

By: 半糖 2022.6.30

数据通信

第一章 概述

1.1 基本概念

- 数据
- 数据信号

数据信号是采用**二进制代码**来传输信息的方法

1.1.1 定义

依照通信协议，利用数据传输技术在两个功能单元之间传递数据信息。

是一种把计算机技术和通信技术结合起来的通信方式。

包含两方面内容：

1. 数据传输
 2. 数据传输前后的处理，如集中、交换、控制
-

数据信号的基本传输方式：

- 基带传输
基带数据信号（未经调制变换的数据信号）直接在电缆信道上传输。不搬移基带数据信号频谱。
 - 频带传输
基带数据信号经过调制，搬移到相应的载频频带上再传输。传输的是模拟信号。
 - 数字数据传输
利用PCM信道传输数据信号。
-

1.1.2 传输代码

常用二进制代码：

1. 国际 5 号码，即ASCII码
2. EBCDIC 码
3. 国际电报 2 号码

1.2 数据通信系统构成

1.2.1 数据终端设备

DTE：数据终端设备，可以是输入端和输出端。

可以是键盘、屏幕、打印机、个人计算机。

1.2.2 数据电路

是数据通信的传输通道。

1. 传输信道

2. DCE：DTE 与传输信道的接口设备。

可以是 对数据信号进行变换、调制解调器、数据服务单元（功能：信号格式变换）。

1.2.3 中央计算机系统

1. 通信控制器

2. 主机

1.3 计算 数据通信传输信道

1.3.1 信道类型及特性

根据信号形式：

1. 模拟信道

2. 数字信道

传输方式分：

1. 物理实线传输媒介信道

光纤 双绞线电缆 同轴电缆

2. 电话网传输信道

3. 数字数据传输信道（大力发展，传输速率高，传输质量好）

1.3.2 计算 传输损耗

发送功率 P_0 ，接受功率 P_1 ，损耗为

$$D = 10 \lg \frac{P_0}{P_1} \quad (1)$$

1.3.3 计算 信噪比

信噪比是某一点处，信号功率和噪声功率之比。 P_S 为信号平均功率， P_N 为噪声平均功率。

$$\frac{S}{N} = \frac{P_S}{P_N} \quad (2)$$

用分贝表示

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{dB} = 10 \lg \left(\frac{P_S}{P_N}\right) \quad (3)$$

1.4 数据传输方式

1.4.1 串行传输和并行传输

串行传输一条信道，远距离传输

并行传输多条信道，近距离传输

1.4.2 异步传输和同步传输

异步传输：每次传送一个字符，“起”信号 1 码元 极性“0”，“止”信号 1.5/1/2 码元 极性“1”

字符可以单独发送或者连续发送。不发送字符时，连续发送“止”信号，因此起始字符的发送时间是任意的。称为起止式同步。

优点：字符同步简单，收发双方的时钟不需要精确同步

缺点：“起”“止”信号降低了信息传输效率

同步传输：

1. 字符同步
2. 帧同步

1.4.3 单工、半双工和全双工数据传输

单工：单向

半双工：同一时刻单向，但可以双向

全双工：同时双向

1.5 计算 数据通信系统的主要性能指标

1.5.1 有效性指标

1. 工作速率

1. 调制速率（每秒传输信号码元个数）
2. 数据传信速率（每秒传输的二进制码元数）
3. 数据传送速率

(1) 调制速率

也称“符号速率”“码元速率”

