

通信原理思考题

1-1 什么是数字信号和模拟信号？两者的区别是什么？

答：若信号参量是连续取值的，则为模拟信号；若信号参量是离散（可数的、有限个）取值的，则为数字信号。

注意：区别模拟信号和数字信号的关键，则是观察携带消息的信号参量（如幅值、频率、相位）的取值是连续的还是离散的，而不是看时间。

1-2 何谓数字通信？简述数字通信系统的主要优缺点。

答：利用数字信号来传递信息的通信系统称为数字通信系统。

优点：1) 抗干扰能力强，且无噪声积累（借助中继手段）；

2) 传输差错可控；(晋程西电通院考研 QQ 群: 680630306)

3) 便于处理、变换、存储；

4) 便于将来自不同信源的信号综合传输；

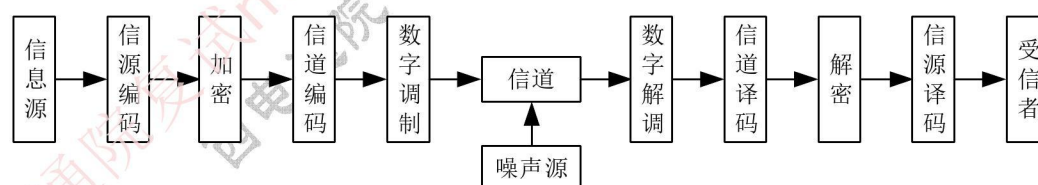
5) 易于集成；易于加密。

缺点：1) 可能需要较大的传输带宽；

2) 对同步要求高。

1-3 画出数字通信系统的一般模型，并简述各小方框的主要功能。

答：一般模型：



主要功能：

信源编码与译码：提高信息传输的有效性；完成模/数转换。

信道编码与译码：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：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。

1-4 在数字通信系统中，其可靠性和有效性指的是什么？各有哪些重要指标？

答：通信方式有：单工、半双工和全双工通信。

1-5 按信号的流向和时间分类, 通信方式有哪些? 、

答: 有效性, 指传输速率和频带利用率。指标: 波特率、比特率和频带利用率。

可靠性, 指传输信息的准确程度。指标: 差错概率, 如误码率和误信率等。

1-6 何谓码元速率和信息速率? 它们之间的关系如何?

答: 码元速率, 即波特率 R_b , 指每秒传送的码元个数, 单位为波特 Baud。

信息速率, 即比特率 R_b , 指每秒传送的平均信息量或比特数, 单位为比特/秒

(b/s)。(晋程西电通院考研 QQ 群: 680630306)

两者关系: $R_b = R_b \log_2 M$ (等概时)

2-1 什么是随机过程? 它具有哪些基本特征?

答: 事物的变化不能用有限的关于时间 t 的确定函数来表示, 这样的过程称为随机过程。基本特征是其变量在两个维度上均是随机的, 一个是时间维度; 另一个是样本维度, 即在某个时刻, 变量所服从的概率密度函数也是随机的。

2-2 随机过程的期望、方差和自相关函数描述了随机过程的什么性质?

答: 期望是摆动中心, 方差描述偏离程度, 自相关函数描述两个时刻样本的关联程度。

2-3 什么是宽平稳随机过程? 什么是严平稳随机过程?

答: 宽平稳: 一个二阶矩随机过程, 其均值为常数, 自相关函数是时延的函数, 则成它为宽平稳随机过程或广义平稳随机过程。严平稳: 统计特性不随时间的推移而变化, 即: 当取样点在时间轴上作任意平移时, 随机过程的所有有限维分布函数是不变的, 也称为狭义平稳随机过程。

2-4 平稳随机过程的自相关函数有哪些性质? 它与功率谱密度关系如何?

答: 平稳随机过程 $\xi(t)$ 自相关函数 $R(\tau) = E[\xi(t)\xi(t+\tau)]$ 的性质如下:

$$(1) R(0) = E[\xi^2(t)] [\xi(t) \text{ 的平均功率}]$$

$$(2) R(0) = E^2[\xi(t)] [\xi(t) \text{ 的直流功率}]$$

$$(3) R(\tau) = R(-\tau)$$

(4) $|R(\tau)| = R(0)$

(5) $R(0) - R(0) = \sigma^2 [\xi^2(t) \text{ 的交流功率}]$

自相关函数与功率谱密度关系：自相关函数与功率谱密度是一对傅里叶变换。

2-5 高斯过程有哪些性质？

答：高斯随机过程性质可以总结如下：(晋程西电通院考研 QQ 群：680630306)

(1) 其 n 维分布完全由其 n 个随机变量的数学期望、方差和协方差函数所决定。

(2) 如果一个高斯随机过程是广义平稳的，则它的均值与时间无关，协方差函数只与时间间隔有关，而与时间起点无关。所以，广义平稳的高斯过程也是狭义平稳的。

(3) 如果高斯过程在不同时刻的取值是不相关的，那么他们也是统计独立的。

(4) 高斯过程经过线性变换（或线性系统）后的过程仍是高斯过程。

2-6 何谓高斯白噪声？它的概率密度函数、功率谱密度如何表示？

答：高斯白噪声的功率谱密度均匀分布在整个频率范围内。

一维概率密度函数为正态分布。功率谱密度为常数： $P_E(\omega) = \frac{n_0}{2}$ 。

2-7 白噪声的自相关函数在 $T=0$ 处的值是什么？白噪声通过理想低通或理想带通滤波器后的情况如何？

答：白噪声自相关函数在 $\tau=0$ 处的值： $R(0) = \frac{n_0}{2}$ ；通过理想低通或带通滤波器

后输出仍为高斯过程，但数字特征有改变。

2-8 高斯窄带噪声的包络和相位分别服从什么概率分布？

答：高斯窄带噪声的包络服从瑞利分布；相位服从均匀分布。

2-9 高斯窄带噪声的同相分量和正交分量的统计特性如何？

答：高斯窄带噪声是一个均值为零的窄带平稳高斯过程，其同相分量和正交分量也是平稳高斯过程，其均值都为零，方差也相同，并且，在同一时刻上得到的同相分量和正交分量是互不相关的或统计独立的。

2-10 正弦波加窄带高斯噪声的合成包络服从什么分布？

答：正弦波加窄带高斯噪声的合成包络服从莱斯分布（或称为广义瑞利分布）。

2-11 线性系统的输出过程的均值、自相关函数及功率谱与输入平稳过程的关系如何？

答： $E_o[x_o(t)] = aH(0)$

注：输出过程的数学期望等于输入过程的数学期望与直流传递函数 $H(0)$ 的乘积。

$$R_o(t_1, t_1 + \tau) = h(\alpha)h(\beta)R_i(\tau + \alpha - \beta)d\alpha d\beta$$

注：如果输入过程是平稳的，输出过程的也是平稳的。

$$P_o(\omega) = |H(\omega)|^2 P_i(\omega)$$

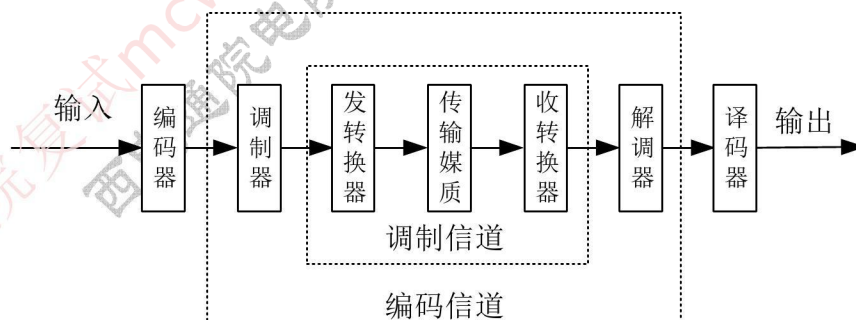
注：输出功率谱密度是输入功率谱密度 $P_i(\omega)$ 与系统功率传输函数 $|H(\omega)|^2$ 的乘积。

3-1 什么是狭义信道？什么是广义信道？

答：狭义信道仅指传输媒质。分为有线信道和无线信道两类。广义信道除了包括传输媒质外，还包括有关的转换装置，如发送设备、接收设备、馈线与天线、调制器和解调器等。这种在狭义信道的基础上，扩大范围的信道称为广义信道。广义信道按照它包括的功能，又可分为调制信道、编码信道等。

