

通信原理

陈莉萍

计算机学院网络技术中心

QQ: 389174274



■ 教学目标

- 专业基础理论课程, 32学时/2学分
- 本课程为北邮计算机学院网络工程及相关专业学生开设,适用于非通信专业本科学生
- 其目的是使计算机相关专业毕业的学生具有一定的通信知识背景,了解和掌握现代通信系统的基本概念、原理及相关技术,尤其是数字通信的基础理论,为进一步学习通信和网络专业课程打下基础



■ 内容和基本要求

- 通信系统的基本概念
- 基本模型和原理
- 通信系统性能分析的基本方法



教材

■《通信原理》(第7版)樊昌信等,国防工业出版社,2016

■ 参考书籍

- 《通信原理》(第4版),周炯磐等,北京邮电大学出版社
- 《通信系统》(第4版),[加]Simon Haykin著,电子工业出版社



■ 先修内容

■ 傅立叶分析、概率论与随机过程

■ 考核方式

- 总评成绩 = 平时作业40% + 期末考试60%
- 2~3周交一次作业,下课之前提交(数学作业纸)

教学内容

- 通信基本模型
- 确知和随机信号分析
- 调制基本概念
- 数字基带传输系统
- 数字带通传输系统
- 模拟信号数字化

第一章

绪论

主要内容

- 通信系统的基本模型
- 信息及其度量
- 主要性能指标

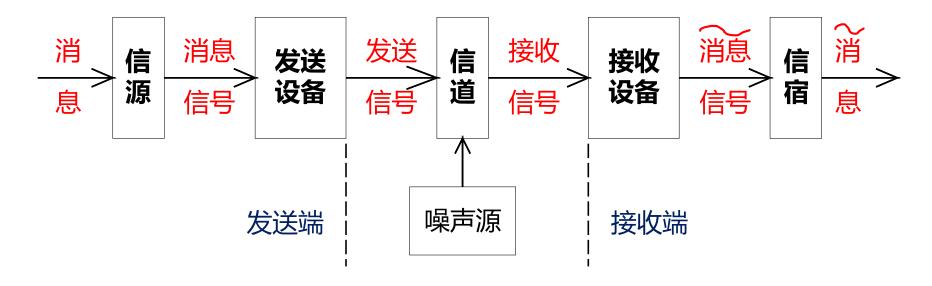
1.1 通信系统模型

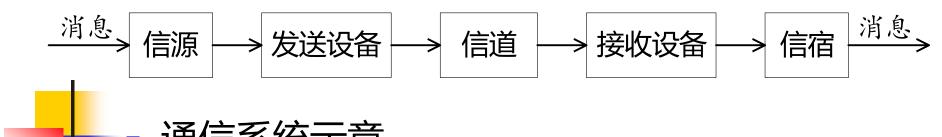
- ■通信
 - 互通信息,信息的<u>传输</u>和交换
- 通信系统
 - 完成通信过程的全部设备和传输媒质

本课程主要研究单向、点对点的电信号 传输原理

一. 基本模型

- 通信的目的是通过信号形式传递消息中的信息
 - ■信息是传输的本质,消息是信息的物理表现形式,信号是消息的载体,信号是信息的数学表示形式,通信过程通过消息和信号的变换过程,传递信息。