表示： N_{Bd} 或 f_s

每秒传输信号码元个数。

计算：

$$N_{Bd} = \frac{1}{T(s)} (\text{Baud}) \quad (4)$$

其中 $T(s)$ 为单个信号码元持续时间

(2) 数据传信速率

每秒传输的信息量，每秒传输的二进制码元数

表示：R 或 f_b

计算：

当信号为 M 电平，也就是 M 进制时。

因为 信息量 为 每秒传输的二进制码元数。

定义 每秒传输的二进制码元数为单位一，则 提升M进制时，单个码元，需要用 $\log_2 M$ 位二进制来表示，其信息量就提升了 $\log_2 M$ 。

类似于 6位十进制数能表示的所有数字 等于 10^6 。

因此计算如下

$$R = N \log_2 M (\text{bit/s}) \quad (5)$$

N 为调制速率。

2. 频带利用率

定义：单位频带内传输速率

计算：

$$\eta = \frac{\text{符号速率}}{\text{频带宽度}} (\text{Baud/Hz})$$
$$\eta = \frac{\text{数据传信速率}}{\text{频带宽度}} (\text{bit}/(\text{s} \cdot \text{Hz})) \quad (6)$$

注意说法！频带宽度就是带宽！

1.5.2 可靠性指标

差错率：误码率 误字符率

误码率=差错码数/总码数

1.5.3 信道容量

1. 模拟信道信道容量

根据香农定律，

$$C(\text{信道容量}) = B(\text{信道带宽}) \log_2 \left(1 + \frac{S(\text{信号功率})}{N(\text{噪声功率})} \right) \quad (7)$$

S/N 也称信噪比。

2. 数字信道信道容量

根据奈奎斯特准则，带宽为 B 的信道，最高码元速率为 2B Baud。

因此无噪声数字信道容量为

$$C(\text{信道容量}) = 2B(\text{信道带宽}) \log_2 M(\text{进制数}) \quad (8)$$

1.6 多路复用技术

提高信道利用率。

1. 频分复用：按频率分割多路信号
2. 时分复用：将各路信号的传输时间分配在不同的时间间隔之内
3. 波分复用：信号调制到不同的波长，经过合波器处理，光纤传输，分波器分离，光接收器恢复
4. 码分复用：码型分割信道

1.7 数据通信网

1.7.1 构成

- 数据终端设备
- 数据交换设备
- 传输链路

1.7.2 分类

1. 网络拓扑结构分类
 - 网状网和不完全网状网
 - 星形网
 - 树形网
 - 环形网
2. 按传输技术分类
 - 交换网
 - 广播网

第二章 数据信号的传输

2.1 数据信号及其特性描述

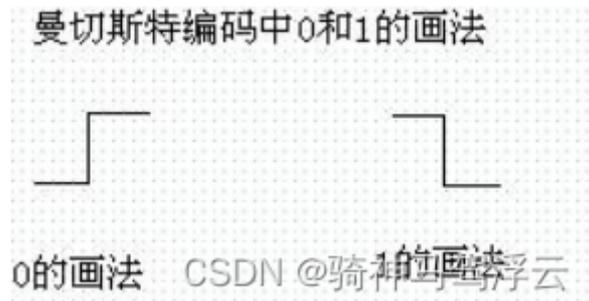
基本的基带数据信号：

1. 单极性不归零信号
 - 单极性：正电位和零电位
 - 不归零：一个码元间隔 T 内，电位不变。如果是“1”码，不需归零。
2. 单极性归零信号
 - 宽度为 $\tau < T$ 的正脉冲表示“1”码。需要归零。
3. 双极性不归零信号
 - 有正负电位。
4. 双极性归零信号
5. 差分信号
 - 信号改变则为“1”，否则为0。
6. 多电平信号
7. 曼彻斯特编码

用电平跳变来表示1或0，可以自行规定跳变代表的信号。两次电平跳变的时间间隔可以是 $T/2$ 或 T ；利用电平跳变可以产生收发双方的同步信号；曼彻斯特编码是一种自同步的编码方式，即时钟同步信号就隐藏在数据波形中。在曼彻斯特编码中，每一位的中间有一跳变，该跳变既可作为时钟信号，又可作为数据信号。因此，发送曼彻斯特编码信号时无须另发同步信号。

