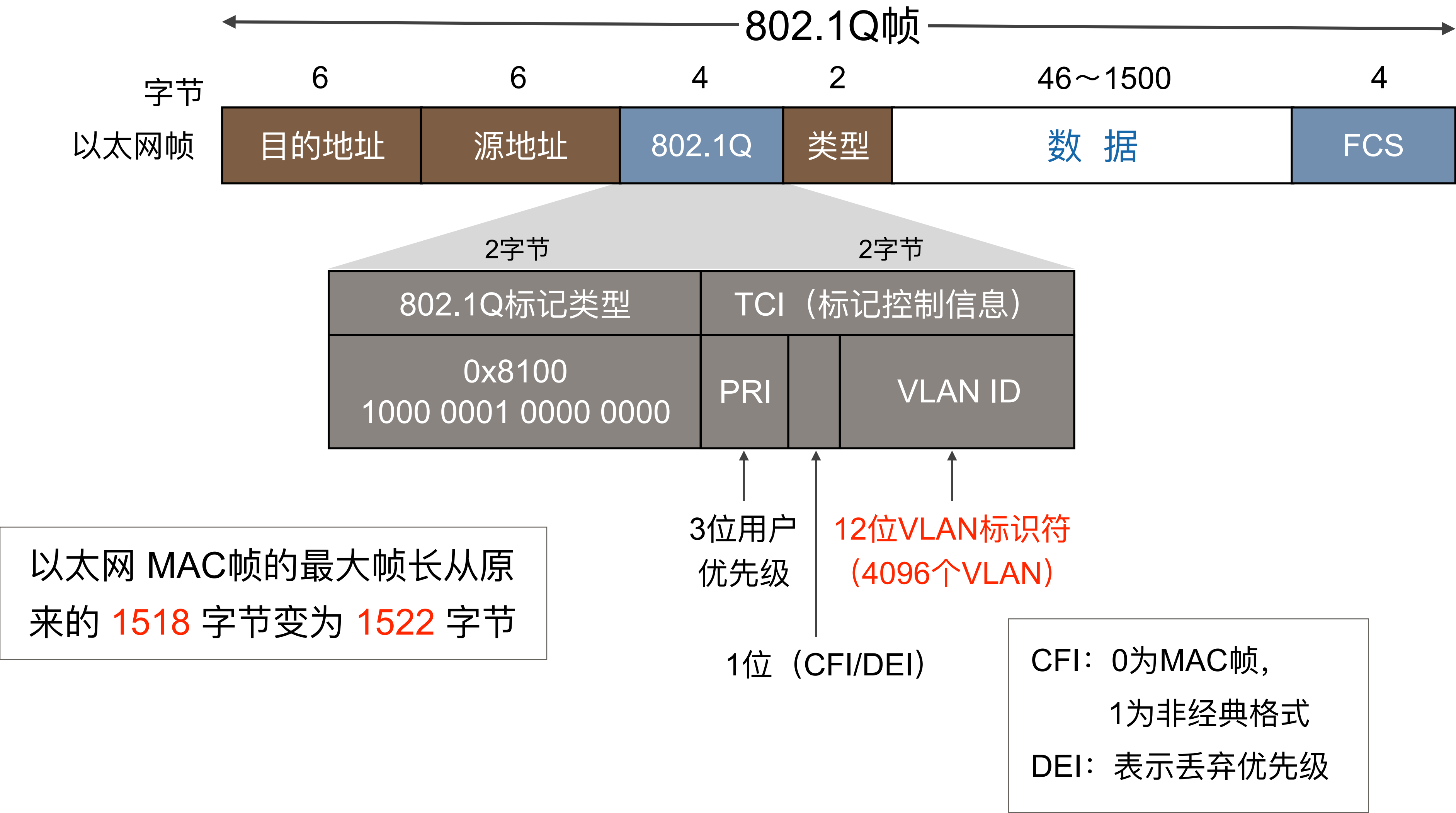
- 虚拟局域网**限制了接收广播信息的工作站数**，使得网络不会因传播过多的广播信息而引起性能恶化：
 - 基于交换机端口；
 - 基于网卡的MAC地址；
 - 基于协议类型；
 - 基于IP子网地址；
 - 基于高层应用或服务。

虚拟局域网使用的以太网帧格式

- 数据链路层
 - 生成树协议
 - 虚拟局域网
 - 802.1Q帧
 - VLAN的优点
 - 划分方法
 - VLAN实验结果

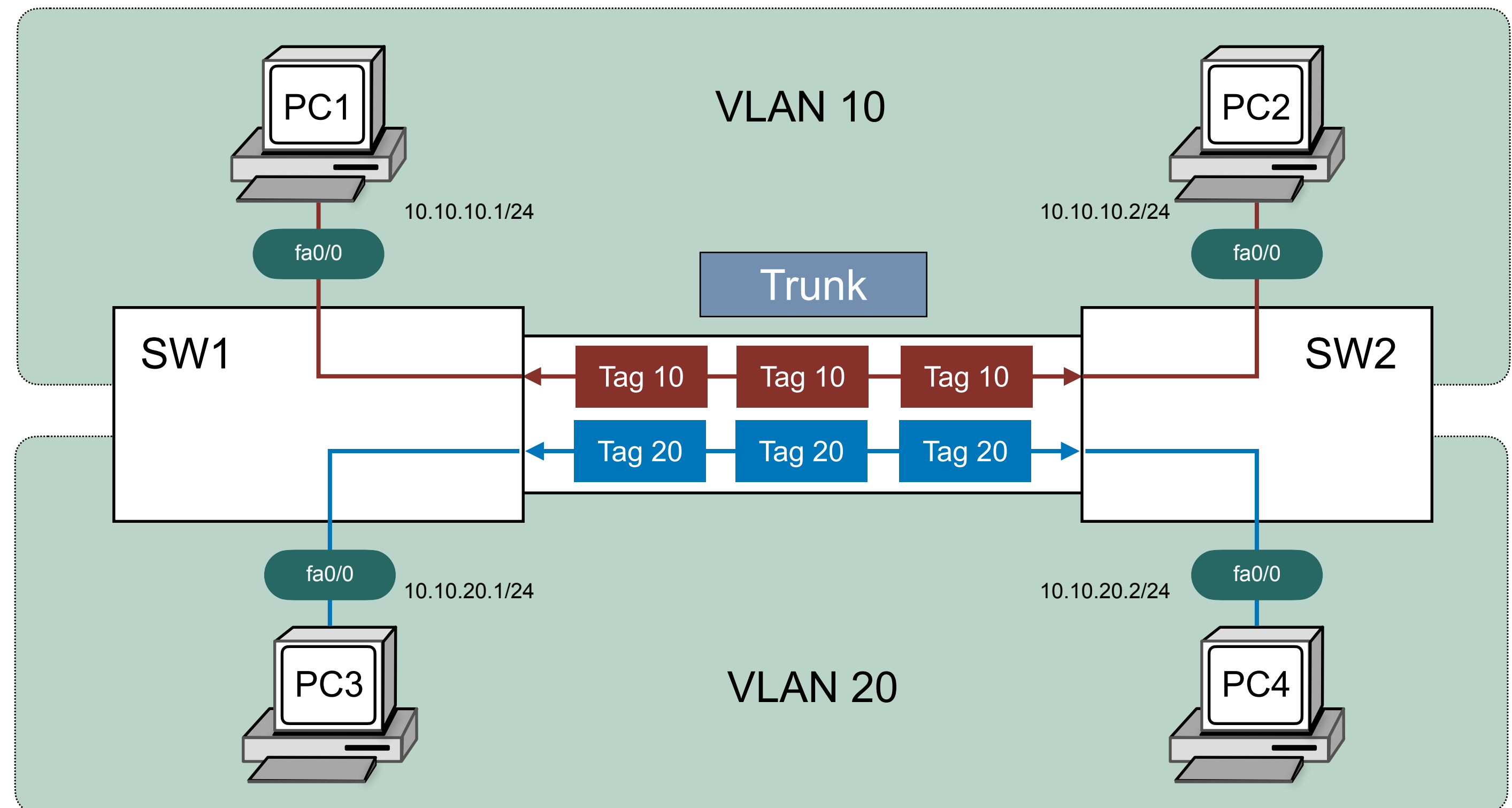
- IEEE 802.3ac 标准定义了以太网的帧格式的扩展，以支持虚拟局域网：
 - 该协议允许在以太网的帧格式中插入一个4字节的标识符，称为 VLAN 标记 (tag)，用来指明发送该帧的计算机属于哪一个虚拟局域网；
 - 插入 VLAN 标记得出的帧称为 802.1Q 帧 或 带标记的以太网帧。