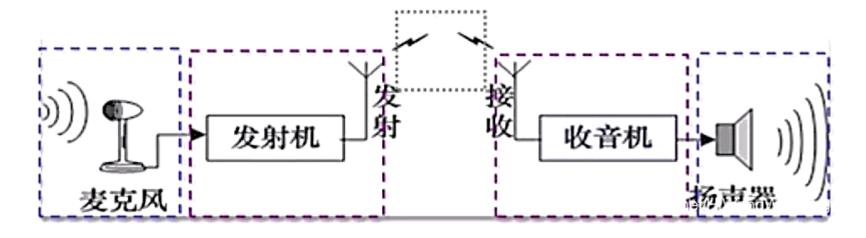


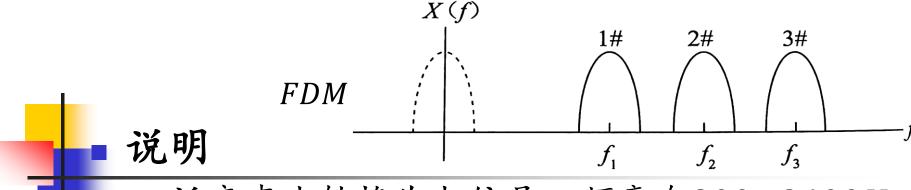
■ 通信系统示意

■有线载波电话系统

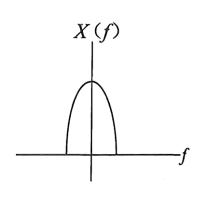


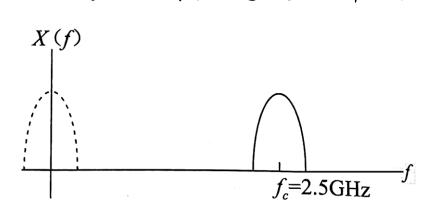
■ 无线广播系统





- ■话音声波转换为电信号,频率在300~3400Hz
- ■人可听到的声音频率范围20~20kHz
- 天线尺寸约为辐射信号波长的十分之一 若波长取20kHz,则 $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8 m/s}{20 \times 10^3/s} = 15 km$
- 原始电信号不适合直接传输,需要调制,将 信号的频率范围"搬移"到信道通频带之内







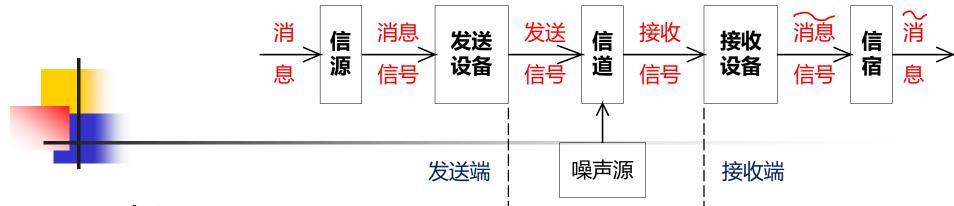
■信源

- 信息源即输入设备,将各种消息转换成消息信号,即原始电信号,也称为基带信号
- 常见消息形式:语音、音乐、图像、温度、 文字等原始物理量
- 輸入设备: (电话、录音设备)拾音器、 (计算机)键盘和鼠标、(相机和摄像机) 图像传感器、温度传感器等

- 将信源产生的原始电信号变换成适合在 信道中传输的信号
- 如:载波发生器、调制器、放大器、滤波器、信源编码器、信道编码器、多路 复用器、加密器、发射天线等



- 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
 - ■有线信道:双绞线、同轴电缆、光纤等
 - 无线信道:无线广播信道、无线移动信道、 卫星信道等
- ■信道一方面对信号提供传输通路,另一方面会对信号产生各种干扰和噪声



■ 噪声源

- 指分散在通信系统各处的噪声的集中表示, 是随机的、有害的、无用的电信号
- ■类型
 - ■人为噪声: 电火花、汽车点火、无线电干扰等
 - ■自然噪声:闪电、太阳黑子、宇宙噪声、磁暴等
 - ■内部噪声:自由电子热运动等



接收设备

- 完成发送设备的逆变换
- 从受到减损的接收信号中正确恢复出原始电信号,输出只能是原始基带信号的估值
- ■如:接收天线、放大器、滤波器、解调器、解码器(译码器)、解复用器、解密器等



信宿

- 受信者(输出设备)
- 功能与信源相反,把恢复的原始电信 号还原成相应的物理量
- ■如: (手机、音响、电脑)扬声器、 (电脑、电视机)显示器、(相机、 打印机)显影系统等

