



专业学位课程



信号分析与处理



浙江大学控制科学与工程学院

CONTROL SCIENCE AND ENGINEERING

SINCE 1956



信号分析与处理



教师个人主页: <https://person.zju.edu.cn/jzhao>



赵均

博士

副教授 | 硕士生导师

学科 控制科学与工程

单位 控制科学与工程学院

☎ 电话 0571-87953283 13003693119

✉ 邮箱 jzhao@zju.edu.cn

📍 地址 浙江大学玉泉校区工控新楼413室

👉 研究方向 · 工业智能
· 模型预测控制
· 无人自主系统

助教: 刘严 18911294095

lyxy10335@163.com



课程信息 学在浙大: <https://courses.zju.edu.cn/>



信号分析与处理 (私有)

2021-2022 2021-2022春夏 电气工程学院 周三第6,7节;周三第8节(单周)

课堂模式

预览课程

课程信息

首页

章节

公告

班级成员

课程信息

课程设置

邀请

课件活动

课件

课堂直播

作业

测试

学院 全部

年级 全部

班级 全部

用户姓名 / 人员编号



+ 新增

设置助教权限

本班级总共有 1位教师 55名学生

班级成员	系级	课程角色	E-Mail	操作
 赵均 0000030	控制科学与工程学院	教师(创建者)	jzhao@zju.edu.cn	
 戴军杰 3190104116	蓝田学园	学生		▼
 李牧桐 3190105501	蓝田学园	学生		▼
 许晨瑶 3200103943	求是学院	学生		▼
 李维超 3200105041	求是学院	学生		▼
 扶淞 3190105625	蓝田学园	学生		▼
 顾小雨	求是学院	学生		▼

中 丿 °, 简 ☺ 设置



绪论



- 课程概述
- 课程相关概念
- 课程内容
- 学习要点
- 参考资料
- 课后作业



一、概述



信息时代的特征——

**用信息科学和计算机技术的理论和
手段来解决科学、工程和经济问题**



一、概述



1. 信号分析与处理的问题无处不在

- 古老通讯方式：烽火、旗语、信号灯
- 近代通讯方式：电报、电话、无线通讯
- 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



一、概述



原始彩色图像



双边滤波后





一、概述



原始彩色图像



双边滤波平滑图像



Sobel算子边缘提取



合成漫画





一、概述



2. 信息科学已渗透到现代自然科学和社会科学的所有领域

- 工业监控、生产调度、质量分析、资源遥感、地震预报、人工智能、高效农业、交通监控
- 宇宙探测、军事侦察、武器技术、指挥系统
- 经济预测、财务统计、市场信息、股市分析
- 电子出版、新闻传媒、影视制作
- 远程教育、远程医疗、远程会议
- 虚拟仪器、虚拟手术



二、相关概念——引言(1)



- 消息 (Message)
- 信息 (Information)
- 信号 (signal)

信号传输 (Transmission) 、 信号交换 (Switching) 和信号处理 (Processing) - - 涵盖了通信系统的三个方面

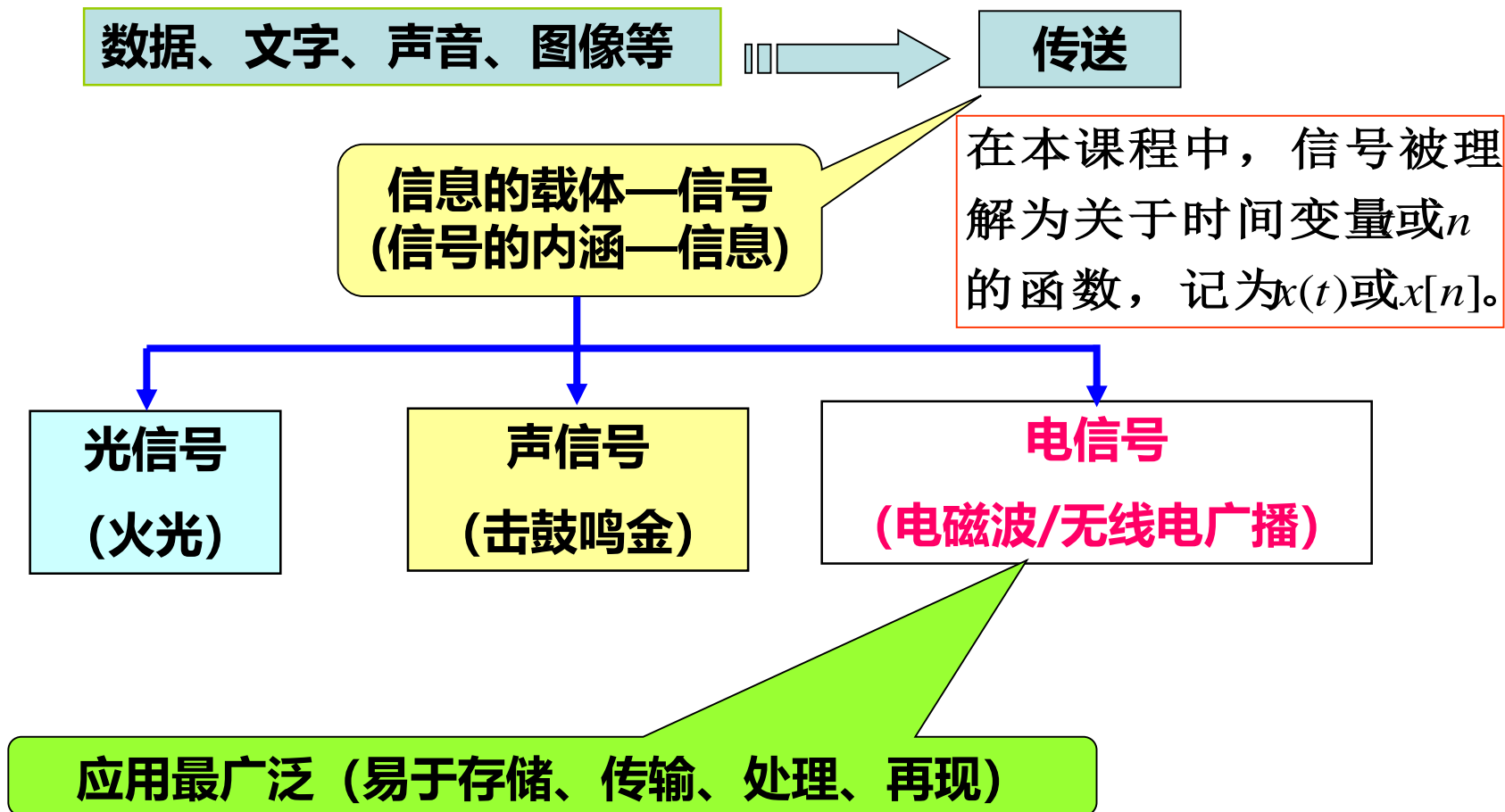
思考题：1) 信号、消息与信息有什么异同？
2) 信息是否具有生命周期？



二、相关概念——引言(2)



