



通信原理

第1章 绪论



第1章 绪论

• 1.1 通信的基本概念

- 通信的目的：传递**消息**中所包含的**信息**。
- **消息**：是物质或精神状态的一种反映，例如语音、文字、音乐、数据、图片或活动图像等。
- **信息**：是消息中包含的有效内容。
- 实现通信的方式和手段：
 - ◆ 非电的：如旌旗、消息树、烽火台...
 - ◆ 电的：如电报、电话、广播、电视、遥控、遥测、因特网和计算机通信等。



第1章 绪论

■ 电信发明史

- ◆ 1837年：莫尔斯发明有线电报
- ◆ 1876年：贝尔发明有线电话
- ◆ 1918年：调幅无线电广播、超外差接收机问世
- ◆ 1936年：商业电视广播开播

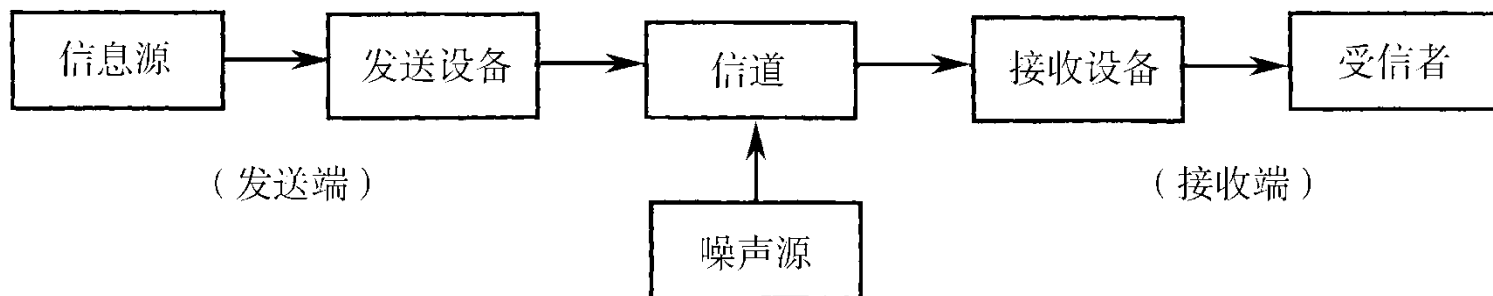
... ..

- 后面讲述中，“通信”这一术语是指“电通信”，包括光通信，因为光也是一种电磁波。
- 在电通信系统中，消息的传递是通过电信号来实现的。

第1章 绪论

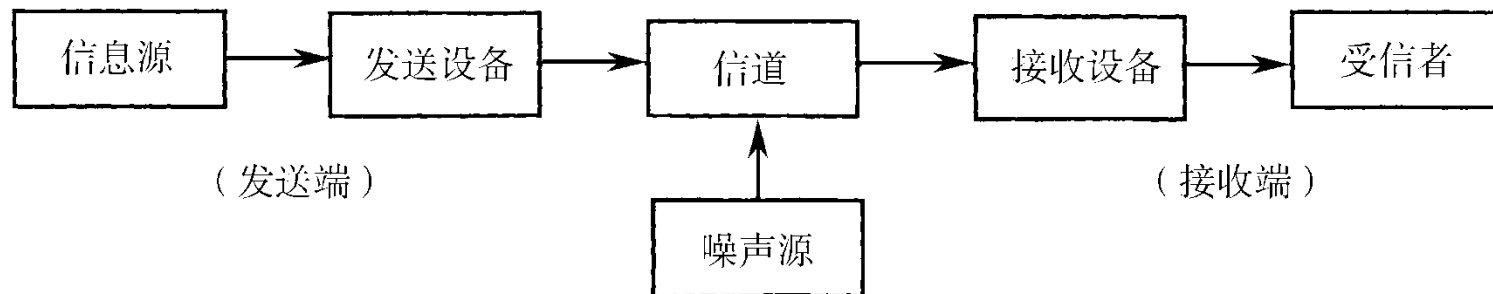
• 1.2 通信系统的组成

■ 1.2.1 通信系统的一般模型



- ◆ **信息源**（简称信源）：把各种消息转换成原始电信号，如麦克风。信源可分为模拟信源和数字信源。
- ◆ **发送设备**：产生适合于在信道中传输的信号。
- ◆ **信道**：将来自发送设备的信号传送到接收端的物理媒质。分为有线信道和无线信道两大类。
- ◆ **噪声源**：集中表示分布于通信系统中各处的噪声。

