



信号分析与处理

浙江大学 电气工程学院

杨欢

yanghuan@zju.edu.cn
13588846066/644066

前言



➔ 课程的意义

➤ 信息时代的要求

信号分析与处理的原理及技术是信息科学的基础。

➤ 对电气工程学科的价值

电路设计、谐波分析、故障诊断、自动控制等

➤ 数字化生存的必要

更好的生存与生活

前言



➔ 信息时代的要求

仅以**通讯方式的演变**为例

- 古老通讯方式：烽火、旗语、信鸽、信号灯
- 近代通讯方式：有线电话、无线电报
- 现代通讯方式：计算机网络通讯、视频电视传播、卫星传输、移动通讯

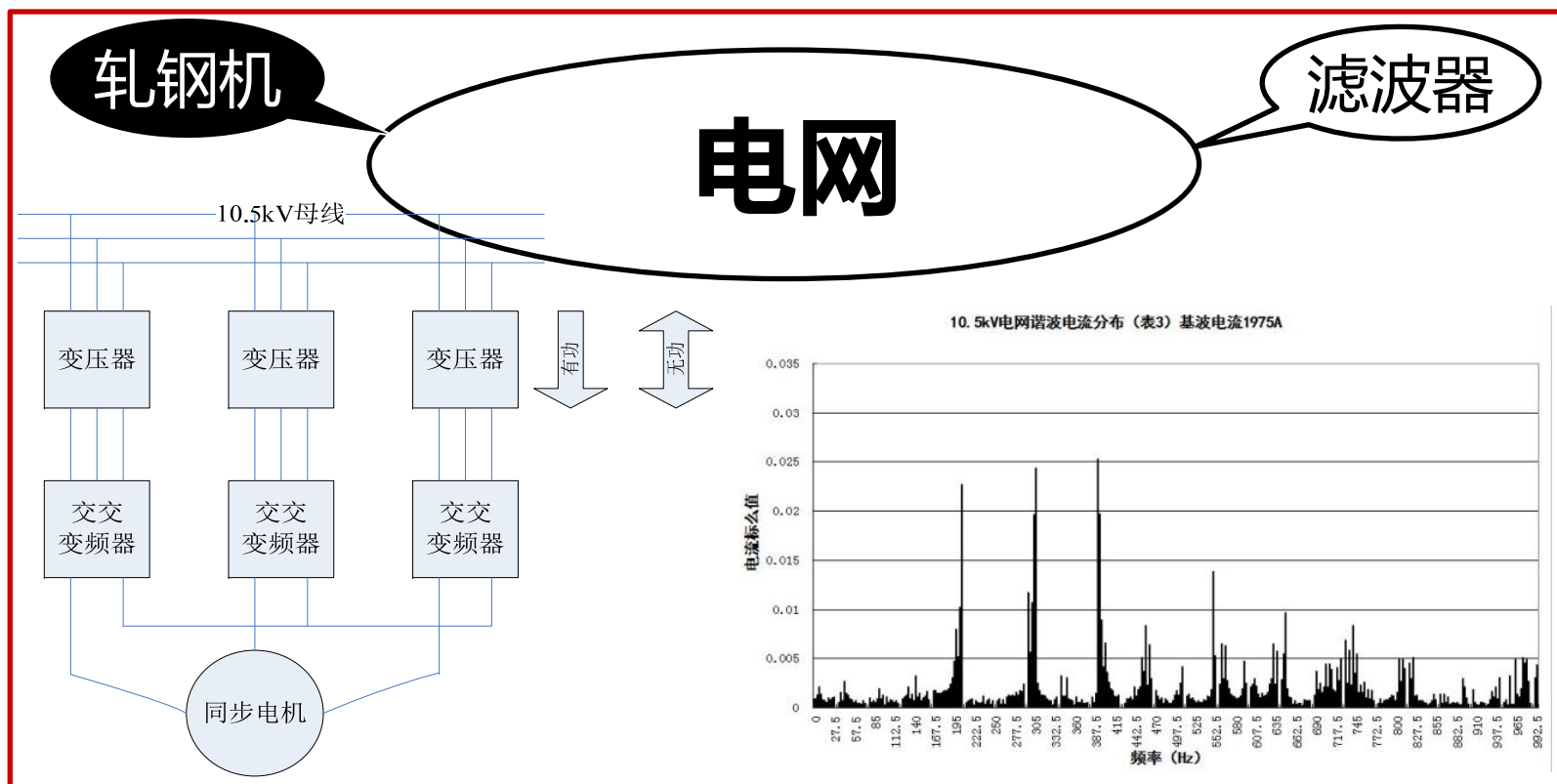
本质即信号及其传输的演变史

3G	数字	2M	WCDMA、SCDMA	WCDMA、CDMA2000、TD-SCDMA
