信号处理原理-01

刘华平

清华大学

六教6A214

什么是信号处理

➢ 无处不在的信号处理

什么是信号处理

➢ 信号处理的例子：音频

我看见他戴着黑布小帽，穿着黑布大马褂，深青布棉袍，蹒跚走到铁道边，慢慢探身下去，尚不大难。可是他穿过铁道，要爬上那边月台，就不容易了。

什么是信号处理

➢ 信号处理的例子：音频

采样频率对音质的影响

44.1kHz	22.05kHz	16kHz	11.025kHz	8kHz

Hi-Fi音频

电话音频

FM969 经典调频 Classic Radio

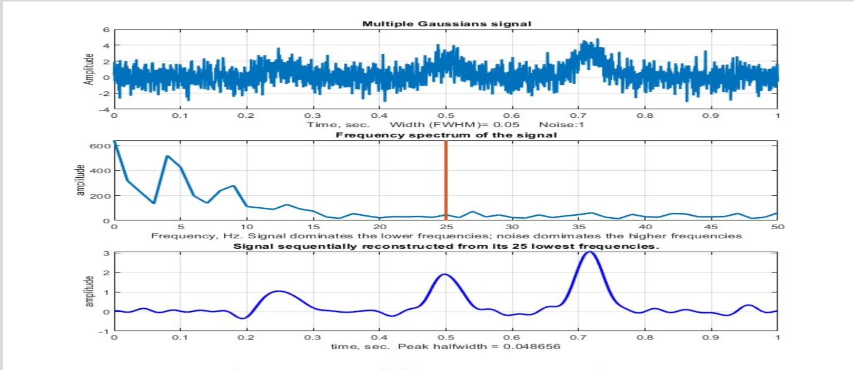
什么是信号处理

➢ 信号处理的例子：图像与视频

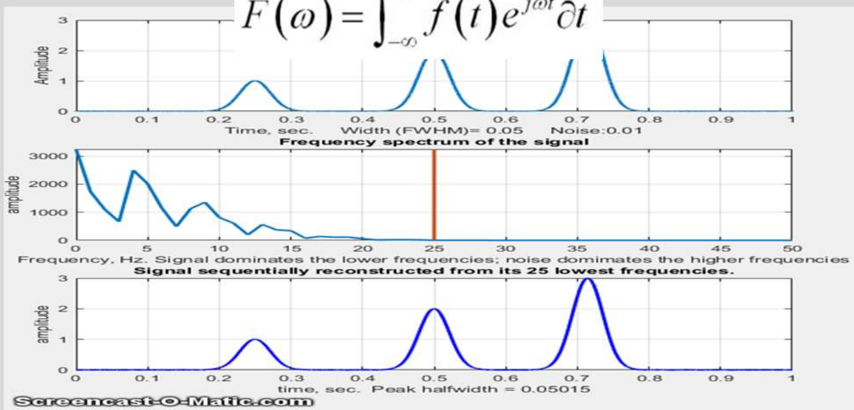
什么是信号处理

➢ 信号处理原理

不是	而是
	为分析和改变信号以满足任务驱动的应用而开发的数学技术和算法。

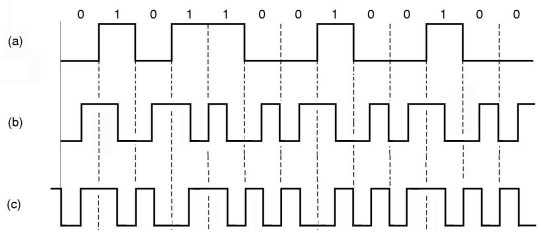


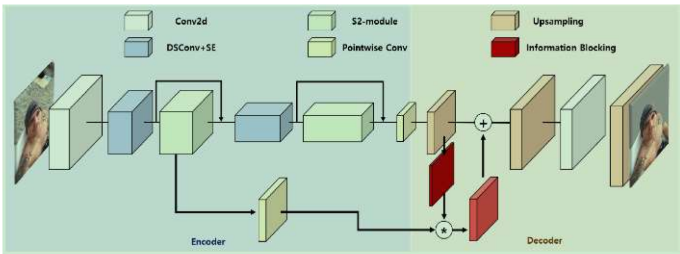
$$F(\omega)=\int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{j\omega t}\partial t$$

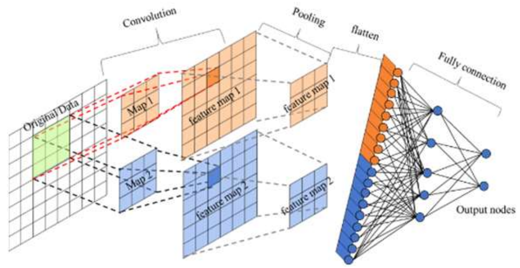


什么是信号处理

计算	通讯	人工智能



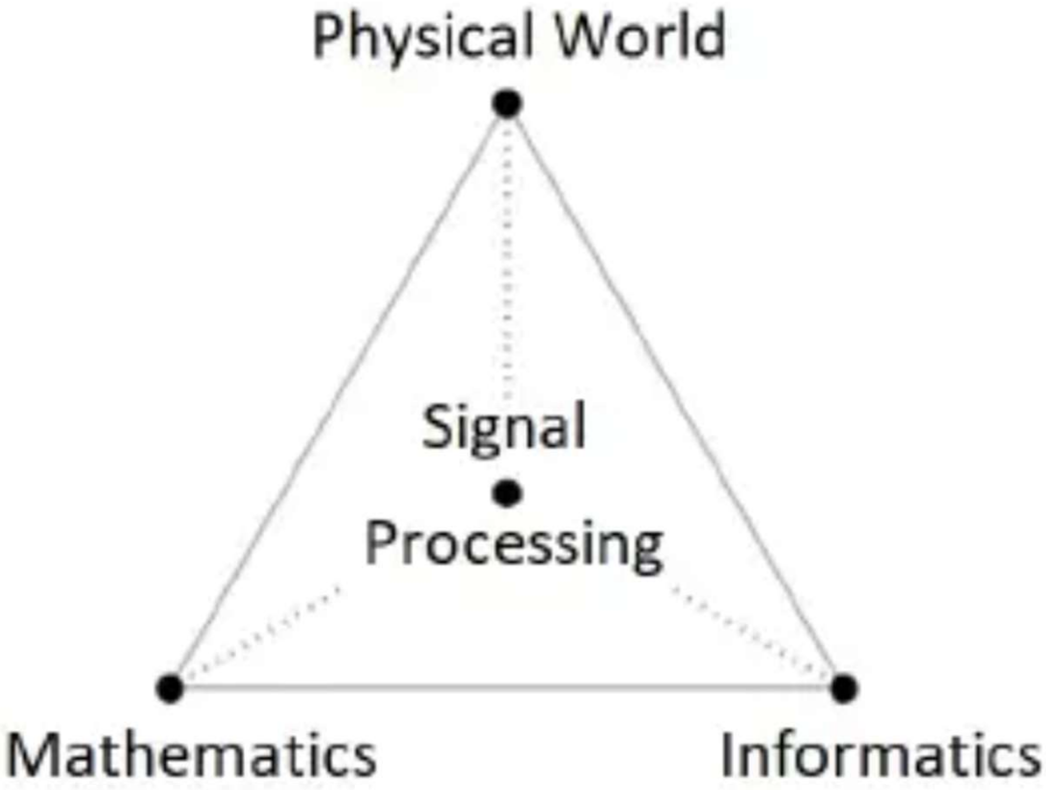




信号处理

什么是信号处理

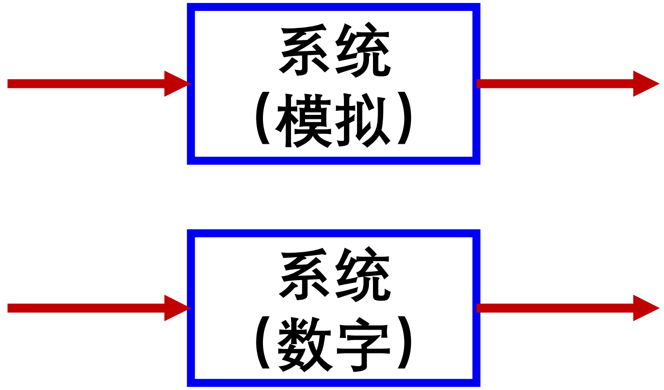
➢ 信号处理原理

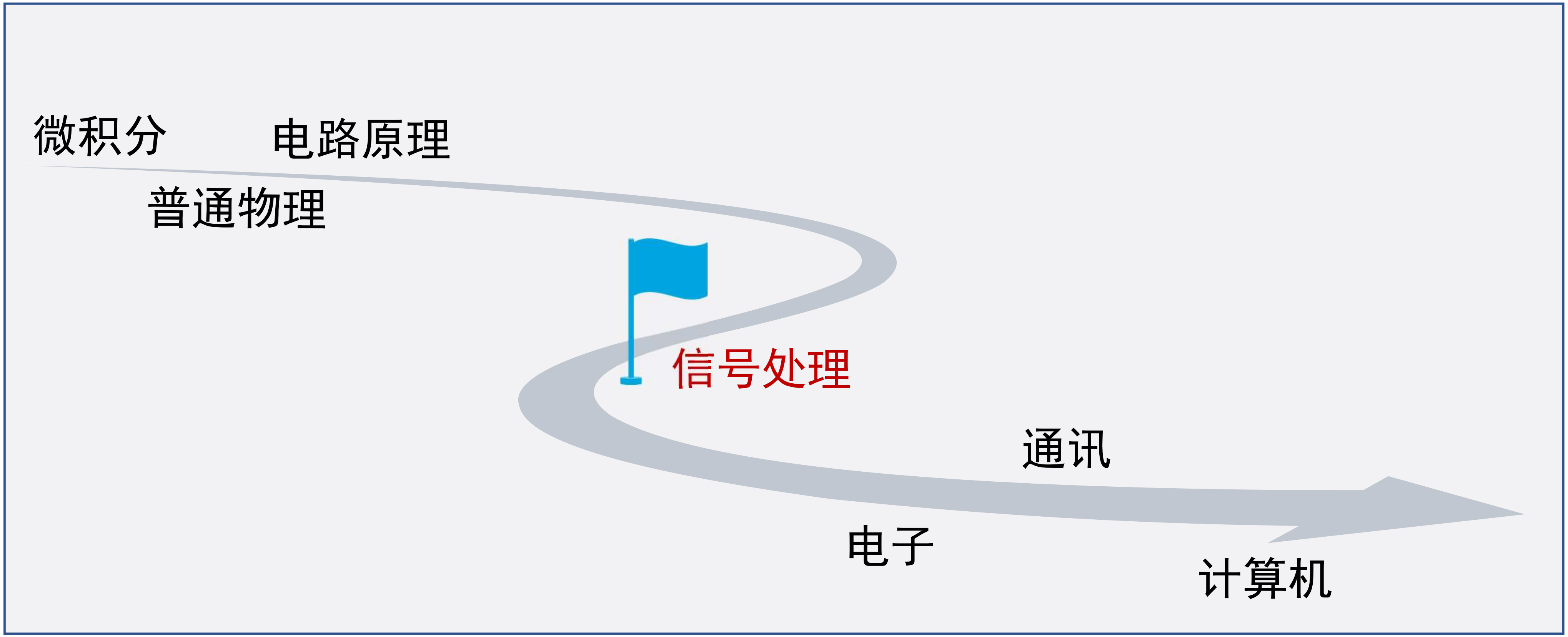


信号处理原理
课程介绍

课程简介

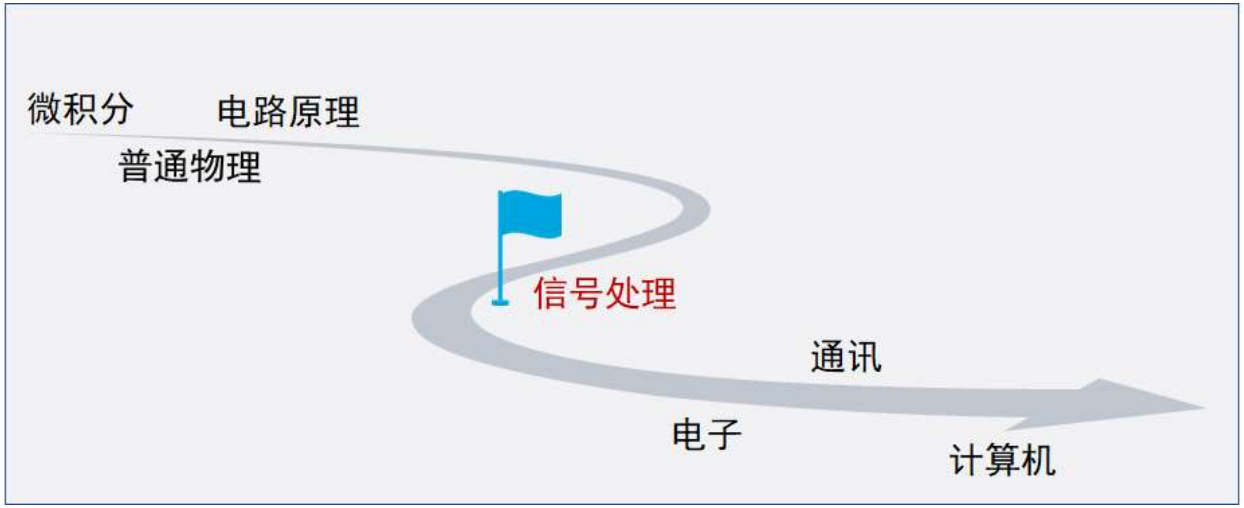
- 信号处理原理
- 数字信号处理
- 信号与系统
- Signal and Systems