第1章 绪论



- ◆ 接收设备：从受到减损的接收信号中正确恢复出原始电信号。
- ◆ 受信者（信宿）：把原始电信号还原成相应的消息，如扬声器等。

第1章 绪论

■ 1.2.2 模拟通信系统模型和数字通信系统模型

◆ 模拟信号和数字信号

- 模拟信号：代表消息的信号参量取值连续，例如麦克风输出电压：

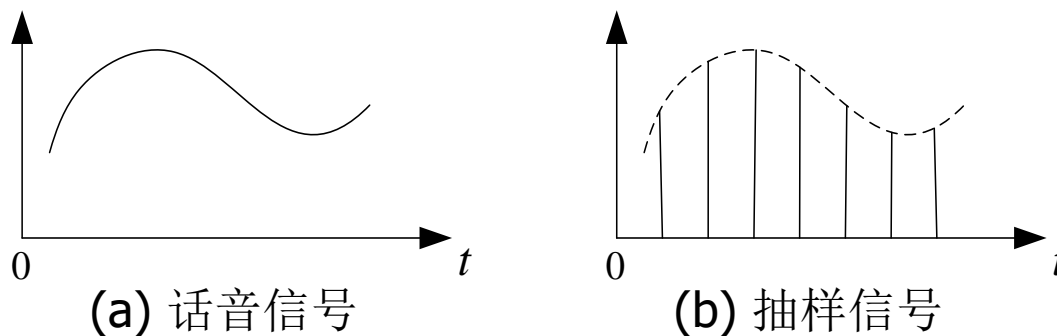
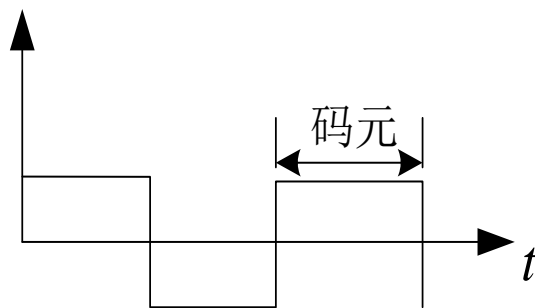