位中间 电平从高到低跳变表示"1"；**位中间** 电平从低到高跳变表示"0"。**标准曼彻斯特编码。**

位中间 电平从高到低跳变表示"0"；**位中间** 电平从低到高跳变表示"1"。**曼彻斯特编码。**

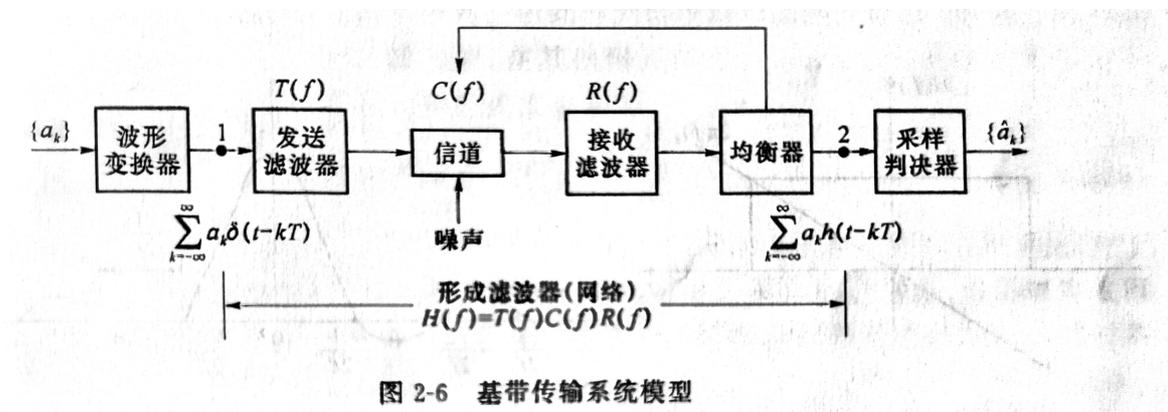


8. 差分曼彻斯特编码

一种双相码，和曼彻斯特码不同的是，这种编码的码元中间的电平转换边只作为定时信号，而不表示数据。数据的表示在与每一位开始处是否有电平转换，有电平转换表示0，无电平转换表示1。即0立即跳变，1不跳变。

