

# 本课程学习内容概览

1. **绪论**: 通信发展史、数字通信基本概念。
2. **信号分析基础**: 确定与随机信号分析。
3. **模拟信号的数字编码**: 将模拟信号转换为数字形式。
4. **数字基带传输系统**: 核心内容, 包括判决方法和码间串扰(ISI)的消除。
5. **数字载波调制传输系统**: 将数字信号调制到高频载波上。
6. **传输信道**: 信号传输的媒介。
7. **同步原理与技术**: 确保收发两端同步。
8. **扩展频谱通信技术**: 提高抗干扰能力。
9. **信道复用与多址技术**: 多用户共享信道。

⚠ **注意**: 课件中提到, 部分内容如希尔伯特变换、奈奎斯特第二/第三准则、GMSK理论分析等仅做**简要介绍**, 不作为考试基本要求。

## 第一章：绪论

### 1.1 本章基本内容

- 简要介绍通信的**目的**。
- 介绍通信系统, 特别是数字通信系统的**基本组成**和**特点**。
- 介绍数字通信系统的有关**术语**、主要**性能指标**和**度量参数**。

### 1.2 通信的基本概念

#### 通信的目的

通信的根本目的是克服**某种障碍**, 实现信息**高效**、**准确**地传递。

1. **克服距离上的障碍**: 实现信息的远程传送 (如打电话)。
2. **克服时间上的障碍**: 实现信息的传递和传承 (如书籍、硬盘存储)。

#### 核心术语定义

- **通信**: 克服距离上的障碍, 交换和传递消息。
- **消息**: 通信的内容, 如文字、符号、数据、图片、语音和活动图像。
- **信息**: 消息的内涵, 消息是信息的载体。
- **信号**: 与消息一一对应的**电量**, 是消息的物质载体。

- **数字信号**: 时间和幅度取值均为**离散**的信号。
- **通信系统**: 传递信息所需的一切技术设备的总和。
  - **狭义的通信系统**: 利用电信号和光信号来传递信息的电通信、光通信或电光混合的通信系统。
  - **广义的通信系统**: 包括电通信、光通信, 以及普通邮件、报纸、杂志等各种介质的记录与重放。

## 📶 身边的通信: 视距传播

为什么电视塔通常都很高? 这是为了增大**视距传播**的距离。

- **原理**: 发射和接收天线必须在视线范围内。
- **数学模型**:

地球可近似看作一个半径为  $r$  的球体, 天线高度为  $h$ , 视距为  $d$ 。根据勾股定理:

$$d^2 + r^2 = (r + h)^2$$

展开后得到:

$$d^2 = 2rh + h^2$$

由于天线高度  $h$  远小于地球半径  $r$  ( $h \ll r$ ), 可以忽略  $h^2$  项, 得到近似公式:

$$d \approx \sqrt{2rh}$$
- **有效无线电视距公式**:

考虑到大气折射等因素, 引入一个调整因子  $K$  (经验值为  $K = 4/3$ ), 得到更实用的公式:

$$d = 3.57\sqrt{Kh}$$

⚠ **易错点**: 注意单位! 在此公式中, 距离  $d$  的单位是**千米 (km)**, 天线高度  $h$  的单位是**米 (m)**。

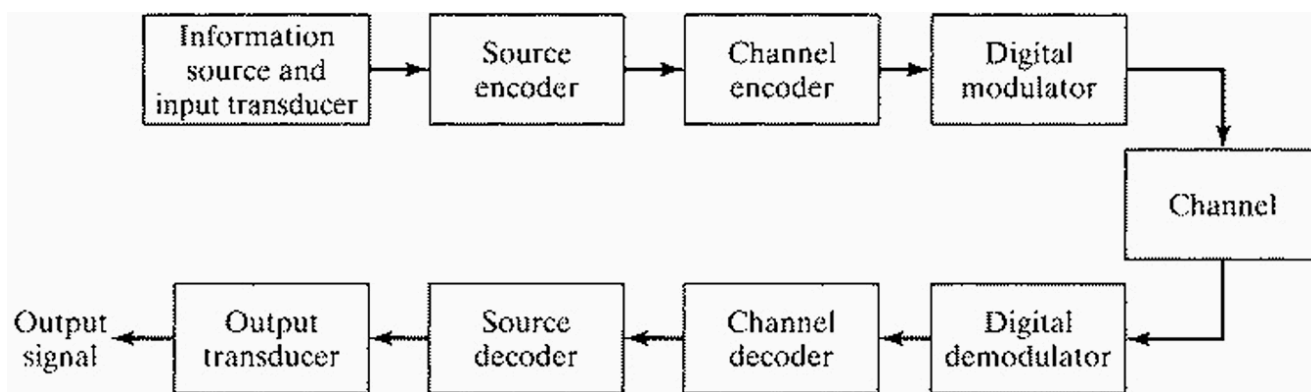
## 1.3 🛠️ 数字通信系统的基本组成

### ✂️ 通信系统的基本要素

一个基本的通信系统由三个核心部分组成:



