



高数帮

课时3 数据链路层

考点	重要程度	占分	题型
功能	★		选择题
组帧	★		选择题
差错控制	★		选择题
流量控制与可靠传输机制	★★★★		选择题、问答题
介质访问控制	★★★★		选择题、问答题
局域网、广域网	★★★		选择题
设备	★		选择题

3.1 功能

数据链路层的功能

为网络层提供服务

无确认的无连接服务。源机器发送数据帧时不需先建立链路连接，目的机器收到数据帧时不需发回确认。对丢失的帧，数据链路层不负责重发而交给上层处理

有确认的无连接服务。源机器发送数据帧时不需先建立链路连接，但目的机器收到数据帧时必须发回确认。源机器在所规定的时间内未收到确定信号时，就重传丢失的帧，以提高传输的可靠性

3.1 功能

为网络层提供服务

有确认的面向连接服务。 帧传输过程分为三个阶段：建立数据链路、传输帧、释放数据链路。目的机器对收到的每一帧都要给出确认，源机器收到确认后才能发送下一帧，因而该服务的可靠性最高

连接就一定要有确认，即不存在无确认的面向连接的服务

帧定界、帧同步与透明传输

流量控制

差错控制



视频讲解更清晰

3.2 组帧

字符计数法

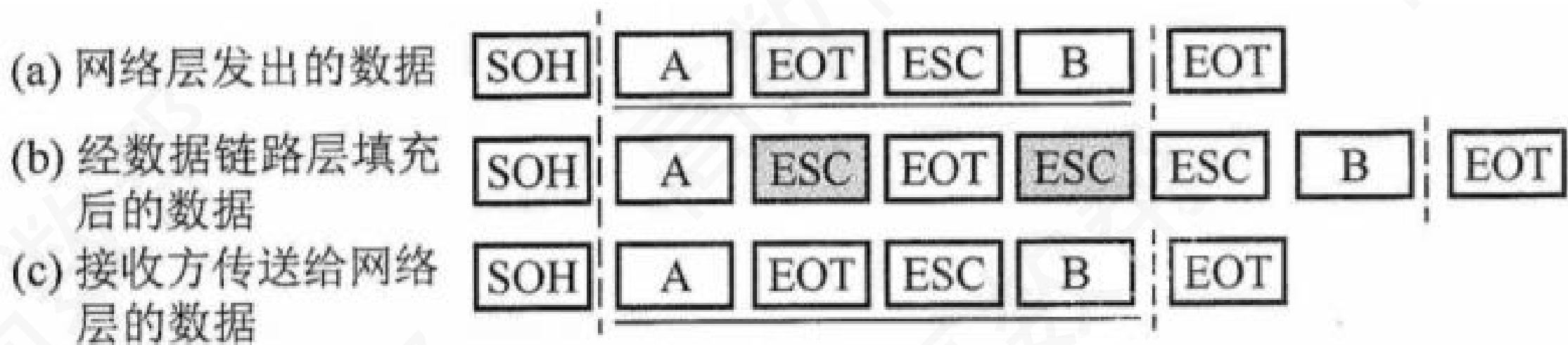
字符计数法是指在帧头部使用一个计数字段来标明帧内字符数，目的结点的数据链路层收到字节计数值时，就知道后面跟随的字节数，从而可以确定帧结束的位置



3.2 组帧

字符填充的首尾定界符法

符填充法使用**特定字符**来定界一帧的开始与结束，在特殊字符前面填充一个转义字符（ESC）来加以区分



3.2 组帧

零比特填充的首尾标志法

即使用01111110来标志一帧的开始和结束。发送方的数据链路层在信息位中遇到5个连续的"1"时，将自动在其后插入一个"0";而接收方做该过程的逆操作，即每收到5个连续的"1"时，自动删除后面紧跟的"0"

(a) 原始数据	0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 0
(b) 线上数据	0 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 0 0 1 0
	<div style="text-align: center;">└──────────┘</div> <div style="text-align: center;">填充的位</div>
(c) 接收方删除填充位后的数据	0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 0

违规编码法

如，曼彻斯特编码方法将数据比特"1"编码成"高-低"电平对，将数据比特"0"编码成"低-高"电平对，而"高-高"电平对和"低低"电平对在数据比特中是违规的

3.3 差错控制

检错编码

奇偶校验码

如果是奇校验码，那么在附加一个校验元后，码长为 n 的码字中"1"的个数为奇数

如果是偶校验码，那么在附加一个校验元以后，码长为 n 的码字中"1"的个数为偶数

循环冗余码

任何一个由二进制数位串组成的代码都可以与一个只含有0和1两个系数的多项式建立一一对应关系

3.3 差错控制

例如, 1110011有7位, 表示成多项式是 $X^6+X^5+X^4+X^1+1$,而多项式 $X^5+X^4+X^2+X^1$ 对应的位串是110110, 其运算过程如图

设 $G(x) = 1101$, 待传送数据
 $M = 101001$ (即 $m=6$), 经模2
除法运算后的结果是:商
 $Q = 110101$ (这个商没什么用),
余数 $R = 001$, 所以发送出去的数据为101001001