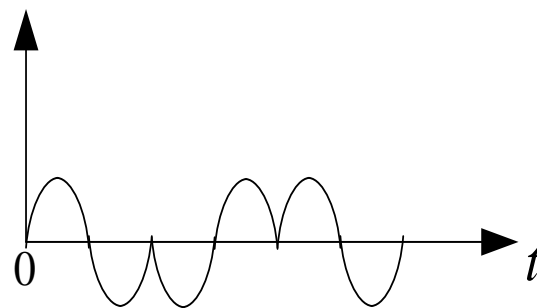
图1-2 模拟信号

第1章 绪论

- 数字信号：代表消息的信号参量取值为有限个，例如电报信号、计算机输入输出信号：



(a) 二进制信号



(b) 2PSK信号

图1-3 数字信号

- ◆ 通常，按照信道中传输的是模拟信号还是数字信号，相应地把通信系统分为模拟通信系统和数字通信系统。

第1章 绪论

- ◆ 模拟通信系统模型

- 模拟通信系统是利用模拟信号来传递信息的通信系统：

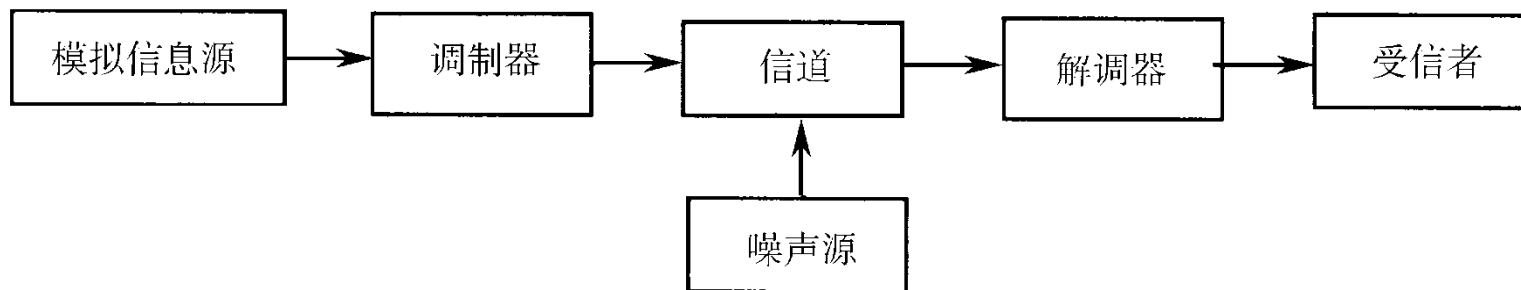


图1-4 模拟通信系统模型

- 两种变换：

模拟消息 \Leftrightarrow 原始电信号（基带信号）

基带信号 \Leftrightarrow 已调信号（带通信号）

第1章 绪论

◆ 数字通信系统模型

- 数字通信系统是利用数字信号来传递信息的通信系统

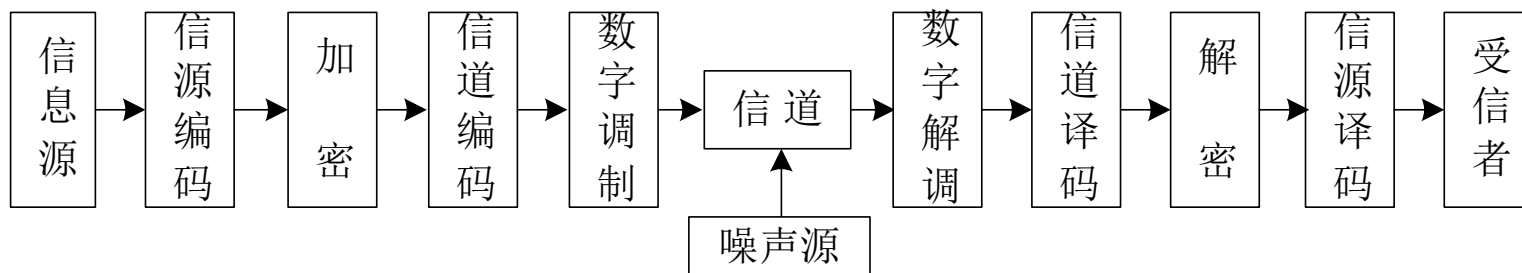


图1-5 数字通信系统模型

- 信源编码与译码目的：
 - 提高信息传输的有效性
 - 完成模/数转换
- 信道编码与译码目的：增强抗干扰能力
- 加密与解密目的：保证所传信息的安全
- 数字调制与解调目的：形成适合在信道中传输的带通信号
- 同步目的：使收发两端的信号在时间上保持步调一致



第1章 绪论

■ 1.2.3 数字通信的特点

◆ 优点

- 抗干扰能力强，且噪声不积累
- 传输差错可控
- 便于处理、变换、存储
- 便于将来自不同信源的信号综合到一起传输
- 易于集成，使通信设备微型化，重量轻
- 易于加密处理，且保密性好

◆ 缺点：

- 需要较大的传输带宽
- 对同步要求高



第1章 绪论

• 1.3 通信系统分类与通信方式

■ 1.3.1 通信系统的分类

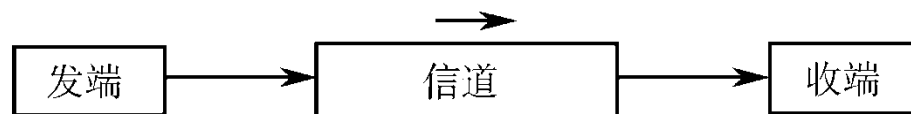
- ◆ 按通信业务分类：电报通信系统、电话通信系统、数据通信系统、图像通信系统
- ◆ 按调制方式分类：基带传输系统和带通（调制）传输系统
调制传输系统又分为多种调制，详见书中表1-1。
- ◆ 按信号特征分类：模拟通信系统和数字通信系统
- ◆ 按传输媒介分类：有线通信系统和无线通信系统
- ◆ 按工作波段分类：长波通信、中波通信、短波通信
- ◆ 按信号复用方式分类：频分复用、时分复用、码分复用

