



# 信号与线性系统

---

Lecture 1

课程介绍

第一章 绪论



# 介 绍

**主讲教师：李榕**

**研究方向：计算机视觉，机器学习，深度学习**

**主讲课程：信号与系统、Verilog 语言**

**隶属：数据存储研究所**

**多媒体流计算与存储团队**

**Email: lr@mail.hust.edu.cn**

## 多媒体流计算与存储团队



李榕 范晔斌 夏涛 孙伟平 郭红星

- 图像视频编码
- 并行优化及节能研究
- 机器学习与计算机视觉算法研究
- 深度学习的工程化应用
- 嵌入式系统和移动多媒体平台软件开发



# 本讲内容

---

- 概述
  - 无处不在的信号与系统问题
  - 《信号与系统》课程介绍
- 教学安排
  - 教学内容与课时安排
  - 教材及参考书目
  - 成绩评定
- 信号与系统基础
  - 信号、系统的分类与描述
  - 信号的简单处理

# 概述

- 社会性是人的最主要、最根本的属性。
- 我们每天都在进行消息的传递。



# 更快，更广，更强





# 信号与系统问题无处不在！

- 消息**传输**，就是将带有信息的**信号**，通过某种**系统**，从发送者传送给接收者。
- 在实际应用中，为了满足某些需要（例如为了能够用无线电同时传输多个电台的信号），还要对**信号**进行加工，包括提取，变换，分析等**处理**。
- 这些工作都是用一些具有特定结构特定功能的设备组成，这些设备都是**系统**。



# 语音去噪

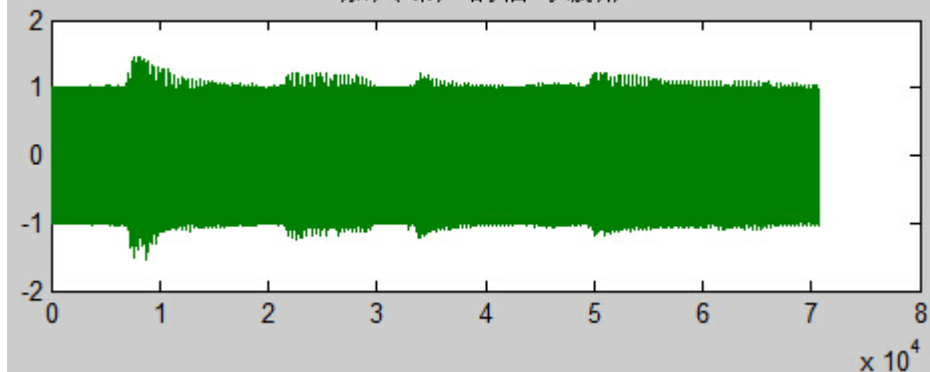
语音（含噪声）



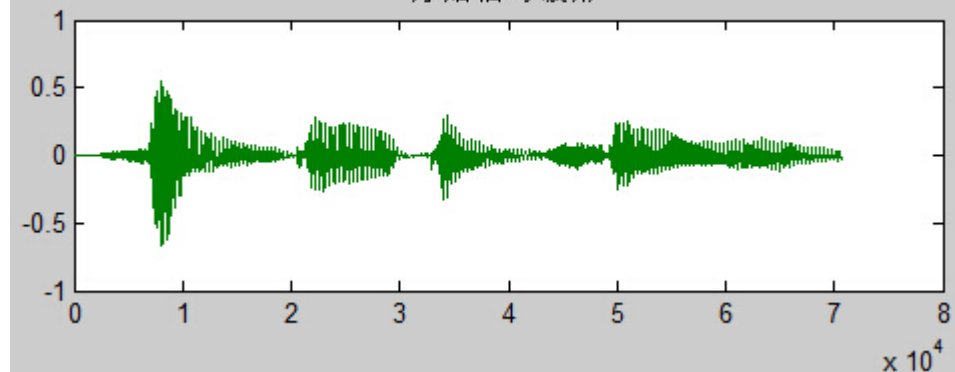
语言（纯净）



加入噪声的信号波形



原始信号波形





# 图像处理



**NOISY INPUT**



**DENOISED RESULT**



信号怎么表示？

物理特性有何异同？

怎么提取物理特性？

系统怎么描述？

信号通过系统会产生怎样的输出？

为了提取信号某一方面的物理特性，  
系统该如何设计？...

基本概念

基本原理

基本方法



# 《信号与系统》课程

- 是信息类专业本科生的一门重要的**专业基础**课程，研究信号经系统传输或处理的一般规律，着重基本概念和基本分析方法。
- 对信息大类本科生的许多后续课程有着非常重要的作用，同时对学生今后进入研究生阶段学习许多课程也有很重要的作用。
- 特点：严格的数学理论，现代技术的实践背景
- 计算机专业的课程是数据表达的**逻辑模型**，信号与系统建立的是更底层的、代表了某种物理意义的**数学模型**。



# 学时安排 (32学时)

第一章 绪论	4
第二章 连续时间系统的时域分析	4
第三章 连续信号的正交分解	6
第四章 连续时间系统的频域分析	2
第五章 连续时间系统的复频域分析	4
第六章 连续时间系统的系统函数	
第七章 离散时间系统的时域分析	4
第八章 离散时间系统的变换域分析	7
总复习	1



# 《信号与系统》教材

- 《信号与线性系统》（第六版）（管致中等编著）
- 该教材初版于1979年，其第二版获国家级优秀教材奖，第三版获教育部科技进步二等奖，第六版为“十二五”国家级规划教材。

## 参考书目

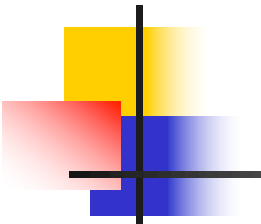
- 郑君里 等编著. 信号与系统(第3版). 高等教育出版社
- **Alan V.Oppenheim.** 信号与系统(第二版). 电子工业出版社
- 信号与系统学习指导与题解. 容太平主编. 武汉:华中科技大学出版社



# 成绩评定

- **平时成绩（占总成绩的30%）**
  - **课堂参与（出勤率，课堂提问等）**
  - **作业**
- **期末考试（占总成绩的70%）**
  - **闭卷笔试**

**作业：由课题组在“课程平台”上统一布置，并在课程平台上统一提交，由助教统一批改。**



## 关于作业：摘自 **coursera**

---

All students participating in the class must agree to abide by the following code of conduct:

1. My answers to homework, quizzes and exams will be my own work (except for assignments that explicitly permit collaboration)
2. I will not make solutions to homework, quizzes or exams available to anyone else.
3. I will not engage in any other activities that will dishonestly improve my results or dishonestly improve/hurt the results of others.





# 第一章 绪论

---

**基本要求：了解和掌握信号与系统的定义及其分类，理解信号的时域运算和波形变换方法。掌握系统的线性、时不变、因果等特性。**

**重点与难点：信号分类。信号的时域运算与变换。系统的分类及特性。**

# 无所不在的信号

## ■ 什么是信号？

- 信号 (**signal**)：消息依附于某一物理量的变化上就构成信号。
- 消息 (**message**)：含有了信息的一组约定的符号统称为消息。
- 信息 (**information**)：作为一个严谨的科学术语，信息的定义却不存在一个统一的观点，这是由它的极端复杂性决定的。在“信息论”中，信息可以视为“不确定性”或“选择的自由度”的度量。
- “诺伯特·维纳”对信息的著名定义：“信息就是信息，不是物质也不是能量。不承认这一点的唯物论，在今天就不能存在下去。”这句话深刻揭示了信息的重要地位，信息、物质与能量是客观世界的三大构成要素。

