

## 通信原理复习题

### 一. 判断题（50 个题，每题 1 分，共 50 分）

- 1) 消息是一个具体概念。例如一段语言、一段文字、一个图形、一副图像、一段视频等都是消息。
- 2) 信息它是一个抽象概念，它是消息所包含的内容。
- 3) 信号是消息的载体，是消息的表示形式。
- 4) 通信的目的是为了传输信息。
- 5) 信息的具体形式是消息，它可以有多种形式。
- 6) 消息的具体形式是信号，它也可以有多种形式。
- 7) 通信的具体形式是信号的传输，但目的是信息的传输。
- 8) 信息量，它是消息所包含信息的多少。
- 9) 已知新闻对接收者来说没有任何意义，它所含信息量为零。
- 10) 平常新闻对接收者来说意义很一般，它所含的信息量不太多。
- 11) 爆炸新闻对接收者来说意义很大，它所含的信息量很多。
- 12) 消息所含的信息量，是该消息所表达事件出现概率的函数。
- 13) 消息所表达事件出现的概率越小，该消息所含的信息量越大，当事件出现的概率为 1 时，信息量为零。
- 14) 如果一个事件由若干个独立事件组成，表达这个事件的消息所含的信息量，是这若干个独立事件消息所含信息量的和。
- 15) 当 2 进制信源的每个码元等概率出现时，则每个码元所含的平均信息量为 1 比特。
- 16) 当 8 进制信源的每个码元等概率出现时，则每个码元所含的平均信息量为 3 比特。
- 17) 一条 10 位 8 进制消息，如果这条消息各个码元是等概率出现，并且各码元之间不相关时，则这条消息所含的信息量为 30 比特。
- 18) 一个二进制消息 1010，如果 0 和 1 是等概率出现，并且消息各位不相关，那么该消息所含的信息量为 4 比特。
- 19) 模拟信号是有无数个取值的连续信号。
- 20) 数字信号是有有限个取值的离散信号。
- 21) 描述模拟信号和数字信号的波形，它们既可以是时间连续的，也可以是时间离散的。
- 22) 一个数字信号的码元是代表数字符号的一个信号波形。
- 23) 模拟通信系统传输的是连续取值的模拟波形。
- 24) 模拟通信系统的接收端要求高保真地恢复发送的波形。
- 25) 模拟通信系统传输质量的衡量准则是输出信噪比。
- 26) 模拟通信系统的基本问题是连续波形的参量估值问题。
- 27) 数字通信系统传输的是离散取值的数字波形。
- 28) 数字通信系统的接收端只要求取样判决发送的离散值，不要求恢复波形。
- 29) 数字通信系统传输质量的衡量准则是输出错误判决概率。
- 30) 数字通信系统的基本问题是统计判决问题。
- 31) 数字通信系统可以进行波形整形，保证远距离的通信质量。
- 32) 数字通信系统可以采用纠错编码等差错控制技术，保证通信的可靠性。
- 33) 数字通信系统可以采用数字加密技术，保证通信的保密性。
- 34) 数字通信系统便于对各种信息的存储与处理。
- 35) 数字通信系统便于进行压缩编码，提高通信信道的利用率。

- 36)数字通信系统具有较高的调制输出信噪比，保证通信质量。
- 37)信源编码，它包括模数转换、压缩编码、保密编码，其主要目的是提高数字信号的有效性。其输出为基带信号
- 38)信道编码，它包括纠错编码等差错控制技术，其主要目的是提高数字信号的可靠性。
- 39)调制，它分为基带调制和带通调制，其主要目的是使数字信号便于在基带信道或带通信道中传输。其输出为基带调制信号或带通调制信号。
- 40)信道，它分为基带信道和带通信道。信道对信号的作用有两种，即信道特性作用和信道噪声作用。
- 41)有效性和可靠性，它们是衡量一个通信系统性能优劣的两个主要指标。
- 42)有效性，它是通信系统在特定信道下，传输信息的快慢程度。
- 43)可靠性，它是通信系统在特定的信道下，传输信息的准确程度。
- 44)有效性与可靠性，它们是相互矛盾的，并且它们之间是可以交换的。
- 45)码元速率（RB），它是单位时间传输的码元数，单位为每秒码元（波特 Baud）。
- 46)信息速率（Rb），它是单位时间传输的信息量，单位为每秒比特（b/s）。
- 47)消息速率（RM），它是单位时间传输的消息数，在传输文字时，单位为（字/秒）。
- 48)当各个码元出现概率相等，码元之间相互独立时，2 进制信号的信息速率等于码元速率。
- 49)当各个码元出现概率相等，码元之间相互独立时，8 进制信号的信息速率等于 3 倍码元速率。
- 50)误码率  $P_e$  =接收的错误码元数/接收的总码元数。
- 51)误比特  $P_b$  =接收的错误比特数/接收的总比特数。
- 52)误比特率才是错误率的实质。
- 53)频带利用率，它是单位频带内所能达到的信息速率。
- 54)频带利用率，它与调制和编码方式有关。
- 55)能量利用率，它是传输每个比特所需要的能量
- 56)能量利用率，它与系统带宽有直接关系，能量利用率与系统占用带宽之间可以交换。
- 57)无线信道，它就是利用电磁波在空间传播，实现无线通信的信道。
- 58)电磁波的传播，它可以分为地波传播、天波传播、视线传播。
- 59)地波，它是沿弯曲的地表传播的电磁波。
- 60)地波，它的频率较低，大约 2MHz 以下。
- 61)地波，它具有一定的绕射能力，它可传播数百或数千公里。
- 62)天波，它是通过电离层和地表反复反射传播的电磁波，频率为 2-30MHz，一次电离层的反射，可以传播 4000 公里，通过多次反射，可以传播 1 万公里以上，但存在没有反射波的寂静区。
- 63)电离层，它在离地约 60-400 公里之间。它有 D、E、F1、F2 四层。
- 64)D 层，它离地 60-80 公里，晚上 D 层消失，它对电磁波主要起吸收和衰减作用，频率越高，衰减越小，较高频率的电磁波可穿过 D 层。
- 65)E 层，它离地 100-120 公里，白天电离浓度很大，能够反射电磁波。
- 66)F 层，它离地 150-400 公里，白天分离成 F1 和 F2 层，F1 高度在 200 公里，F2 高度在 250-400 公里，晚上合并为一层，反射高频电磁波的主要是 F 层。
- 67)视波，它是在空间直线传播的电磁波，频率为 30MHz，它会穿过电离层，沿地表很快衰减，所以形不成天波和地波，传播距离由天线高度决定。
- 68)大气衰减，它是大气中的水蒸气、氧气、雨水等对电磁波吸收造成的衰减，大气对 1GHz 以上的电磁波有明显的衰减，并且对于个别频率点具有很大的衰减。
- 69)水蒸气谐振吸收点，它有 23GHz、180GHz、350GHz。

- 70) 氧气谐振吸收点，它有 62GHz、120GHz。
- 71) 雨水衰减，它在 10GHz 以上急剧增加。
- 72) 民用无线通信，它主要是蜂窝网和卫星通信。
- 73) 蜂窝网，手机与基站之间的通信是地波无线通信。
- 74) 卫星通信，它是视波无线通信。
- 75) 电缆有线信道，它主要是同轴电缆和双绞线，目前只用于短距离通信。
- 76) 光缆有线信道，它主要有多模光纤和单模光纤，目前远距离通信都采用光缆通信。
- 77) 多模光纤，其光源是发光二极管，传播的光是多频和多模的光，传播距离短，只有几百米。
- 78) 单模光纤，其光源是激光，传播的是单频单模的光，传播距离长，可达上百公里。
- 79) 信道模型是多样的，不同的问题可以有不同的信道模型，信道模型中不但包括通信线路，还可以包括放大器、天线，甚至调制解调器等电子设备。
- 80) 调制信道模型，它是从调制器输出到解调器输入的部分，它不但包括通信线路，还包括放大器，天线等电子设备。
- 81) 信道的特性会对信号的失真、延时和衰减等产生直接作用。
- 82) 随参信道，它是信道特性随时间随机变化的信道。
- 83) 恒参信道，它是信道特性不随时间变化或变化缓慢的信道。
- 84) 信道特性的随机变化，它可以看成信道的乘性噪声，或乘性干扰。
- 85) 信道的加性噪声是信道中的线路，各种设备产生的噪声或干扰。
- 86) 编码信道模型，它是从编码器输出到解码器输入的部分，它不但包括通信线路，还包括放大器，天线以及调制解调器等电子设备。
- 87) 编码信道模型，它的输入是数字序列，输出也是数字系列。
- 88) 无记忆编码信道模型，它是指前后码元的错误是相互独立的信道，它的输入与输出的关系可以用转移概率矩阵表示。
- 89) 线性恒参信道，它可以看成是一个不随时间变化的线性网络，它对信号会产生频率失真，它叫做线性失真。
- 90) 线性恒参信道，它的传输特性可以用幅频特性和相频特性描述。
- 91) 非理想线性恒参信道，它的幅频特性和相频特性偏离了理想特性，它在传输数字信号时，波形将发生畸变，造成相邻码元波形混叠，而发生码间串扰，不过这种码间串扰可以通过频率失真的补偿来解决。
- 92) 非线性恒参信道，它可以看成是一个不随时间变化的非线性网络，它对信号不但会产生频率失真，还会产生新的谐波频率的谐波失真。
- 93) 非线性恒参信道，它的输入与输出的关系为非线性：
- 94) 随参信道，它主要是无线信道，无线信道存在信号幅度随时间变化、信号的延时（相位）随时间变化、信号的多径传播。
- 95) 随参信道，它使输出信号产生衰落现象，它将造成数字信号的码间串扰：。
- 96) 确知信号，它是接收端能够准确知道其码元波形的信号，这是理想信号。
- 97) 随机相位信号（随相信号），它是接收端信号波形的相位随机变化的信号，它由传输延时随机变化造成。
- 98) 起伏信号，它是接收端信号波形的包络和相位都随机变化的信号。通过多径传输的信号都有这个特征。
- 99) 信号的时域表示是波形，频域表示是频谱，它们是信号的两种不同的表示形式。
- 100) 信号的波形函数是时间的函数，它是实变实函数，其频谱函数是频率的函数，它是实变复函数。