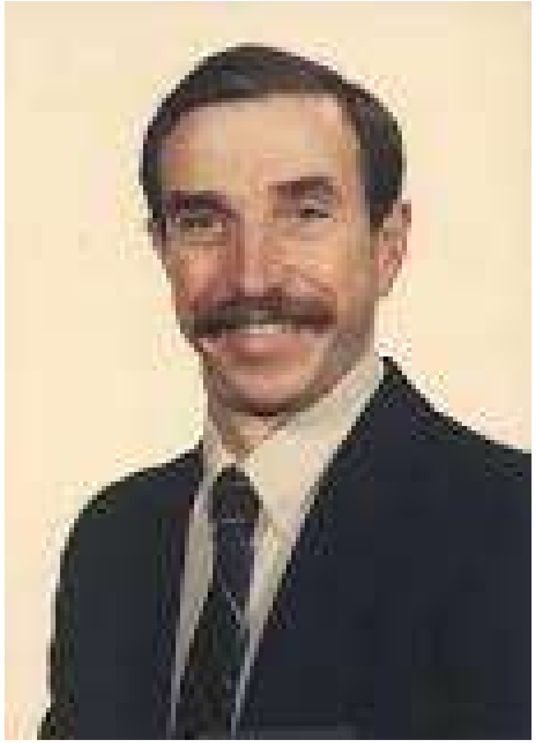




课程简介

美国MIT A.V.Oppenheim教授称该门课程是工程类最有价值的一门课程。





（1937.11.11~）

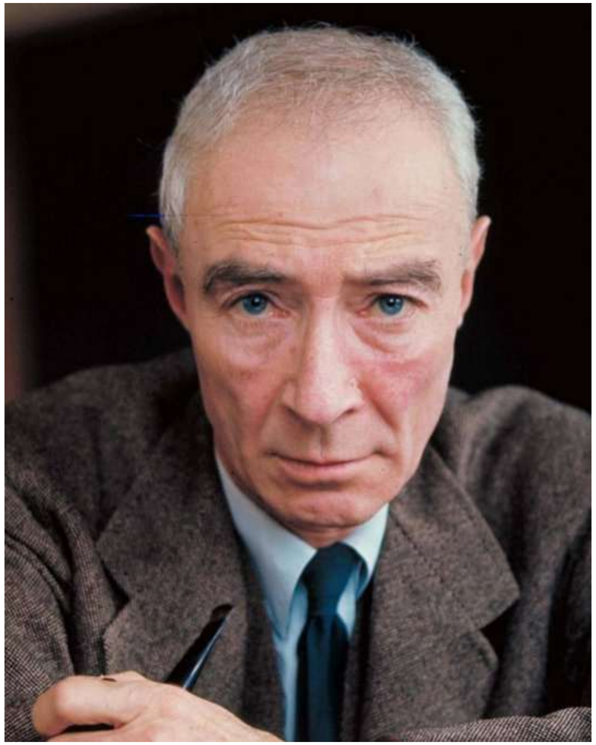
学习信号与系统的学生不仅要在基于物理学定律的那些课程上具有坚实的基础，而且在使用计算机进行现象分析和系统级算法的实现上也必须具有坚实的基础。

用计算机来理解物理世界的基础

课程简介

Alan V. Oppenheim

（ 1937.11.11~ ）

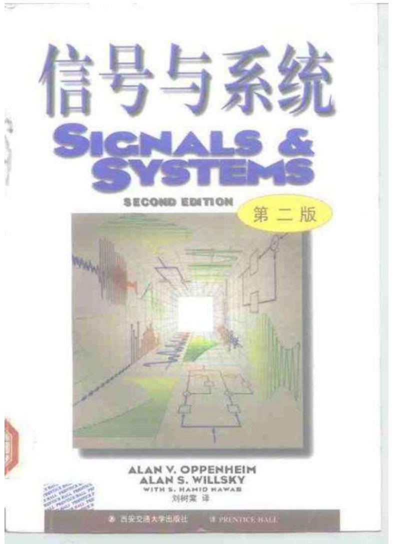


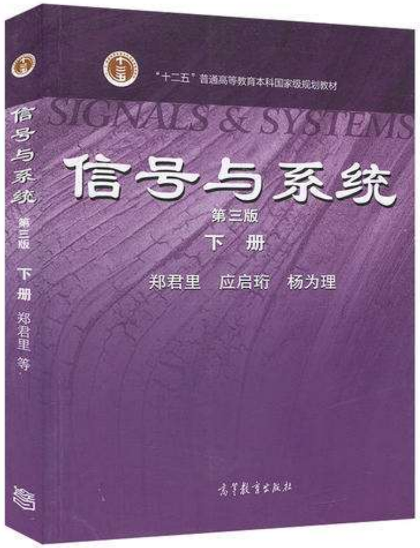
Julius Robert Oppenheimer

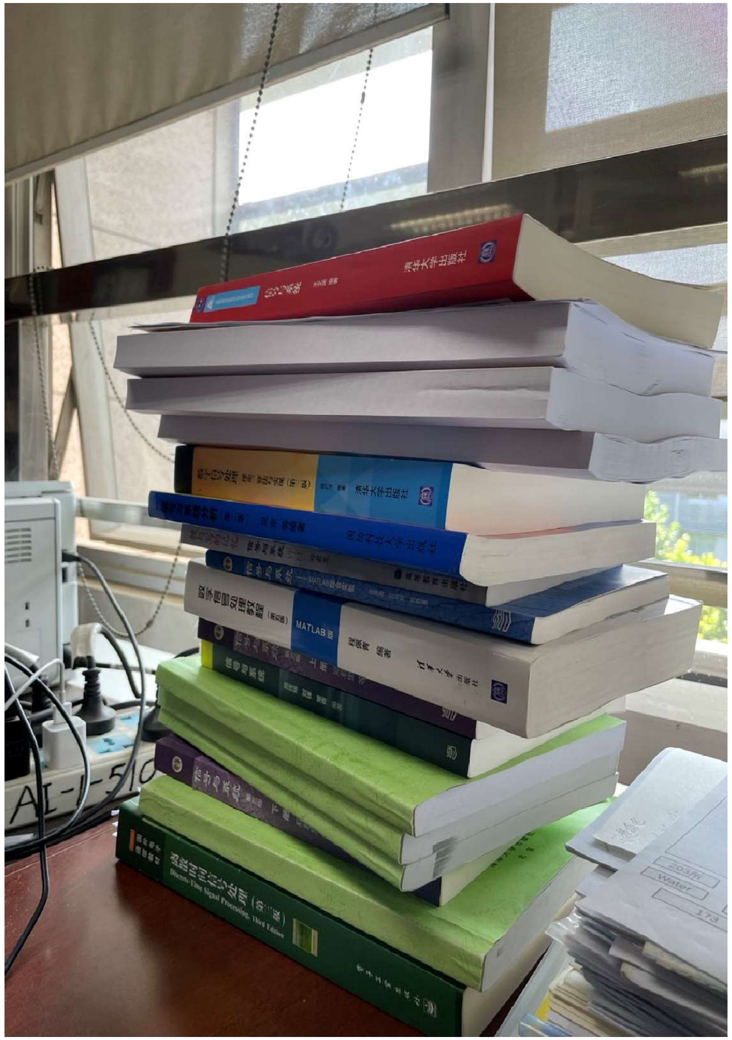
（ 1904~1967 ）

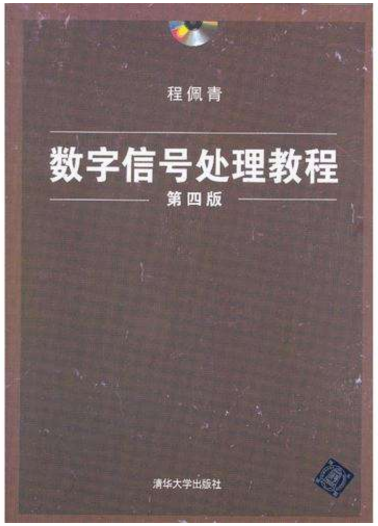
课程简介

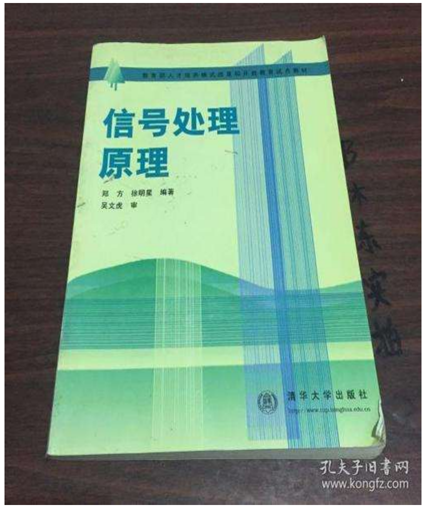
➢ 教材


信号与系统
SIGNALS & SYSTEMS
SECOND EDITION
第二版
ALAN V. OPPENHEIM
ALAN S. WILLSKY
刘树棠 译


"十二五"普通高等教育本科国家级规划教材
SIGNALS & SYSTEMS
信号与系统
第三版
下册
郑君里 应启珩 杨为理




程佩青
数字信号处理教程
第四版
清华大学出版社


信号处理原理
清华大学出版社
孔夫子旧书网
www.kongfz.com

课程简介

➢ 相关信息

- 助教信息：
  - 王晨旭
  - 陈子龙

- 办公室：FIT 1-510
- 联系方式：
  - hpliu@tsinghua.edu.cn
  - 13521100973（同微信）

课程简介

➢ 作业与考试

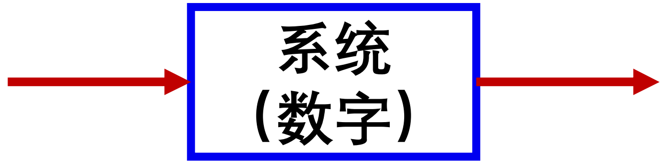
- 平时作业：15%（平时课堂练习适当加分）
  - 每周作业提交截止时间为下一周上课前一天晚上12点（网络学堂）
- 课程实验：15% （代码填空形式）
  - 实验一：傅里叶级数的可视化（4%）
  - 实验二：信号的频分复用（5%）
  - 实验三：mel频谱与griffin_lim声码器（6%）
- 期末考试： 70% （闭卷、笔试）

课程简介——作业

➢ 作业与考试

- 每次作业最高分10分，基础题全做对就会有10分满分。
- 关于附加题，附加题答案大多不唯一，做了附加题并且逻辑正确，没有明显推导证明错误的，视难易有1～2分加分。每次作业总分最高10分，超出10分按照10分计算。
- 补交的作业视补交原因适当扣分。不交为零分。作业可以相互学习与借鉴，但是涉嫌严重抄袭为0分，并视情节轻重考虑是否给负分。

课程简介



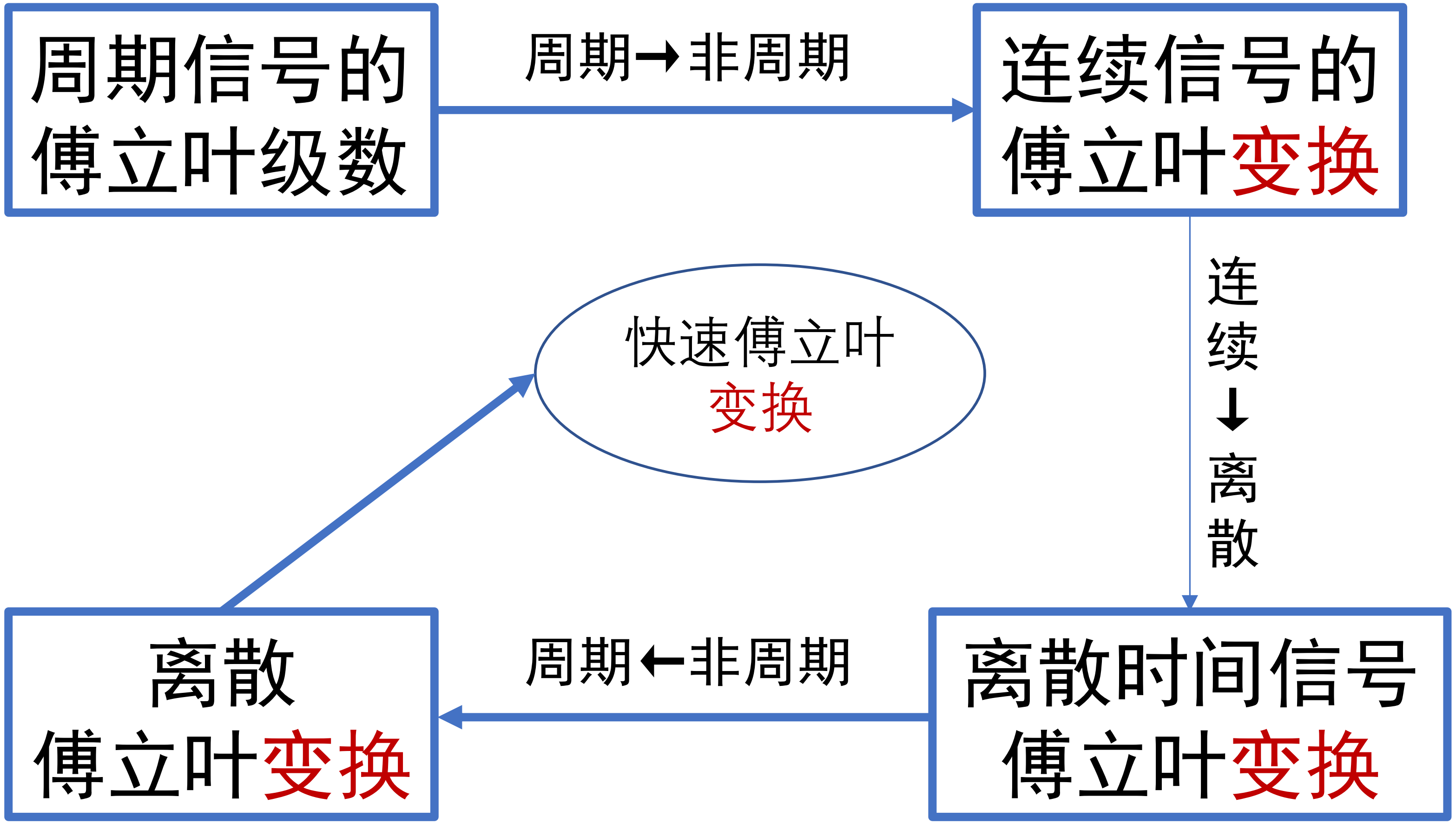
- 信号与信号处理的基本概念
- 周期信号的傅里叶级数 FS
- 连续时间傅里叶变换 CTFT
- 离散时间傅里叶变换 DTFT
- 离散傅里叶变换 DFT
- 快速傅里叶变换 FFT