3.3 差错控制

检错编码

纠错编码（海明码）

设 n 为有效信息的位数， k 为校验位的位数，则信息位 n 和校验位 k 应满足 $n+k \leq 2^k - 1$

规定校验位 P ，在海明位号为 2^i 的位置上，其余各位为信息位



视频讲解更清晰

3.3 差错控制

设信息位为 $D_4D_3D_2D_1$ (1010) , 共4位, 校验位为 $P_3P_2P_1$ 共3位, 对应的海明码为 $H_7H_6H_5H_4H_3H_2H_1$

111	110	101	100	011	010	001
H_7	H_6	H_5	H_4	H_3	H_2	H_1
D_4	D_3	D_2	P_3	D_1	P_2	P_1

$$P_1 = D_1 \oplus D_2 \oplus D_4 = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0$$

$$P_2 = D_1 \oplus D_3 \oplus D_4 = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1$$

$$P_3 = D_2 \oplus D_3 \oplus D_4 = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0$$

1010对应的海明码为1010010

校验原理

$$S_1 = P_1 \oplus D_1 \oplus D_2 \oplus D_4$$

$$S_2 = P_2 \oplus D_1 \oplus D_3 \oplus D_4$$

$$S_3 = P_3 \oplus D_2 \oplus D_3 \oplus D_4$$

S3S2S1

3.3 差错控制

流量控制与可靠传输机制

滑动窗口机制

停止-等待流量控制基本原理

发送方每发送一帧，都要等待接收方的应答信号，之后才能发送下一帧；接收方每接收一帧，都要反馈一个应答信号，表示可接收下一帧，如果接收方不反馈应答信号，那么发送方必须一直等待

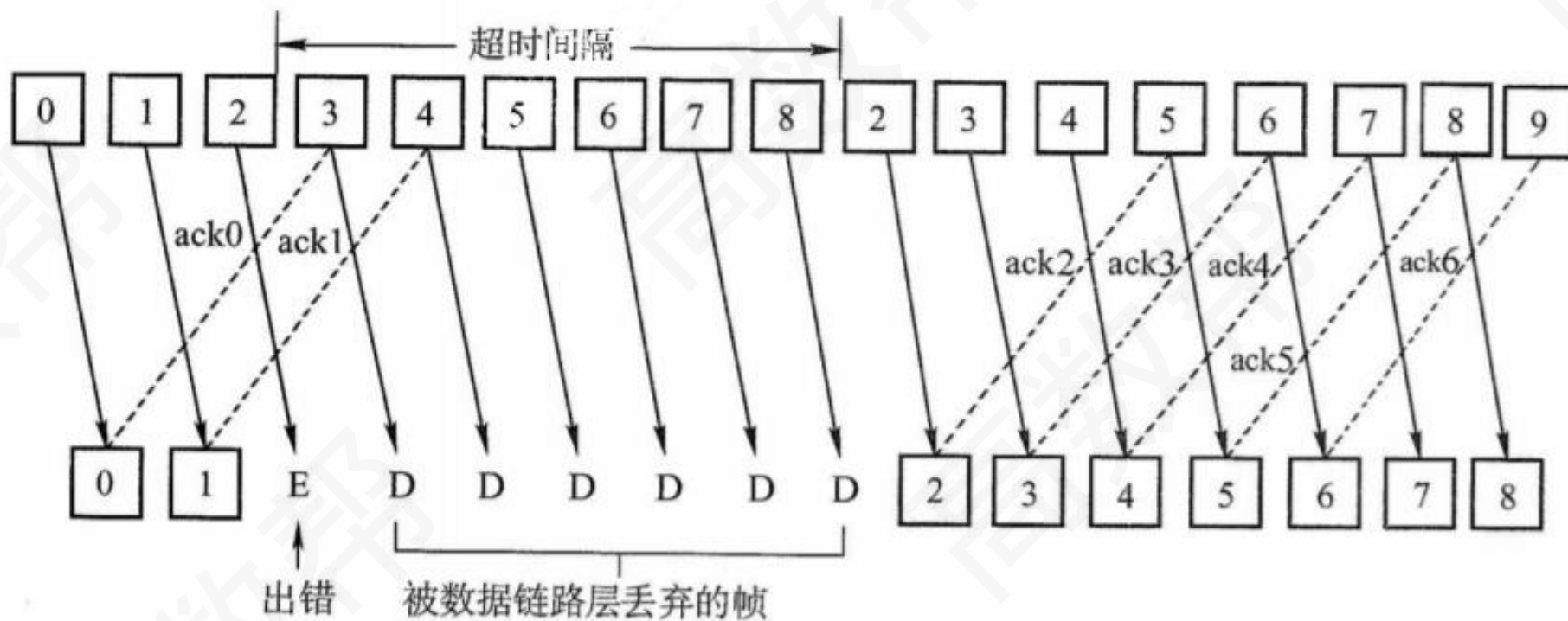
3.3 差错控制

流量控制与可靠传输机制

滑动窗口机制

多帧滑动窗口与后退N帧协议 (GBN)