- 101) 两个信号的卷积运算满足交换律、结合律和分配律。
- 102) 单位冲激函数卷积任何函数都等于该函数。
- 103) 两个信号的时域卷积，就是频域乘积，或说频域的乘积，就是时域的卷积。
- 104) 两个信号的频域卷积，就是时域乘积，或说时域的乘积，就是频域的卷积。
- 105) 能量信号的自相关函数与能量谱密度为一对傅里叶变换。
- 106) 功率信号的自相关函数与功率谱密度为一对傅里叶变换。
- 107) 信号一般指电流或电压，信号的瞬时功率与信号的电流或电压平方成正比。
- 108) 能量信号是总能量为有限值，平均功率为零的信号。
- 109) 功率信号是总能量为无穷或很大，平均功率为有限值的信号。
- 110) 能量信号具有能量谱密度，没有功率谱密度。
- 111) 功率信号没有能量谱密度，只有功率谱密度。
- 112) 周期信号的频谱为离散谱。
- 113) 非周期信号的频谱为连续谱。
- 114) 如果信号的时域有限，则其频域一般为无限。
- 115) 如果信号的频域有限，则其时域一般为无限。
- 116) 单位脉冲函数的频谱函数为 1。
- 117) 余弦波的频谱函数由两个实单位脉冲函数组成。
- 118) 正弦波的频谱函数由两个虚单位脉冲函数组成。
- 119) 自相关函数为偶函数。
- 120) 随机信号在任何特定的时刻，它们都是随机变量，它们都存在特定的概率密度。
- 121) 随机信号在不同时刻的概率密度，它们一般不相同。因为随机信号在不同的时刻是不同的随机变量。
- 122) 随机信号在两个不同时刻的两个随机变量，可以组成一个二维随机变量。
- 123) 随机信号在两个不同时刻的随机变量，它们构成的二维随机变量具有二维概率密度。
- 124) 随机信号的平均值是述随机信号的统计平均的水平。
- 125) 随机信号的方差是描述随机信号偏离平均值的程度。
- 126) 随机信号的自相关函数是描述随机信号前后的相关程度。
- 127) 两个随机信号的互自相关函数是描述这两个随机信号的相关程度。
- 128) 严格平稳随机信号是其统计特性与时间起点无关的随机信号。
- 129) 随机信号的平均值、方差等只是随机信号的部分统计特性，不是全部。
- 130) 广义平稳随机信号是其平均值、方差、自相关函数等部分统计特性与时间起点无关的随机信号。
- 131) 严格平稳随机信号一定是广义平稳的，但广义随机信号不一定是严格的。
- 132) 广义平稳随机信号的平均值和方差是常数，自相关函数与时间起点无关。
- 133) 通信系统的随机信号，一般都可以认为是广义平稳随机信号。即使在长时间内不是广义平稳的，但在一定时间内也可以认为是广义平稳的。
- 134) 各态历经随机信号，它的任何一个实现，包含了所有可能的实现。
- 135) 各态历经随机信号一定是严格平稳随机信号，但严格平稳随机信号不一定是各态历经随机信号。
- 136) 在分析大多数通信系统的稳态特性时，一般可以认为通信系统的信号和噪声都是各态历经的随机信号。
- 137) 随机信号平均值的平方就是信号直流分量的平均功率。
- 138) 随机信号方差值的平方就是信号交流分量的平均功率。
- 139) 随机信号的总平均功率等于零时间间隔的自相关函数值。

- 140) 随机信号的直流分量平均功率等于无穷时间间隔的自相关函数值。
- 141) 随机信号的交流分量平均功率等于零时间间隔的自相关函数值, 减无穷时间间隔的自相关函数值。
- 142) 白噪声具有均匀的功率谱密度。
- 143) 单边功率谱密度是双边功率谱密度的两倍。
- 144) 白噪声在任何两个时刻都是不相关的。
- 145) 白噪声的平均功率等于无穷, 这是因为白噪声具有无穷的带宽。
- 146) 限带白噪声在一定的频带内具有均匀的功率谱密度
- 147) 低通通信系统的白噪声都为限带白噪声。
- 148) 限带白噪声不是任何两个时刻都是不相关的。
- 149) 限带白噪声的平均功率为有限值。
- 150) 带通白噪声在一定的频带内具有均匀的功率谱密度
- 151) 带通通信系统的白噪声都为带通白噪声。
- 152) 带通白噪声不是任何两个时刻都是不相关的。
- 153) 带通白噪声的平均功率为有限值。
- 154) 高斯随机信号是平稳随机信号, 通信系统中的热噪声是一种高斯噪声。
- 155) 高斯热噪声的功率谱密度在全频段不均匀。
- 156) 高斯热噪声的功率谱密度在 0-106MHz 频段基本均匀。
- 157) 工作频段小于 0-106MH 的通信系统, 其高斯热噪声可以看成是白噪声。
- 158) 带通通信系统中的随机信号都可认为是窄带随机信号。
- 159) 0 均值平稳窄带高斯随机信号, 其同相和正交分量也是 0 均值的平稳窄带高斯随机信号, 并且方差相同。
- 160) 0 均值平稳窄带高斯随机信号, 其同相和正交分量在同一时刻, 它们是相互不相关的, 并且是独立的。
- 161) 平稳窄带高斯随机信号的包络的概率密度服从瑞利分布。
- 162) 平稳窄带高斯随机信号的相位服从均匀分布。
- 163) 线性系统是无源、无记忆、非时变网络系统。
- 164) 线性系统的输入输出之间满足叠加原理。
- 165) 线性系统的传输特性, 是其冲击响应的傅里叶变换频谱函数。
- 166) 随机信号的每个实现都是确知信号, 所以, 线性系统的随机信号的响应就是输入随机信号所有实现的响应。
- 167) 线性系统的输入为随机信号, 输出也为随机信号, 输出随机信号的统计特性由输入随机信号的统计特性与线性系统传输特性共同决定, 即线性系统的传输特性可以改变随机信号的统计特性。
- 168) 线性系统输出随机信号的数学期望, 是输入随机信号数学期望的直流响应, 并且与时间无关。
- 169) 线性系统可以改变随机信号的功率谱密度, 实现滤波。
- 170) 线性系统输出随机信号的概率分布由输入随机信号的概率分布与系统传输特性完全决定, 一般地, 高斯随机信号通过线性系统后, 它还是高斯随机信号, 但改变了其数字特征。
- 171) 模拟调制系统, 是指来自信源的基带模拟信号, 称之为调制信号, 去对一个确知的周期载波的参量进行调制, 从而得到已调信号的系。统。
- 172) 线性调制 (幅度调制), 它是指已调信号频谱结构与调制信号频谱结构相同的调制。线性调制包括: 振幅调制、双边带调制、单边带调制、残留边带调制四种形式。

