

第一章 概论

1.1 计算机通信与网络发展过程

计算机通信与网络发展的四个阶段：

- 1、面向终端的计算机网络（20 世纪 50 年代中期-60 年代中期）
- 2、多台计算机互连的计算机网络（20 世纪 60 年代中期-70 年代末）
因特网的前身阿帕网（APANET）是一种分组交换网。
- 3、面向标准化的计算机网络（20 世纪 80 年代-90 年代初期）
- 4、面向全球互连的计算机网络（20 世纪 90 年代开始）

1.2 计算机通信与网络基本概念

1) 计算机网络的定义

把分布在不同地点且具有独立功能的多个计算机，通过通信设备和线路连接起来，在功能完善的网络软件运行环境下，以实现网络中资源共享为目的的系统。

2) 计算机网络的组成

（1）终端系统：由计算机、终端控制器和计算机上所能提供共享的软件资源和数据源（如数据库和应用程序）构成。

（2）通信子网：由用作信息交换的网络节点和通信线路组成的独立的数据通信系统，它承担全网的数据传输、转接、加工和变换等通信处理工作。

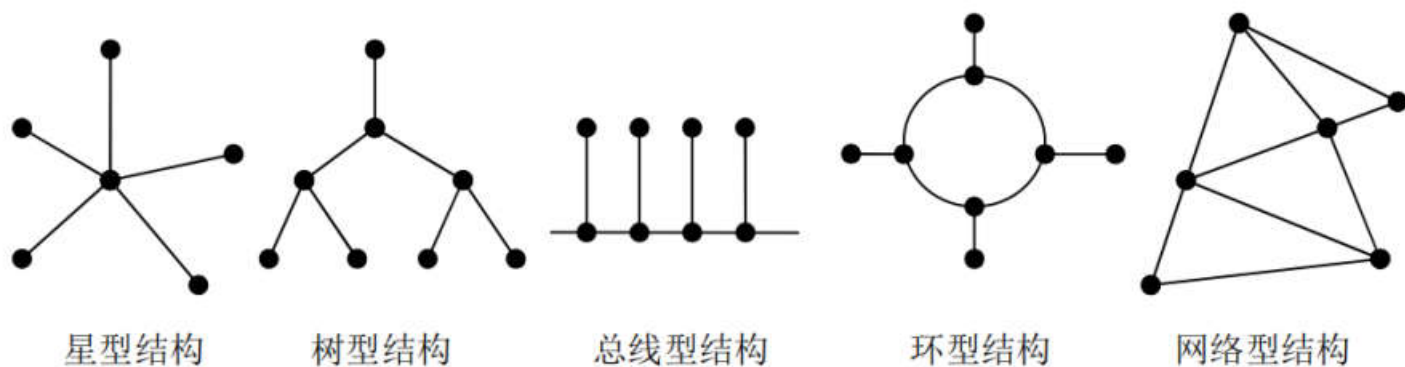
从图论角度，网络由节点和链路构成。

边缘节点（构成终端系统）：包括主机、服务器等。

中间节点（构成通信子网）：包括集线器、交换机、路由器等。

1.3 网络的类型及其特征

1) 根据网络拓扑结构分类：



2) 根据网络覆盖的范围分类:

(1) 个人区域网 (PAN): 在个人工作区把电子设备采用无线技术连接起来的网络。

(2) 局域网 (LAN): 覆盖的范围往往是地理位置上的某个区域, 一般把计算机和服务器通过高速通信线路连接起来。

(3) 城域网 (MAN): 这种网络的连接距离可以在 10-100 公里, MAN 与 LAN 相比扩展的距离更长, 连接的计算机数量更多, 在地理范围上可以说是 LAN 网络的延伸。

(4) 广域网 (WAN): 覆盖的范围比 MAN 更广, 它一般是在不同城市之间的 LAN 或者 MAN 网络互联, 地理范围可从几百公里到几千公里。

(5) 因特网 (Internet): 这种网络的最大的特点就是不定性, 整个网络的拓扑时刻随着网络的接入在不断的变化。

3) 无线网络:

无线网络与有线网络的最大不同是传输介质。与有线网络类似, 可以按覆盖的范围大小分为: 无线个域网、无线局域网、无线城域网、无线广域网。

1.4 计算机通信协议与网络体系结构

1) 通信协议与分层体系结构

1. 网络协议

网络协议的定义: 指通信双方必须遵循的、控制信息交换的规则的组合, 是一套语义和语法规则。

网络协议的组成：三要素：语法、语义、同步。

语法：指数据与控制信息的结构或格式，确定通信时采用的数据格式，编码及信号电平。

语义：指对构成协议的协议元素含义的解释。

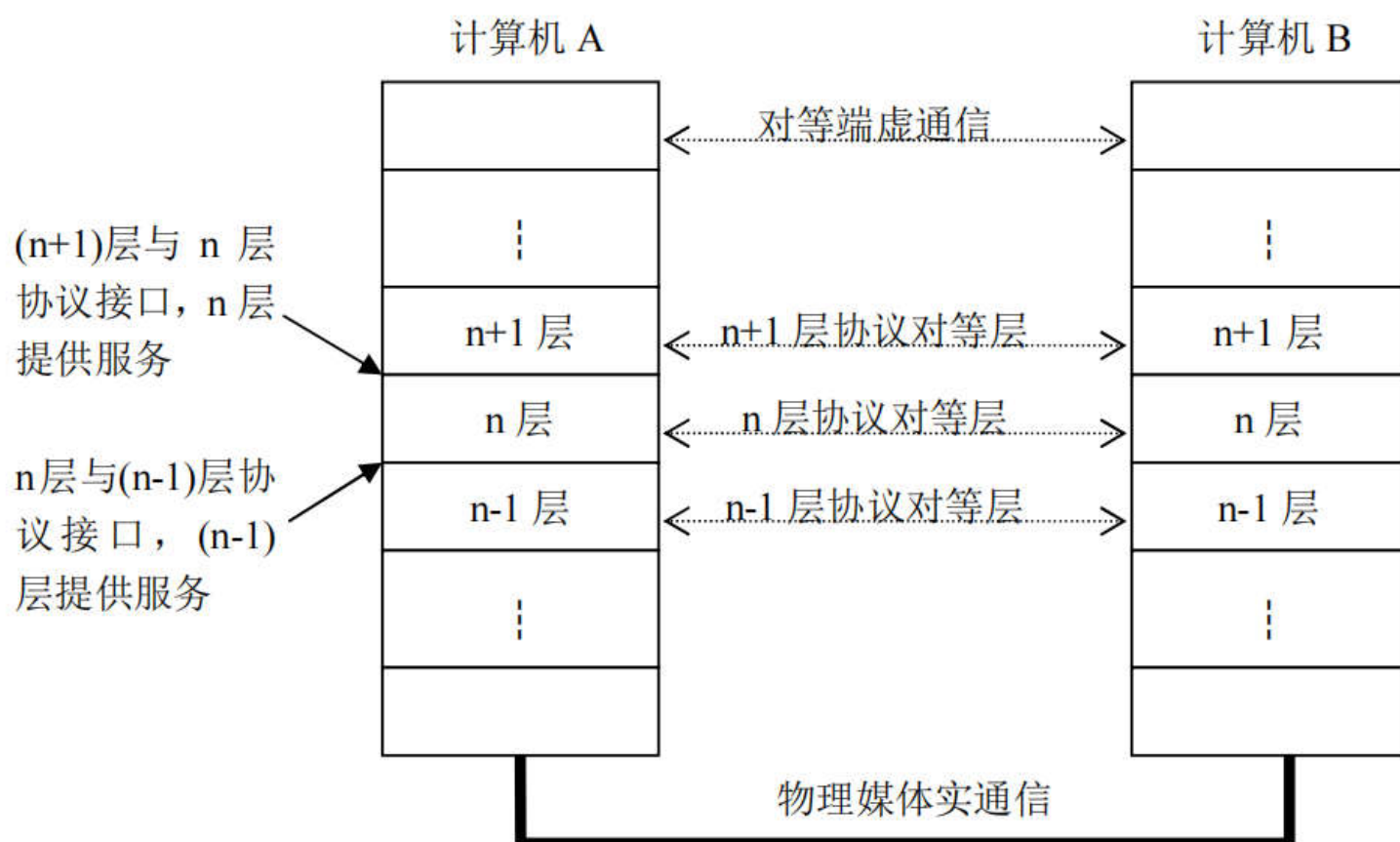
同步：规定了事件的执行顺序。

2. 协议层次模型

协议中包含实体和接口。

实体(Entity)：指通信时能发送和接收信息的任何软硬件设施；

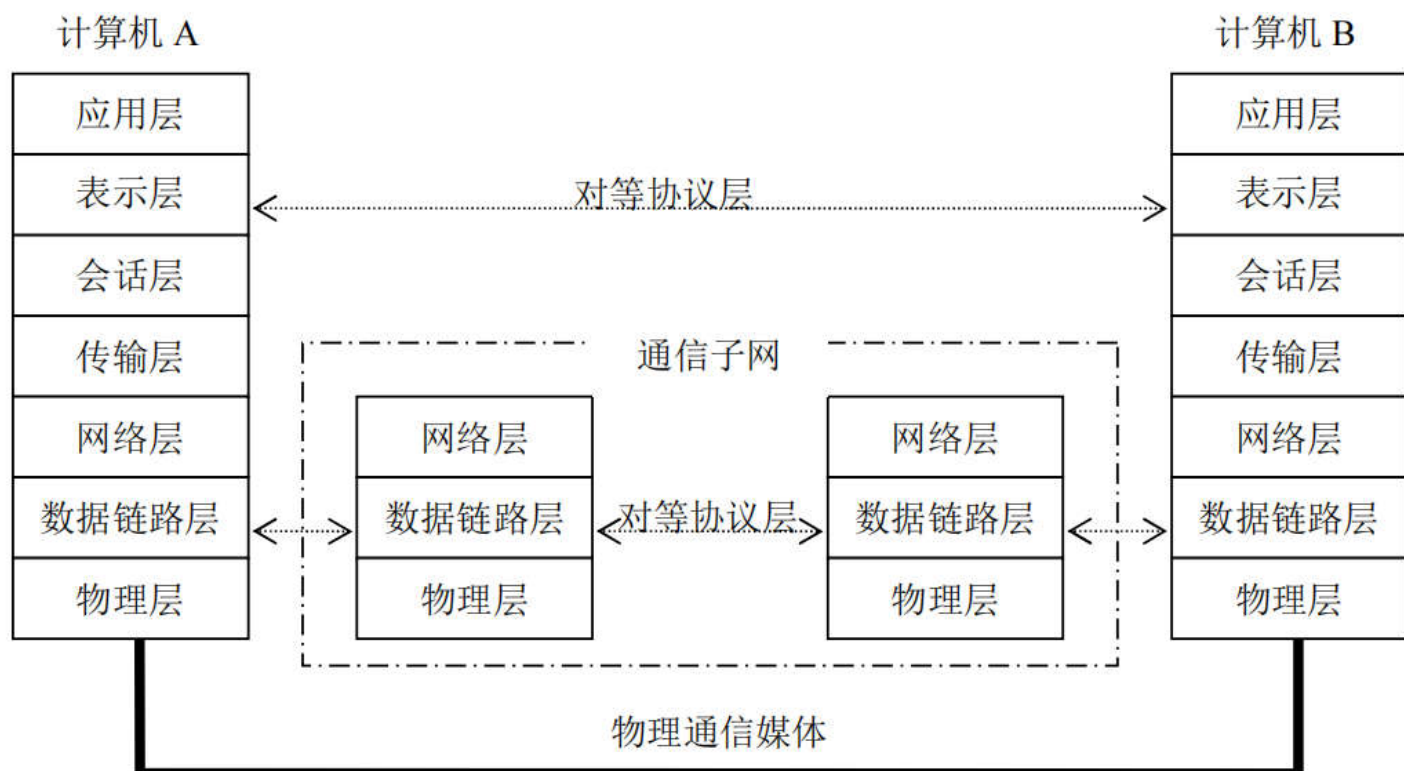
接口(Interface)：指网络分层结构中各相邻层之间的通信接口



在图中, n 层是 $n-1$ 层的用户, 又是 $n+1$ 层的服务提供者。 $n+1$ 层虽然只直接使用了 n 层提供的服务, 实际上它通过 n 层还间接地使用了 $n-1$ 层以及以下所有各层的服务。