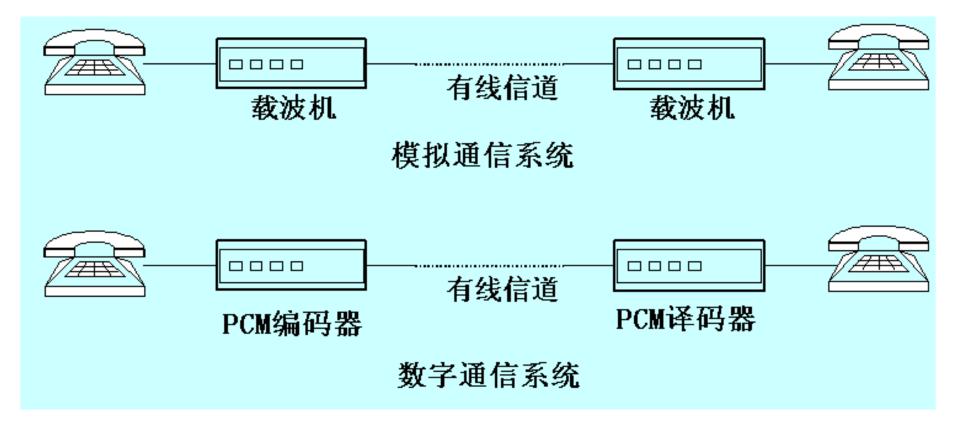
二. 模拟通信系统与数字通信系统

- 按信道中传输信号的特征分类
 - ■模拟通信系统:信道中传输的是模拟信号
 - 数字通信系统: 信道中传输的是数字信号

- 模拟信号和数字信号
 - ■模拟信号——电信号参量取值连续无限
 - ■数字信号——电信号参量取值离散有限

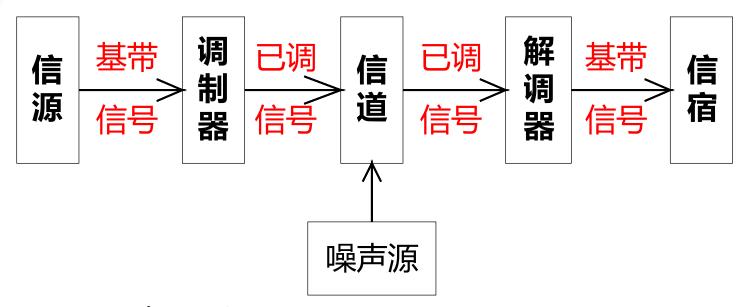


■电话通信系统





1. 模拟通信系统



- 两种重要变换
 - 消息 → 原始电信号(基带信号)
 - 基带信号 → 已调信号 (频带信号/带通信号)



■ 基带信号

- 基带的含义是指信号的频谱从零频附近开始, 如:语音信号为300~3400Hz,图像信号为 0~6MHz
- 原始的模拟电信号,一般含直流和低频,不 宜直接传输

■ 已调信号

- 是适合在信道中传输的信号
- 已调信号的频谱具有带通形式,且中心频率 远离零频,又称带通信号(频带信号)



模拟通信系统的特点

- 抗干扰能力差 不易于保密通信
- 设备不易于大规模集成
- 不适于计算机通信
- ■简单、易于实现

2. 数字通信系统 信 信 码 道 型 源 调 信 编 编 编 制 源 码 码 器 码 数 原 器 器 器 数 数字基带 数 字 始 字基带序 字 模 噪 物 基带 信 拟 调 声 道 理 信 制 源 消息 信 号 序 信 信 信道 码型译码 列 列 号 号 源 解 同 信宿 译 译 调 步 码 码 系 器 器 器 统

■ 信源编码与译码目的

- 完成模/数转换
- 提高信息传输的有效性, 即数据压缩

■信道编码与译码目的

■ 增强抗干扰能力,即差错控制

■ 码型编码与译码目的

码型变换、波形变换、滤波等,形成适合在信道中传输的基带信号

■ 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

■ 使收发两端的信号保持步调一致



数字通信系统的特点

■ 优点

- 抗干扰能力强
- ■传输差错可控
- 便于计算机存储和处理
- 易于集成,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