信息的表现形式:





二、相关概念——信号的描述 (1)

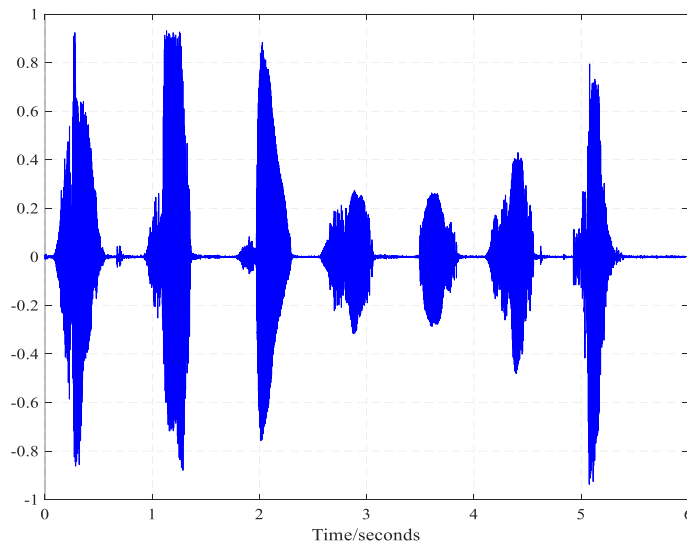


信号：通常是随时间或几个自变量变化的某种物理量，是信息的载体。

例：语音信号——声压随时间变化的函数

黑白照片——亮度随二维空间变量变化的函数

声音



图像



雪中的梅花

(摄于玉泉校区工控新楼前)



二、相关概念——信号的描述 (2)



信号的特性

(1) **时间特性**: 信号出现时间的先后、持续时间的长短、重复周期的大小以及随时间变化的快慢

(2) **频率特性 (不同频率正弦分量之和)**: 各频率分量的相对大小、主频分量占有的范围等

不同时间特性导致不同的频率特性

✓ 本课程讨论范围

(1) 随时间、位置变化的**电信号**;

(2) 限于讨论**单变量函数** (通常是时间变量)



二、相关概念——信号的分类



分类：

确定性信号和随机性信号

连续时间信号和离散时间信号

周期信号和非周期信号

奇信号和偶信号

功率信号和能量信号



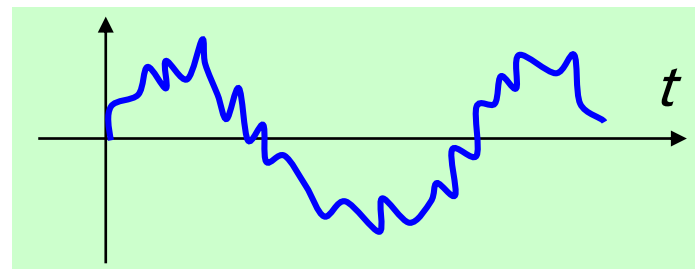
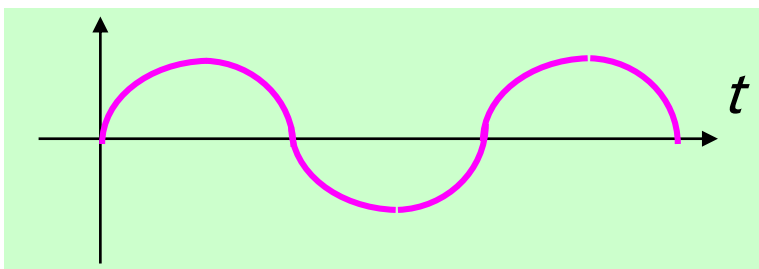
二、相关概念——信号的分类（1）



确定性信号与随机性信号

确定性信号——用时间 t 的确定函数表示，即使某时刻 t_0 尚未到达，也可预知该时刻的取值，如：正弦信号。

随机性信号——具有不可预知性，如果某时刻 t_0 尚未到达，则无法预知信号在该时刻的取值，只知道信号在 t_0 的统计特性。如：干扰、噪声信号。



本课程只讨论确定性信号（因为这是研究随机信号的基础）。



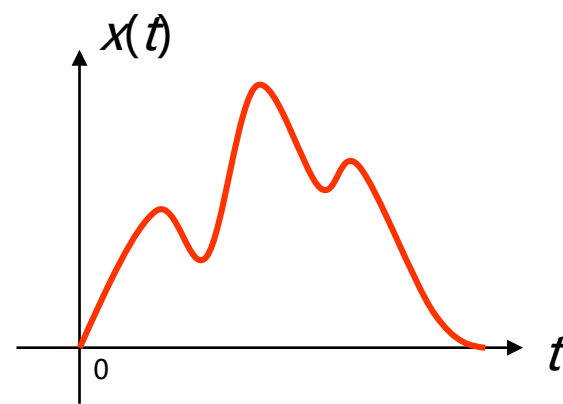
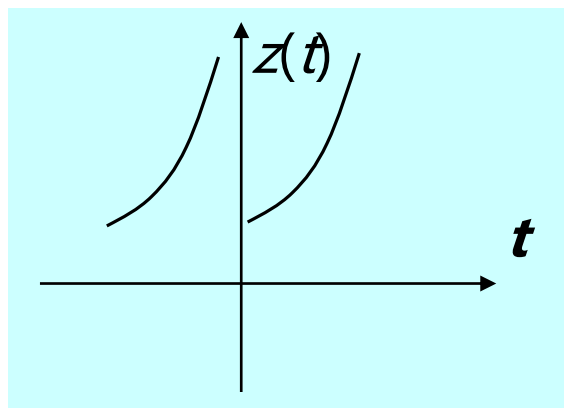
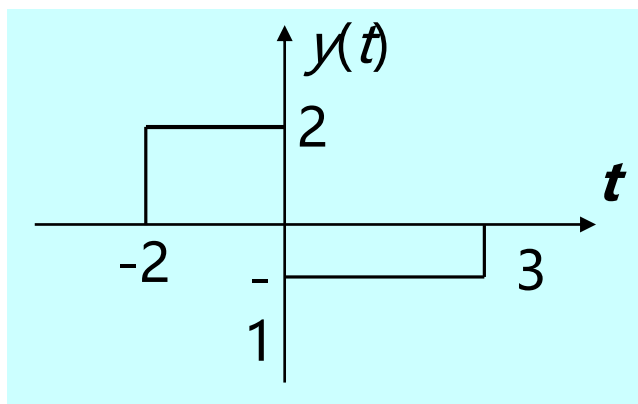
二、相关概念——信号的分类 (2)



