

通信原理

陈莉萍, QQ: 389174274

计算机学院网络技术中心

"通信原理A课程群"QQ: 641111791



课程简介

■ 教学目标

- 专业基础理论课程
- 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3版),周炯磐等,北京邮电大学出版社
- 《通信系统》(第四版),[加]Simon Haykin著,电子工业出版社
- 《数字通信》(第四版),[美] John G. Proakis著,电子工业出版社
- 《数字与模拟通信系统》,[美]Leon W. Couch II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、电路基础

■ 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
- 信道和调制基本概念
- 数字基带传输系统
- 数字带通传输系统
- 模拟信号数字化

绪论





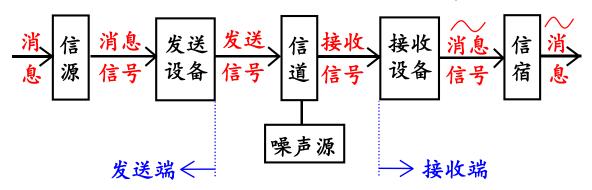
1.1 通信系统模型

- 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

4

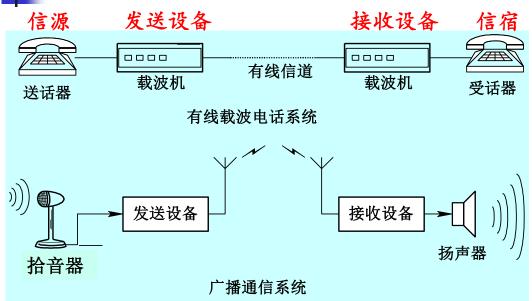
一. 基本模型

- 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。





■ 通信系统实例示意图





■ 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



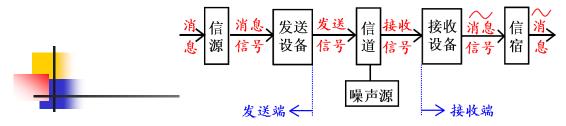
■ 发送设备

- 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



■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
 - ■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

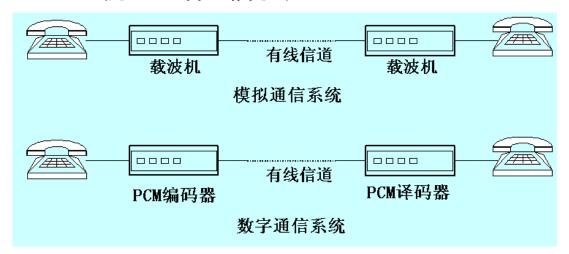
- 按信道中传输信号的特征分类
 - ■模拟通信系统:信道中传输的是模拟信号
 - ■数字通信系统:信道中传输的是数字信号

■ 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

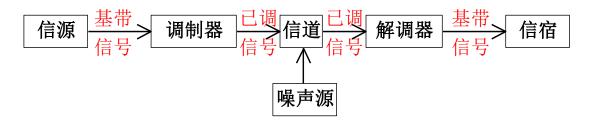


• 例: 电话通信系统





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

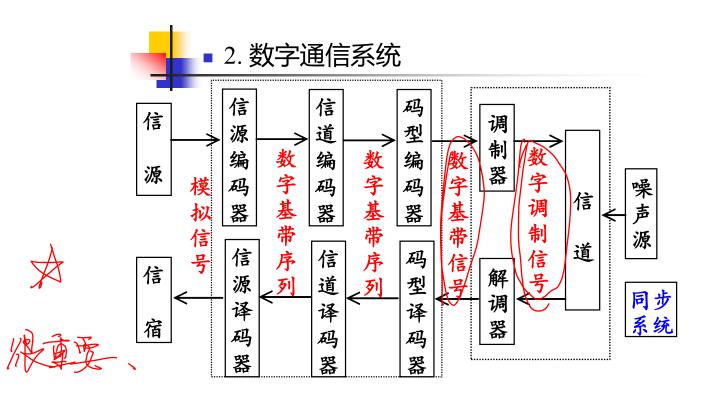
■ 已调信号

- 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



■ 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



■ 数字诵信主要研究问题

- 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

各独立事件联合发生 的概率,等于各独立 事件概率之和。



- 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

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

 \begin{cases} 若a=2, I 的单位称为**比特(bit)** 若a=e, I 的单位称为奈特(nat)

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



■ 联合消息的信息量等于各独立消息的信息量之和

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

• 证:
$$I[P(x_1) \cdot P(x_2) \cdots P(x_n)]$$

 $= -\log_2[p(x_1) \cdot p(x_2) \cdots p(x_n)]$
 $= -[\log_2 p(x_1) + \log_2 p(x_2) + \cdots + \log_2 p(x_n)]$
 $= -\sum_{i=1}^n \log_2 p(x_i) = \sum_{i=1}^n I[p(x_i)]$



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



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,则每符号的信息 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,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:
$$H(x) = -\sum_{i=1}^{M} P(x_i) \log_2 P(x_i) \quad (bit/符号)$$

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

■ H(x)称为信源的熵, 只与符号概率分布有关

例1: 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, $H_{\text{max}} = \log_2 M$ (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·H(x)

"OK"消息: O: ___, K: _._



解: • 设"."出现的概率是P."_"出现的概率是P_

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

- (2) $H = P.\times I. + P_- \times I_- = \frac{1}{4} \times 2 + \frac{3}{4} \times 0.415 = 0.81 bit/符号 信息 (3)$
- (3) $I = I.\times$ 点数 + $I_- \times$ 划数 = $2 \times 1 + 0.415 \times 5 = 4.075 bit$ $I = n \cdot H = 6 \times 0.81 = 4.86bit$

信息



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
 - 原因是信道不理想: 带宽受限、噪声和干扰
 - 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

■接收端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

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)

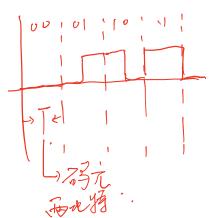
■ 信息速率 R_b (比特率、传信率)

00 | 0| | 10 ' 1 | 单位时间传输的平均信息量,单位: bit/s

$$R_b = R_B \cdot H(x) \quad \text{(b/s)}$$

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





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)

$$\vec{A} \qquad \eta_b = \frac{R_b}{B} \quad (bps/Hz)$$



数字系统可靠性指标

- ■差错率
 - 误码率:

$$P_e = \frac{$$
错误码元数} 传输总码元数

■ 误信率:
$$P_b = \frac{$$
错误比特数} 传输总比特数

■ 二进制系统: $P_e = P_h$



■ 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: 66t.63礼钱 •该系统的信息速率 求:

- 该系统的误码率和误信率



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

解:
$$: M = 8, T = 833 \mu s$$

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

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

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

■ 误码率
$$P_e = \frac{N_e}{N} = \frac{4.32 \times 10^6 \text{ }^6}{4.32 \times 10^6} \approx 1.39 \times 10^{-6}$$

- 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 $P_b = \frac{l_e}{l} = \frac{6}{1.3 \times 10^7} \approx 0.46 \times 10^{-6}$



- 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