3-2 在广义信道中，什么是调制信道？什么是编码信道？

答：



调制信道是为了方便研究调制和解调问题而定义的。这时我们所关心的是调制器输出的信号形式、解调器输入端信号和噪声的最终特性。

编码信道是为了便于研究数字通信系统中的编码与译码问题而定义的。其范围指编码器的输出端至译码器输入端的部分。

3-3 如何区分一个信道是恒参信道还是随参信道？通信中的常用信道哪些属于恒参信道，哪些属于随参信道？

答：恒参信道对信号传输的影响是确定的或者变化极其缓慢的，其传输特性可以

等效为一个线性时不变网络。

对信号传输的影响是：(晋程西电通院考研 QQ 群：680630306)

- 1) 幅度上产生固定的衰减；
- 2) 时间上产生固定的迟延。例如利用对称电缆和同轴电缆的有线电信道、微波中继信道等。

随参信道是指信道传输特性随时间随机快速变化的信道，具有如下三个特点：

- 1) 对信号的损耗随时间随机变化；
- 2) 信号传输的时延随时间随机变化；
- 3) 多径传播。例如陆地移动信道、短波电离层反射信道等。

3-4 什么是理想信道？理想信道的传输函数具有什么特点？

答：理想（恒参）信道就是理想的无失真传输信道，其等效的线性网络传输特性为

$$H(\omega) = K_0 e^{-j\omega t_d}$$

即幅频特性为常数，相频特性为线性函数。

3-5 什么是线性失真？什么是非线性失真？信号在恒参信道中传输时主要有哪些失真？属于哪一类失真？

答：发射信号经过信号调制后，如果频谱结构发生变化则称经历了非线性失真，如果仅是幅值缩放和频谱搬移，则称经历了线性失真。信号在恒参信道中传输时主要有幅频失真和相频失真，它们均属于线性失真。

3-6 群迟延-频率特性是如何定义的？它与相位-频率特性有何关系？

答：所谓的群迟延-频率特性就是相位-频率特性的导数，对于恒参信道来说，群迟延-频率特性是关于频率的常数，其大小为相位-频率函数的斜率。

3-7 随参信道的主要特点是什么？信号在随参信道中传输时会产生哪些衰落现象？

答：随参信道的主要特点是：

- 1) 对信号的损耗随时间随机变化；
- 2) 信号传输的时延随时间随机变化；
- 3) 多径传播。(晋程西电通院考研 QQ 群：680630306)

多径传播使单一频率的正弦信号变成了包络和相位受调制的窄带信号，即多径传播使信号产生了瑞利型衰落，从频谱上看，多径传播使单一谱线变成了窄带频谱，即引起了频率弥散。当发射信号具有一定带宽时，多径传播会引起频率选择性衰落。

3-8 产生幅度衰落和频率弥散的原因是什么？

答：多径传播。经过多径传播后的合成信号可以看成是一个窄带随机过程，其包络和相位都是慢变随机过程。

3-9 什么是相关带宽？相关带宽对于随参信道信号传输具有什么意义？

答：信道最大多径时延差可定义为 $\Delta\tau_m$ ，则定义多径传播信道的相关带宽为

$$B_c = \frac{1}{\Delta\tau_m}$$

它表示信道传输特性相邻两个零点之间的频率间隔。如果信号的频谱比相关带宽宽，则将产生严重的频率选择性衰落。在工程设计中，为了保证接收信号的质量通常选择信号带宽为相关带宽的0.2–0.33倍

3-10 根据噪声的性质来分类，噪声可以分为哪几类？各有什么特性？

答：单频噪声、脉冲噪声和起伏噪声，这三种噪声都是随机噪声。

1) 单频噪声主要是无线电干扰，频谱特性可能是单一频率，也可能是窄带谱。

单频噪声的特点是一种连续波干扰。

2) 脉冲噪声是在时间上无规则的突发脉冲波形，干扰时间短、脉冲幅度大、周期是随机的且相邻突发脉冲间有较长的安静时间。由于脉冲很窄，所以其频谱很宽，但是随着频率的提高，频谱强度逐渐减弱。

3) 起伏噪声是一种连续波随机噪声，包括热噪声、散弹噪声和宇宙噪声。起伏噪声的特点是具有很宽的频带，并且始终存在，它是影响通信系统性能的主要因素。(晋程西电通院考研QQ群: 680630306)

3-11 信道中常见的起伏噪声有哪些？起伏噪声的功率谱密度和概率分布有什么特性？

答：热噪声、散弹噪声和宇宙噪声。功率谱密度在很宽的频率范围内是平坦的，服从零均值高斯分布。亦即起伏噪声可以近似认为是高斯白噪声。

3-12 信道容量是如何定义的？

答：信道容量是指信道中信息无差错传输的最大速率。

3-13 香农公式有何意义？信道带宽和信噪比是如何实现互换的？

答：香农公式表明的是当信号与信道加性高斯白噪声的平均功率给定时，在具有一定频带宽度的信道上，理论上单位时间内可能传输的信息量的极限数值。只要传输速率小于等于信道容量，则总能找到一种信道编码方式，实现无差错传输；若传输速率大于信道容量，则不可能实现无差错传输。

对于一定的信道容量来说，信道带宽、信噪比和传输时间三者之间可以互换。若增加信道带宽，可以换来信噪比降低，反之亦然。如果信噪比不变，那么传输时间可以减少。(晋程西电通院考研 QQ 群: 680630306)

4-1 调制在通信系统中的主要作用有哪些？

答：调制的作用：

- (1) 将基带信号转换成适于信道传输的已调信号；
- (2) 实现信道的多路复用；
- (3) 提高系统抗干扰能力；
- (4) 实现带宽与信噪比之间的互换。

4-2 什么是线性调制？线性调制方式有哪些？已调信号的时域和频域表示式怎么表示？波形和频谱有哪些特点？

答：已调信号频谱如果是调制信号频谱的线性搬移，则是线性调制。模拟调制中，线性调制包括 AM、DSB、SSB 和 VSB。

已调信号的时域和频域表示式：

$$s_m(t) = [m(t) \cos \omega_c t] * h(t)$$

$$S_m(\omega) = \frac{1}{2} [M(\omega + \omega_c) + M(\omega - \omega_c)] H(\omega)$$

在波形上，它的幅度随基带信号规律而变化；在频谱结构上，它的频谱完全是基带信号频谱结构在频域内的简单搬移。

4-3 SSB 信号的产生方法有哪些？

答：SSB 信号的产生方法有滤波法和相移法。

4-4 VSB 滤波器的传输特性应满足什么条件？为什么？

答：为了保证相干解调的输出无失真地重现调制信号，VSB 滤波器的传输特性应

满足:

$$H_{VSB}(\omega + \omega_c) + H_{VSB}(\omega - \omega_c) = \text{常数}, \quad |\omega| \leq \omega_H$$

4-5 如何比较两个模拟通信系统的抗噪声性能?

答: 比较两个模拟通信系统的抗噪声性能, 最终是要看解调器的输出信噪比; 为了便于衡量同类调制系统采用不同解调器时的性能, 还可用输出信噪比和输入信噪比的比值来表示。

4-6 DSB 和 SSB 调制系统的抗噪声性能是否相同? 为什么?

答: DSB 和 SSB 调制系统的抗噪声性能相同。因为在相同的输入信号功率 S_i , 相同输入噪声功率谱密度 n_0 , 相同基带信号带宽 f_H 条件下, 它们的输出信噪比是相等的。(晋程西电通院考研 QQ 群: 680630306)

4-7 什么是频率调制? 什么是相位调制? 两者关系如何?

答: 使高频载波的频率按调制信号的规律变化的调制方式, 称为频率调制。使高频载波的相位按调制信号的规律变化的调制方式, 称为相位调制。FM 和 PM 的关系: 如果将调制信号先微分, 而后进行调频, 则得到的是调相波; 如果将调制信号先积分, 而后进行调相, 则得到的是调频波。

4-8 简述窄带调频和宽带调频的区分、特点和应用。

答: 当最大相位偏移及相应的最大频率偏移较小时, 即满足

$$\left| K_f \int_{-\infty}^t m(\tau) d\tau \right| \ll \frac{\pi}{6} (\text{或 } 0.5)$$

时, 信号占据带宽窄, 属于窄带调频; 反之是宽带调频。宽带 FM 的抗干扰能力强, 因而广泛应用于长距离高质量的通信系统中, 但其频带利用率低, 存在门限效应, 因此在接收信号弱、干扰大的情况下宜采用窄带 FM。

4-9 比较调幅系统和调频系统的抗噪声性能。

答: 在高调频指数时, 调频系统的输出信噪比远大于调幅系统, 但调频系统的这一优越性是以增加传输带宽来换取的。

4-10 为什么调频系统可进行带宽与信噪比的互换, 而调幅不能?