连续时间(Continuous-time)信号与离散时间(Discrete-time)信号 - - 按自变量的取值是否连续划分

连续时间信号——信号的自变量 (时间 t) 是连续变化的, 可以取所有的实数, 通常记为 $x(t)$ (但可能有若干个不连续的点)

模拟信号(Analog) $x(t)$: 时间、幅度均连续的信号, 例: 温度、气压等

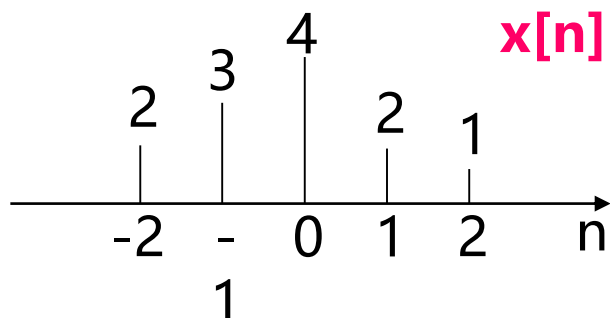




二、相关概念——信号的分类 (2-2)



离散时间信号 $[n]$ ——信号的自变量是离散的，只取整数值，通常也称为时间序列（实际上是按顺序排列的数据），记作 $x[n]$ 。



$n=0$ 时的离散信号值

$$x[n] = \{0, 2, 3, 4, 2, 1, 0\}$$

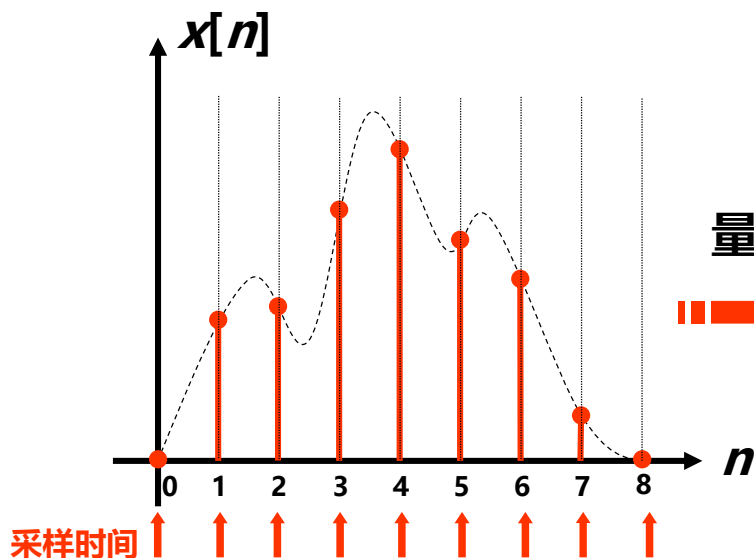


二、相关概念——信号的分类 (2-3)



离散信号(Sampling抽/采样) $x[n]$:
时间离散、幅度可为连续的信号

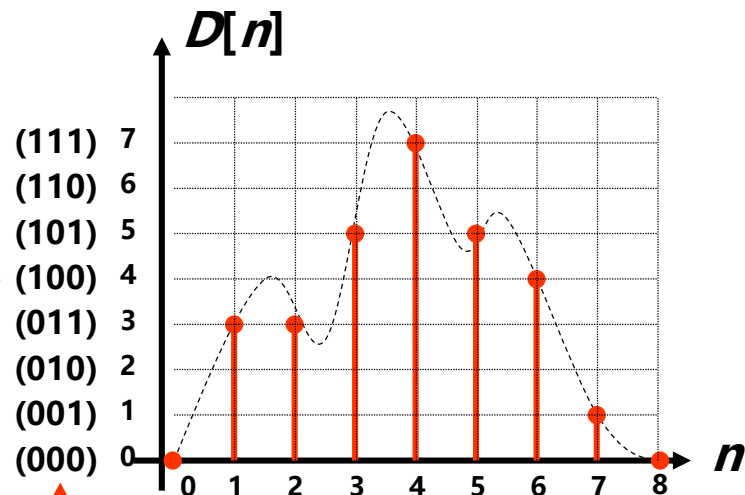
数字信号(Digital): $D[n]$
时间离散、幅度离散的信号



$n \in \mathbb{Z}$, n 非整数时无定义

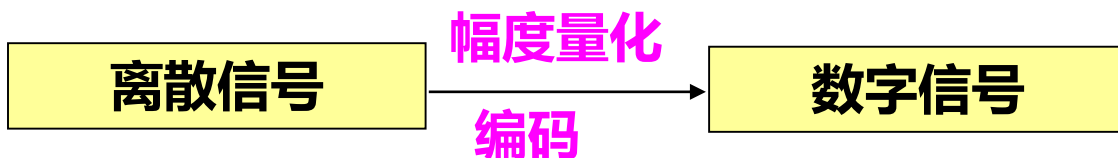
例：每年的人口增长情况,

量化



$2^3=8$

二进制编码(0,1) 例：计算机处理的信息





二、相关概念——信号的分类 (2-4)



时间轴 幅度轴	连 续	离 散
	连 续	离 散
连续	Analog(模拟)	Sampling (抽/采样)
离散	Quantization (量化)	Digital (数字)
统称	连续时间(CT) Continuous-time	离散时间(DT) Discrete-time

本课程并行讨论连续时间和离散时间这两种信号



二、相关概念——信号的分类 (3-1)



周期(Periodic)信号与非周期信号

连续周期信号:

$$x(t) = x(t + T) = x(t + 2T) = \dots$$

$$x(t) = x(t + mT), m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

离散周期信号:

$$x[n] = x[n + N] = x[n + 2N] = \dots$$

$$x[n] = x[n + mN], m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

能使上两式分别成立的最小正值 T 、 N 称为 $x(t)$ 和 $x[n]$ 的基波周期 T_0 和 N_0 。

不满足上述关系的称为非周期信号。

- 思考:
- 1) 非周期信号能看成周期信号?
 - 2) 基波周期的含义?
 - 3) 周期信号都有基波周期吗?