2.2 数据信号的基带传输

2.2.1 基带传输系统的构成



功率谱密度图：

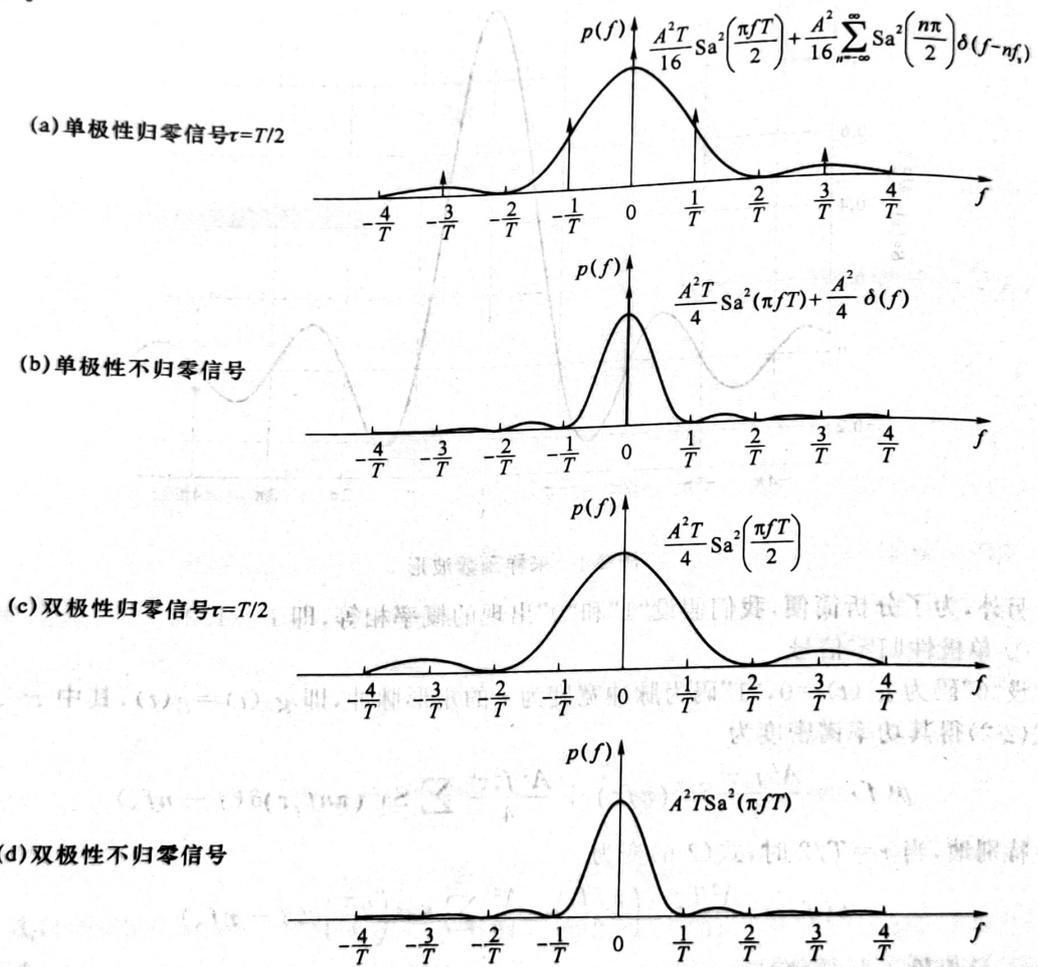


图 2-5 四种基带数据信号的功率谱密度

2.2.2 计算 基带形成网络

1. 理想低通形成网络

奈奎斯特第一准则：具有理想低通特性的等效网络，截止频率（频带）为 f_N ，则最高码元速率为 $2f_N$ 。此时系统输出波形在峰值点上不产生前后干扰。

$$T = \frac{1}{2f_N} \quad (9)$$

称为奈奎斯特间隔。

2. 计算 具有幅度滚降特性的低通形成网络

多的不用管，截止频率（频带）为 f_N ，则最高调制速率为 $2f_N$ 。

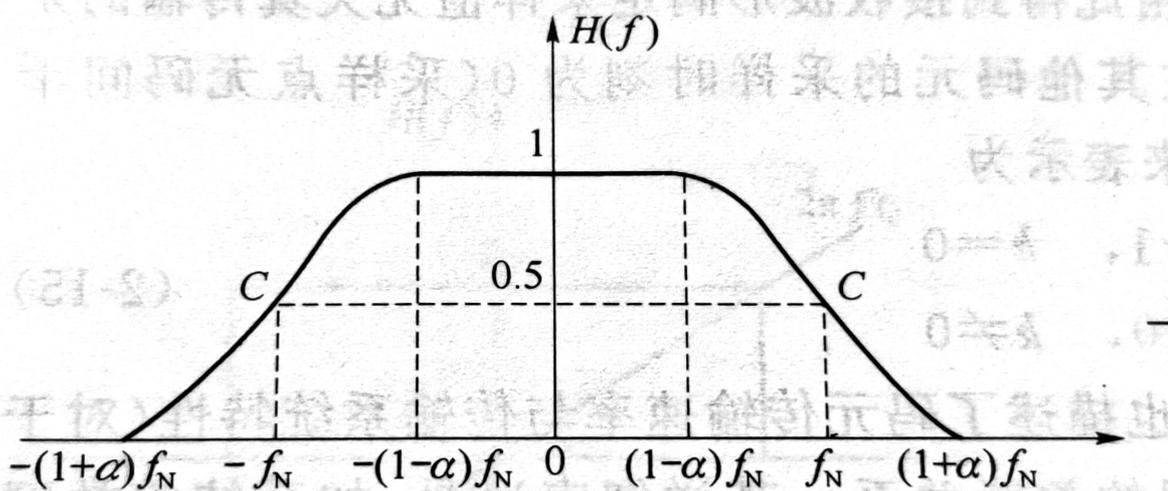


图 2-10 幅频特性滚降的传递特性

把图的 f_N 、 α 怎么算看明白。

α 是“滚降系数”。

极大值点横坐标加零点横坐标除以 2 就是 f_N ，零点横坐标减去极大值点横坐标除以 f_N 就是 α 。

调制速率 f_s 为 $2f_N$ 。

频带宽度是 **零点**。

频带利用率 是 调制速率/频带宽度。

2.2.3 时域均衡

目的：对系统的传递特性进行修正，消除码间干扰。

2.2.4 扰乱与解扰

作用：保证输入数据的随机性，使数据传输系统正常工作。

基本原理：与一个随机序列进行逻辑加。

2.3 数据信号的频带传输

2.3.1 频带传输系统的构成

频带传输系统与基带传输系统的区别：发送端增加调制，接收端增加解调。

非抑制载频 2ASK：单极性不归零信号乘 $\cos \omega t$

抑制载频 2ASK：双极性不归零信号乘 $\cos \omega t$

2.3.3 计算 数字调相 (重点)

绝对调相：数据信号“1”对应 0° 相位。数据信号“0”对应于已调信号的 180° 相位。或反之。

相对调相（常用）：“1”对应已调相位变化 0° 相位。“0”对应已调相位变化 180° 相位。

相对调相公式：

$$D_n = a_n \oplus D_{n-1} \quad (10)$$

\oplus 模2加

计算：多进制数字调相的频带利用率：

$$\eta = \frac{\log_2 M}{1 + \alpha} \quad (11)$$

