

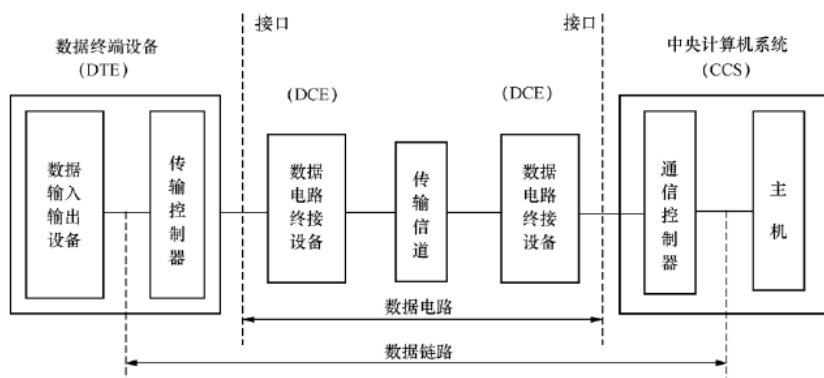
## 第1章 绪论

1.1 数据通信是指按照一定的通信协议，利用数据传输技术在两个终端之间传递数据信息的一种通信方式和通信业务。数据通信具有如下特点：

- (1) 计算机终端等及其作为主体直接参与通信。
- (2) 数据终端发出的数据是离散信号（数字信号），既可利用现有的 PSTN，又可利用数据网络来完成。
- (3) 需要建立通信控制规程，也就是要制定出严格的通信协议或标准。
- (4) 数据传输的可靠性要求高，即误码率要低。
- (5) 数据通信的业务量呈突发性，即数据通信速率的平均值和高峰值差异较大。
- (6) 数据通信要求要有灵活的接口能力。
- (7) 不同的数据通信业务对通信时延的要求也不同，且时延要求的变化范围大。
- (8) 数据通信每次呼叫平均持续时间短，数据通信要求接续和传输响应时间快。
- (9) 容易加密，且加密技术、加密手段优于传统通信方式。
- (10) 数据通信从面向终端发展到今天的面向网络，而且数据通信总是与远程信息处理相联系的，包括科学计算、过程控制和信息检索等广义的信息处理。

1.2 根据数据信号的传输模式和工作方式的不同，数据传输可以分为基带传输和频带传输，并行传输和串行传输，异步传输和同步传输，单工传输、半双工传输和全双工传输几种模式。

1.3 数据通信系统组成框图如附图 C.1 所示。



附图 C.1 习题 1.3 答案图

数据 I/O 设备是操作人员和终端之间的界面；传输控制器主要执行通信网络中的通信控制，包括对数据进行差错控制、实施通信协议等。DCE 是 DTE 与传输信道之间的接口设备，主要功能是完成信号变换。中央计算机系统由通信控制器、主机及外围设备组成，其主要功能是处理与管理 DTE 来的数据信息，并将结果向相应的 DTE 输出。通信控制器主要功能是差错控制、终端接续控制、确认控制、传输顺序和切断控制以及串/并、并/串变换等功能。主机主要功能是进行数据处理。

1.4 从数据传输的角度出发主要有有效性和可靠性两个指标。衡量有效性的主要指标有码元速率、信息速率和频带利用率。衡量可靠性的主要指标有误码率和误比特率。

1.5 所谓码元传输速率是指给定信道内单位时间传输码元的多少，其单位是波特 (Baud)，用  $R_B$  表示。信息传输速率是指给定信道内单位时间传输信息的多少，单位是比特/秒 (bit/s)，用  $R_b$  表示。信息传输速率与码元传输速率有关，存在如下关系：

(1) 各码元等概时,  $R_b = R_B \log_2 M$  (bit/s)

(2) 各码元不等概时,  $R_b = R_B H$ , 其中 H 为平均信息量。

1.6 按照复用方式, 数据通信系统可以分为频分复用系统、时分复用系统和波分复用系统等。

1.7  $p(a) = \log_2(0.125) = 3$  (bit);  $p(b) = \log_2(0.25) = 2$  (bit)

1.8  $H = 3 \times (1/4) \times \log_2(4) + 2 \times (1/16) \times \log_2(16) + (1/8) \times \log_2(8) = 2.375$  (bit/符号)

1.9 由题意可知, 每个码元持续的时间为  $1/1000 = 0.001s$ , 则码元速率  $R_B = 1000$  (Bd)

$H = 16 \times (1/32) \times \log_2(32) + 112 \times (1/224) \times \log_2(224) = 6.404$  (bit/符号)

$R_b = R_B \times H = 6.404 \times 1000 = 6404$  (bit/s)

1.10  $R_B = R_b / \log_2 M = 3600 / 3 = 1200$  (Bd)