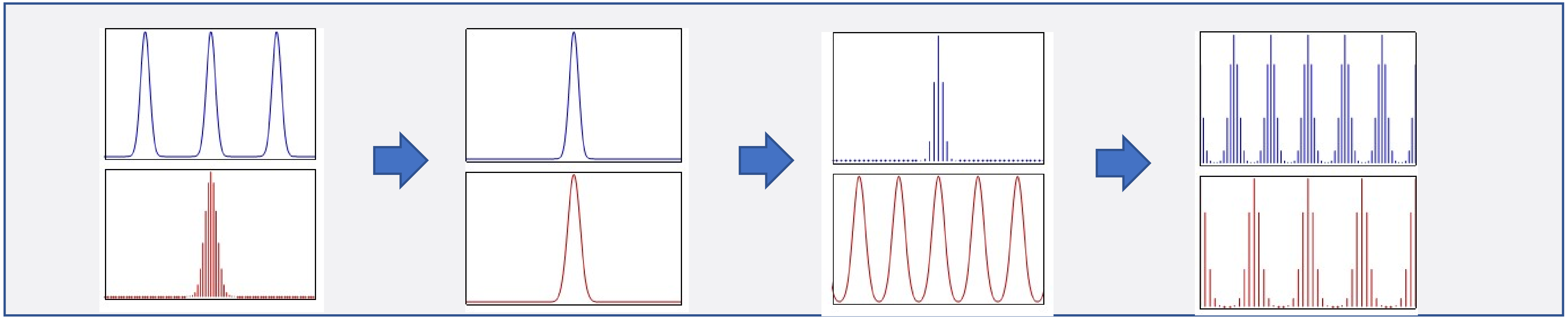
信号

- 离散时间系统分析
- 数字滤波器设计

系统

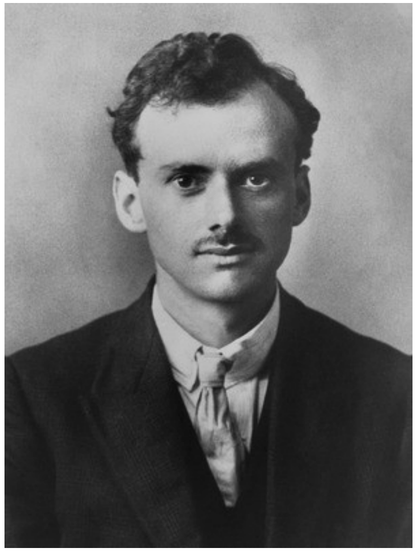
课程简介


周期信号的傅立叶级数
周期→非周期
连续信号的傅立叶变换
连续↓离散
离散时间信号傅立叶变换
周期←非周期
离散傅立叶变换
快速傅立叶变换



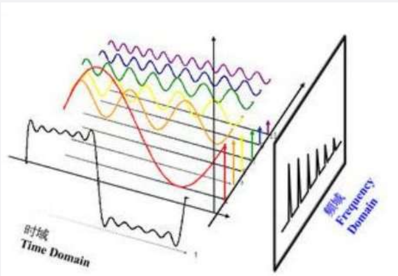
课程简介

约瑟夫·傅立叶
（1768-1830）



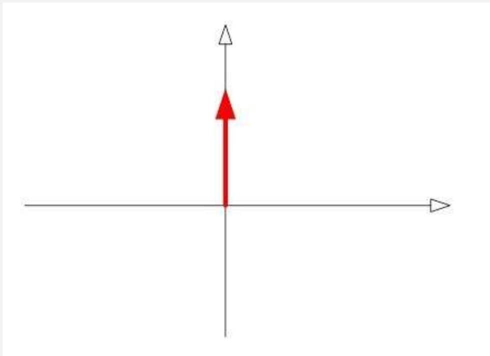
保罗·狄拉克
（1902-1984）

克劳德·香农
（1916-2001）



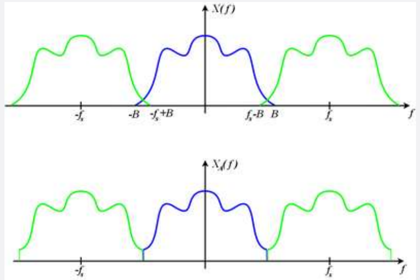
$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty}[a_n\cos(n\omega t) + b_n\sin(n\omega t)]$$

$$f(t) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} F(\omega)e^{j\omega t}d\omega$$



$$\delta(x) = \begin{cases} +\infty & (x = 0) \\ 0 & (x \neq 0) \end{cases}$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(x)\,\mathrm{d}x = 1$$

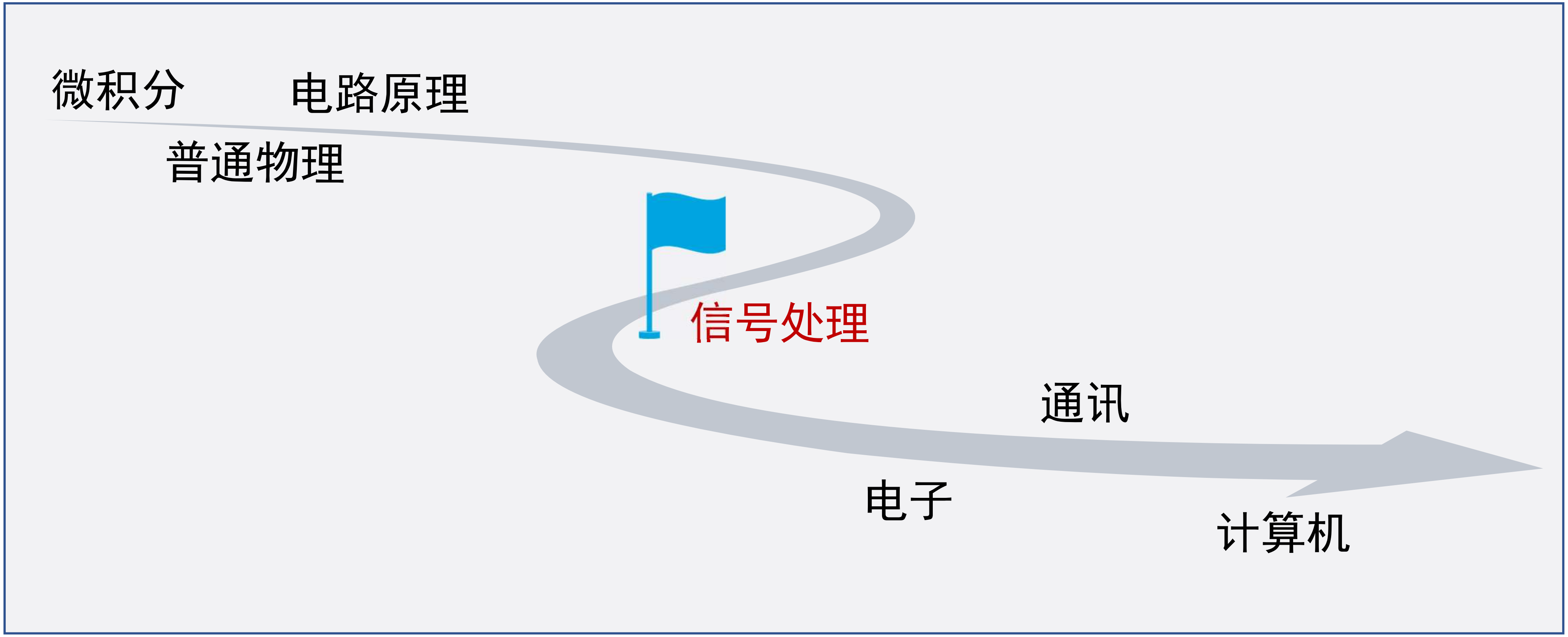


$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_n \frac{\sin\pi(2Bt-n)}{\pi(2Bt-n)}.$$

$$f_c \geq 2 \cdot f_m$$

课程简介

“信号处理原理”是数学？物理？还是计算机？



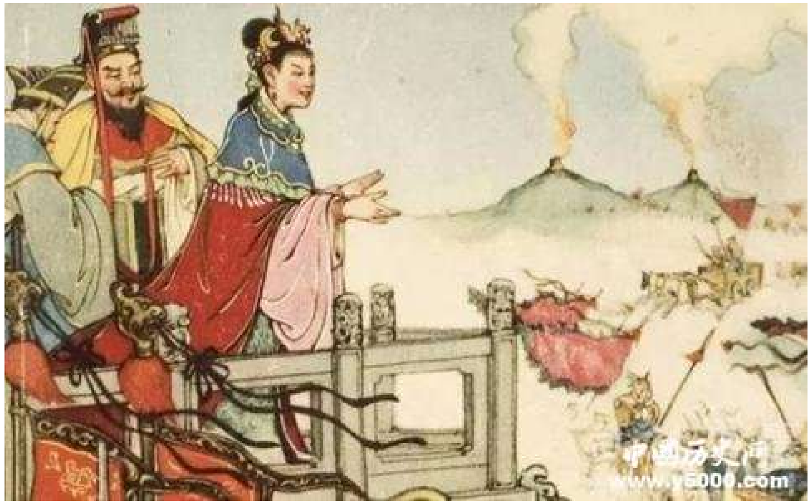
物理现象←→物理规律←→数学工具←→计算机处理

方法论？　精确or近似？　连续or离散？

信号与信号处理的基本概念

信号媒介

➢ 从烽火戏诸侯到大意失荆州



鸣金收兵

摔杯为号

鸿雁传书

信号媒介

信号媒介

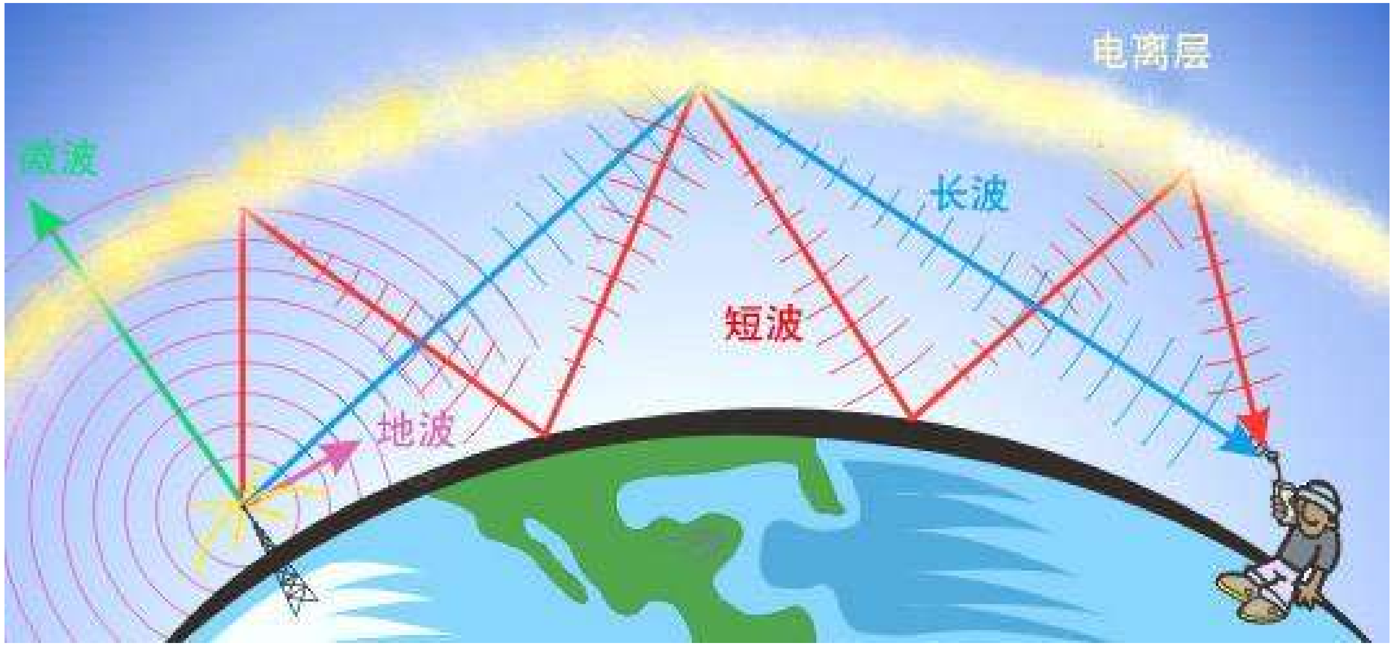
➢ 古代通讯的特点

- 通过人的听觉、视觉，或者外部媒介，例如动物、自然风、水流等
- 不同的通讯方式是为了解决交流的双方在不同空间和不同的时间问题



➢ 现代通讯的特点

- 利用电磁波、声波、光波等信号在媒介中的传递，将编码的信息进行发送和接收。



信号媒介

➢ 信号

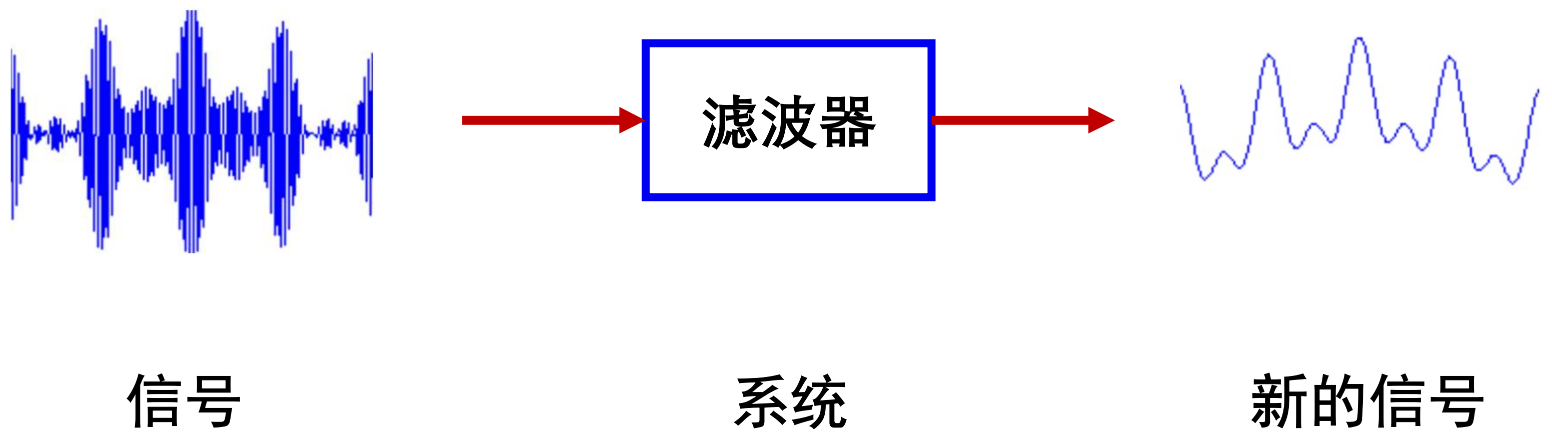
- 信号是人对物理世界的一种观察
- 观察：是人通过传感器对物理世界的一种测量
  - 传感器：把一种物理变化转换成另一种物理变化的装置
  - 测量：用一种物理量来表示另一种物理量