## ■ 信号的表现形式

- 直接作用于人类感觉器官的信号
- 不能直接感觉的信号

## ■ 信号的转换

信号

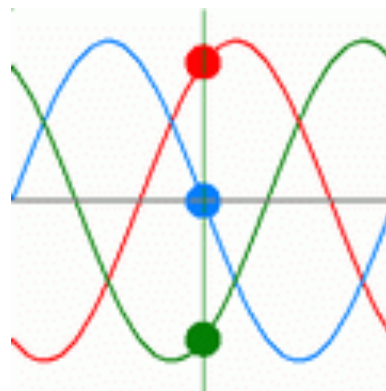
声、光等

电信号

# 信号的概念

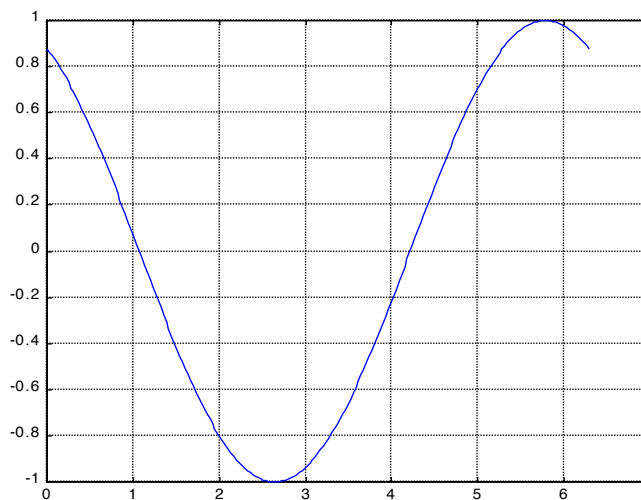
**定义: 信号**是随着时间变化的某种物理量。

- 物理上: 信号是信息寄寓变化的形式
- 数学上: 信号是一个或多个变量的函数
- 形态上: 信号表现为一种波形
- 自变量: 时间、位移、周期、频率、幅度、相位

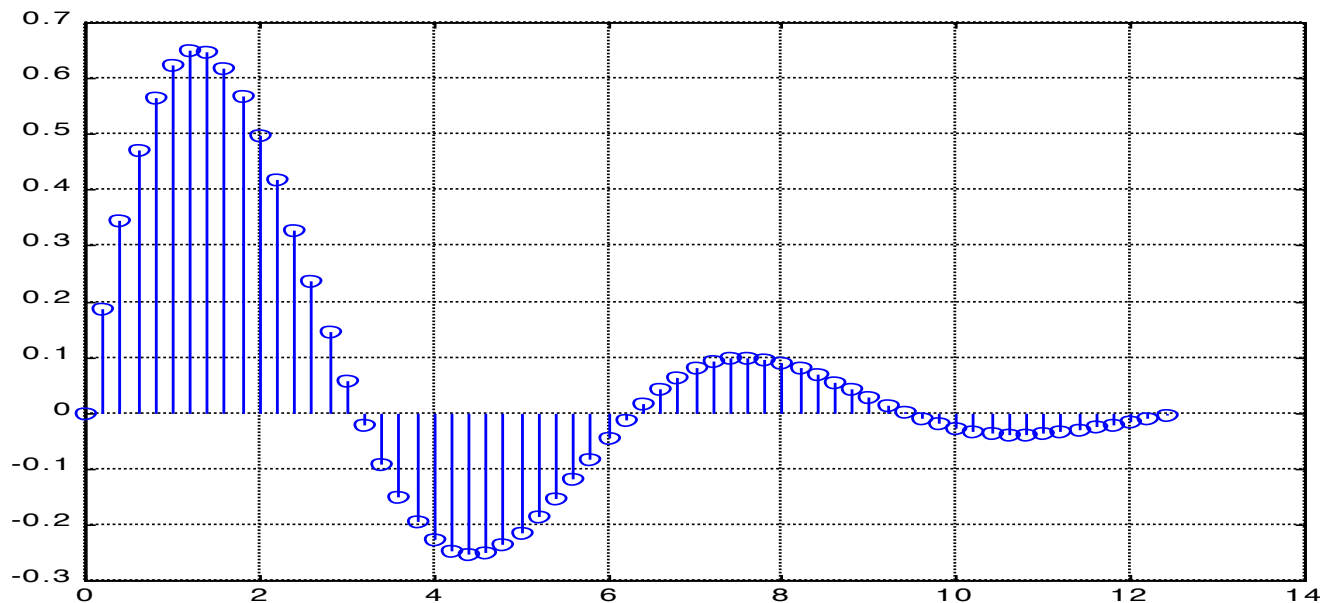


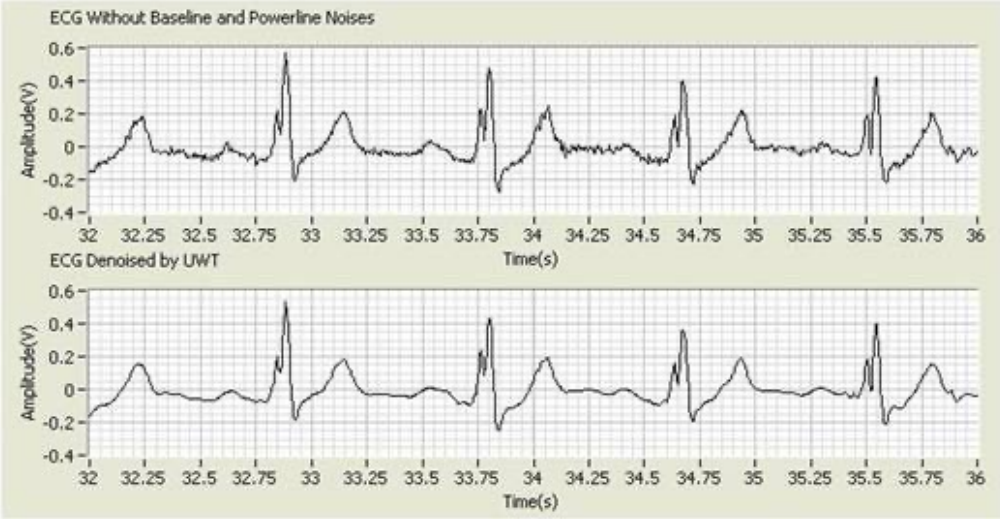
# 函数举例

$$y(t) = A \cos(t + 0.5)$$



$$y(k) = e^{-3k} \sin(k)$$







## 2. 信号的分类

---

- **信号分为： 确定性信号与随机信号**

**连续信号与离散信号**

**周期信号与非周期信号**

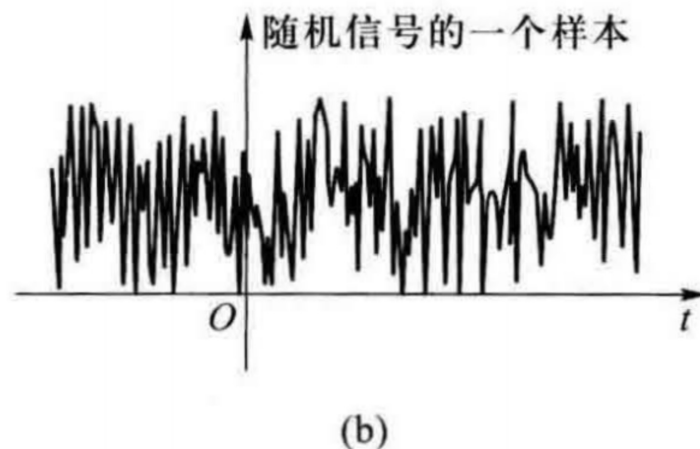
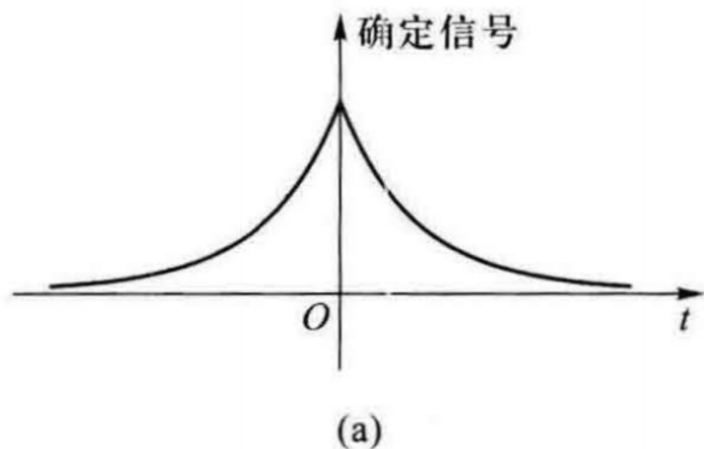
**能量信号与功率信号**

# 确定信号与随机信号

按信号随时间变化的规律:

**确定信号**是指能够以确定的时间函数表示的信号。

**随机信号**也称为不确定信号，不是时间的确定函数。



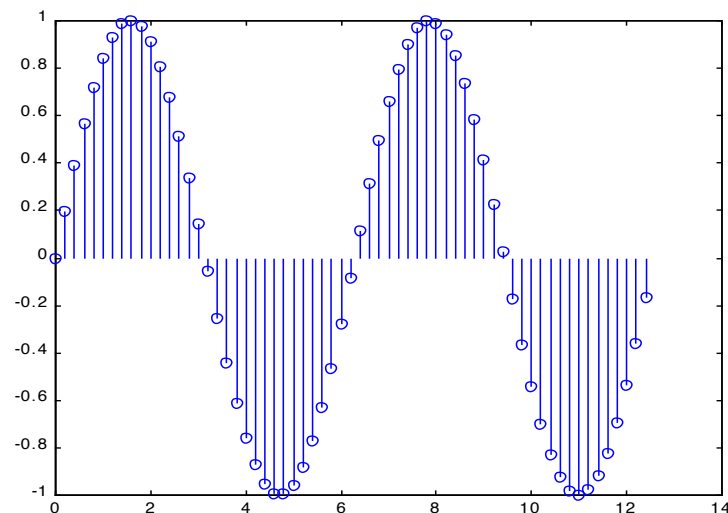
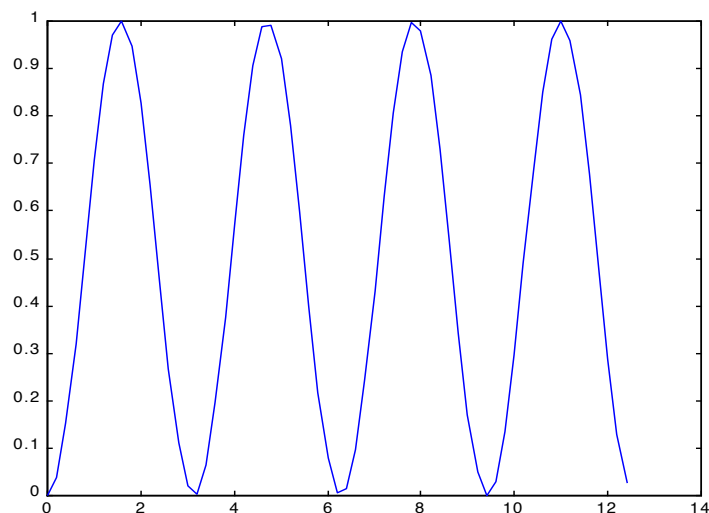


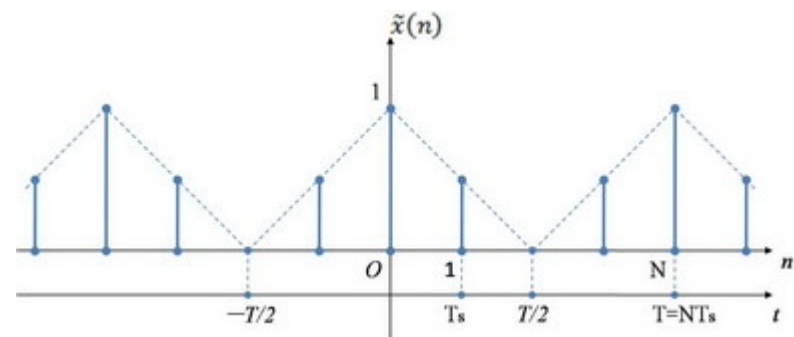
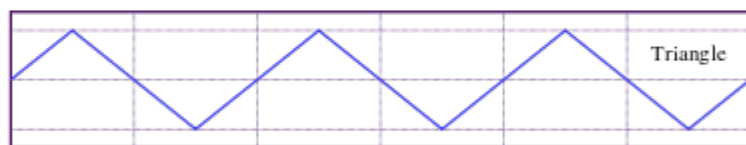
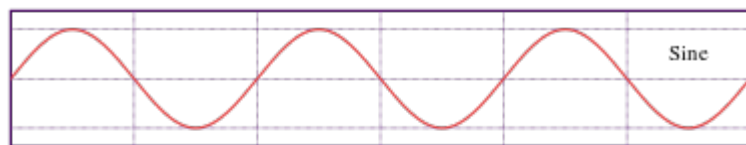
# 连续信号与离散信号

按自变量的取值特点:

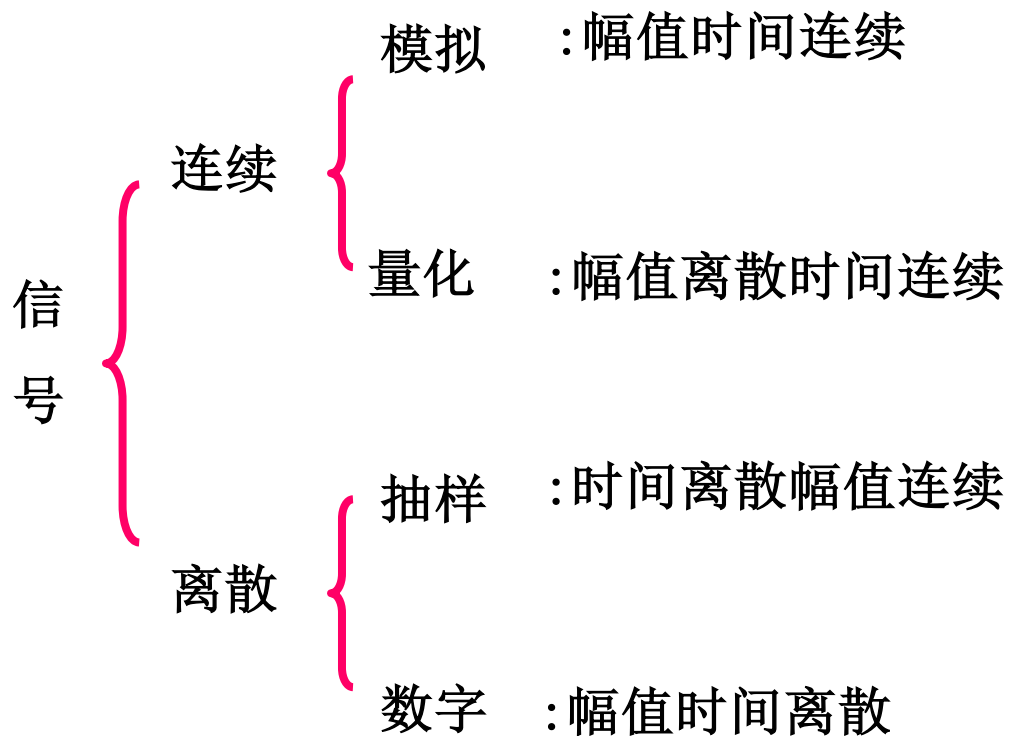
**连续时间**信号:用全体实数描写时间。

**离散时间**信号:用特定的整数(实数)描写时间。

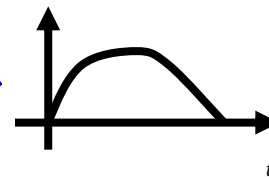




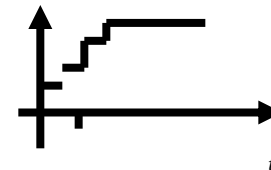
# 信号的分类



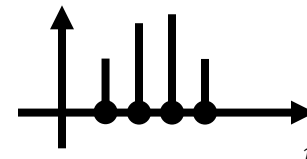
模拟



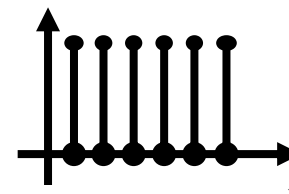
量化



抽样



数字





# 周期信号与非周期信号

对**连续信号** $f(t)$ ，若对所有  $t$  均有

$$f(t) = f(t + T)$$

则称 $f(t)$ 为连续周期信号，满足上式的最小正数  $T$  称为 $f(t)$ 的周期。

对**离散信号** $f(k)$ ，若对所有整数  $k$  均有

$$f(k) = f(k + N)$$

就称 $f(k)$ 为离散周期信号或周期序列。满足上式的最小正整数  $N$  称为 $f(k)$ 的周期。



## 例1 判定下列信号是否为周期信号。

(1)  $\cos(10t) - \cos(30t)$

(2)  $\cos(2t) - \cos(\pi t)$

(3)  $e^{j2t}$

(4)  $[5\sin(8t)]^2$



# 能量信号与功率信号

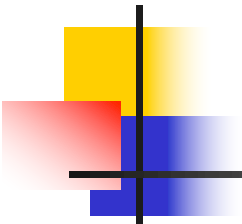
若将信号 $f(t)$ 设为电压或电流，则加载在单位电阻上产生的瞬时功率为 $|f(t)|^2$ ，在一定的时间区间内会消耗一定的**能量**。把该能量对时间区间取平均，即得信号在此区间内的**平均功率**。

$$E = \lim_{\tau \rightarrow \infty} \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} |f(t)|^2 dt$$