当接收方检测出失序的信息帧后，要求发送方重发最后一个正确接收的信息帧之后的所有未被确认的帧

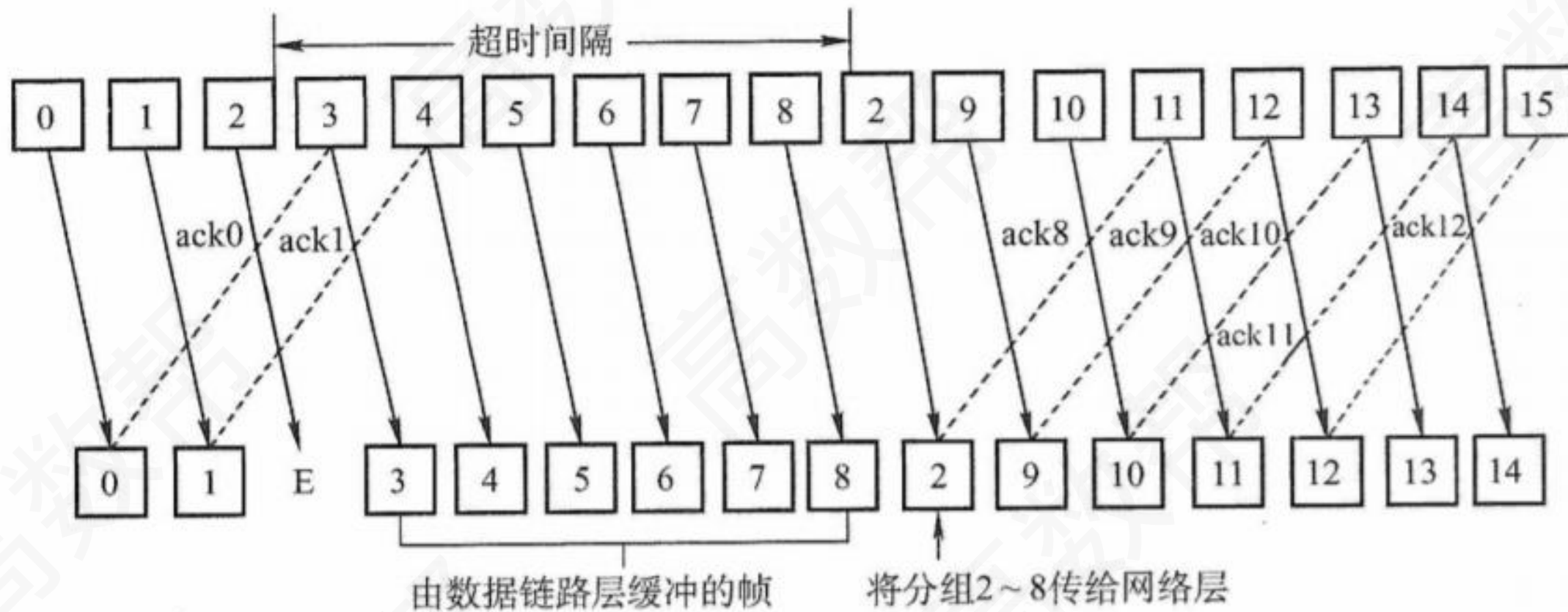


3.3 差错控制

流量控制与可靠传输机制

滑动窗口机制

多帧滑动窗口与选择重传协议 (SR)



$$\text{接收窗口 } W_R + \text{发送窗口 } W_T \leq 2^n$$

3.4 介质访问控制

信道划分介质访问控制

频分多路复用 (FDM)

将多路基带信号调制到不同频率载波上，再叠加形成一个复合信号的多路复用技术

时分多路复用 (TDM)

时分多路复用是将一条物理信道按时间分成若干时间片，轮流地分配给多个信号使用。每个时间片由复用的一个信号占用，而不像 FDM 那样，同一时间同时发送多路信号

波分多路复用 (WDM)

波分多路复用即光的频分多路复用，它在一根光纤中传输多种不同波长（频率）的光信号，由于波长（频率）不同，各路光信号互不干扰，最后再用波长分解复用器将各路波长分解出来

3.4 介质访问控制

信道划分介质访问控制

码分多路复用 (CDM)

码分多路复用是采用不同的编码来区分各路原始信号的一种复用方式

如站点A的码片序列被指派为 00011011，则A站发送00011011 就表示发送比特1，发送11100100就表示发送比特0。为了方便，按惯例将码片中的0写为-1，将1写为+1，因此A站的码片序列是向量 $S=(-1-1-1+1+1-1+1+1)$

T表示B站的码片向量，令向量 $T=(-1 -1+1 -1+1+1+1-1)$ ，其中T与S正交

3.4 介质访问控制

信道划分介质访问控制

码分多路复用 (CDM)

$$S=(-1-1-1+1+1-1+1+1)$$

$$T=(-1-1+1-1+1+1+1-1)$$

当A站向C站发送数据1时，就发送了向量 $(-1-1-1+1+1-1+1+1)$

当B站向C站发送数据0时，就发送了向量 $(+1+1-1+1-1-1-1+1)$

两个向量到了公共信道上就进行叠加，实际上就是线性相加

$$S-T=(0\ 0\ -2\ 2\ 0\ -2\ 0\ 2)$$

$$S-T=(0\ 0\ -2\ 2\ 0\ -2\ 0\ 2)$$

A站发送的信号： $S*(S-T)=1$ ，所以A发送的是1

$$S=(-1-1-1+1+1-1+1+1)$$

B站发送的信号： $T*(S-T)=-1$ ，所以B发送的是0

$$S-T=(0\ 0\ -2\ 2\ 0\ -2\ 0\ 2)$$

$$T=(-1-1+1-1+1+1+1-1)$$

3.4 介质访问控制

随机访问介质访问控制

ALOHA 协议

1. 纯ALOHA 协议：网络中的任何一个站点需要发送数据时，可以**不进行任何检测**就发送数据，在一段时间内未确认，那么该站点就认为传输过程中发生了冲突。发送站点需要等待一段时间后再发送数据，直至发送成功
2. 时隙ALOHA 协议：规定只能在每个时隙开始时才能发送一个帧。从而避免了用户发送数据的随意性，减少了数据产生冲突的可能性，提高了信道的利用率