光信号

声信号

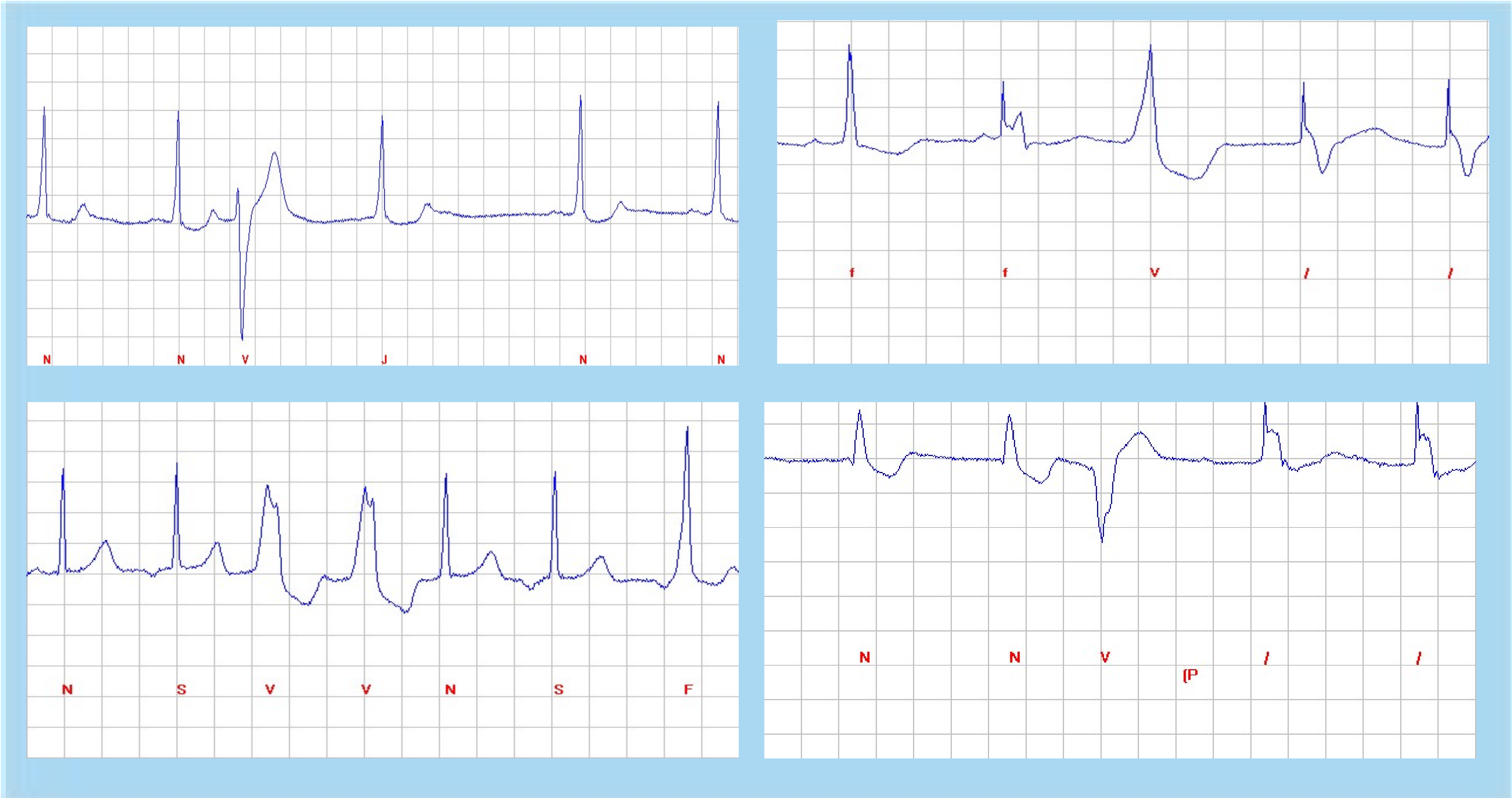
➢ 信号与系统

- 信号：作为一个或多个独立变量函数，包含了有限某些现象性质的信息
- 系统：对给定的信号做出响应而产生出新的信号



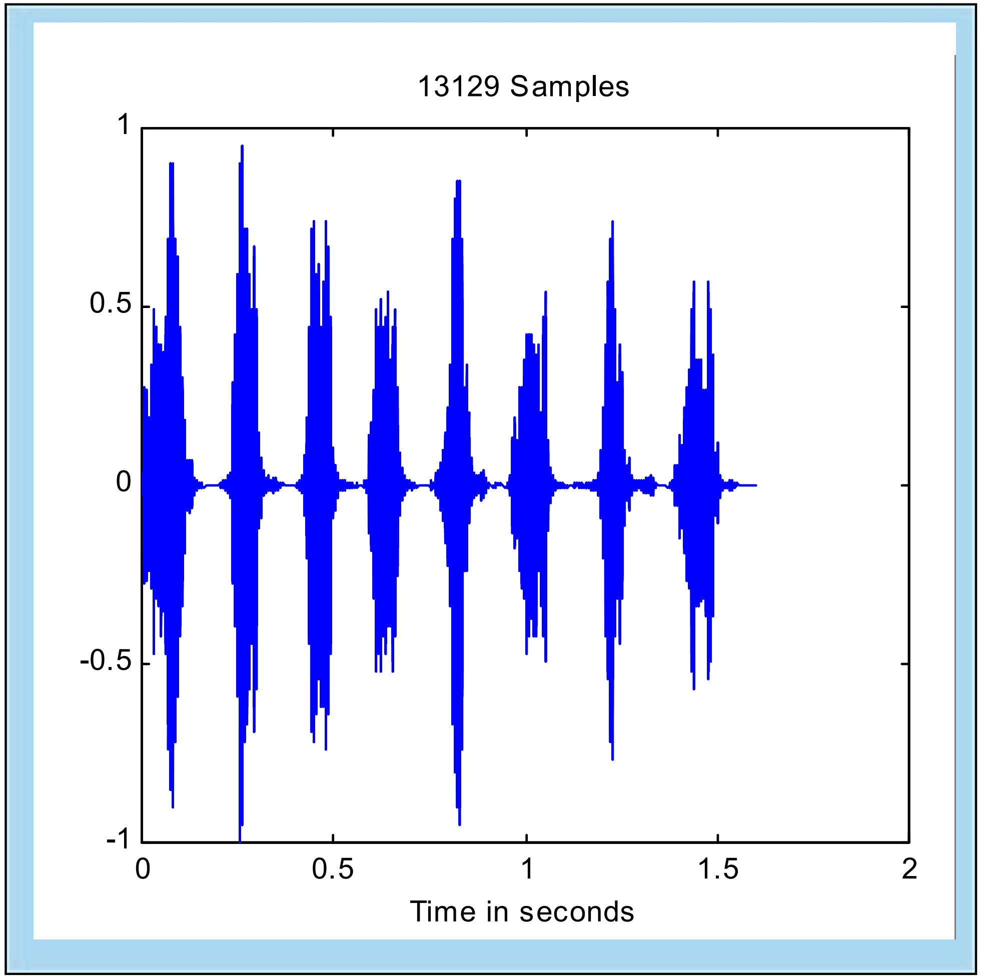
信号媒介

➢ 信号

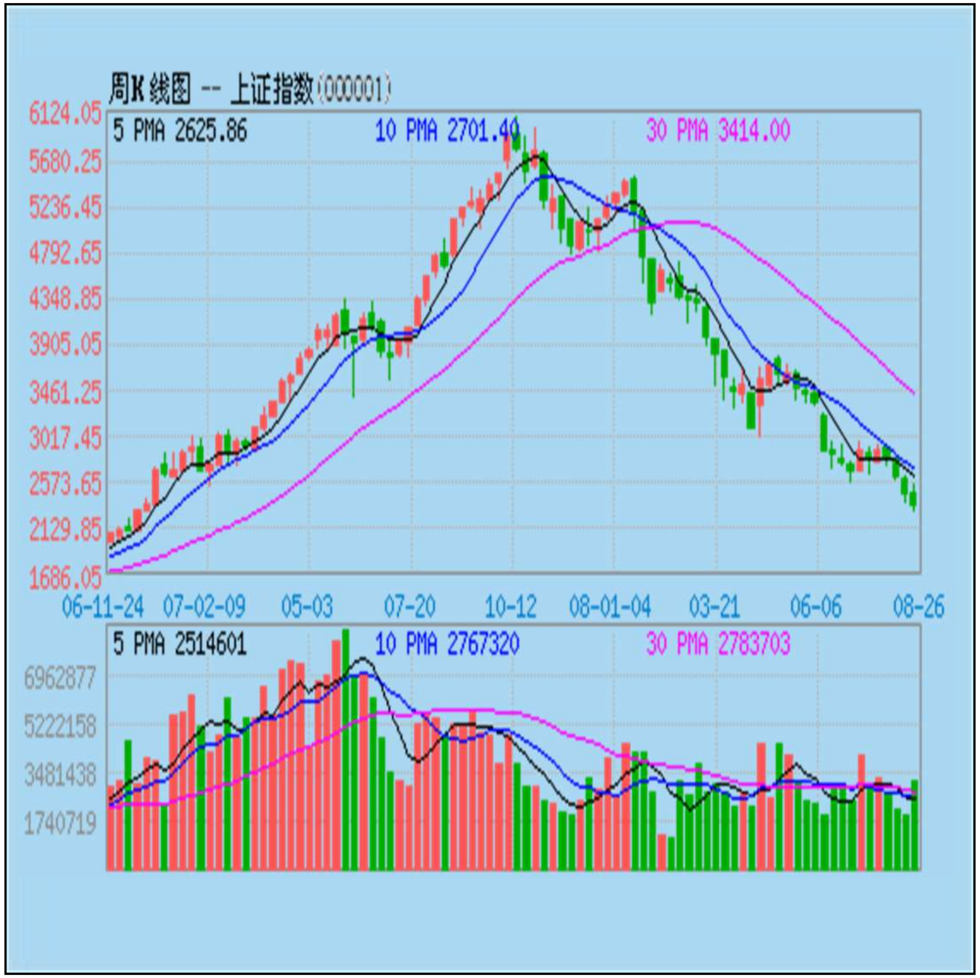


心电图 $f(t)$

➤ 信号



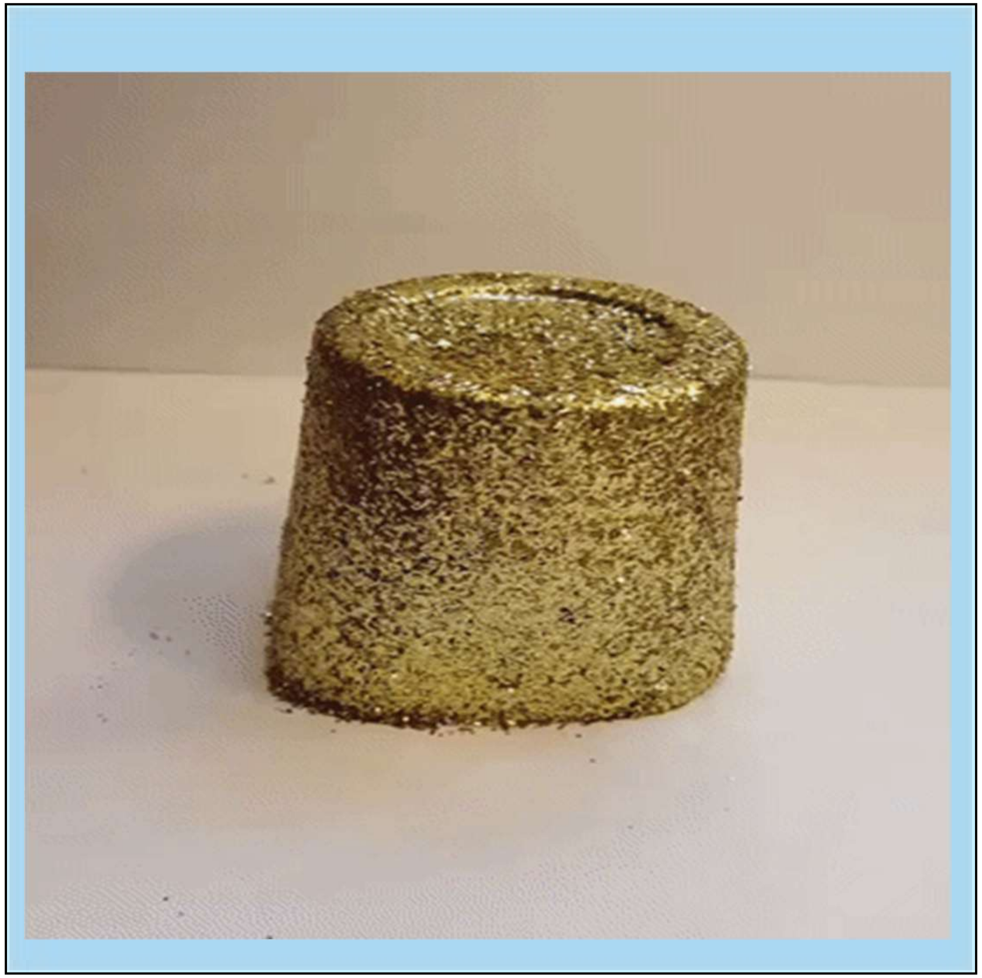
一段鸟鸣的声音的时域波形



股票指数

$$f(t)$$

➢ 信号



二维信号

$I(n,m)$

视频信号

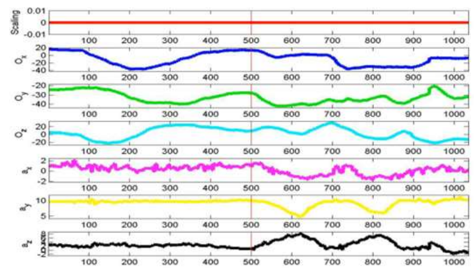
$V(n,m,k)$

信号媒介

➢ 传感器：把一种物理变化转换成另一种物理变化的装置

- 光：
  - 数码相机：光能产生电信号
- 空气振动：
  - 麦克风：空气的振动能产生电信号
- 温度
  - 热敏电阻(阻值随温度变化)
  - 热电偶(对温度反应不同两种金属制成，温差导致电压)