- 173) 非线性调制(角度调制),它是指已调信号频谱结构与调制信号频谱结构不相同的调制。  
非线性调制包括: 频率调制和相位调制两种形式。
- 174) 频谱搬移, 是通过调制, 将调制信号的频谱搬移到所需要的位置。
- 175) 频谱搬移的目的之一, 是使信号频谱适应信道的频带, 便于信号可靠和有效传输。
- 176) 频谱搬移的目的之二, 是为了便于对使多个模拟信号进行组织管理, 或便于进行多路传输。
- 177) 幅度调制, 是在调制信号中加入直流成分后, 再对载波的幅度进行调制的一种调制。
- 178) 幅度调制, 调制信号的频谱被搬移到了载波频率的两边, 没有改变其频谱结构。
- 179) 幅度调制, 已调信号频谱有两个边带, 分别在载波频率的两边。两个边带含有调制信号一样的信息。
- 180) 幅度调制, 已调信号中, 存在载波, 载波不含有信息, 但它占有已调信号大部分的能量。
- 181) 双边带调制, 是调制信号直接对载波的幅度进行调制的一种调制。
- 182) 双边带调制, 调制信号的频谱被搬移到了载波频率的两边, 没有改变其频谱结构。
- 183) 双边带调制, 已调信号频谱有两个边带, 分别在载波频率的两边。两个边带含有调制信号一样的信息。
- 184) 双边带调制, 已调信号中, 不存在载波, 不存在载波占用能量的问题, 可以节省发射功率。
- 185) 由于双边带已调信号中不存在载波, 因此, 通信系统必须传输载波同步信息, 以便接收端恢复同频同相的载波, 这样接收端才能进行解调。
- 186) 解调可以采用相干解调法解调。相干解调就是将已调信号的频谱重新搬移回调制信号频谱的位置, 但这时会出现高频成分, 它可以通过低通滤波器予以滤除。
- 187) 单边带调制, 是在双边带调制的基础上, 通过高通或低通滤波器, 取出一个边带的一种调制。
- 188) 单边带调制, 采用高通滤波器, 取出的是上边带。采用低通滤波器, 取出的是下边带。
- 189) 单边带调制, 为了能取出上边带, 或下边带, 调制信号不能有太低频的成分。
- 190) 单边带调制能够节省发射功率和占用频带, 所以得到广泛的应用。另外, 单边带调制也常用来组织多路信号, 实现多路通信。
- 191) 由于单边带已调信号中也不存在载波, 因此, 通信系统必须传输载波同步信息, 以便接收端恢复同频同相的载波, 这样接收端才能进行解调。
- 192) 残留边带调制, 是带载波, 取一个边带, 还取部分另一个边带的调制。
- 193) 残留边带滤波器, 要求满足对称互补的特性, 保证采用相干解调不失真。实际上这个要求是在解调时实现的, 在发送端没有要求。
- 194) 频率调制, 是调制信号对载波的频率进行调制的一种调制。
- 195) 频率调制, 不但将调制信号的频谱搬移到了载波频率的位置, 它还改变了调制信号的频谱结构, 即已调信号的频谱结构, 与调制信号的频谱结构不一样。
- 196) 频率调制, 已调信号的带宽大于调制信号的带宽, 频谱得到了展宽。
- 197) 频率调制, 它有较强的抗干扰能力, 但它的频率利用率下降了。
- 198) 调频信号在解调前一般要进行限幅, 它可以消除干扰等对信号的幅度调制效应。
- 199) 相位调制, 是调制信号对载波的相位进行调制的一种调制。
- 200) 相位调制, 可以先对调制信号进行微分, 再进行调频来实现。
- 201) 调相与调频本质都是角度调制。
- 202) 模拟信号的数字化, 它就是模数转换, 将模拟信号转换为数字信号。
- 203) 模拟信号的数字化, 它在数字通信系统中, 属于信源编码的内容。
- 204) 模拟信号数字化的过程, 分为抽样、量化、编码三个步骤。

- 205) 模拟信号数字化的方法，有脉冲编码调制、差分脉冲编码调制、增量调制等。
- 206) 模拟信号数字化的作用，一是将模拟信号转换为数字信号，二是去除模拟信号中不需要的信息，实现压缩编码，提高通信系统的传输效率。
- 207) 抽样要实现的目标，是在理想条件下，保证接收端的模拟信号与发送端模拟信号完全一致，实现模拟信号的无失真传输。
- 208) 信号经过抽样后，其频谱可由原信号频谱进行周期平移得到。
- 209) 接收端重建，就是将接受的时间离散的抽样信号，恢复为时间连续的信号。
- 210) 重建是采用低通滤波器，从抽样信号的周期频谱中，取出原信号的频谱的过程。
- 211) 能够重建的条件，是抽样信号频谱不产生混叠。
- 212) 低通抽样定理：一个低通限带信号 ( $0-f_H$ )，只要抽样频率  $f_s$  高于低通限带信号最高频率的两倍，就可以实现抽样信号无失真地重建原始低通限带信号。
- 213) 电话信号是 4kHz 带宽的低通信号，满足低通抽样定理的最低抽样频率是 8kHz。
- 214) 抽样信号，是时间离散的模拟信号，其抽样值是连续变化的，不是离散的。
- 215) 量化过程，是将抽样信号的取值范围划分为多个量化区间，每个量化区间设定一个量化电平，抽样值处于某一个量化区间时，就用该量化区间的量化电平，代替该抽样值。
- 216) 量化过程是模拟信号数字化的过程，它将抽样值进行了离散化，用离散的量化电平，取代连续取值的抽样值。
- 217) 量化分为均匀量化和非均匀量化，量化区间均匀的为均匀量化，量化区间非均匀的为非均匀量化。
- 218) 量化过程将带来误差，它称为量化误差或量化噪声，用信号量噪比来衡量量化的好坏，它是信号功率与量化噪声功率的比。
- 219) 信号量噪比，它由抽样信号的概率分布、量化区间数（量化电平数）、量化间隔的划分方法共同决定。
- 220) 提高信号量噪比的方法，就是在特定的量化电平数下，使量化区间的划分，适应信号的取值概率分布。
- 221) 量化电平数越大，信号量噪比越高，但它将要求的编码数越大。
- 222) 均匀量化是将量化区间均匀，量化电平取量化区间中点的量化。
- 223) 均匀量化的信号量噪比不均匀，信号功率小时信号量噪比低，信号功率大时信号量噪比高。
- 224) 非均匀量化，它可以先对抽样信号进行压缩后，再进行均匀量化来实现。
- 225) 理想对数压缩非均匀量化，其压缩特性为对数，小信号的量化间隔小，大信号的量化间隔大。
- 226) 理想对数压缩非均匀量化，可以实现大小信号一样的均匀信号量噪比。
- 227) 理想对数压缩，在零信号附近的压缩特性必须进行修正。
- 228) A 律对数压缩特性可以用 13 段折线进行近似。
- 229) 13 折线 A 律对数压缩非均匀量化，它在 0-1 整个区间是对数量化，但在各个折线段是均匀量化。
- 230)  $\mu$  律对数压缩特性可以用 15 段折线进行近似。
- 231) 15 折线  $\mu$  律对数压缩非均匀量化，它在 0-1 整个区间是对数量化，但在各个折线段是均匀量化。
- 232) 脉冲编码调制 (PCM) 是包括抽样、量化、二进制编码的 A/D 转换过程。
- 233) 自然码是按抽样值的顺序编制的二进制码，码不表示抽样值大小。
- 234) 折叠码的第一位表示抽样值的正负，后面位的二进制数表示抽样值的绝对值大小。
- 235) 13 折线 A 律的编码为折叠码，一个抽样值编制 8 位码，1 位极性码（可表示正负），3

位段落码（可表示 8 个段落），4 位段内码（可表示 16 个量化电平）。

- 236) 13 折线 A 律对数压缩非均匀量化的总量化间隔数为单边 128，双边 256。
- 237) 模拟电话信号带宽约为 4k。PCM 数字电话信号带宽约为 32k。
- 238) 压缩编码是去除信号中相关的冗余信息的编码
- 239) 电话信号前后具有很强的相关性，DPCM 就是一种去除这种相关性的压缩编码。
- 240) DPCM，是线性预测差值系统，它只对差值进行编码，因为信号前后相关，所以差值信号很小，可以用更少的码来进行编码，从而降低了数字信号的带宽。
- 241) DPCM 信号的量噪比高于 PCM 信号的量噪比。
- 242) 保持相同的信号量噪比，DPCM 的编码位数比 PCM 少得多。
- 243) DPCM 的信号量噪比，不但随编码位数增加而增加，还随抽样频率提高而增加，并且是立方关系，所以提高抽样频率，可以大大提高信号量噪比。
- 244) 增量调制，它是最简单的 DPCM。量化只取两个量化电平 $+\Delta$ 和 $-\Delta$ 。预测系数只取一个，并取为 1。
- 245) 增量调制，量化噪声分为基本噪声和过载噪声两种。
- 246) 增量调制，由于信号量噪比与抽样频率的三次方成正比，所以一般增量调制的抽样频率都取比较大。
- 247) 数字信号的编码是用二进制符号表示数字信号的方法，同一个数字信号可以用不同的二进制符号表示，即不同的编码方法。
- 248) 数字信号的码组是表示一个信息单元的数字组合。
- 249) 数字信号的波形是用电压波形表示数字信号的方法。数字信号的传输总是要用电压波形来表示才能实现。
- 250) 传输码型，要求无直流成分，低频分量小；含有码元定时信息；传输效率高；具有一定的检错能力；码特性与信源的统计特性无关；
- 251) AMI 码（传号交替反转码）无直流成分，但可能出现超长连 0 的情况。
- 252) HDB3 码（3 阶高密度双极性码）无直流成分，并且不可能出现超长连 0 的情况。
- 253) 双相码（曼彻斯特码）无直流成分，并且含有丰富的位定时信息。
- 254) nBmB 码(分组码)是用 m 位二进制码表示 n 位二进制码的编码，要求 m 大于 n。
- 255) 数字信号的传输码元波形，它不是具有无穷频谱的矩形脉冲波形，而是具有有限频谱的非矩形脉冲波形。
- 256) 每个码元波形，并不是只限制在本码元时间范围中，它将扩展到相邻码元时间范围里，这种扩展，对相邻码元的波形可能造成干扰。
- 257) 码间串扰是相邻码元波形扩展造成的干扰。码间串扰将造成抽样判决错误。
- 258) 码间串扰是由系统总传输特性不佳所造成，与信道加性噪声无关。
- 259) 系统总传输特性，包括信道，发送和接受滤波器。信道是不能随便改变的，但发送和接受滤波器是可以设计的，所以，可以通过设计来消除码间串。
- 260) 理想传输系统的传输特性，是一个理想低通滤波特性，它不存在码间串扰。
- 261) 理想传输系统具有最高的频率利用率。
- 262) 理想传输系统，码元波形的扩展部分振荡幅度很大，且尾巴太长，它要求抽样时间精确，否则将出现码间串扰。
- 263) 奈奎斯特准则，只要求码元波形的扩展部分，在其他码元的抽样点为零。
- 264) 如果满足奈奎斯特准则，则码元波形不存在码间串扰。
- 265) 理想传输系统满足奈奎斯特准则，它是无码间串扰的最小带宽传输系统，其带宽为奈奎斯特带宽。
- 266) 余弦滚降传输系统，它满足奈奎斯特准则。它的带宽比理想传输系统宽，但它的特性容