M 越大， η 越高，但相位差越小，可靠性越低。一般取 2、4、8、16。

2.3.5 计算 正交幅度调制

计算：

调制速率：

$$f_s = 2f_N = \frac{B}{1 + \alpha} \quad (12)$$

频带利用率：

$$\eta = \frac{\log_2 M}{1 + \alpha} \quad (13)$$

M 是星点数，M 越大， η 越高，但星点距离越小，可靠性越低。

最大信息传输速率（传信速率）：

$$f_b = \eta \cdot B (\text{信道带宽, 最高Hz} - \text{最低Hz}) \quad (14)$$

M 的计算：

$$M = 2^{\eta(1+\alpha)} \quad (15)$$

每路电平数：

$$M^{\frac{1}{2}} = 2^{\frac{\eta(1+\alpha)}{2}} \quad (16)$$

第三章 差错控制

3.1 基本概念

误码不可避免，造成误码主要原因如下：

1. 信道不理想造成符号间干扰
2. 噪声干扰信号

噪声分类：

1. 随机噪声
2. 脉冲噪声

如雷电，开关引起的跳变。

差错分类：

1. 随机差错
2. 突发差错

突发信道

差错控制方式：

1. 检错重发

发送能够**发现**错误的码。（加入一定的监督码元）

重发方式：

- 停发等候重发
- 返回重发
- 选择重发

优点：监督码不多，效率高。译码设备简单。

缺点：需要反向信道，实时性差。

2. 前向纠错

发送能**纠正**错误的码。

优点：

1. 不需要反向信道，能自动纠错，不要求重发，延时小，实时性好。

缺点：

1. 纠错码必须与错码特性密切配合。
2. 译码设备复杂，传输效率低。

3. 混合纠错检错

发送能**检错纠错**的码。

错误少于纠错能力则自行纠错，否则要求重发。

优缺点：

- 实时性和译码复杂性是前向纠错和检错重发两种方式的折中。

4. 信息反馈

发送端直接发送数据，接收端把数据发送回发送端，发送端比较发送的和接收的数据，有错误就重发，直到没有错误。

优点：

1. 不需要 纠错检错 的编译器

缺点：

1. 需要反向信道，实时性差
2. 发送端需要一定容量的存储器存储发送码组。

信息码 (k) + 监督码 (r) = 码组 (n)