4G	数字	100M	OFDM、IMT-Advanced	TD-LTE、FDD-LTE
5G	数字	7.5G	IMT-2020	-

前言



➔ 对电气工程的价值 -- 电网谐波分析



前言



➡ 对电气工程的价值 -- 电网谐波分析 轧钢机

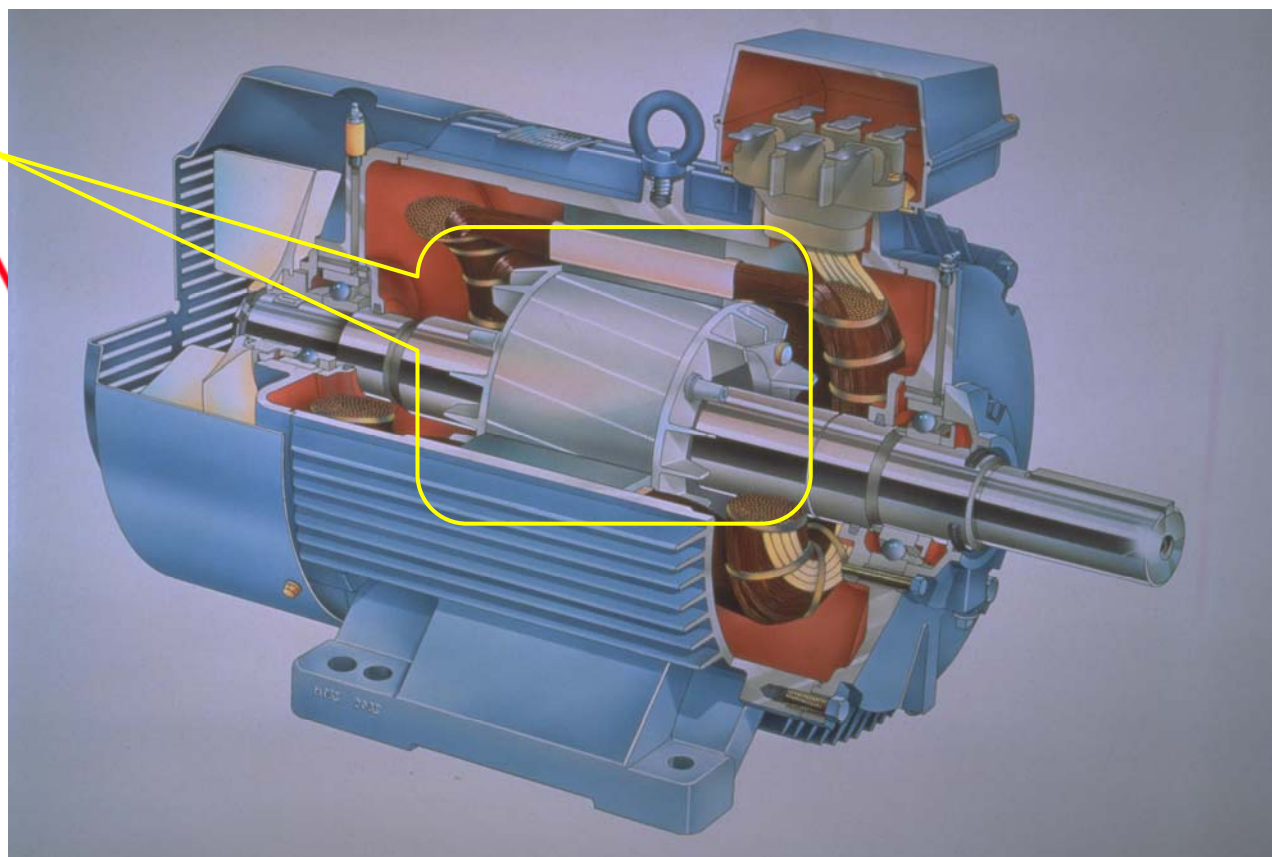


前言

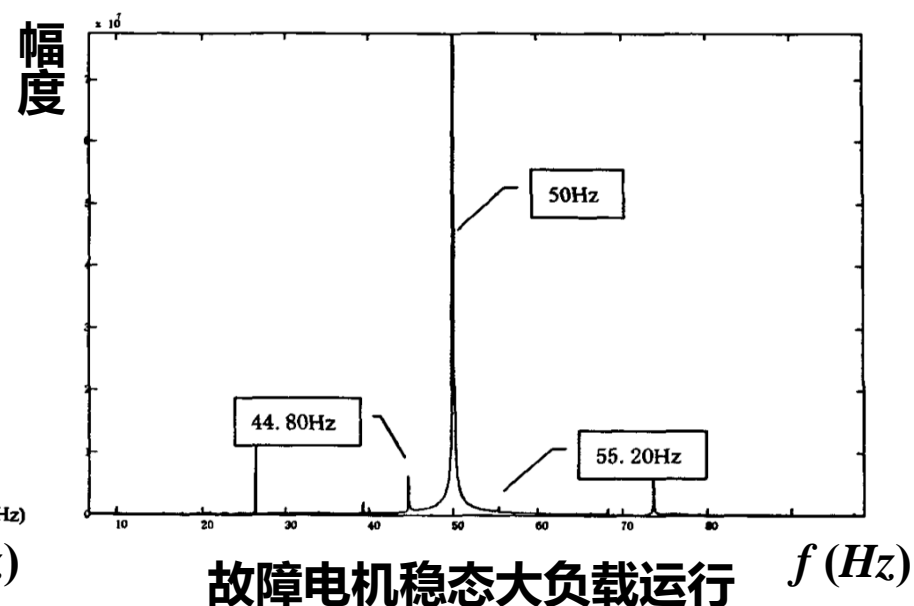
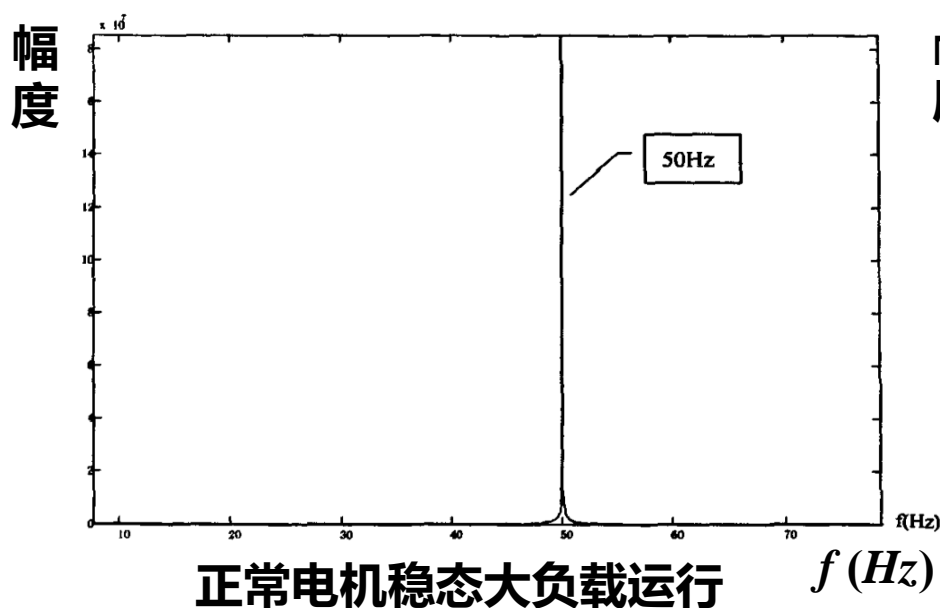


➡ 对电气工程的价值 -- 电机故障诊断

转子铁心



前言



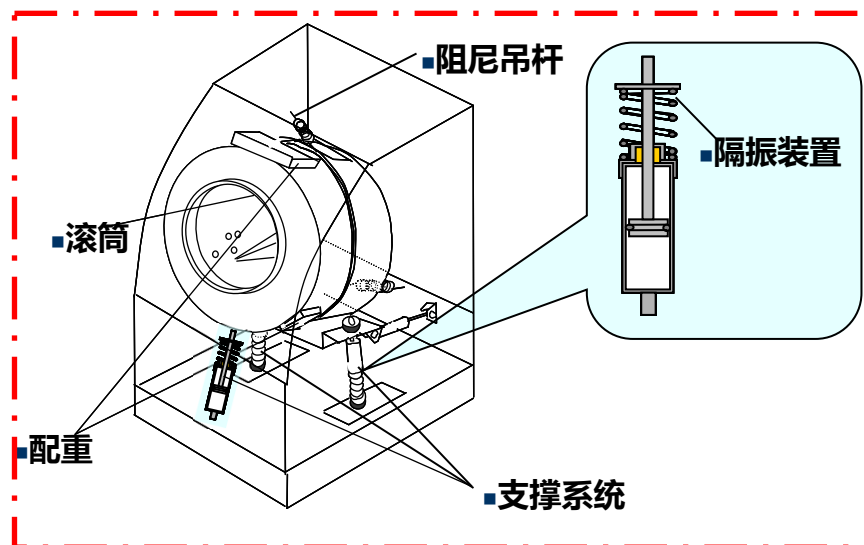
参考文献:

[1]周耀.基于双处理器的电机转子断条故障诊断装置的研究[D].
东南大学,2006.