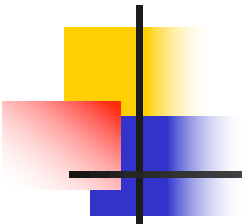
$$E = \lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{-N}^N |f(k)|^2$$

$$P = \lim_{\tau \rightarrow \infty} \frac{1}{\tau} \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} |f(t)|^2 dt$$

$$P = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{-N}^N |f(k)|^2$$

- 
- 如果在无限大时间区间内信号的能量为有限值(此时平均功率  $P = 0$ ), 就称该信号为能量有限信号, 简称**能量信号**。
  - 如果在无限大时间区间内, 信号的平均功率为有限值(此时信号能量  $E = \infty$ ), 则称此信号为功率有限信号, 简称**功率信号**。
  - 有的信号即不是能量信号, 也不是功率信号。





例如:  $f(t) = \cos(\omega t)$   $T = \frac{2\pi}{\omega}$

$$E_0 = \int_0^T |f(t)|^2 dt = \int_0^T |\cos(\omega t)|^2 dt = \frac{T}{2}$$

$$\therefore E \rightarrow \infty$$

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T |f(t)|^2 dt = \frac{1}{2}$$

是功率信号。

周期信号是功率信号。



例如:  $f(k) = 0.5^k$

$$E = \lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{-N}^N |f(k)|^2 = \lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{-N}^N 0.5^{2k} = \infty$$

$$P = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{-N}^N |f(k)|^2 = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{-N}^N 0.5^{2k} = \infty$$

**即不是能量信号，也不是功率信号。**



# 其它常见分类

---

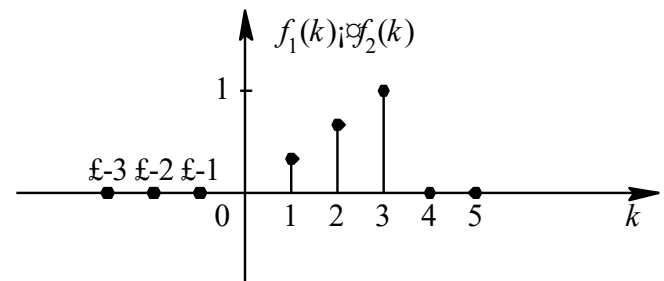
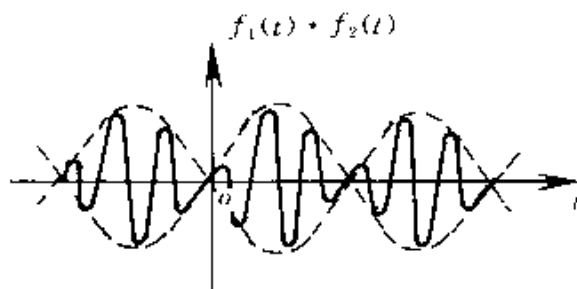
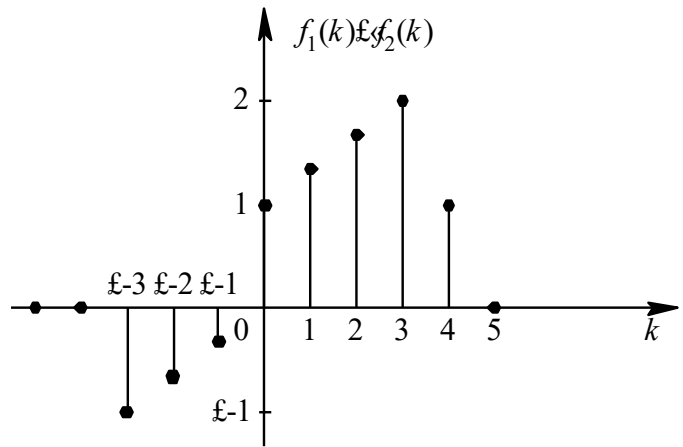
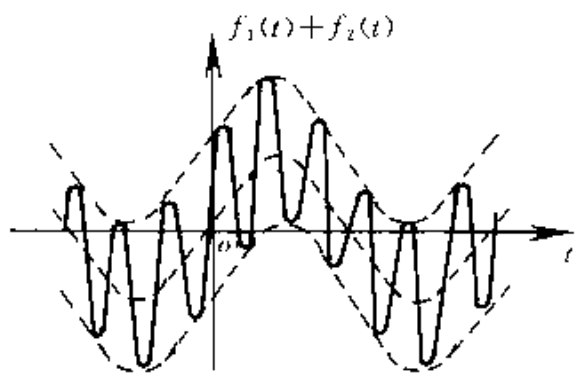
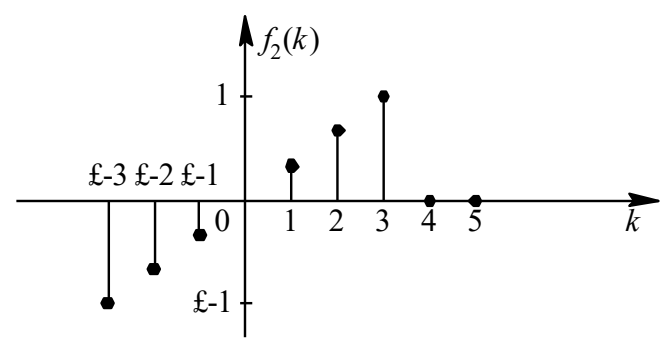
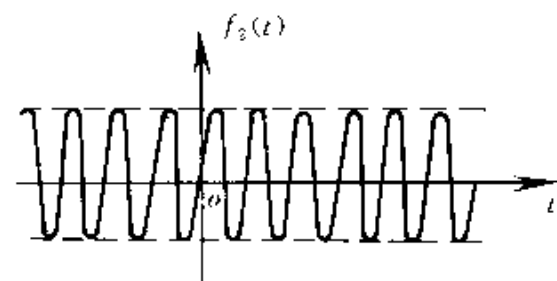
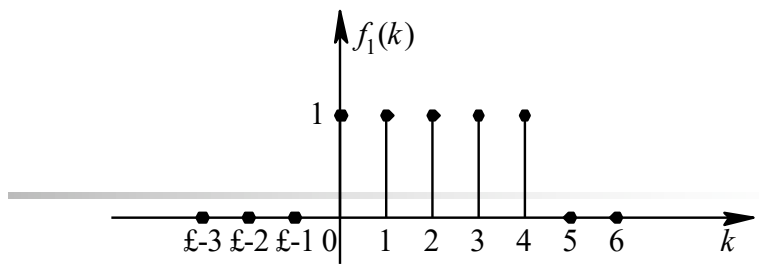
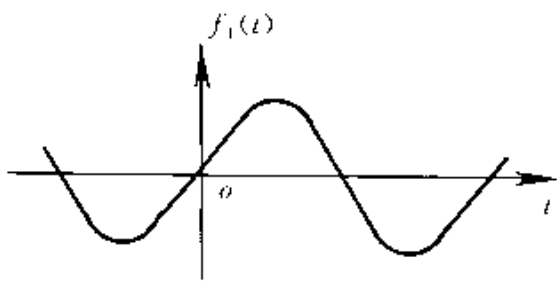
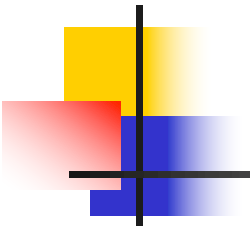
- 有始信号（因果信号）与反因果信号
- 一维信号与多维信号