1. **发射机** 📡: 将电信号转换成适合在信道中传输的形式 (如电磁波、光波), 核心技术是**调制**。
2. **信道** 🌐: 信号传输的物理媒介, 会引入**噪声**。
3. **接收机** 📡: 从信道中接收信号, 并将其还原成原始电信号, 核心技术是**解调**。

### 🏗️ 数字通信系统详细组成模型








- **信源**: 产生待传输的消息。
- **信源编码器**: 完成模拟信号到数字信号的转化，并进行数据压缩以提高效率。
- **信道编码器**: 对数字信号进行差错控制编码，以抵抗信道噪声的干扰。
- **数字调制器**: 将数字符号序列变换成适合在信道中传输的信号波形。
- **信道**: 传送信号的物理媒质。
- **接收端**: 接收端的**数字解调器**、**信道译码器**、**信源解码器**分别完成与发送端相反的功能。

## 两种基本的通信模式

1. **广播模式** : 一个发射机对多个接收机，如收音机、电视。
2. **点对点(P2P)模式** : 一个发射机对一个接收机，如打电话、发短信。

## 1.4 数字通信的特点

### 优点

1. **抗噪声和干扰能力强** 
  - 数字信号只有有限种状态，易于识别和重构。即使信号在传输过程中受到干扰而失真，只要能识别出其状态，就可以在接收端或中继站完美再生，从而**抑制噪声的积累**。
2. **便于提高消息传输效率** 
  - 可以对数字信号进行**压缩编码**处理。
  - 很容易实现**时分复用**，提高信道（如光缆）的传输效率。
3. **便于在传输过程进行差错控制** 
  - 通过**纠错编码**技术，可以在接收端检测并纠正传输中产生的错误。
4. **便于对信息进行加密处理** 
  - 数字信号易于进行加密和解密操作，保密性好。
5. **便于采用大规模集成电路实现** 
  - 数字通信设备的处理和控制功能可以使用ASIC、FPGA、DSP等大规模集成电路实现，设备体积小、功耗低、可靠性高。

## 👉 缺点

### 1. 带宽要求更高 📶

- 通常情况下，传输数字信号比传输原始模拟信号需要更宽的频带。

### 2. 需要同步 ⌚

- 接收端需要与发送端在码元、帧、载波等多个层面上保持同步。

### 3. 具有“门限效应” 📉

- 当信噪比下降到一定限度（门限）时，通信系统的性能会急剧恶化。

## 1.5 🌈 数字通信系统的基本性能指标

### 1. 有效性：传输速率

衡量单位时间内系统能传输信息量的大小。

- **波特率 (Baud Rate,  $R_S$ )**: 单位时间内传输的**码元**数，也称符号速率。单位是**波特 (Baud)**。
- **比特率 (Bit Rate,  $R_b$ )**: 单位时间内传输的**二进制数据**的位数。单位是**比特/秒 (b/s, bps)**。

#### ⚠️ 注意点

波特率和比特率是两个不同的概念！

- **波特率**关心的是每秒传输多少个“符号”(码元)。
- **比特率**关心的是这些符号总共代表了多少个“比特”。  
只有在使用二进制符号（一个码元只代表1比特）时，两者在数值上才相等。

对于一个使用  $N$  进制符号的系统，每个码元可以携带  $\log_2 N$  比特的信息。因此，比特率和波特率的关系为：

$$R_b = R_S \cdot \log_2(N)$$

### 2. 可靠性：传输质量

衡量接收信号的准确程度。

- **信噪比 (Signal-to-Noise Ratio, SNR)**: 信号平均功率  $S$  与噪声平均功率  $N$  之比。  
 $SNR = \frac{S}{N}$   
通常用分贝 (dB) 表示：  
 $(SNR)_{dB} = 10 \lg(\frac{S}{N})$
- **误码率 ( $P_s$ ) 与 误信率 ( $P_b$ )**
  - **误码率**: 错误码元符号数 / 总码元符号数
  - **误信率 (Bit Error Rate, BER)**: 错误比特数 / 总比特数，是更常用的指标。

### 3. 频带利用率 (Bandwidth Efficiency, $\eta$ )

衡量单位带宽内能达到的传输速率。

- **单位:** b/s/Hz (比特/秒/赫兹)
- **计算公式:**

$$\eta = \frac{R_b}{B}$$

其中  $R_b$  是比特率,  $B$  是占用的带宽。

### 本章学习总结

本章作为《通信原理》的入门, 主要建立了对通信系统的宏观认识。

1. **核心概念:** 我们理解了通信的根本目的, 并掌握了信息、消息、信号等基本术语的定义。
2. **系统模型:** 我们学习了数字通信系统的标准模型, 了解了从信源到信宿的各个功能模块 (信源编码、信道编码、调制等) 的作用。
3. **数字通信优劣:** 我们明确了数字通信相较于模拟通信的核心优势 (抗干扰、易于处理和加密) 以及其固有的缺点 (带宽需求、同步、门限效应)。
4. **性能铁三角:** 我们初步接触了衡量一个通信系统性能的三个关键维度:
  - **有效性** (速率有多快? -  $R_b$ )
  - **可靠性** (传输有多准? -  $P_b$ )
  - **效率** (带宽用得省不省? -  $\eta$ )这三个指标之间相互制约, 是后续章节中设计和分析通信系统的基础。