虚拟局域网使用的以太网帧格式



虚拟局域网使用的以太网帧格式

- 数据链路层
 - 生成树协议
 - 虚拟局域网
 - 802.1Q帧
- VLAN的优点
- 划分方法
- VLAN实验结果



VLAN的优点

- 数据链路层
 - 生成树协议
 - 虚拟局域网
 - 802.1Q帧
 - VLAN的优点
 - 划分方法
 - VLAN实验结果
- 便于网络管理，具有相似需求的用户共享同一个VLAN：
 - 增强网络的安全性，敏感用户与普通用户隔离。
 - 减少了不必要的网络流量。
 - 限制了广播报文的洪泛，抑制广播风暴。
 - 减少网络拓扑变更成本。
 - 降低计算机CPU的开销

虚拟局域网划分方法

- 数据链路层
 - 生成树协议
 - 虚拟局域网
 - 802.1Q帧
 - VLAN的优点
 - 划分方法
 - VLAN实验结果

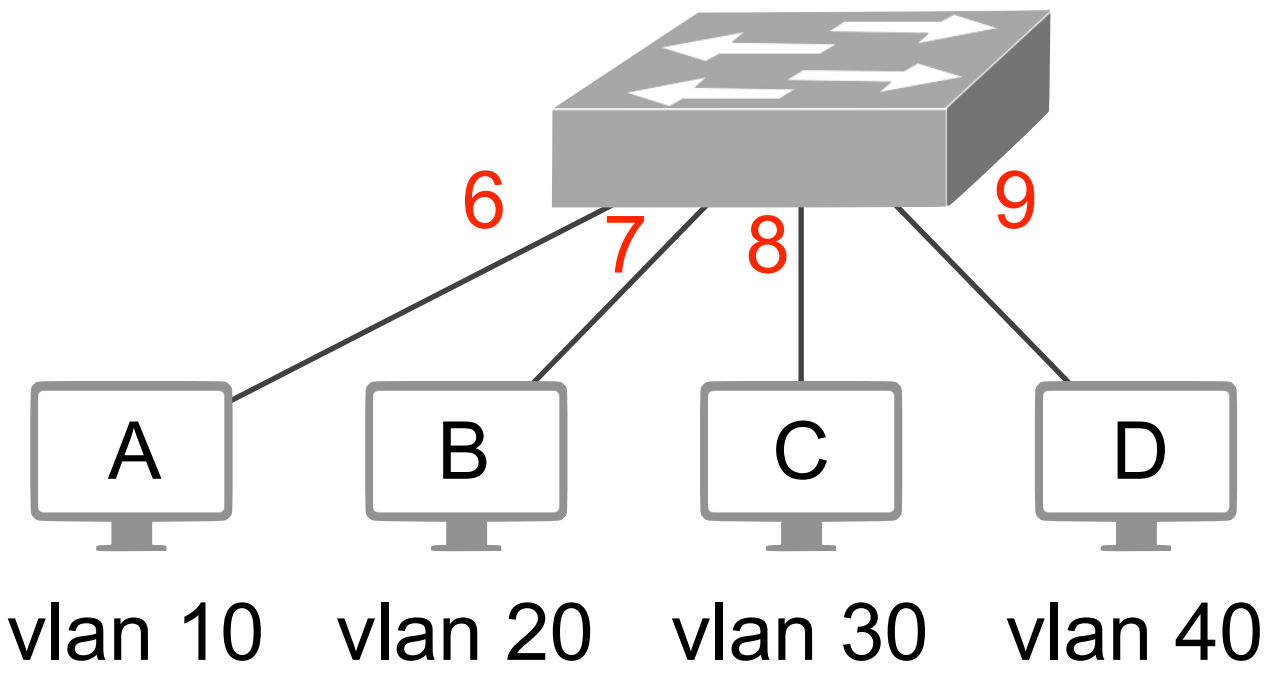
- 基于交换机端口。
- 基于计算机网卡的MAC地址。
- 基于协议类型。
- 基于IP子网地址。
- 基于高层应用或服务。