1.11  $R_{b4} = R_{b2} \times \log_2 4 = 4800 \times 2 = 9600$  (bit/s);  $R_{b8} = R_{b2} \times \log_2 8 = 4800 \times 3 = 14400$  (bit/s)

1.12 由于二进制信号, 每秒传输 300 个码元, 即码元速率  $R_B = 300$  (Bd)

$R_b = R_B \times \log_2 2 = 300$  (bit/s)

1.13 
$$P_b = \frac{\text{接收出现错误的比特数}}{\text{总的发送比特数}} = \frac{108 / (60 \times 60)}{2400} = 0.00125\%$$

1.14 由题意, 可知该系统 1s 内收到误码元为  $1200 \times 10^{-5} = 0.012$  (个)

收到 360 个误码元所需时间为  $360 / 0.012 = 30000$  (s) = 8.33 (h)

1.15 数据通信网是由数据终端、传输、交换和处理等设备组成, 其主要功能是对数据进行传输、交换、处理以及共享网内资源。

### 第3章 信道、噪声与同步

3.1 所谓调制信道是指由调制器输出端到解调器输入端的所有转换器及传输媒质。所谓编码信道是指编码器输出端到译码器输入端的部分，即编码信道包括调制器、调制信道和解调器。

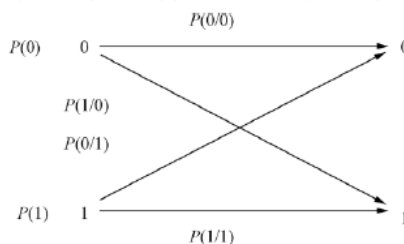
3.2 所谓恒参信道是指其传输特性的变化量极微且变化速度极慢；或者说，在足够长的时间内，其参数基本不变，如架空明线、电缆、中长波地波传播、超短波及短波视距传播、人造卫星中继、光导纤维属于恒参信道。

所谓随参信道是指信道传输函数随时间随机变化。常见的随参信道有陆地移动信道，短波电离层反射信道，超短波流星余迹散射信道，超短波及微波对流层散射信道，超短波电离层散射以及超短波超视距绕射等信道。

3.3 所谓群迟延频率特性就是相位频率特性对频率的导数。

3.4 二进制无记忆编码信道模型如附图 C.2 所示。

3.5 起伏噪声主要指信道内部的热噪声和散弹噪声以及来自空间的宇宙噪声。它们都是不规则的随机过程，只能采用大量统计的方法来寻求其统计特性。起伏噪声是信道所固有的一种连续噪声，既不能避免，又始终起作用。



附图 C.2 习题 3.4 答案图

3.6 所谓信道容量是指信道中信息无差错传输的最大速率。奈奎斯特公式用于理想低通信道（无噪声）。香农公式给出了信息传输速率的极限，即对于一定的传输带宽（以赫兹为单位）和一定的信噪比，信息传输速率的上限就确定了。

3.7 根据香农公式：

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{n_0 B} \right) = 6.5 \times 10^6 \times \log_2 \left( 1 + \frac{45.5}{6.5} \right) = 6.5 \times 10^6 \times 3 = 19.5 \text{ Mb/s}$$

3.8 理想通信信道的传信率即极限传信率：

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) = 4 \times 10^3 \times \log_2 (1 + 63) = 4 \times 10^3 \times 6 = 24 \text{ kbit/s}$$

差错率为 0。

3.9 由信道容量  $C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$ , 即  $9.6 = 2.7 \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$ , 得  $S/N = 10.76$

3.10 每个像元  $x$  的平均信息量为

$$H(x) = \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 \frac{1}{P(x_i)} = \log_2 12 = 3.58 \text{ bit/符号}$$

一幅图片的平均信息量为  $I = 2.25 \times 10^6 \times 3.58 = 8.06 \times 10^6 \text{ bit}$

3min 传送一张图片的平均信息速率:

$$R_b = \frac{I}{t} = \frac{8.06 \times 10^6}{3 \times 60} = 4.48 \times 10^4 \text{ b/s}$$

因为信道容量  $C \geq R_b$  选取  $C = R_b$ , 根据  $C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$

$$B = \frac{C}{\log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)} = \frac{4.48 \times 10^4}{\log_2 1001} = 4.49 \times 10^3 \text{ Hz}$$

所以信道带宽

#### 第 4 章 数据信号的基带传输

4.1 基带数据传输系统是由码型变换器、发送滤波器、信道、接收滤波器、同步系统和抽样判决器所组成。码型变换器的作用就是将数据信号转换成更适合于信道传输的码型, 达到与信道匹配的目的。发送滤波器的作用是限制信号频带并起波形形成作用。信道是信号的传输媒介。接收滤波器的作用是完成抑制带外噪声、均衡信号波形等功能。同步系统作用是通过特定方法提取同步信息, 并产生同步控制信号。抽样判决器是在位同步脉冲的控制下对信号波形抽样, 并按照特定码型的判决规则恢复原始数据信号。

