

# 数字信号处理

图像传输与处理研究所

王柯俨

[kywang@mail.xidian.edu.cn](mailto:kywang@mail.xidian.edu.cn)

<http://web.xidian.edu.cn/kywang/teach.html>

# 绪论



# 主要内容

- 信号的特征
- 信号的分类
- 数字信号处理的基本内容
- 数字信号处理的实现方法
- 数字信号处理的优点

# 信号

- 信号我们并不陌生，大部分信号具有实际意义。
- 信号是信息的载体。通过信号传递信息。
  - 上课铃声——声信号，表示该上课了；
  - 十字路口的红绿灯——光信号，指挥交通；
  - 电视机天线接受的电视信息——电信号；
  - 广告牌上的文字、图象信号等等。
- 为了有效地传播和利用信息，常常需要将信息转换成便于传输和处理的信号



# 基本概念

## ■ 信号的特征

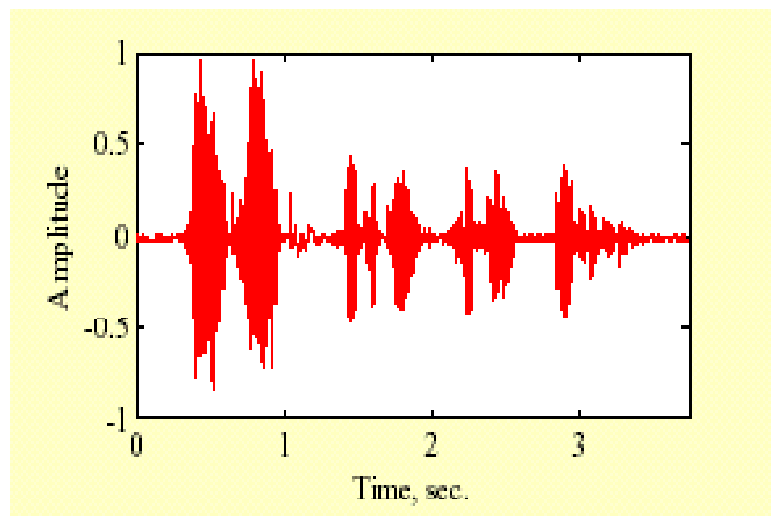
### □ 携带信息的函数

- 可以是时间、距离、温度、压力等的函数
- 与我们的日常生活密切相关

# 信号举例 (1)

## 声音

- Represent **air pressure** as a function of **time** at a point in space



“I like digital signal processing”

# 信号举例 (2)

## 心电图

- Represent the electrical activity of the heart



# 信号举例 (3)

## 脑电波

- Represent the electrical activity caused by the random firings of billions of neurons in the brain

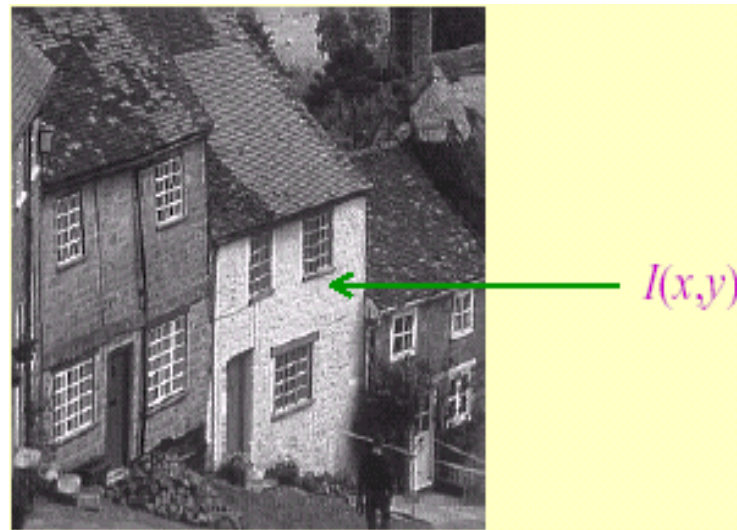




# 信号举例 (4)

## 黑白照片

- Represents **light intensity** as a function of **two spatial coordinates**



# 信号举例 (5)

## 视频信号 Video signals

- Consists of a sequence of images, called **frames**, and is a function of **3** variables:  
**2 spatial coordinates and time**