虚拟局域网划分方法

- 数据链路层
 - 生成树协议
 - 虚拟局域网
 - 802.1Q帧
 - VLAN的优点
 - 划分方法
 - VLAN实验结果

- 基于交换机端口：
 - 最简单、也是最常用的方法；
 - 属于在第一层划分虚拟局域网的方法。
 - 缺点：用户移动位置固定。

计算机	交换端口	VLAN
A	6	10
B	7	20
C	8	30
D	9	40

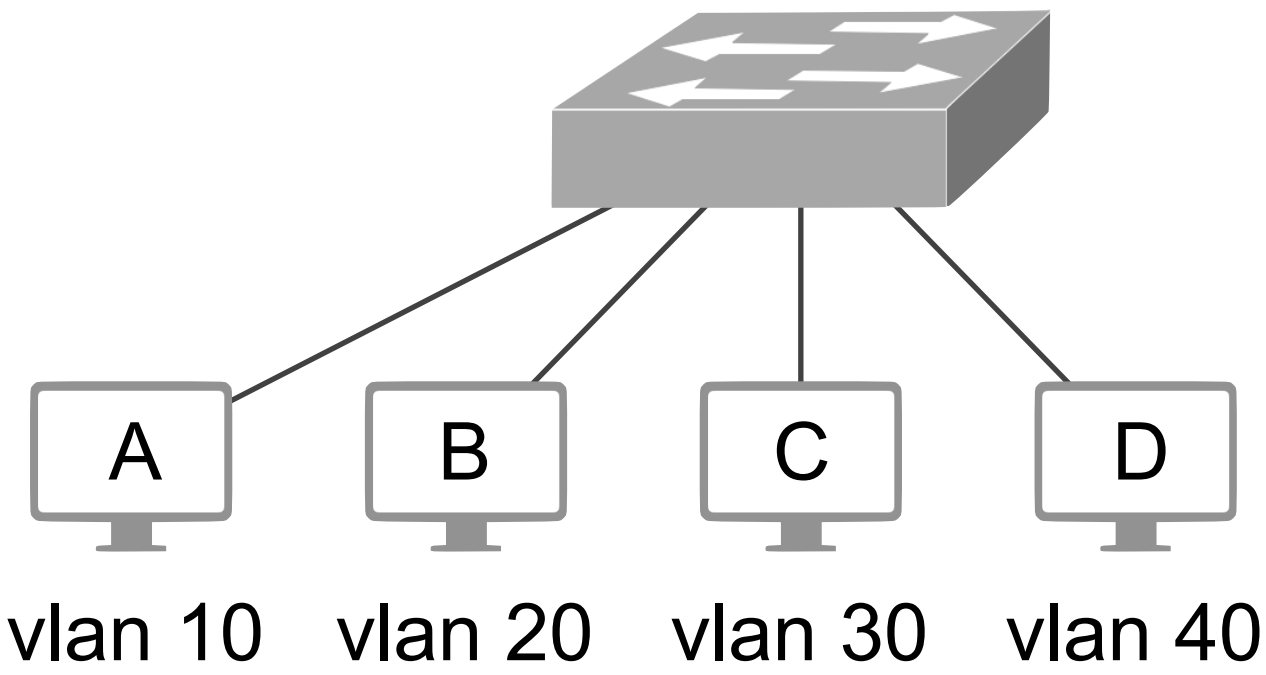


虚拟局域网划分方法

- 数据链路层
 - 生成树协议
 - 虚拟局域网
 - 802.1Q帧
 - VLAN的优点
 - 划分方法
 - VLAN实验结果

- 基于用户计算机的MAC地址划分：
 - 属于在第二层划分虚拟局域网的方法；
 - 用户位置可以改变。
 - **缺点：**需要输入和管理大量的MAC地址。如果用户的MAC地址改变了，则需要管理员重新配置VLAN。

计算机	MAC 地址	VLAN
A	A0-25-05-EC-08-25	10
B	00-F0-E5-11-23-DE	20
C	E1-A6-37-DA-FF-00	30
D	01-07-B2-00-11-01	40

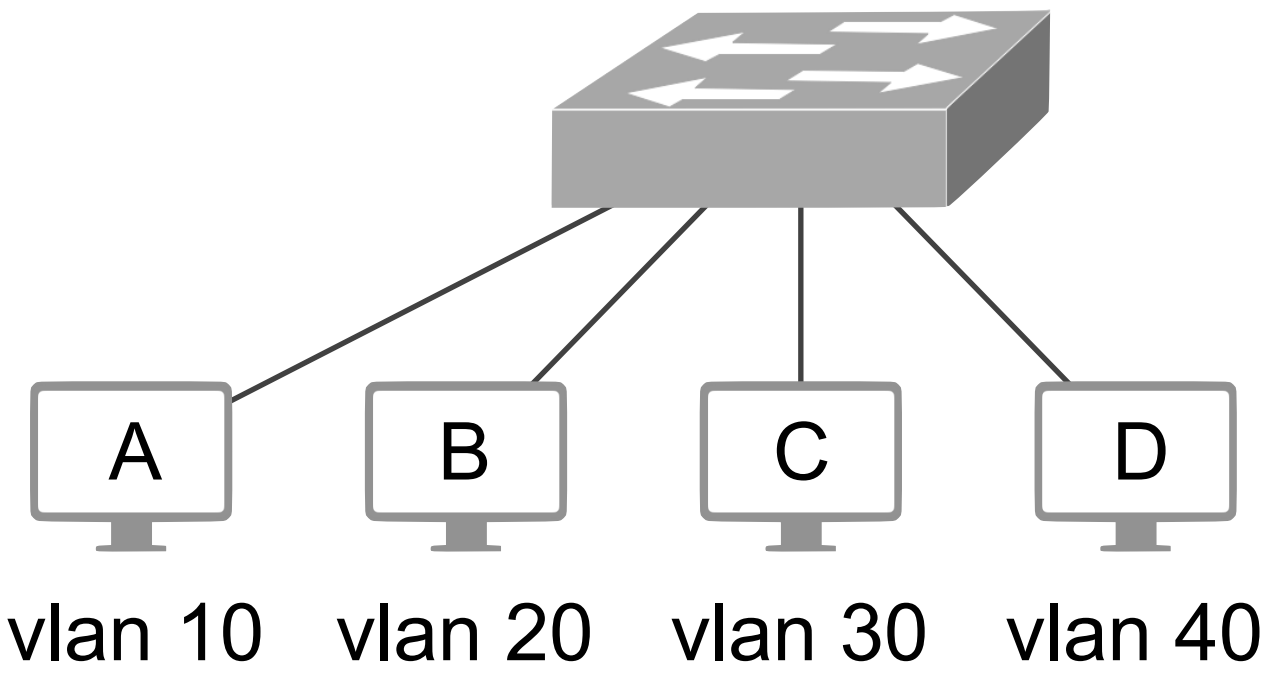


虚拟局域网划分方法

- 数据链路层
 - 生成树协议
 - 虚拟局域网
 - 802.1Q帧
 - VLAN的优点
 - 划分方法
 - VLAN实验结果

- 基于协议划分：
 - 根据以太网帧的第三个字段“类型”字段确定该类型的协议属于哪一个虚拟局域网；
 - 属于在第二层划分虚拟局域网的方法。

计算机	类型	VLAN
A	IPv4: 0x0800	10
B	IPv6: 0x86DD	20
C	PPPoE: 0x8864	30
D	IPX: 0x8137	40