3.4 介质访问控制

CSMA 协议

一个结点要发送数据时，首先侦听信道

信道状态	1-坚持	非坚持	p -坚持
空闲	立即发送数据	立即发送数据	以概率 p 发送数据，以概率 $1-p$ 推迟到下一个时隙
忙	继续坚持侦听	放弃侦听，等待一个随机的时间后再侦听	持续侦听，直至信道空闲

3.4 介质访问控制

随机访问介质访问控制

CSMA/CD协议

载波侦听多路访问/碰撞检测

“先听后发，边听边发，冲突停发，随机重发”

1. 配器从网络层获得一个分组，封装成以太网帧，放入适配器的缓存，准备发送

2. 如果适配器侦听到信道空闲，那么它开始发送该帧。如果适配器侦听到信道忙，那么它持续侦听直至信道上没有信号能量，然后开始发送该帧

3.4 介质访问控制

随机访问介质访问控制

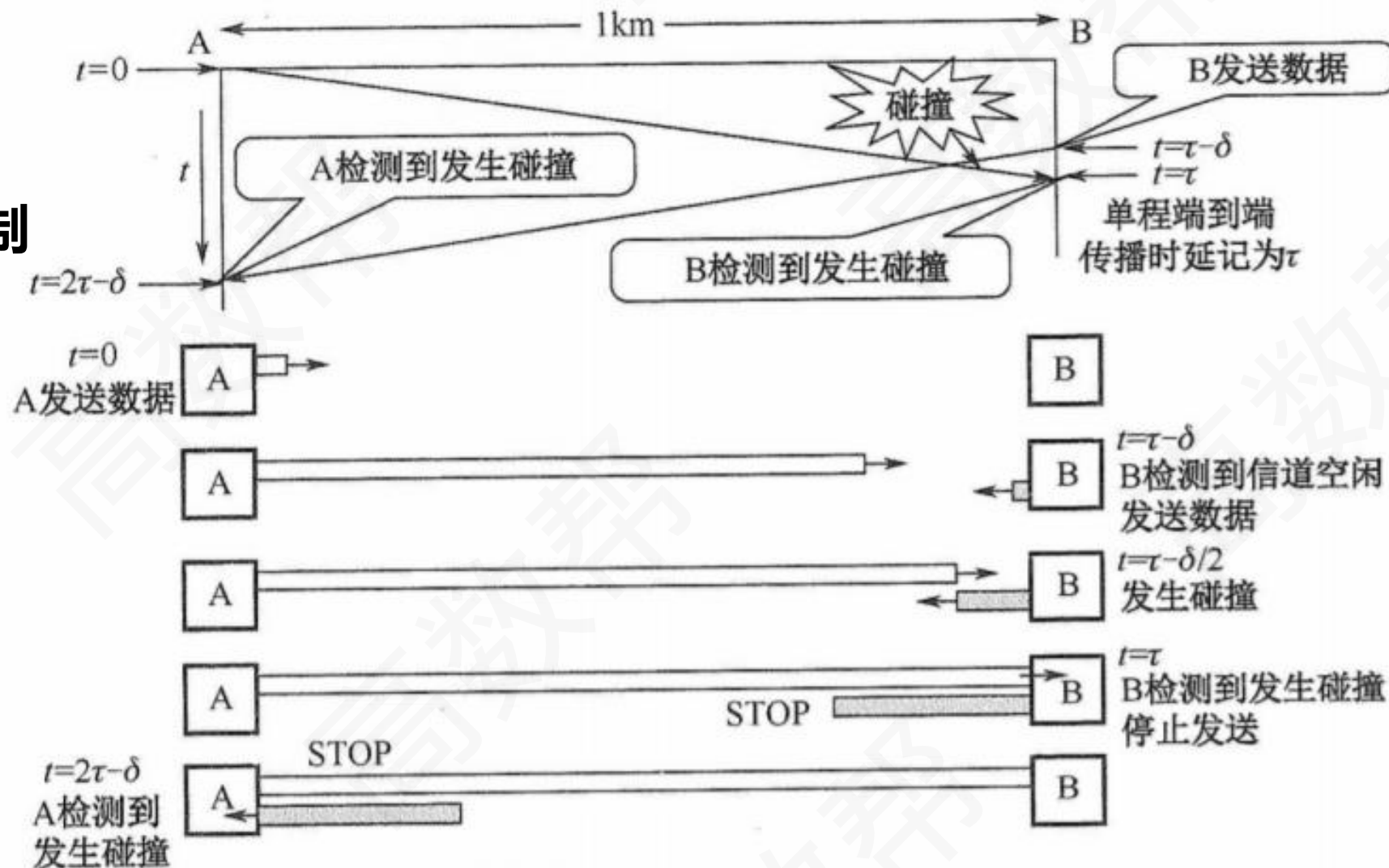
CSMA/CD协议

- 3.在发送过程中，适配器持续检测信道。若一直未检测到碰撞，则顺利地把这个帧发送完毕。若检测到碰撞，则中止数据的发送，并发送一个拥塞信号，以让所有用户都知
- 4.在中止发送后，适配器就执行指数退避算法，等待一段随机时间后返回到步骤2.