4.2 基带是指未经调制变换的信号所占的频带; 基带信号是指该信号中所含的高限频率与低限频率之比远大于 1 的信号; 基带传输是指不搬移基带信号频谱的传输方法。

4.3 数据基带信号的功率谱的特点:

- (1) 二进制随机脉冲序列的功率谱一般包含连续谱和离散谱两部分。
- (2) 对于连续谱而言, 由于代表数字信息的  $g_1(t)$  及  $g_2(t)$  不能完全相同, 故  $G_1(f) \neq G_2(f)$ , 因而连续谱总是存在的。谱形取决于  $g_1(t)$ 、 $g_2(t)$  的频谱以及出现的概率  $P$ 。根据连续谱可以确定随机序列的带宽。



(3) 离散谱是否存在, 取决  $g_1(t)$  和  $g_2(t)$  的波形及其出现的概率  $P$ 。一般情况下, 它也总是存在的, 但对于双极性信号  $g_1(t) = -g_2(t) = g(t)$  且概率  $P = 1/2$  时, 则没有离散分量  $\delta(f - mf_b)$ 。而离散谱的存在与否关系到能否从脉冲序列中直接提取定时信号, 因此, 离散谱的存在非常重要。

随机序列的带宽通常以谱的第一个零点作为矩形脉冲的近似带宽, 它等于脉宽  $\tau$  的倒数, 即  $B = 1/\tau$ 。

4.4 AMI 码是传号交替反转码。其编码规则是将二进制消息代码 “1” (传号) 交替地变换为传输码的 “+1” 和 “-1”, 而 “0” (空号) 保持不变。HDB3 码的全称是三阶高密度双极性码, 它是 AMI 码的一种改进型, 其目的是为了保持 AMI 码的优点而克服其缺点, 使连 “0” 个数不超过 3 个。

4.5 在接收端输出, 某一码元的取样时刻上, 该码元前后码元对该码元的干扰称为码间干扰。系统的传输总特性, 包括发送滤波器、接收滤波器以及信道的特性的不理想引起的波形延迟、展宽、拖尾等畸变, 都可能造成码间干扰。

4.6 为了消除码间干扰, 基带传输系统应该满足:

(1) 时域条件: 将发送滤波器、信道、接收滤波器 3 个传递特性综合的系统的单位冲激响应  $h(t)$  应满足

$$h[t_0 + (k-n)T_b] = \begin{cases} 1 & k=n \\ 0 & k \neq n \end{cases}$$

(2) 频域条件: 传输系统等效传输特性应为理想传输特性, 即:

$$H_{eq}(\omega) = \begin{cases} c & |\omega| \leq \pi/T_b \\ 0 & |\omega| > \pi/T_b \end{cases} \quad \text{或} \quad H_{eq}(f) = \begin{cases} c & |f| \leq 1/2T_b \\ 0 & |f| > 1/2T_b \end{cases}$$

4.7 眼图是指利用实验的方法估计和改善 (通过调整) 传输系统性能时在示波器上观察到的一种图形。由眼图可以获得以下信息:

(1) 眼图张开的宽度决定了接收波形可以不受串扰影响而抽样再生的时间间隔。显然, 最佳抽样时刻应选在眼睛张开最大的时刻。

(2) 眼图斜边的斜率, 表示系统对定时抖动 (或误差) 的灵敏度, 斜边越陡, 系统对定时抖动越敏感。

(3) 眼图左 (右) 角阴影部分的水平宽度表示信号零点的变化范围, 称为零点失真量, 在许多接收设备中, 定时信息是由信号零点位置来提取的, 对于这种设备零点失真量很重要。

(4) 在抽样时刻, 阴影区的垂直宽度表示最大信号失真量。

(5) 在抽样时刻上、下两阴影区间隔的一半是最小噪声容限, 噪声瞬时值超过它就有可能发生错误判决。

(6) 横轴对应判决门限电平。

4.8 部分响应系统采用增加有规律的和受控制的码间干扰, 使干扰信号的拖尾和信号拖尾互相抵消, 能使频带利用率提高到理论上的最大值, 又可形成 “尾巴” 衰减大、收敛快的传输波形。用于部分响应系统的传输波形称为部分响应波形。

4.9 频域均衡是从校正系统的频率特性出发, 使包括均衡器在内的基带系统的总特性满足无失真传输条件。主要是利用幅度均衡器和相位均衡器来补偿传输系统的幅频和相频特性的不理想性, 以达到所要求的理想形成波形, 从而消除码间干扰。