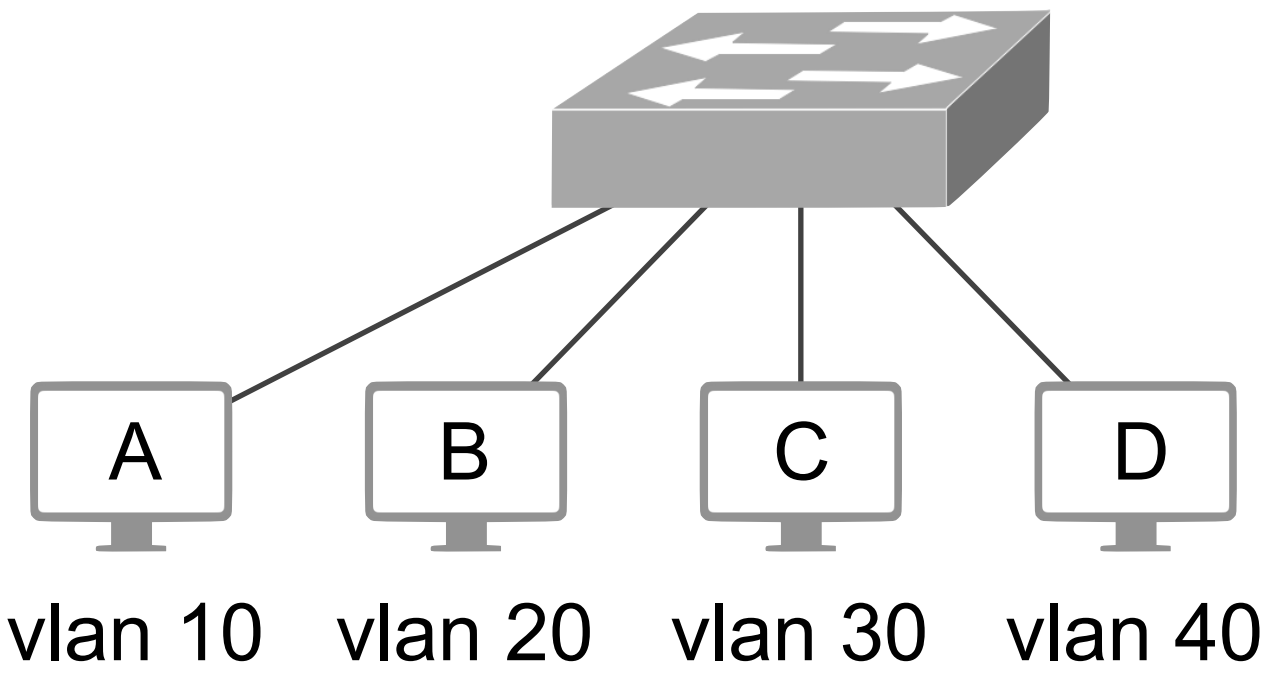


虚拟局域网划分方法

- 数据链路层
 - 生成树协议
 - 虚拟局域网
 - 802.1Q帧
 - VLAN的优点
 - 划分方法
 - VLAN实验结果

- 基于IP地址划分：
 - 根据以太网帧的第三个字段“类型”字段和IP分组首部中的源 IP 地址字段确定该 IP 分组属于哪一个虚拟局域网；
 - 属于在第三层划分虚拟局域网的方法。

计算机	IP网络	VLAN
A	172.16.10.0/24	10
B	172.16.20.0/24	20
C	172.16.30.0/24	30
D	172.16.40.0/24	40