易实现。

- 267) 余弦滚降传输系统的码元波形, 其扩展部分振荡幅度小, 且尾巴短, 当抽样时间不那么准确时, 也不会产生码间串扰。
- 268) 部分响应传输系统是实现最小的传输带宽的系统, 但它的传输函数是可实现的滚降形式。
- 269) 部分响应传输系统, 它不满足奈奎斯特准则, 所以它一定存在码间串扰。
- 270) 部分响应传输系统的码间串扰, 只对相邻的几个码元有串扰, 例如第 I 类部分响应, 它只对相邻码元有串扰。
- 271) 部分响应传输系统的码间串扰, 它是确定的, 是已知的, 它可以通过预编码消除。
- 272) 眼图是用示波器直接观察数字传输系统的码间串扰和噪声的实验方法。
- 273) 均衡器的作用, 是对传输系统特性的补偿, 使得系统的传输特性满足奈奎斯特准则, 消除码间串扰。
- 274) 均衡器分为, 频域均衡器和时域均衡器。频域均衡器是从频率特性的角度去考虑问题, 时域均衡器是从波形特征的角度去考虑问题, 它们都是调整系统特性以满足奈奎斯特准则。
- 275) 均衡器的特性, 要求可调, 甚至可自动调节。
- 276) 发送和接受滤波器特性是固定的, 但信道特性是变化的, 这种变化可通过手动调节或自动调节均衡器的特性来补偿, 使总传输特性随时满足奈奎斯特准则, 从而随时消除码间串扰。
- 277) 数字调制系统是数字信号对一个正弦载波调制的带通调制系统。
- 278) 基本的数字调制系统, 有幅度调制、频率调制、相位调制三种。幅度调制是线性调制, 频率调制和相位调制是非线性调制。
- 279) 基本的二进制数字调制系统, 有幅度键控 (2ASK)、频率键控 (2FSK)、相移键控 (2PSK 和 2DPSK) 三种。
- 280) 数字调制的解调有相干解调和非相干解调两种。
- 281) 已调信号的表示有波形表示和矢量表示两种。
- 282) 包络检波非相干解调不需要从信号中提取载波。
- 283) 相干解调需要从信号中提取载波。
- 284) 过零检波非相干解调不需要从信号中提取载波。
- 285) 从相移键控信号中提取的载波, 一定存在相位模糊问题。
- 286) 相位模糊问题, 使相移键控信号的解调存在正反码不确定的问题。
- 287) 差分相移键控, 可以解决相位反转的不确定性问题。
- 288) 差分相移键控, 可以通过相对编码方法来实现。
- 289) 从差分相移键控信号中提取的载波, 也一定存在相位模糊问题, 但它不影响差分相移键控信号的正确解调。
- 290) 相移键控的性能高于频移键控, 频移键控的性能高于幅度键控。
- 291) 多进制数字键控的信息传输速率比 2 进制数字键控高, 因为, 多进制数字键控的码元信息大, 同样的码元速率, 可得到更高的信息速率。
- 292) 多进制数字键控的误码率比 2 进制数字键控高, 因为多进制数字键控的判决电平数多, 更容易造成误码。
- 293) 多进制数字键控的误码率与信噪比的关系与 2 进制数字键控一样, 它随信噪比的增加而下降。
- 294) 采用多进制数字键控可实现高速数字传输, 只要提高信噪比, 就可以同时保证有足够低的误码率。

- 295) 基本的多进制数字键控有, MASK、MFSK、MPSK、MDPSK。
- 296) 多进制键控码由多位码组成, 多进制键控的判决错误, 一般发在相邻码之间。
- 297) 雷码是相邻码只有一位不同的码。
- 298) 如果多进制键控使用格雷码, 则在相邻码之间产生的判决错误, 只会引起一位码的错误, 这将大大降低其误比特率。
- 299) MPSK 用  $M$  种载波相位来表示信息。一个 MPSK 是两个正交的 MASK 之和, 所以 MPSK 的带宽与 MASK 相同。
- 300) 4PSK 也叫正交相移键控 (QPSK), 4PSK 码是两位码  $ab$ , 4 种相位, 它有 A 和 B 两种方式。
- 301) 4PSK 的解调, 它可以将 4PSK 看成两个正交的 2ASK 来解调, 该解调方法 A 和 B 方式都能解调。
- 302) MDPSK 可以解决在相移键控中普遍存在的问题, 这就是信号中所提取的载波, 会有相位模糊问题, 它将导致解调译码错误。
- 303) MDPSK 的信息表示, 不是绝对相位, 而是相对相位。
- 304) MDPSK 的实现, 是先对输入信息的绝对码进行差分编码得到相对码, 再拿该相对码进行 MPSK 来实现的。
- 305)  $M$  进制的差分编码, 它选取  $M$  个格雷码, 输入绝对码和输出相对码都用这  $M$  个格雷码表示, 对于前一位特定的输出码变成当前输出码, 共有  $M$  种变化关系, 这  $M$  种变化关系分别对应  $M$  种输入码, 所以输入码一旦确定, 输出码也就确定了。
- 306) 多进制振幅/相位联合键控 MAPK, 它同时用振幅和相位来表示信息。它是正交的两个幅度键控的叠加, 也称为 MQAM 调制或星座调制。
- 307) 之所以 MAPK 称为星座调制, 因为它的矢量图就像一个星座。
- 308) 在相同信号幅度的条件下, 在矢量图中, MQAM 各个点之间的距离大于 MPSK 各个点之间的距离, 所以 MQAM 比 MPSK 的噪声容量大, 误码率低。
- 309) 通信系统涉及到四种同步问题, 它们分别是载波同步、位同步、群同步、网同步。
- 310) 载波同步, 它是解决接收端在相干解调时, 本地载波与接收信号中的调制载波同频同相的问题。
- 311) 位同步, 它是解决接收端在取样判决时, 本地位同步脉冲与接收信号中的码元同频同相的问题。
- 312) 群同步, 它是解决接收端在对分组进行分组时, 对码组的识别问题。
- 313) 网同步, 它是解决通信网络各个通信站点之间的同步问题。
- 314) 为了实现同步, 在传输的信号中, 必须加入各种同步信息, 以便接收端能够提取这些同步信息实现接收端各种本地同步问题。这意味着要增加额外的通信开销, 这是保证同步所需要付出的代价。
- 315) 插入导频法适用于接收信号中不存在载波信息, 即接收信号中没有载波离散频谱的情况。二进制相移键控 (2PSK)、残留边带 (VSB)、单边带 (SSB) 就是这种情况。
- 316) 插入导频法在信号中专门加入一个载频信号, 称为导频信号, 以便接收端能够通过提取导频信号, 恢复本地载波。这个载频信号可以是连续的, 也可以是周期断续的。
- 317) 在插入导频法中, 为了使导频信号不干扰 2PSK 信号, 可取与 2PSK 信号正交正弦波信号作为导频信号。
- 318) 同步建立时间, 它是从系统接收信号开始, 或系统产生失步开始, 到提取出稳定的载波所需的时间, 这个时间越短越好。
- 319) 同步保持时间, 它是从接收信号消失, 到系统失去稳定载波的时间, 这个时间越长越好。
- 320) 系统的同步建立时间与同步保持时间是矛盾的, 系统设计要折中考虑。