- 加速度传感器
- 压力传感器
- 流量传感器

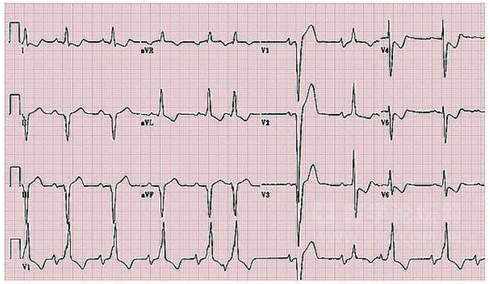


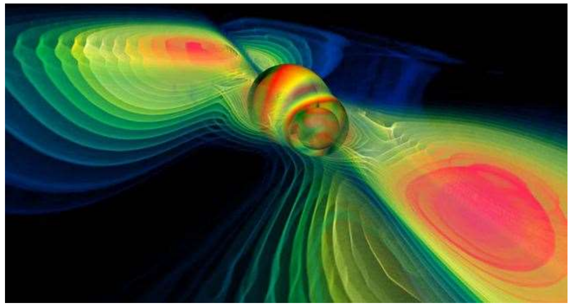
思考：你的手机里有哪些传感器？获取什么信号？

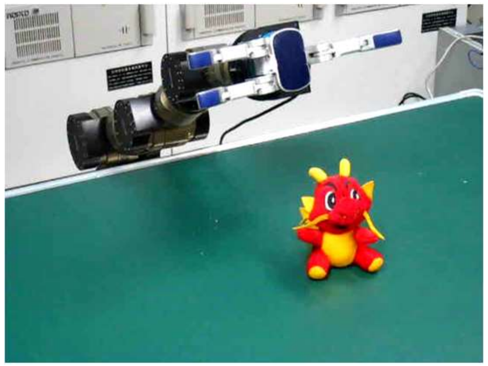
信号媒介

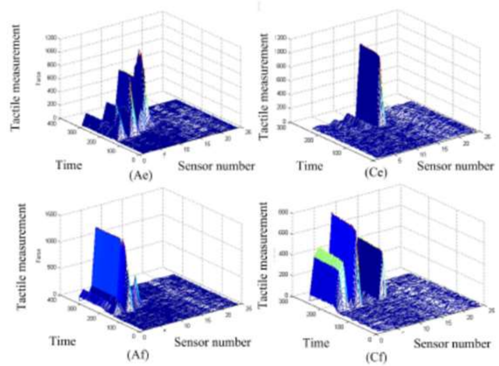
➢ 信号与信息

- 信号是反映（或载有）信息的物理量，是系统直接进行加工、变换以实现通信的对象
- 信号是信息的表现形式，信息则是信号里所蕴含的内容





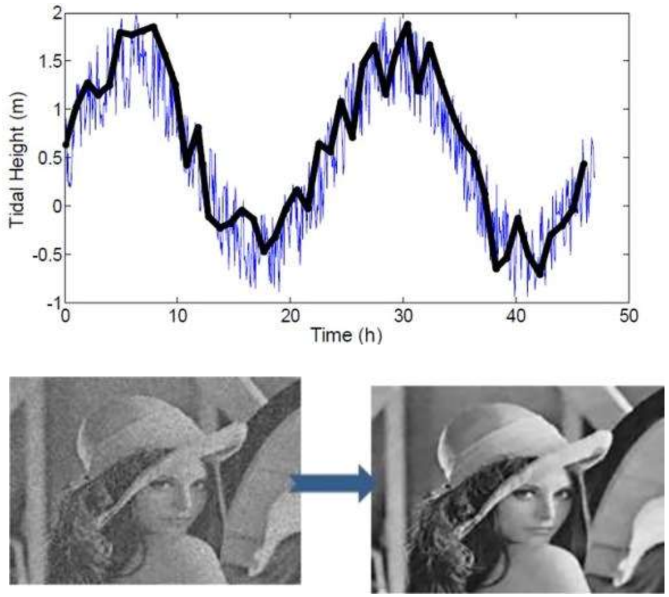




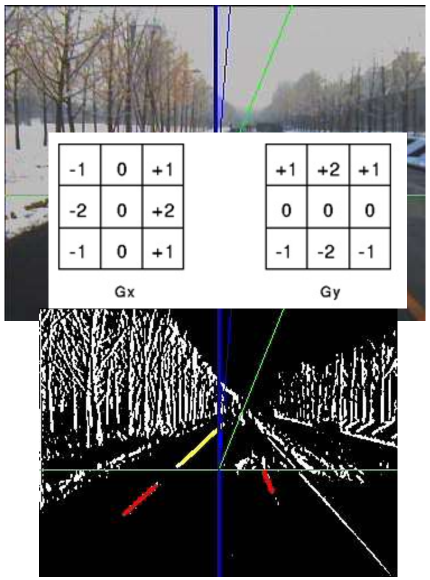
信号媒介

- ➢ 信号处理
  - 对信号进行**表示**、**变换**和**运算**等处理过程的统称。
- ➢ 信号处理的目的

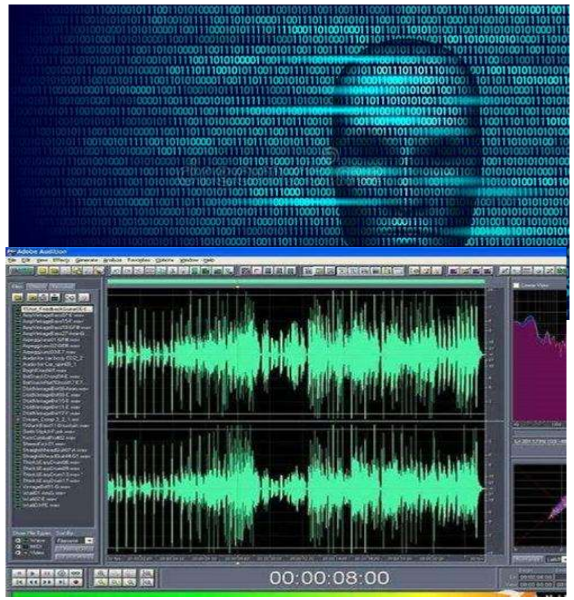
去伪存真



特征抽取

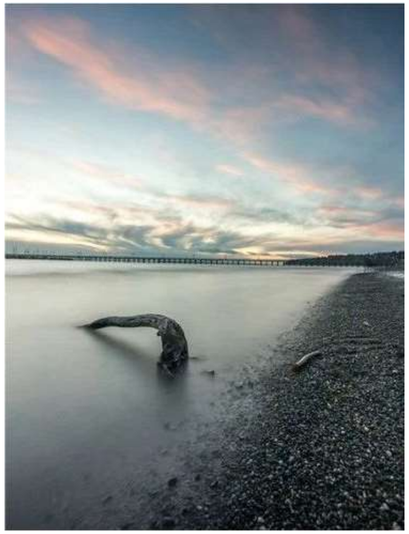


编码解码



➢ 信号处理的“边界”

美颜

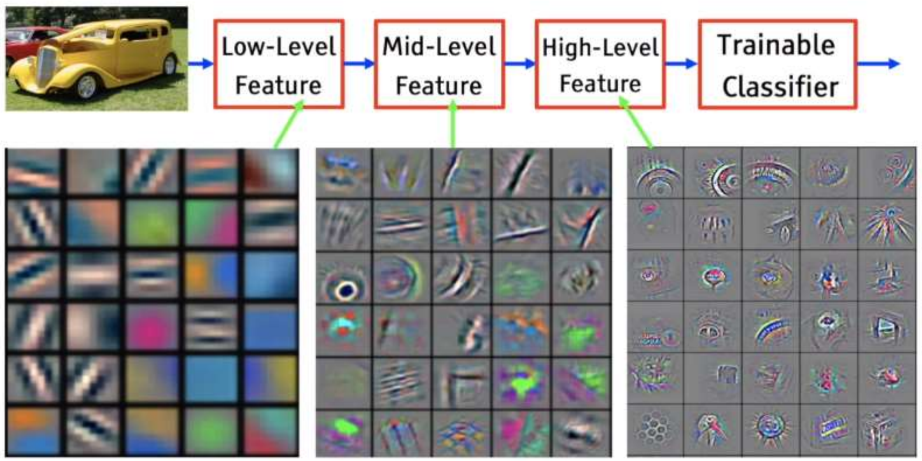


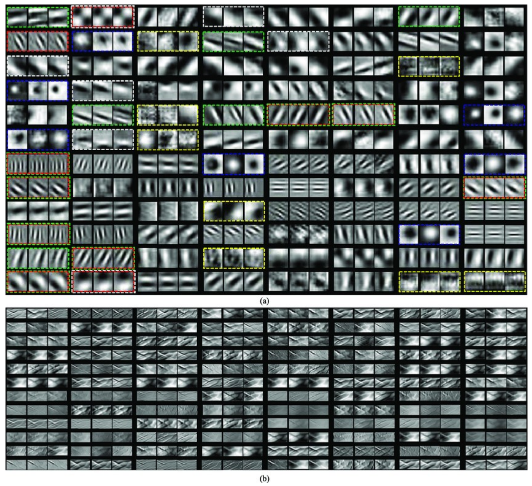
理解

信号媒介

➢ 信号处理的用途

- 通讯
- 人工智能
- 机器人





信号媒介

- 信号处理的用途
  - 蜂窝电话
  - 声纳处理
  - 卫星图像分析
  - 语音识别
  - 语音合成
  - 文字识别
  - 远程医疗监护
  - 数字测绘
  - 条形码阅读
  - 数字摄像机
  - 加密
  - 磁共振成像扫描
  - 高清晰度电视
  - 地震波分析
  - 数字音频
  - 音乐合成

➢ 数字信号处理（DSP）的发展

- 计算机的普及和高速处理能力，引起了数字信号的广泛应用，促进了数字信号技术发展

  – 20世纪60年代，DSP硬件使用分立元件，价格高，体积大

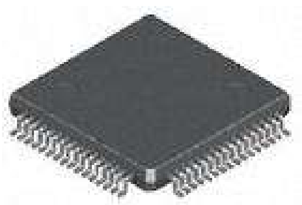
  – 1979年，Intel发明了2920

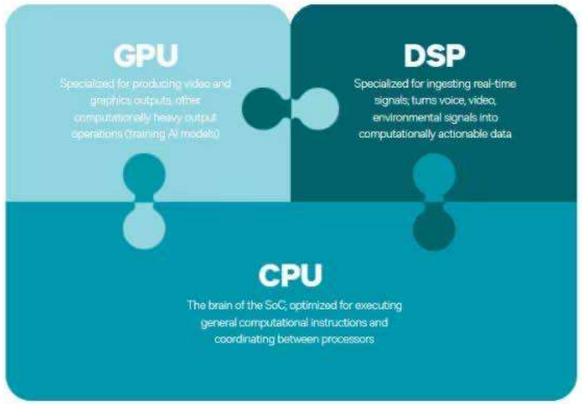
  – 1982年，德州仪器公司投放TMS32010

  – …….

  – 目前，新一代DSP的处理能力是2920的10万倍

  – …….





Tips：上网搜索一下TMS32010的概述

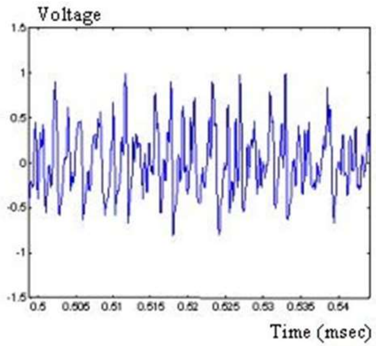
信号的表示

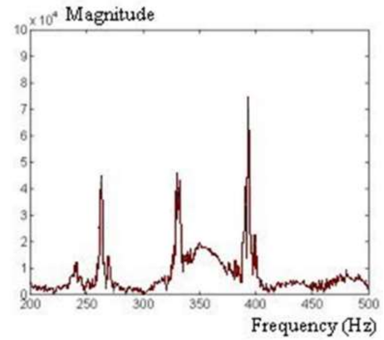
信号的表示

➢ 信号是信息的载体，是信息的物理体现

$$Sa(t) = \frac{\sin t}{t}$$

$$x(n,m) = \sqrt{n^2 + m^2}$$





物理上	数学上	形态上
信号是信息寄寓变化的形式	信号是一个或多个变量的函数	表现为一种波形或图形

信号的表示

1. 数学表达式

使用具体的数学表达式，把信号描述为一个或若干个自变量的函数或序列的形式。

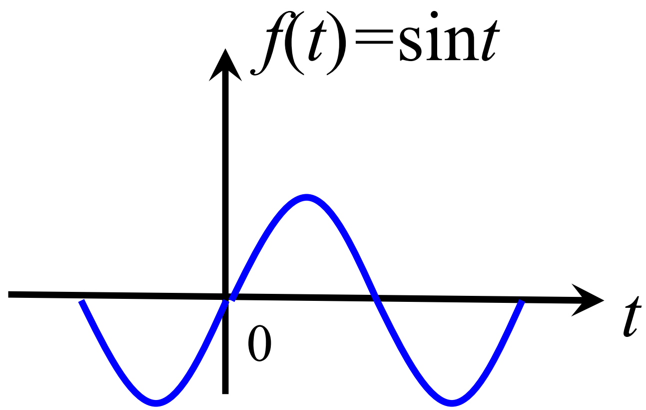
广义：$f(t)$、$x(n)$

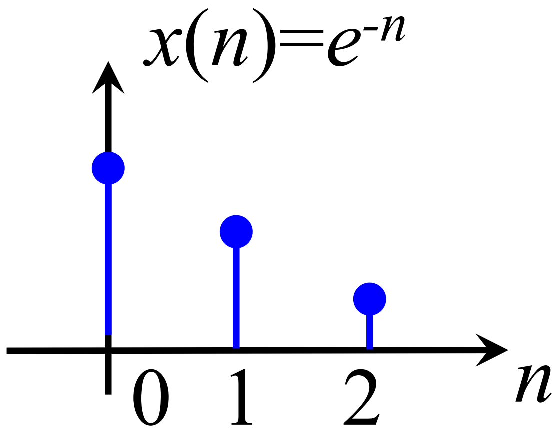
具体：$f(t)=\sin t$、 $x(n)=e^{-n}$

本课程常用“函数”和“序列”来指代“信号”