第1章 绪论

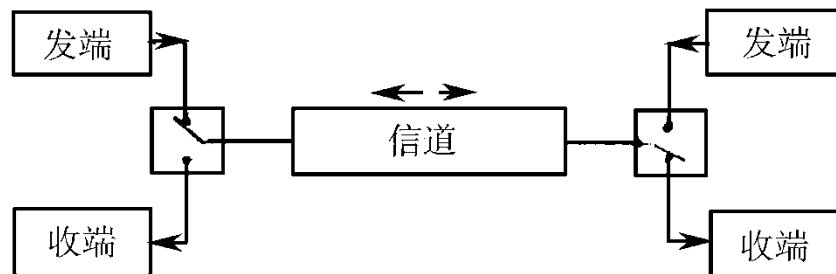
1.3.2 通信方式

◆ 单工、半双工和全双工通信

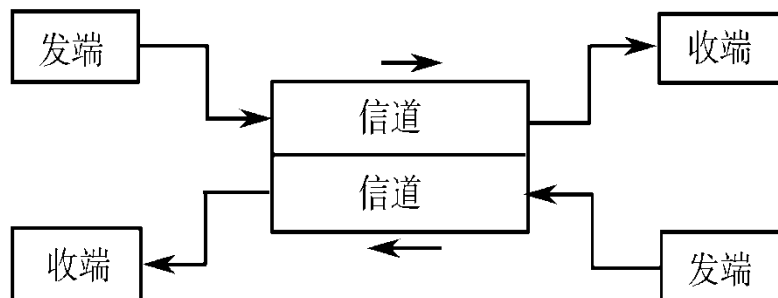
- 单工通信：消息只能单方向传输的工作方式



- 半双工通信：通信双方都能收发消息，但不能同时收发的工作方式



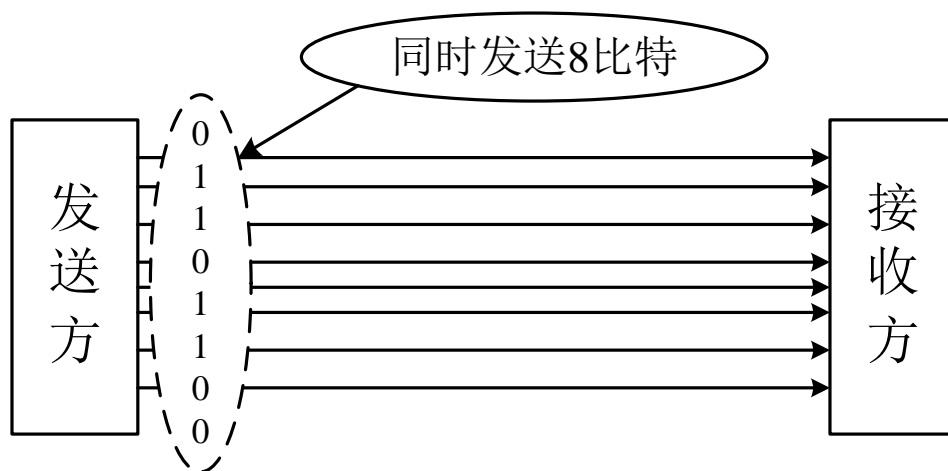
- 全双工通信：通信双方可同时进行收发消息的工作方式



第1章 绪论

◆ 并行传输和串行传输

- **并行传输**：将代表信息的数字信号码元序列以成组的方式在两条或两条以上的并行信道上同时传输

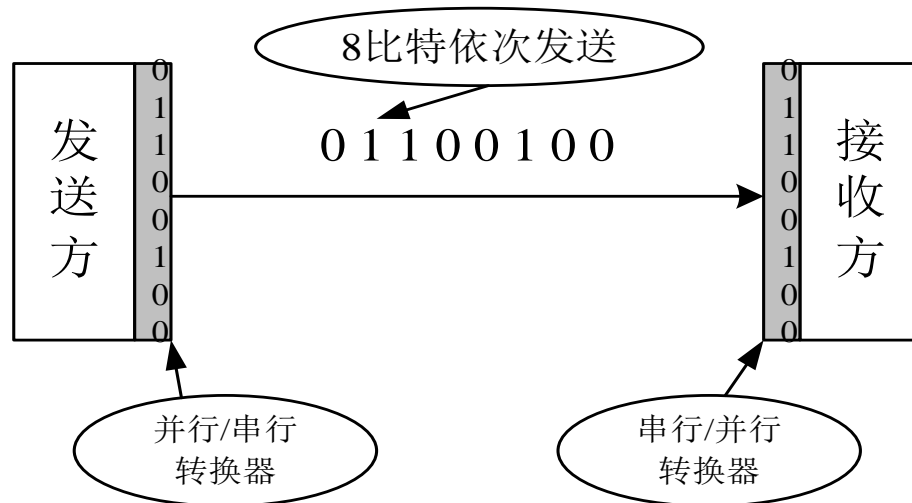


优点：节省传输时间，速度快：不需要字符同步措施

缺点：需要 n 条通信线路，成本高

第1章 绪论

- **串行传输**：将数字信号码元序列以串行方式一个码元接一个码元地在一条信道上传输



优点：只需一条通信信道，节省线路铺设费用

缺点：速度慢，需要外加码组或字符同步措施

◆ 其他分类方式：

- 同步通信和异步通信
- 专线通信和网通信

第1章 绪论

• 1.4 信息及其度量

- **信息**：是消息中包含的有效内容
- 如何度量离散消息中所含的信息量？

- ◆ 度量信息量的原则

- 能度量任何消息，并与消息的种类无关。
- 度量方法应该与消息的重要程度无关。
- 消息中所含信息量和消息内容的不确定性有关

【例】“某客机坠毁”这条消息比“今天下雨”这条消息包含有更多的信息。

上例表明：

消息所表达的事件越不可能发生，信息量就越大。

第1章 绪论

◆ 度量信息量的方法

- 事件的不确定程度可以用其出现的概率来描述：
消息出现的概率越小，则消息中包含的信息量就越大。
- 设： $P(x)$ - 消息发生的概率，
 I - 消息中所含的信息量，
- 则 $P(x)$ 和 I 之间应该有如下关系：
 - I 是 $P(x)$ 的函数： $I = I[P(x)]$
 - $P(x) \uparrow, I \downarrow; P(x) \downarrow, I \uparrow;$
 $P(x) = 1$ 时, $I = 0$; $P(x) = 0$ 时, $I = \infty$;