- 321) 载波同载波同步误差，它是造成数字通信误码的主要原因之一。
- 322) 载波同步误差越大，它使解调信噪比下降越厉害，信噪比的下降，将造成误码率的增加。
- 323) 载波同步误差越大，它使解调信号失真越严重，越会加重数字信号的码间串扰，从而也会造成误码率的增加。
- 324) 外同步法，是在正常的信息码元序列外，附加位同步用的辅助信息，以实现位同步信息提取的方法。
- 325) 常用的外同步法，是在正常的信息码元序列中插入频率为码速率或码速率倍数的同步信号。在接受端用窄带滤波器将这个同步信息提取出来，并形成码元脉冲。
- 326) 外同步法，优点是简单实用，缺点是它要增加通信开销。
- 327) 外同步法的实现，分为时域实现和频域实现两种。
- 328) 外同步法的时域实现，它是从时域考虑，在每位信息码前，或在每组信息码前插入一个位同步头来实现。
- 329) 外同步法的频域实现，它是从频域考虑，在信息频谱的空隙中，或在信息频谱之外插入同步信息。
- 330) 自同步法，它是直接从信息中提取位同步信息的方法，它不需要在信息中附加额外的位同步信息，但要求信号有突变，这可以由基带传输码编码实现。
- 331) 自同步法分为，开环码元同步法和闭环码元同步法两种。
- 332) 位同步不准时，用该位同步脉冲去接受信号，相当于接收的信号能量变小，由于噪声能量不变，所以这将造成信噪比下降，使误码率增加。
- 333) 集中插入法，是将群同步码组集中插在一群信号码元的前面。接收端一旦捕捉到这个群同步码组，就可以知道这群码元的头，从而实现对接收码元序列的划分分组，完成接收信息码的分组。
- 334) 集中插入法的优点，是可以快速实现同步，适合要求快速同步的地方，或者间断传输信息并且每次传输时间很短的场合。
- 335) 集中插入法的缺点，是对信号码元序列的连贯性影响大，会造成信号码元群之间分离过大。
- 336) 群同步码组，是一组特殊的固定码组，它是为了群同步识别而专门设计的。
- 337) 群同步码组要求具有优良的自相关特性，因为在接收码元序列中，不管是信息码元还是群同步码元，它们都是 0 和 1 的序列，只有群同步码组具有优良的自相关特性，才能在接收码元序列中识别出来。
- 338) 同步码组的自相关性可以用局部自相关函数描述。
- 339) 巴克码，它具有优良的自相关性。
- 340) 巴克码的反码（正负号相反的码）和反序码（时间顺序相反的码）也是巴克码。
- 341) 威拉德码，也具有优良的自相关特性，它具有比巴克码更好的群同步特性。
- 342) 群同步状态分为捕捉态和保持态。
- 343) 捕捉态，它是搜索群同步码组并进行确认的状态。为了防止假同步，确认捕捉到群同步码组的捕捉条件必须规定得高。
- 344) 保持态，它是捕捉态完成，确认捕捉到同步码组所进入的状态。在保持态，系统要不断比较群同步码，确认是否群同步。如果确认群非同步，系统就重新进入捕捉态。为了防止噪声造成的误判，搜索确认的保持条件必须规定得低一些。
- 345) 群同步捕捉的实现是不断计算接收码元序列的自相关函数，一旦发现自相关值等于同步码组长度  $N$ （高的捕捉条件）时，就认为捕捉到了群同步码，这时系统就进入保持态。
- 346) 群同步保持的实现是在同步位置上不断计算接收码元序列的自相关函数，当自相关值小于  $N/2$ （低的保持条件）时，就判定系统失步，这时系统又转入捕捉态。

- 347) 分散插入法,是将一种特殊的周期性群同步序列分散插入到信号序列中。分散插入是在每群信号码元前插入群同步序列中的一个或很少几个码元。
- 348) 分散插入法的优点,是对信号码元序列的连贯性影响不大,不会使信号码元群之间分离过大。
- 349) 分散插入法的缺点,是实现同步的时间长,不适合要求快速同步的地方,或者间断传输信息并且每次传输时间很短的场合,只适合于连续传输信号的情况,比如电话系统等。
- 350) 数字通信群同步的主要指标是,假同步概率、漏同步概率和平均建立时间等。
- 351) 假同步,它将不是群同步码组的信息码元错判为同步码组,使系统假同步。它主要是同步码组相关特性不佳和同步系统设计造成。
- 352) 漏同步,它是将同步码组错判为非同步码组,使系统失步。它主要是噪声改变了同步码组和同步系统设计造成。
- 353) 平均建立时间,是同步系统建立同步的平均时间,它越短越好。
- 354) 数字通信通信系统的最佳接收,是信号取样判决的误码率最小,或信号取样判决信噪比最大的接收机。
- 355) 奈奎斯特准则,是不产生码间串扰的要求,它没有考虑信道噪声的干扰。最佳接收准则是,获得最小误码率的要求,它考虑了信道噪声的干扰。
- 356) 既考虑无码间串扰,又有最小接收误码率的系统,就是最佳传输系统。
- 357) 接收信号是一个随机信号,不管发送的每个码元信号信号是确知还是随机,由于噪声干扰,接收信号的每个码元信号都是随机的。
- 358) 接收的两种码元信号都是随机的,不可预知的,但是它们的统计特性是确定的,或通过分析可以得到。它们的统计特性由发送码元波形和噪声的统计特性所决定。
- 359) 最佳接收准则,就是接收机如何判决,才能使误码率最小的条件。
- 360) 按照最佳判决准则判决,得到的误码率,就是理论上的最小误码率。
- 361) 最佳判决准则,可根据接收信号的统计特性计算得到。
- 362) 数字信号的匹配滤波接收法,是采用线性滤波器,使得接收信号在抽样时刻具有最高的信噪比,从而实现最小的判决误码率。
- 363) 匹配滤波接收法,它适合任意接收码元波形,只要根据不同的接收码元波形,改变匹配滤波特性就可以实现最大信噪比判别,即得到最小误码率。
- 364) 相关接收法,它是匹配滤波接收法的等效方法,它们具有相同的特性。
- 365) 多路复用是在一条通信链路上,实现多路独立信号传输的通信技术,它是实现多路通信的手段。
- 366) 多路复用的基本形式主要有三种,它们分别是频分复用(FDM)、时分复用(TDM)、码分复用(CDM)。其中频分复用光纤通信中称为波分复用。
- 367) 频分复用,它是将链路的通信频带划分为多个频段,使不同的信号在不同的频段中传输。
- 368) 时分复用,它是将链路的通信时间划分为多个时段,使不同的信号在不同的时段中传输。
- 369) 码分复用,它将链路的整个传输频带和传输时间提供给所有信号进行通信,不同的信号采用不同的编码,不同的码之间是正交的,这种编码称为正交编码。
- 370) 在无线通信中还有另外两种复用法,它们是空间复用法和极化复用法。
- 371) 空间复用法,它是利用窄波束天线,在不同的方向传输不同的信号。
- 372) 极化复用法,它是利用垂直和水平两个极化的电磁波,分别传输不同的两路信号。
- 373) 复接技术,它是将复用信号进行拆分和合并,实现多条复用链路之间相互连接的技术,它也是通信网必须解决的问题。
- 374) 目前大容量链路的复接,几乎都是 TDM 信号的复接。TDM 信号复接的关键问题是 TDM 信号时钟的统一和定时问题。

- 375) 复用和复接有国际的统一接口标准,它解决了各国各个网络和链路之间的互联互通问题。
- 376) 通信网不但要解决多路复用和复接问题,还需要解决多址接入问题。
- 377) 多路复用和复接,它是将网络资源预先分配给各个用户信号共享,它是静态的,它不能使网络资源得到充分的利用。
- 378) 多址接入,它是将网络资源动态分配给各个用户信号共享,它可以大大提高网络资源的利用率。计算机以太网和移动通信网都采用多址接入技术。
- 379) 多址技术分为频分多址 (FDMA)、时分多址 (TDMA)、码分多址 (CDMA),它们分别对应三种不同的复用技术。
- 380) 频分复用,是通过单边带调制,将不同的信号搬移到不同的频段。单边带调制的信号带宽最窄,有利于提高复用容量。
- 381) 帧是时分复用信号的最小结构,帧周期  $T$  必须小于或等于抽样周期,它是信号中由抽样定理决定的最小抽样周期。电话信号的帧周期为  $T=(1/8k)$  (s)。
- 382) 帧结构中必须有帧同步码,以便接收端识别帧的开始位置。
- 383) 复接是低次群合并为高次群的过程,这个过程需要先将各个码速不一样的低次群调整为统一码速的低次群,再进行合并,所以这个过程需要付出额外的开销,用于码速调整。
- 384) 分接它是高次群分解为低速群的过程,这个过程需要将分解以后的低次群恢复原来的码速,保证信号的原始性。
- 385) 正码速调整,其总抽样频率略高于各路输入信号的抽样频率。每经过一定的周期,总抽样总会比输入信号抽样多一个抽样,这个抽样必须不作用而舍去或为空。
- 386) SDH 是国际统一的数字传输标准,数字信号在跨越国界通信时,不需要转换成另一种标准,第一次真正实现了数字传输体制上的世界性标准。
- 387) 码分复用过程是选定多个码组,各个支路信号分别对不同的码组进行调制,调制后的各个支路信号直接相加就得到码分复用的信号。
- 388) 在码分复用信号中,各个支路信号具有相同的频谱,即大家占用复用信号的全部频谱。
- 389) 码分复用的码组具有正交性,由于所选用的码组之间是正交的,所以可以用相关解调方法,将各个支路信号从复用信号中分离出来。
- 390) 能够实用的码分复用码组,是码组数量多,相互两两正交的正交码组。
- 391) 阿达玛矩阵是所有行(或列)码组构成正交码组的方阵。
- 392) 交换阿达玛矩阵任意两行(或两列)得到的矩阵还是阿达玛矩阵;改变阿达玛矩阵任意行(或列)的符号得到的矩阵还是阿达玛矩阵。
- 393) 正规阿达玛矩阵是对称的,并且第一行(或第一列)的所有元素全是+的阿达玛矩阵。
- 394) 最低阶的正规阿达玛矩阵是 2 阶矩阵。
- 395) 正交码组除了作为码分复用的正交载波外,还可以作为多进制数字信号的不同码元,也可以作为纠错编码的码组使用。
- 396) 沃尔什矩阵,它是将阿达玛矩阵的行或列,按照改变符号的次数从小到大排列而形成的矩阵。
- 397) 沃尔什矩阵的行或列是正交码组,其符号改变次数逐渐增加,它相当于,频率逐渐增加的正弦波,这些正弦波也是相互正交的。
- 398) 伪随机码,是一种具有严格数学结构和优良性能,可以按照预定要求设计的二进制码,它也称为伪随机序列。
- 399) 伪随机序列,它是重复周期很长的序列,它具有良好的相关性,但它又具有准白噪声的特性。
- 400) 伪随机序列,它不但可以用于码分复用和多址接入,还可以用于测距、密码、扩频通信、分离多径信号,还可以作为随机信号使用。