答: 因为增大调频指数, 不仅信号带宽增大, 调制制度增益也增大, 故调频系统可进行带宽与信噪比的互换; 而在调幅制中, 信号带宽是固定的, 故无法进行带

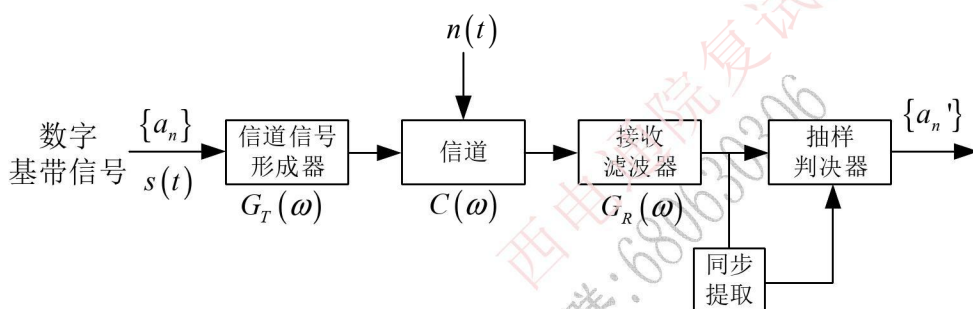
宽与信噪比的互换。

4-11 什么叫门限效应？为什么相干解调不存在门限效应，而非相干解调有门限效应？

答：门限效应是指小信噪比时，信号被检波器扰乱成噪声，导致输出信噪比急剧恶化的现象。因为相干解调是线性解调，解调器输出端总是单独存在有用信号项；而非相干解调是非线性解调，所以在小信噪比时存在门限效应。

5-1 数字基带传输系统的基本组成以及各部分的功能如何？

答：基本组成如下图所示：



各部分的作用如下：

信道信号形成器：(晋程西电通院考研QQ群：680630306)

把原始基带信号变换成适合于信道传输的基带信号，这种变换主要是通过码型变换和波形变换来实现的，其目的是与信道匹配，便于传输，减小码间串扰，利于同步提取和抽样判决。

接收滤波器：

滤除带外噪声，对信道特性均衡，使输出的基带波形有利于抽样判决

抽样判决器：

在传输特性不理想及噪声背景下，在规定时刻（由位定时脉冲控制）对接收滤波器的输出波形进行抽样判决，以恢复或再生基带信号。而用来抽样的位定时脉冲则依靠同步提取电路从接收信号中提取位定时的准确与否将直接影响判决效果。

5-2 什么是基带信号？数字基带信号有哪些常用的形式？它们各有什么特点？

答：来自数据终端的原始数据信号，往往包含丰富的低频分量，甚至直流分量，因而称之为数字基带信号。

常用的数字基带信号有：单极性不归零波形（NRZ）、双极性不归零波形

(NRZ)、单极性归零波形 (RZ)、双极性归零波形 (RZ)、差分波形、多电平波形, 共六种。

单极性不归零波形 (NRZ), 其特点是:

- 1) 极性单一, 有直流分量, 脉冲之间无间隔;
- 2) 位同步信息包含在电平的转换之中, 当出现连 0、连 1 序列时没有位同步信息;
- 3) 等概时, 抽样判决电平为 $E/2$ 单极性不归零波形 (NRZ);

双极性不归零波形 (NRZ), 其特点是:

- 1) 当 0、1 符号等可能出现时无直流分量;
- 2) 判决电平为 0, 因而不受信道特性变化的影响, 抗干扰能力也较强;
- 3) 当出现连 0、连 1 序列时没有位同步信息;

单极性归零波形 (RZ), 其特点是:

- 1) 有直流分量;
- 2) 可以直接提取定时信息, 是其他波形提取位定时信号时需要采用的一种过渡波形; (晋程西电通院考研 QQ 群: 680630306)
- 3) 判决门限 $E/2$;

双极性归零波形 (RZ), 其特点是:

- 1) 无直流分量;
- 2) 有利于同步脉冲的提取;
- 3) 判决门限为 0;
- 4) t 越小, 谱线越宽;

差分波形, 其特点是:

- 1) 不是用码元本身的电平表示消息代码, 而是用相邻码元的电平的跳变和不变来表示消息代码;
- 2) 分为: 传号差分波 (1 变, 0 不变); 空号差分波 (1 不变, 0 变)
- 3) 差分波形是以相邻脉冲电平的相对变化来表示代码, 因此称它为相对码波形;

多电平波形, 其特点是:

- 1) 多于一个二进制符号对应一个脉冲;
- 2) 一个脉冲可以代表多个二进制符号;

3) 传码率一定, 多电平波形的传信率高, 用于高数据速率传输系统;

5-3 研究数字基带信号功率谱的目的是什么? 信号带宽怎么确定?

答: 研究数字基带信号功率谱的目的:

通过谱分析, 可以了解信号需要占据的频带宽度, 所包含的频谱分量, 有无直流分量, 有无定时分量等。

针对信号谱的特点来选择相匹配的信道, 以及确定是否可从信号中提取定时信号, 以及采用怎样的方法可以从基带脉冲序列中获得所需的离散分量。

5-4 构成 AMI 码和 HDB₃ 码的规则是什么? 它们各有什么优缺点?

答: AMI 码, 又称传号交替反转码, 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。

优点: ①不含直流成分, 高、低频分量少, 能量集中在频率为 1/2 码速处。②AMI 码的编译码电路简单, 具有一定的自检能力。

缺点: 连 “0” 时, 不易确定码元起止时刻, 定时提取困难

HDB₃ 码, 全称是 3 阶高密度双极性码, 它是 AMI 码的一种改进型。其编码规则是: (晋程西电通院考研 QQ 群: 680630306)

- 1) 当信码的连 “0” 个数不超过 3 时, 仍按 AMI 码的规则编, 即传号极性交替;
- 2) 当连 “0” 个数超过 3 时, 每 4 个 “0” 划分为一个小节。将第 4 个 “0” 改为非 “0” 脉冲, 记为 +V 或 -V, 称之为破坏脉冲。
- 3) 相邻 V 码的极性必须交替出现, 以确保编好的码中无直流;
- 4) 为了便于识别, V 码的极性应与其前一个非 “0” 脉冲的极性相同, 否则, 将四连 “0” 的第一个 “0” 更改为与该破坏脉冲相同极性的脉冲, 并记为 +B 或 -B;
- 5) 破坏脉冲之后的传号码极性也要交替。

优点: ①保持 AMI 码的优点, 使连 “0” 个数不超过 3 个; ②有利于位定时信号的提取; ③有一定自检能力,

缺点: 较为复杂。

5-5 什么是码间串扰? 它是怎样产生的? 会带来什么不良影响? 应该怎样消除或减小?

答: 码间串扰, 指码元之间相互干扰。也就是其他码元的波形进入了当前码元的

码元时间间隔内，并且在当前码元的抽样时刻不为零，，就会对当前码元的接收和判决带来不利影响，称之为码间串扰。

产生原因：系统传输特性不理想。如果在当前码元抽样时刻，系统对其他码元的响应值不为零，就会对当前码元的接收判决带来干扰。

影响：码元波形失真，误码率增大。

消除或减小的方法：改善系统总传输特性，把系统的总传输特性设计成在当前码元的抽样时刻，仅对当前码元的响应值不为零，而对其他所有码元的响应值均为 0，就可以消除码间串扰。

5-6 为了消除码间串扰，基带传输系统的传输函数应满足什么条件？其相应的冲激响应具有什么特点？

答：满足的条件也即奈奎斯特准则，如下式所示。

$$\sum_i H\left(\omega + \frac{2\pi i}{T_s}\right) = T_s \quad \left|\omega\right| \leq \frac{\pi}{T_s}$$

其相应的冲激响应为：

$$h(kT_s) = \begin{cases} 1, & k=0 \\ 0, & k \text{ 为其他整数} \end{cases}$$

具有等 T_s 间隔的零点，在当前码元的抽样时刻，仅对当前码元的响应值不为零，而对其他所有码元的响应值均为 0。

5-7 基带传输系统中传输特性的带宽是怎么定义的？与信号带宽的定义有什么不同？

答：基带传输系统中传输特性的带宽是指：传输特性的幅频特性的截止频率值。

信号带宽通常是指信号频谱的主瓣带宽。(晋程西电通院考研 QQ 群: 680630306)