# 信号的获取方式

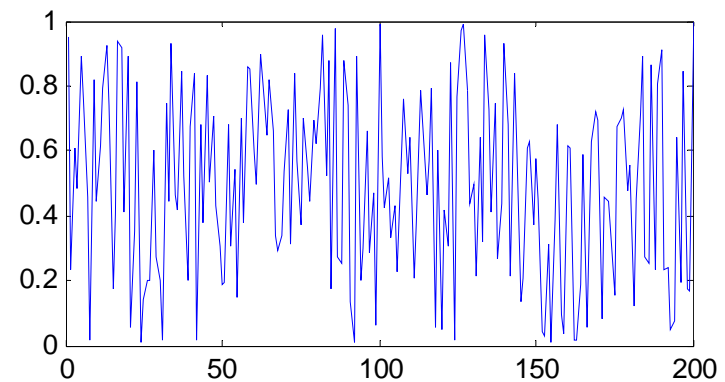
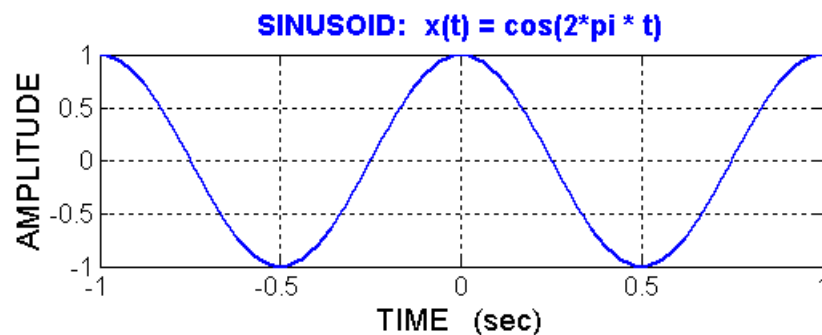
- 可以通过采集，从自然界获取；
- 可以是信号处理的输出结果；
- 可以人工合成。

# 信号的分类 (1)

根据不同的分类标准，可以有不同的分类方法：

## ■ 信号幅度的统计特性

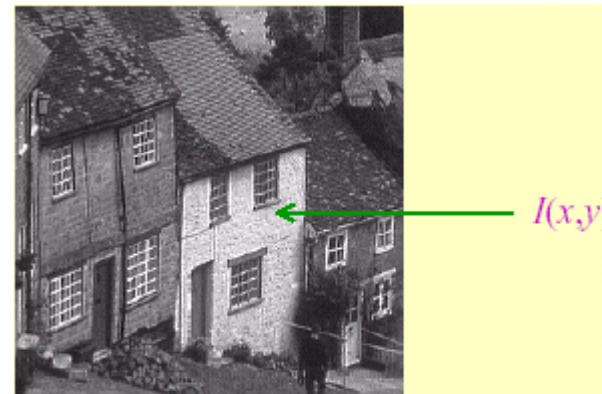
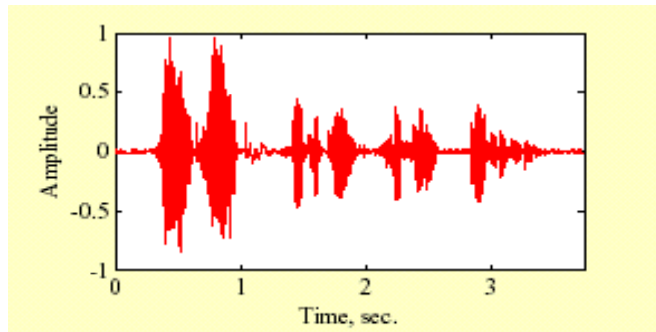
□ 确定性信号、随机信号（平稳 / 非平稳）