3.4 介质访问控制

随机访问介质访问控制

CSMA/CD协议



站A在发送帧后至多经过时间 2τ （端到端传播时延的2倍）就能知道所发送的帧有没有发生碰撞（当 $\delta \rightarrow 0$ 时）。因此把以太网端到端往返时间 2τ 称为**争用期**（又称冲突窗口或碰撞窗口）

3.4 介质访问控制

随机访问介质访问控制

CSMA/CD协议

为了确保发送站在发送数据的同时能检测到可能存在的碰撞，需要在发送完帧之前就能收到自己发送出去的数据，即帧的传输时延至少要两倍于信号在总线中的传播时延，所以 CSMA/CD 总线网中的所有数据帧都必须大于一个最小帧长

$$\text{最小帧长} = \text{总线传播时延} \times \text{数据传输速率} \times 2$$

以太网规定取 $51.2\mu\text{s}$ 为争用期的长度

3.4 介质访问控制

随机访问介质访问控制

CSMA/CD协议

一旦发生了冲突，参与冲突的两个站点紧接着再次发送是没有意义的，如果它们这样做，那么将会导致无休止的冲突。CSMA/CD采用二进制指数退避算法来解决碰撞问题

- 1.确定基本退避时间，一般取两倍的总线端到端传播时延 2τ （即争用期）
- 2.定义参数 k ，它等于重传次数，但 k 不超过10，即 $k=\min[\text{重传次数}, 10]$ 。当重传次数不超过10时， k 等于重传次数；当重传次数大于10时， k 就不再增大而一直等于10

3.4 介质访问控制

随机访问介质访问控制

CSMA/CD协议

- 3.从离散的整数集合 $[0, 1, \dots, 2^k-1]$ 中随机取出一个数 r ，重传所需要退避的时间就是 r 倍的基本退避时间，即 $2^r\tau$ 。
- 4.当重传达16次仍不能成功时，说明网络太拥挤，认为此帧永远无法正确发出，抛弃此帧并向高层报告出错



视频讲解更清晰

3.4 介质访问控制

随机访问介质访问控制

CSMA/CA 协议

CSMA/CD 协议已成功应用于使用有线连接的局域网，但在无线局域网环境下，却不能简单地搬用 CSMA/CD 协议，特别是碰撞检测部分。主要有两个原因：

- 1、接收信号的强度往往会远小于发送信号的强度，且在无线介质上信号强度的动态变化范围很大，因此若要实现碰撞检测，则硬件上的花费就会过大（**不好检测**）
- 2、在无线通信中，并非所有的站点都能够听见对方，即存在“隐蔽站”问题（**检测不到**）

3.4 介质访问控制

随机访问介质访问控制

CSMA/CA 协议

算法归纳如下

- 1、若站点最初有数据要发送（**而不是发送不成功再进行重传**），且检测到信道空闲，在等待一小段时间后，就发送整个数据帧
- 2、否则，站点执行 CSMA/CA 退避算法，选取一个随机回退值。一旦检测到信道忙，退避计时器就**保持不变**。只要信道空闲，退避计时器就进行倒计时
- 3、当退避计时器减到0时（这时信道只可能是空闲的），站点就发送整个帧并等待确认

3.4 介质访问控制

随机访问介质访问控制

CSMA/CA 协议

算法归纳如下

4、发送站若收到确认，就知道已发送的帧被目的站正确接收。这时如果要发送第二帧，就要从步骤 2、开始

若发送站在规定时间内没有收到确认帧ACK（由重传计时器控制），就必须重传该帧，再次使用 CSMA/CA 协议争用该信道，直到收到确认，或经过若干次重传失败后放弃发送

3.4 介质访问控制

轮询访问介质访问控制：令牌传递协议

在轮询访问中，用户不能随机地发送信息，而要通过一个集中控制的监控站，以循环方式轮询每个结点，再决定信道的分配。当某结点使用信道时，其他结点都不能使用信道。典型的轮询访问介质访问控制协议是**令牌传递协议**，它主要用在令牌环局域网中

在令牌传递协议中，一个令牌在各结点间以某个**固定次序**交换
令牌是由一组特殊的比特组合而成的**帧**

计算机都不需要发送数据时，令牌就在环形网上游荡，而需要发送数据的计算机**只有**在拿到该令牌后才能发送数据帧，因此不会发送冲突

轮询介质访问控制非常适合负载很高的广播信道

3.5 局域网

局域网的基本概念和体系结构

常见的局域网拓扑结构主要有以下4大类：

- ①星形结构；②环形结构；③总线形结构；
- ④星形和总线形结合的复合型结构

局域网可以使用双绞线、铜缆和光纤等多种传输介质，其中双绞线为主流传输介质

局域网的介质访问控制方法主要有 CSMA/CD、令牌总线和令牌环，其中前两种方法主要用于总线形局域网，令牌环主要用于环形局域网

3.5 局域网

以太网与IEEE 802.3

以太网逻辑上采用**总线形**拓扑结构，以太网中的所有计算机共享同一条总线，信息以**广播**方式发送。为了保证数据通信的方便性和可靠性，以太网简化了通信流程并使用了**CSMA/CD**方式对总线进行访问控制