服务是一个“垂直”的概念, 协议是一个“水平”的概念。

2) OSI-RM 体系结构



物理层：利用传输介质为通信的网络节点之间建立、维护和释放物理连接，实现比特流的透明传输，进而为数据链路层提供数据传输服务。

数据链路层：在物理层提供服务的基础上，在通信的实体间建立数据链路连接，传输以帧 (frame) 为单位的数据包，并采取差错控制和流量控制的方法，使有差错的物理线路变成无差错的数据链路。

网络层：为分组交换网络上的不同主机提供通信服务，为以分组 (packet) 为单位的数据包通过通信子网选择适当的路由，并实现拥塞控制、网络互连等功能。

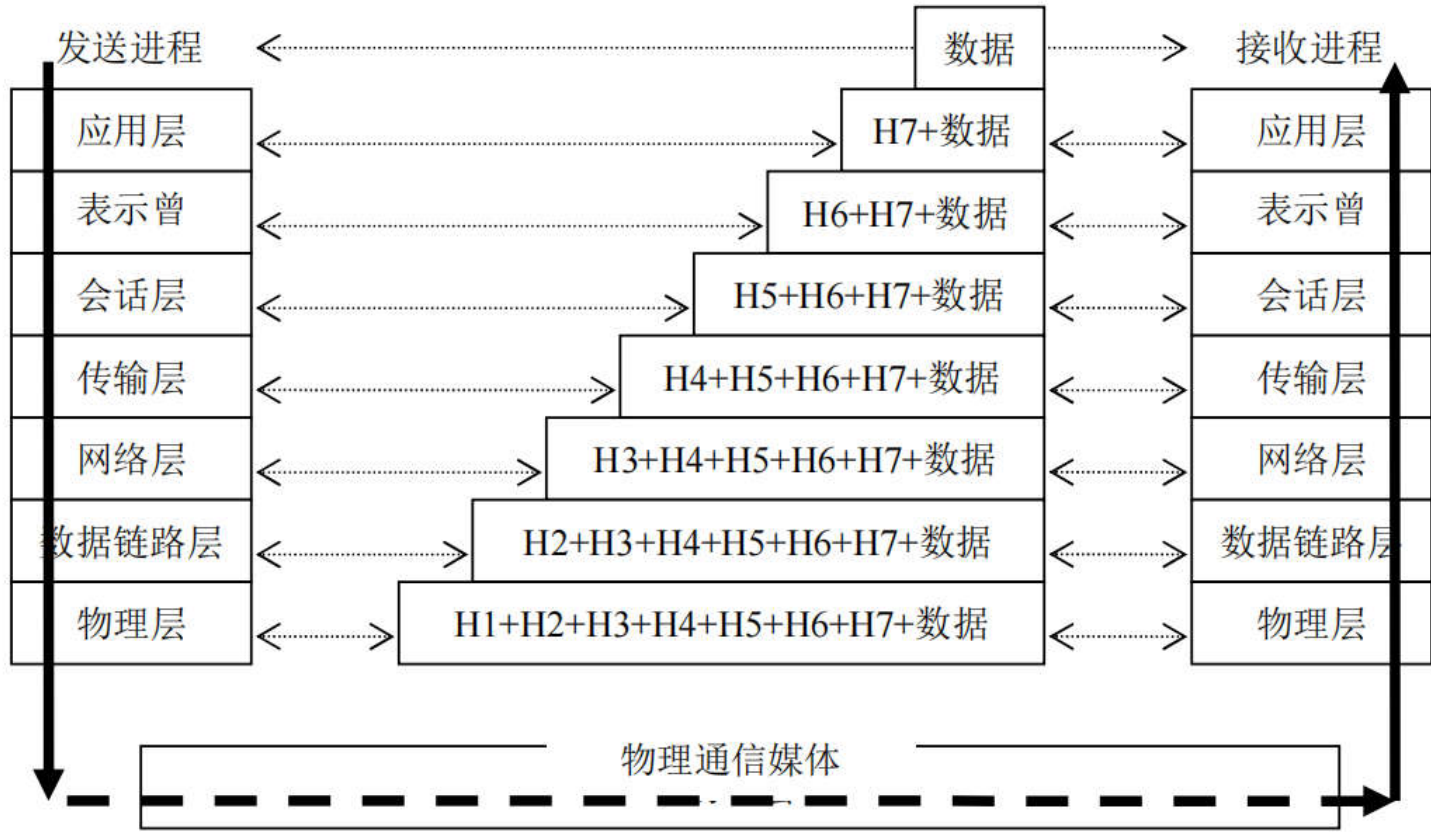
传输层：向用户提供端到端 (end-to-end) 的数据传输服务，实现为上层屏蔽低层的数据传输问题。