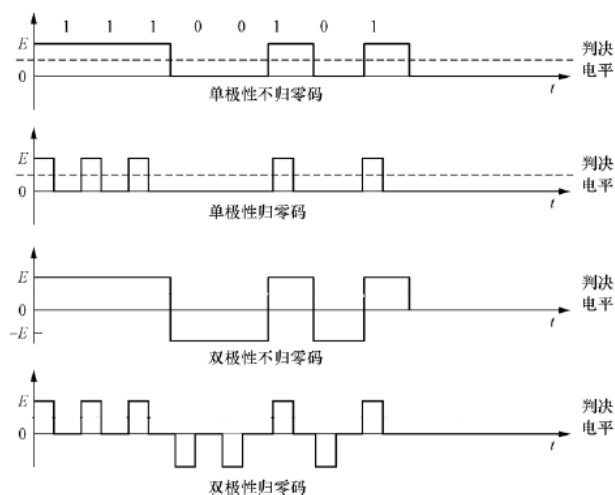
时域均衡是消除接收的时域信号波形的取样点处的码间干扰, 主要是利用均衡器产生的时间

波形去直接校正已畸变的波形，使包括均衡器在内的整个系统的冲激响应满足无码间串扰条件，提高判决的可靠性。

横向滤波器实际上是由无限多个横向排列的延迟单元构成的抽头延迟线加上一些可变增益放大器组成。每个延迟单元的延迟时间等于码元宽度  $T_b$ ，每个抽头的输出经可变增益（增益可正可负）放大器加权后输出。这样，当有码间串扰的波形  $x(t)$  输入时，经横向滤波器变换，相加器将输出无码间串扰波形  $y(t)$ 。

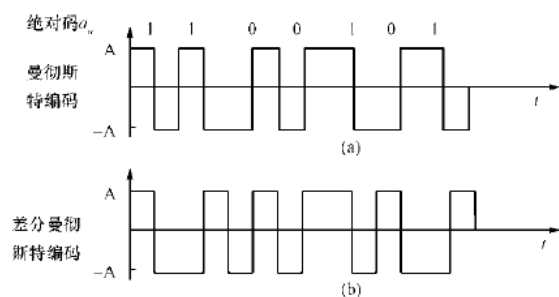
4.10 在数据传输过程中传输加扰的数据，有以下三个优点：第一，可以防止发送功率密度谱中有固定谱线而易干扰其他系统；第二，数据信号中不会出现长连 1 和长连 0 的形式，这样有利于定时同步信号的提取；第三，当发送的序列中出现全“0”时，接收端就会出现长时间无信号波形，会造成自适应均衡器无法得到必要的参考而偏离最佳状态，因此由于同步的准确程度将有利于自适应均衡器的工作。

4.11 见附图 C.3。



附图 C.3 习题 4.11 答案图

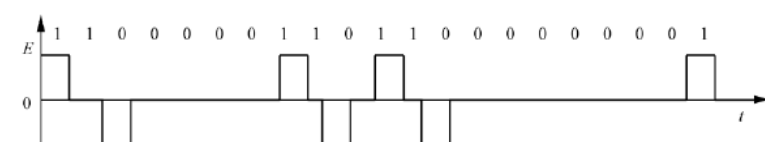
4.12 见附图 C.4。



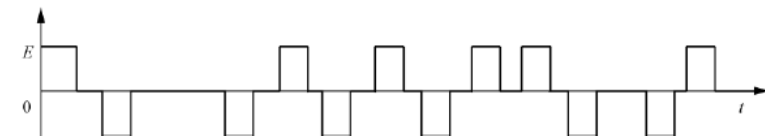
附图 C.4 习题 4.12 答案图

4.13 见附图 C.5。

AMI码: +1-10000+1-10+1-10000000+1



HDB<sub>3</sub>码: +1-1000-V0+1-10+1-1+B00+V-B00-V+1



附图 C.5 习题 4.13 答案图

## 第 5 章 数据信号的频带传输

5.1 在实际应用中,大多数信道具有带通或频带受限的传输特性,而由终端产生的数据信号往往是低通型基带信号,它不能直接在这种带通传输特性的信道中传输,必须先进行调制,产生各种已调信号,接收端采用相反的过程,即解调。

5.2 频带传输系统由调制器、解调器、信道、滤波器、抽样判决器等组成,其核心技术是调制解调技术。

5.3 基带传输系统发送端的信号直接进入信道传输,而频带传输系统在发送端必将信号先进行调制才进行传输,接收端采用相反过程(解调)。

5.4 ASK 调制是用基带数据信号控制一个载波的幅度,又称数字调幅。2ASK 信号调制方法有模拟相乘法和数字键控法,解调方法有相干解调和非相干解调两种方式。

5.5 2ASK 信号的时间波形  $e_{2ASK}(t)$  随二进制基带信号  $s(t)$  的通断而变化,其功率谱密度的特点:

(1) 由连续谱和离散谱组成,其中连续谱是由基带信号经频谱搬移后的双边带谱,离散谱由基带信号的离散谱确定;

(2) 2ASK 信号的带宽  $B_{2ASK}$  是基带信号波形带宽  $f_s$  的两倍。

5.6 2FSK 是指用基带数据信号控制载波频率,当传送“1”码时送出一个频率  $f_1$ ,传送“0”码时送出另一个频率  $f_0$ 。其调制方法有模拟相乘法和数字键控方法,解调方法有非相干解调和相干解调两种。