5-8 什么叫奈奎斯特速率和奈奎斯特带宽？此时的频带利用率有多大？

答：奈奎斯特带宽：是指该系统能够实现无码间串扰传输所需的最小带宽，即基带传输特性等效为理想低通传输特性时的截止频率处，记为 W_1 。

奈奎斯特速率是指该系统无码间串扰的最高传输速率，它等于奈奎斯特带宽的两倍，即 $2W_1$ 波特。

最高频带利用率： $\eta = R_b / B = 2$ 波特 / 赫。

5-9 什么是最佳判决门限电平？

答：最佳判决门限电平是指在信号幅度和噪声功率不变的前提下，可以找到一个使误码率最小的判决门限电平，这个门限电平称为最佳门限电平。

5-10 当 $P(1) = P(0) = \frac{1}{2}$ 时，传送单极性基带波形和双极性基带波形的最佳判决

门限电平各为多少？为什么？

答：当 $P(1) = P(0) = \frac{1}{2}$ 时，

传送单极性基带波形的最佳门限电平为： $V_d^* = A/2$

传送双极性基带波形的最佳门限电平为： $V_d^* = 0$

5-11 无码间串扰时，基带系统的误码率与哪些因素有关？如何降低系统的误码率？

答：无码间串扰时，基带系统的误码率与信号的先验概率，信号幅度，噪声功率，判决门限电平有关。

降低系统误码率的方法有：增大信号幅度，减少噪声功率，提高信噪比，选取合适的判决门限，等。

5-12 什么是眼图？它有什么用处？由眼图模型可以说明基带传输系统的哪些性能？具有升余弦脉冲波形的 HDB₃ 码的眼图应是什么图形？

答：眼图是指利用实验手段方便地估计和改善（通过调整）系统性能时在示波器上观察到的一种图形。

观察眼图的方法：用一个示波器跨接在接收滤波器的输出端，调整示波器水平扫描周期，使其与接收码元的周期同步；在传输二进制信号波形时，示波器显示的图形很像人的眼睛，故名“眼图”；

眼图的作用：在码间串扰和噪声同时存在的情况下系统性能的定量分析难以进行，因此在实际应用中需要用简便的实验方法来定性测量系统的性能，其中一个有效的实验方法是观察接收信号的眼图。

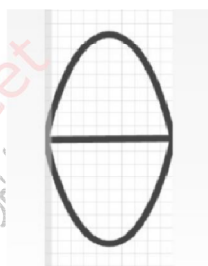
观察眼图模型可以说明基带传输系统的如下性能：

1) 最佳抽样时刻应是“眼睛”张开最大的时刻；

- 2) 眼图斜边的斜率决定了系统对抽样定时误差的灵敏程度：斜率越大，对定时误差越灵敏；
- 3) 图的阴影区的垂直高度表示信号的畸变范围；
- 4) 图中央的横轴位置对应于判决门限电平；
- 5) 抽样时刻上，上下两阴影区的间隔距离之半为噪声的容限，噪声瞬时值超过它就可能发生错误判决
- 6) 图中倾斜阴影带与横轴相交的区间表示了接收波形零点位置的变化范围，即过零点畸变，它对于利用信号零交点的平均位置来提取定时信息的接收系统有很大影响。 (晋程西电通院考研 QQ 群: 680630306)

具有升余弦脉冲波形的 HDB_3 码的眼图：

具有升余弦脉冲波形的 HDB_3 码的眼图中间会出现一根代表连“0”的水平线。



5-13 时域均衡器的均衡效果是如何衡量的？什么是峰值失真准则？什么是均方失真准则？

答：在抽头数有限情况下，均衡器的输出将有剩余失真，为了反映这些失真的大小，一般采用峰值失真准则和均方失真准则作为衡量标准。

峰值失真准则定义为：

$$D = \frac{1}{y_0} \sum_{k=-\infty}^{\infty} |y_k|$$

式中，符号 $\sum_{k=-\infty}^{\infty} |y_k|$ 表示 $\sum_{\substack{k=-\infty \\ k \neq 0}}^{\infty} |y_k|$ ，其中除 $k=0$ 以外的各样值绝对值之和，反映了码间

串扰的最大值， y_0 是有用信号样值，所以峰值失真 D 就是码间串扰最大值与有用信号样值之比。显然，对于完全消除码间干扰的均衡器而言，应有 $D=0$ ；对于

码间干扰不为零的场合，希望 D 有最小值。

均方失真准则定义为：

$$e^2 = \frac{1}{y_0^2} \sum_{k=-\infty}^{\infty} y_k^2$$

其物理意义与峰值失真准则相似。

5-14 频域均衡和时域均衡的基本思想是什么？横向滤波器为什么能实现时域均衡？

答：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；

时域均衡：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击响应满足无码间串扰条件。

横向滤波器的功能是将输入端（即接收滤波器输出端）抽样时刻上有码间串扰的响应波形变换成抽样时刻上无码间串扰的响应波形。所以横向滤波器可以实现时域均衡。

5-15 部分响应技术解决了什么问题？第 IV 类部分响应的特点是什么？

答：部分响应技术解决的问题是：

- 1) 改善频谱特性，使之容易实现；
- 2) 使响应波形“尾巴”衰减大、收敛快，以降低对定时的要求；
- 3) 使频带利用率达到最高(2Baud/Hz)。

第 IV 类部分响应系统的特点：

- 1) 无直流分量；
- 2) 低频分量低；（晋程西电通院考研 QQ 群：680630306）
- 3) 便于通过载波线路，便于边带滤波，实现单边带调制。

6-1 简述低通抽样定理。它是在什么前提下提出的？

答：低通抽样定理：一个频带限制在 $(0, f_H)$ 赫内的时间连续信号 $m(t)$ ，如果以

$T_s \leq \frac{1}{2f_H}$ 秒的间隔对它进行均匀抽样，则 $m(t)$ 将被所得到的抽样值完全确定。

它是在由样值序列重建原信号的前提下提出的。

6-2 对载波基群 60 ~ 108kHz 的模拟信号，其抽样频率应选择在什么范围内？抽

样频率等于多少？

答：因为 $f_H = 2B + 0.25B$ ，所以抽样频率应在 $2B \sim 3B$ （即 $96\text{kHz} \sim 144\text{kHz}$ ）范围内选择。

$$f_s = 2B \left(1 + \frac{k}{n} \right) = 2 \times 48 \times \left(1 + \frac{0.25}{2} \right) = 108\text{kHz}。$$

6-3 理想抽样、自然抽样、平顶抽样在波形上、实现方法上以及频谱结构上都有什么区别？

答：理想抽样波形是强度等于 $m(t)$ 瞬时抽样值的冲击序列，可由冲击脉冲序列与 $m(t)$ 相乘来实现，频谱由无限多个间隔为 ω_s 的 $M(\omega)$ 相叠加而成，被常数 $\frac{1}{T}$ 加权；自然抽样后的脉冲幅度随被抽样信号 $m(t)$ 变化，可由矩形窄脉冲序列与 $m(t)$ 相乘来实现，频谱由无限多个间隔为 ω_s 的 $M(\omega)$ 相叠加而成，包络按 Sa 函数随频率增高而下降；平顶抽样后信号中的脉冲是顶部平坦的矩形脉冲，幅度即为瞬时抽样值，可以由理想抽样和脉冲形成电路来实现，频谱是 $Q(\omega)$ 加权后的周期性重复的 $M(\omega)$ 所组成。

6-4 什么叫量化和量化噪声？量化噪声的大小与哪些因素有关？

答：量化是利用预先规定的有限个电平来表示模拟信号抽样值的过程；量化噪声是指信号抽样值与量化电平之间的误差。量化噪声的大小与量化间隔、量化电平的选取及是否过载有关。

6-5 什么叫均匀量化和非均匀量化？均匀量化的主要优缺点是什么？如何实现非均匀量化？它能克服均匀量化的什么缺点？

答：均匀量化是指把输入信号的取值域按等距离分割的量化；非均匀量化是指在整个动态范围内量化间隔不相等的量化。均匀量化的优点是简单，缺点是量化信噪比随信号电平的减小而下降。实现非均匀量化的方法：把输入量化器的信号先进行压缩，再进行均匀量化。非均匀量化提高了小信号的量化信噪比，从而扩大了输入信号的动态范围。

6-6 什么是 13 折线法？它是怎样实现非均匀量化的？与一般 μ 律、A 律曲线有什么区别和联系？

答：13 折线法是用 13 段折线逼近 $A=87.6$ 的 A 律压缩特性。它是利用数字电路

形成许多折线来逼近对数压扩特性。早期的 μ 律和A律压扩特性使用非线性模拟电路获得,电路实现相当复杂,精度和稳定性都受限,采用数字压扩技术易实现,可提高精度和稳定性。(晋程西电通院考研QQ群: 680630306)

6-7 量化以后为什么还要编码? 编码器是怎样把量化和编码一起完成的?