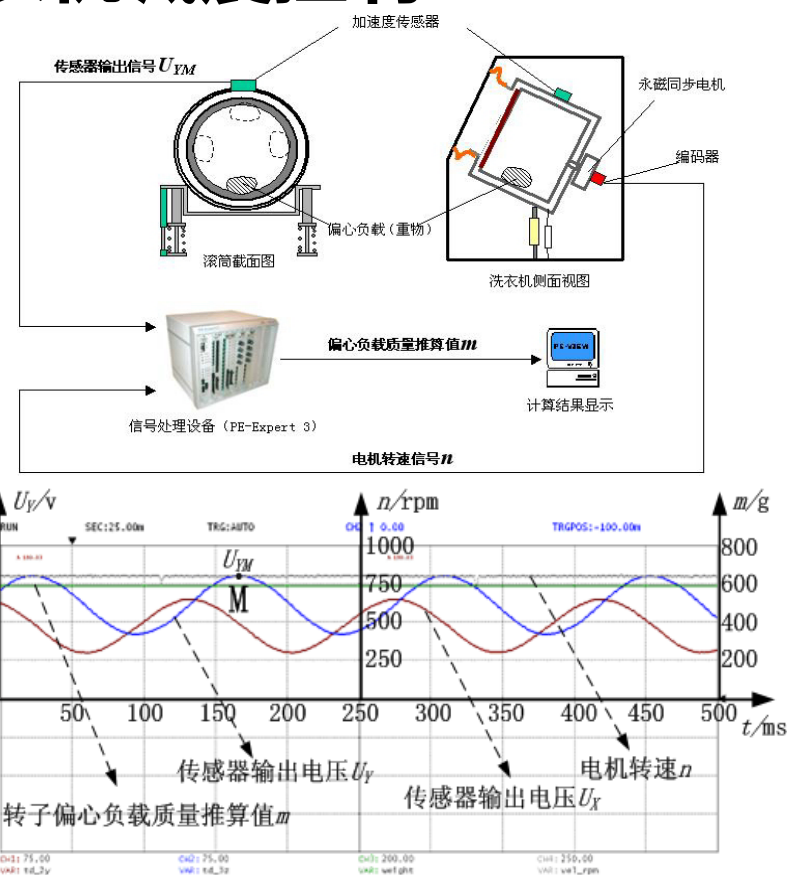
前言



对电气工程的价值 -- 洗衣机减震控制



偏心负载的位置与质量测定



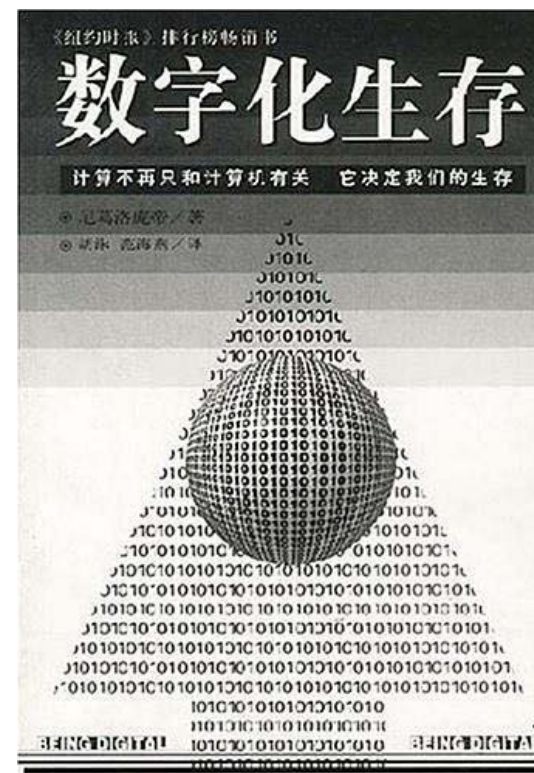
前言



➔ 数字化生存*的必要

- 股票的走势如何描述与分析?
- GPS定位的实现与升级?
- 影视动画产业为何迅速发展?
- 刷脸进站&刷脸支付?
- ...

*尼古拉·尼葛洛庞帝.数字化生存[M].海南出版社,1997.
美国麻省理工学院教授兼媒体实验室主任, 数字化生活方式杂志《连线》的资深专栏作家



前言



股票走势的描述与分析

这些是啥?

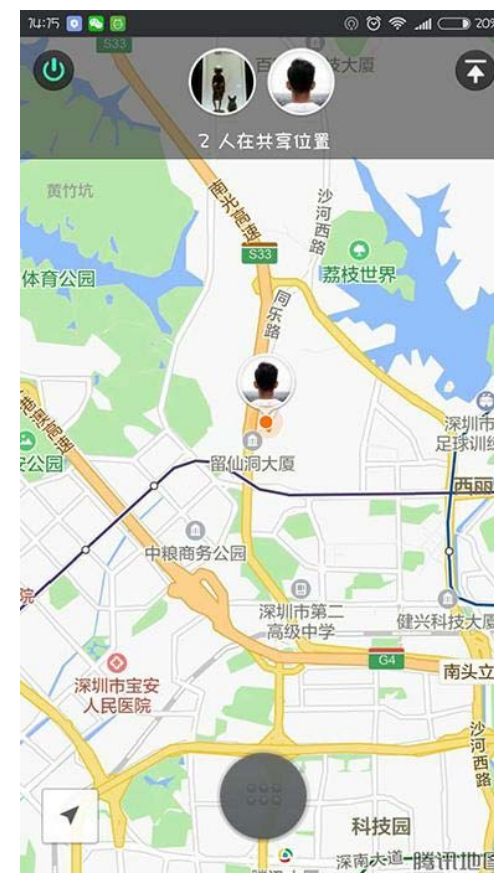
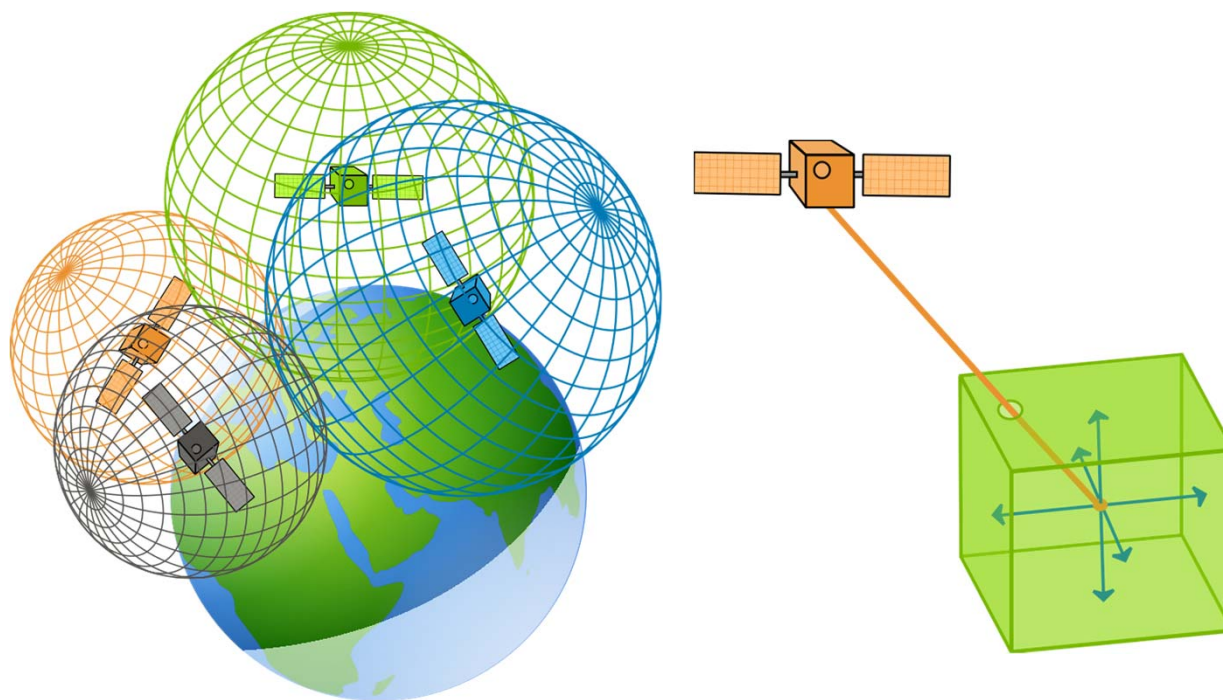
MA5
MA10
MA30