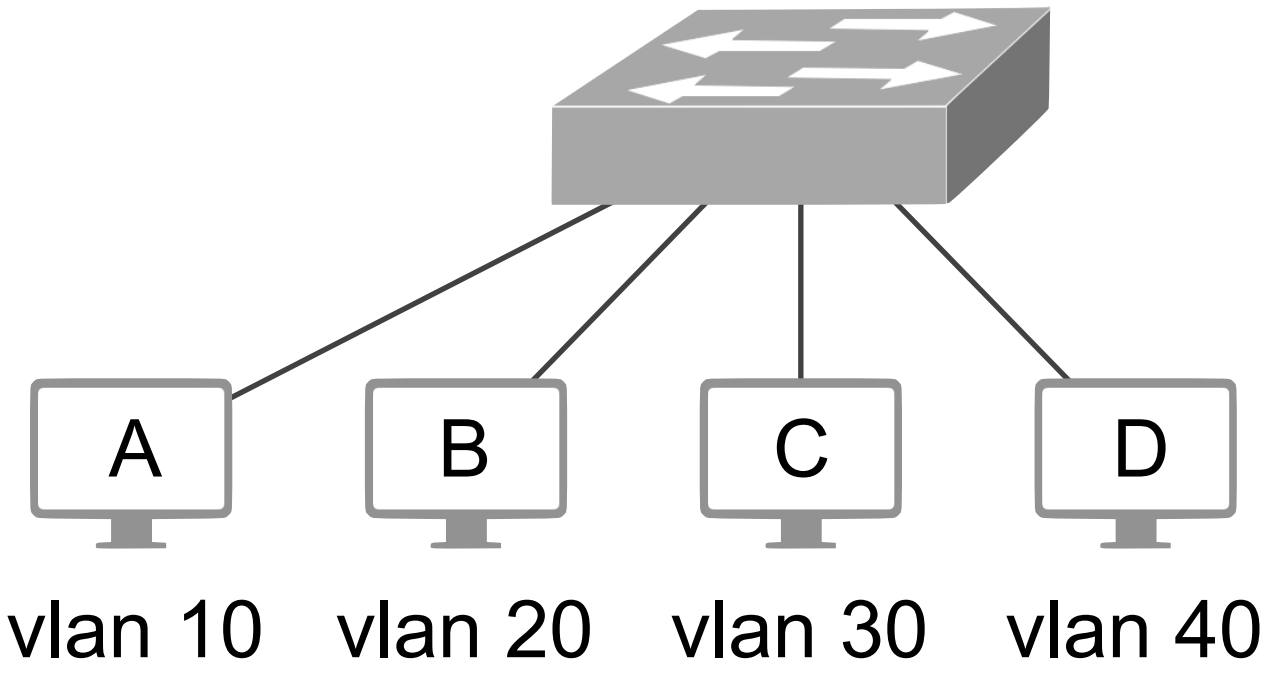


虚拟局域网划分方法

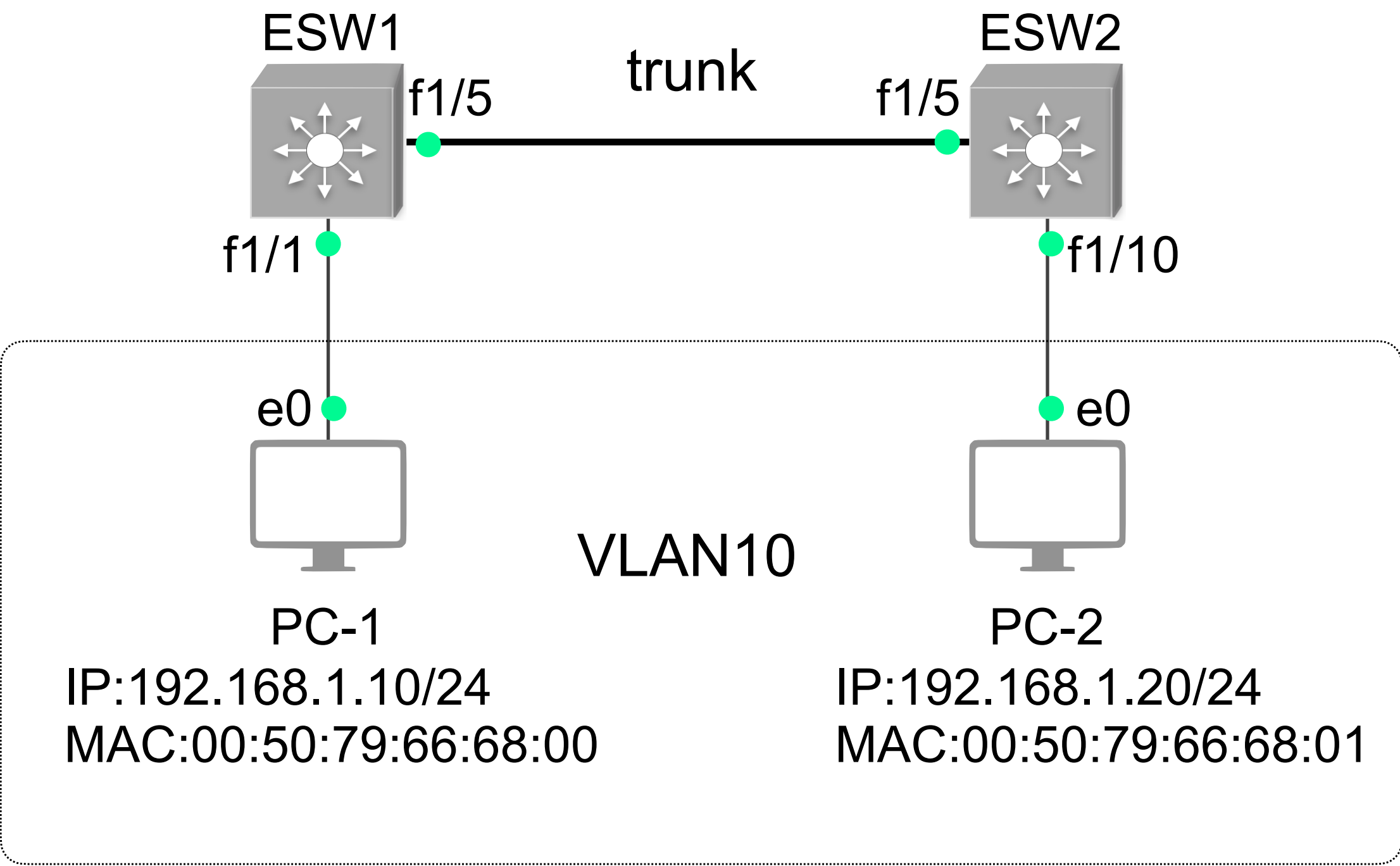
- 数据链路层
 - 生成树协议
 - 虚拟局域网
 - 802.1Q帧
 - VLAN的优点
 - 划分方法
 - VLAN实验结果

- 基于应用层划分：
 - 根据高层应用或服务、或者它们的组合划分虚拟局域网；
 - 更加灵活，但更加复杂。

计算机	IP网络	VLAN
A	TELNET	10
B	FTP	20
C	EMAIL	30
D	HTTP	40



实验拓扑及实验过程（基于端口划分）



这是可能的MAC地址表吗？？

VLAN10		
MAC地址	接口	有效时间

trunk上启动抓包； PC-1访问PC-2； 分析抓包结果。

抓包结果

- 数据链路层
 - 生成树协议
 - 虚拟局域网
 - 802.1Q帧
 - VLAN的优点
 - 划分方法
 - **VLAN实验结果**

Ethernet II, Src: Private_66:68:01 Dst: Private_66:68:00

Destination: Private_66:68:00 (00:50:79:66:68:00)

Source: Private_66:68:01 (00:50:79:66:68:01)

Type: **802.1Q Virtual LAN (0x8100)**

#MAC封装了802.1Q

802.1Q Virtual LAN, PRI: 0, DEI: 0, ID: 10

000. = Priority: Best Effort (default) (0) **#优先级: 尽最大努力**

...0 = DEI: Ineligible

#VLAN tag中无意义

.... 0000 0000 1010 = ID: 10

#VLAN10

Type: **IPv4 (0x0800)**

Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.1.20, Dst: 192.168.1.10

Internet Control Message Protocol

交换机 ESW1 的MAC地址表

- 数据链路层
 - 生成树协议
 - 虚拟局域网
 - 802.1Q帧
 - VLAN的优点
 - 划分方法
 - VLAN实验结果

ESW1#show mac-address-table aging-time

Mac address aging time 300

ESW1#show mac-address-table

查看MAC地址有效时间

查看MAC地址表

Destination Address	Address Type	VLAN	Destination
cc01.02cd.0000	Self	1	Vlan1
cc01.02cd.0000	Self	10	Vlan10
0050.7966.6800	Dynamic	10	FastEthernet1/1
0050.7966.6801	Dynamic	10	FastEthernet1/5

小结

- 数据链路层
 - 生成树协议
 - 虚拟局域网
 - 802.1Q帧
 - VLAN的优点
 - 划分方法
 - VLAN实验结果
- 生成树协议：
 - 冗余链路；
 - 广播风暴；
 - STP概念。
- 虚拟局域网：
 - 基本概念；
 - 802.1Q；
 - VLAN优点；
 - VLAN划分方法；
 - VLAN抓包分析；
 - 交换机地址学习分析。

高速以太网

- 高速以太网
- 快速以太网

- 100BASE-T 以太网。
- 吉比特以太网。
- 10吉比特以太网 (10GE) 和更快的以太网。
- 使用以太网进行宽带接入。

100BASE-T 以太网

- 高速以太网
 - 快速以太网
 - 吉比特以太网
 - 万兆以太网
 - 更快的以太网
 - 端到端的以太网
 - PPPoE

- 速率达到或超过 100 Mbit/s 的以太网称为高速以太网：
 - 100BASE-T 在双绞线上传送 100 Mbit/s 基带信号的星型拓扑以太网，仍使用 IEEE 802.3 的CSMA/CD 协议；
 - 100BASE-T 以太网又称为快速以太网 (Fast Ethernet)；
 - 1995 年IEEE已把 100BASE-T 的快速以太网定为正式标准，其代号为 IEEE 802.3u。

100BASE-T 以太网的特点

- 高速以太网
- 快速以太网
- 吉比特以太网
- 万兆以太网
- 更快的以太网
- 端到端的以太网
- PPPoE

全双工时不使用CSMA/CD

MAC 帧格式为802.3 标准

网段长度 100 m

帧间间隔 0.96ms

10Mb/s、100 Mb/s 以太网的三种不同的物理层标准

- 高速以太网
 - 快速以太网
 - 吉比特以太网
 - 万兆以太网
 - 更快的以太网
 - 端到端的以太网
- PPPoE

	10BASE-T	100BASE-TX	100BASE-FX	100BASE-T4
编码方法	曼彻斯特	4B/5B	4B/5B	8B/6T
传输介质	UTP3/4/5	UTP5, STP1	单模/多模光纤	UTP3/4/5
信号频率	20MHz	125MHz	125MHz	25MHz
使用线对	2对	2对	2对	4对
发送线对	1对	1对	1对	3对
网段距离	100m	100m	2000m	100m
全双工能力	有	有	有	无

吉比特以太网

- 高速以太网
 - 快速以太网
 - 吉比特以太网
 - 万兆以太网
 - 更快的以太网
 - 端到端的以太网
 - PPPoE
- 允许在 1 Gbit/s 下全双工和半双工两种方式工作：
 - 使用 IEEE 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