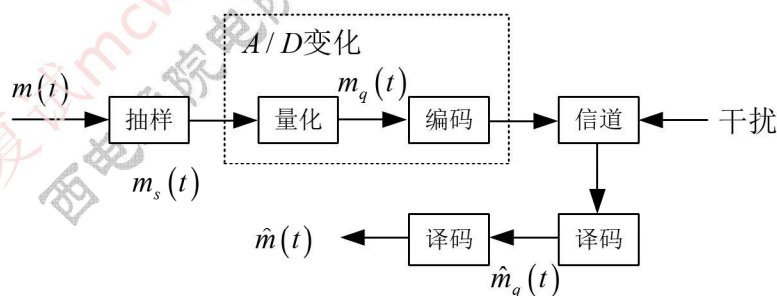
答: 量化以后得到的是多电平数字信号, 如果直接传输, 抗噪声性能很差, 因此还要编码。逐次比较型编码的原理与天平称重物的方法类似, 预先规定好一些作为比较标准的电流 I_w , 当样值脉冲 I_s 到来后, 用逐步逼近的方法有规律地用各标准电流 I_w 去和样值脉冲比较, 每比较一次出一位码, 当 $I_s > I_w$ 时, 出“1”码; 反之出“0”码, 直到 I_w 和抽样值 I_s 逼近为止, 完成对输入样值的非均匀量化和编码。

6-8 线性编码和非线性编码有什么区别?

答: 线性编码采用均匀量化, 而非线性编码采用非均匀量化。

6-9 试画出 PCM 系统的方框图, 并定性画出图中各点波形。简要说明图中各部分的作用。

答: PCM 系统的方框图:



抽样是按抽样定理把时间连续信号转换成时间上离散的抽样信号; 量化是把取值连续的抽样值变成取值离散的抽样值; 编码是把每个量化电平用二进制码组表示; 信道是广义信道, PCM 信号既可采用基带传输, 也可采用频带传输; 译码将二进制码组还原成量化后的样值脉冲序列; 低通滤波器滤除高频分量, 重建信号。

6-10 PAM 与 PCM 有什么区别? PAM 信号与 PCM 信号属于数字信号还是模拟信号?

答：PAM 是脉冲载波的幅度随基带信号变化的一种调制方式；而 PCM 是用一组二进制数字代码来代替连续信号的抽样值，从而实现通信的方式。PAM 信号是模拟信号；PCM 信号是数字信号。

6-11 简述 PCM 和 ΔM 的主要区别。

答：PCM 中，代码表示样值本身的大小，编译码设备复杂，低比特率时量化信噪比低，抗误码性能差；而 ΔM 只用一位编码表示相邻样值的相对大小，编译码设备简单，低比特率时量化信噪比高，抗误码性能好。

6-12 PCM、 ΔM 的代码分别代表信号的什么信息？

答：PCM 中，代码表示样值本身的大小；而 ΔM 中，代码表示相邻样值的相对大小。

6-13 ΔM 的一般量化噪声和过载量化噪声是怎样产生的？如何防止过载噪声的出现？

答：输入模拟信号 $m(t)$ 斜率陡变时，本地译码器输出信号 $m'(t)$ 跟不上 $m(t)$ 的变化，则产生过载量化噪声；当 $m(t)$ 变化缓慢时， $m'(t)$ 能够跟上 $m(t)$ 的变化，

则产生一般量化噪声。当 $\left| \frac{dm(t)}{dt} \right|_{\max} \leq \sigma \cdot f_s$ 时，可防止过载噪声的出现。

6-14 线性 PCM 的量化信噪比与哪些因素有关？简单增量调制量化信噪比与哪些因素有关？

答：线性 PCM 的量化信噪比只与编码位数有关。简单增量调制量化信噪比与抽样速率、信号频率和低通滤波器的截止频率有关。

6-15 为什么简单增量调制的抗误码性能优于 PCM 的？

答： ΔM 系统中，每一个误码代表造成一个量阶的误差，所以它对误码不太敏感；而 PCM 的每一个误码会造成较大的误差，尤其高位码元，所以简单增量调制的抗误码性能优于 PCM 的。(晋程西电通院考研 QQ 群：680630306)

6-16 DPCM 是为解决什么问题而产生的？它与 PCM 的区别是什么？它与 ΔM 的区别和联系是什么？

答：PCM 编码需要较多位数，比特率较高，信号带宽大，为了以较低速率获得高质量编码，因此产生了 DPCM。PCM 是对每个样值本身进行独立编码；DPCM

是对相邻样值的差值进行编码。 ΔM 是 DPCM 的一个特例，它是对相邻样值的差值的极性进行编码。

7-1 什么是数字调制？它和模拟调制有哪些异同？

答：数字调制是用载波信号的某些离散状态来表征传送的信息，在接收端对载波信号的离散调制参量进行检测。

和模拟调制一样，数字调制也有调幅，调频和调相三种基本形式，并可以派生出多种其他形式。在原理上二者没有什么区别。只不过数字调制是对载波信号的参量进行离散调制，在接收端也只需对载波信号的离散调制参量估值。

7-2 数字调制的基本方式有哪些？其时间波形上各有什么特点？

答：数字调制技术有两种方法：一是利用模拟调制方法去实现数字式调制，即把数字调制看成是模拟调制的一个特例，把数字基带信号当成模拟信号的特殊情况处理。二是利用数字信号的离散取值的特点通过开关键控载波，从而实现数字调制，这种调制方式通常有幅度键控、频率键控和相位键控。其时间波形上来说，有可能是不连续的。

2PSK（二进制相移键控），2FSK（二进制频移键控），2ASK（二进制启闭键控），2DPSK（二进制差分相移键控）

7-3 什么是振幅键控？OOK 信号的产生和解调方法有哪些？

答：振幅键控：用载波幅度的有无来表示传送的信息，一般用开关电路来控制。

OOK 信号一般有两种产生方法：1. 模拟幅度调制法；2. 开关电路控制的键控法。OOK 信号有两种解调方法：非相干解调（包络检波法）和相干解调法（同步检测法）。

7-4 2ASK 信号传输带宽与波特率或基带信号的带宽有什么关系？

答：2ASK 信号的带宽是基带信号带宽的两倍。

7-5 什么是频移键控？2FSK 信号产生和解调方法有哪些？

答：频移键控是指用不同的载频来表示所传送的数字信息。（1）利用矩形脉冲序列对一个载波进行调频产生；（2）利用受矩形脉冲序列控制的开关电路对两个不同的频率进行选通，即键控法。

FSK 的解调通常采用非相干解调和相干解调两种方法，同时还有鉴频法，过零检测法和差分检波法。

7-6 2FSK 信号相邻码元的相位是否连续变化与产生方法有何关系？

答：采用模拟调频电路实现的 2FSK 信号，只相位变化是连续的；采用数字键控法产生的 2FSK 信号且相位变化不一定连续。

7-7 相位不连续 2FSK 信号的传输带宽与波特率或基带信号的带宽有什么关系？

答：相位不连续 2FSK 信号的带宽大于基带信号带宽的 2 倍。

7-8 什么是绝对移相？什么是相对移相？他们有何区别？

答：绝对移相是用载波的相位直接表示码元；相对移相是用相邻码元的相对载波相位值表示数字信息。相对移相信号可以看做是把数字信息序列绝对码变换成相对码，然后根据相对码进行绝对移相而成。

7-9 2PSK 信号和 2DPSK 信号可以用哪些方法产生和解调？它们是否可以采用包络检波法解调？为什么？

答：2PSK 信号和 2DPSK 信号可以用模拟调制法和键控调制法产生，2PSK 信号可以用极性比较法，鉴相法解调，2DPSK 信号通常用极性比较法-码变换法，差分相干法解调。它们都不能采用包络检波法解调，因为它们是用相位而不是振幅来携带传播送信息的。

7-10 2PSK 信号及 2DPSK 信号的功率谱密度有何特点？试将它们与 OOK 信号的功率谱密度加以比较。

答：2PSK 信号的功率谱密度同样由离散谱和连续谱组成，但当双极性基带信号以相等的概率出现时，不存在离散谱部分。同时，连续谱部分与 2ASK 信号基本相同，因此，2PSK 信号的带宽也与 2ASK 信号相同。此外，2DPSK 信号的带宽也与 2ASK 信号的相同。(晋程西电通院考研 QQ 群: 680630306)