2. 波形图

- 波形描述
  - 按照函数随自变量的变化关系，把信号的波形画出来。

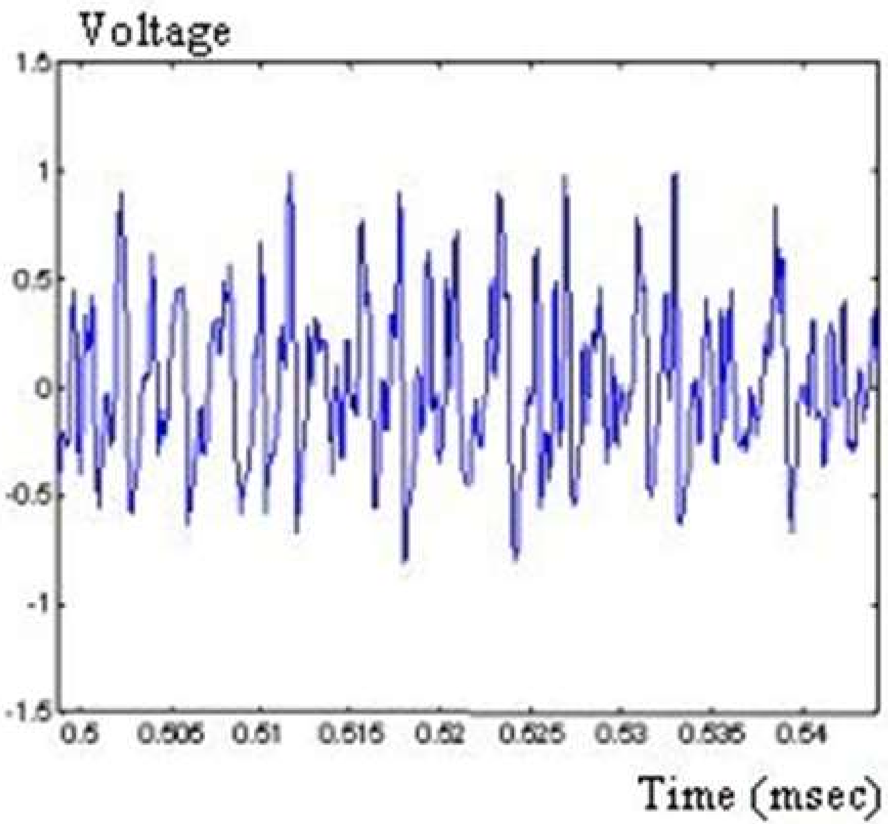


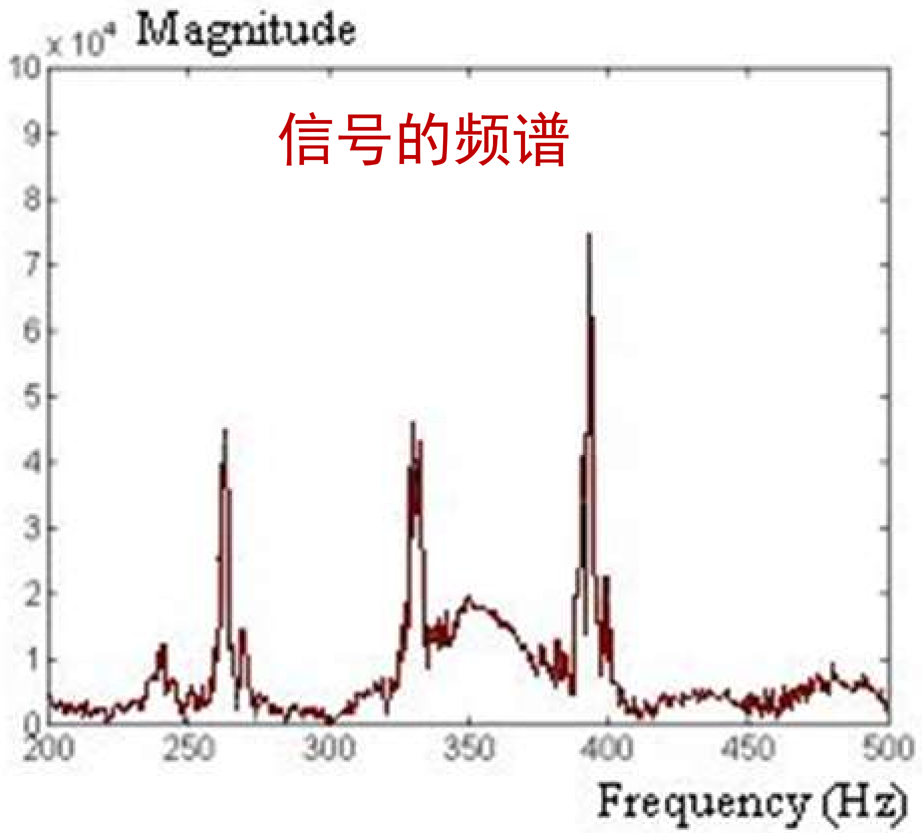


信号的表示

2. 波形图

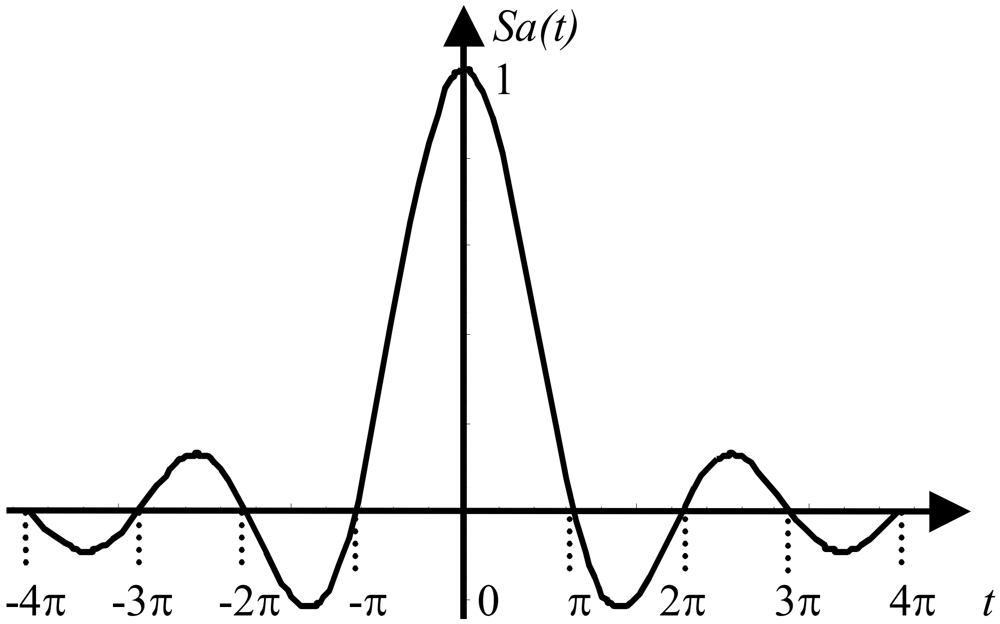
时域波形 VS 频谱图





➢ Sa函数

$$Sa(t) = \frac{\sin t}{t}$$



特点：

(1) Sa函数是偶函数

(2) Sa函数过零点位置 $K\pi(K \neq 0, K\text{为整数})$

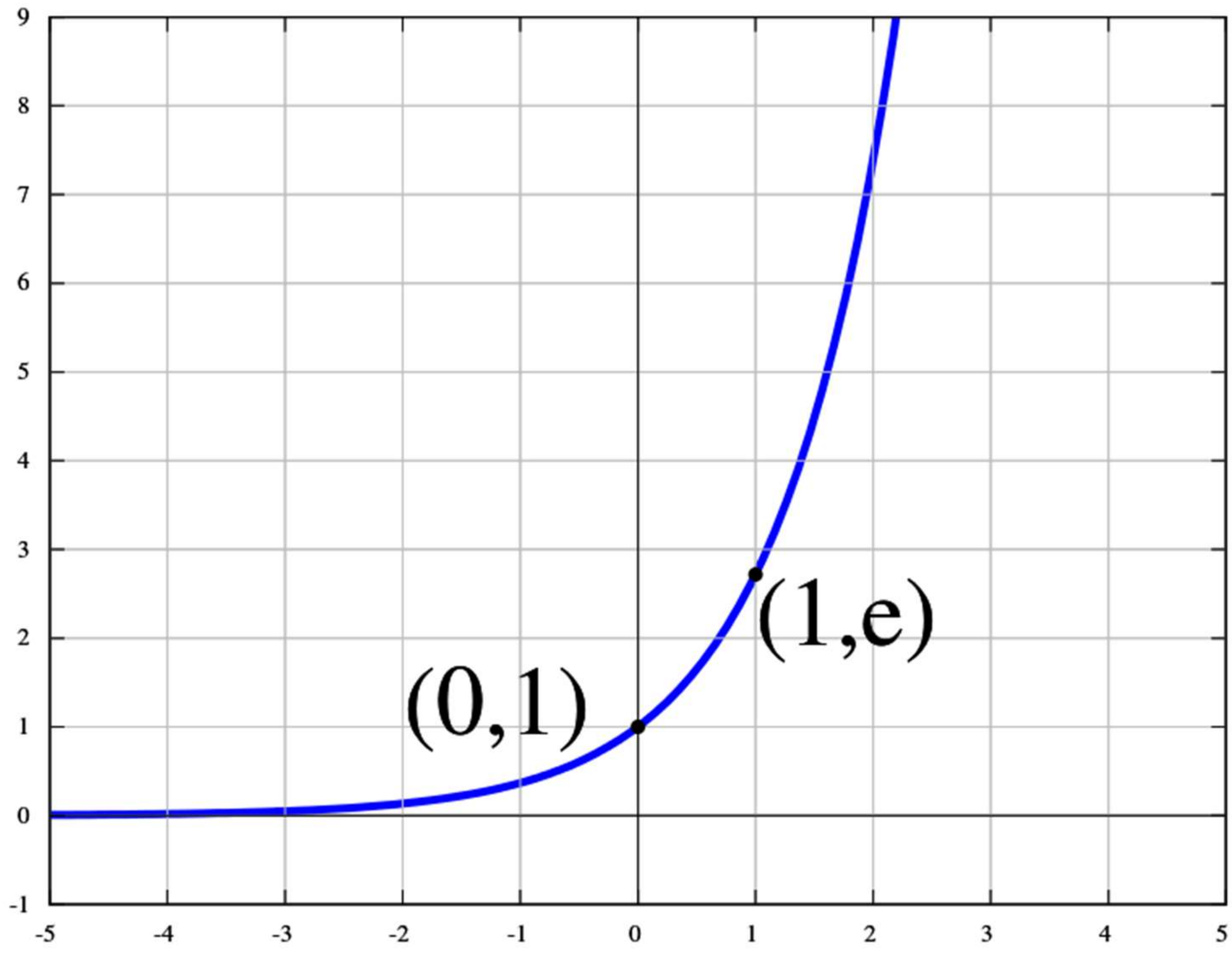
(3) 过零区间：除原点附近的过零区间宽度为2π，其它过零区间宽度均为π

$$\int_{-\infty}^{\infty} Sa(t)dt = \pi \longrightarrow \int_{-\infty}^{0} Sa(t)dt = \int_{0}^{\infty} Sa(t)dt = \frac{\pi}{2}$$