- 401) 伪随机序列, 它的种类很多, 其中  $m$  序列是最为重要的并得到广泛应用的伪随机序列。
- 402)  $m$  序列, 是由一种线性反馈移位寄存器产生的周期最长的序列。
- 403) 反馈移位寄存器产生  $m$  序列的充分必要条件是其特征方程为本原多项式。
- 404) 求本原多项式的关键是分解多项式。
- 405)  $m$  序列的 0 和 1 出现的概率几乎相等。
- 406) 频分多址是按频率分配地址的通信系统。
- 407) 时分多址是按时间分配地址的通信系统。
- 408) 码分多址是按码分配地址的通信系统。
- 409) 信道编码的目的是提高信号传输的可靠性。
- 410) 信道编码方法是在信息码中加入一些额外的比特, 使信息码具有检错或纠错能力的码, 接收端接收到这些码, 可以利用这些额外的比特去发现或纠正信息码的在传输中产生的错误。
- 411) 差错控制技术是利用信道编码, 对信息传输码进行错误控制的技术。
- 412) 随机信道, 它产生的误码是随机的, 并且各个错误的出现是统计独立的。
- 413) 突发信道, 它产生的误码是相对集中的, 即误码集中在短时间内, 其他很长时间没有误码。
- 414) 混合信道, 它产生的误码既有随机的也有集中突发的。
- 415) 不同类型的误码, 应该采用不同类型的差错控制技术来减少误码。
- 416) 检错重发(ARQ): 它要求双向信道, 发送端通过正向信道发送具有检错能力的信息码, 接收端对码进行检错, 并将检错结果通过反向信道反馈给发送端, 当发送端接收到检错结果是“错”时, 就重发刚才发送的码, 否则就继续下一个码组的发送。
- 417) 前向纠错(FEC): 它只需单向信道, 发送端不断发送具有纠错能力的码, 接收端对接收的码进行检错并纠错, 从而纠正信道造成的误码。
- 418) 反馈校验: 它需要双向信道, 发送端发送没有检错和纠错能力的原始信息码, 接收端将接收码组的反码通过反向信道发回给发送端, 发送端对其反码进行检错, 当发现错误就重发该码, 否则继续发送下一个码组。
- 419) 检错删除: 它只需要单向信道, 发送端不断发送具有检错能力的信息码, 接收端不断对接收的码进行检错, 当检测为错误时, 就直接在码系列中删除该码。
- 420) 任何差错控制技术都不可能百分之百纠正所有误码, 只能使误码率降低。
- 421) 在原理上, 通信它就不可能做到百分之百正确的信息传输, 只能力图降低误码率。
- 422) 差错控制编码(纠错编码), 它是在发送码元序列中加入一些差错控制码的编码方法。
- 423) 监督码元(监督位): 它是差错控制编码加入的差错控制码元位。差错控制编码方法不同检错和纠错能力不同, 一般监督位越多, 检错和纠错能力就越强, 但监督位越多, 传输效率也越低。这就是提高可靠性必定要付出有效性的代价。
- 424) 码率: 差错控制编码, 其总码元位数为  $n$ , 其信息码元位数其为  $k$ , 其监督码元位数为  $n-k$ , 码率= $k/n$ , 冗余度= $n-k/n$ 。
- 425) 停止等待 ARQ: 发送端每发一组码都等待接收端返回的答复信号“确认(ACK)”或“否认(NAK)”; 如果是“确认(ACK)”答复, 再发送下一组码, 如果是“否认(NAK)”答复就重发刚才的码组。
- 426) 拉后 ARQ: 发送端连续发组码, 不等待接收端的反馈应答, 接收端对每个码组都返回“确认(ACK)”或“否认(NAK)”应答信号, 并且应答信号中含有码组编号, 如果发送端接收到“否认(NAK)”应答信号时, 则根据应答信号的码组编号, 重发该码组以及之后的所有码组。
- 427) 选择重发 ARQ: 如果发送端接收到“否认(NAK)”应答信号时, 则根据应答信号的码

组编号，只重发该码组，不重发之后的所有码组。

428) 纠错编码，是具有检错能力和具有纠错能力编码的总称。

429) 许用码组是选择作为表示信息码的码组。

430) 禁用码组是选择许用码组剩下的码组。

431) 检错方法：纠错编码输出的是许用码组，如果信道误码使许用码组变成了禁用码组，则接收端就可以根据接收的是非许用码组而判断收到的码发生了错误。

432) 检错的错误：纠错编码输出的是许用码组，如果信道误码使许用码组还是变成许用码组，则接收端的检错就是错误的，因为接收端接收的是许用码组，所以它会判断接收的码没有错误。

433) 分组码，是由  $k$  位信息码和  $r$  位监督码组成的  $n$  位码组，本码组的监督位只对本码组的信息位进行监督，而不监督其他码组的信息位。

434) 码组的重量（码重）是分组码中 1 的个数。

435) 码距（汉明距离）是两个分组码在对应位，取值不同的位数。

436) 最小码距（ $d_0$ ），是一组码中，码距最小的码距。

437) 许用码组的最小码距决定了纠错编码的检错和纠错能力。

438) 纠错编码，使接收端可以检错和纠错，从而使信道噪声产生的误码得到减少。

439) 纠错编码，又会增加信道的噪声，造成更多的误码，因为纠错编码将  $k$  位信息码增加到  $n=k+r$  位，在保证信息码速率不变的条件下，要求提高传输码速率，这将增加信号带宽，从而增加信道噪声，而增加更多的误码。

440) 纠错编码，既能纠正误码，又会增加误码的产生。但通过实测证明纠正的还是比产生的误码多，所以纠错编码可以实质降低误码率。

441) 奇数监督码编码：前  $k$  位为信息位，后 1 位为监督位，监督位的取值是使整个码组 1 的个数为奇数。

442) 偶数监督码编码：前  $k$  位为信息位，后 1 位为监督位，监督位的取值是使整个码组 1 的个数为偶数。

443) 奇偶监督码，它可以检错出产生奇数个错误的误码。

444) 方阵码，是将若干奇偶监督码一行行排列，再在每列上增加一位奇偶监督位，即增加了第二维的奇偶监督位。

445) 偶数方阵码的检错，是同时检测行和列是否有偶数个 1，只要有一个为奇数个 1 就认为有错误。

446) 奇数方阵码的检错能力很强，它不但可以检测出行列上发生奇数位错误，还能通过列，检测出行上发生偶数位错误的情况，但有些行上的偶数位错误还是不能检测出来。

447) 方阵码很适合突发错码的检错。

448) 代数码，是信息位与监督位满足代数关系的编码。

449) 线性分组码，是信息位与监督位满足线性代数关系的编码，它是代数码中的一种编码。

450) 汉明码，是能够纠正一位错误的线性分组码。

451) 监督码位为  $r$  时，监督关系式和校正子  $S$  数为  $r$ ， $r$  个校正子的组合  $S_1 S_2 \cdots S_r$  它的取值有  $2^r$  种，它可以表示  $2^r$  种误码情况， $00 \cdots 0$  表示无错，其他  $2^r - 1$  种状态可以指明  $2^r - 1$  种误码情况，所以它既可以检错也可以纠错。