7-11 二进制数字调制系统的误码率与哪些因素有关？

答：与其调制方式、解调方式和信噪比有关。

7-12 试比较 OOK 系统、2FSK 系统、2PSK 系统和 2DPSK 系统的抗噪性能。

答：2PSK 最好，2FSK 次之，OOK 最差，2DPSK 在 P_e 很小时大约是 2PSK 的两倍。

7-13 2FSK 与 2ASK 相比有哪些优势？

答：在相同的解调方式下，若要得到相同的误码率，2FSK 需要的信噪比比 2ASK 小 3dB。

7-14 2PSK 与 2ASK 和 2FSK 相比有哪此优势？

答：在相同的误码率情况下，2PSK 需要的信噪比比 2ASK 小 6dB，比 2FSK 小 3dB。

7-15 2DPSK 与 2PSK 相比有哪此优势？

答：在相同的信噪比情况下，采用相干解调方式，2DPSK 与 2PSK 的误码率减少一半，而且 2DPSK 还可以采用非相干解调方式。

7-16 何谓多进制数字调制？与二进制数字调制相比，多进制数字调制有哪些优缺点？

答：采用多种基带波形的数字调制称为多进制数字调制，优缺点为：1，在相同传码率时，多进制比二进制传输的信息量大；2，在相同传信率时，多进制比二进制所需要的码率低，带宽窄；3，在相同噪声的情况下，多进制的抗噪声性能不如二进制好。

8-1 什么是匹配滤波器？简要叙述其工作原理。

答：匹配滤波器是使滤波器输出信噪比在某一特定时刻达到最大的一种最佳线性滤波器。

匹配滤波器的传输函数和输入信号有关，信号不同，则匹配滤波器也不同。根据输入信号的不同，选择与其相匹配的匹配滤波器，可以使得滤波器的输出信噪比在某一个时刻达到最大。(晋程西电通院考研 QQ 群: 680630306)

8-2 匹配滤波器的传输函数和单位冲激响应与输入信号有什么关系？

答：匹配滤波器的传输函数是输入信号频谱的复共轭，即：

$$H(\omega) = KS^*(\omega)e^{-j\omega t_0}$$

式中， K 是不为零的常数，通常可选 $K=1$ 。

匹配滤波器的冲激响应 $h(t)$ 是输入信号 $s(t)$ 的镜像及平移(t_0)，即：

$$h(t) = Ks(t_0 - t)$$

式中， t_0 为最大输出信噪比时刻。

8-3 简要说明匹配滤波器为什么能够等效为相关器？

答：相关器输出的数学表达式为： $\int_0^T y(t)s(t)dt$

发送信号为 $s(t)$ ，匹配滤波器的单位冲激响应为 $h(t)=s(T-t)$

若匹配滤波器输入合成波为 $y(t)=s(t)+n(t)$

则匹配滤波器的输出在抽样时刻 $t=T$ 时的样值为 $u_0(t)=\int_0^T y(t)s(t)dt$

可以看出两者在抽样时刻 $t=T$ 时的输出样值相等。因此，可以用匹配滤波器代替相关器构成最佳接收机。

8-4 什么是“最小差错概率准则”？什么是“似然比准则”？什么是“最大似然准则”？三者之间有什么相同和不同之处？

答：使得接收机接收信号的码元差错概率最小。

似然比准则：

为了达到最小差错概率，按照以下规则进行判决：

$$\begin{cases} \frac{f_{s1}(y)}{f_{s2}(y)} > \frac{P(s_2)}{P(s_1)}, \text{判断} r_1 \text{即}(s_1) \\ \frac{f_{s1}(y)}{f_{s2}(y)} < \frac{P(s_2)}{P(s_1)}, \text{判断} r_2 \text{即}(s_2) \end{cases}$$

最大似然准则：

$s_1(t)$ 和 $s_2(t)$ 的发送概率相等时，即 $P(s_1)=P(s_2)$ 时，则有

$$\begin{cases} f_{s1}(y) > f_{s2}(y), \text{判断} r_1 \text{即}(s_1) \\ f_{s1}(y) < f_{s2}(y), \text{判断} r_2 \text{即}(s_2) \end{cases}$$

在加性高斯白噪声条件下，似然比准则和最小差错概率准则是等价的。在先验等概时，似然比准则可以简化为最大似然准则。

8-5 什么是“确知信号”？什么是“随相信号”？什么是“起伏信号”？

答：确知信号：是指一个信号出现后，它的所有参数(如幅度、频率、相位、到达时刻等)都是确知的。如通过恒参信道到达接收机输入端的数字信号。

随相信号：是指除相位参数符合 $(0, 2\pi)$ 的均匀分布外，其他参数都确知的信号。(晋程西电通院考研QQ群：680630306)

起伏信号：又称随机振幅随机相位信号，指幅度与相位均为随机的信号。

8-6 二进制确知信号最佳接收机结构是如何得到的？它与二进制数字调制信号

相干解调器结构有什么相同和不同之处？

答：在一组给定的假设条件下，利用似然比准则，给出满足该准则的最佳接收机的数学描述与组成原理框图。

假设条件是：

(1) 设到达接收机输入端的两个确知信号分别为 $s_1(t)$ 和 $s_2(t)$ ，它们的持续时间为 $(0, T)$ ，且有相等的能量，

$$E = E_1 = \int_0^T s_1^2(t) dt = E_2 = \int_0^T s_2^2(t) dt$$

(2) 噪声 $n(t)$ 是高斯白噪声，均值为零，单边功率谱密度为 n_0 。

(3) 能在噪声干扰下以最小的错误概率检测信号。

在加性高斯白噪声条件下，最小差错概率准则与似然比准则是等价的。因此我们可以直接利用似然比准则对确知信号作出判决，即

$$\begin{cases} \frac{f_{s_1}(y)}{f_{s_2}(y)} > \frac{P(s_2)}{P(s_1)}, \text{判为 } s_1 \\ \frac{f_{s_1}(y)}{f_{s_2}(y)} < \frac{P(s_2)}{P(s_1)}, \text{判为 } s_2 \end{cases}$$

在假设条件下，对该准则加以化简，可以得到最佳接收机的数学描述为：

$$U_1 + \int_0^T y(t) s_1(t) dt \underset{s_2}{\overset{s_1}{>}} U_2 + \int_0^T y(t) s_2(t) dt$$

$$\begin{cases} U_1 = \frac{n_0}{2} \ln P(s_1) \\ U_2 = \frac{n_0}{2} \ln P(s_2) \end{cases}$$

相同之处：均是对接收到的信号用相乘器进行接收，都有比较器和判决器。

不同之处：

相干解调器：接收信号和相干载波相乘，之后通过低通滤波器之后再进行判决。

最佳接收机：接收信号和本地产生的已知发送信号相乘，通过积分器输出其相关值，再进行比较。(晋程西电通院考研 QQ 群：680630306)

8-7 什么是二进制确知信号最佳波形？信号 $s_1(t)$ 和 $s_2(t)$ 满足最佳波形的条件是什么？

答：最佳波形：能使最佳接收机的误码率最小，此时的信号波形就称为最佳波形。

满足最佳波形的条件：

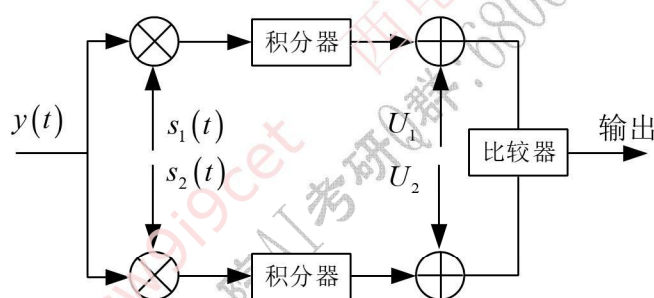
(1) 当信号能量 E_b 和噪声功率谱密度 n_0 一定时，误码率 P_e 就是互相关系数 ρ 的函数；

(2) 互相关系数 ρ 愈小，误码率 P_e 也愈小，要获得最小的误码率 P_e ，就要求出最小的互相关系数 ρ 。

(3) 当 ρ 取最小值 $\rho = -1$ 时，误码率 P_e 将达到最小；

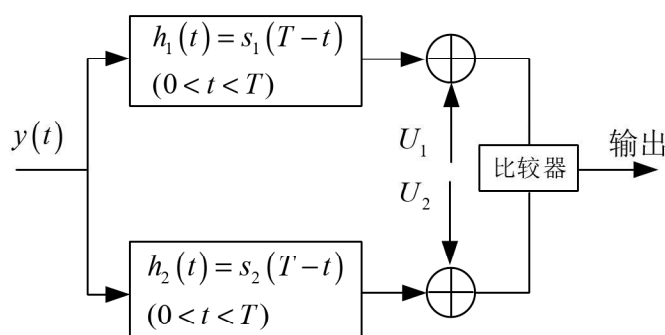
8-8 如何采用匹配滤波器代替相关器构成二进制确知信号最佳接收机结构？两者的等价条件是什么？