5.7 2FSK 信号的时间波形可以看成由两个不同载波的二进制幅度键控信号的叠加组成的,其功率谱密度的特点:

(1) 由连续谱和离散谱组成,其中连续谱由两个双边带谱叠加而成,而离散谱出现在  $f_{c1}$  和  $f_{c2}$  的两个载频位置上;

(2) 若两个载频之差较小,如  $|f_{c1}-f_{c2}|$  小于  $f_s$ ,则连续谱出现单峰;如载频之差增大,则连续谱将出现双峰;

(3) 相位不连续的 2FSK 信号的带宽约为  $B_{2FSK}=2f_s+|f_{c2}-f_{c1}|=(h+2)f_s$ 。

5.8 若已调信号的相位变化都是相对于一个固定的参考相位——未调载波的相位来取值,这样的调制方式称为绝对调相。

若每一个码元载波相位的变化不是以固定相位作参考,而是以前一码元载波相位作参考,这样的调制方式称为相对调相。

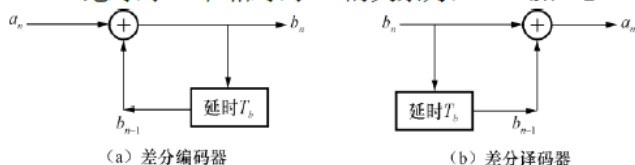
相同:都是用基带数据信号控制载波的相位,使它作不连续的、有限取值的变化以实现信息传输的方法;不同:参考相位不同。

5.9 2PSK 调制方式有直接调相法和键控法两种，解调必须用相干解调法（极性比较法）  
2DPSK 调制方式同 2PSK，解调可以采用相干解调方式（极性比较法）和差分检测方式（相位比较法）。

5.10 2PSK 和 2DPSK 信号的时间波形和同功率谱密度的特点抑制载频的 2ASK。

5.11 对 2DPSK 信号进行相干解调，恢复出相对码序列，若相干载波产生了  $180^\circ$  相位模糊，使得解调出的相对码产生倒置现象，但经过差分译码器后，输出的绝对码不会产生任何倒置现象，从而解决了载波相位模糊问题。

5.12 绝对码  $a_n$  和相对码  $b_n$  的关系为： $b_n = b_{n-1} \oplus a_n$ ，其实现原理图如附图 C.7 所示。



附图 C.7 习题 5.12 答案图

5.13 在相同误码率条件下，2PSK 调制解调方式对信噪比的要求最小；在相同输入信噪比条件下，2PSK 调制解调方式的误码率最低，2DPSK 次之，2ASK 最大，即 2PSK 抗噪性能最好，2ASK 最差。对于同一种调制方式，输入信噪比下同时，采用相干接收比非相干接收性能好些；

对于不同的调制方式，PSK 性能最好，FSK 次之，ASK 最差。

5.14 多进制数字调制的优缺点：

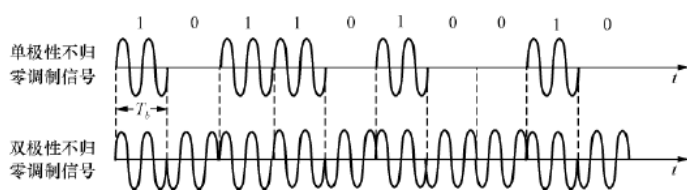
- (1) 在相同的码元传输速率下，信息传输速率比二进制系统高。
- (2) 在相同的信息传输速率下，多进制码元传输速率比二进制低，但所需的带宽较小。增大码元宽度，会增加码元的能量，并能减少由于信道特性引起的码间干扰的影响。
- (3) 在相同的噪声下，多进制数字调制系统的抗噪声性能低于二进制数字调制系统。
- (4) 多进制数字调制系统与二进制数字调制系统相比，通常设备较复杂。

5.15 QAM 调制是指将两路独立的基带波形分别对两个相互正交的同频载波进行抑制载波的双边带调制，所得的两路已调信号叠加起来的过程。

与单边带调制和残余边带调制相比，QAM 调制的两路信号处于一个频段之中，虽然对于每一个支路来讲，带宽是其对应的基带信号（A 或 B）的两倍，但由于是在同一频段内同时传送两路支路信号，且两路已调信号在相同的带宽内频谱正交，可在同一频道内并行传输，因此频带利用率与单边带调制系统的频带利用率相同，而且不需要发送用于载波同步的导频信号。