会话层：负责维护通信中两个节点之间的会话连接的建立、维护和断开，以及数据的交换。

表示层：用于处理在两个通信系统中交换信息的表示方式，主要包括数据格式变换、数据的加解密、数据压缩与恢复等功能

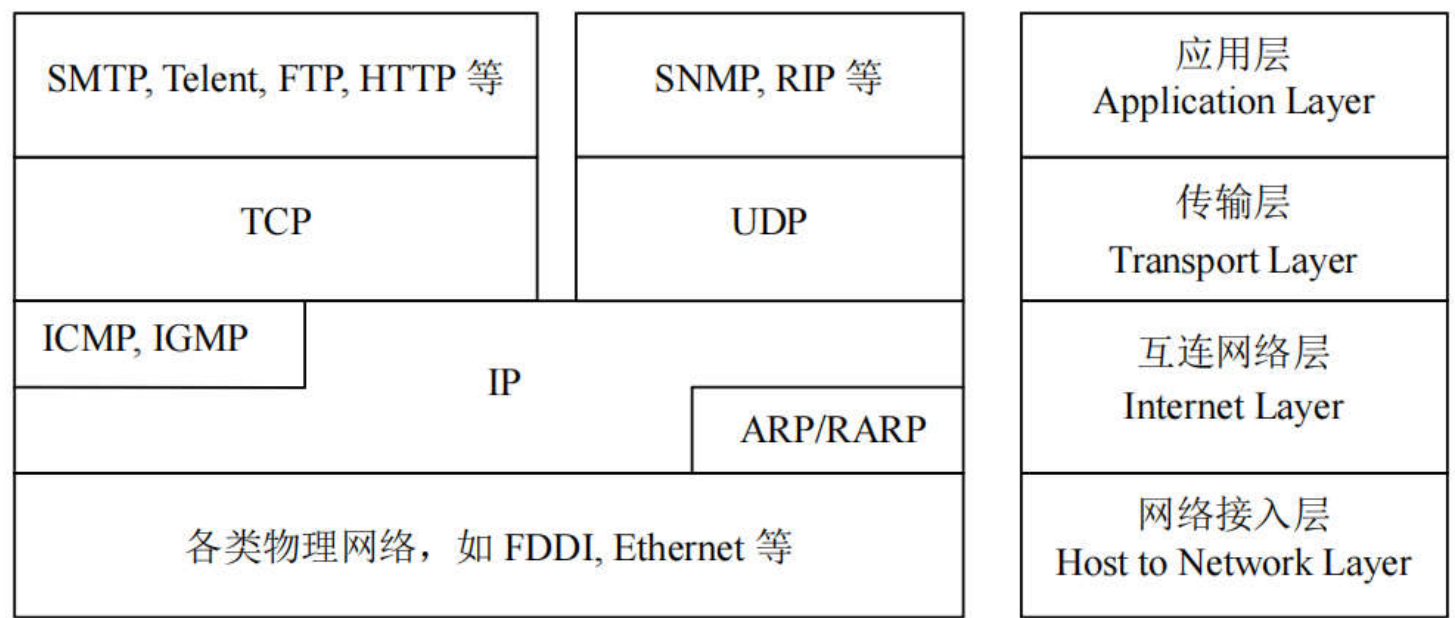
应用层：为应用程序通过网络服务，包含各种用户使用的协议

3) 层次结构模型中数据的实际传送过程



4) TCP/IP 体系结构

它包含了四个层次，从下到上分别为网络接入层、互连网络层、传输层、应用层。



5) OSI-RM 和 TCP/IP 体系结构的比较

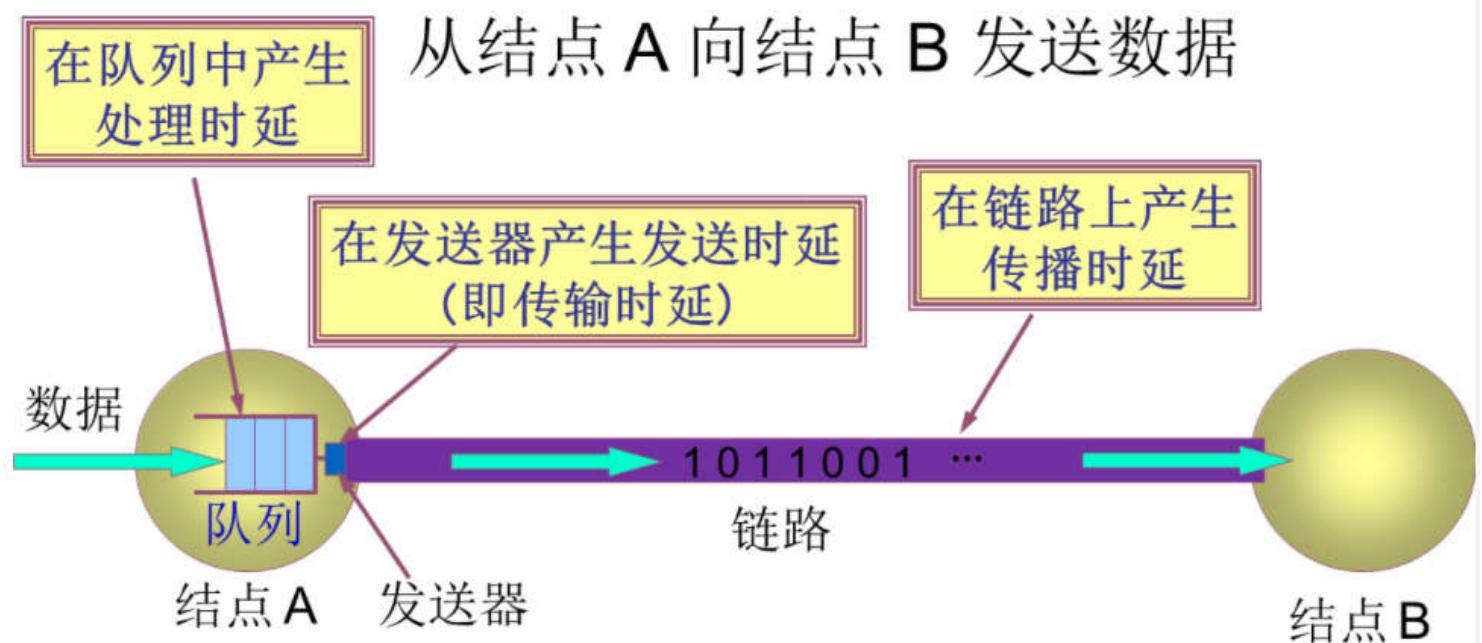
TCP/IP 协议可以为各式各样的应用提供服务 (everything over ip)

TCP/IP 协议允许在各式各样的互联网上运行 (ip over everything)

计算机 A		计算机 B
应用层		应用层
表示层		
会话层		
传输层		传输层
网络层		互连网络层
数据链路层		网络接入层
物理层		

第二章 数据通信技术基础

2.1 数据通信的基本概念



数据通信系统的技术指标

信号带宽：指信号具有的频带宽度，单位是 Hz

模拟信道的带宽：指通信线路允许通过的信号频带范围

数字信道的带宽：指所能传送的"最高数据率"，单位是 bit/s

常用的带宽单位：

千比每秒，即 kb/s (10^3 b/s)

兆比每秒，即 Mb/s (10^6 b/s)

吉比每秒，即 Gb/s (10^9 b/s)

太比每秒，即 Tb/s (10^{12} b/s)

误码率：

一定时间内接收出错的比特数 e_1 ，与总的传输比特数 e_2 之比

误组率：

一定时间内接收出错的组数 b_1 ，与总的传输组数 b_2 之比

传输时延：

传输数据时，数据块从结点进入到传输媒体所需要的时间

传输时延=数据块长度（比特）/ 信道带宽（比特/秒）

信道带宽：数据在信道上的发送速率

传播时延：电磁波在信道中需要传播一定的距离而花费的时间

传输速率和传播速率是完全不同的概念

传播时延=信道长度（米）/ 传播速率（米/秒）

处理时延：

交换结点为存储转发而进行一些必要的处理所花费的时间

处理时延的长短往往取决于网络中当时的通信量

总时延=发送时延+传播时延+处理时延

2.2 数据传输方式

并行传输：指数据以成组的方式，在多条并行信道上同时进行传输

异步传输：指不论字符所采用的代码为多少位，在发送每一个字符的数据位时，都要在前面加上起始位，表示开始；后面加上停止位，表示结束。

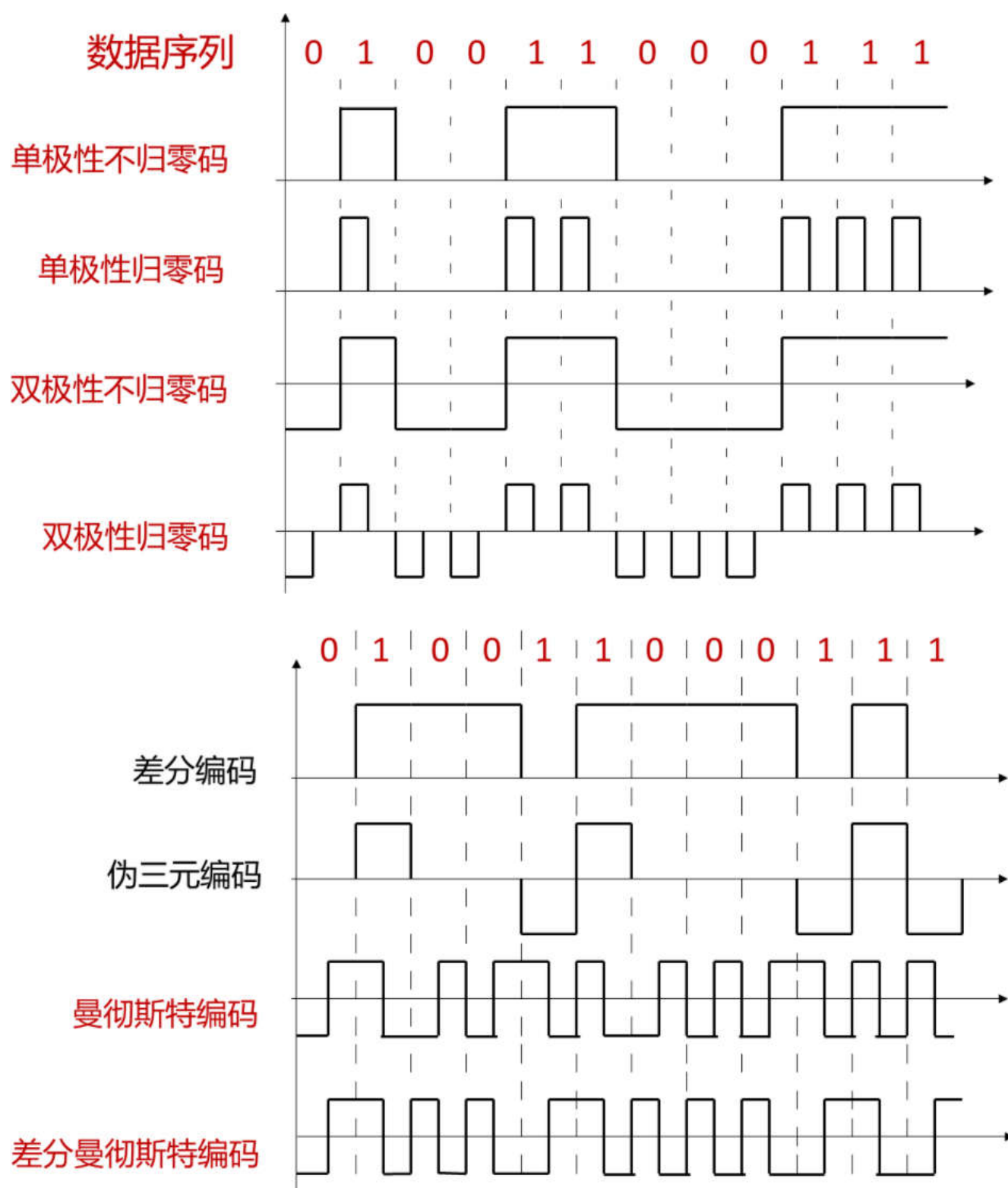
同步传输：指以固定的时钟节拍来发送数据信号。发送的数据一般以帧为单位，通常一帧数据中包含多个字符，在一帧数据的前后分别加上若干个同步字符和校验字段传输结束字符来表示一帧的开始和结束。

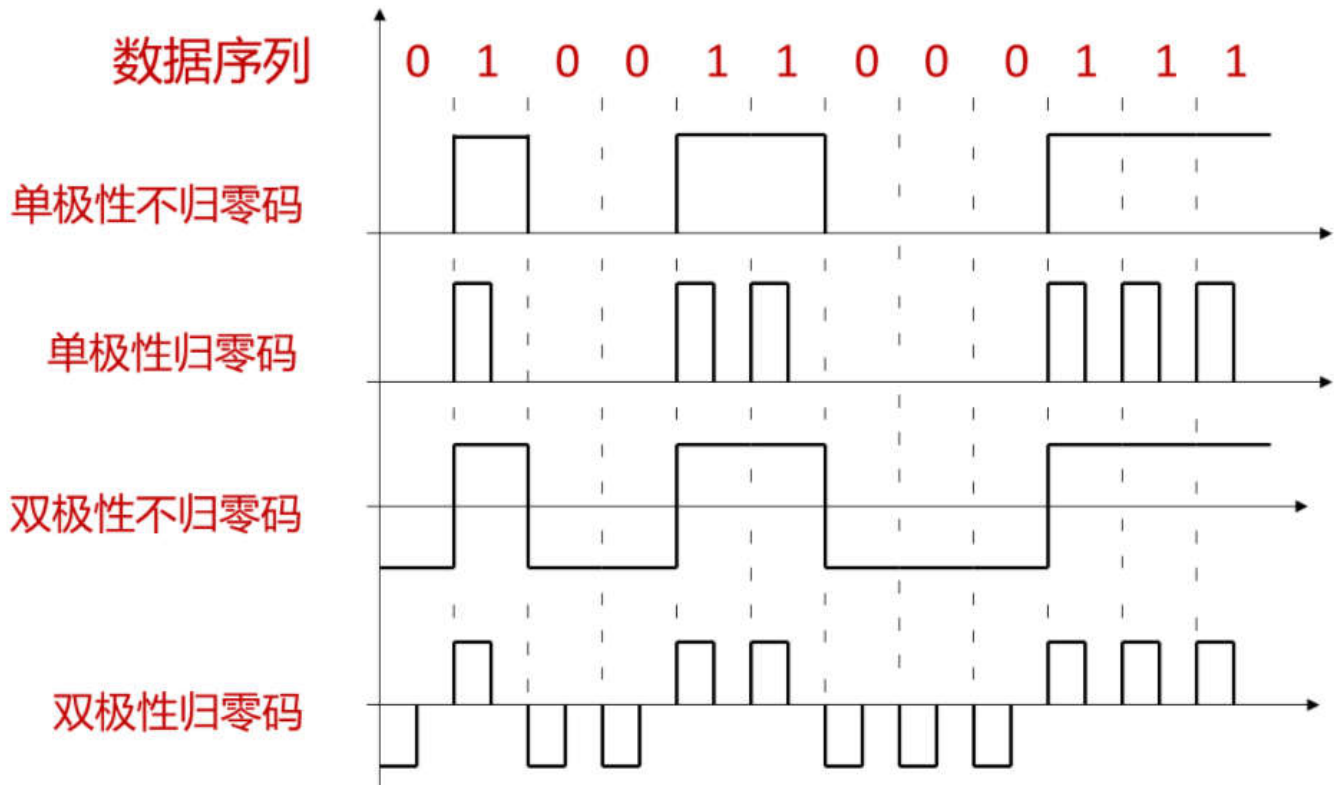
单工传输：只能有一个方向的通信而没有反方向的交互

半双工传输：通信双方都可以发送信息，但不能双方同时发送

全双工传输：通信的双方可以同时发送和接收信息

2.3 数据传送技术





信道容量的概念

在一定的条件下，给定通信路径（信道）上所能达到的最大数据传输速率

a. 奈奎斯特定理

理想低通信道的最高码元传输速率: $N = 2W \text{ Baud}$

无噪声的情况下，最大的数据传输速率: $C = 2W \log_2 M$

b. 香农定理

信道的极限信息传输速率: $C = W \log_2 (1 + S/N) \text{ b/s}$

W 为信道的带宽 (Hz)