计算 编码效率：

$$R = \frac{k}{n} \quad (17)$$

也就是信息码所占比例。

汉明距离：两个码不同的位数

3.2 简单的差错控制编码

3.2.1 计算 奇偶监督码

奇校验：奇数个1则校验码为0；

偶校验：偶数个1则校验码为0；

3.2.2 水平奇偶校验码

每行一个校验码，但按列发送，把突发错误分散在各个行内。

3.2.3 二维奇偶校验码

行列均有校验码。

3.3 汉明码

能纠正一位错码。

3.3.1 计算 (7,4) 汉明码

$$\begin{aligned}a_2 &= a_6 \oplus a_5 \oplus a_4 \\a_1 &= a_6 \oplus a_5 \oplus a_3 \\a_0 &= a_6 \oplus a_4 \oplus a_3 \\S_1 &= a_6 \oplus a_5 \oplus a_4 \oplus a_2 \\S_2 &= a_6 \oplus a_5 \oplus a_3 \oplus a_1 \\S_3 &= a_6 \oplus a_4 \oplus a_3 \oplus a_0\end{aligned}\tag{18}$$

$$\overline{S_1 S_2 S_3} \text{与错码位置的比较}\tag{19}$$

$S_1 S_2 S_3$	$S_1 S_2 S_3$ (十进制)	错码位置
000	0	无
001	1	a_0
010	2	a_1
011	3	a_3
100	4	a_2
101	5	a_4
110	6	a_5
111	7	a_6

信息码对应的监督码是唯一的。

信息码所对应的正确的监督码，必然造成 $S_1S_2S_3$ 均为0，若非0则有错。

3.3.2 线性分组码

主要性质：

1. 封闭性

许用码组模2和仍是许用码组。

2. 码的最小距离是非0码的最小重量。

因为封闭性，所以两码差是许用码组。差也就是距离。

3.4 循环码

生成多项式：

对于某个码组，使其常数位为1且幂次尽量小，则为生成多项式。

生成多项式的最高幂次就是监督码的位数。

3.4.1 计算 CRC-差错控制

模2除里竖式的减法： $0-1=1$ 。

信息码模2除以生成码，得到的余数是校验码。具体看书例3-6 (P103)

第四章 数据交换

4.1 概述

4.1.1 数据交换的必要性

点对点线路利用率低，因此用户接入交换网。

4.1.2 数据交换方式

1. 公用电话网
2. 公用数据交换网

电话网的缺点：

1. 传输效率低
2. 传输差错率高
3. 线路接续时间长，不适合高速传输
4. 传输距离受限
5. 接通率低，不易增加新功能

公用数据网交换方式：

1. 电路交换方式
2. 存储-转发交换方式

4.2 电路交换方式

通信前建立物理链路，通行结束后拆除。

也可以是分配链路和释放链路。

4.2.1 原理

呼叫建立，数据传输，呼叫拆除。

4.2.2 优缺点

优点：

1. 时延小。
2. 交换机对用户数据不存储分析处理，所以交换机的开销较小。
3. 信息编码方式和格式由通信双方协调。不受网络限制。

缺点：

1. 电路接续时间较长，传输短信息时，网络利用率低。
 接续时间就是准备时间。（大概...）
2. 电路资源被双方独占，电路利用率低。
3. 不同类型的终端不能相互通信。因为电路交换机不具备变嘛变速功能。
4. 有呼损。
 对方忙或交换网负担过重叫不通，则出现呼损。
5. 传输质量较差。
 传输质量较多地取决于线路质量，交换机不具备差错控制功能。