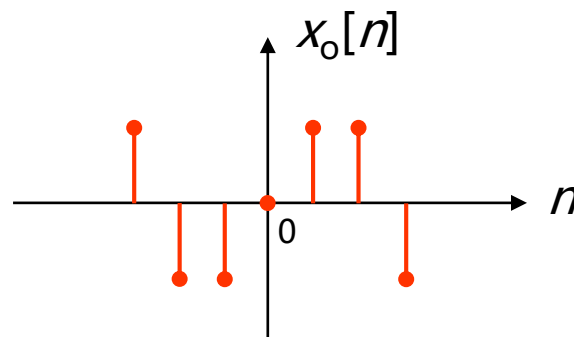
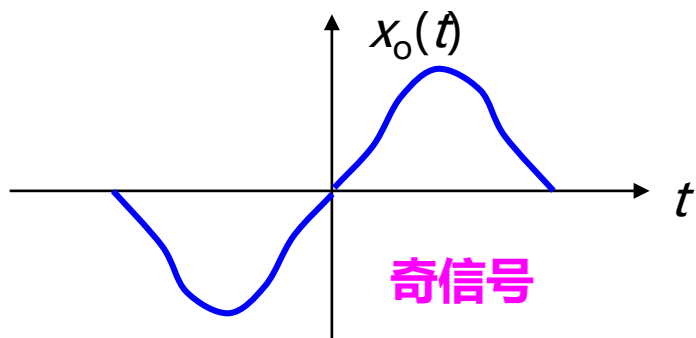
二、相关概念——信号的分类 (4-1)



奇(Odd)信号 $x_o(t)/x_o[n]$ —与偶(Even)信号 $x_e(t)/x_e[n]$

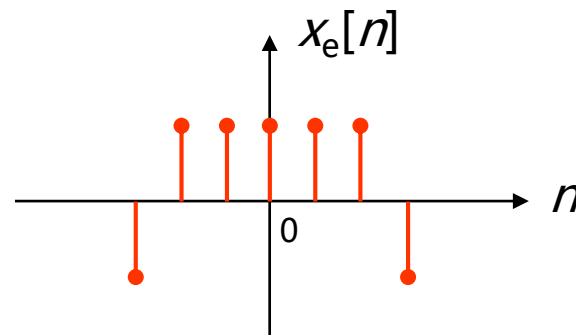
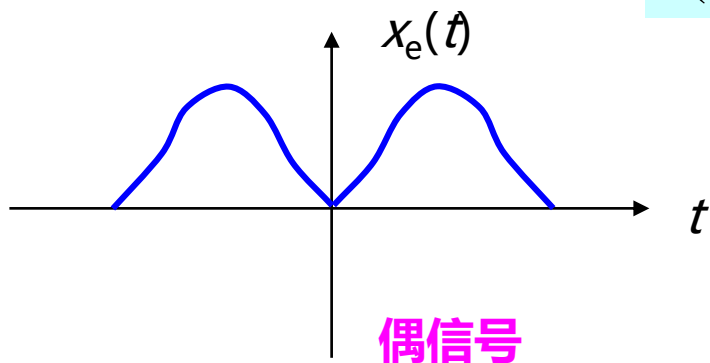
奇信号关于原点对称:

$$x(t) = -x(-t) \quad \text{或} \quad x[n] = -x[-n]$$



偶信号关于纵坐标对称:

$$x(t) = x(-t) \quad \text{或} \quad x[n] = x[-n]$$





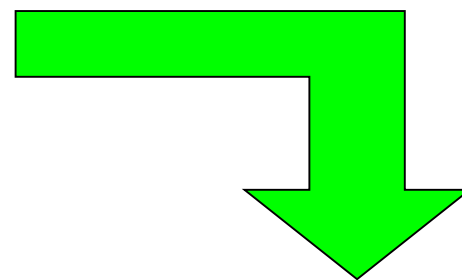
二、相关概念——信号的分类 (4-2)

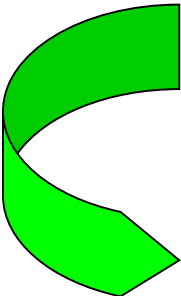


信号的分解：奇偶信号的划分是不完备的，存在非奇非偶信号。
但任何信号都可分解成奇分量与偶分量之和。

$$\because x(t) = \frac{1}{2} [x(t) + x(t) + x(-t) - x(-t)]$$

$$= \frac{1}{2} [x(t) + x(-t)] + \frac{1}{2} [x(t) - x(-t)]$$




$$x_e(t) = Ev\{x(t)\} = \frac{x(t) + x(-t)}{2}$$

$$x_o(t) = Od\{x(t)\} = \frac{x(t) - x(-t)}{2}$$

$$x(t) = x_e(t) + x_o(t)$$

同理

$$x_e[n] = \frac{x[n] + x[-n]}{2}$$

$$x_o[n] = \frac{x[n] - x[-n]}{2}$$



二、相关概念——信号的分类 (5-1)



功率(Power)信号与能量(Energy)信号(时间信号的可积性划分)

考虑在1 Ω 电阻上信号 $x(t)/x[n]$ (电压或电流)消耗的瞬时功率

$$p(t) = v(t)i(t) = i^2(t) \cdot R = v^2(t)/R \stackrel{R=1\Omega}{=} x^2(t) \Rightarrow p(t) = |x(t)|^2$$