S 为信道内信号的平均功率

N 为信道内的高斯噪声功率

信噪比 (dB) = $10 \log_{10} (S/N)$

[例2-7] 若通过一个信噪比为20dB，带宽为3kHz的信道去传送数字数据，则其数据传信速率不会超过多少？

解：根据 信噪比 (dB) = $10 \log_{10} (S/N)$,

可以得到 $S/N = 100$

按照香农公式，该信道的最大传信速率为：

$$C = W \log_2(1 + S/N) = 3000 \times \log_2(1 + 100) \\ = 3000 \times 6.66 = 19.98 \text{ kbit/s}$$

基带传输

在数据通信中，表示计算机中二进制比特序列的数字数据信号是典型的矩形脉冲信号
基本频带（基带）：矩形脉冲信号的固有频带，这矩形信号叫做基带信号

基带传输：数字信道上，计算机中的数据以矩形脉冲信号直接传送的方式

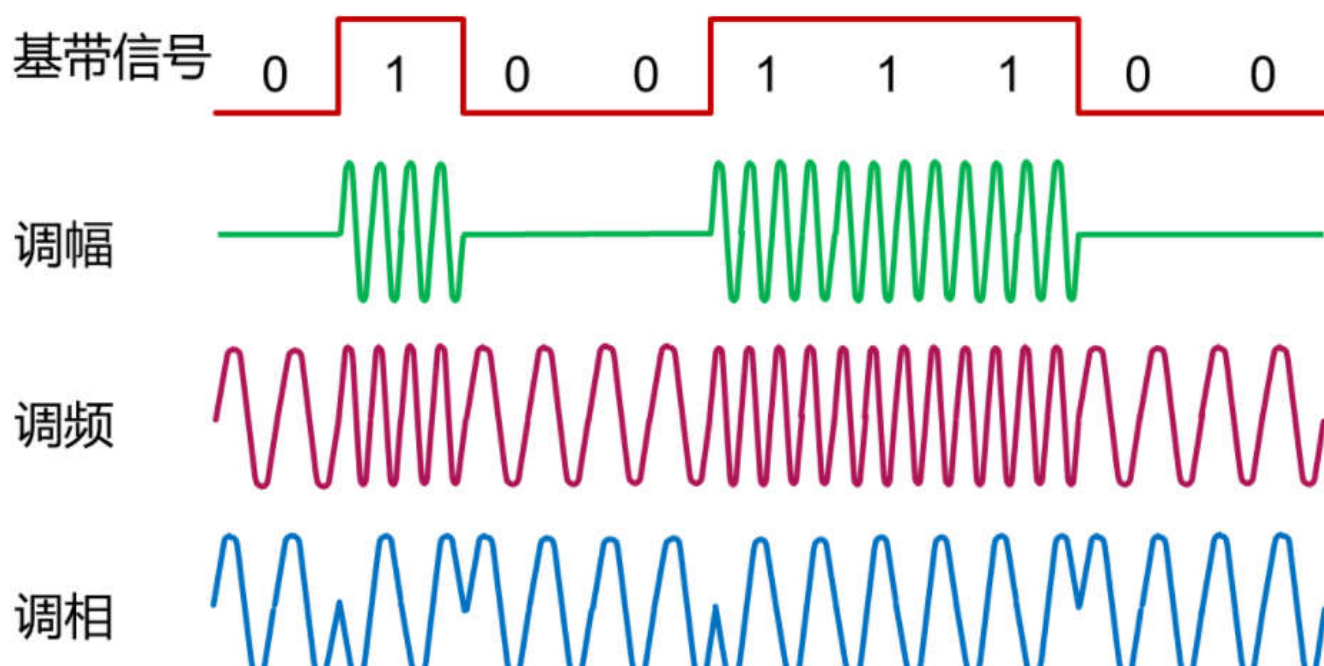
频带传输

先将基带信号变换成便于在模拟信道中传输的、具有较高频率范围的信号（频带信号），再将这种频带信号在信道中传输

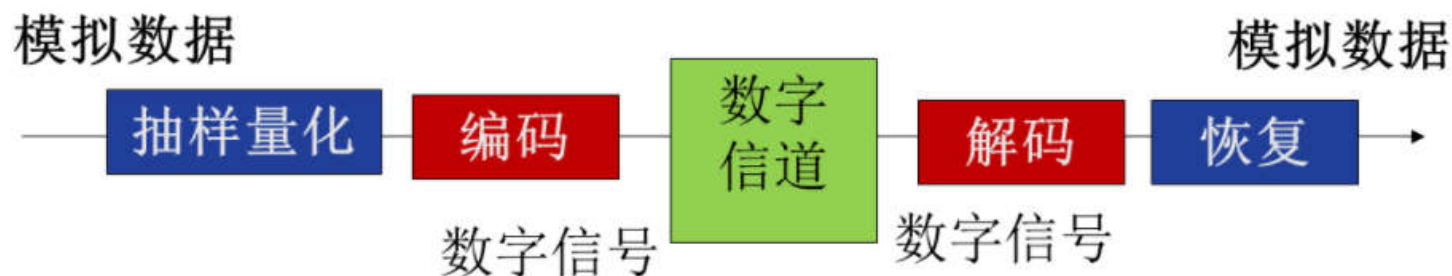
以数字数据控制载波的幅度，称为数字调幅（幅移键控），简称 ASK。

以数字数据控制载波的相位，称为数字调相（相移键控），简称 PSK。

以数字数据控制载波的频率，称为数字调频（频移键控），简称 FSK。



数字数据传输：在数字信道中传输数据信号



2.4 多路复用技术

多路复用技术是在一条传输信道中传输多路信号，提高传输媒体的利用率

1 频分复用

按频率划分不同的子信道，每个子信道占用不同的频率范围。采用调制技术，将信号搬移到信道相应的频段上

2 时分复用

静态时分复用时高速传输介质容量等于各个低速终端数据速率之和
动态时分复用是按需分配媒体资源，提高了传输媒体的利用率

3 码分复用

每个站被指派一个惟一的 mbit 码片序列

例如，S 站的 8 bit 码片序列是 00011011

S 站的码片序列：（-1-1-1 +1 +1-1 +1 +1）

每个站分配的码片序列不仅必须各不相同，并且还互相正交

码片向量和该码片向量自己的规格化内积都是 1

码片向量和该码片反码的向量的规格化内积都是-1

4 波分复用

波分复用就是光的频分复用，即在一根光纤上传输多路光载波信号

交换是一种集中和转接的概念

交换节点转发信息的方式，就称为交换方式

2.5 数据交换技术

1 电路交换

电路交换是一种实时交换，适用于实时要求高的话音通信

在通信前要通过呼叫为主、被叫用户建立一条物理连接

电路交换是预分配带宽，话路接通后，即使无信息传送也白白占电路，电路利用率低

2 报文交换

交换节点采用存储-转发方式对每份报文完整地加以处理

存储-转发时延大，随机性也大，过负荷时将会导致报文延迟

3 分组交换

可实现多路通信功能

采用统计时分多路复用，提高了线路利用率

能够实现不同类型的数据终端设备之间的通信

数据传输质量高、可靠性高，可使用优先级

2.6 差错控制技术

数据通信系统传输特性的不理想和外部干扰的存在，传输中出现差错是不可避免的

差错控制的目的：用来提高数据传输的可靠性与传输效率

变换方法不同构成了不同编码，因而产生不同差错控制方法

检错码可以发现传输错误，但不能自动纠正

纠错码可以自动纠正传输错误。差错控制是以降低效率为代价的。

纠错码：汉明码（Hamming）

检错码：恒比码、正反码、奇偶校验码、循环冗余码（CRC）

码间距离（ d ）：两个码字的对应位取值不同的个数

汉明距离（ d_0 ）：一个有效编码集中，任意两个码字的码间距离的最小值

如果要能检测 e 个差错，则编码集的汉明距离至少为 $e+1$

如果要能纠正 t 个差错，则编码集的汉明距离至少为 $2t+1$

如果要能检测 e 个差错，同时能纠正 t 个差错（ $e>t$ ），则编码集的汉明距离至少为 $e+t+1$

码长为 n ，信息位为 k ，则监督位数 $r=n-k$

r 个监督位构造出 r 个监督关系式来指示一位错码的 n 种可能位置： $2^r-1 \geq n$

或 $2^{r-1} \geq k+r+1$

S_1	S_2	S_3	出错码	S_1	S_2	S_3	出错码
0	0	0	无差错	0	1	1	c_3
0	0	1	c_0	1	0	1	c_4
0	1	0	c_1	1	1	0	c_5
1	0	0	c_2	1	1	1	c_6

明码偶校验关系：

$$S_1 = c_6 \oplus c_5 \oplus c_4 \oplus c_3$$

$$S_2 = c_6 \oplus c_5 \oplus c_3 \oplus c_1$$

$$S_3 = c_6 \oplus c_4 \oplus c_3 \oplus c_0$$

[例2-8]假如在接收端收到码字00000111，请判断是否有错？如何纠正？

解：按校正因子的计算式 可得：

$$S_1 = c_6 \oplus c_5 \oplus c_4 \oplus c_2 = 0,$$

$$S_2 = c_6 \oplus c_5 \oplus c_3 \oplus c_1 = 1,$$

$$S_3 = c_6 \oplus c_4 \oplus c_3 \oplus c_0 = 1,$$

因为三个校正因子不全为0，说明码字有错，

错误位置为 $S = S_1 S_2 S_3 = 011$ ，即信息位 c_3 有错，将 c_3 上的0变为1，即可纠正错误。最后去掉校验位，得到正确信息位为 **0001**。

[例] 若收发双方采用汉明码，已知 (7,4) 汉明码中校正子与错码位置如题4-2表所示。该 (7, 4) 汉明码中一共有 16 个许用码组，编码效率是 57.1%。其中的一个许用码组，若信息位为 1101，则其对应的监督位应该是 010。若接收端收到一个码组 $a_6a_5a_4a_3a_2a_1a_0$ 为 1001010（假如只有一个比特出错），则其校正子为 110，所以可以把该码组纠正为 1101010。