4.3 报文交换方式

报文交换属于 存储-转发 交换方式。报文存储在交换机的存储器中，输出电路有空闲时再发送到接收交换机。

统计时分复用。

非交互式，非实时的。采用优先等级方式，一定程度上支持交互式通信。

报文的组成：

1. 报头或标题
 发信站地址、收信地址、其它信息。
2. 正文
3. 报尾
 结束标志，若长度有限定则可以省略。

4.3.1 优缺点

优点：

1. 不同类型的终端设备之间相互进行通信。
 报文交换机有存储和处理能力。
2. 线路利用率高。
 传输以报文为单位可以在同一线路上传输。
3. 没有呼损。

不需要叫通对方就可以发送报文。

4. 同一报文可以群发。

缺点：

1. 时延大。时延变化也大。
2. 要求报文交换机有高速处理能力，缓冲存储器容量大，因此设备费用高。

因此可知报文交换不适合即时通讯，适合公用电报和电子信箱业务。

(其实就是邮件式)

4.4 分组交换方式

把报文截成短的包，仍然采用“存储-转发”方式。

分组由分组头和其后的用户数据部分组成。分组长度较短，便于存储和处理，只在存储器中停留很短的时间。一旦确定新的路由，很快就输出到下一个交换机或者用户终端。平均时延短，因此能满足大多数用户的实时性要求。

统计时分复用。

一般终端需经过分组拆装设备才可以接入分组交换网。

4.4.1 优缺点

优点：

1. 传输质量高。
分组交换机有差错控制、流量控制功能。接收端也有差错控制功能。
2. 可靠性高。
3. 不同种类的终端可以相互通信。
4. 能满足实时性要求。
5. 可实现分组多路通信。
6. 经济性好。

缺点：

1. 长报文的传输效率较低。
长报文被分割成包，有很多辅助信息，导致传输网中辅助信息过多。
2. 要求交换机有较高处理能力。

4.4.3 分组的传输方式

1. 数据报方式

类似报文交换方式。分组型终端有排序功能，一般终端没有。所以对于一般终端，包的排序需要分组交换机完成。

特点：

1. 对于数据量小的通信，传输效率高。
2. 传输时延较大，离散度大。

不同分组可以沿不同路径传输，不同路径的时延不一样。

3. 需要重新排序。
4. 对网络拥塞或故障的适应能力较强。

2. 虚电路方式

传输数据前建立一条逻辑电路，数据将通过该路径按顺序传送。通信完成后拆链。

特点：

1. 数据量大的通信传输效率高。
2. 终端路由在建立虚电路时已经确定，不需要为每个分组决定接收路由。
3. 按顺序发送，因此不需要排序。
4. 虚电路意外中断，需要重新建立连接。

4.4.4 分组长度的选取

- 分组长度越长，延迟时间越大。
- 交换机费用分为两个部分，存储器费用和分组处理费用。分组长了就需要更好的存储器，分组短了就需要更好的处理。因此当两者和最低时最经济。（废话）
- 长度越长，误码率越低。
- 分组长度与信道利用率成正比。