# 信号的分类 (2)

## ■ 信号的维数

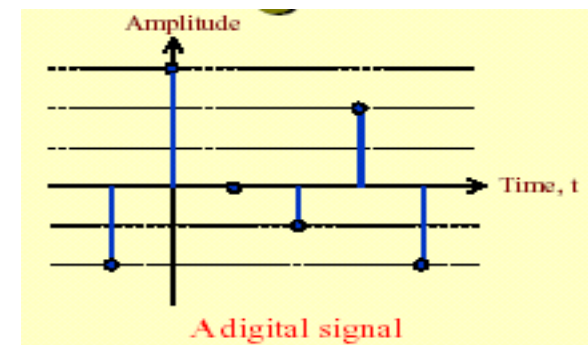
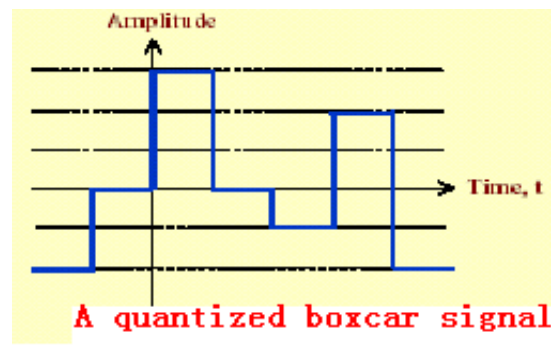
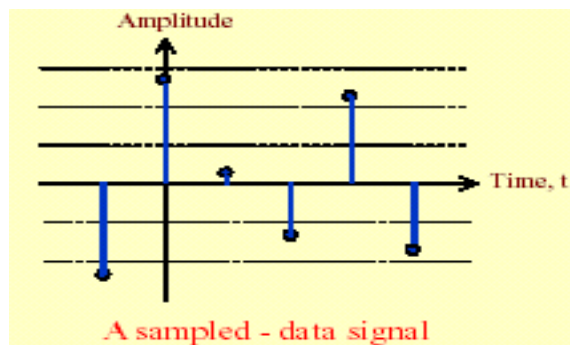
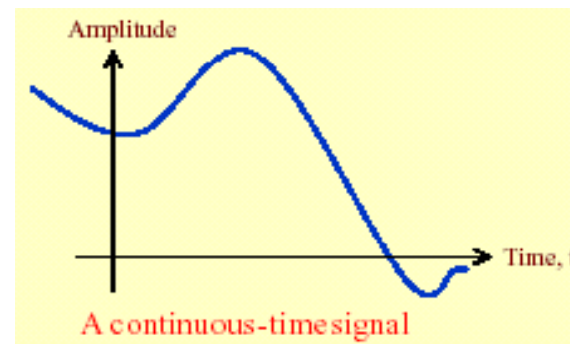
- 一维信号、多维信号