循环冗余码：一种特殊的线性分组码，具有较高的检错能力。

循环冗余码各码组中的码元循环左/右移，仍然是一个许用码组，称为循环性。

[例2-9] 一个报文的比特序列为1101011011通过数据链路传输，采用CRC进行差错检测，如所用的生成多项式为 $g(x) = x^4 + x + 1$ ，试说明：

- 1) CRC码的产生过程及所产生的发送序列；
- 2) CRC码的检测过程（有差错及无差错）。

解：生成多项式为 $g(x) = x^4 + x + 1$ ，则其编码为10011， $r = 4$ 。

因为 $r = 4$ ，所以CRC校验码是4位的。

对于报文1101011011，将其左移4位，即在报文末尾加4个“0”，这等于报文乘以 2^4 ，然后被生成多项式模2除。

<div style="text-align: right; margin-bottom: 10px;">1100001010</div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="text-align: right; margin-right: 10px;">10011</div> <div style="border-left: 1px solid black; padding-left: 10px;"> <div style="text-align: right;">11010110110000</div> <div style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">10011</div> <div style="text-align: right;">1011</div> <div style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">10011</div> <div style="text-align: right;">10110</div> <div style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">10011</div> <div style="text-align: right;">10100</div> <div style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">10011</div> <div style="text-align: right;">1110</div> </div> </div> <p style="margin-top: 10px;">生成发送序列</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="text-align: right; margin-right: 10px;">11010110110000</div> <div style="text-align: right; margin-right: 10px;">+</div> <div style="text-align: right; margin-right: 10px;">1110</div> <div style="border-left: 1px solid black; padding-left: 10px;"> <div style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">11010110111110</div> </div> </div>	<div style="text-align: right; margin-bottom: 10px;">1100001010</div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="text-align: right; margin-right: 10px;">10011</div> <div style="border-left: 1px solid black; padding-left: 10px;"> <div style="text-align: right;">11010110111110</div> <div style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">10011</div> <div style="text-align: right;">10011</div> <div style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">10011</div> <div style="text-align: right;">10111</div> <div style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">10011</div> <div style="text-align: right;">10011</div> <div style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">10011</div> <div style="text-align: right;">00000</div> <div style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">00000</div> <div style="text-align: right;">0000</div> </div> </div> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;">无差错</p>	<div style="text-align: right; margin-bottom: 10px;">1100001010</div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="text-align: right; margin-right: 10px;">10011</div> <div style="border-left: 1px solid black; padding-left: 10px;"> <div style="text-align: right;">11010110110110</div> <div style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">10011</div> <div style="text-align: right;">10011</div> <div style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">10011</div> <div style="text-align: right;">10110</div> <div style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">10011</div> <div style="text-align: right;">10111</div> <div style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">10011</div> <div style="text-align: right;">01000</div> <div style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">00000</div> <div style="text-align: right;">1000</div> </div> </div> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;">有差错</p>
(a) 编码		(b) 译码

仅用循环冗余检验 CRC 差错检测技术只能做到无差错接受
要做到“可靠传输”就必须再加上确认机制、重传机制

2.7 物理层接口特性

物理层协议与通信设备的接口特性密切相关，通信设备接口有机械、电气、功能、规程四个方面的特性。

机械特性：指明接口所用接线器的形状和尺寸、引线数目和排列、固定和锁定装置等

电气特性：指明在接口电缆的各条线上出现的电压的范围

功能特性：指明某条线上出现的某一电平的电压表示何种意义

规程特性：指明不同功能的各种可能事件的出现顺序和条件

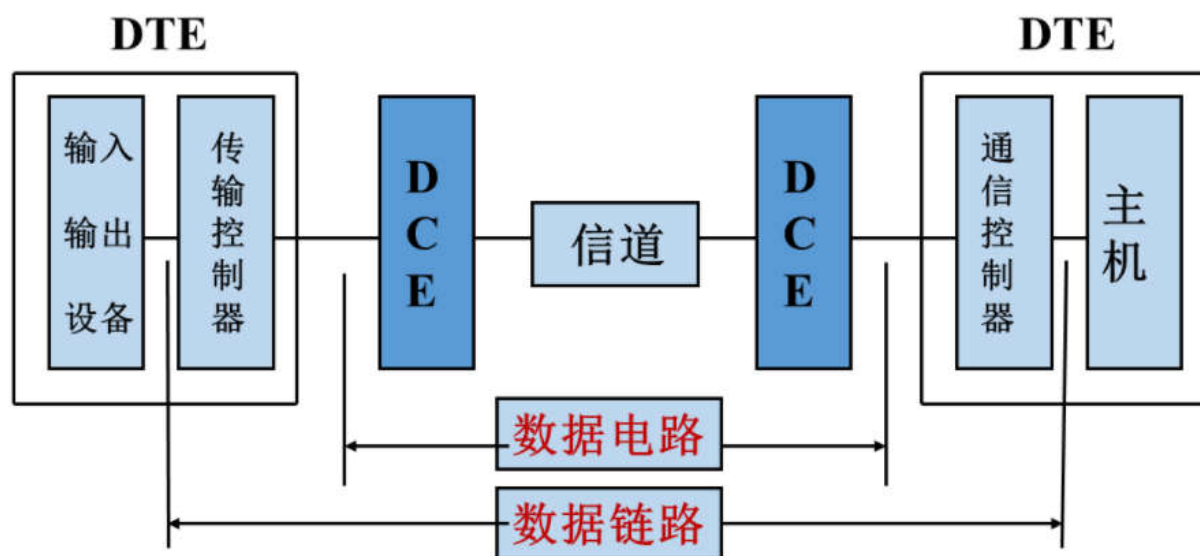
第三章 数据链路层

3.1 数据链路层的基本概念

信道：信息传输的通路（模拟或数字信道）

数据电路又称为物理链路，数据链路又称为逻辑链路

数据链路是在数据电路上增加了传输控制功能实现的



DTE：数据终端设备，输入输出，通信控制。

DCE：数据电路设备，传输信号的变换，信号控制。

只有建立数据链路，才能真正实现数据通信。

在点到点链路中，两端的站可能是主站、从站、复合站。

链路可能是不平衡结构、平衡结构。

在主从式点到多点链路中，常使用不平衡链路

在对等式点到多点链路中，常使用平衡型链路

物理层的任务是尽可能实现比特流的可靠传送，但不能保证没有错误，需要

数据链路层进行差错检测和纠正。数据链路层将较长比特流分解成多段离散

的“帧”独立地发送、接收、处理。数据链路层的协议数据单元 PDU，即传输

和处理的数据单位：帧。

3.2 流量控制和差错控制

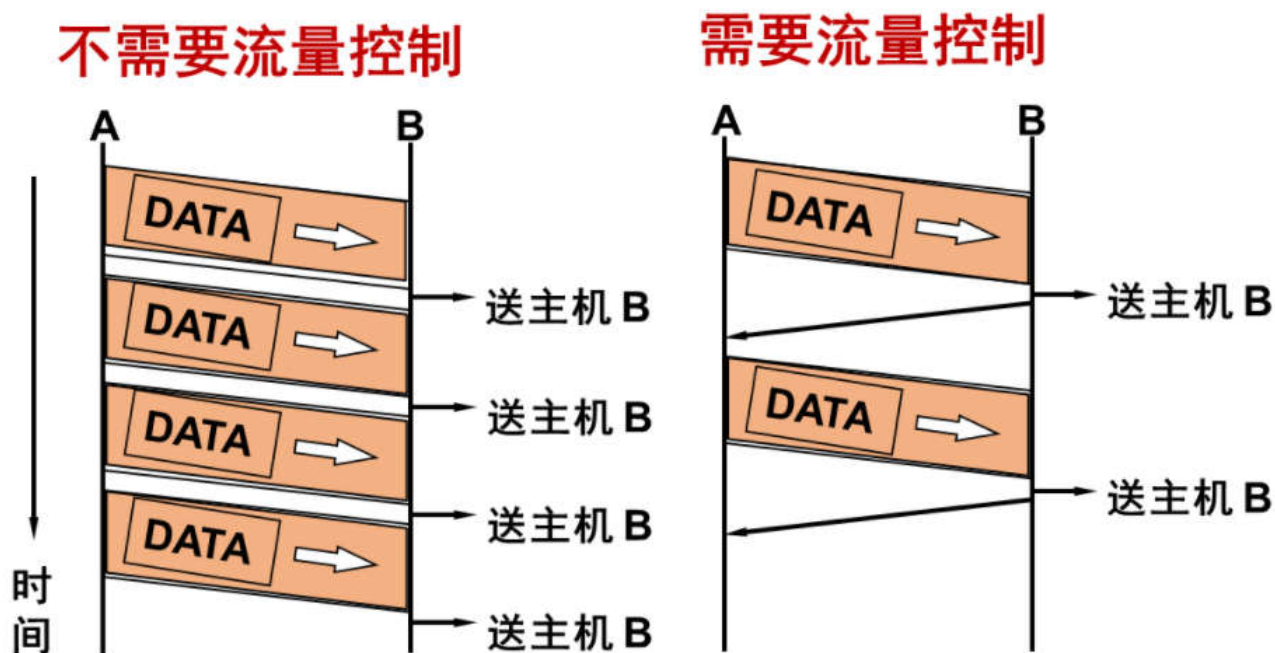
现代数据通信传输，大多数采用了存储转发的分组交换技术，由于通信的随机性和突发性，当接收方的处理能力小于发送方的发送量时，必须采用流量控制。在通信过程中，要求发送方的发送数据速率不能超过接收方接收和处理数据的速率。