- 高速以太网
 - 快速以太网
 - 吉比特以太网
 - 万兆以太网
 - 更快的以太网
 - 端到端的以太网
- PPPoE

名称	媒体	网段最大长度	特点
1000BASE-SX	光缆	550 m	多模光纤（50和62.5 mm）
1000BASE-LX	光缆	5000 m	单模光纤（10 mm） 多模光纤（50和62.5 mm）
1000BASE-CX	铜缆	25 m	使用2对屏蔽双绞线电缆STP
1000BASE-T	铜缆	100 m	使用4对UTP 5类线

使用两种成熟的技术：一种来自现有的以太网，另一种则是美国国家标准协会 ANSI 制定的光纤通道 FC（Fiber Channel）。

半双工方式工作的吉比特以太网

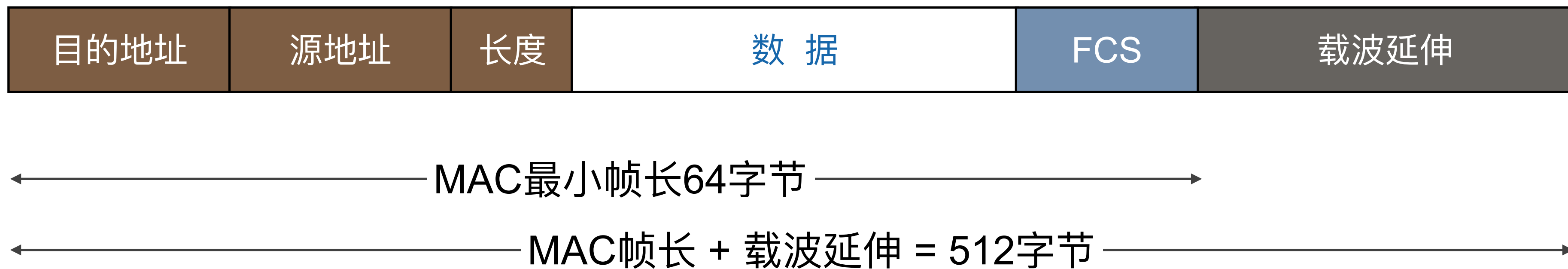
- 高速以太网
- 快速以太网
- 吉比特以太网
- 万兆以太网
- 更快的以太网
- 端到端的以太网
- PPPoE

- 吉比特以太网工作在半双工方式时，就必须进行碰撞检测。为保持 64 字节最小帧长度，以及 100 米的网段的最大长度，吉比特以太网增加了两个功能：
 - 载波延伸 (carrier extension);
 - 分组突发 (packet bursting)。

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。

载波延伸

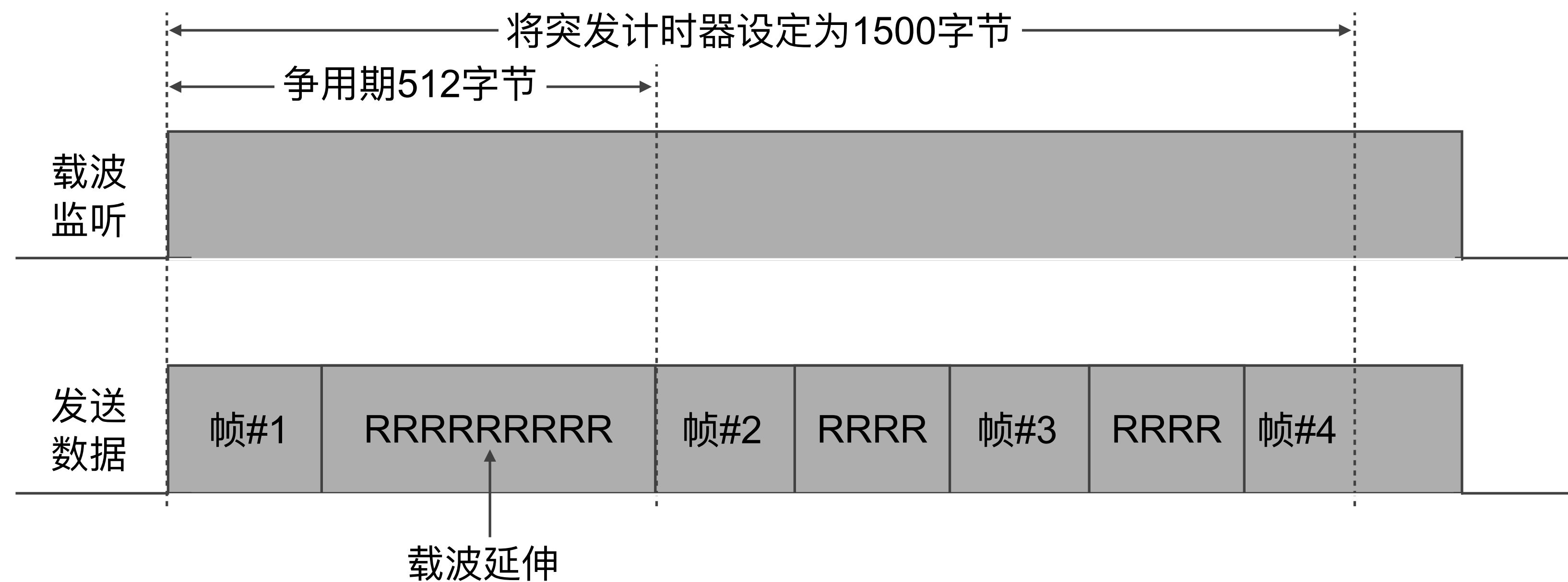
- 使最短帧长仍为 64 字节（这样可以保持兼容性），同时将争用时间增大为 512 字节：
- 凡发送的 MAC 帧长不足 512 字节时，就用一些特殊字符填充在帧的后面，使MAC 帧的发送长度增大到 512 字节；
- 接收端在收到以太网的 MAC 帧后，要将所填充的特殊字符删除后才向高层交付。



分组突发

- 高速以太网
 - 快速以太网
 - 吉比特以太网
 - 万兆以太网
 - 更快的以太网
 - 端到端的以太网
- PPPoE

- 当很多短帧要发送时，第一个短帧要采用载波延伸方法进行填充，随后的一些短帧一个接一个地发送，只需留有必要的帧间最小间隔即可。这样就形成可一串分组的突发，直到达到 1500 字节或稍多一些为止。



10 吉比特以太网和更快的以太网

- 高速以太网
- 快速以太网
- 吉比特以太网
- 万兆以太网
- 更快的以太网
- 端到端的以太网
- PPPoE

- 10 吉比特以太网（10GE）并非把吉比特以太网的速率简单地提高到 10 倍，其**主要特点**有：
 - 与 10 Mbit/s、100 Mbit/s 和 1 Gbit/s 以太网的帧格式完全相同；
 - 保留了 802.3 标准规定的以太网最小和最大帧长，便于升级；
 - **不再使用铜线**而只使用光纤作为传输媒体；
 - **只工作在全双工方式**，没有争用问题，也不使用 CSMA/CD 协议。