严格来说，以太网应当是指符合DIXEthernetV2标准的局域网，但DIXEthernetV2标准与IEEE 802.3 标准只有很小的差别，因此通常将**802.3 局域网**简称为**以太网**

3.5 局域网

以太网与IEEE 802.3

以太网采用两项措施以简化通信：

- ① 采用无连接的工作方式，不对发送的数据帧编号，也不要求接收方发送确认，即以太网尽最大努力交付数据，提供的是不可靠服务，对于差错的纠正则由高层完成
- ② 发送的数据都使用曼彻斯特编码的信号，每个码元的中间出现一次电压转换，接收端利用这种电压转换方便地把位同步信号提取出来

3.5 局域网

以太网与IEEE 802.3

以太网的传输介质与网卡

参数	10BASE5	10BASE2	10BASE-T	10BASE-FL
传输媒体	基带同轴电缆 (粗缆)	基带同轴电缆 (细缆)	非屏蔽双绞线	光纤对 (850nm)
编码	曼彻斯特编码	曼彻斯特编码	曼彻斯特编码	曼彻斯特编码
拓扑结构	总线形	总线形	星形	点对点
最大段长	500m	185mm	100mm	2000m
最多结点数目	100	30	2	2

3.5 局域网

以太网与IEEE 802.3

计算机与外界局域网的连接是通过主机箱内插入的一块网络接口板【又称网络适配器(Adapter)或网络接口卡(Network Interface Card, NIC)】实现的

世界的每块网卡在出厂时都有一个唯一的代码，称为介质访问控制(MAC)地址，这个地址用于控制主机在网络上的数据通信

3.5 局域网

以太网与IEEE 802.3

以太网的 MAC 帧

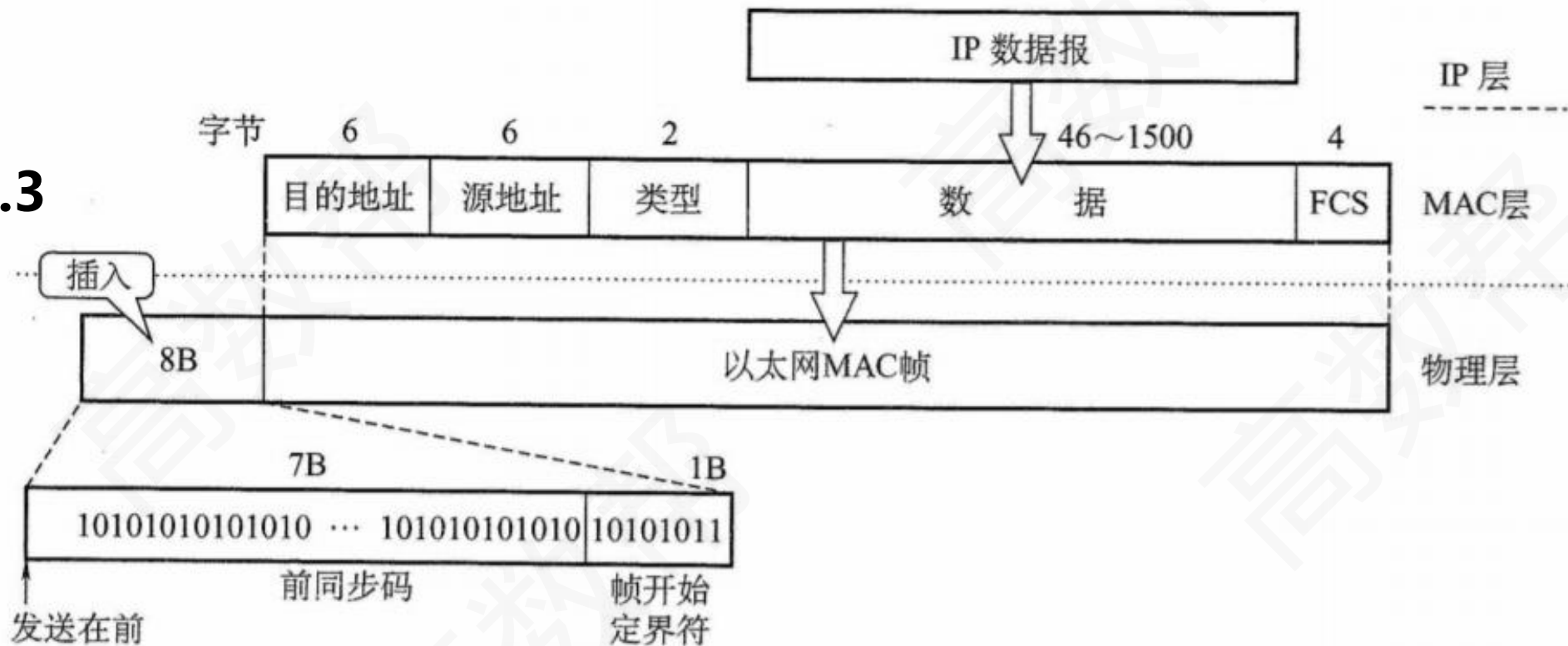


图 3.26 以太网 V2 标准的 MAC 帧格式

地址：通常使用 6 字节（48bit）地址（MAC地址）

数据：46 ~ 1500字节，包含高层的协议消息。由于CSMA/CD算法的限制，以太网帧必须满足最小长度要求 64 字节，数据较少时必须加以填充（0 ~ 46 字节）