# 信号的分类 (3)

## ■ 信号自变量和幅度的连续性

- 模拟信号
- 时域离散信号
- 幅度离散信号
- 数字信号



# 数字信号处理目的

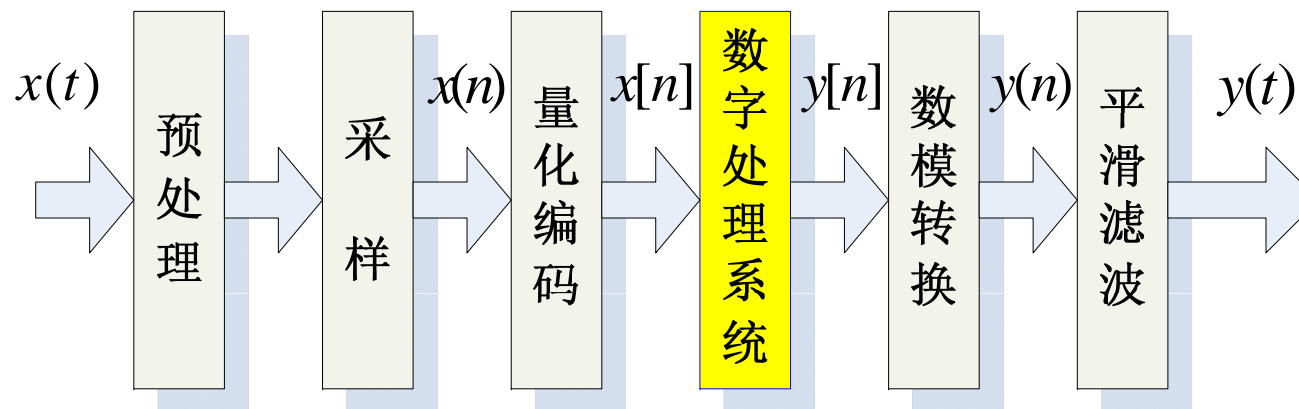
- 获取信号中携带的有用信息
  - 通信信号处理
  - 雷达信号处理



- 采用数学的方式表示信号，然后设计具体的算法实现信息的提取

# 信号处理框图 (1)

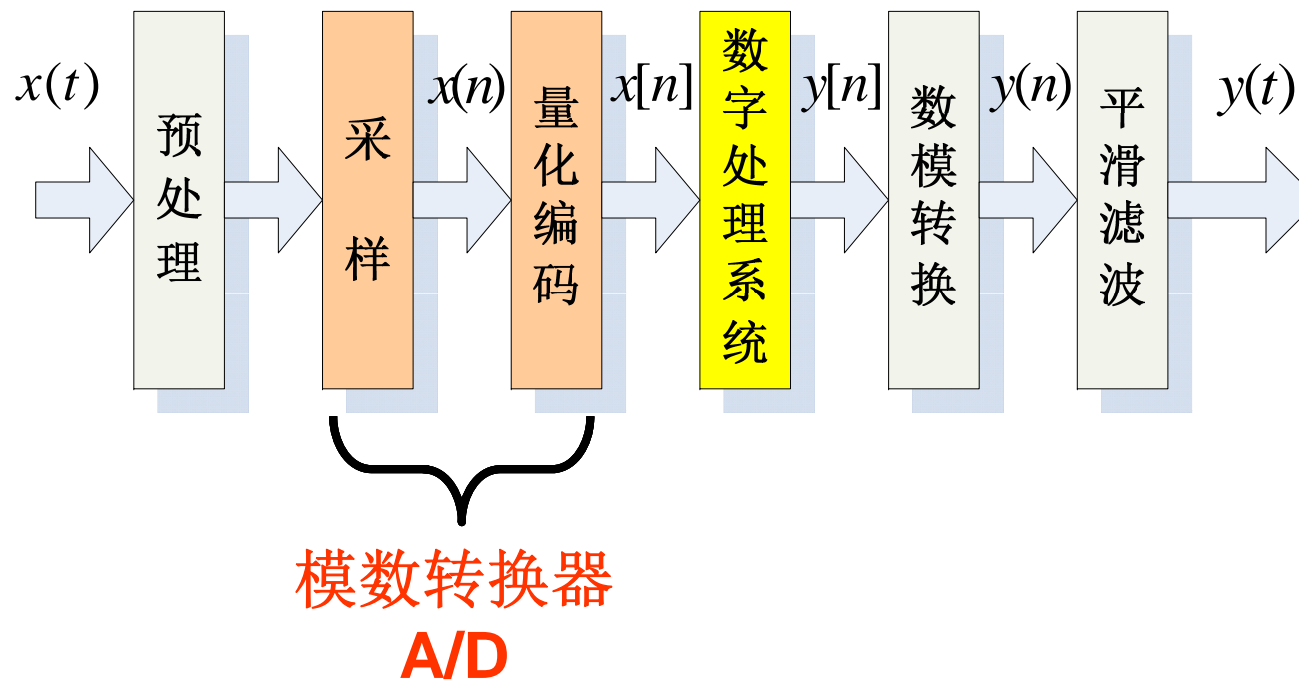
## ■ 数字系统处理模拟信号的原理方框图





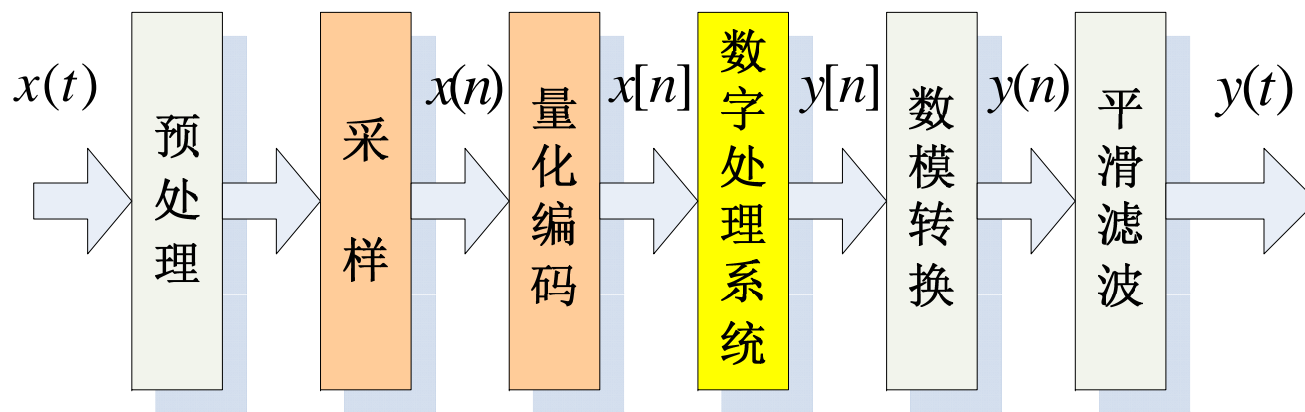
# 信号处理框图 (1)