答：二进制确知信号相关器形式最佳接收机为



匹配滤波器的输出在抽样时刻 $t = T$ 时的样值为 $u_0(t) = \int_0^T y(t)s(t)dt$ ，与积分器的输出相同。

因此可以用匹配滤波器取代相关器



等价条件是：判决时刻必须为 $t = T$ 时刻。

8-9 二进制随机信号最佳接收机结构有何特点？它是属于相干解调还是非相干解调？为什么？

答：二进制随相信号最佳接收机结构比二进制确知信号最佳接收机结构复杂很多，没有利用接收信号中的相位信息，本地信号与接收信号求相关时，本地信号的频率与接收信号一致，但是对相位没有要求。由于没有利用相位信息，因此这种接收机是一种非相干接收机。

8-10 如何采用匹配滤波器代替相关器构成二进制随机信号最佳接收机结构？简要说明其原理。

答：由于接收机输入信号 $s_1(t, \varphi_1)$ 和 $s_2(t, \varphi_2)$ 包含有随机相位 φ_1 和 φ_2 ，因此无法实现与输入信号 $s_1(t, \varphi_1)$ 和 $s_2(t, \varphi_2)$ 完全匹配的匹配滤波器。

可以设计一种匹配滤波器，它只与输入信号的频率匹配，而不匹配到相位。与输入信号 $s_1(t, \varphi_1)$ 的频率相匹配的匹配滤波器单位冲激响应为

$$h_1(t) = \cos \omega_1 (T - t), 0 < t < T$$

当输入 $y(t)$ 时，该滤波器的输出为：

$$U_{o1} = y(t) * h(t) = \int_0^t y(\tau) \cos \omega_1 (T - t - \tau) d\tau = M_1 \cos [\omega_1 (T - t) + \theta_1]$$

可以看出，匹配滤波器输出信号在 $t = T$ 时刻的包络与二进制随相信号最佳接收机中的参数 M_1 相等。

这表明，采用一个与输入随相信号频率相匹配的匹配滤波器，再级联一个包络检波器，就能得到判决器所需要的参数 M_1 ， M_2 。通过比较 M_1 和 M_2 的大小即可作出判决(晋程西电通院考研 QQ 群：680630306)

8-11 什么是最佳基带传输系统？简要叙述最佳基带传输系统的构成原理。

答：无码间干扰且误码率最小的基带系统是最佳基带传输系统。

影响系统误码率性能的因素有两个：其一是码间干扰；其二是噪声。码间干扰的影响，可以通过系统传输函数的设计，使得抽样时刻样值的码间干扰为零。对于加性噪声的影响，可以通过接收滤波器的设计，尽可能减小噪声的影响。最佳基带传输系统的设计就是通过对发送滤波器、接收滤波器和系统总的传输函数的设计，使系统输出差错概率最小。

8-12 在理想信道条件下，最佳基带传输系统的发送滤波器、接收滤波器和总的

传输函数之间有什么关系？

答：对于理想信道 $C(\omega)=1$ ，此时系统总的传输函数为

$$H(\omega) = G_T(\omega)C(\omega)G_R(\omega) = G_T(\omega)G_R(\omega)$$

为了使接收滤波器输出在抽样时刻得到最大信噪比，接收滤波器传输函数 $G_R(\omega)$ 应满足与其输入信号频谱复共轭一致，即 $G_R(\omega) = G_T^*(\omega)e^{-j\omega t_0}$

选择合适的相位，使上式满足

$$G_T(\omega) = G_R(\omega) = H(\omega)^{\frac{1}{2}}$$

最佳基带传输系统应该这样来设计：首先选择一个无码间干扰的系统总的传输函数 $H(\omega)$ ，然后将 $H(\omega)$ 开平方一分为二，一半作为发送滤波器的传输函数 $G_T(\omega) = H(\omega)^{\frac{1}{2}}$ ，另一半作为接收滤波器的传输函数 $G_R(\omega) = H(\omega)^{\frac{1}{2}}$ 。此时构成的基带系统就是一个在发送信号功率一定的约束条件下误码率最小的最佳基带传输系统。

11-1 数字通信系统中有哪些同步信号？它们都在何处？对同步的要求是什么？

答：数字通信系统中有载波同步、位同步、帧（群）同步和网同步。

载波同步位于系统的相干解调部分；对载波同步的要求是要求该模块提供与信号载波同频同相的相干载波。

位同步位于基带信号的抽样判决部分；对位同步的要求是要求提供抽样判决的最佳时刻。

帧同步位于抽样判决电路之后，用来识别信号分组，要求提供信号分组的起止位置。（晋程西电通院考研 QQ 群：680630306）

网同步是接入网络的各个节点间的同步，由于网络中各个节点需共享时频等网络资源，为了避免冲突，需要网络节点间保持同步。对网同步的要求是使网络中各个节点保持步调一致。

11-2 载波提取电路有哪些方法？各有什么样的特点？

答：平方变换法实现简单，但该方法由于需要产生载波频率的二倍频，不适合过高的载波频率情况。

平方环法是用锁相环代替平方变换法中的窄带滤波器，由于锁相环具有良好的跟踪、窄带滤波器和记忆功能，平方环法具有更好的性能。该方法同样不适合过高的载波频率。平方变换法和平方环法都需要二分频电路，由于分频起点的不确定性，都会产生相位模糊。

同相正交环法又叫科斯塔斯环，该方法不需要产生载波频率的二倍频，也不需要二分频电路，其输出直接是相干载波。但该方法同样存在相位模糊问题。

11-3 插入导频法用在什么场合？插入导频为什么要用正交载波？

答：插入导频法一般用在信号本身不含有载波或者载波很难从已调信号中分离的情况。

如果插入的导频不是正交载波，则接收端的解调输出就会产生一个不需要的直流成分，影响最终的抽样判决。

11-4 对 DSB、VSB 和 SSB 信号用插入导频法实现载波同步时，所插入的导频信号形式有何异同点？

答：DSB 和 SSB 在原载频位置无信号，都可以在原载频位置插入正交导频，而 VSB 信号载频位置有信号，不能在原载频位置插入导频，可以采用在信号频谱两边各加入一个导频的方法。

11-5 单边带信号能否用自同步法提取同步载波？

答：不能用自同步法提取载波。（晋程西电通院考研 QQ 群：680630306）

11-6 载波同步提取中为什么出现相位模糊问题？它对模拟和数字通信各有什么影响？在教材中讲到的几种载波同步提取方法中，哪几种有相位模糊问题？

答：载波同步中出现相位模糊主要是因为分频起点或相位锁定平衡点的不确定引起的。对模拟信号来说相位模糊造成的相位反转对信号的影响不大，如果是语音通信，人耳不能辨别相位反转的影响。而对于数字通信系统来说，相位模糊造成基带信号相位反转会导致数字基带信息大量错误，严重影响系统性能。

教材中讲到的载波同步有：直接法，包括平方变换法、平方环法以及科斯塔斯环法，它们都会出现相位模糊问题；而插入导频方法则没有相位模糊问题。

11-7 在载波提取和位同步提取中广泛地采用锁相环路，与其他提取电路相比，它有哪些优越性？

答：锁相环的优越性主要体现在具有良好的跟踪、窄带滤波和记忆功能。

11-8 同步载波的相位偏移有何危害？

答：同步载波的相位误差对于会造成模拟通信系统的解调输出信号幅度减小；会造成数字通信系统的解调输出信噪比下降，最终导致误码率增加。

11-9 位同步提取电路有哪几种方法？各有什么样的特点？

答：直接从接收的数字信号中提取位同步的电路分为滤波法和特殊锁相环法。

滤波法有包括波形变换-滤波法和包络检波-滤波法。波形变换-滤波法主要是通过通过对基带波形进行变换使基带信号频谱中含有与 $\frac{1}{T}$ 相关的离散谱分量，然后通过窄带滤波器提取该分量，并最终形成位定时脉冲；包络检波-滤波法是利用带限的 PSK 调制信号在码元相位反转处形成“陷落”的特点，通过包络检波及波形变换提取出位同步。（晋程西电通院考研 QQ 群：680630306）

特殊锁相环法可以分为模拟锁相环和全数字锁相环。模拟锁相环可以利用误差信号连续的调整位同步信号的相位，而数字锁相环对位同步信号的调整不是连续的，会有一个最小的调整单位，又称为量化同步器。相比较而言，锁相环法提取电路性能优于滤波法，更加稳定，精确，抗噪声性能更好，适用范围也更宽。