前言



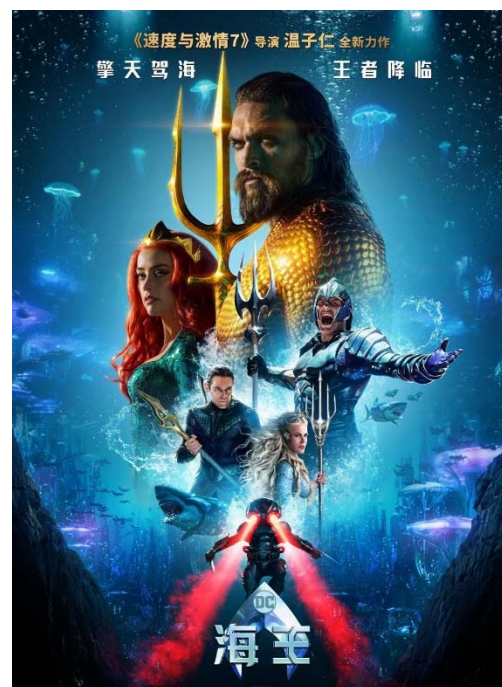
➡ GPS定位的实现与升级



前言



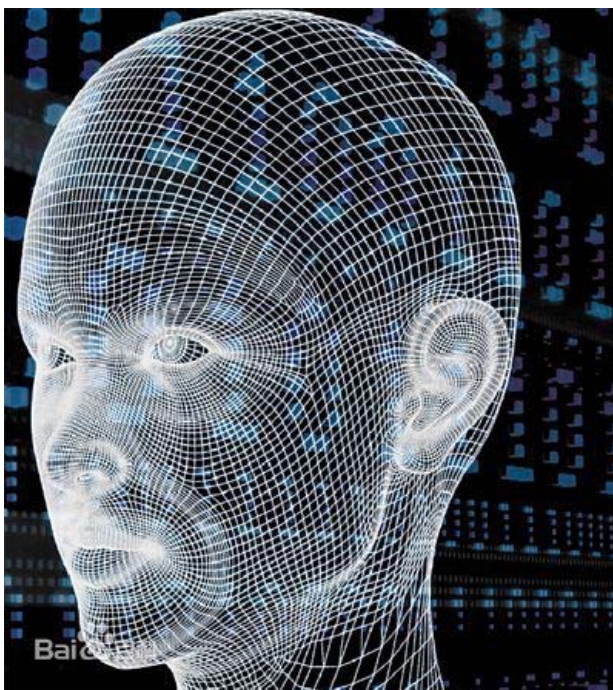
➔ 影视动画产业的发展



前言



➡ 刷脸进站&刷脸支付——人脸识别技术



ZJU-电气工程及其自动化



专业模块课程

基于大专业主干课程

电力系统
及其自动化

电机系统
及其控制

专业必修课程, 以之前所开设的专业学科基础课程和自然科学通识类课程为基础

信号分析与处理
10120440

控制理论 (乙)
10120072

电机学
10120030

基础课程

自然科学通识类课程
学科基础课程

微积分 (甲)
821T0010 &
821T0020

线性代数 (甲)
821T0050

MIT - Electrical Science & Engineering



advanced undergraduate subjects

build on header material, exact pre-requisites vary

Advanced Undergraduate Subject

Advanced Undergraduate Subject

students choose three **header subjects**, which typically rely on a foundation course

Nanoelectronics
6.012

Cellular Neurophysiology
6.021

Signals, Systems and Inference
6.011

foundation subjects

Circuits
6.002

Signal Processing
6.003

introductory subjects

Differential Equations
18.03 or 2.087

转行? IT? 通信? 控制?



MIT的EECS（电气工程与
计算机科学）系全体必修课程

计算机
程序结构
与编译
6.001

电路与
电子学
6.002

信号与
系统
6.003

计算结构
6.004

微分方程
18.03

- 6-1: Electrical Science & Engineering
- 6-2: Electrical Engineering & Computer Science
- 6-3: Computer Science & Engineering
- 6-7: Computer Science & Molecular Biology
- 6-14: Computer Science, Economics & Data Science

课程简介



➔ 要解决的问题

➤ 什么是信号?

Signal

➤ 如何分析信号?

Analysis

目的：揭示信号特性，客观上认识信号

思路：不同表达域分解为简单信号的线性组合

➤ 什么是系统?

System

➤ 如何处理信号?

Process

对信号有目的的加工，形成新信号的过程

滤波器即实现信号滤波功能的系统

教材与参考书



➡ 教材

- 《信号分析与处理》（第三版）赵光宙主编，机械工业出版社。

➡ 参考书

- 《信号与系统》 Alan V.Oppenheim等著，刘树堂译，西安交通大学出版社。（MIT公开课）
- 《信号与系统》（第三版），郑君里、应启珩、杨为理著，高等教育出版社。
- 《信号分析与处理---虚拟仪器实验教程》，孙晖，张治沁，刘俊延编著，清华大学出版社
- 《信号、系统与信号处理》，吴湘淇编著，电子工业出版社。

重要说明



- ➡ **周一上午3-5节(周四上午3-5节)为理论课，单周三节课，双周两节课。共16次课40学时。**
- ➡ **实验课地点：东3-409**
- ➡ **实验课内容：**
 - **实物实验一 无源滤波器和有源滤波器**
 - **实物实验二 信号的采样和恢复**
 - **实物实验三 幅度调制与解调**
 - **数字实验一 离散时间信号和系统分析**
 - **数字实验二 离散傅里叶变换**