## ■ 数字系统处理模拟信号的原理方框图



# 信号处理框图 (1)

## ■ 数字系统处理模拟信号的原理方框图



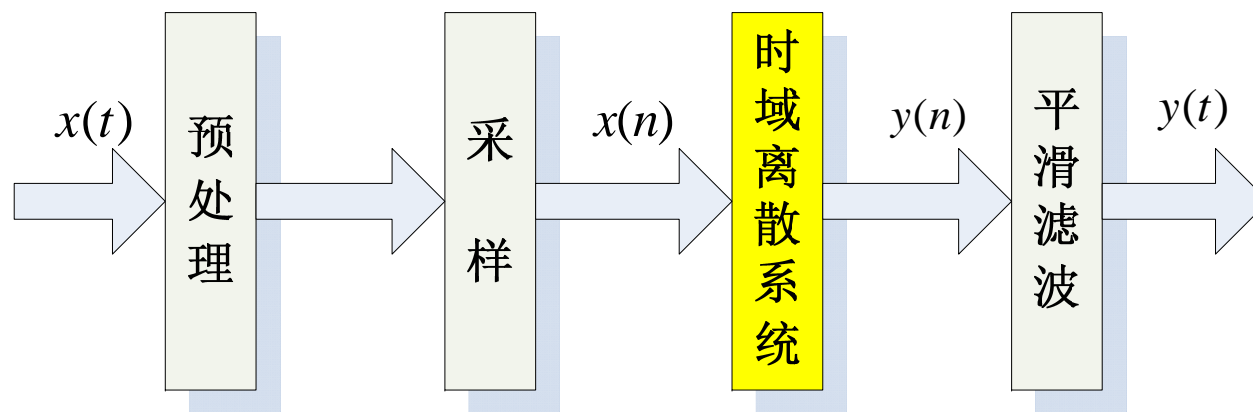
误差

- **AD转换器**量化误差
- 数字处理系统参数的量化误差
- 处理过程中的运算误差

- **AD转换器**  $\leftrightarrow$  采样
- 数字处理系统  $\leftrightarrow$  时域离散系统

# 信号处理框图 (2)

## ■ 时域离散系统处理模拟信号的原理方框图



设计时域离散系统

(理论与实现方法)

对采样信号和系统参数进行量化

(量化误差效应 / 有限字长效应)

数字系统

## 2. 数字信号处理的基本内容



# 1. 模拟信号的预处理

- 预滤波或前置滤波 (ch4)