- 模拟信号的数字化
- 数字基带信号特性
- 系统的抗噪声性能
- 数字调制与解调原理
- ■同步方法
- 差错控制编码
- ■加解密算法
- •••••

■ 通信系统的任务

- 传输系统的利用
- 同步
- 差错控制
- ■拥塞控制
- 流量控制
- 交换技术与管理
- 寻址和路由选择
- ■安全机制
- 网络管理

1.2 信息及其度量

- 通信的目的在于传递信息,信息是消息中的有效内容
- 信息的度量: 信息量
 - 与消息的种类及消息的重要程度无关
 - 信息量的大小与消息的不确定程度直接相关,消息的不确定程度越大,信息量越大
 - 通信过程从消息的不确定到确定,从而获取信息
 - 事件的不确定性可以用概率描述,可建立信息量 度量的方法

一. 信息量定义

- 信息量可以用消息中事件发生的概率来描述
 - 设: I 消息中所含的信息量 P(x) 消息中事件发生的概率
 - ■则 I和 P(x) 之间应有如下关系:
 - 1 I = I [P(x)]
 - ② I [P(x)]是单调递减函数

$$P(x) = 1$$
 时, $I = 0$; $P(x) = 0$ 时, $I = \infty$

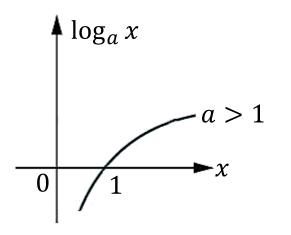
③若干相互独立事件构成的消息,所含信息量等于各独立事件信息量之和

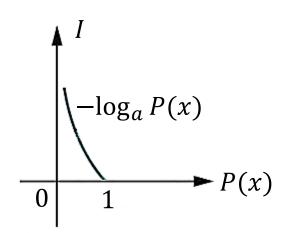
$$I(x_1, x_2 \cdots x_n) = I(x_1) + I(x_2) + \cdots I(x_n)$$



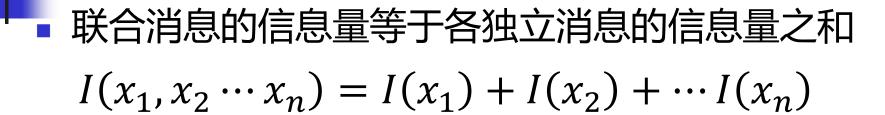
信息量定义

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





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



•
$$\mathbb{E}$$
: $I[P(x_1) \cdot P(x_2) \cdots P(x_n)]$
= $-\log_2[p(x_1) \cdot p(x_2) \cdots p(x_n)]$
= $-[\log_2 p(x_1) + \log_2 p(x_2) + \cdots + \log_2 p(x_n)]$

$$= -\sum_{i=1}^{n} \log_2 p(x_i) = \sum_{i=1}^{n} I[p(x_i)]$$

二. 信息量的度量

- 等概率、离散消息的信息量
- 不等概率、离散消息的信息量

- 信源消息的信息量度量
- 离散消息由码元/符合组成
- 信源的消息(码元/符号)是有限可数的
- 各消息码元/符号出现的概率是相互独立的

数字做的和取住(被形), 称为一个极色(智多) 三世别知家的了有2种系位的1 那2种吸到智力,2种限到想

$$P(0) = P(1) = \frac{1}{2}$$
 $I = I_0 = I_1 = \log_2 \frac{1}{1/2} = \log_2 2 = \frac{1}{bit}$



等概率离散消息的信息量

若信源是M种符号波形,等概率出现,且各符号的出现是相互独立的,则<u>每符号</u>的信息量为:

$$I = \log_2 \frac{1}{p(x)} = \log_2 \frac{1}{1/M} = \log_2 M \ (bit/符号)$$

- 二进制符号的信息量: *I* = 1(bit / 符号)
- M进制符号的信息量: *I* = log₂ *M* (bit / 符号)



不等概率离散消息的信息量

■ 设信源是由 M种符号波形组成的集合,各个符 号 x_i 出现的概率为 $P(x_i)$, 且相互独立, 并满足:

$$\sum_{i=1}^{M} P(x_i) = 1$$
,则每符号的平均信息量为:



H(x)称为信源的熵,只与符号概率分布有关

逆响:不甘概

$$= \sum_{i\neq j}^{M} p(x_i) \cdot [-y_2 p(x_i)]$$



■ 例1:

一个离散信源,消息符号有四种取值,各符号出现相互独立,求信源熵。

符号	概率1	概率2	概率3
00	1/4	3/8	1
01	1/4	1/4	0
10	1/4	1/4	0
11	1/4	1/8	0

符号	概率1	概率2	概率3
00	1/4	3/8	1
01	1/4	1/4	0
10	1/4	1/4	0
11	1/4	1/8	0

■ 解:

•
$$H_1 = \log_2 M = \log_2 4 = 2bit/$$
符号

•
$$H_2 = -\left[\frac{3}{8}\log_2\frac{3}{8} + \frac{1}{4}\log_2\frac{1}{4} + \frac{1}{4}\log_2\frac{1}{4} + \frac{1}{8}\log_2\frac{1}{8}\right]$$

= 1.906bit/符号

$$H_3 = -[1 \log_2 1 + 0 + 0 + 0] = 0$$

■ 等概率时信源熵最大。 $H_{max} = \log_2 M$ (bit/符号)

$$H(x) = -\sum_{i=1}^{M} P(x_i) \log_2 P(x_i) \quad (bit/符号)$$

■ 例2:

- 国际摩尔斯电码用"点"和"划"序列发送 英文字母和数字,且"."出现的概率是"_" 的1/3,求:
 - ■. 和_各自的信息量
 - ■.和_的平均信息量
 - 发送 "OK"消息的信息量, 其中: O: ___, K: _._
- 一条消息的信息量: $n \cdot H(x)$

"OK"消息: O: ___, K: _._



■ 设 "." 出现的概率是P. "_" 出现的概率是P_

(1)
$$\begin{cases} P. = \frac{1}{3}P_{-} \\ P. + P_{-} = 1 \end{cases} \Rightarrow P. = \frac{1}{4}P_{-} = \frac{3}{4}$$

$$I. = \log_{2}\frac{1}{P_{-}} = \log_{2}4 = 2bit$$

$$I_{-} = \log_{2}\frac{1}{P_{-}} = \log_{2}\frac{4}{3} = 0.415bit$$

(2)
$$H = P.\times I. + P_- \times I_- = \frac{1}{4} \times 2 + \frac{3}{4} \times 0.415 = 0.81 bit/$$
符号

(3)
$$I = I.\times$$
 点数 $+ I_- \times$ 划数 $= 2 \times 1 + 0.415 \times 5 = 4.075 bit$ $I = n \cdot H = 6 \times 0.81 = 4.86 bit$

1.4 主要性能指标

- 通信技术发展的历史是人们长期寻求如何利用各种媒介实现 迅速而又准确地传递更多信息到更远地方的历史。
- ■通信系统的主要性能指标
 - 有效性 →系统传输信息的效率
 - →在给定的信道内能容纳多少信息量,才能 实现对通信资源(频率、时间)的充分利用
 - 可靠性 →信息传输的准确程度,传送消息的准确还原
 - 二者相互矛盾,可相互转化
 - 设计原则:保证可靠性的前提下,尽可能提高有效性



■ 模拟通信系统

■有效性:有效传输频带

■可靠性: 信噪比

■ 数字通信系统

■有效性:传输速率、频带利用率

■可靠性: 差错率

模拟系统有效性指标

■ 有效传输频带

- ■传输信号时所占用的信道带宽,一段 有效的频率范围,表示为B,单位: Hz
- ■传输同一消息,占用带宽越小,有效性越高

模拟系统可靠性指标

■ 信噪比

■信号功率与噪声功率之比,单位:分贝

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{dB} = 10\lg\frac{S}{N} = 10\lg\frac{\text{信号平均功率}}{\text{噪声平均功率}} \quad (dB)$$