10 吉比特以太网的物理层

- 高速以太网
 - 快速以太网
 - 吉比特以太网
 - 万兆以太网
 - 更快的以太网
 - 端到端的以太网
- PPPoE

名称	媒体	网段最大长度	特点
10GBASE-SR	光缆	300 m	多模光纤 (0.85 mm)
10GBASE-LR	光缆	10 km	单模光纤 (1.3 mm)
10GBASE-ER	光缆	40 km	单模光纤 (1.5 mm)
10GBASE-CX4	铜缆	15 m	使用4对双芯同轴电缆(twinax)
10GBASE-T	铜缆	100 m	使用4对6A类UTP双绞线

更快的以太网

- 高速以太网
 - 快速以太网
 - 吉比特以太网
 - 万兆以太网
 - 更快的以太网
 - 端到端的以太网
 - PPPoE
- 40GE/100GE的标准 IEEE 802.3ba-2010 和 802.3bm-2015:
 - 40GE/100GE 只工作在全双工的传输方式，并仍保持了以太网的帧格式以及 802.3 标准规定的以太网最小和最大帧长；
 - 100GE 在使用单模光纤传输时，仍然可以达到 40 km的传输距离，但这是需要波分复用（使用 4 个波长复用一根光纤，每一个波长的有效传输速率是 25 Gb/s）。

40GE/100GE 的物理层

- 高速以太网
 - 快速以太网
 - 吉比特以太网
 - 万兆以太网
 - 更快的以太网
 - 端到端的以太网
- PPPoE

物理层	40GE	100GE
在背板上传输至少超过1 m	40GBASE-KR4	
在铜缆上传输至少超过7 m	40GBASE-CR4	100GBASE-CR10
在多模光纤上传输至少100 m	40GBASE-SR4	100GBASE-SR10 100GBASE-SR4
在单模光纤上传输至少10 km	40GBASE-LR4	100GBASE-LR4
在单模光纤上传输至少40 km	40GBASE-ER	100GBASE-ER4

端到端的以太网传输

- 高速以太网
 - 快速以太网
 - 吉比特以太网
 - 万兆以太网
 - 更快的以太网
 - 端到端的以太网
 - PPPoE

- 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有：
 - 技术成熟；
 - 互操作性很好；
 - 在广域网中使用以太网时价格便宜；
 - 采用统一的以太网帧格式，简化了操作和管理。

以太网从 10 Mbit/s 到 100 Gbit/s 的演进

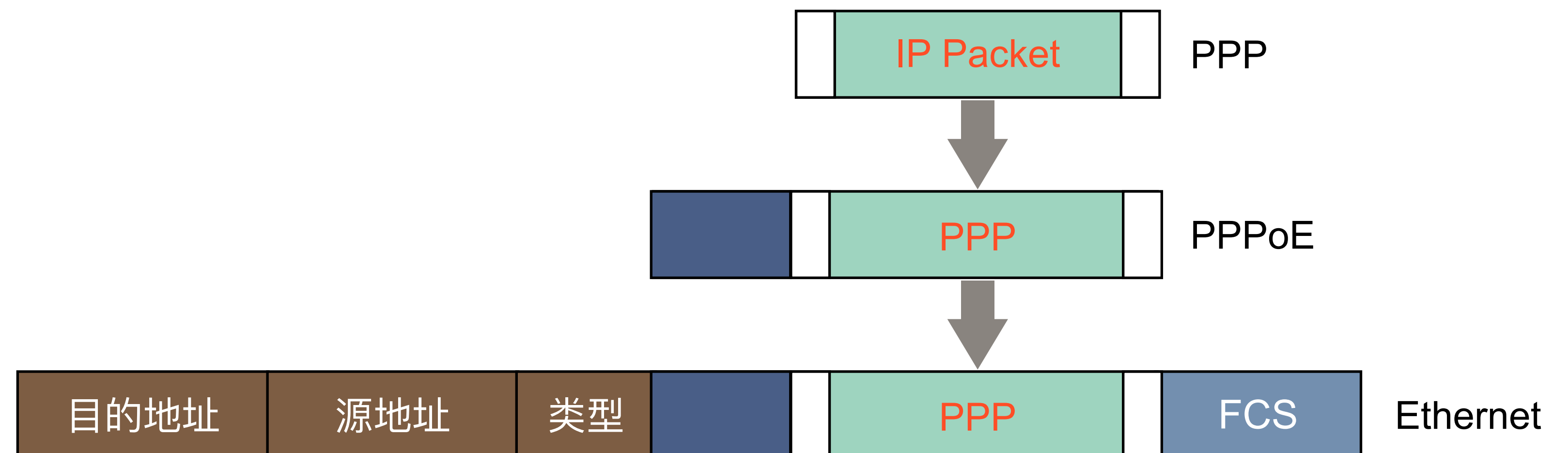
- 高速以太网
 - 快速以太网
 - 吉比特以太网
 - 万兆以太网
 - 更快的以太网
 - 端到端的以太网
 - PPPoE

- 以太网从 10 Mbit/s 到 100 Gbit/s 的演进证明了以太网是：
 - 可扩展的（从 10 Mbit/s 到 100 Gbit/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。