# 信号的运算

---

- 相加与相乘
- 微分与积分
- 延时
- 反褶
- 尺度变换





例：将函数  $f(-2t)$  的图形向右平移  $\frac{5}{2}$ ，得到的函数是（ ）。

A.  $f(-2t + \frac{5}{2})$

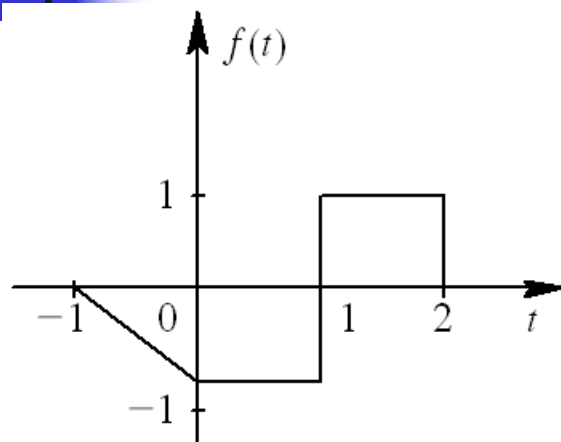
B.  $f(-2t - \frac{5}{2})$

C.  $f(-2t + 5)$

D.  $f(-2t - 5)$

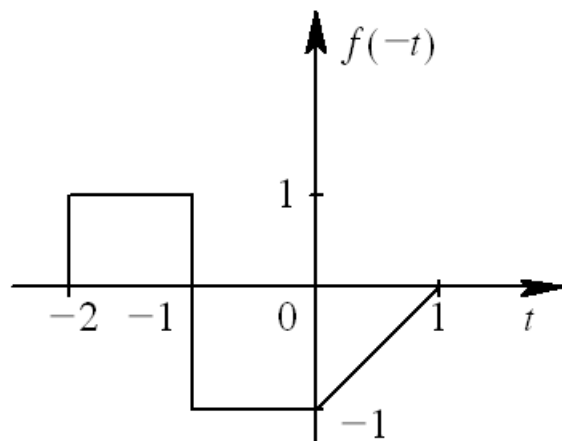
答案：C

例：信号 $f(t)$  的波形如图(a)所示，试画出 $f(1 - 2t)$ 的波形

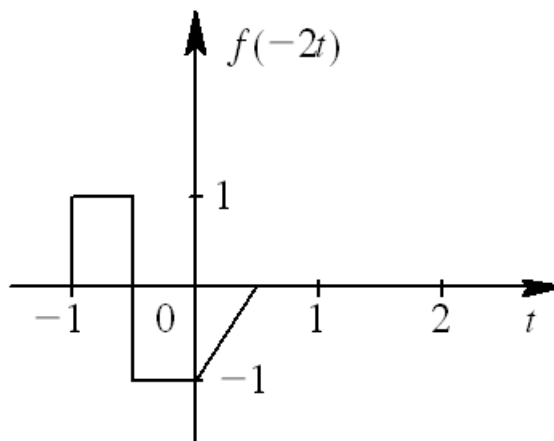


(a)

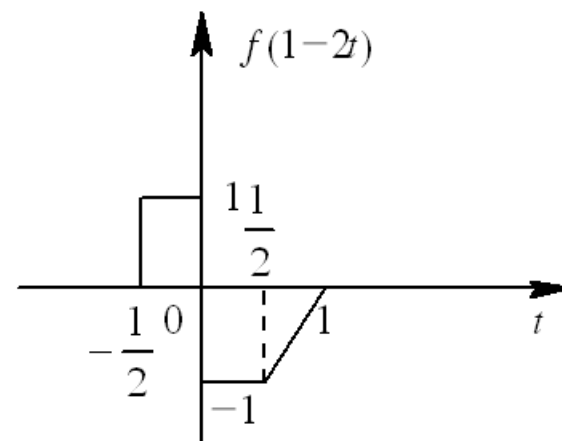
$$f(t) \rightarrow f(-t) \rightarrow f(-2t) \rightarrow f\left[-2\left(t - \frac{1}{2}\right)\right]$$



(b)

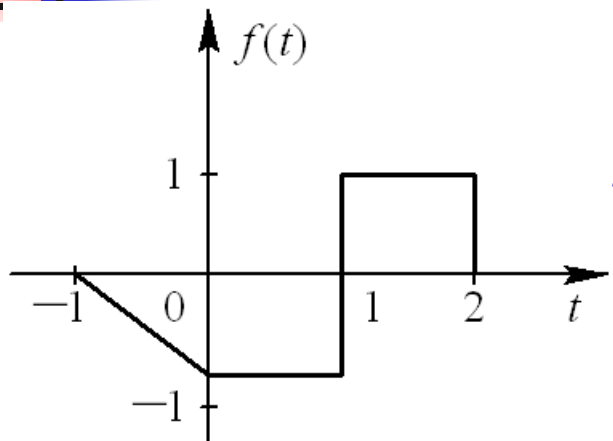


(c)



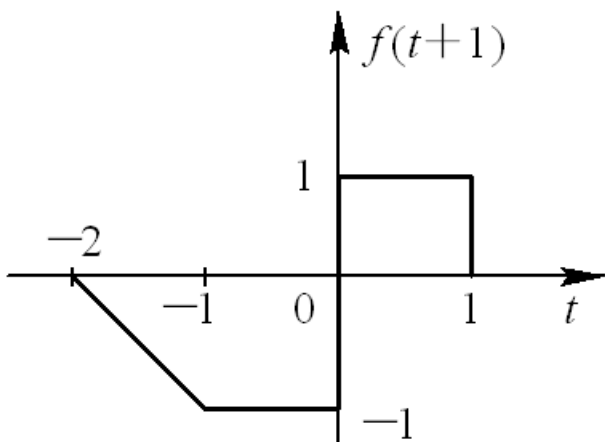
(d)



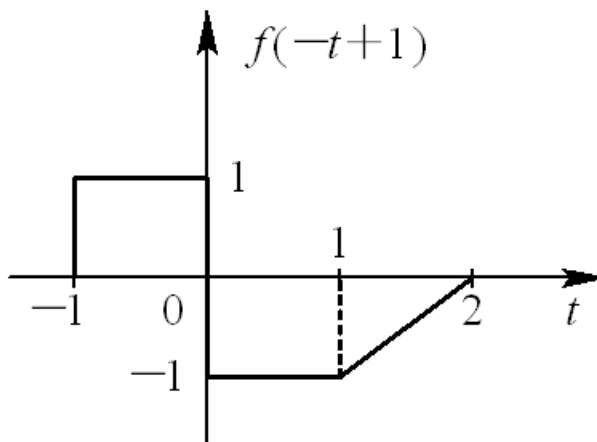


(a)

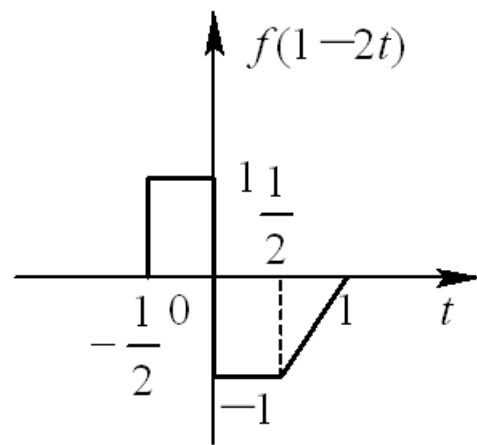
$$f(t) \rightarrow f(t+1) \rightarrow f(-t+1) \rightarrow f(1-2t)$$



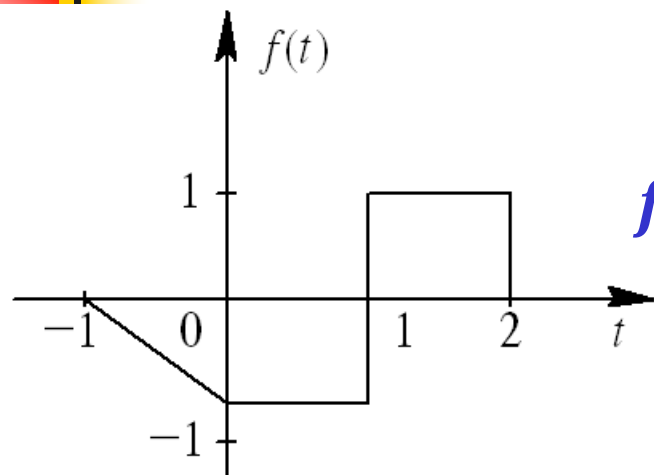
(b)



(c)

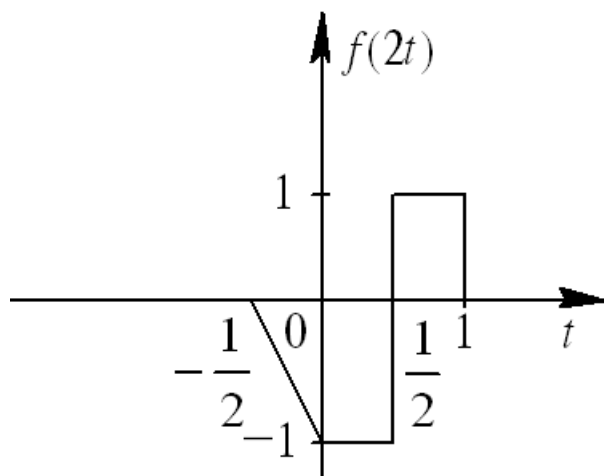


(d)