1, 开关式流量控制：XON/XOFF，硬件控制信号

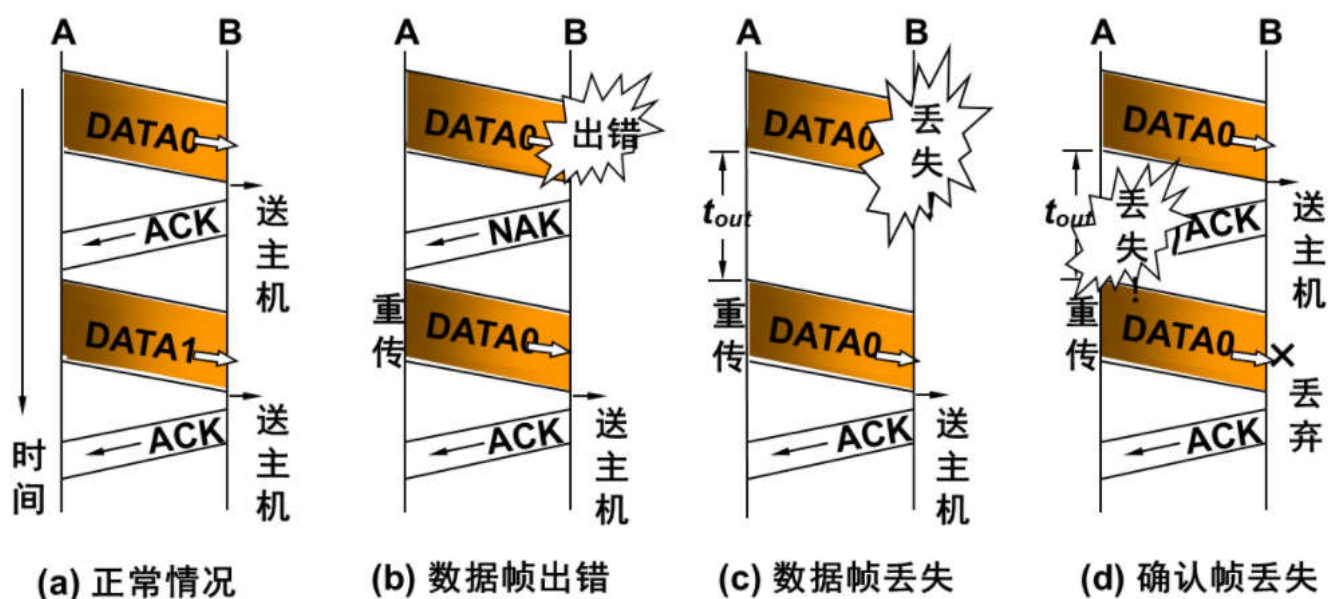
2, 协议式流量控制：ARQ 自动重发请求

1, 停止等待协议

a. 无差错的停止-等待协议情况：



b. 实用的停止-等待协议情况：



超时重发技术：结点 A 发送完一个数据帧，就启动一个定时器。若到了定时器所设置的重传时间 $t(out)$ 而仍未收到结点 B 的任何确认帧，则结点 A 就重

传前面所发送的这一数据帧。

例1. 信道速率为8kb/s，采用停止等待协议，传播时延 t_p 为20ms，确认帧长度和处理时间均可忽略，问帧长为多少才能使信道利用率达到至少50%？

解：设帧长为 L bit，则

发送时延 $t_s = L \text{ bit} / 8\text{Kbps}$ ， $t_p = 20\text{ms}$ 。

信道利用率 = $t_s / (t_s + 2 t_p) \geq 50\%$

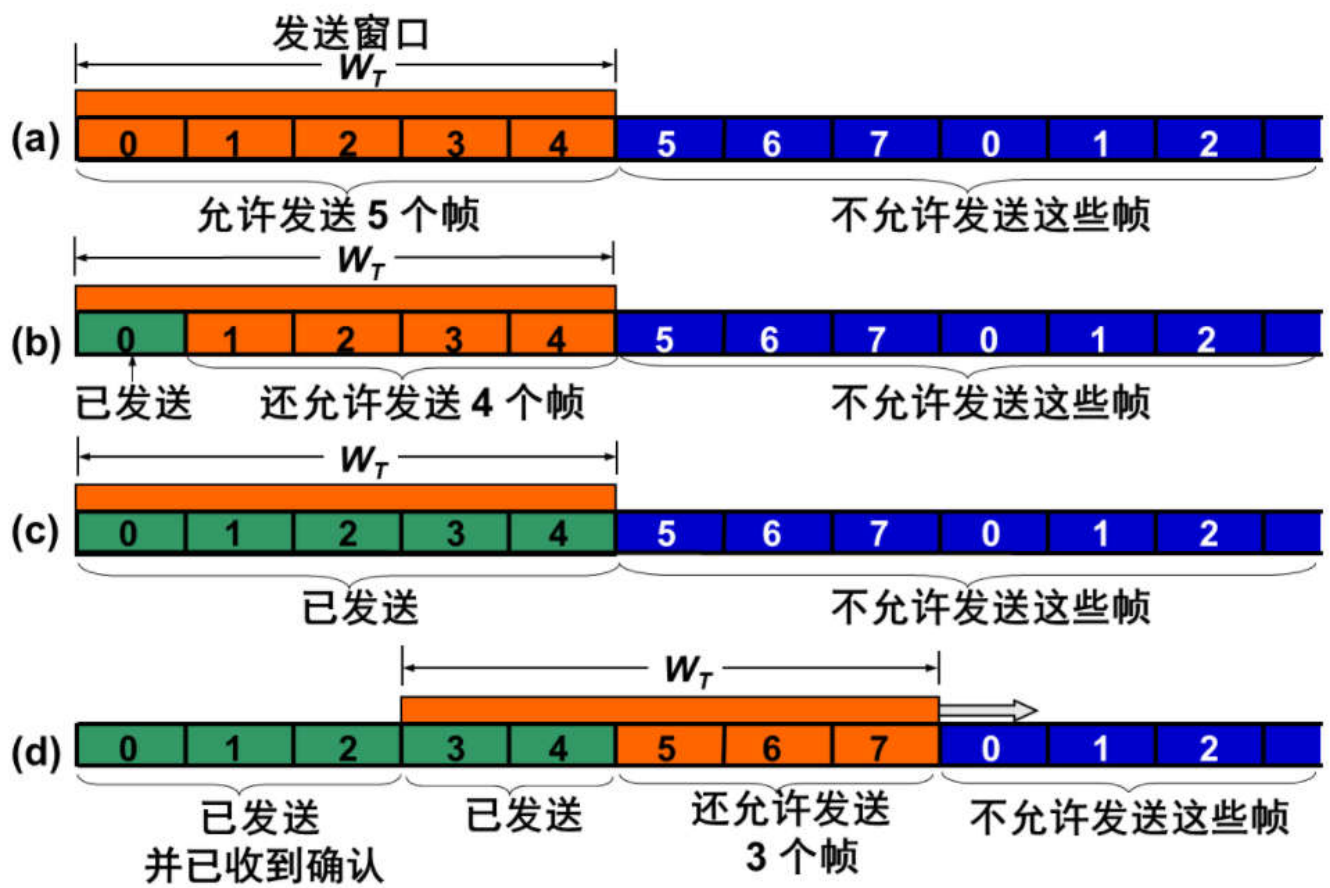
当 $t_s \geq 40\text{ms}$ 不等式成立，故帧长 L 应大于等于320 bit。

2，滑动窗口协议

滑动窗口流量控制方法

为了解决停止等待协议信道利用率低的问题，可以采用滑动窗口控制方法。当发送完一个数据帧后，发送方不是停下来等待确认帧，而是一边等待，一边继续发送若干数据帧。由于在等待确认时可以继续发送数据，减少了信道空闲时间，因而提高了整个通信过程的吞吐量。

要求发送节点设置相应发送存储单元，用于保存已发送但尚未被确认的帧，这些帧号对应着一张连续序号列表，即发送窗口。接收节点则有一张接收序号列表及相应的缓冲区，即接收窗口。帧序号对应接收窗口中的序号才可接收，否则丢弃。



连续 ARQ: 如果出现差错, 则从出现差错的数据帧开始全部重发。

接收窗口的最大值: $1 = W_r$, 发送窗口的大小 $W_t = 2^n - 1$

选择 ARQ: 如果出现差错, 则只重传出错的数据帧或计时器超时的帧。

接收窗口的最大值: $1 < W_r \leq 2^n / 2$, 当 $W_r = 2^n / 2$ 时, $W_t = 2^n / 2$

3.3 点对点信道的数据链路层协议

数据链路层协议, 又称数据链路控制规程

1, 面向比特的数据链路层协议

HDLC 的工作模式:

① NRM 正常响应模式

只有主站发起向从站的数据传输, 从站只能响应主站的询问。

② ARM 异步响应模式

允许从站发起向主站的数据传输, 但主站仍然负责全过程的初始化。

③ ABM 异步平衡模式

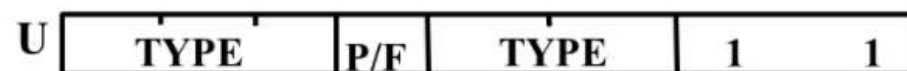
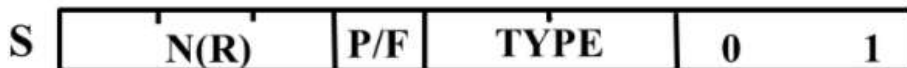
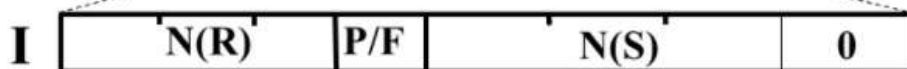
任一复合站均可发送、接收命令。

HDLC 的帧结构:

短帧



长帧



F 帧标志 01111110

A 地址字段

C 控制字段

I 信息字段

FCS 帧校验序列

① 标志字段 F：长度 8 bit（01111110）表示帧开始和结束

HDLC 的透明传输：采用“零比特自动插入/删除法”

数据中某一段比特组合恰好出现和 F 字段一样的情况

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

会被误认为是 F 字段

发送端在 5 个连 1 之后插入 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

自动插入 0 比特

在接收端将 5 个连 1 之后的 0 比特删除，恢复原样

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

在此位置删除填入的 0 比特

② 信息字段 I：长度可变，且无字段长度说明

保存高层信息（如 IP 报文），某些控制类帧可能无此字段

③ 帧校验序列 FCS：长度 16bit，也属于透明传输范围

差错控制，使用 CRC 校验

HDLC 的监视帧的作用：

REJ 帧：在连续 ARQ 中用于拒绝收到出错的帧。

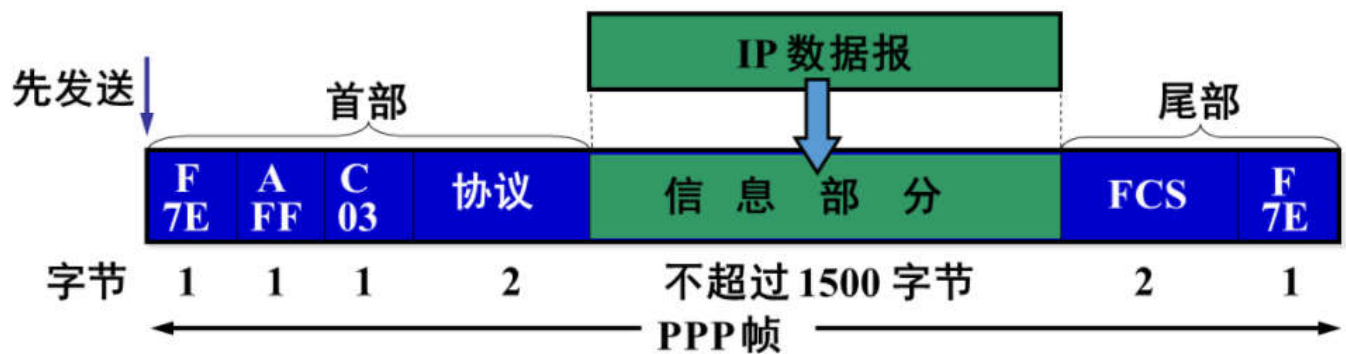
SREJ 帧：在选择 ARQ 中要求选择重发出错的帧。

2. 面向字符的数据链路层协议

现在使用得最多的是点到点协议 PPP（Point-to-Point Protocol）

PPP 包含三个组成部分：将 IP 数据报封装到串行链路的方法、链路控制协议 LCP、网络控制协议 NCP

PPP 的帧格式：



2 字节的协议字段，用于指示帧的信息字段中所携带的内容。

当 PPP 用同步传输链路时，协议规定采用硬件来完成比特填充（零比特自动插入/删除法）

当 PPP 用异步传输链路时，就使用一种特殊的字符填充法：

- ① 将 0x7E 转变成为 2 字节序列（0x7D，0x5E）
- ② 将 0x7D 转变成为 2 字节序列（0x7D，0x5D）
- ③ 若出现小于 0x20 的字符，则在前面加入一个 0x7D 字节，同时将编码加以改变