 - $I[P(x_1)P(x_2)\cdots] = I[P(x_1)] + I[P(x_2)] + \cdots$
- 满足上述3条件的关系式如下：

$$I = \log_a \frac{1}{P(x)} = -\log_a P(x) \quad - \text{信息量的定义}$$

第1章 绪论

$$I = \log_a \frac{1}{P(x)} = -\log_a P(x)$$

- 上式中对数的底:

若 $a = 2$, 信息量的单位称为**比特**(bit), 可简记为**b**

若 $a = e$, 信息量的单位称为奈特(nat),

若 $a = 10$, 信息量的单位称为哈特莱(Hartley)。

- 通常广泛使用的单位为比特, 这时有

$$I = \log_2 \frac{1}{P(x)} = -\log_2 P(x) \quad (b)$$

- **【例】** 设一个二进制离散信源, 以相等的概率发送数字“0”或“1”, 则信源每个输出的信息含量为

$$I(0) = I(1) = \log_2 \frac{1}{1/2} = \log_2 2 = 1 \quad (b)$$

- 在工程应用中, 习惯把一个二进制码元称作1比特

第1章 绪论

- 若有 M 个等概率波形 ($P = 1/M$) , 且每一个波形的出现是独立的, 则传送 M 进制波形之一的信息量为

$$I = \log_2 \frac{1}{P} = \log_2 \frac{1}{1/M} = \log_2 M \quad (b)$$

- 若 M 是2的整幂次, 即 $M = 2^k$, 则有

$$I = \log_2 2^k = k \quad (b)$$

当 $M = 4$ 时, 即4进制波形, $I = 2$ 比特,

当 $M = 8$ 时, 即8进制波形, $I = 3$ 比特。

第1章 绪论

□ 对于非等概率情况

设：一个离散信源是由 M 个符号组成的集合，其中每个符号 x_i ($i = 1, 2, 3, \dots, M$)按一定的概率 $P(x_i)$ 独立出现，即

$$\begin{bmatrix} x_1, & x_2, & \cdots, & x_M \\ P(x_1), & P(x_2), & \cdots, & P(x_M) \end{bmatrix}$$