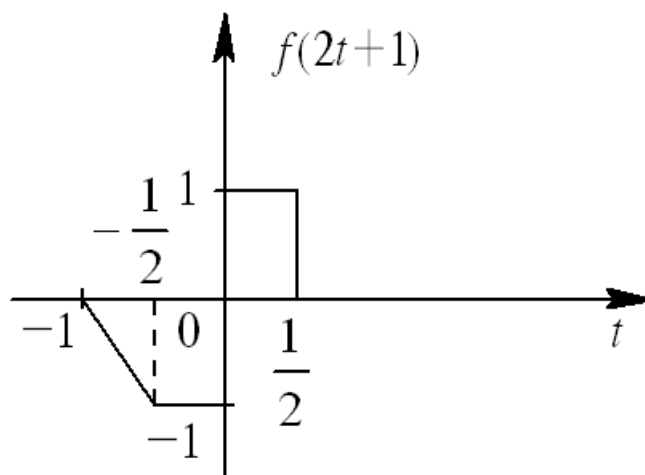


(a)

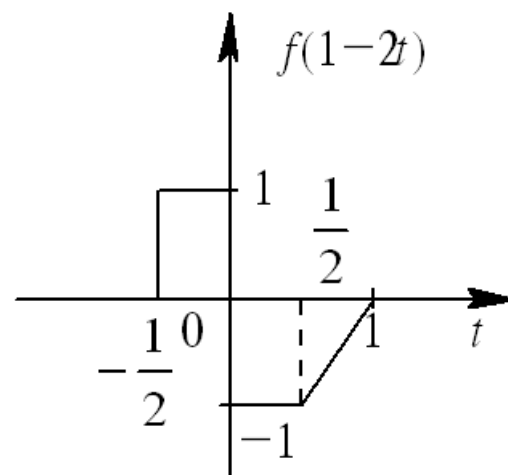
$$f(t) \rightarrow f(2t) \rightarrow f\left[2\left(t + \frac{1}{2}\right)\right] \rightarrow f(1 - 2t)$$



(b)



(c)



(d)



# 包罗万象的系统

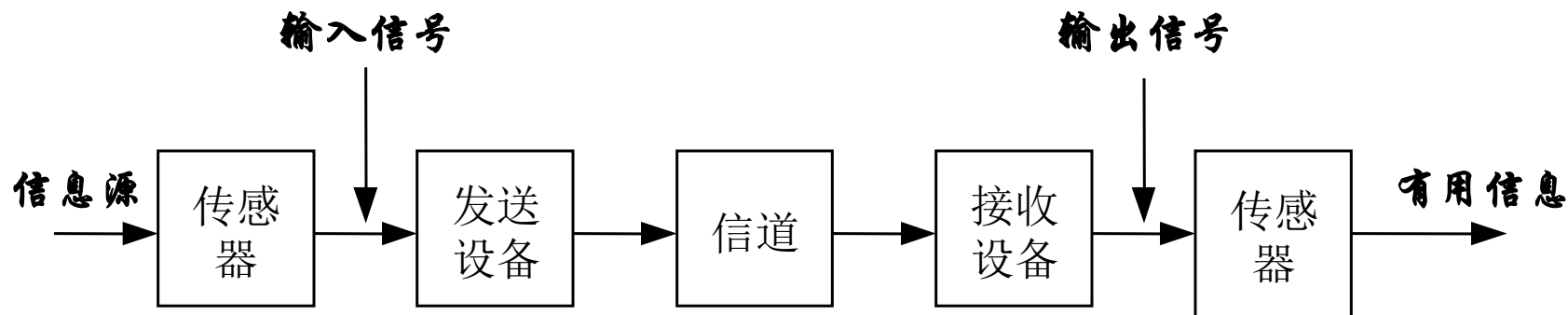
## ■ 什么是系统？

- “由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合而成的具有特定功能的有机整体。”——钱学森
- 整个世界就是由无限层次的各级子系统组成的纵横交错的立体网络模式的开放超大系统