在时间间隔 $t_1 \leq t \leq t_2$ 内消耗的**总能量E**和**平均功率P**:

$$E_{t_1 t_2} = \int_{t_1}^{t_2} p(t) dt = \int_{t_1}^{t_2} |x(t)|^2 dt;$$

$$P_{t_1 t_2} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} p(t) dt = \frac{E_{t_1 t_2}}{t_2 - t_1}$$

总能量:

$$E_{\infty} = \lim_{t_2 - t_1 \rightarrow \infty} \int_{t_1}^{t_2} |x(t)|^2 dt$$

当 $(t_2 - t_1) \rightarrow \infty$ 时,

平均功率:

$$P_{\infty} = \lim_{t_2 - t_1 \rightarrow \infty} \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} |x(t)|^2 dt$$

a. 信号可以具有复数值, 因此统一用模表示。

b. “能量”和“功率”不同于物理上概念, 可以具有不同的单位。



二、相关概念——信号的分类 (5-2)



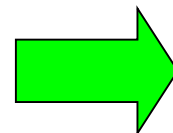
离散信号:

总能量:

$$E = \lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{k=-N}^N |x[k]|^2$$

平均功率:

$$P = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{k=-N}^N |x[k]|^2$$



能量
功率
非负

能量有限信号:

如果信号满足: $0 < E < \infty$, 而 $P = 0$, 则称为能量有限信号, 简称**能量信号**。

功率有限信号:

$$P_{\infty} = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{E_{\infty}}{2N+1} = 0$$

如果信号满足: $0 < P < \infty$, 而 $E \rightarrow \infty$, 则称为功率有限信号, 简称**功率信号**。

第三类信号: $P_{\infty} \rightarrow \infty$, $E_{\infty} \rightarrow \infty$ 例: $x(t) = t$

证明幅度有限的周期信号必定是功率信号



二、相关概念——系统（1）



- **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
- 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



二、相关概念——系统（2）



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



二、相关概念——系统 (3)



信号处理系统

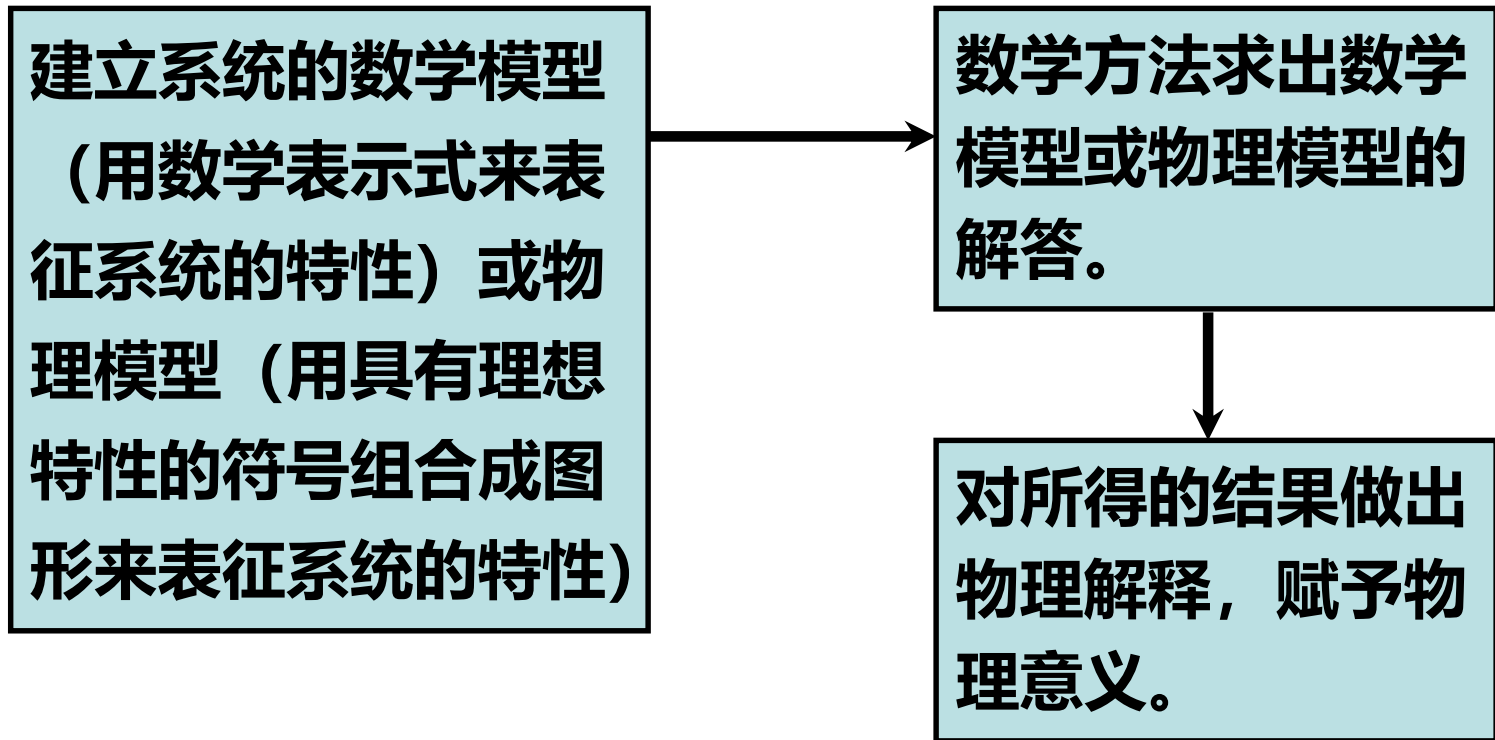
- **信号分析:** 是揭示信号自身的特性, 包括时域特性和频域特性, 以及信号发生某些变化时其特性的相应变化
如: 连续信号的傅里叶变换 (Fourier transform)、拉普拉斯变换 (Laplace transform)、Z变换 (Z transform)、离散时间傅里叶变换 (discrete time Fourier transform)
- **信号处理:** 是指通过对信号的加工和变换, 把一个信号变换成另一个信号的过程。也可以把信号处理理解为为了特定的目的, 通过一定的手段改造信号