且有
$$\sum_{i=1}^M P(x_i) = 1$$

则 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_M$ 所包含的信息量分别为

$$-\log_2 P(x_1), -\log_2 P(x_2), \dots, -\log_2 P(x_M)$$

于是，每个符号所含平均信息量为

$$\begin{aligned} H(x) &= P(x_1)[-\log_2 P(x_1)] + P(x_2)[-\log_2 P(x_2)] + \cdots + P(x_M)[-\log_2 P(x_M)] \\ &= -\sum_{i=1}^M P(x_i) \log_2 P(x_i) \quad (\text{比特/符号}) \end{aligned} \quad (1.4-6)$$

由于 $H(x)$ 同热力学中的熵形式相似，故称它为信息源的熵

第1章 绪论

- ◆ **【例1】** 一离散信源由“0”，“1”，“2”，“3”四个符号组成，它们出现的概率分别为 $3/8$ ， $1/4$ ， $1/4$ ， $1/8$ ，且每个符号的出现都是独立的。试求某消息201020130213001203210100321010023102002010312032100120210的信息量。

【解】 此消息中，“0”出现23次，“1”出现14次，“2”出现13次，“3”出现7次，共有57个符号，故该消息的信息量

$$I = 23 \log_2 8/3 + 14 \log_2 4 + 13 \log_2 4 + 7 \log_2 8 = 108 \quad (\text{b})$$

每个符号的算术平均信息量为 $\frac{I}{\text{符号数}} = \frac{108}{57} = 1.89$ (比特/符号)



第1章 绪论

若用熵的概念来计算：

$$\begin{aligned} H &= -\frac{3}{8}\log_2 \frac{3}{8} - \frac{1}{4}\log_2 \frac{1}{4} - \frac{1}{4}\log_2 \frac{1}{4} - \frac{1}{8}\log_2 \frac{1}{8} \\ &= 1.906 \quad (\text{比特/符号}) \end{aligned}$$

则该消息的信息量

$$I = 57 \times 1.906 = 108.64 \quad (\text{b})$$

以上两种结果略有差别的原因在于，它们平均处理方法不同。前一种按算数平均的方法，结果可能存在误差。这种误差将随着消息序列中符号数的增加而减小。

当消息序列较长时，用熵的概念计算更为方便。



第1章 绪论

- 连续消息的信息量

关于连续消息的信息量可以用概率密度函数来描述。
可以证明，连续消息的平均信息量为

$$H(x) = -\int_{-\infty}^{\infty} f(x) \log_a f(x) dx$$

式中， $f(x)$ - 连续消息出现的概率密度。



第1章 绪论

• 1.5 通信系统主要性能指标

- 通信系统的主要性能指标：有效性和可靠性
 - ◆ 有效性：指传输一定信息量时所占用的信道资源（频带宽度和时间间隔），或者说是传输的“速度”问题。
 - ◆ 可靠性：指接收信息的准确程度，也就是传输的“质量”问题。
- 模拟通信系统：
 - ◆ 有效性：可用有效传输频带来度量。
 - ◆ 可靠性：可用接收端最终输出信噪比来度量。