5.16 16QAM 信号点间的最小距离比 16PSK 的小，因此抗干扰能力较强。

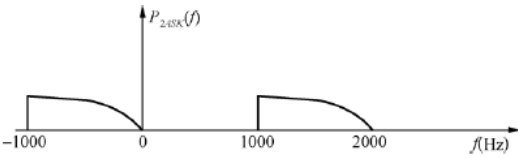
5.17 见附图 C.8。



附图 C.8 习题 5.17 答案图



5.18 调制后频谱搬移，幅度为基带信号功率谱  $P_s(f)$  的  $1/4$ ，波形如附图 C.9。

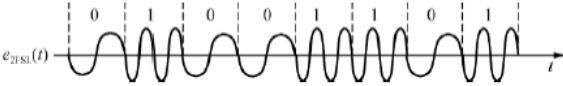


附图 C.9 习题 5.18 答案图

5.19 (1) 1200Hz; (2) 600Bd; (3) 0.5Bd/Hz

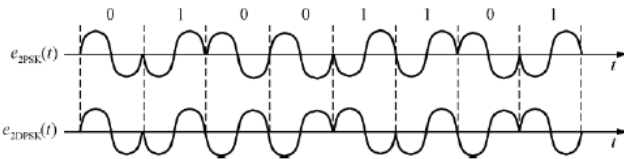
5.20 3800Hz

5.21 见附图 C.10。



附图 C.10 习题 5.21 答案图

5.22 见附图 C.11。



附图 C.11 习题 5.22 答案图

5.23 010010

5.24  $\pi \ \pi \ \pi \ 0 \ \pi \ \pi$

5.25 该图能解调 2ASK、2PSK、2DPSK 信号，不能用来解调 2FSK，因为 2FSK 是以频率来区

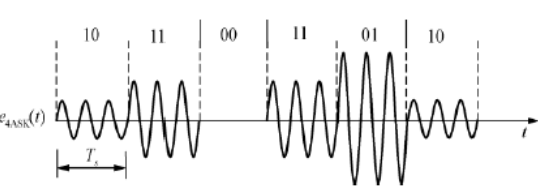
分 1 和 0，要有两个带通滤波器和两个相干载波。

5.26 (1)  $3.67 \times 10^{-9}$ ; (2)  $2.66 \times 10^{-8}$

5.27 (1) 7000Hz; (2)  $9 \times 10^{-3}$ ; (3)  $2.88 \times 10^{-2}$

5.28 (1)  $4.05 \times 10^{-6}$ ; (2)  $2.27 \times 10^{-5}$ ; (3)  $8.1 \times 10^{-6}$

5.29 见附图 C.12。



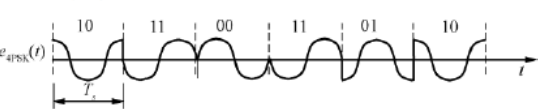
附图 C.12 习题 5.29 答案图

5.30 见附表 C.1。

附表 C.1 习题 5.30 答案表

相位 (初始相位为 0)	$\pi/4$	$\pi$	$-\pi/4$	0	$-3\pi/4$
基带数据信号序列	11	01	01	11	00

5.31 见附图 C.13。



附图 C.13 习题 5.31 答案图

第 6 章 差错控制

6.1 差错控制的基本思想是通过对信息序列作某种变换，使原来彼此独立、没有相关性的信息码元序列，经过这种变换后，产生某种规律性（相关性），从而在接收端有可能根据这种规律性来检查，进而纠正传输序列中的差错。

6.2 这种话是正确的。因为目前已有的抗干扰编码方法都按照某种规律在用户信息序列中插入一定数量的新的码元，新的码元的加入在信道不允许提高速度的前提下，就得要求降低用户输入的信息速率。

6.3 随机差错是指在随机信道中，错码的出现是随机的，而且错码之间是统计独立的、互不相关的。

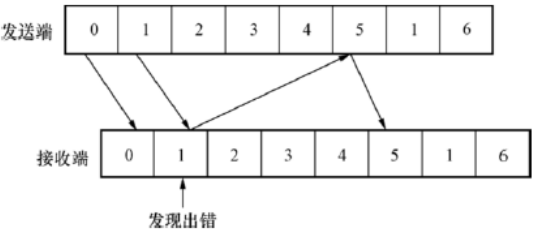
突发差错是指在突发信道中，错码是成串集中出现的。也就是说在一些短促的时间区内会出现大量错码，而这些短促的时间区间之间却又存在较长的无错码区间。

错误密度就是第一个错码至最后一个错码之间的错误码元数与总码元数之比。

6.4 见附图 C.16。

6.5 码长就是组码中码元的数目。码重就是码组中“1”的个数。码距就是两个等长码组之间对应位上数字不同的位数。

编码效率是指一个码组中信息位所占的比重。



6.6 由已知，码组的最小码距  $d_0=4$   
若用于检错，则根据：  $d_0 \geq e + 1$ ，得  $e=3$ ， 附图 C.16 习题 6.4 答案图