学习方法



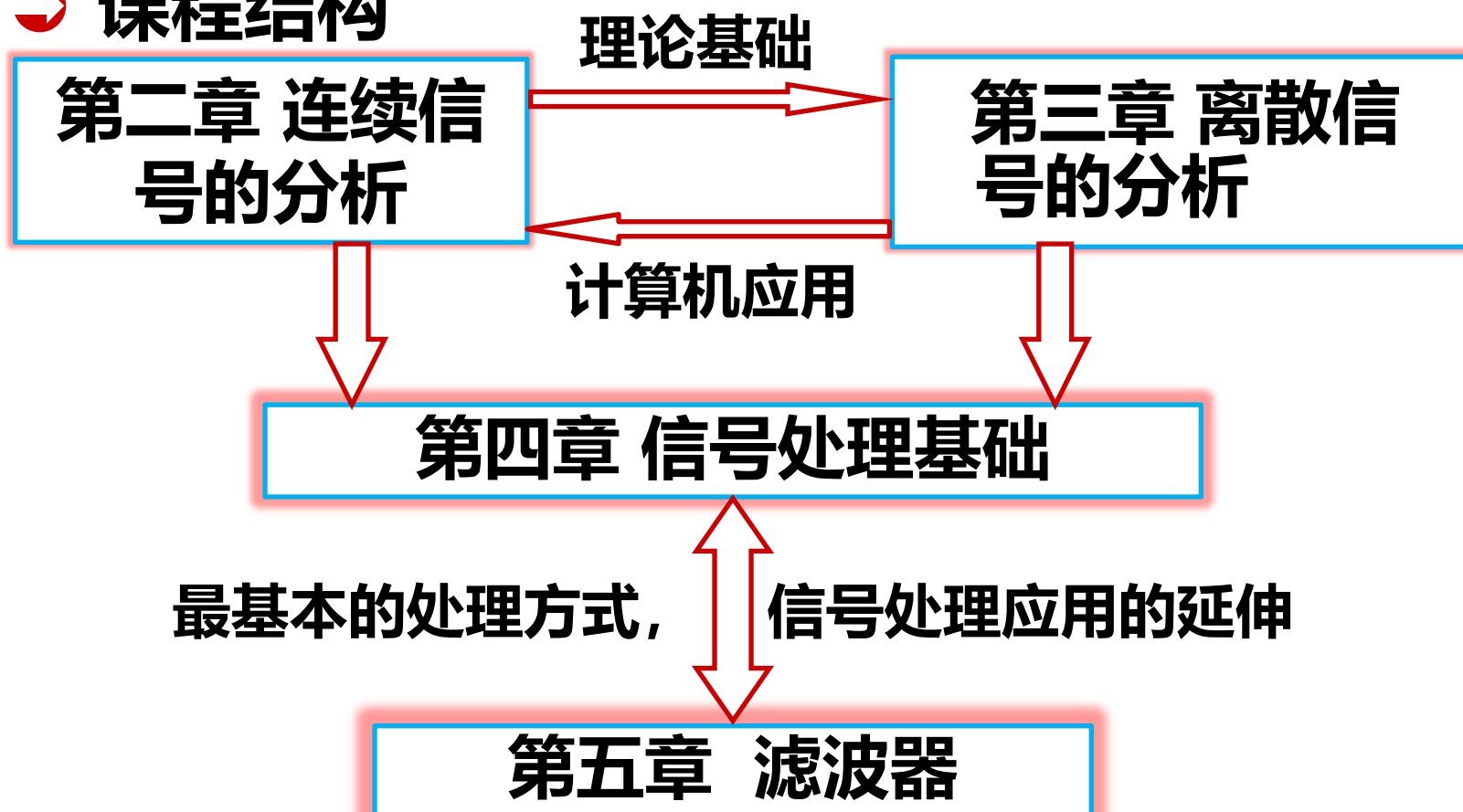
- ➔ 掌握方法，注重思路；
- ➔ 重视实验，通过实验理解理论；
- ➔ 内容处理有重点，以上课内容为准；
- ➔ 注意预习和复习相结合；
- ➔ 闭卷考试占60%，实验、听课、作业占40%



课程简介



➔ 课程结构



课程简介



➡ 第一章 绪论

➤ 信号

- ✓ 信号的定义
- ✓ 信号的分类
- ✓ 信号分析与处理的基本内容

➤ 系统

- ✓ 系统的定义、信号与系统的关系
- ✓ 系统研究的内容和方法

课程简介



➔ 第二章 连续信号的分析

- 连续信号的时域描述和分析
 - ✓ 连续信号的时域描述
 - ✓ 连续信号的时域计算
 - ✓ 信号的分解
- 连续信号的频域分析
 - ✓ 周期信号的傅里叶级数
 - ✓ 非周期信号的傅里叶级数
 - ✓ 傅里叶变换的性质
 - ✓ 周期信号的傅里叶变换

课程简介



➔ 第三章 离散信号的分析

➤ 离散信号的时域描述与分析

- ✓ 采样信号及其频谱
- ✓ 时域采样定理
- ✓ 常见的离散信号
- ✓ 离散信号的时域运算

➤ 离散信号的Z变换分析

- ✓ 离散信号的Z变换定义
- ✓ Z变换的收敛域
- ✓ 常用序列的（单边）Z变换及其性质
- ✓ Z反变换

课程简介



➡ 第三章 离散信号的分析

➤ 离散信号的频域分析

- ✓ 周期序列的离散傅里叶级数 (DFS)
- ✓ 序列的离散时间傅里叶级数 (DTFT)
- ✓ 有限长序列的离散傅里叶变换 (DFT)
- ✓ 序列的快速傅里叶变换 (FFT)
- ✓ DFT(FFT)的应用—频谱分析

课程简介



➔ 第四章 信号处理基础

- 系统的分类
- 线性时不变系统的数学模型
- 线性时不变连续系统分析
- 线性时不变离散系统分析
 - ✓ 线性时不变离散系统的时域法分析
 - ✓ 线性时不变离散系统的Z域法分析
 - ✓ 线性时不变离散系统的频域法分析

课程简介



➔ 第五章 滤波器

➤ 滤波器概述

- ✓ 滤波及滤波器的基本原理
- ✓ 滤波器的分类
- ✓ 滤波器的技术要求

➤ 模拟滤波器

- ✓ 模拟低通滤波器的设计
- ✓ 巴特沃斯低通逼近

➤ 数字滤波器

- ✓ 概述
- ✓ IIR数字滤波器与FIR数字滤波器的设计

第一章 绪论



➡ 信号的定义	P1
➡ 信号的分类	P1-4
➡ 信号分析与处理的基本内容	P4-5
➡ 系统的定义	P5-6
➡ 信号与系统的关系	P5
➡ 系统研究的内容和方法	

信号的定义

声、光、电等
运载消息的物
理量



➔ 什么是信号？

人类社会和自然界中需要传送、
交换、存储和提取的抽象内容

- **信号**是消息的运载手段，**消息**则是信号的具体内容，**信息**是消息的抽象内容。

表示信息的语言、文
字、图像、数据等

➤ 课程关注

- 应用最为广泛的电信号，通常为随时间变化的电压和电流，某些情况下为电荷或磁通。
- (电) 信号是时间 t 的函数，它具有一定的波形，因而表现出一定波形的时间特性。
- (电) 信号是频率 f 的函数，在一定条件下，信号通常可以分解为不同频率的正弦分量，不同的信号包含大小不同的频率分量、主要频率占有不同的范围等。这就是信号的频率特性。

信号的分类



- ➡ 一维和多维信号
- ➡ 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

一维和 multidimensional signals



➡ 一维信号

➤ 例：语音信号，声压随时间变化的函数

➡ 多维信号

➤ 例：黑白图像信号，像素（灰度）随二维平面坐标中两个变量变化的函数

一维和多维信号



单一自变量：时间

一维和 multidimensional signals

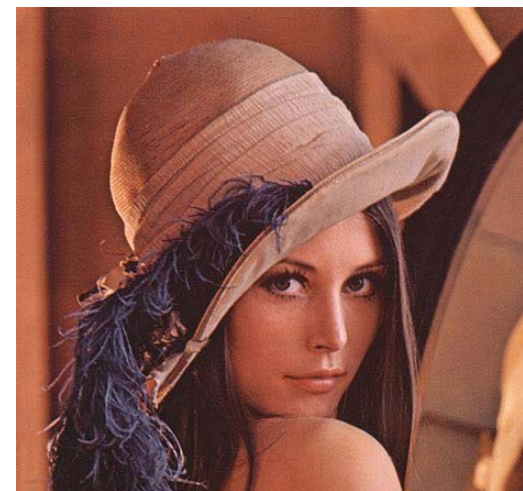


二值图像 (binary image)
俗称黑白图像 (B&W、单色)