信号的表示——典型信号

➢ 指数信号

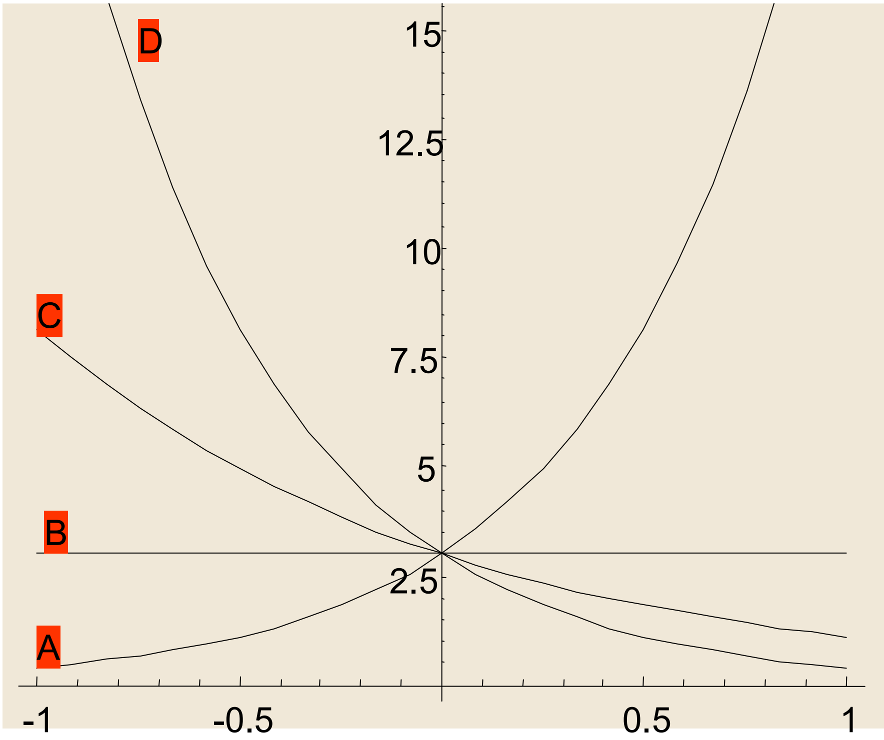
$$f(t) = e^t$$



信号的表示——典型信号

➢ 指数信号

$$f(t) = Ke^{\alpha t}$$



参数α

符号
- 正号　信号增强A
- 0　直流信号B
- 负号　信号衰减CD

绝对值
- 大　变化速度快D
- 小　变化速度慢C

指数信号微分或积分后还是指数信号

信号的分类

信号的分类

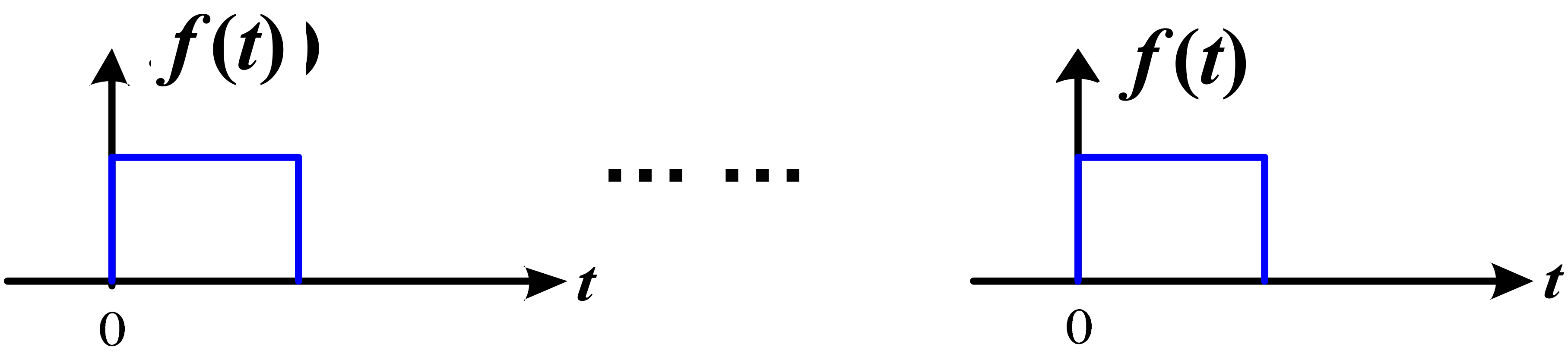
1. 按分布性质——按时间函数的确定性划分

确定性信号

对该信号重复观测，结果相同。

——每一确定时刻的值是完全确定的，

（可用确定的时间函数表示）。



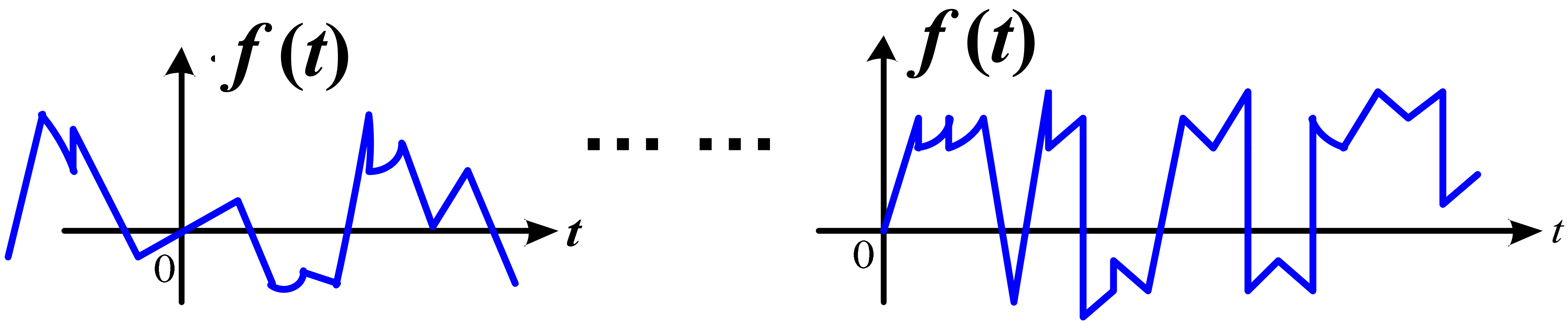
信号的分类

1. 按分布性质——按时间函数的确定性划分

随机性信号（Random Signal）

对该信号重复观测，结果不同。

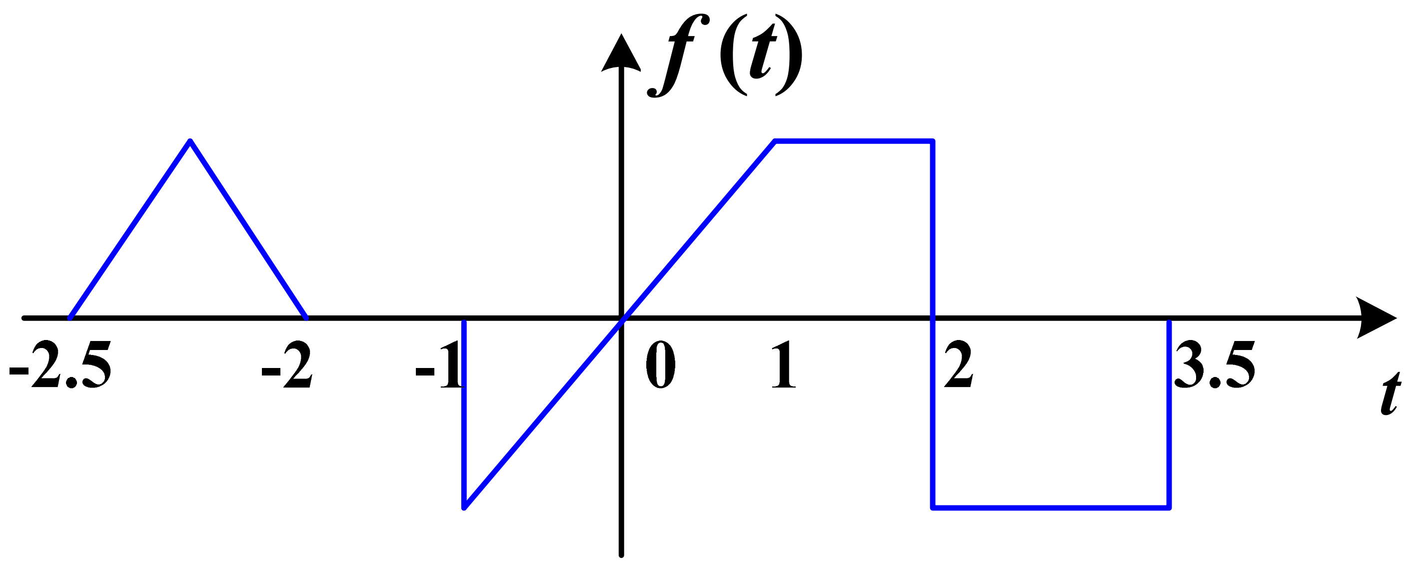
——每一确定时刻的值分布是服从某一概率分布。



信号的分类

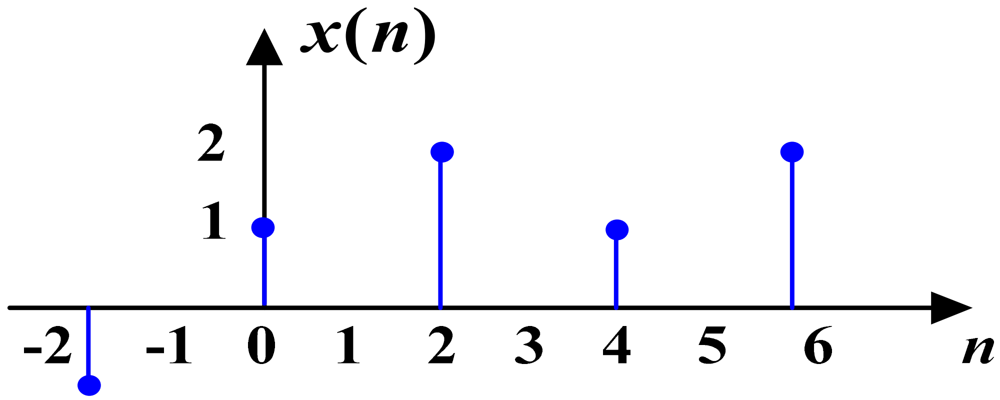
2. 连续时间信号和离散时间信号

连续时间信号（Continuous-Time Signal）：指在所讨论的时间间隔内，除若干个第一类间断点外，对于任意时刻值都可给出确定的函数值，此类信号称为连续信号，通常用$f(t)$表示。



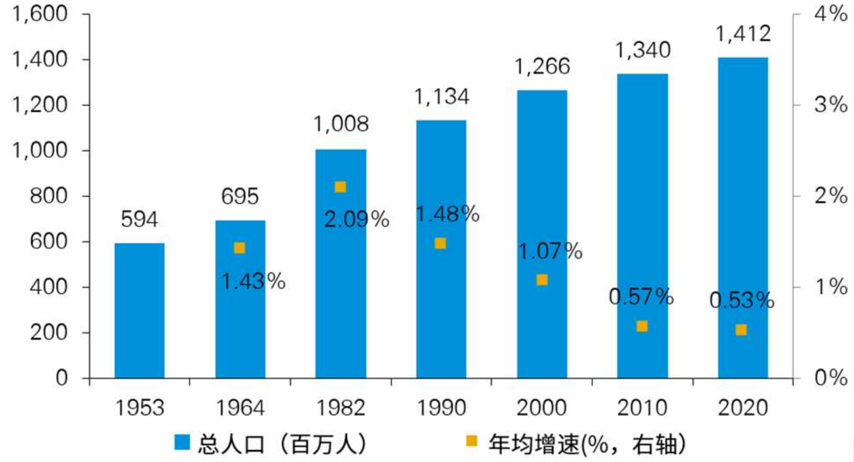
2. 连续时间信号和离散时间信号

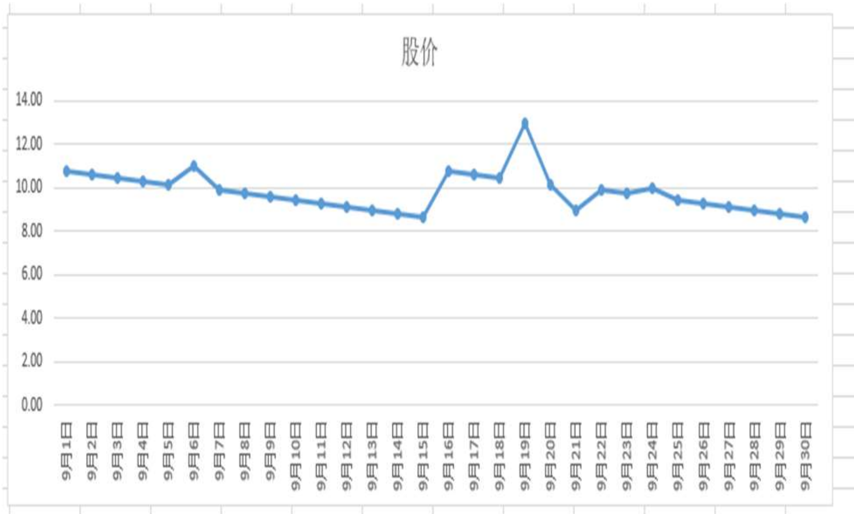
离散时间信号（Discrete-Time Signal）：指在所讨论的时间区间，只在某些不连续规定的时刻给出函数值，而在其它时刻没有给出函数。通常用$x(nT)$ 表示，简写$x(n)$。



信号的分类

2. 连续时间信号和离散时间信号





3. 因果信号与非因果信号

因果信号（causal signal）

非因果信号（noncausal signal）

If $t<0$ $f(t)\equiv 0$ **or** $n<0$ $x(n)\equiv 0$

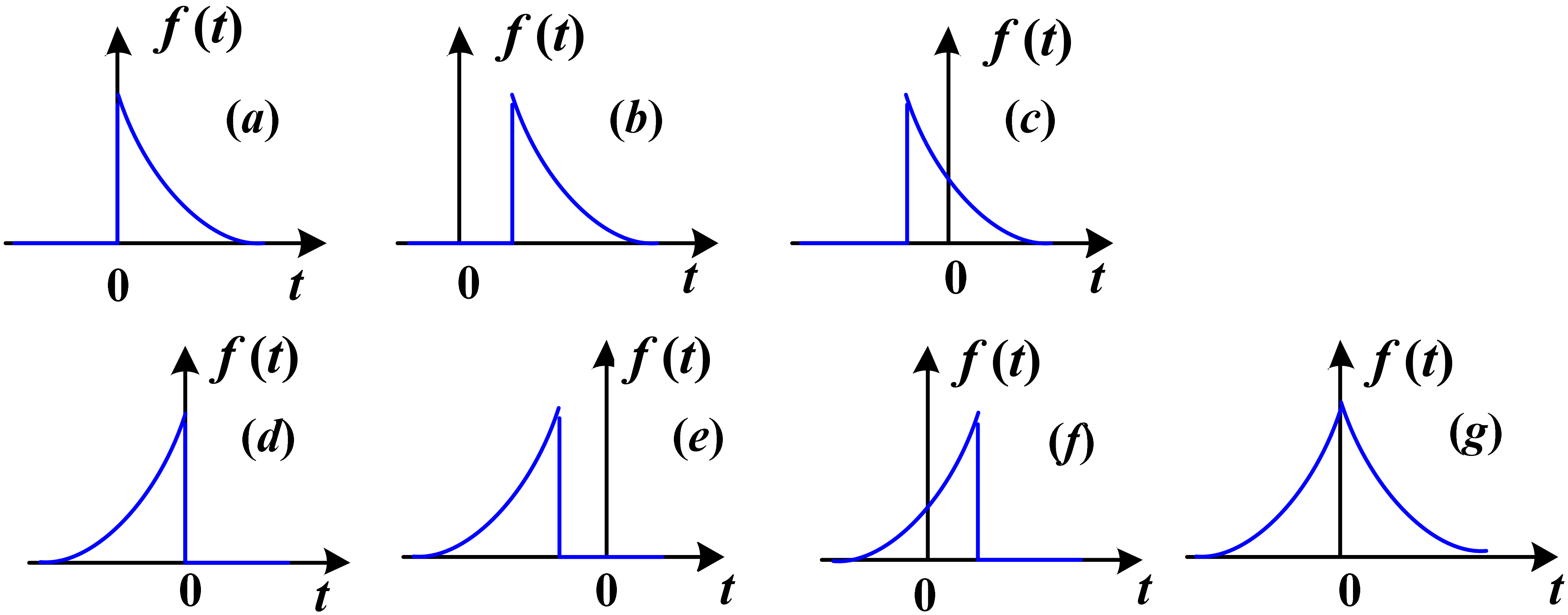
then $f(t)$ / $x(n)$ **is** **causal signal**

else $f(t)$ / $x(n)$ **is** **noncausal signal**

反因果信号(anticausal signal)

$t>0$时 $f(t)\equiv 0$ **or** $n>0$时 $x(n)\equiv 0$

信号的分类

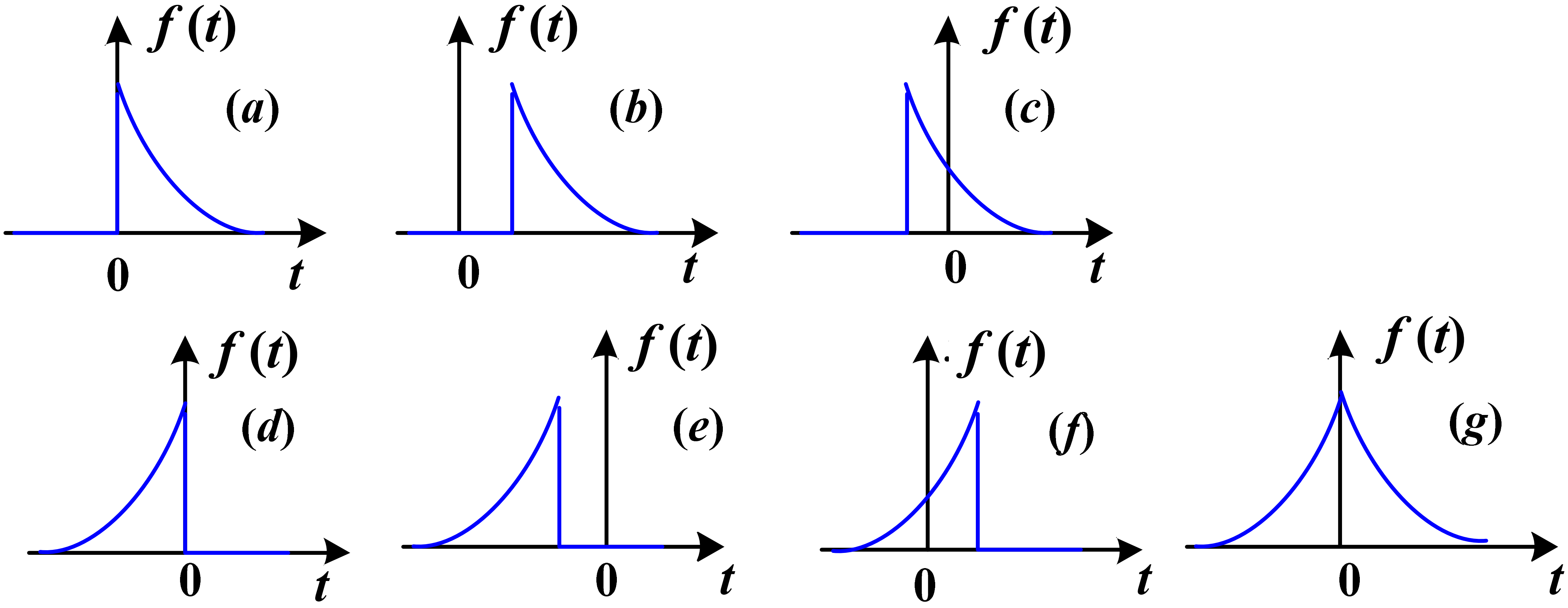


因果信号: $(a)(b)$

非因果信号: $(c)(d)(e)(f)(g)$

反因果信号: $(d)(e)$

信号的分类



右边信号: $t<t_0$ $f(t)\equiv 0$ 或 $n<n_0$ $x(n)\equiv 0$ $(a)(b)(c)$

左边信号: $t>t_0$ $f(t)\equiv 0$ 或 $n>n_0$ $x(n)\equiv 0$ $(d)(e)(f)$

双边信号: (g)