二、相关概念——系统（4）



系统研究的内容和方法：



连续系统的系统分析：列写微分方程→ 求解微分方程

离散系统的系统分析：列写差分方程→ 求解差分方程



二、相关概念——系统（5）



- **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

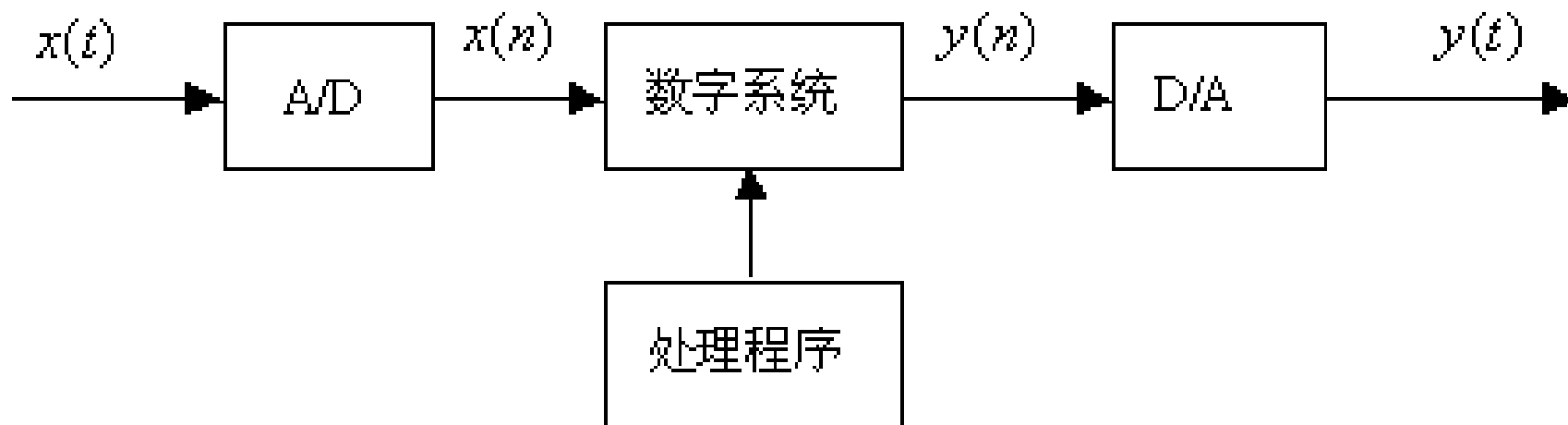




二、相关概念——系统（6）



- **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

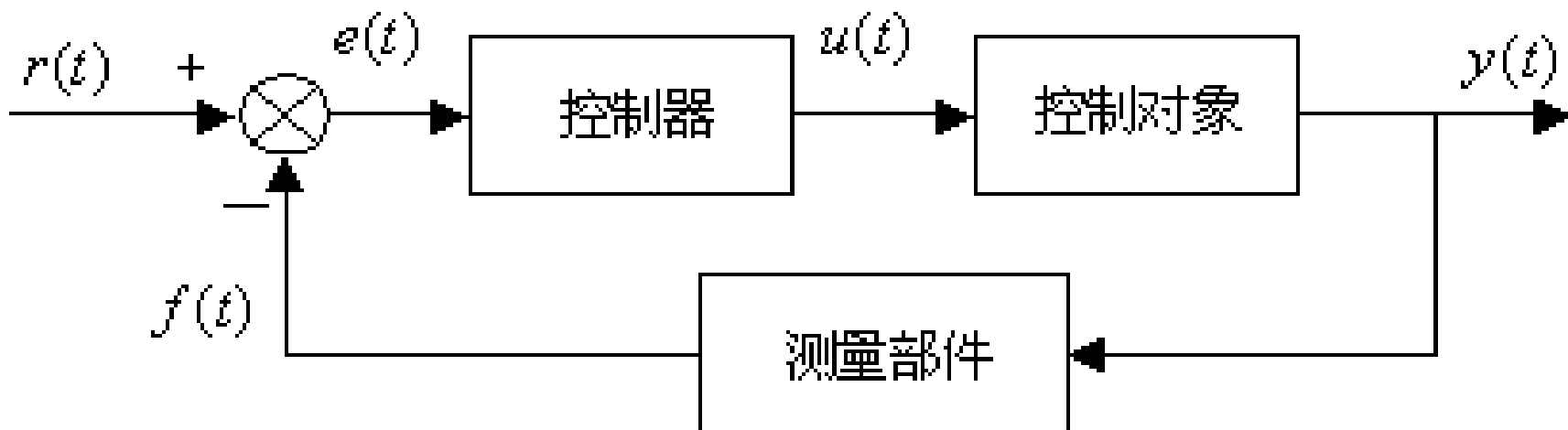




二、相关概念——系统 (7)



- **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





三、课程内容



■ 所需的预修课程

- 数学分析（微积分）、常微分方程、复变函数、电路原理等

■ 第二章 连续信号的分析

- 信号的时域分析：基本信号、奇异信号，时域运算，信号的分解
- 频域分析：周期信号和非周期信号的傅立叶变换，傅立叶变换的基本性质，卷积定理和抽样定理
- 拉普拉斯变换分析：信号的拉普拉斯变换，复频域分析



三、课程内容



■ 第三章 离散信号的分析

- 连续信号的离散化和采样定理
- 离散信号的时域分析：基本信号、奇异信号，时域运算
- 离散信号的频域分析：从离散傅立叶级数到离散傅立叶变换DFT，快速傅立叶变换FFT
- 离散信号的Z域分析：从拉氏变换到正、反Z变换、收敛域、Z变换的基本性质、用Z变换解差分方程