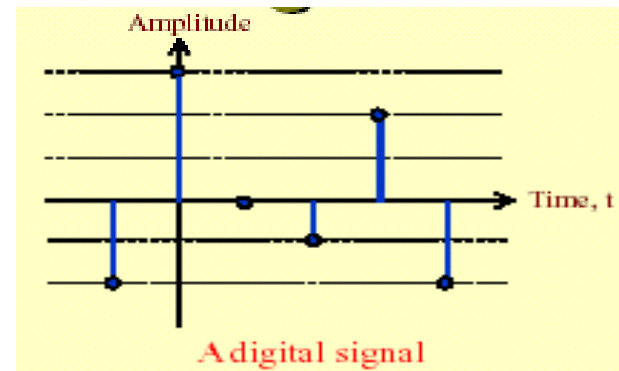
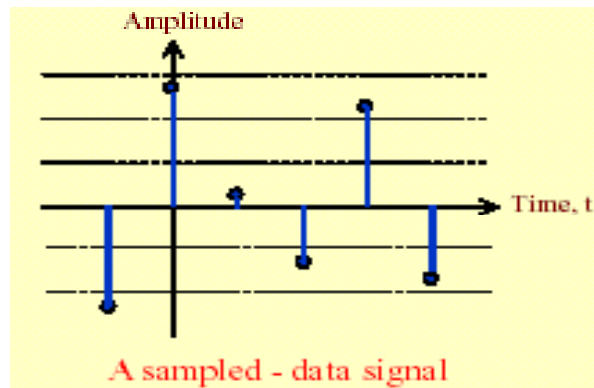
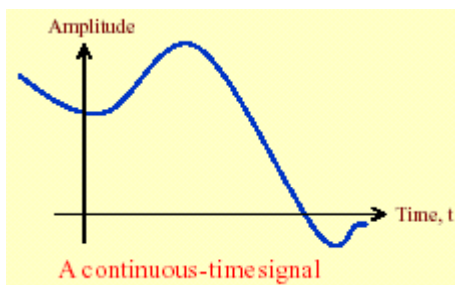
- 作用:

滤除输入模拟信号中的无用频率成分和噪声，避免采样后发生的频谱混叠失真

- 为了满足采样定理的要求。

## 2. 模拟信号的时域采样与恢复

- 模数转换技术 (ch4)
- 采样定理 (ch4)
- 量化误差分析 (ch8)





# 3.时域离散信号与系统分析

- 信号的表示与运算 (ch1)
- 傅里叶变换、Z变换、离散傅里叶变换 (ch2)
- 系统的描述 (ch1-2)
- 时域离散信号与系统的时域和频域分析 (ch1-2)



# 4. 数字信号处理中的快速算法

- 快速傅里叶变换 - **FFT** (**ch3**)
- 快速卷积 (**ch3**)





5. 模拟滤波器和数字滤波器的分析、设计与实现 (**ch5-7**)

6. 多采样率信号处理技术 (**ch9**)

采样率转换系统的基本原理及其高效实现方法

# 3. 数字信号处理的实现方法



# 数字信号处理系统的实现

- 软件实现
- 专用硬件实现
- 软硬件结合实现

# 软件实现 (MATLAB)

- 在通用的数字计算机上编程，实现数字信号处理算法。
- 优点：灵活、开发周期短
- 缺点：处理速度慢
- 场合：研究、教学、非实时的应用场合
- 例：处理一盘混有噪声的录像(音)带，我们可以将图像(声音)信号转换成数字信号并存入计算机，用较长的时间一帧帧地处理这些数据。处理完毕后，再实时地将处理结果还原成一盘清晰的录像(音)带。



# 专用硬件实现

- 专用集成电路实现实现某种专用的信号处理功能。如调制解调器、快速傅里叶变换芯片、数字滤波器等。
- 优点：处理速度快
- 缺点：专用、不灵活、开发周期长
- 场合：高速实时处理的专用设备，如数字电视接收机中的高速处理单元

# 软硬件结合实现

- 依靠通用单片机或数字信号处理专用单片机（**DSP**）的硬件资源，配置相应的信号处理软件，实现工程所需的信号处理功能。如数字控制系统。
- **DSP**内部有硬件乘法器、累加器，采用流水线工作模式和并行结构，配有适合信号处理运算的高效指令。结合了软件实现和专用硬件实现的优点。
- 优点：高速、灵活、开发周期短



# 4. 数字信号处理的主要优点



# 数字信号处理的优点（1）

## 1、灵活性好

- 可编程性：适于在计算机、可编程器件上实现处理，通过编程改变系统参数，实现不同功能
- 模拟系统：调整硬件设计
- 数字系统：调整软件
- 例如：模拟滤波器，数字滤波器，自适应滤波器