3.4 多路访问信道的数据链路层

多点接入：指多个通信实体共享公共的传输信道实现多对实体之间的通信和资源共享

访问：指在两个实体之间建立联系并交换数据信息

介质访问控制方式：指分配公共传输信道使用权限的机理、策略和算法。

信道共享技术：

指如何分配使用公共信道资源的方法，有静态分配、动态分配。

多路访问技术：

指多个计算机系统共享公共信道资源的方法，有受控访问、随机访问。

竞争系统的介质访问控制方法：

ALOHA： 纯 ALOHA、时隙 ALOHA

非坚持 CSMA： 发现信道忙则不再持续侦听，等待随机长时间后，再重新开始侦听/发送过程

1-坚持 CSMA： 发现信道忙则持续侦听，直至信道空闲；等到信道空闲后发送数据（概率为 1）

P-坚持 CSMA： 发现信道忙则持续侦听，直至信道空闲；等到信道空闲后发送数据（概率为 P）或推迟发送（概率为 $1-P$ ）

改进的 CSMA： CSMA/CD，CSMA/CA

第 4 章 局域网与广域网

4.1 局域网的基本概念

传输媒体： 指用于连接网络设备的介质类型

传输技术： 指借助传输媒体进行数据通信的技术

网络拓扑： 指物理结构和形状

媒体访问控制方法： 指多台计算机对传输媒体的访问控制方法

基带传输： 不经过调制，直接将数字信号波形加载到传输媒体上进行传输。

通常采用经过曼彻斯特或差分曼彻斯特编码的数字信号。

宽带传输： 将待传输的数字信号波形调制到合适的中心频率上，可以支持信道的频分复用和信号的多路传输。

局域网中通常采用前者。

有线传输媒体有双绞线、同轴电缆、光纤等。

无线传输媒体有微波、红外线、激光等。

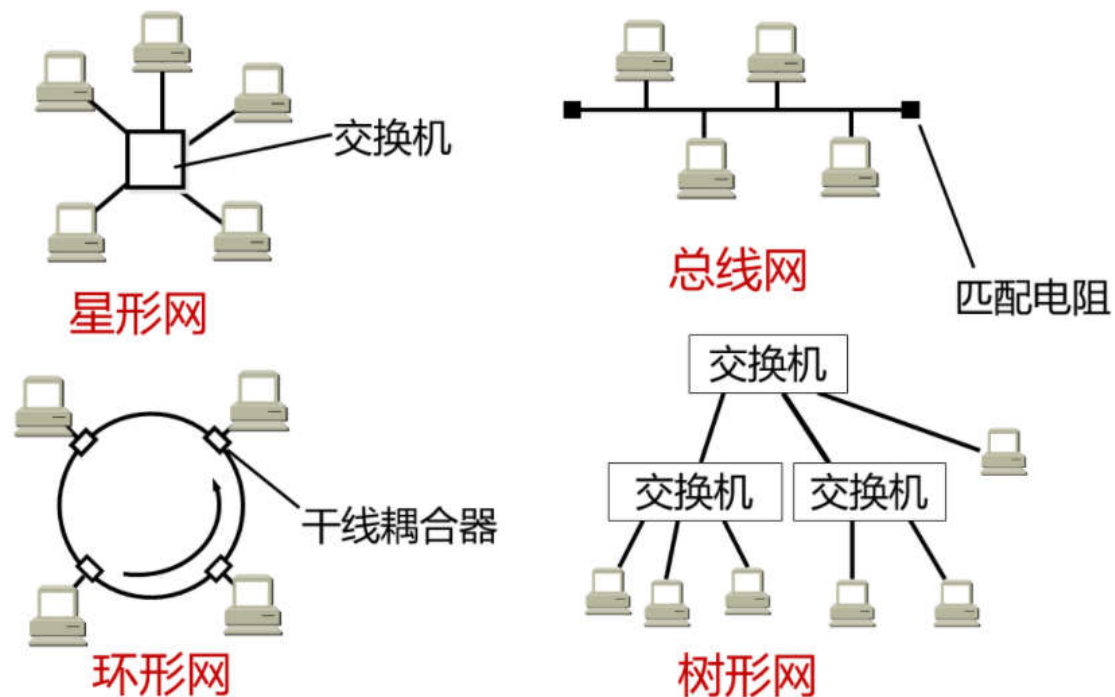
局域网（LAN）： 指将分散在一个局部地理范围的多台计算机通过传输媒体连接起来的通信网络，其目的是实现局部范围的资源共享与相互通信。