三、课程内容



■ 第四章 信号处理基础

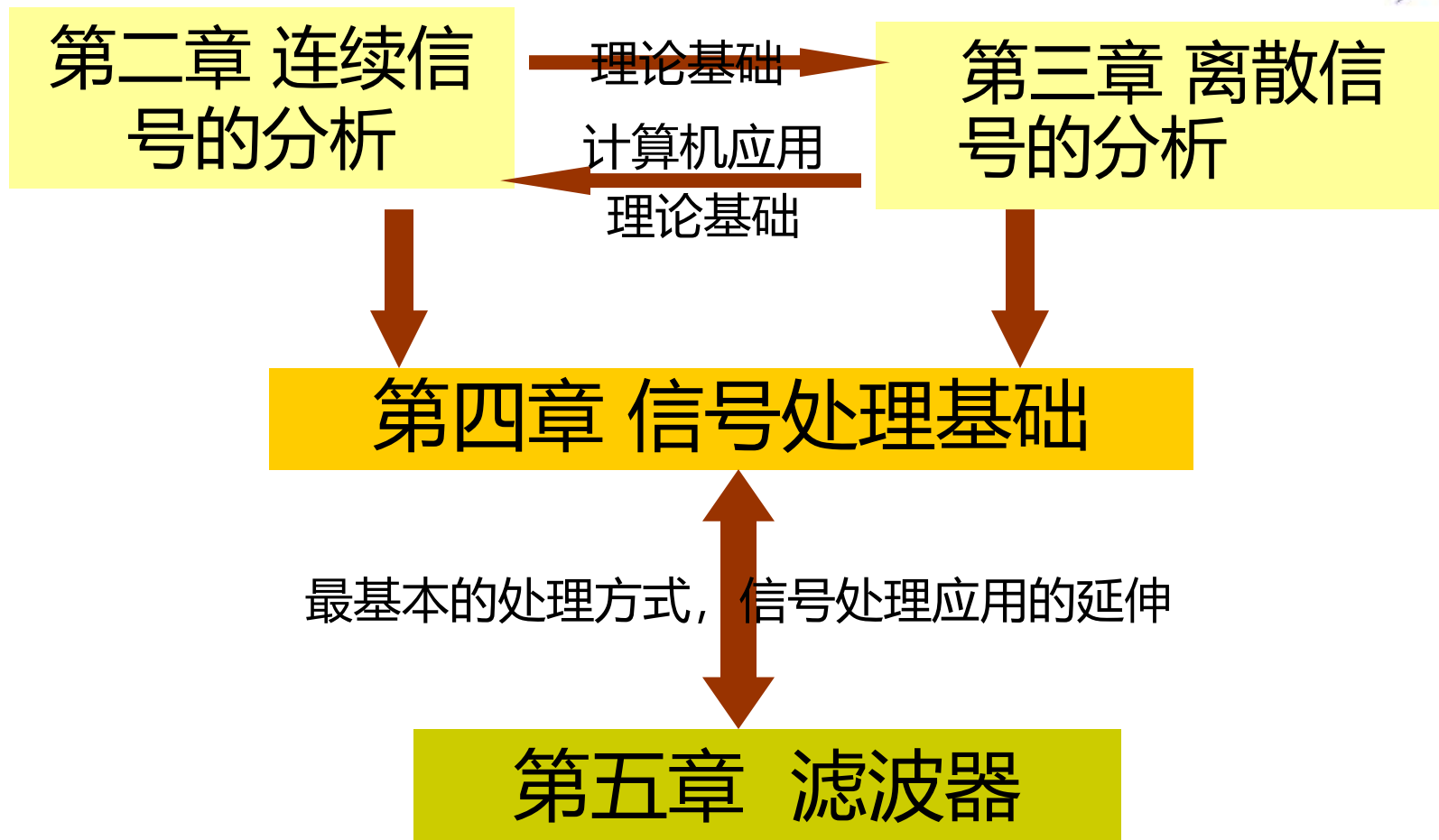
- 系统及其性质
- 信号的线性系统处理：时域分析法，频域分析法，复频域分析法

■ 第五章 滤波器

- 概述：滤波器的定义、分类、技术指标
- 模拟滤波器设计：巴特沃思低通滤波器、切比雪夫低通滤波器，从低通到其它类型的滤波器
- 数字滤波器设计：IIR数字滤波器，FIR数字滤波器