所以能检 3 位错；

若用于纠错，则根据：  $d_0 \geq 2t + 1$ ，得  $t=1$ ，所以能检 1 位错；

若同时用于检错和纠错，则根据  $d_0 \geq e + t + 1$  且  $(e \geq t)$ ，得  $e=2$ ，  $t=1$ ，所以能同时检 2 位错码并纠正 1 位错码。

6.7 见附表 C.3。

附表 C.3 习题 6.7 答案表

位 \ 字符	信息字符对应码元									水平监督码元
b7	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1
b6	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1
b5	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1
b4	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
b3	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
b2	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0
b1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0

垂直监督码元      0    0    1    1    1    0    0    1    0

---

发送的数据序列为：

111100001010110010101001000011110111110110001000111010000000111111101000

6.8 首先根据接收到的码组 1000111001, 求得合成码组为: 01000, 因为信息元有 2 个“1”, 偶数个“1”, 所以校验码为合成码组的反码, 10111, 对照表 6.6, 信息元有 1 位出错, 其位置对应于校验码组中“0”对应的位置。

6.9 根据汉明码的定义:  $n=2r-1$

所以  $n=2r-1=15$

得到监督位:  $r=4$

编码效率:  $k/n=1-r/n=1-4/15=11/15$

6.10 计算校正子得: 100, 由表 6.8 可知, 此汉明码有错, 错码位置为  $a_3$ 。

6.11 因为典型监督矩阵  $H=[P|r]$

而典型生成矩阵  $G=[I|kQ]$ , 其中,  $Q=PT$ 。

现已知的监督矩阵是典型监督矩阵, 所以可写出生成矩阵:

$$G = \begin{bmatrix} 1000111 \\ 0100110 \\ 0010101 \\ 0001011 \end{bmatrix}$$

从而许用码组  $[a_6a_5a_4a_3a_2a_1a_0]=[a_6a_5a_4a_3] \cdot G$ , 所以许用码组为:

0000000、0010101、0100110、0110011、1000111、1010010、1100001、1110100、0001011、0011110、0101101、0111000、1001100、1011001、1101010、1111111

6.12 线性分组码的生成多项式为  $g(x)=x^3+x+1$

生成矩阵为:

$$G(x) = \begin{bmatrix} x^{k-1}g(x) \\ x^{k-2}g(x) \\ \vdots \\ xg(x) \\ g(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x^3g(x) \\ x^2g(x) \\ xg(x) \\ g(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x^6+x^4+x^3 \\ x^5+x^3+x^2 \\ x^4+x^2+x \\ x^3+x+1 \end{bmatrix}$$

$$G = \begin{bmatrix} 1011000 \\ 0101100 \\ 0010110 \\ 0001011 \end{bmatrix}$$

对  $G$  经过初等行变换, 可以将它化成典型阵:

$$G = \begin{bmatrix} 1000101 \\ 0100111 \\ 0010110 \\ 0001011 \end{bmatrix}$$

6.13 因为:  $x^{15}+1=(x+1)(x^4+x^3+1)(x^{10}+x^8+x^5+x^4+x^2+x+1)$

所以:  $g(x)=x^{10}+x^8+x^5+x^4+x^2+x+1$

该码的生成矩阵:

$$G(x)=\begin{bmatrix} x^4g(x) \\ x^3g(x) \\ x^2g(x) \\ xg(x) \\ g(x) \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} x^{14}+x^{12}+x^9+x^8+x^6+x^5+x^4 \\ x^{13}+x^{11}+x^8+x^7+x^5+x^4+x^3 \\ x^{12}+x^{10}+x^7+x^6+x^4+x^3+x^2 \\ x^{11}+x^9+x^6+x^5+x^3+x^2+x^1 \\ x^{10}+x^8+x^5+x^4+x^2+x+1 \end{bmatrix}$$

因为:  $m(x)=x^4+x+1$

所以:  $x^{10}\cdot m(x)=x^{14}+x^{11}+x^{10}$

用  $x^{10}\cdot m(x)$ 除以  $g(x)$ , 得余式  $r(x)=x^8+x^7+x^6+x$

所以码多项式:  $T(x)=x^{14}+x^{11}+x^{10}+x^8+x^7+x^6+x$

## 第 7 章 数据交换技术

7.1 对于点到多点或多点到多点之间的通信, 若让所有的通信方两两相连, 则成本高, 连接复杂, 仅适合于终端数目较少、地理位置相对集中且可靠性要求很高的场合。而对于终端用户数量较多, 分布范围较广的情况, 该方法不适合, 而必须数据交换技术。

7.2 利用 PSTN 进行数据交换可以充分利用现有公用电话网的资源, 只需在 PSTN 上增加少量设备, 进行一些必要的测试之后, 即可开放数据通信业务, 因此, 投资少、实现简易、使用方便。缺点是, 传输速率低, 传输差错率高, 线路接续时间长, 不适合高速数据传输; 传输距离受限制, 若要保证长距离传输的质量需采取线路均衡等措施; 接通率低、不易增加新功能等。