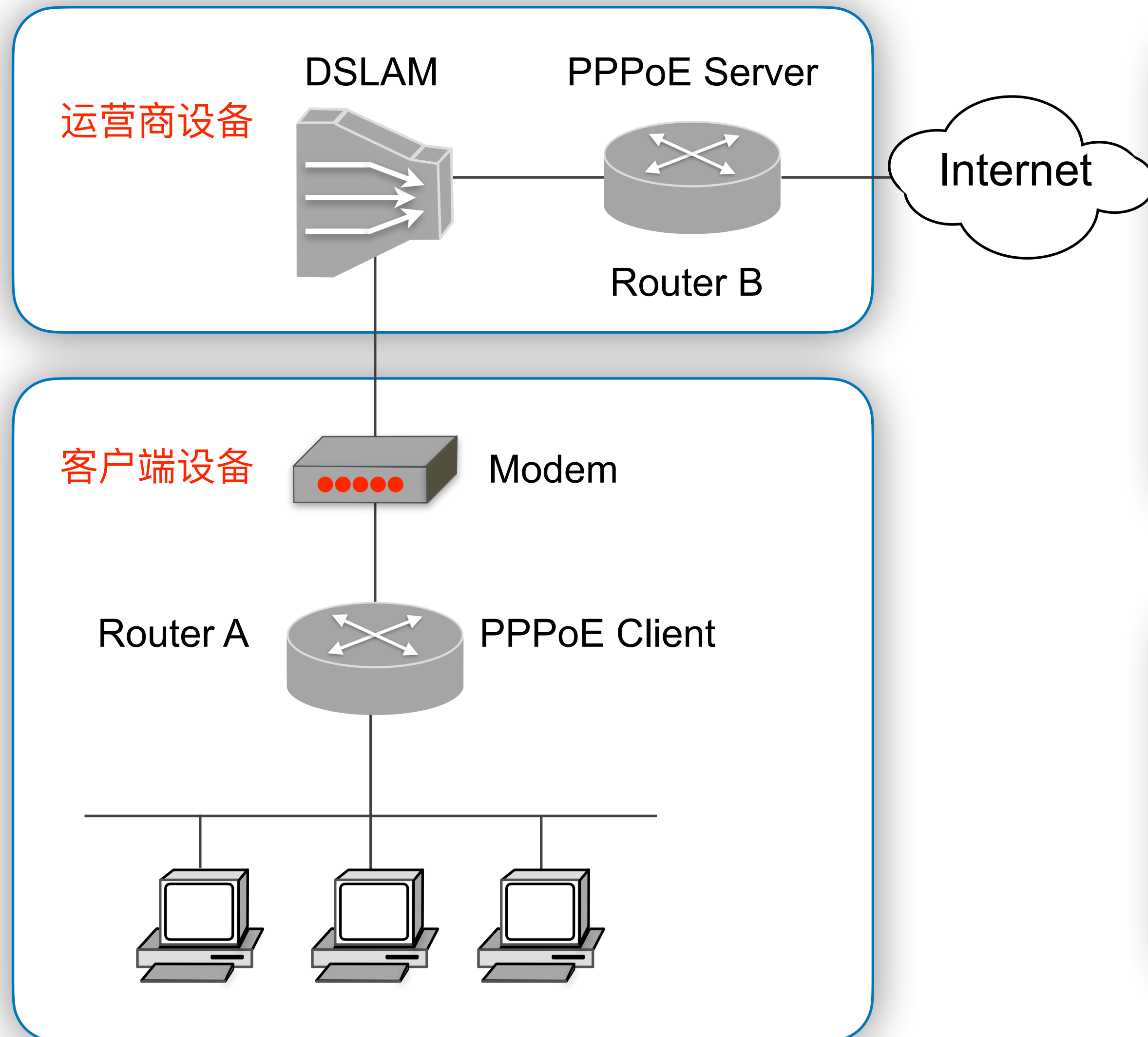
使用以太网进行宽带接入

- 高速以太网
 - 快速以太网
 - 吉比特以太网
 - 万兆以太网
 - 更快的以太网
 - 端到端的以太网
- PPPoE

- PPPoE (PPP over Ethernet) 的意思是“在以太网上运行 PPP”，它把 PPP 协议与以太网协议结合起来 —— 将 PPP 帧再封装到以太网中来传输：
 - 用上述方法，解决了传统以太网不能提供的身份验证、加密以及压缩等功能。



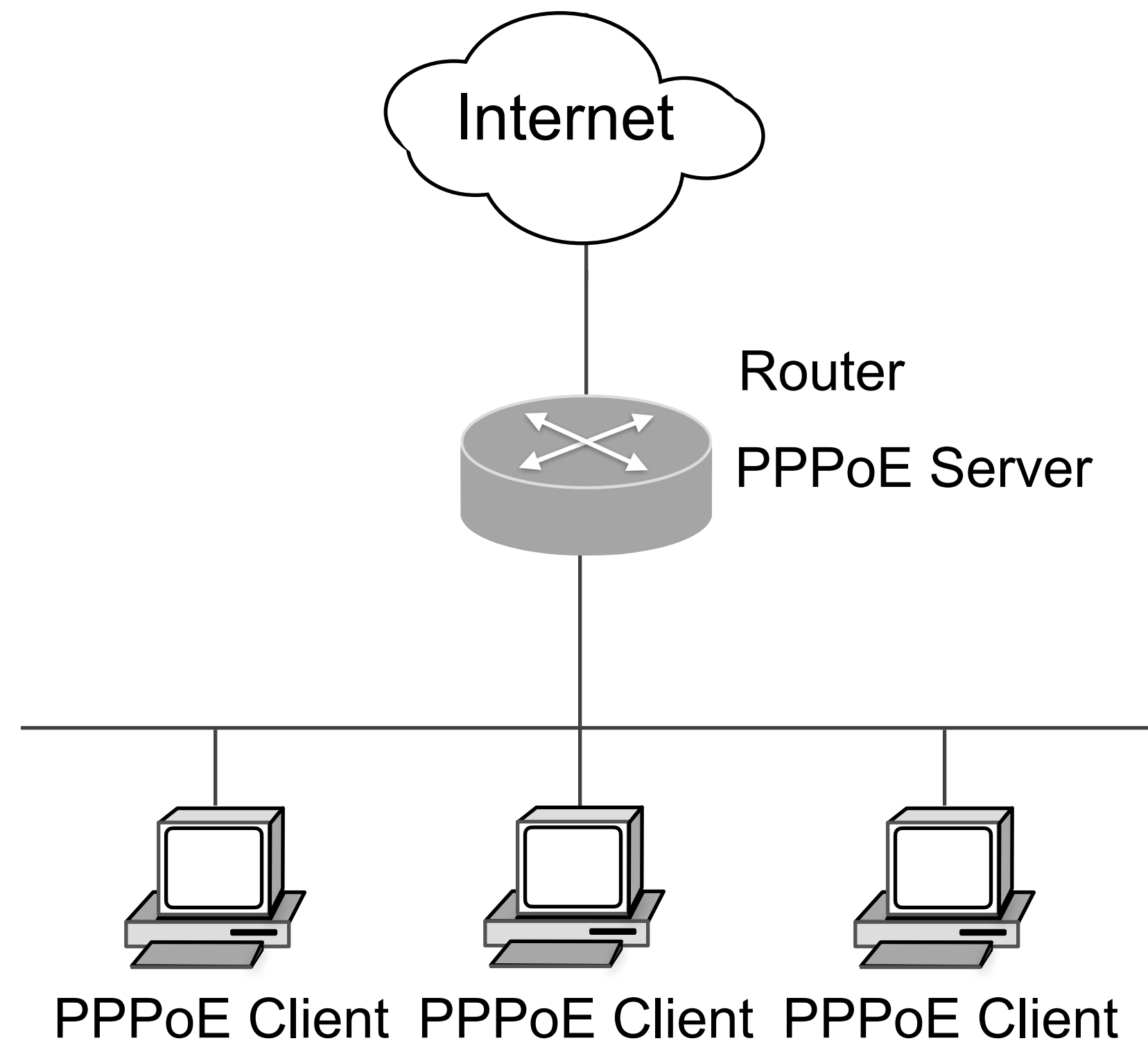
PPPoE第一种部署方案



- 第一种方式在设备之间建立PPP会话，所有主机通过同一个PPP会话传送数据，主机上不用安装PPPoE客户端拨号软件，一般是一个企业（公司）共用一个账号。

- DSLAM:
 - Digital Subscriber Line Access Multiplexer
 - 数字用户线路接入复用器。

PPPoE第二种部署方案



- 第二种部署方式，PPP会话建立在Host和运营商的路由器之间，**为每一个Host建立一个PPP会话，每个Host都是PPPoE Client，每个Host一个账号**，方便运营商对用户进行计费和控制。
- Host上必须安装PPPoE客户端拨号软件。

小结

- 高速以太网
 - 快速以太网
 - 吉比特以太网
 - 万兆以太网
 - 更快的以太网
 - 端到端的以太网
- PPPoE

- 100BASE-T 以太网。
- 吉比特以太网。
- 10吉比特以太网 (10GE) 和更快的以太网。
- 使用以太网进行宽带接入。