11-10 对位同步的两个基本要求是什么？

答：位同步信号首先应是频率等于码速率的脉冲序列；其次，位同步脉冲的相位应该对准最佳判决时刻。

11-11 数字锁相环由哪几个主要部件组成？主要功能是什么？

答：数字锁相环主要由信号钟、控制器、分频器和相位比较器组成。

信号钟——包括一个高稳定度的振荡器（晶体）和整形电路。若接收码元的速率为 $F = \frac{1}{T}$ ，那么振荡器频率设定在 nF ，经整形电路之后，输出周期性脉冲序列，其周期

$$T_0 = \frac{1}{nF} = \frac{T}{n}$$

控制器——包括扣除门（常开）、附加门（常闭）和“或门”，它根据比相器输出的控制脉冲（“超前脉冲”或“滞后脉冲”）对信号钟输出的序列实施扣除（或添加）脉冲。

分频器——是一个计数器，每当控制器输出 n 个脉冲时，它就输出一个脉冲。

相位比较器——将接收脉冲序列与位同步信号进行相位比较，若同步脉冲

信号相位超前于接收码元相位一输出超前脉冲；若同步脉冲信号相位滞后于接收码元相位一输出滞后脉冲。

11-12 位同步的性能指标有哪些？相位误差 θ_e 对数字通信的性能有什么影响？

答：位同步性能指标主要有相位误差、同步建立时间、同步保持时间和同步带宽。相位误差主要造成位定时脉冲产生位移，使抽样判决时刻偏离最佳位置，从而导致抽样点的信噪比不是最大值，最终导致误码率增加。

11-13 单路 PCM 系统是否需加帧同步码？单路系统 ΔM 是否需帧同步？为什么？

答：单路 PCM 系统需要加帧同步码，因为 PCM 需要区分编码的分组。单路的 ΔM 系统不需要帧同步，因为 ΔM 系统是用一比特表示当前采样值相对于前一采样值的相对大小，又是单路，故不需要对比特进行分组，因此不需要。

11-14 群同步的性能指标与哪些因素有关？

答：群同步的性能指标主要有漏同步概率、假同步概率和同步建立时间。漏同步概率和假同步概率与系统采用的同步码组的码元数、误码概率和判决门限有关。同步建立时间与漏同步概率、假同步概率、每群的码元数及码元的时间宽度有关。

11-15 什么是漏同步和假同步？它们是如何引起的？又怎样减小之？

答：漏同步是由于噪声的影响，使同步码到来时识别器输出峰值小于判决门限，从而导致真同步漏掉的情况；假同步是由于噪声的影响，使同步码未到来时识别器的输出峰值大于判决门限，从而导致同步位置识别错误的情况。可以通过降低判决门限来减小漏同步的发生；相反，需要增大判决门限来减小假同步的发生。

11-16 群同步保护的构思是什么？

答：由于漏同步和假同步对于判决门限的要求相矛盾，群同步保护的思想是，把捕获分成两个阶段来完成：在最初捕获阶段，升高判决门限，减小假同步的概率；在第一阶段完成捕获的基础上进入跟踪态，此时降低判决门限，减小漏同步概率。

10-1 何谓 MSK？其中文全称是什么？MSK 信号对码元持续时间 T_B 内包含的载波周期数有何约束？

答：最小频移键控。每个码元持续时间内包含的载波周期数必须是 $\frac{1}{4}$ 周期的整数倍。

10-2 试述 MSK 信号的 6 个特点?

答: 1. 相位连续; 2. 包络恒定; 3. 带外辐射小; 4. 实现较简单; 5. 可用于移动通信中的数字传输; 6. 占用带宽最小的二进制正交 2FSK 信号。

10-3 何谓 GMSK? 其中义全称是什么? 有 GMSK 信号有何优缺点?

答: 高斯最小频移键控。优点: 相对于 MSK, 有更加集中的功率谱密度, 对邻道干扰更小。缺点: 有码间串扰 (ISI)

10-4 何谓 OFDM? 其中文全称是什么? 有 OFDM 信号的主要优点是什么?

正交频分复用。

答: 可以有效克服多径效应对信号的影响, 并且有以下特点:

- (1) 为了提高频率利用率和增大传输速率, 各路子载波的已调信号频谱有部分重叠。(晋程西电通院考研 QQ 群: 680630306)
- (2) 各路已调信号是严格正交的, 以便接收端能完全地分离各路信号。
- (3) 每路子载波的调制时多进制调制。
- (4) 每路子载波的调制制度可以不同, 根据各个子载波处信道特性的优劣不同采取不同的体制。

10-5 在 OFDM 信号中, 对各路子载频的间隔有何要求?

答: $\Delta f_{\min} = 1/T$ 。

10-6 OFDM 体制和串行单载波体制相比, 其频带利用率可以提高多少?

答: 并行的 OFDM 体制和串行的单载波体制相比, 频带利用率大约可以增至 2 倍。

12-1 在通信系统中, 采用差错控制的目的是什么?

答: 提高通信系统的抗干扰能力, 减小误码率。

12-2 什么是随机信道? 什么是突发信道? 什么是混合信道?

答: 错码的出现是随机的, 且错码之间是统计独立的, 当信道中加性干扰主要是这种噪声时, 就称这种信道为随机信道。在这些突发信道中, 错码是成串集中出现的, 也就是说, 在一些短促的时间区间内会出现大量错码, 而在这些短促的时间区间之间却又存在较长时间的无错码区间。我们把即存在随机错码又存在突发错码, 且哪一种都不能忽略不计的信道, 称为混合信道。

12-3 常用的差错控制方法有哪些? 有什么优缺点?

答: 第一检错重发法; 第二前向纠错法; 第三反馈校验法。

(1) 前向纠错不需反馈信道，能进行一个对多个用户的同时通道，也不需反复重发而延误传输时间。

(2) 自动请求重发：译码设备简单，但是需要反馈信道，而且传输实时性较差。

(3) 混合纠错使通信系统的误码率降低

12-4 什么是分组码？构成有什么特点？

答：将信息码分组，为每组信码附加若干监督的编码，称为分组码。分组码一般用符号 (n,k) 表示。(晋程西电通院考研QQ群：680630306)

12-5 码率、码重、码距的定义。

答：表示码字中信息码元所占的比例，称为编码效率，简称码率，它是衡量码性能的又一个重要参数。在分组码中，非零码元的数目称为码字的汉明重量，简称码重。两个码组对应位上数字的不同位的个数称为码组的距离，简称码距。

12-6 一种编码的最小码距与其检错和纠错能力有什么关系？

答：检错：1) 设要检测的错码个数为 e ，则要求最小码距 $d_0 \geq e+1$ ；

2) 纠错：设要纠正的错码个数为 t ，则要求最小码距 $d_0 \geq 2t+1$ ；

3) 同时纠错检错： $d_0 \geq e+t+1$ ；可以同时纠正 t 个错，检出 e 个错。

12-8 什么是奇偶监督码？检错能力如何？

答：奇偶校验码是分组码。它是在一组信息码元之后附加一位监督码元，组成一组满足奇校验关系或偶校验关系的码组。当附加的监督码元使码组中“1”的个数为偶数个时，称为偶校验码。奇校验码和偶校验码均可检测奇数个误码。奇校验码是检错码，无纠错的能力。偶校验码与奇校验码有同样的检错能力。

12-9 什么是线性码？有什么重要的性质？

答：码组的信息位与监督位之间的关系可以用一些代数线性方程来表示，或者说线性码是由一组线性方程构成的。它具有可以运用代数方法来得到效率较高的编码方式，具有封闭性。码的最小距离等于非零码的最小码重。

12-10 什么是循环码？生成多项式如何确定？

答：循环码中任一码组循环一位（将最右端的码元移至左端，或反之）以后仍为该码中的一个码组。 (n,k) 循环码的生成多项式 $g(x)$ 需要满足以下 3 条性质。

- (1) $g(x)$ 是一 (n, k) 次多项式;
- (2) $g(x)$ 的常数项不为 0;
- (3) $g(x)$ 必须是 $(x^n + 1)$ 的一个因子

免责声明

晋程考研辅导班所建的 QQ 群和钉钉群仅供讨论考研、学习相关的内容，为营造良好的学习氛围，群成员不得发布或传播反动、暴力、恐怖言论等违法信息，不得有辱骂、诽谤、言语攻击他人以及其他妨碍他人学习交流的行为。请各位成员认真遵守上述纪律，群管理员有权将违反纪律者移除相应群并无条件终止服务。

该材料为晋程考研辅导班的内部赠送电子材料，仅供个人登录晋程考研提供的账号和密码线上观看学习或打印使用，该电子材料为非卖品，禁止盗版，翻印，传播等侵权行为。

以上声明最终解释权归晋程考研所有。