星型（Star）： 局域网所有站点的通信都通过中心站点。

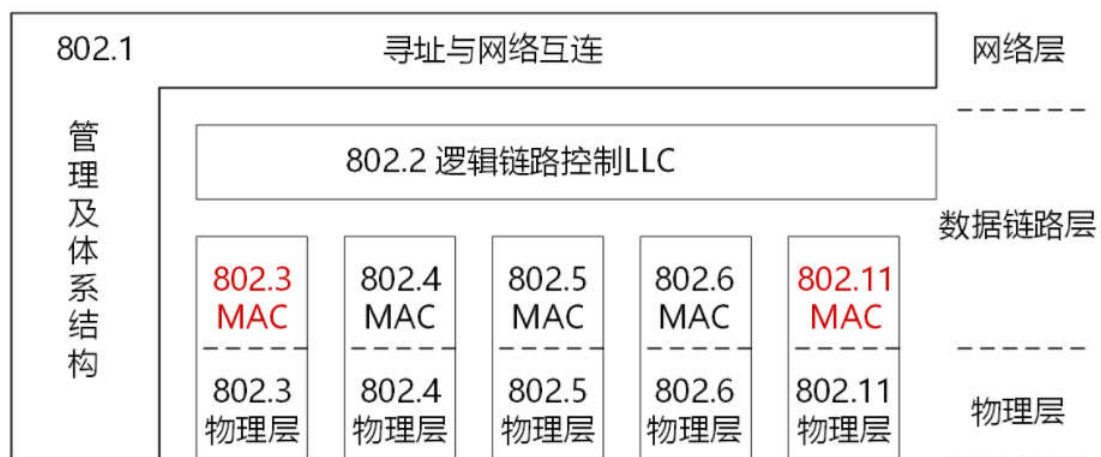
环型（Ring）：控制简便，结构对称性好，传输速率高。如：IBM 令牌环网

总线型（Bus）：采用广播式多路访问方法，结构简单，可靠性高，扩展性好。如：采用集线器组网

树型（Tree）：分层结构，扩展性好，寻址方便。



IEEE 802 系列标准之间的逻辑关系



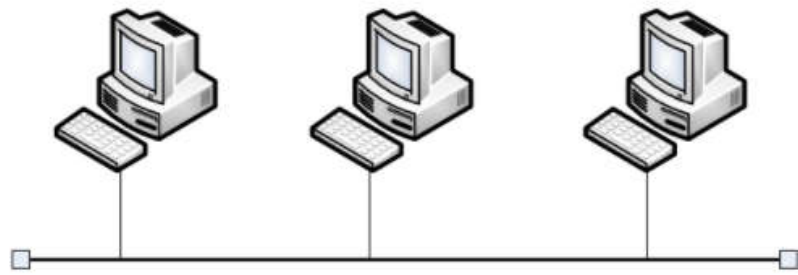
4.2 以太网技术

以太网：以 CSMA/CD 方式工作的一种总线式局域网。

以太网的工作参数：争用期时隙、帧间隔、尝试次数、退避限制数、阻塞信号、最大帧长、最小帧长、地址长度。

目前正广泛采用双绞线作为传输媒体，在物理上呈现以集线器为中心的星形拓扑结构，但在逻辑上仍然属于总线式的。

以太网采用的总线式拓扑结构：



MAC 地址：局域网中的每台主机必须具有一个可唯一标识其地址的标识符。

MAC 帧格式：MAC 层协议数据单元的格式。

CSMA/CD 的工作过程：主要说明 MAC 协议的具体实现步骤。

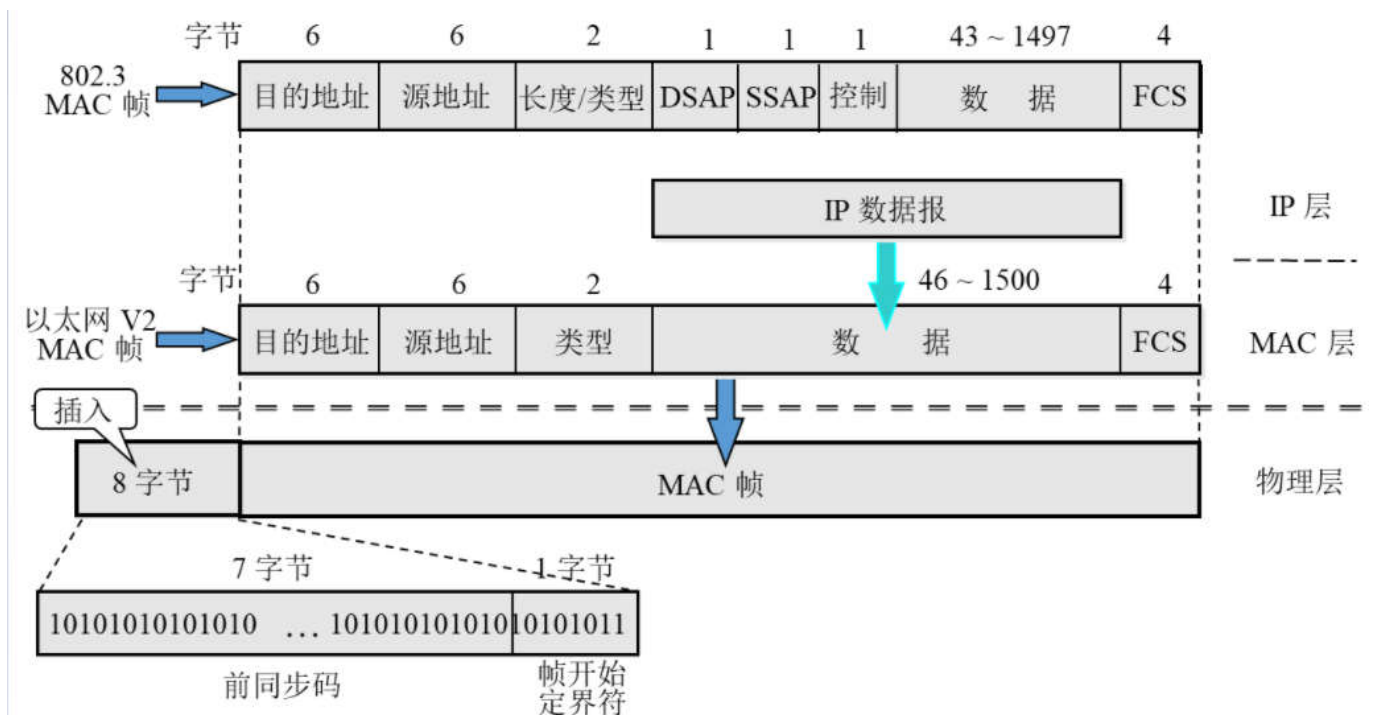
1，发往本站的帧包括以下三种：

单播帧（一对一）、广播帧（一对全体）、多播帧（一对多）

2，常用的以太网 MAC 帧格式有两种标准：

以太网 DIX v2 标准、IEEE 802.3 标准

3，最常用的 MAC 帧是以太网 V2 的格式：



4，二进制指数退避算法：

第 1 次冲突：0~1（即 2^1-1 ）

第 2 次冲突：0~3（即 2^2-1 ）

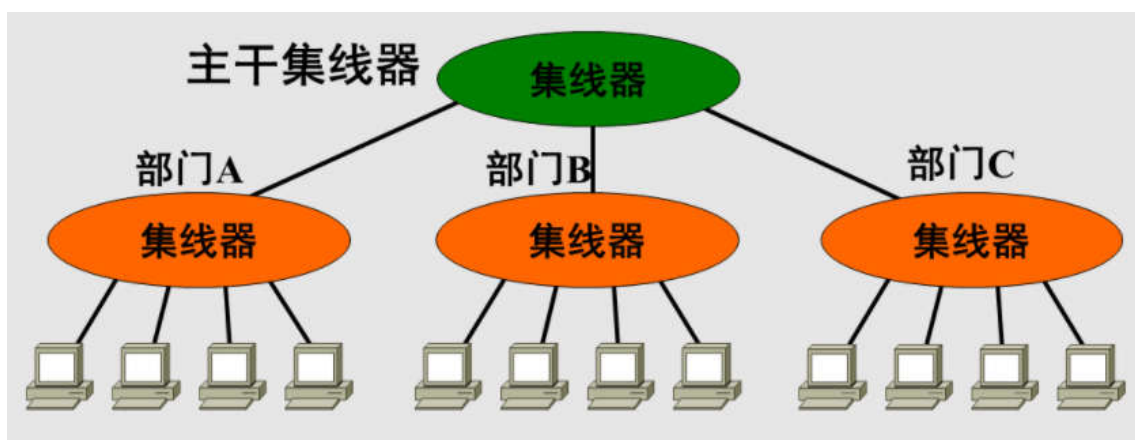
第 10 次冲突：0~1023（即 $2^{10}-1$ ）

第 16 次冲突：仍不成功则放弃，并报告上层。

4.3 局域网的扩展

1，在物理层扩展局域网

目标：部门局域网互联。方法：引入主干集线器。



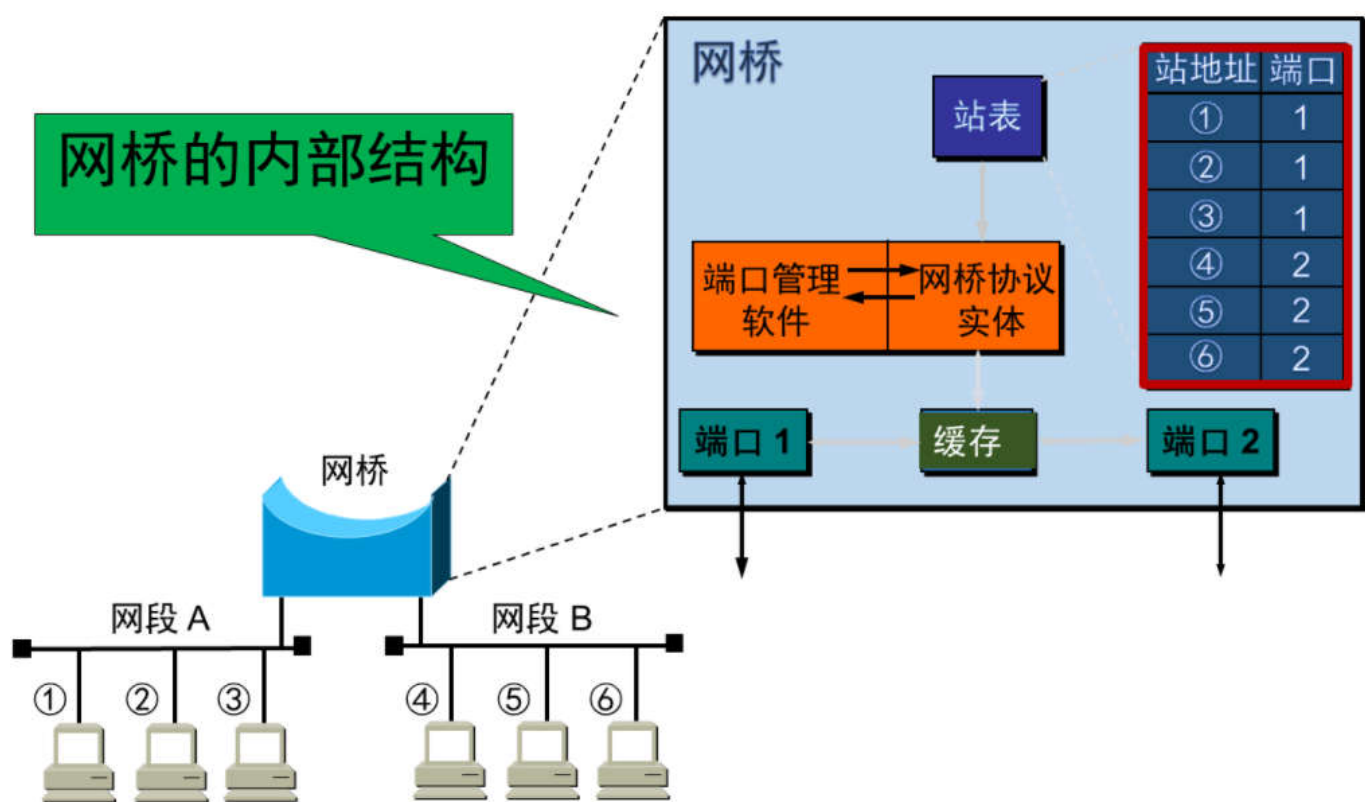
仅能实现同种类型、相同速率的局域网之间的互联。

用集线器在物理层扩展局域网，扩大了覆盖的地理范围，使不同部门局域网的计算机相互通信。但需要注意的是，用集线器连接起来的局域网构成了一个更大的冲突域，最大总吞吐量并没有提高。

2，在数据链路层扩展局域网

当连接多个不同类型的局域网时，就需要在数据链路层扩展局域网，使用的设备为网桥。

网桥工作在数据链路层，它根据 MAC 帧的目的地址对收到的帧进行转发。



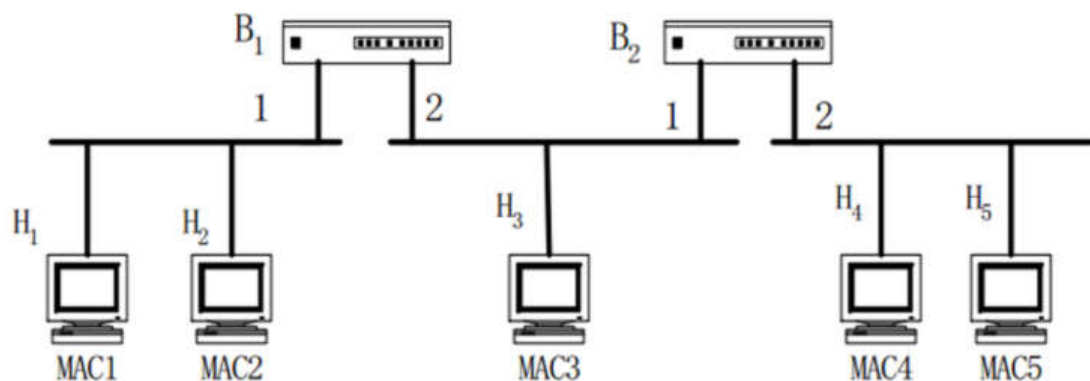
例：H1 向 H2 发送数据帧：网桥不转发。

H1 向 H6 发送数据帧：网桥从端口 2 转发数据帧。

目前使用得最多的网桥是透明网桥。

原理：如果网桥现在能够从端口 x 收到从源地址 A 发来的帧，那么以后就可以从端口 x 将帧转发到目的地址 A 。

网桥在转发表中登记以下三个信息：站地址、端口、时间。



发送的帧	网桥 1 的转发表		网桥 2 的转发表		网桥 1 的处理 (转发? 丢弃? 登记?)	网桥 2 的处理 (转发? 丢 弃? 登记?)
	站地址	端口	站地址	端口		
H1→H5	MAC1	1	MAC1	1	转发并登记	转发并登记
H3→H2	MAC3	2	MAC3	1	转发并登记	转发并登记
H4→H3	MAC4	2	MAC4	2	登记, 丢弃	转发并登记
H2→H1	MAC2	1			登记, 丢弃	接收不到该帧

以太网交换机的工作方式有三种，直通交换方式，存储转发方式，无碎片交换方式。

4.4 高速以太网（略）

4.5 虚拟局域网（略）

4.6 无线局域网

以无线方式实现局部范围内的多台计算机相互通信的一种局域网技术。

无线局域网分为两大类。有固定基础设施的，无固定基础设施的。

802.11 的物理层有以下三种实现方法：

①跳频扩频 FHSS ②直接序列扩频 DSSS ③红外线 IR

帧间间隔：CSMA/CA 标准规定，所有的站在完成发送后，必须再等待一段很短的时间才能发送下一帧。

有以下三种常用的帧间间隔：

①SIFS，即短帧间间隔

②PIFS，即点协调功能帧间间隔

③DIFS，即分布协调功能帧间间隔

4.6 广域网（鸽）

第 5 章 网络层与网络互连（鸽）