灰度图像 (gray image)
如采样像素8位则有256级灰度

彩色图像 (如256色)

每个像素由红 (R)、绿 (G)、
蓝 (B) 三个分量来表示，分
量介于 (0, 255)。



一维和多维信号



a) 原图



b) $\sigma=0.6$



c) $\sigma=10.0$

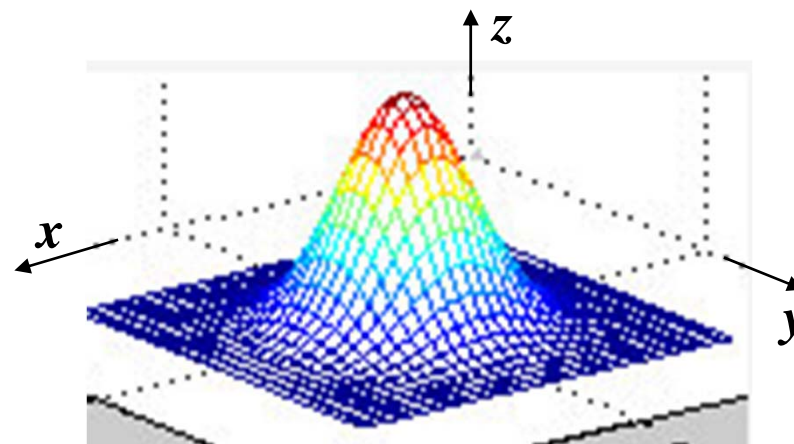


d) $\sigma=10.0$ (边缘化处理)

二维高斯曲面公式

$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x^2 + y^2)}{2\sigma^2}}$$

二维高斯曲面图



确定性信号与随机信号



- ➔ **确定性信号**：按确定性规律变化的信号。可以用数学解析式子或确定性曲线准确地描述，在相同的条件下能够重现，因此只要掌握了变化规律就能准确地预测它的未来。如：正弦信号等。
- ➔ **随机信号**：不遵循任何确定性规律变化的信号。随机信号的未来值不能用精确的时间函数描述，只可能知道它的统计特性，无法准确地预测，在相同的条件下，它也不能准确地重现。如：马路上的噪声、电网电压的波动量、生物电、地震波等。

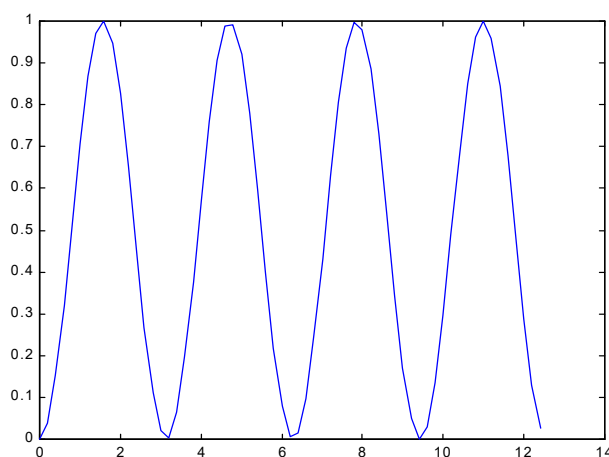
连续信号与离散信号



信号在时间轴上取值是否连续

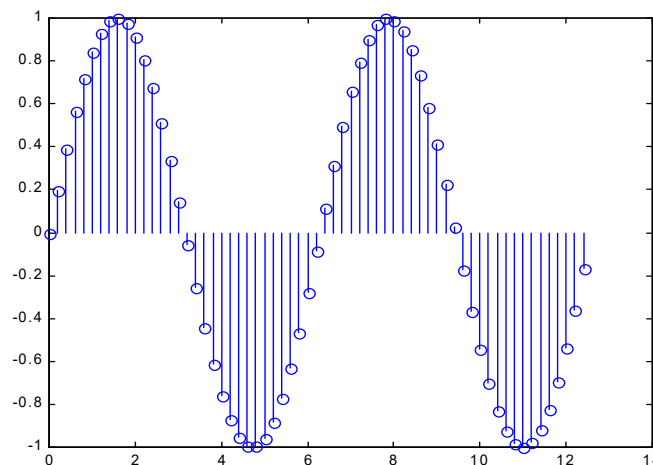
自变量连续可变，
信号在自变量的连续值上都有定义

连续信号 $x(t)$



自变量取一组离散值，
信号仅定义在离散时刻点上

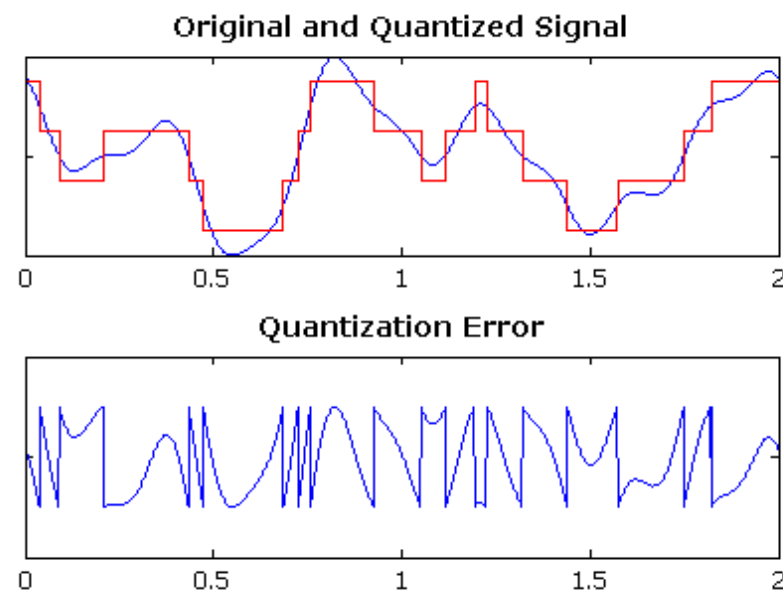
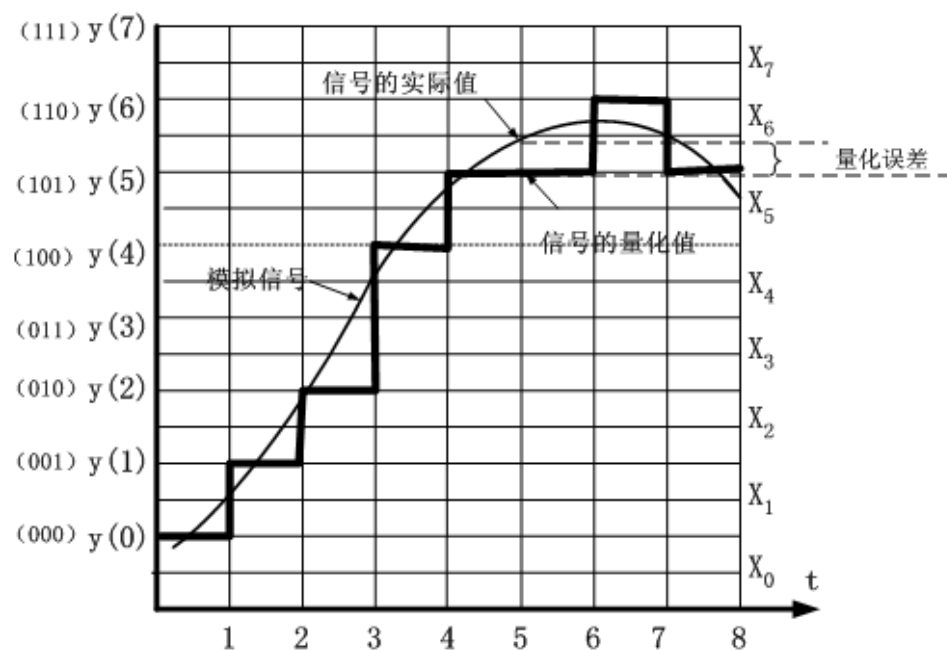
离散信号 $x[n]$