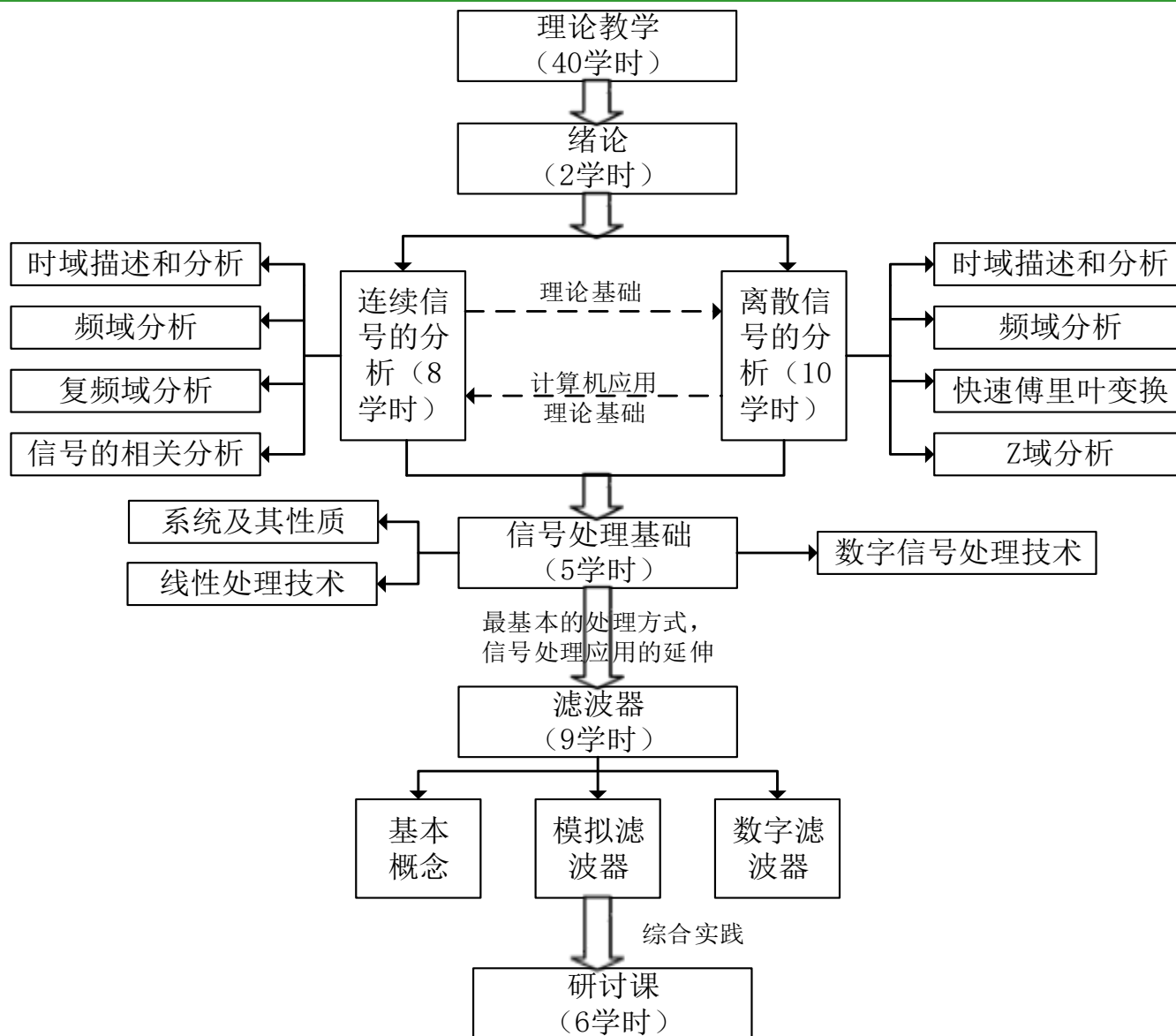
三、课程内容



关键词：连续/离散，时域/频域/复频域，信号/系统



三、课程内容





三、课程内容



1. 理论教学 (40学时)

- 周二 (3课时/单周, 2课时/双周) 赵均主讲
- 紫金港西2-415
- 研讨课2*3学时(课程大作业) (6.13、6.19)

2. 实验教学 (16学时)

- 基础性实验3个, 综合性实验2个 季瑞松主讲
- 紫金港东3-409
- 周四1、2节 (双周, 具体时间另行通知)



三、课程考核



1. 考核要求

- 平时作业（周二上课交，纸质）
- 实验报告（实验结束后一周，纸质）
- 课程大作业（夏学期末，PPT答辩）
- 课程考试（夏学期末，闭卷）



三、课程内容—研讨课



1、可选题目

- 题目1：声控系统设计
- 题目2：数字滤波器在工程中的典型应用
- 题目3：无人自主系统中的视频图像分析
- 题目4：移动机器人路径识别技术
- 题目5：电气系统中的过采样和欠采样分析
- 题目6：光伏发电系统中的信号采样与滤波
- 题目7：FFT及其工程应用
- 题目8：电力系统谐波分析
- 题目9：.....



三、课程内容—研讨课



1、历届题目

- 题目1：图像信号的处理方式(图像变换和滤波)
- 题目2：典型图像滤波方法及其在漫画化处理中的应用
- 题目3：基于DTW的阿拉伯数字语音识别
- 题目4：FFT及其图像和音频中的应用
- 题目5：数字滤波器在工程中的典型应用
- 题目6：FFT的误差分析及滤波应用
- 题目7：移动过程定位问题与卡尔曼滤波



三、课程内容—研讨课



2、具体要求

- 每小组人数不能多于4人
- 可围绕信号分析与处理的相关内容，结合具体的应用背景，自由选题，或结合SRTP、省创和国创选题
- 提交研究报告，需按照学术论文格式撰写，主要包括题目、作者、摘要（中英文）、引言、正文和参考文献等
- 提交10分钟的汇报PPT
- 提交MATLAB源代码，并可现场演示



四、学习要点



- 注重物理含义，避免繁琐的公式推导
- 明白为什么
- 注重实践（实验和课程大作业）



五、参考资料—教材



主教材

信号分析与处理

ISBN: 978-7-111-08492-1

主编: 赵光宙

机械工业出版社



主教材

信号分析与处理----虚拟仪...

ISBN: 978-7-302-31561-2

主编: 孙晖

清华大学出版社



五、参考资料—MOOC课



信号分析与处理MOOC课:

<https://www.icourse163.org/course/ZJU-1450039178>

网上课程:

http://www.icourses.cn/coursestatic/course_6799.html



五、参考资料--参考书



- ◆ Oppenheim A V, Willsky A S, Nawab, Nawab S H. Signals & System, (Second Edition) 1998年, 清华大学出版社•PRENTICE HALL(英文版)
- ◆ 《信号与系统》 Alan V.Oppenheim等著, 刘树堂译, 西安交通大学出版社
- ◆ 《信号与系统》 (第二版), 于慧敏主编, 北京: 化学工业出版社, 2008
- ◆ 《信号、系统与信号处理》, 吴湘淇编著, 电子工业出版社
- ◆ 《应用Web和Matlab的信号与系统基础》 (第二版), Edward W Kamen等著, 高强等译, 电子工业出版社
- ◆ 《信号与系统》 郑君里、应启珩、杨为理等著, 清华大学出版社
- ◆ 《信号与系统例题分析及习题》 乐正友、杨为理、应启珩著, 清华大学出版社



五、参考资料—学术杂志



- ◆ 数据采集与处理
- ◆ 信号处理
- ◆ 自动化学报
- ◆ IEEE Transactions on Signal Processing
- ◆ IEEE Signal Processing Letters
- ◆ IEEE Signal Processing Magazine
- ◆ IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing
- ◆ IET Signal Processing



五、参考资料—网站



- ◆ 麻省理工学院开发课程信号与系统 **Signals and Systems**
 - ◆ <http://www.myoops.org/cocw/mit/Electrical-Engineering-and-Computer-Science/6-003Fall-2003/CourseHome/index.htm>
- ◆ 犹他州立大学 **Signals and Systems**
 - ◆ http://www.myoops.org/cocw/usu/Electrical_and_Computer_Engineering/Signals_and_Systems/index.htm
- ◆ **Signals and Systems at Uppsala University**
 - ◆ <http://www.signal.uu.se/>
- ◆ **Signals and Systems at Berkeley university**
 - ◆ <http://ptolemy.eecs.berkeley.edu/eecs20/>
- ◆ **Signals and Systems at University of Wisconsin-Madison**
 - ◆ <http://www.engr.wisc.edu/ece/courses/ece330.html>
- ◆ **Signals and Systems Lab at COMSOL Group**
 - ◆ <http://www.comsol.com/products/signal/>
- ◆ **Foundation Course on Signals and Systems - DEP**
 - ◆ <http://www.dep.iitb.ac.in/spring04/signals/index.html>



六、课外作业



■ 作业：P7

–2: (1)-(4)

–3: (1)-(4)

–4: (1)-(3)

■ 预习内容：

–连续信号的时域描述和分析

–**MATLAB仿真软件**