452) 循环码，是一种重要的线性分组码，它具有严密的数学基础。

453) 循环码，具有较强的检错和纠错能力，并且编解码设备简单。

454) 循环码，具有线性分组码的一般特性，它还具有重要的循环性。

455) 循环码的循环性，是编码的任何一个码组循环（左右循环都可以）后，还是该编码的码组。

- 456) 循环码组, 可以用多项式表示, 多项式每项  $x$  的幂, 表示码元的位置,  $x$  没有其它意义。
- 457)  $(n,k)$  循环码组的所有许用码组, 都可以由生成多项式  $g(x)$  生成。
- 458) 循环码组的所有许用码组多项式, 都可以被生成多项式整除。
- 459) 多项式的模运算, 就是取余运算。
- 460) 多项式运算过程中, 系数按模 2 运算。
- 461) 当接收码组的错误在循环码的检错能力内时, 检错不存在误判。
- 462) 当接收码组的错误在循环码的纠错能力内时, 每个错误码组多项式除以生成多项式的余式是唯一的, 即各个错误码组多项式的余式是不相同的, 也就是接收码组的每个错误图样有唯一的余式对应, 所以可以实现正确的纠错
- 463) 截短循环码, 是从  $(n,k)$  循环码组的  $2^k$  个许用码组中, 选出前  $i$  位信息位为 0 的  $2^{k-i}$  个许用码组构成的  $(n-i,k-i)$  线性码。
- 464)  $(n-i,k-i)$  截短循环码, 与原  $(n, k)$  循环码具有相同的纠错能力。因为它们具有相同的监督位。
- 465) 卷积码, 是非分组码。
- 466) 分组码, 其监督位只监督本码组的码元有无错误。
- 467) 卷积码, 其监督位不但监督本码组的码元有无错误, 还监督前  $m=N-1$  个码组的码元有无错误。即一个码组中的监督码元监督着  $N$  个码组的码元有无错误。
- 468) 卷积码的码树搜索法, 它是根据最小汉明距离准则进行解码, 即比较接收码组与各个编码路径上的编码输出码组的汉明距离, 以最小汉明距离确定编码路径, 从而确定发送输入码。
- 469) 码树搜索法无法实际实用, 因为随着信息位的增加, 其码树分支数指数增加, 使得搜索无法一直进行下去。但是其思想是有意义的。
- 470) 比特比算法原理, 是将接收到的信号序列, 与所有可能的发送序列作比较, 选择其中汉明码距最小的序列作为现在的发送信号序列。

## 二. 画出图形并解释其意义 (3 个题, 每题 10 分, 共 30 分)

- 1) 图 1.3.3 数字通信系统模型
- 2) 图 1.3.4 模拟通信模型
- 3) 图 1.4.11 二进制编码信道模型
- 4) 图 1.4.12 四进制编码信道模型
- 5) 图 2.2.1 周期性矩形波的波形和频谱
- 6) 图 2.2.3 单位门函数的波形及其频谱
- 7) 图 2.2.3 单位冲激函数的波形和频谱密度
- 8) 图 2.2.7 无限长正弦波的波形和频谱密度
- 9) 图 2.6.1 随机过程波形
- 10) 图 2.6.6 白噪声的功率谱密度和自相关函数曲线
- 11) 图 2.6.7 限带白噪声的功率谱密度和自相关函数曲线
- 12) 图 2.8.1 窄带随机信号
- 13) 图 2.10.1 线性系统示意图
- 14) 图 2.10.2 线性系统的冲激响应
- 15) 图 2.10.6 无失真传输条件
- 16) 图 3.2.1 线性调制器的原理模型
- 17) 图 3.2.2 相乘器输入信号和输出信号的频谱密度
- 18) 图 3.2.3 调幅信号的波形和频谱



- 19) 图 3.2.4 包络检波器的组成
- 20) 图 3.2.5 双边带调制信号的频谱
- 21) 图 3.2.6 双边带调信号解调器原理框图
- 22) 图 3.2.7 单边带信号的频谱示意图
- 23) 图 3.2.8 单边带信号的解调
- 24) 图 3.3.3 频率调制信号的频谱举例
- 25) 图 4.2.2 抽样过程
- 26) 图 4.3.1 抽样信号的量化
- 27) 图 4.3.2 压缩特性
- 28) 图 4.3.5 对称输入 13 折线压缩特性
- 29) 图 4.4.1PCM 过程
- 30) 图 4.4.1PCM 系统的原理方框图
- 31) 图 4.6.3 增量调制波形图
- 32) 图 5.3.1 基带信号的基本波形
- 33) 图 5.4.1 几种码型的波形比较
- 34) 图 5.5.1 二进制随机信号序列波形示意图
- 35) 图 5.6.1 典型的数字信号传输系统模型
- 36) 图 5.6.2 简化基带数字信号传输系统原理框图
- 37) 图 5.6.4  $H$  和  $h$  的曲线
- 38) 图 5.6.5 无码间串扰的传输特性
- 39) 图 5.6.6 滚降特性曲线
- 40) 图 6.1.1 三种基本键控方式的波形
- 41) 图 6.2.12ASK 信号调制器方框图
- 42) 图 6.2.22ASK 信号的解调
- 43) 图 6.3.12FSK 信号的产生
- 44) 图 6.3.22FSK 信号的相干接收法原理方框图
- 45) 图 6.4.22PSK 信号的产生
- 46) 图 6.4.32PSK 信号相干接收原理方框图
- 47) 图 6.5.3 间接法 2DPSK 信号调制器原理框图
- 48) 图 6.5.5 相干解调法原理方框图
- 49) 图 6.7.9 第一种 QPSK 信号产生方法
- 50) 图 6.7.12QPSK 信号解调原理方框图
- 51) 图 6.7.20 正交调幅信号矢量图
- 52) 图 7.4.1 群同步码的集中插入
- 53) 图 7.4.5 0/1 交替码分散插入法
- 54) 图 8.3.1 二进制最佳接收机原理方框图
- 55) 图 8.8.4 匹配滤波器构成的接收电路方框图
- 56) 图 8.8.5 相关接收法电路方框图
- 57) 图 9.1.1 多路信号的正交划分
- 58) 图 9.2.1 频分复用原理方框图
- 59) 图 9.3.1 时分多路复用的原理示意图
- 60) 图 9.3.3PCM 一次群的帧结构
- 61) 图 9.3.5 复接帧结构
- 62) 9.4.2 码分复用原理方框图

- 63) 图 9.4.5n 级线性反馈移存器  
 64) 图 10.1.1ARQ 系统的工作原理  
 65) 图 10.2.1 分组码的结构  
 66) 图 10.7.2 一种 (3,1,2) 卷积码编码器方框图  
 67) 图 10.7.5(3,1,2)卷积码网格图  
 68) 图 10.7.6 (3,1,2) 卷积码路径举例

### 三. 计算题(4 个题, 每题 5 分, 共 20 分)

#### 1) 计算信息量

习题 1.1, 1.2

**习题 1.1** 在英文字母中 E 出现的概率最大, 等于 0.105, 试求其信息量。

解: E 的信息量:  $I_E = \log_2 \frac{1}{P(E)} = -\log_2 P(E) = -\log_2 0.105 = 3.25 \text{ b}$

**习题 1.2** 某信息源由 A, B, C, D 四个符号组成, 设每个符号独立出现, 其出现的概率分别为 1/4, 1/4, 3/16, 5/16。试求该信息源中每个符号的信息量。

解:

$$I_A = \log_2 \frac{1}{P(A)} = -\log_2 P(A) = -\log_2 \frac{1}{4} = 2 \text{ b}$$

$$I_B = -\log_2 \frac{3}{16} = 2.415 \text{ b}$$

$$I_C = -\log_2 \frac{3}{16} = 2.415 \text{ b}$$

$$I_D = -\log_2 \frac{5}{16} = 1.678 \text{ b}$$

#### 2) 计算码速率和信息速率

习题 1.3, 1.4, 1.5, 1.6

**习题 1.3** 某信息源由 A, B, C, D 四个符号组成, 这些符号分别用二进制码组 00, 01, 10, 11 表示。若每个二进制码元用宽度为 5ms 的脉冲传输, 试分别求出在下列条件下的平均信息速率。

(1) 这四个符号等概率出现; (2) 这四个符号出现概率如

习题 1.2 所示。

解: (1) 一个字母对应两个二进制脉冲, 属于四进制符号, 故一个字母的持续时间为  $2 \times 5\text{ms}$ 。传送字母的符号速率为

$$R_B = \frac{1}{2 \times 5 \times 10^{-3}} = 100 \text{ Bd}$$

等概时的平均信息速率为

$$R_b = R_B \log_2 M = R_B \log_2 4 = 200 \text{ b/s}$$

(2) 平均信息量为

$$H = \frac{1}{4} \log_2 4 + \frac{1}{4} \log_2 4 + \frac{3}{16} \log_2 \frac{16}{3} + \frac{5}{16} \log_2 \frac{16}{5} = 1.977 \text{ 比特/符号}$$