3.5 局域网

以太网与IEEE 802.3

高速以太网

1、100BASE-T 以太网

支持全双工方式，又支持半双工方式，可在全双工方式下工作而无冲突发生。因此，在全双工方式下不使用 CSMA/CD 协议。

2、吉比特以太网

在半双工方式下使用CSMA/CD协议（全双工方式不需要使用CSMA/CD协议）

3、10吉比特以太网

只工作在全双工方式，因此没有争用问题，也不使用CSMA/CD 协议

3.6 广域网

广域网的基本概念

广域网通常是指覆盖范围很广（远超一个城市的范围）的长距离网络，局域网可以通过广域网与另一个相隔很远的局域网通信

广域网由一些结点交换机及连接这些交换机的链路组成

局域网使用的协议主要在数据链路层（还有少量在物理层），而广域网使用的协议主要在网络层

3.6 广域网

广域网和局域网的区别与联系

	广域网	局域网
覆盖范围	很广，通常跨区域	较小，通常在一个区域内
连接方式	结点之间都是点到点连接，但为了提高网络的可靠性，一个结点交换机往往与多个结点交换机相连	普遍采用多点接入技术
OSI参考模型层次	三层：物理层，数据链路层，网络层	两层：物理层，数据链路层
联系与相似点	1、广域网和局域网都是互联网的重要组成构建，从互联网的角度上看，二者平等（不是包含关系） 2、连接到一个广域网或一个局域网上的主机在该网内进行通信时，只需要使用其网络的物理地址	
着重点	强调资源共享	强调数据传输

3.6 广域网

广域网的基本概念

广域网中的一个重要问题是路由选择和分组转发。**PPP 协议**和**HDLC 协议**是目前最常用的两种广域网数据链路层控制协议



视频讲解更清晰

3.6 广域网

PPP 协议

组成部分：

- 1、**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
- 2、**网络控制协议**（NCP）。PPP协议允许同时采用多种网络层协议，每个不同的网络层协议要用一个相应的 NCP 来配置，为网络层协议建立和配置逻辑连接
- 3、一个将IP数据报**封装**到串行链路的方法。IP数据报在PPP帧中就是其信息部分，这个信息部分的长度受最大传送单元（MTU）的限制。

PPP是**面向字节**的，当信息字段出现和标志字段一致的比特组合时，采用字节填充法

3.6 广域网

PPP 协议

状态:

当线路处于静止状态时, 不存在物理层连接

当线路检测到载波信号时, 建立物理连接, 线路变为**建立状态**

LCP开始选项商定, 商定成功后就进入**身份验证状态**

双方身份验证通过后, 进入**网络状态**

采用**NCP**配置网络层, 配置成功后, 进入**打开状态**, 然后就可进行数据传输

当数据传输完成后, 线路转为**终止状态**。载波停止后则回到静止状态。

3.6 广域网

HDLC协议

HDLC 有 3 种站类型：**主站**、**从站**和**复合站**

主站负责控制链路的操作，主站发出的帧称为命令帧

从站受控于主站，按主站的命令进行操作；发出的帧称为响应帧

既具有主站的功能，又具有从站的功能，这类站称为复合站，它可以发出命令帧和响应帧

数据操作方式

正常响应方式。这是一种非平衡结构操作方式，即主站向从站传输数据，从站响应传输，但从站只有在收到主站的许可后，才可进行响应

异步平衡方式。这是一种平衡结构操作方式。在这种方式中，每个复合站都可以进行对另一站的数据传输

异步响应方式。这是一种非平衡结构操作方式。在这种方式中，从站即使未受到主站的允许，也可进行传输

3.6 广域网

PPP与HDLC的区别

PPP 协议是面向字节的，HDLC 协议是面向比特的

PPP 协议不使用序号和确认机制，只保证无差错接收（通过硬件进行 CRC 检验），而端到端差错检测由高层协议负责

HDLC 协议的信息帧使用了编号和确认机制，能够提供可靠传输



视频讲解更清晰

3.7 设备

数据链路层设备

网桥

两个或多个以太网通过网桥连接后，就成为一个覆盖范围更大的以太网，而原来的每个以太网就称为一个网段(LAN)。网桥工作在链路层的MAC子层，可以使以太网各网段成为隔离开的碰撞域