连续信号与离散信号



离散信号与数字信号的区别



周期信号与非周期信号



➔ 周期信号:

- 对于连续信号, 若存在 $T>0$, 使

$$x(t)=x(t+nT) \quad n \text{ 为整数}$$

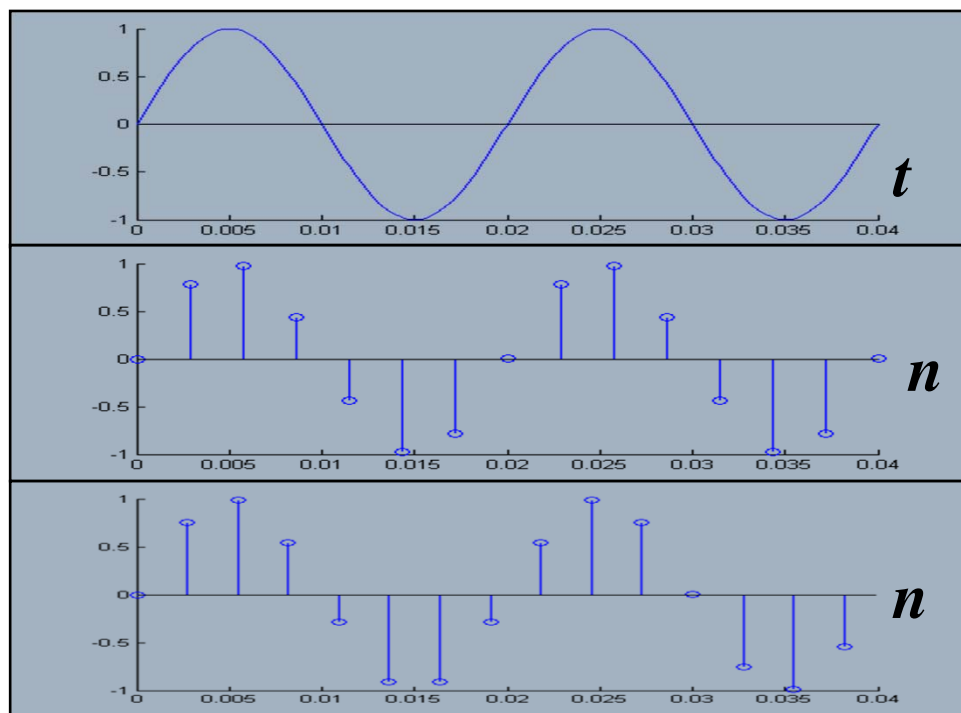
- 对于离散信号, 若存在大于零的整数 N , 使

$$x(n)=x(n+kN) \quad k \text{ 为整数}$$

则称 $x(t)$ 、 $x(n)$ 为周期信号, T 和 N 分别为 $x(t)$ 和 $x(n)$ 的周期。

- **非周期信号:** 不具有周期的信号。
 - 可看作周期无穷大的周期信号

周期信号与非周期信号



周期连续信号 $x(t)$

周期离散信号 $x(n)$

非周期离散信号 $x(n)$

能量信号和功率信号



➔ 信号的能量

$$W = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-T}^T |x(t)|^2 dt$$

➔ 信号的平均功率

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

能量信号和功率信号



➡ 能量(有限)信号:

W 为有限值, $P = 0$, 如单个矩形脉冲信号。

客观存在的信号**大多是持续时间有限的能量信号**

➡ 功率(有限)信号: $W \rightarrow \infty$

P 为不等于零的有限值,

如幅度有限的周期信号

能量信号和功率信号



➡ 例：试证明幅度有限的周期信号必定是功率信号。

证明 周期信号在一个周期内的能量是

$$E_1 = \int_{t_1}^{t_1+T_0} |x(t)|^2 dt$$

其中 t_1 是任意时间，由于周期相同，在 n 个周期中信号的能量为

$$E_n = n \cdot E_1 = n \cdot \int_{t_1}^{t_1+T_0} |x(t)|^2 dt$$

对所有时间（即全部周期）的平均信号功率就是信号功率

$$P = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{E_n}{nT_0} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{T_0} \cdot \int_{t_1}^{t_1+T_0} |x(t)|^2 dt$$

因此周期信号 $f(t)$ 的功率 P 为有限值，所以， $f(t)$ 是功率信号。

能量信号和功率信号



- ➔ 若一个信号的能量是无限大且为零功率或者能量和功率都为无限大，那么这个信号既不是能量信号，也不是功率信号。

如信号 $x(t) = \begin{cases} t^{-1/4} & t \geq 1 \\ 0 & \text{其它} \end{cases}$ ，它的能量为 ∞ ，功率为0，

因此既不是能量信号，也不是功率信号。

E	P	信号类型
有限	0	能量信号
无限	有限	功率信号
无限	0/无限	未定义

系统的定义



➔ 什么是系统？

系统是由若干相互联系的单元组成的、具有某种功能有机整体。它既可以是物理系统，如通信系统、计算机系统、自控系统等等，也可以是社会系统，如教育系统、财政金融系统等等。在信息科学领域，**系统可定义为对信号进行处理的物理设备和软件运算方法。**如为从信号中滤除干扰和噪声，可将信号通过一个称为滤波器的系统，该系统可以是硬件处理设备，也可以是计算机的软件实现的一种算法。

➔ 本课程所讨论的系统局限于按本学科定义的狭义系统。

信号与系统的关系



➔ 系统和信号相互依存

要产生信号，并对信号进行传输、处理、存储和转化，需要一定的物理装置（系统）；系统在外加信号作用下将产生某种反应，这种**外加信号称为系统的输入或激励，相应的反应称为系统的输出或响应。系统和系统之间通过信号来联系，信号则在系统之间以及系统内部流动。**因此，研究信号的分析与处理，必须要对系统进行研究。