则平均信息速率为

$$R_b = R_B H = 100 \times 1.977 = 197.7 \text{ b/s}$$

**习题 1.4** 试问上题中的码元速率是多少?

$$\text{解: } R_B = \frac{1}{T_B} = \frac{1}{5 \times 10^{-5}} = 200 \text{ Bd}$$

**习题 1.5** 设一个信息源由 64 个不同的符号组成, 其中 16 个符号的出现概率均为 1/32, 其余 48 个符号出现的概率为 1/96, 若此信息源每秒发出 1000 个独立的符号, 试求该信息源的平均信息速率。

解: 该信息源的熵为

$$H(X) = -\sum_{i=1}^M P(x_i) \log_2 P(x_i) = -\sum_{i=1}^{64} P(x_i) \log_2 P(x_i) = 16 * \frac{1}{32} \log_2 32 + 48 * \frac{1}{96} \log_2 96$$

$$= 5.79 \text{ 比特/符号}$$

因此, 该信息源的平均信息速率  $R_b = mH = 1000 * 5.79 = 5790 \text{ b/s}$ 。

**习题 1.6** 设一个信息源输出四进制等概率信号, 其码元宽度为 125 us。试求码元速率和信息速率。

$$\text{解: } R_B = \frac{1}{T_B} = \frac{1}{125 \times 10^{-6}} = 8000 \text{ Bd}$$

$$\text{等概时, } R_b = R_B \log_2 M = 8000 * \log_2 4 = 16 \text{ kb/s}$$

3) 计算 AM 的带宽

习题 3.1: 带宽 1200HZ, 初始+2\*载波

**习题 3.1** 设一个载波的表达式为  $c(t) = 5 \cos 1000\pi t$ , 基带调制信号的表达式为:  $m(t) = 1 + \cos 200\pi t$ 。试求出振幅调制时已调信号的频谱, 并画出此频谱图。

$$\begin{aligned} \text{解: } s(t) &= m(t)c(t) = (1 + \cos 200\pi t)5 \cos(1000\pi t) \\ &= 5 \cos 1000\pi t + 5 \cos 200\pi t \cos 1000\pi t \\ &= 5 \cos 1000\pi t + \frac{5}{2}(\cos 1200\pi t + \cos 800\pi t) \end{aligned}$$

由傅里叶变换得

$$\begin{aligned} S(f) &= \frac{5}{2}[\delta(f + 500) + \delta(f - 500)] + \frac{5}{4}[\delta(f + 600) + \delta(f - 600)] + \\ &\quad \frac{5}{4}[\delta(f + 400) + \delta(f - 400)] \end{aligned}$$

已调信号的频谱如图 3-1 所示。

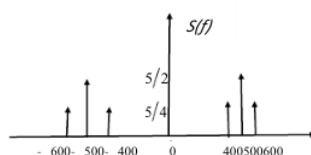


图 3-1 习题 3.1 图

#### 4) 计算抽样频率

中心对称:习题 4.3

**习题 4.3** 若信号  $s(t) = \sin(314t)/314t$ 。试问:

(1) 最小抽样频率为多少才能保证其无失真地恢复?

(2) 在用最小抽样频率对其抽样时,为保存 3min 的抽样,需要保存多少个抽样值?

解:  $s(t) = \sin(314t)/314t$ , 其对应的傅里叶变换为

$$S(\omega) = \begin{cases} \pi/314, & |\omega| \leq 314 \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

信号  $s(t)$  和对应的频谱  $S(\omega)$  如图 4-1 所示。所以

$$f_H = \omega_H / 2\pi = 314 / 2\pi = 50 \text{ Hz}$$

根据低通信号的抽样定理,最小频率为  $f_s = 2f_H = 2 \times 50 = 100 \text{ Hz}$ , 即每秒采 100 个抽样点,所以 3min 共有:  $100 \times 3 \times 60 = 18000$  个抽样值。

非中心对称:习题 4.2

$$f_H = B(n+k), \Delta f = 2B(1+k)$$

**习题 4.2** 若语音信号的带宽在 300~400 Hz 之间,试按照奈奎斯特准则计算理论上信号不失真的最小抽样频率。

解: 由题意,  $f_H = 3400 \text{ Hz}$ ,  $f_L = 300 \text{ Hz}$ , 故语音信号的带宽为

$$B = 3400 - 300 = 3100 \text{ Hz}$$

$$f_H = 3400 \text{ Hz} = 1 \times 3100 + \frac{3}{31} \times 3100 = nB + kB$$

即  $n=1, k=3/31$ 。

根据带通信号的抽样定理,理论上信号不失真的最小抽样频率为

$$f_s = 2B(1 + \frac{k}{n}) = 2 \times 3100 \times (1 + \frac{3}{31}) = 6800 \text{ Hz}$$

#### 5) 计算奈奎斯特带宽

习题:4.19,4.20

4.20

2-8 已知话音信号的最高频率  $f_m = 3400\text{Hz}$ ，若用 PCM 系统传输，要求量化信噪比为 30 dB，试求该 PCM 系统的带宽。

解答：

$$S/N = 2^{2N} > 30\text{dB}, N > 5\text{dB}。$$

$$f_m = 3400\text{Hz}, f_s > 6800\text{Hz}。$$

$$R_s = f_s * N = 34000 \text{ Baud}$$

根据奈奎斯特第一准则，

$$(R_s/B)_{\max} = 2 \text{ Baud/Hz}$$

B 最小为 17000 Hz

6) 奇偶检错码编码

无习题?第十章

7) 计算最小码距

习题 10.2, 10.3

习题 10.2 设一种编码中共有如下 8 个码组：

000000, 001110, 010101, 011011, 100011,

101101, 110110, 111000 试求出其最小码距，并给

出其检错能力、纠错能力和同时纠检错的能力。

解：此 8 个码组的最小码距为： $d_0 = 3$ 。

由  $d_0 \geq e+1$ , 得  $e=2$ , 即可以检错 2 位。

由  $d_0 \geq 2t+1$ , 得  $t=1$ , 即可以纠错 1 位。

由  $d_0 \geq e+t+1$ , 得  $e=1, t=1$ , 即可以纠错 1 位，同时检错 1 位。

8) 计算检错和纠错能力

习题 10.1, 10.2, 10.20

习题 10.1 设有两个码组“0101010”和“1010100”，试给出其检错能力、纠错能力和同时纠错的能力。

解：两个码组的最小码距为： $d_0 = 6$

由  $d_0 \geq e+1$ , 得  $e=5$ , 即可以检错 5 位。

由  $d_0 \geq 2t+1$ , 得  $t=2$ , 即可以纠错 2 位。

由  $d_0 \geq e+t+1$ , 得  $e=3, t=2$ , 即可以纠错 2 位，同时检错 3 位。

9) 汉明码编码

无习题?第十章

10) 计算循环码的生成矩阵

习题 10.6, 10.9, 10.13, 10.14,

习题 10.6 已知一循环码的监督矩阵如下:

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

试求出其生成矩阵, 并写出所有可能的码组。

解: 由该线性分组码的监督矩阵可知, 该码长度  $n=7$ , 信息位  $k=4$ , 监督位  $r=3$ .

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad Q = P^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad \text{则生成矩阵 } G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}。$$

整个码组:  $A = [a_6 \ a_5 \ a_4 \ a_3]G$ , 于是可得所有可能的码组为

0000000, 0001011, 0010110, 0011101, 0100111, 0101100, 0110001, 0111010, 1000101, 1001110, 1010011, 1011000, 1100010, 1101001, 1110100, 1111111

习题 10.9 已知一个循环 (7, 4) 循环码的全部码组为

0000000, 1000101, 0001011, 1001110, 0010110, 1010011, 0011101, 1011000  
0100111, 1100010, 0101100, 1101001, 0110001, 1110100, 0111010, 1111111

试给出此循环码的生成多项式  $g(x)$  和生成矩阵  $G(x)$ , 并将  $G(x)$  化成典型矩阵

解: 由全部码组得: 唯一的一个  $n-k=3$  次码多项式所代表的码组为 0001011, 则生成多项式  $g(x) = x^3 + x + 1$ , 从而生成矩阵为

$$G(x) = \begin{bmatrix} x^3 g(x) \\ x^2 g(x) \\ x g(x) \\ g(x) \end{bmatrix}, \quad \text{或 } G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix},$$

化成典型矩阵为:

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}。$$

习题 10.13 已知一个 (7, 3) 循环码的监督关系式为

$$x_6 \oplus x_3 \oplus x_2 \oplus x_1 = 0, x_5 \oplus x_2 \oplus x_1 \oplus x_0 = 0, x_6 \oplus x_5 \oplus x_1 = 0, x_5 \oplus x_4 \oplus x_0 = 0$$

试求出该循环码的监督矩阵和生成矩阵。

解：由题目条件得

$$\text{监督矩阵为 } H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \text{化成典型矩阵为 } H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}^T$$

$$\text{则生成矩阵为 } G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}。$$

习题 10.14 试证明： $x^{10} + x^8 + x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + x + 1$  为 (15, 5) 循环码的生成多项式。并求出此循环码的生成矩阵和信息位为 10011 时的码多项式。

$$\text{解：因为 } \frac{x^{15} + 1}{x^{10} + x^8 + x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + x + 1} = x^5 + x^3 + x + 1$$

即  $x^{15} + 1$  可以被  $x^{10} + x^8 + x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + x + 1$  整除，则可以证明该多项式为 (15, 5) 循环码的生成多项式。

由生成多项式  $g(x) = x^{10} + x^8 + x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + x + 1$ ，可得

$$G(x) = \begin{bmatrix} x^4 g(x) \\ x^3 g(x) \\ x^2 g(x) \\ x g(x) \\ g(x) \end{bmatrix}, \text{ 或 } G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

当信息位为“10011”时，码多项式为： $T(x) = x^{14} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^6 + x$ 。