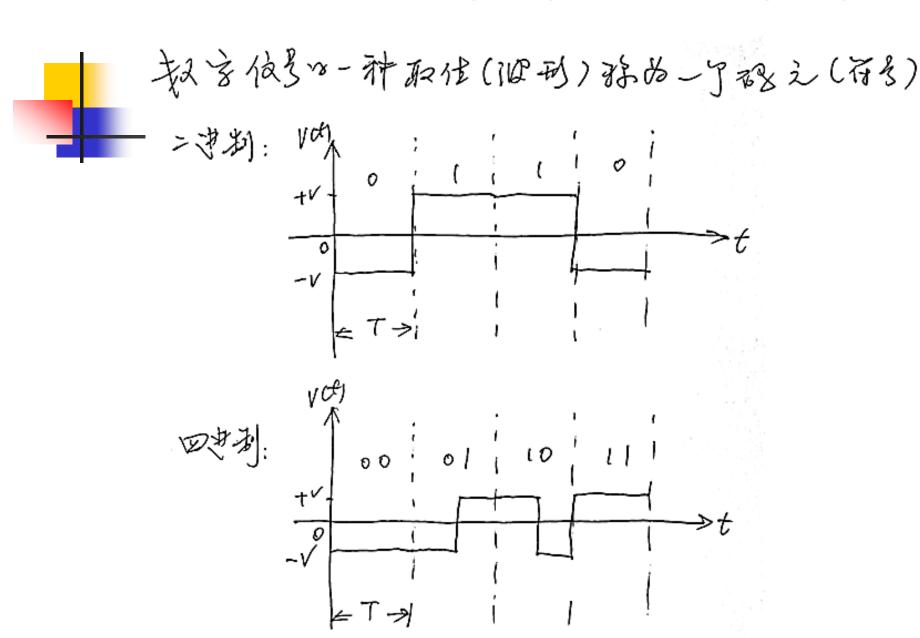
- ■信噪比越高, 可靠性越高
- ■功率比增大一倍,信噪比提高3dB

数字系统有效性指标一

- 传输速率
 - 码元速率 R_B (符号速率、波特率、传码率)
 - •单位时间传送的码元数,与进制无关,单位:baud,即符号/秒,设T为码元的持续时间 $R_B = \frac{1}{T}$ (baud)
 - 信息速率 R_b (比特率、传信率)
 - 单位时间传输的平均信息量,单位: bit/s $R_b = R_B \cdot H(x)$ (b/s)

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

数字信号的一种取值(波形)称为一个码元(符号)



数字系统有效性指标二

■ 频带利用率

■单位频带(1Hz)内的传输速率

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

或
$$\eta_b = \frac{R_b}{B}$$
 (bps/Hz)

数字系统可靠性指标

■ 差错率

$$P_e = \frac{错误码元数}{传输总码元数}$$

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

• 二进制系统: $P_o = P_b$

/T-1 -

■ 例3:

八相调制系统 (等概), 每码元持续时间 833µs, 连续工作一小时后, 接收端收到 6bit错, 若每个码元中只发生单比特错误, 求:

- ■该系统的信息速率
- ■该系统的误码率和误信率

$$M$$
 : $M = 8$, $T = 833 \mu s$

$$R_B = \frac{1}{T} = \frac{1}{833 \times 10^{-6}} = 1200baud$$

$$R_b = R_B \cdot \log_2 M = 1200 \times \log_2 8 = 3600bps$$

• 传一小时后的码元数 $N = R_B \times t = 1200 \times 3600s$

$$= 4.32 \times 10^6$$
 ↑

- 误码率 $P_e = \frac{N_e}{N} = \frac{6}{4.32 \times 10^6} \approx 1.39 \times 10^{-6}$
- 传一小时后的信息量 $I = R_b \times t = 3600 \times 3600s$ = $1.3 \times 10^7 bit$
- 误信率 $P_b = \frac{I_e}{I} = \frac{6}{1.3 \times 10^7} \approx 0.46 \times 10^{-6}$

本章小结

- 通信基本模型
- 信息量的定义
- 离散消息的信息量计算
- 通信系统两个主要性能指标的基本概念 和相关计算

作业

- 阅读教材第一章内容
- 阅读学习材料
- 第一章习题: 3、6、7、8