- **信号是系统实施处理的对象**
- **系统是信号处理的工具**

信号分析与处理的基本内容



➔ **信号分析**：揭示信号的特性，包括时域特性和频域特性，以及信号发生变化时其特性的相应变化。

连续信号的傅里叶变换、拉普拉斯变换， Z 变换，离散时间傅里叶变换（FFT）

➔ **信号处理**：是指通过对信号的加工和变换，把一个信号变换成另一个信号的过程。也可理解成为了特定的目的，通过一定的手段改造信号。

信号处理系统



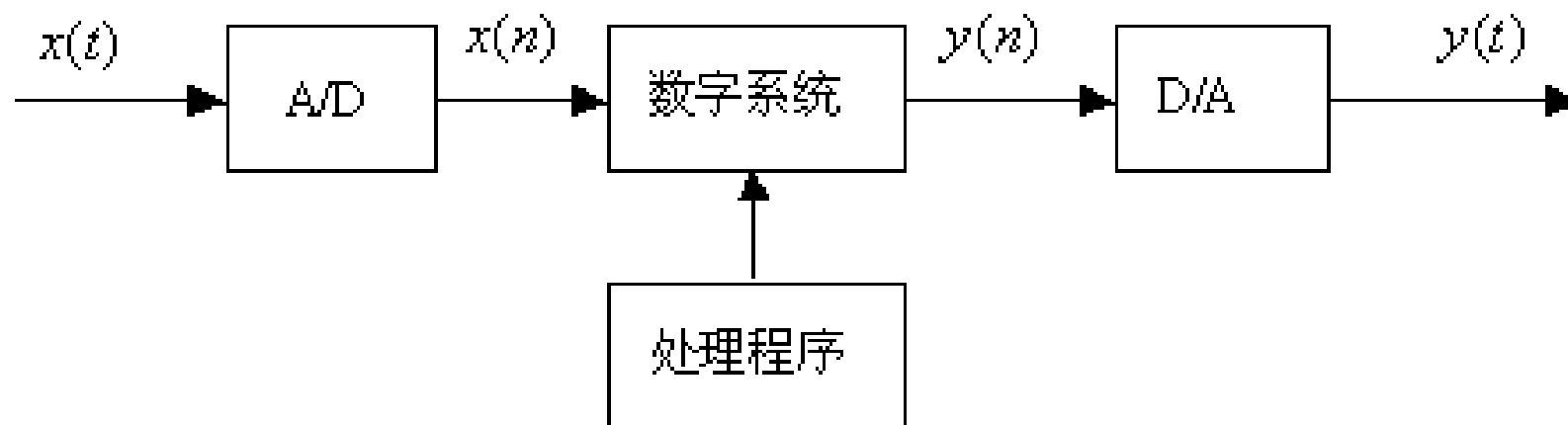
- ➔ **模拟信号处理系统：输入模拟信号，通过模拟元件及模拟电路构成的模拟系统的加工、处理，输出的仍然是模拟信号**



信号处理系统



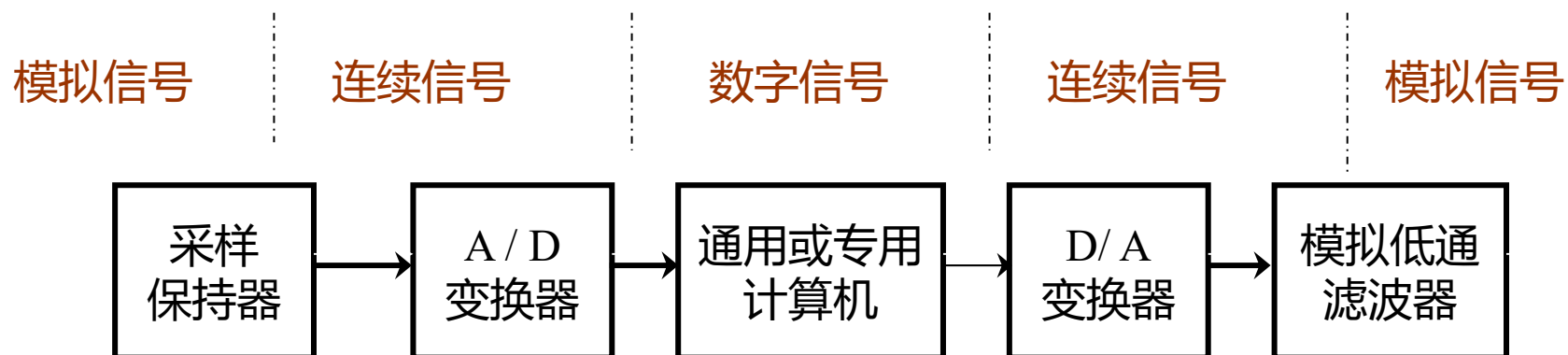
➔ **数字信号处理系统：**用数字计算机的运算功能代替模拟电路装置，达到信号加工变换的目的。



信号处理系统



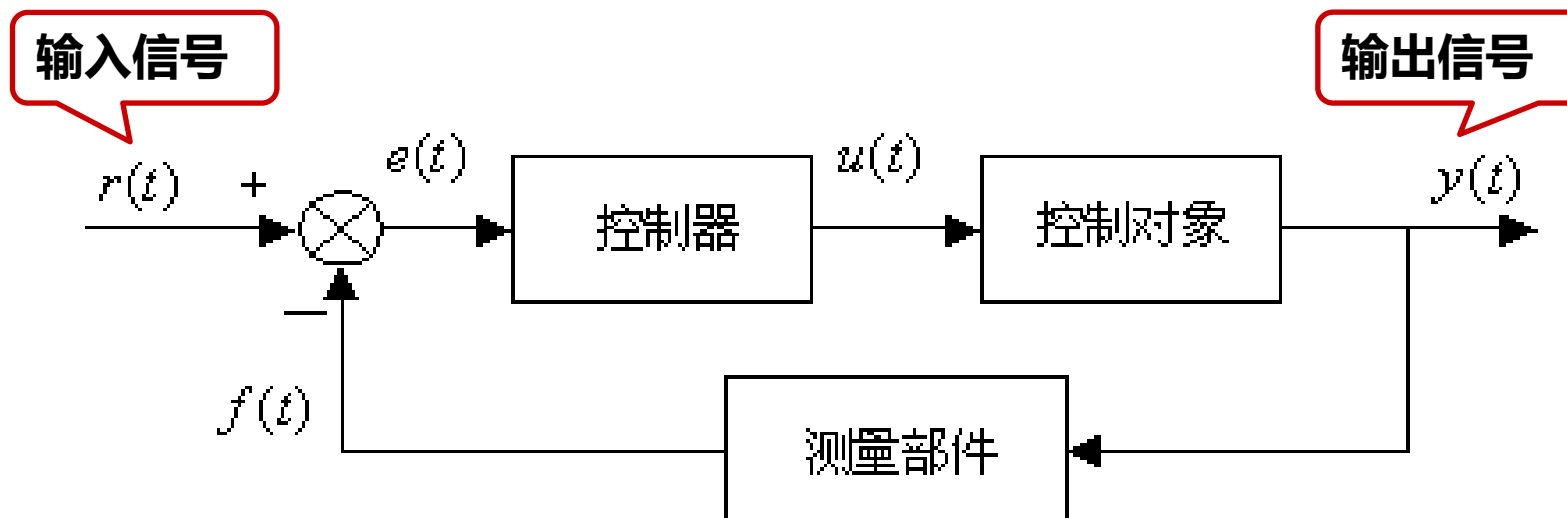
➤ 例：由连续系统和离散系统组成的数字信号处理系统



信号处理与自动控制系统



- ➔ **自动控制系统：**由相互制约的若干部分组成，为达到某一控制目的具有一定功能的整体，它利用控制器使控制对象的物理量自动地按预定的规律变化。



本章小结



➡ 信号的定义

- 信息、消息、信号的定义与联系，信号的时间特性与频率特性

➡ 信号的分类

- 一维和 multidimensional, 确定性和随机, 连续和离散
周期和非周期, 能量和功率

➡ 信号分析与处理的基本内容

➡ 系统的定义

➡ 信号与系统的关系