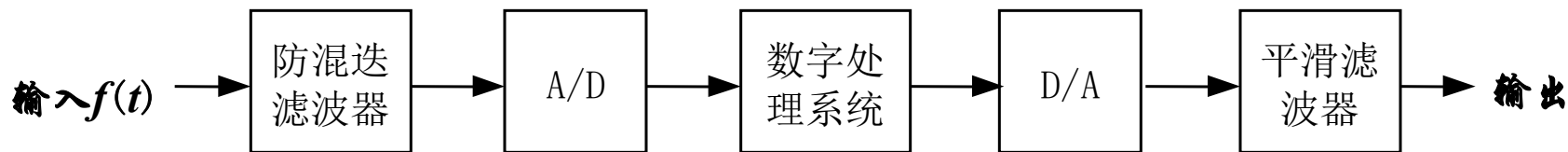
## ■ 信号和系统的关系

- 信号必定是由系统产生、发送、传输与接收，离开系统没有孤立存在的信号；
- 系统的重要功能就是对信号进行加工、变换与处理。没有信号, 系统的存在就没有意义。

# 两个典型的系统



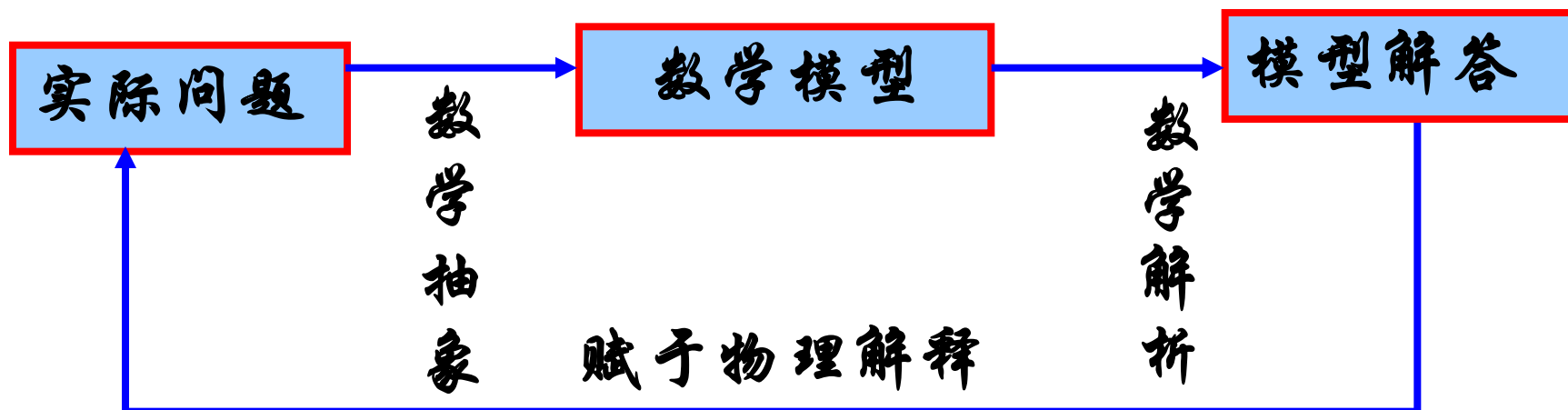
## 通信系统的组成



## 信号处理系统

# 系统研究方法：千里之行，始于足下

- 信号是复杂的，系统也是复杂的
- 系统分析的通常过程：



- 对确定信号的线性时不变系统分析是最基本的数学模型解析

# 主要内容： (1) 连续时间信号与系统

第1章

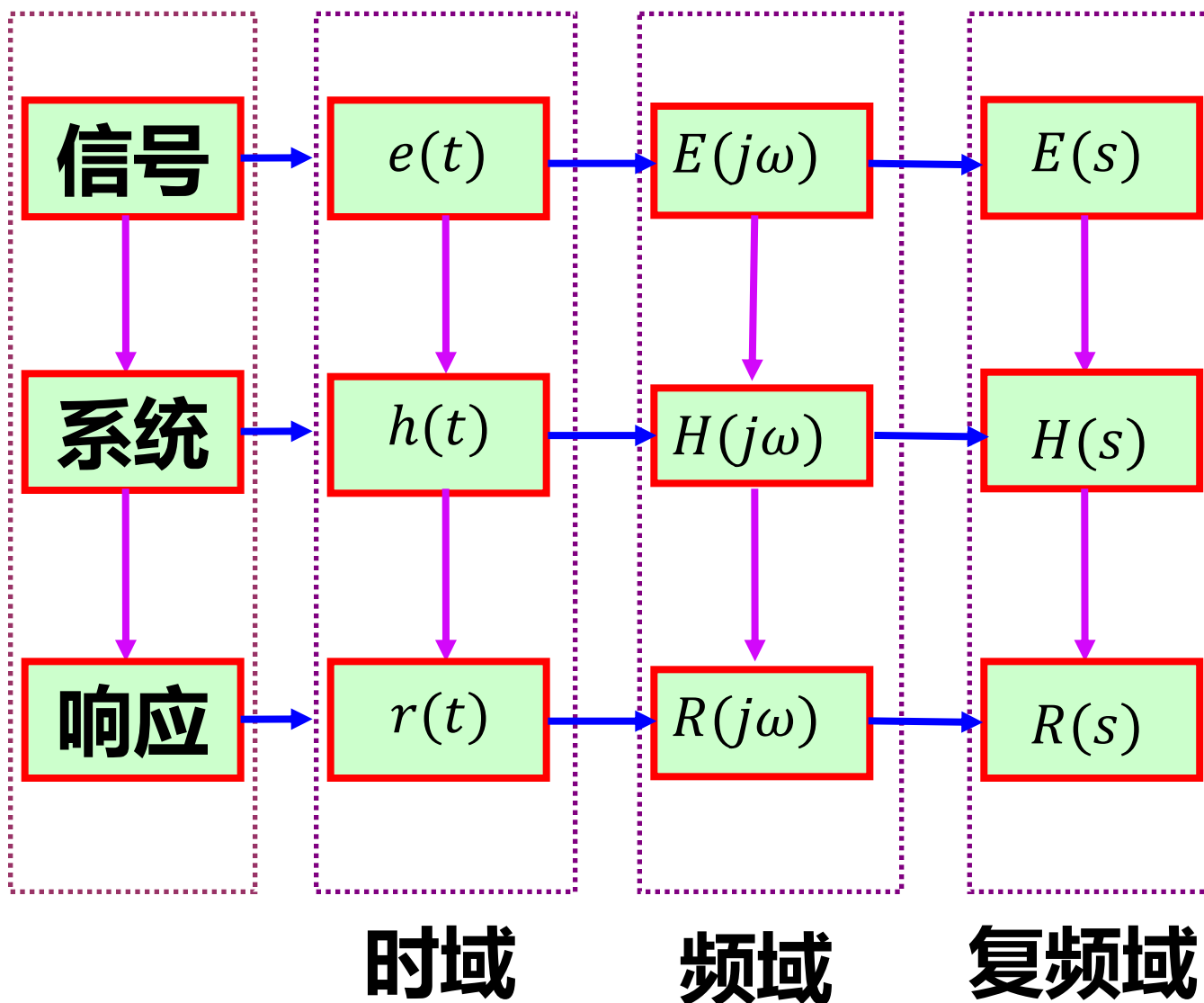
第2章

第3章

第4章

第5章

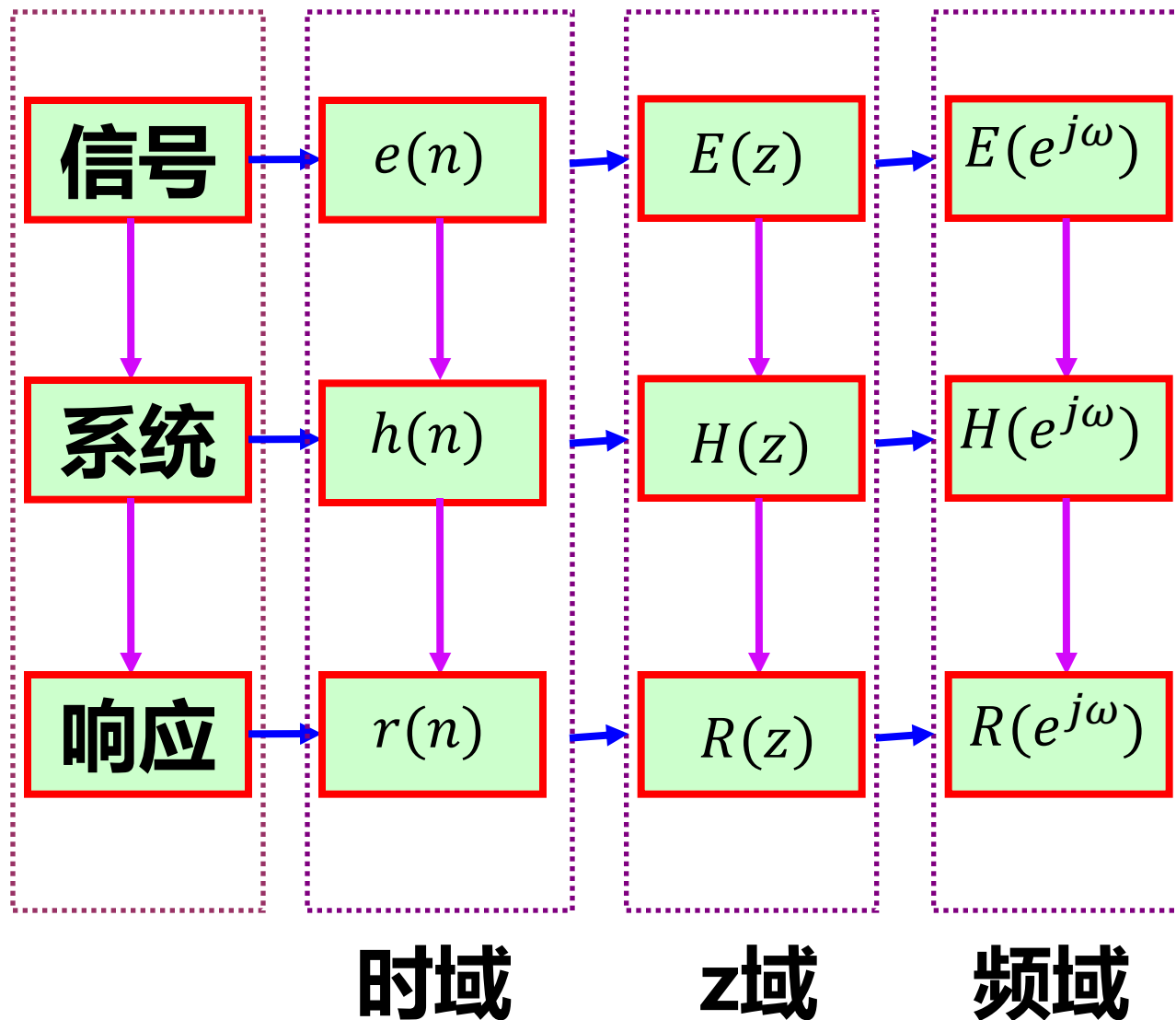
第6章



# 主要内容： (2) 离散时间信号与系统

第7章

第8章



## 小结2：三次握手



连续  
离散



时域  
变换域

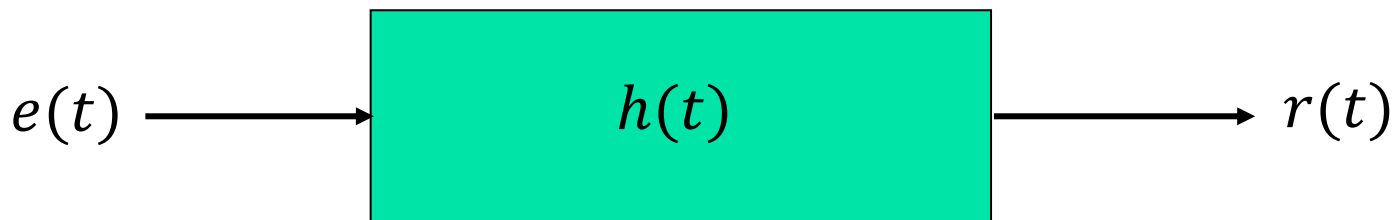


频域  
复频域



# 系统的方框图

- $e(t)$  是输入信号，称为**激励**；
- $r(t)$  是输出信号，称为**响应**。
- $h(t)$  是系统的**传输函数**。
- 单输入系统与多输入系统。



# 系统研究的内容



对系统进行研究的内容包括：

系统分析：

1. **已知**系统特性和输入信号，**求**系统的输出；
2. **已知**系统的输入和输出信号，**求**系统特性；

系统综合：

3. **已知**输入信号和欲得到的输出信号，构造系统。



# 线性系统与非线性系统

- 所谓线性系统是同时具有**齐次性**和**叠加性**的系统

- 齐次性:

- 若:  $e(t) \rightarrow r(t)$

- 则:  $ke(t) \rightarrow kr(t)$

- 叠加性:

- 若:  $e_1(t) \rightarrow r_1(t), e_2(t) \rightarrow r_2(t)$

- 则:  $k_1e_1(t) + k_2e_2(t) \rightarrow k_1r_1(t) + k_2r_2(t)$



**例：试判定下列方程所描述的系统（初始状态为零）是否为线性系统。**

$$(1)y(t) = 2e(t) + 10$$

$$(2)y(t) = 10(e(t))^2$$

$$(3)y(t) = \frac{d}{dt} e(t)$$

$$(4)y(t) = \int_0^t e(t)dt$$

**答案 (1) 否; (2) 否; (3) 是; (4) 是**



# 零输入响应和零状态响应:

**线性系统的分解性:** 把由于初始储能引起的响应和由于激励引起的响应分离开来的系统的性质。

a. 仅由初始时刻的储能引起的响应, 记为  $r_{zi}(t)$

b. 仅由激励信号  $e(t)$  所产生的响应, 记为  $r_{zs}(t)$



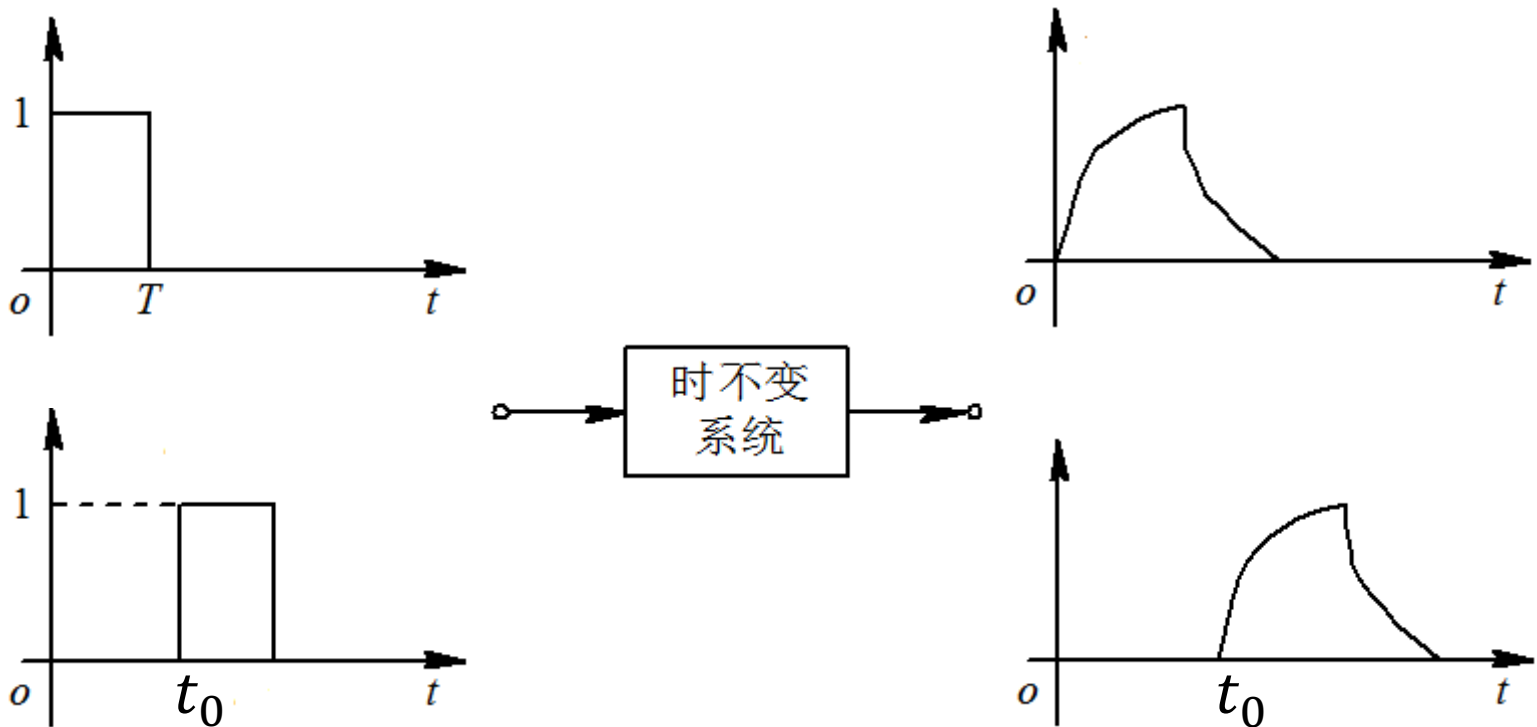
# 为什么以线性系统作为研究对象

- 线性系统理论成熟，体系完整，是解决其它系统的理论基础。
- 线性系统可以用线性微分方程或差分方程描述；而非线性系统可以用非线性微分方程或差分方程描述。
- 非线性系统情况复杂，没有成熟的体系和理论，难于分析。
- 以往大多用线性系统近似分析非线性系统。但是，最近随着非线性科学的发展，非线性系统表现出一些非常独特、与线性系统不同的特性（如混沌，分形，奇怪吸引子，孤子等），成为当今人们研究的热点。

# 时不变系统/时变系统

**定义：**若  $e(t) \rightarrow r(t)$ ，则  $e(t - t_0) \rightarrow r(t - t_0)$

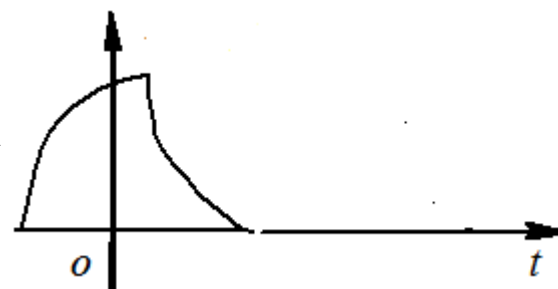
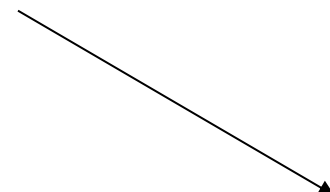
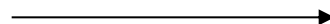
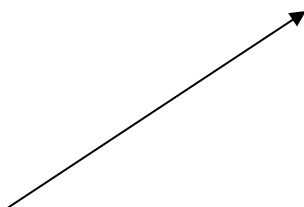
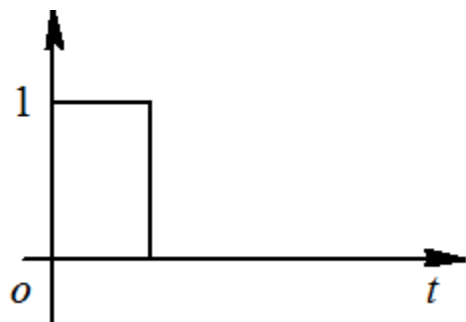
**特点：**响应的形状不随激励施加时间的不同而改变。



# 因果系统/非因果系统

**因果系统**是指响应不早于激励的系统。

否则，称为**非因果系统**。







常把  $t = 0$  接入系统的信号称为**因果信号**，也称为**有始信号**。

对于因果系统，在因果信号的激励下，响应也为因果信号。



**例： 以下系统是否为因果系统。**

$$y(t) = ax(t) + b$$

$$y(t) = cx(t) + x(t - 1)$$

$$y(t) = x(t + 1)$$

$$y(k) = \sum_{i=-\infty}^k x(i)$$



**例： 试判断以下系统是否为线性的、时不变的、因果的系统。**

$$(1)y(t) = e^{x(t)}$$

$$(2)y(t) = \frac{dx(t)}{dt}$$

$$(3)y(t) = \sin(6t)x(t)$$

$$(4)y(t) = \int_{-\infty}^{5t} x(\tau) d\tau$$

$$(5)y(t) = x\left(\frac{t}{3}\right)$$

**答案 (1) 非线性, 时不变, 因果; (2) 线性, 时不变, 因果;  
(3) 线性, 时变, 因果; (4) 线性, 时变, 非因果;  
(5) 线性, 时变, 非因果.**



# 小结

---

- 信号分类：周期信号，能量/功率信号等
- 信号的简单运算及其波形变化
- 数学里的“方程”，本课程叫“系统”  
线性时不变系统，因果系统
- 数学里的“解”，本课程叫“响应”：  
**零输入响应，零状态响应**