网络1和网络2通过网桥连接后，网桥接收网络1发送的数据帧，检查数据帧中的地址：

如果是网络2的地址，那么就转发给网络2

如果是网络1的地址，那么就将其丢弃，因为源站和目的站处在同一个网段，目的站能够直接收到这个帧而不需要借助网桥转发

3.7 设备

网桥

数据链路层设备

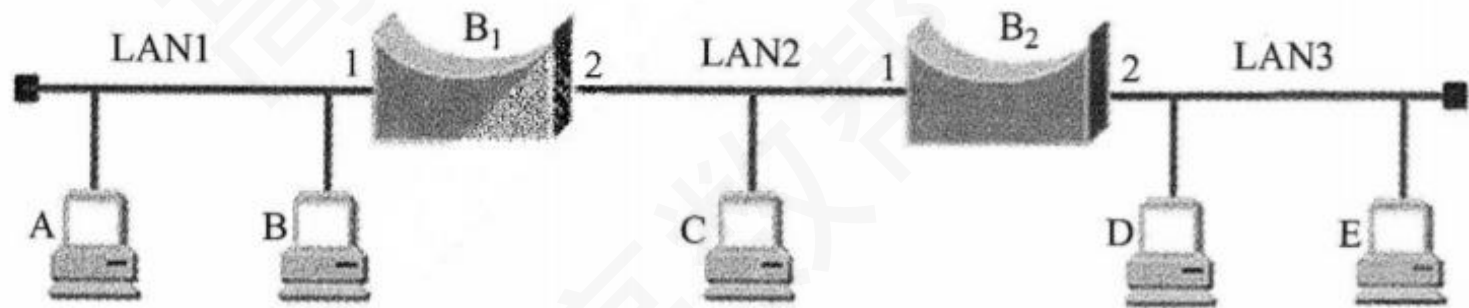
网桥的基本特点

- ①网桥必须具备寻址和路径选择能力，以确定帧的传输方向
- ②从源网络接收帧，以目的网络的介质访问控制协议向目的网络转发该帧
- ③可使用不同的物理层，可互联不同类型的局域网

3.7 设备

透明网桥（选择的不是最佳路由）

- ①如果源LAN和目的LAN相同，那么丢弃该帧
- ②如果源LAN和目的LAN不同，那么转发该帧
- ③如果目的LAN未知，那么扩散该帧

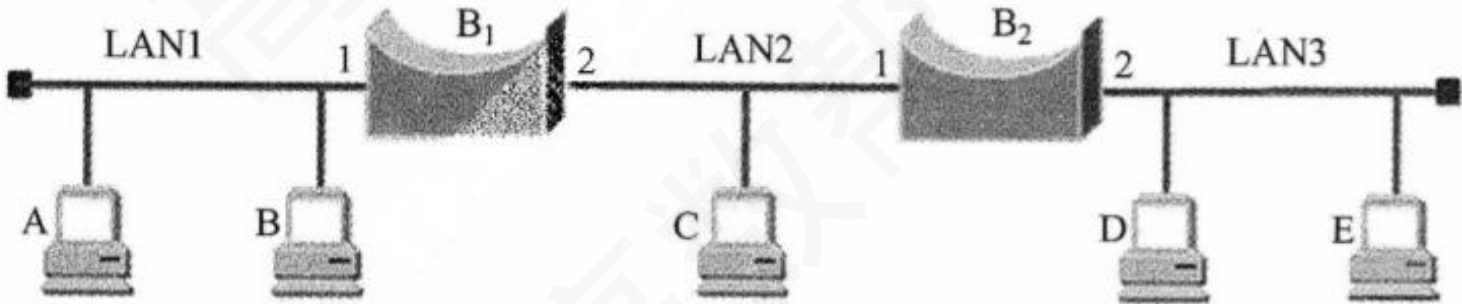


发送的帧	B1 的转发表		B2 的转发表		B1 的处理 (转发？丢弃？登记？)	B2 的处理 (转发？丢弃？登记？)
	地址	接口	地址	接口		
A→E						
C→B						
D→C						
B→A						

3.7 设备

当网桥刚连接到以太网时，其转发表是空的，网桥按照自学习算法处理收到的帧。

该算法的基本思想是：若从站A发出的帧从某端口进入网桥，那么从这个端口出发沿相反方向一定可把一个帧传送到站A



发送的帧	B1 的转发表		B2 的转发表		B1 的处理 (转发? 丢弃? 登记?)	B2 的处理 (转发? 丢弃? 登记?)
	地址	接口	地址	接口		
A→E						
C→B						
D→C						
B→A						

3.7 设备

网桥

源路由网桥（选择的是最佳路由）

路由选择由发送帧的源站负责

源路由的生成过程是：

在未知路径前，源站要先发送一个发现帧

途中的每个网桥都转发此帧，最终该发现帧可能从多个途径到达目的站

目的站也将一一发送应答帧；每个应答帧将通过原路径返回，途经的网桥把自己的标志记录在应答帧中

源站选择出一个最佳路由

局域网交换机及其工作原理

以太网交换机是一个多端口的网桥

特点：

以太网交换机的每个端口都直接与单台主机相连

以太网交换机也是一种即插即用设备（和透明网桥一样），其内部的帧的转发表也是通过自学习算法自动地逐渐建立起来的

3.7 设备

以太网交换机主要采用两种交换模式：

直通式交换机只检查帧的目的地址，这使得帧在接收后几乎能马上被传出去。这种方式**速度快**，但**缺乏智能性和安全性**，也**无法支持**具有不同速率的端口的

存储转发式交换机先将接收到的帧缓存到高速缓存器中，并检查数据是否正确，确认无误后通过查找表转换成输出端口将该帧发送出去。如果发现帧有错，那么就将其丢弃。存储转发式的优点是**可靠性高**，并能**支持不同速率端口间的转换**，缺点是**延迟较大**