7.3 电路交换方式、报文交换方式、分组交换方式和帧方式。

7.4 电路交换方式完成的数据传输要经历电路的建立、数据传输、电路的拆除三个阶段。

7.5 优点: ①信息的传输时延小, 且对一次接续而言, 传输时延固定不变; ②交换机对用户的数据信息不存储、分析和处理用户数据信息时不必附加许多控制信息, 交换机在处理方面的开销比较小信息传输效率比较高; ③数据传输可靠、迅速, 数据不会丢失且保持原来的序列; ④信息的编码方法和信息格式由通信双方协调, 不受网络的限制。

缺点: ①电路接续时间较长; ②电路资源被通信双方独占, 电路利用率低; ③不同类型的终端(终端的数据速率、代码格式、通信协议等不同)不能相互通信; ④有呼损; ⑤传输质量较差。

适用场合: 数据传输要求质量高且批量大的情况。

7.6 报文交换的工作过程:

(1) 报文交换机中的通信控制器探测各条输入通信线路, 若某条用户线有报文输入, 则向中央处理机发出中断请求, 并逐字把报文送入内存器。

(2) 当收到报文结束标志后, 表示一份报文全部接收完毕, 则中央处理机对报文进行处理, 如分析报头, 判别和确定路由, 登录输出排队表等。

(3) 将报文转移到外部大容量存储器, 等待一条空闲输出线路。

(4) 一旦等到线路空闲, 就把报文从外存储器调入内存器, 经通信控制器向线路发出去。

7.7 报文三部分组成:

(1) 报头或标题: 包括源站地址、目的站地址和其他辅助控制信息。

(2) 报文正文: 传输用户信息。



(3) 报尾：表示报文结束标志，若报文长度有规定，则可不用结束标志。

7.8 报文交换的主要优点有：

- (1) 可使不同类型的终端设备之间相互进行通信。
- (2) 由于存储转发机制，在报文交换的过程中没有电路接续过程，且线路利用率高。
- (3) 只要交换节点处缓存足够大，则不存在阻塞与“呼损”。
- (4) 可实现同报文通信，即同一报文可以由交换机转发到不同的收信地点。

报文交换的主要缺点有：

- (1) 不能满足实时或交互式的通信要求，报文经过网络的延迟时间长而且不定。
- (2) 有时节点收到过多的数据而无空间存储或不能及时转发时，就不得不丢弃报文。
- (3) 要求报文交换机有高速处理能力，且缓冲存储器容量大，交换机的设备费用高。

报文交换适用于公众电报和电子信箱业务等。

7.9 分组交换采用存储—转发的方式，它将报文分成若干个分组，每个分组的长度有一个上限，分组可以存储到内存中，提高了交换速度。每个分组中包括数据和目的地址。

7.10 分组交换中采用统计时分复用方式，其优点是可以充分利用通信资源。

7.11 分组型终端以分组的形式发送和接收信息，而一般终端发送和接收的不是分组而是数据报文。一般终端发送数据报文时要先由分组拆装设备（PAD）将报文拆分成若干分组，接收时还需先由 PAD 重新组装成报文。

7.12 分组交换的主要优点：

- (1) 传输质量高。
- (2) 传输时延小。
- (3) 对用户终端的适应性强，为不同种类的终端相互通信提供方便。
- (4) 可实现分组多路通信。
- (5) 经济性好。

分组交换的主要缺点：

- (1) 信息传输效率较低。
- (2) 实现技术复杂。

7.13 见附图 C.17。

7.14 虚电路是指两个用户终端在开始互相发送和接收数据之前需要通过网络建立逻辑上的连接。其特点有：



F: 标志字段

C: 控制字段

A: 地址字段

FCS: 校验字段

附图 C.17 习题 7.13 答案图

(1) 一次通信具有呼叫建立、数据传输和呼叫清除三个阶段。

- (2) 数据分组中不需要包含终点地址，因而对于数据量较大的通信来说传输效率提高。
- (3) 终端之间的路由在数据传送前已被决定。
- (4) 可向用户提供永久服务。
- (5) 缺点是，当网络中由于线路或设备故障可能使虚电路中断时，需要重新呼叫建立新的连接。

7.15 都要经历电路的建立、数据传输、电路的拆除三个过程，但电路交换建立的是物理连接，而虚电路分组交换建立的是逻辑连接。

7.16 (1) 虚电路方式是面向连接的交换方式，常用于两端点之间数据交换量较大的情况，能提供可靠的通信功能，保证每个分组正确到达，且保持原来的顺序。但当某个节点或某条链路出故障而彻底失效时，则所有经过故障点的虚电路将立即破坏，导致本次通信失败。

(2) 数据报方式是面向无连接的交换方式，网络随时接受主机发送的分组（即数据报），网络为每个分组独立地选择路由。网络“尽最大努力交付”的服务，没有质量保证。