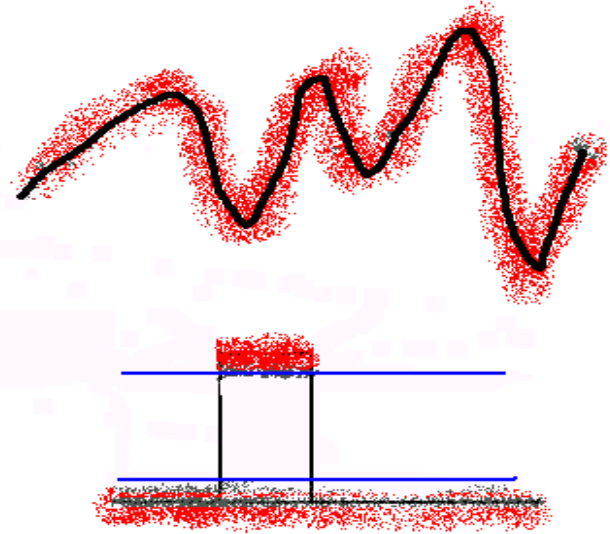


# 数字信号处理的优点 (2)

## 2. 处理精度高

### ■ 数字系统

- 精度由**ADC**量化位数、**CPU**字长、算法等决定，精度可达任意高；
- 二进制工作状态，基本不受内部噪声的影响，不存在噪声积累。



### ■ 模拟系统

- 计算精度低，精确性依元器件不同而有所差异；
  - 模拟电路的内部、外部噪声影响精度,存在噪声积累。
- 例如：求对数运算，数字运算精度可任意高，而对于模拟电路，**1%**的精度就很难达到。

# 数字信号处理的优点（3）

## 3、稳定可靠

### □ 数字系统：

- 各级数字系统之间通过数据进行耦合，不存在阻抗匹配问题，只要设计正确，就可以稳定工作
- 不易随环境条件的变化而变化，只要在门限范围内，不会随着温度的变化而变化。

### □ 模拟系统：

- 模拟元器件（电阻、电容、运算放大器等）的特性随着环境温度、湿度的改变而变化。



# 数字信号处理的优点（4）

## 4. 便于纠错、加密/解密:

信号在传输过程中，存在传输出错的可能，或者信息安全的问题，当数据采用数字系统传输时，可以很容易地在数据流中插入“冗余码”进行纠错或者加密/解密。



# 数字信号处理的优点（5）

## 5. 便于大规模集成化，系统小型化

- 数字系统的基本单元和基本模块具有高度的一致性，便于大规模集成、大规模生产。
- 数字电路对电路参数的一致性要求低，便于大规模集成，易于达到体积小、重量轻，且性价比高。



# 数字信号处理的优点（6）

## 6. 便于多功能化

- 数字系统易于根据各种状态自动执行相应的操作，易于实现多种功能。
- 如：手机



# 数字信号处理的优点 (7)

## 7. 便于实现复杂的处理功能

- 模拟系统：仅能对信号进行一些简单的处理，如放大、滤波、调制/解调
- 数字系统：复杂处理，如解卷积、时分复用、选择性滤波等



# 数字信号处理的优点（8）

## 8. 数据压缩、传输和存储：

- 数字信号便于压缩存储，而模拟信号不能直接压缩，数据量大
- 例如：**Internet、Compact Disc (CD)、Digital Video Disc (DVD)**



# 模拟系统的优势

## 1、实时性（Real-Time Processing）：

- 模拟系统：除去电路延时，系统的处理速度具有实时性。
- 数字系统：由处理器速度决定。

## 2、能够处理超高频信号：

- 模拟系统：能够处理微波、光信号等。
- 数字系统：根据**Nyquist**准则，处理速度受限于最低采样频率，**A/D** 和处理器速度。





# 数字信号处理发展趋势

- 一般来说，数字信号处理限于线性时不变系统理论，并假设信号及背景是**高斯平稳**的，信号的分析基于二阶矩，数字滤波和**FFT**是常用方法。
- 目前**DSP**研究热点：
  - 时变系统
  - 非平稳信号
  - 非高斯信号
  - 非线性信号
  - 超采样定理、压缩感知（**CS**）



# 处理方法的的发展:

- 目的: 数学模型更加符合实际, 或者降低对信号先验知识的要求, 充分利用观测信号中的一切有用信息, 提高信息利用率。
  - 自适应滤波
  - 离散小波变换
  - 高阶矩分析
  - 信号盲处理
  - 分形、混沌理论



# 主要内容

- 信号的特征
- 信号的分类
- 数字信号处理的基本内容
- 数字信号处理的实现方法
- 数字信号处理的优点