第1章 绪论

■ 数字通信系统

◆ 有效性：用传输速率和频带利用率来衡量。

- 码元传输速率 R_B ：定义为单位时间（每秒）传送码元的数目，单位为波特（Baud），简记为B。

$$R_B = \frac{1}{T} \quad (\text{B})$$

式中 T - 码元的持续时间（秒）

- 信息传输速率 R_b ：定义为单位时间内传递的平均信息量或比特数，单位为比特/秒，简记为 b/s，或bps



第1章 绪论

- 码元速率和信息速率的关系

$$R_b = R_B \log_2 M \quad (\text{b/s})$$

或

$$R_B = \frac{R_b}{\log_2 M} \quad (\text{B})$$

对于二进制数字信号： $M = 2$ ，码元速率和信息速率在数量上相等。

对于多进制，例如在八进制（ $M = 8$ ）中，若码元速率为1200 B，，则信息速率为3600 b/s。

第1章 绪论

- 频带利用率：定义为单位带宽（1赫兹）内的传输速率，即

$$\eta = \frac{R_B}{B} \quad (\text{B/Hz})$$

或

$$\eta_b = \frac{R_b}{B} \quad \text{b}/(\text{s} \cdot \text{Hz})$$

- ◆ 可靠性：常用误码率和误信率表示。

- 误码率

$$P_e = \frac{\text{错误码元数}}{\text{传输总码元数}}$$

- 误信率，又称误比特率

$$P_b = \frac{\text{错误比特数}}{\text{传输总比特数}}$$

在二进制中有 $P_b = P_e$



第1章 绪论

• 1.6 小结

- 通信的目的是传递消息中所包含的信息。消息是信息的物理表现，信息是消息的内涵。
- 信号是与消息对应的电量，它是消息的物理载体。根据携载消息的信号参量是连续取值还是离散取值，信号分为模拟信号和数字信号。
- 通信系统有不同的分类方法。按照信道中所传输的是模拟信号还是数字信号，相应地把通信系统分成模拟通信系统和数字通信系统。
- 数字通信已经成为当前通信技术的主流。与模拟通信相比，数字通信系统具有抗干扰能力强，可消除噪声积累；差错可控；数字处理灵活，可以将来自不同信源的信号综合到一起传输；易集成，成本低；保密性能好等优点。缺点是占用带宽大，同步要求高。
- 按消息传递的方向与时间关系，通信方式可以分为单工、半双工及全双工通信。按数据代码排列的顺序可分为并行传输和串行传输。



第1章 绪论

- 信息量是对消息发生的概率（不确定性）的度量。一个二进制码元含1b的信息量；一个M进制码元含有 $\log_2 M$ 比特的信息量。等概率发送时，信源的熵值有最大值。
- 有效性和可靠性是通信系统的两个主要指标。两者相互矛盾而又相互统一，且可互换。在模拟通信系统中，有效性可以用带宽衡量，可靠性可用输出信噪比衡量。在数字通信系统中，有效性用码元速率、信息速率和频带利用率表示，可靠性可用误码率、误信率表示。
- 信息速率是每秒发送的比特数；码元速率是每秒发送的码元个数。码元速率小于等于信息速率。在讨论速率时，信息速率更为重要，而码元速率决定了发送信号所需的带宽。

第1章 绪论

习题

- 1.2 某信源符号集由**A**、**B**、**C**、**D**和**E**组成，设每一符号独立出现，其出现的概率分别为 $1/4$, $1/8$, $3/16$ 和 $5/16$ 。试求该信息源符号的平均信息量。
- 1.4 一个由字母**A**、**B**、**C**、**D**组成的字，对于传输的每一个字母用二进制脉冲编码，00代替**A**,01代替**B**，10代替**C**,11代替**D**,每个脉冲宽度为5ms。
- 1.6 设一信息源的输出由128个不同的符号组成，其中16个出现的概率为 $1/32$ ，其余112个出现的概率为 $1/224$ 。信息源每秒发出1000个符号，且每个符号彼此独立。试计算该信息源的平均信息速率。
- 1.7 设一数字传输系统传送二进制码元的速率为2400B，求该系统的信息速率；若该系统改为传送16进制信号码元，码元速率不变，则这时的系统信息速率为多少（设各码元独立等概率出现）？
- 1.8 若题1.2中的信息源以1000B速率传送信息。
 - (1) 试计算传送1h的信息量；
 - (2) 试计算传送1h可能达到的最大信息量。
- 1.9 如果二进制独立等概信号的码元宽度为0.5ms，求 R_B 和 R_b ；若改为四进制信号，码元宽度不变，求传码率 R_B 独立等概时的传信率 R_b 。
- 1.10 已知某四进制数字传输系统的传信率为2400b/s，接收端在0.5h内共收到216个错误码元，试计算该系统的误码率 P_e 。