一般分组长度是 16 字节到 4096 字节之间的 2^n 字节。一般选用 128 字节。

4.5 帧中继

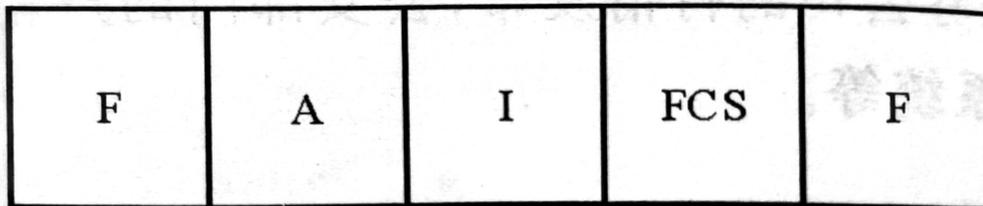
必要条件：

1. 光纤传输线路的使用
2. 用户终端的智能化

特点：

1. 高效性
2. 经济性
3. 可靠性
4. 灵活性
5. 长远性

结构：



F 标志；A 地址；I 信息；FCS 帧检验序列

图 6-13 帧中继的帧结构

见后文 5.2.3。

4.6 ATM 交换

信元固定长度：53 字节，信头 5 字节，信息段 48 字节。

特点：

1. 面向连接
2. 异步时分复用
3. ATM 网没有逐段链路的差错控制和流量控制
4. 信头功能被简化
5. 采用固定长度的信元，信息段长度较小

名词对照（详见P₁₄₂）

英文缩写	中文
GFC	一般流量控制
VPI	虚通道标识符
VCI	虚通路标识符
PT	净荷类型 (3 bit)
CLP	信元优先级比特 (1 bit)
HEC	信头校验码 (8 bit)

4.6.4 VP / VC 交换

物理媒介划分成 VP，VP 划分成 VC。

1. VP 交换

改变 VPI 的值，不改变 VCI 的值。把一条 VP 上全部的 VC 转换到另一条 VP 上。

2. VC 交换

改变 VPI 和 VCI。

第五章 数据通信网络体系结构

5.2 开放系统互联参考模型 (OSI-RM)

5.2.1 七层模型

OSI 模型，自下而上

1. 物理层
2. 数据链路层
3. 网络层
4. 运输层
5. 会话层
6. 表示层
7. 应用层

1~3，低层，4~7，高层。

5.2.3 HDLC 帧

结构

1. 标志字段 (F)

F标志 01111110。表示开始、结束。避免其它数据组合形成六个连续的 1，在每五个连续 1 后自动添加一个 0 再发送，接收端对数据删除这样的 0，称为“0”插入和删除技术。

2. 地址字段 (A)

8 bit。可以扩充。

DLCI --数据链路连接标识符，区分不同逻辑连接，实现帧复用。

3. 控制字段 (C)

8 bit。

4. 信息字段 (I)

8 bit 的倍数。

5. 帧校验字段 (FCS)

一般 16 bit。可能 32 bit。

第六章 数据通信网

6.3 数字数据网 (DDN)

DDN 是以满足开放系统互连 (OSI) 数据通信环境为基本需要，采用数字交叉连接技术和数字传输系统，以提供高速数据传输业务的数字数据传输网。

特点：

1. 传输速率高，时延小。
2. 传输质量好。
3. 传输距离远。
4. 传输安全可靠。
5. 透明传输。
6. 管理简便。

光纤通信

第一章 绪论

1.1 光纤通信概念

1.1.2 光纤三个透光窗口

850nm, 1310nm, 1550nm 低损耗。

1.1.3 光纤通信的优势

1. 信道带宽极宽，传输容量大
2. 中继距离长
3. 抗干扰
4. 保密性好
5. 节约有色金属

1.3.2 色散

1. 模式色散
2. 波导色散
3. 材料色散

1.4.2 计算 传输距离

$$L = + \frac{10}{\alpha_f} \lg \frac{P_{out}}{P_{rec}} \quad (20)$$

L: 最大传输距离

α_f : 光纤损耗, dB/km

P_{out} : 光源最大平均输出功率, mW。

P_{rec} : 接收机探测器的最小平均接收光功率, mW。

第二章 光纤

2.1 光纤结构

1. 阶跃折射率光纤
2. 渐变折射率光纤

2.2 传输原理

2.2.1 计算 几何光纤分析法

数值孔径

$$NA = \sin \theta_0 = (n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}} \quad (21)$$

后面放弃了，剩下的重点如下

36页 (归一化频率公式)

表2.2, 2.3

42页 (单模光纤的截止波长公式, 例2.3.1)

2.5.3 (看一下)

第三章

光源有哪几种

3.3 (主要和外围部件)

4, 5, 6, 7章老师让我们自己把握。