信号的分类

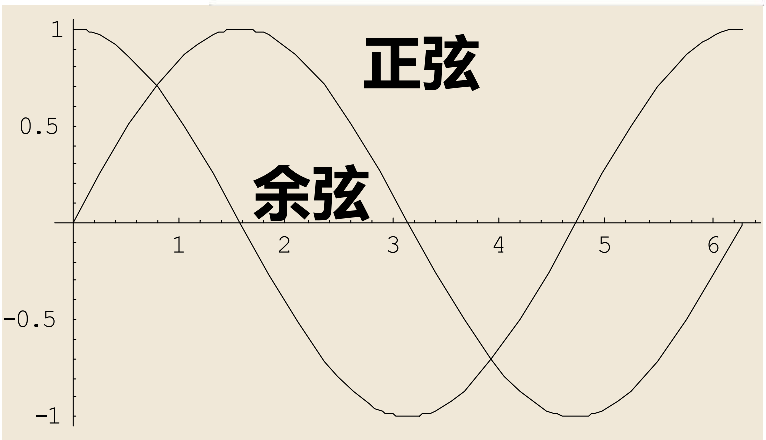
4. 周期信号和非周期信号

周期信号（Periodic Signal）

非周期信号（Aperiodic Signal）

正弦信号 $$f(t) = K\sin(\omega t + \theta)$$

余弦信号 $$f(t) = K\cos(\omega t + \theta)$$



说明：

(1) K为振幅

(2) ω为角频率

(3) θ为初相位

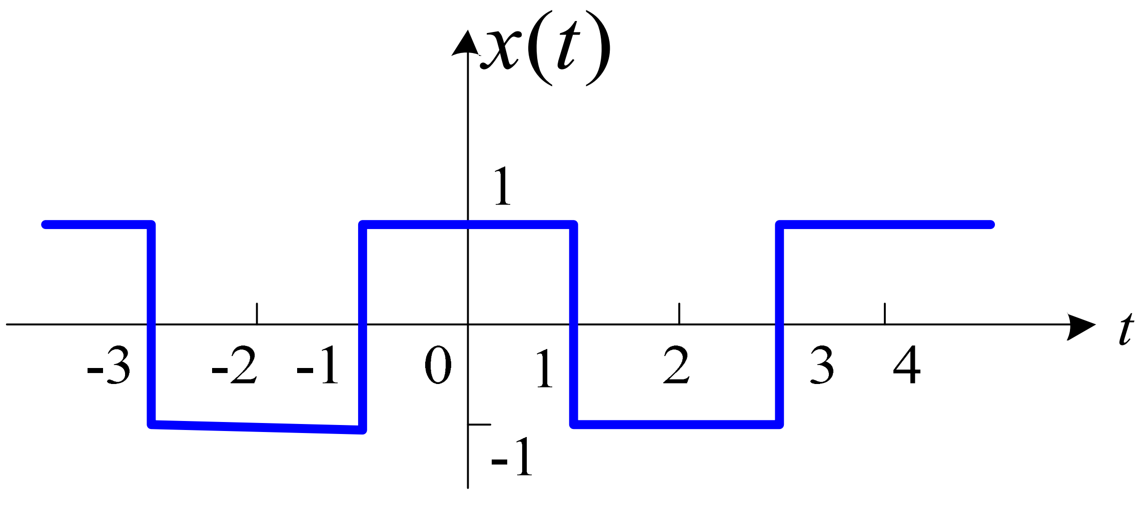
非周期信号可以视为是周期无穷大的周期信号

4. 周期信号和非周期信号

连续周期信号

$$\forall t \in (-\infty, +\infty) \qquad f(t+mT) = f(t) \qquad m = 0, \pm 1, \cdots$$

满足上式**最小正数**T称为基本周期，简称周期

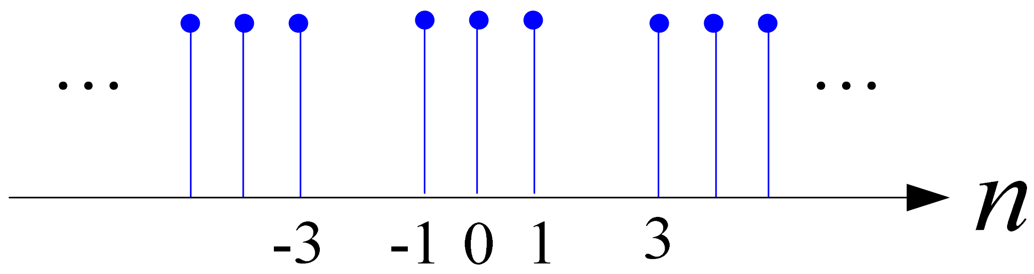


4. 周期信号和非周期信号

离散周期信号

$$\forall n \in (-\infty, +\infty) \qquad x(n+mN) = x(n) \qquad m = 0, \pm 1, \cdots$$

满足上式**最小正整数**N称为基本周期，或周期



5. 实值信号与复值信号

如果信号的取值是实数，

则称为实值信号，简称**实信号**。

$$Sa(t) = \frac{\sin t}{t}$$

如果信号的取值是复数，

则称为复值信号，简称**复信号**。

$$Ke^{\sigma t} \cdot (\cos \omega t + j \sin \omega t)$$

信号的分类——小结

1. 确定信号和随机信号
2. 连续时间信号和离散时间信号
3. 因果信号与非因果信号
4. 周期信号和非周期信号
5. 实信号和复信号
6. 能量信号和功率信号
7. 对称信号与非对称信号
8. 一维信号和多维信号

……

信号的基本运算

信号的基本运算

- 常规运算
  - 线性运算
  - 乘除运算
- 数学运算
  - 微分运算
  - 积分运算
- 波形变换
  - 时移运算
  - 反褶运算
  - 压扩运算
- 相互运算
  - 卷积运算
  - 相关运算

信号的基本运算

➢ 四则运算

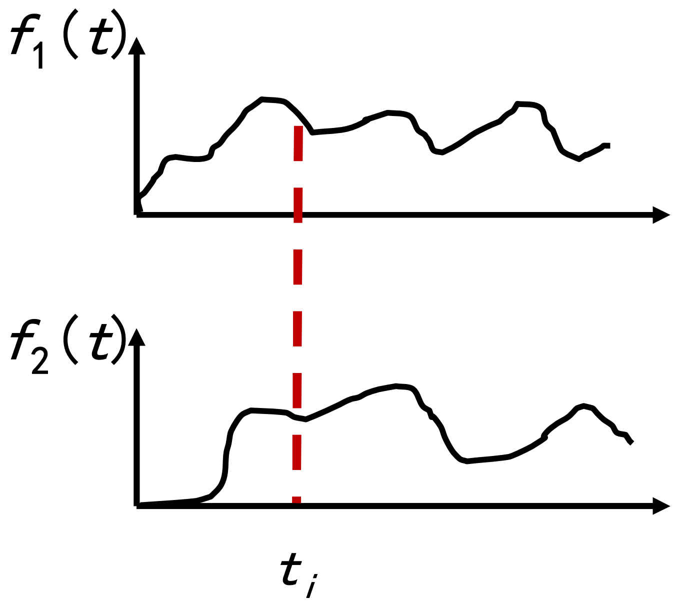
四则运算后的信号在任意一点的取值定义为原信号在同一点处函数值作相同四则运算的结果。

$f_1(t) + f_2(t) \Rightarrow f_1(t_i) + f_2(t_i)$

$f_1(t) - f_2(t) \Rightarrow f_1(t_i) - f_2(t_i)$

$f_1(t) \bullet f_2(t) \Rightarrow f_1(t_i) \bullet f_2(t_i)$

$f_1(t) / f_2(t) \Rightarrow f_1(t_i) / f_2(t_i)$

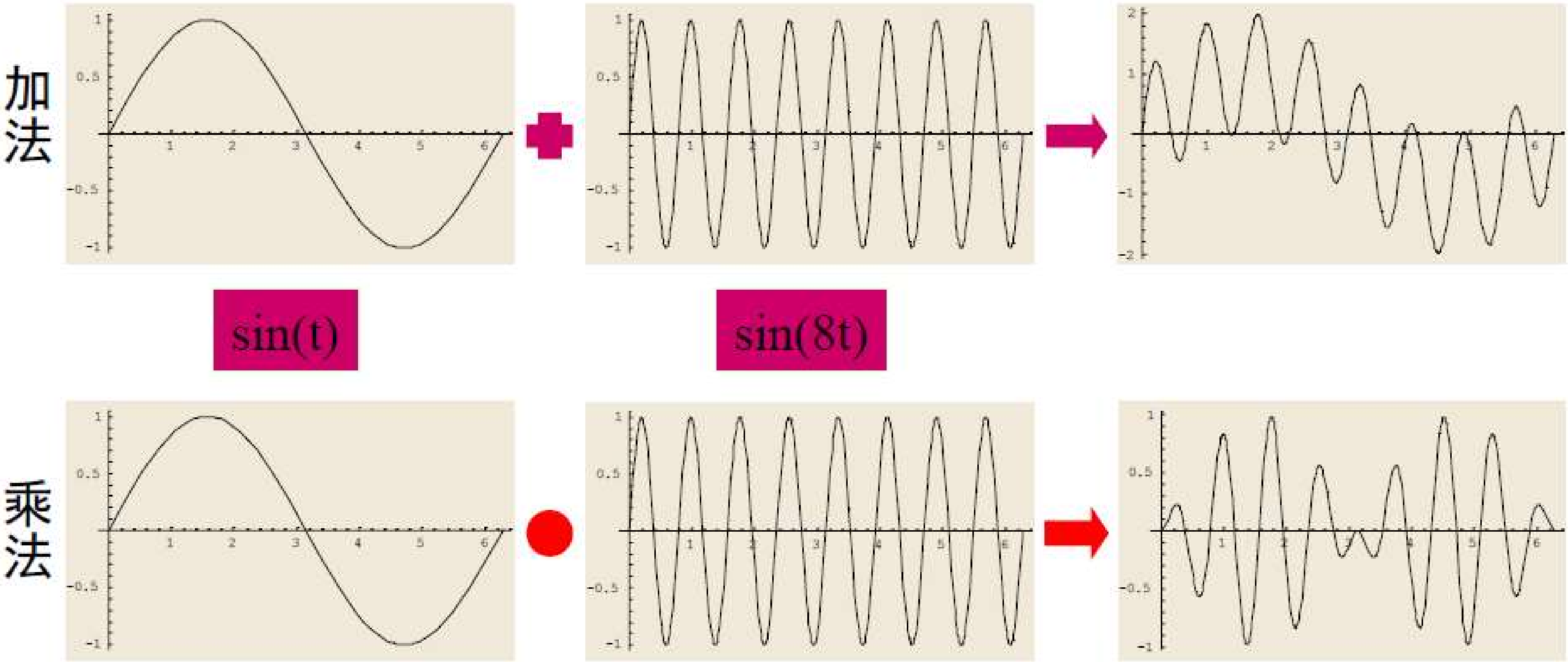


注意：乘法不能用星号*表示（因为*表示卷积运算）

计算机专业尤其应注意这一区别

信号的基本运算

➢ 四则运算

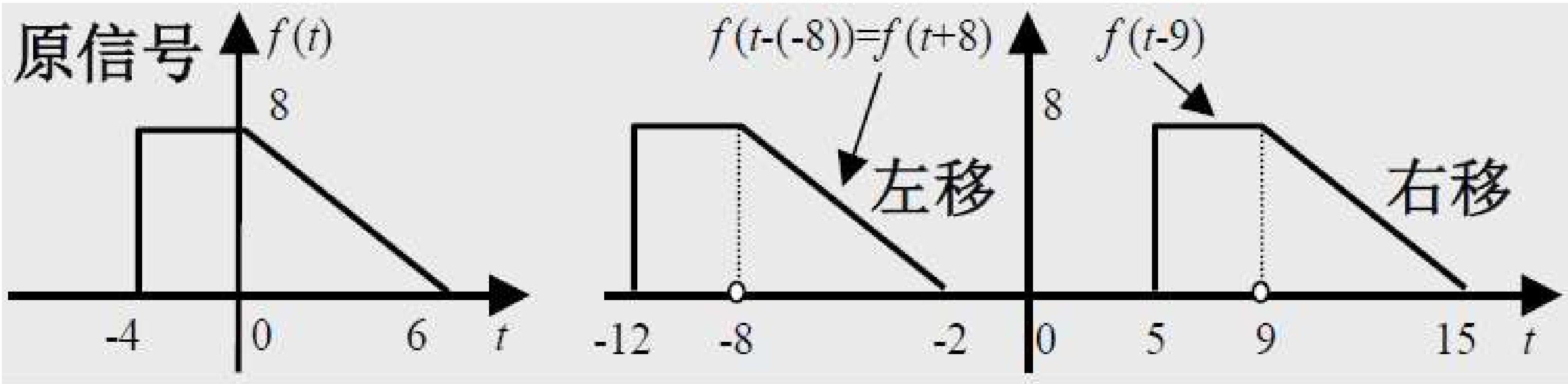


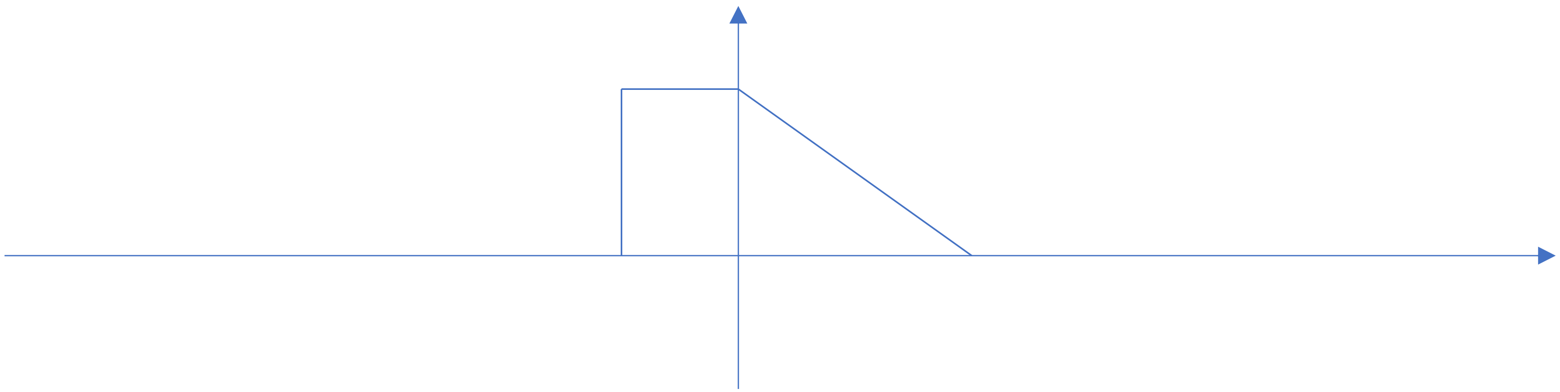
信号的基本运算

- 常规运算
  - 线性运算
  - 乘除运算
- 数学运算
  - 微分运算
  - 积分运算
- 波形变换
  - 时移运算
  - 反褶运算
  - 压扩运算
- 相互运算
  - 卷积运算
  - 相关运算

信号的基本运算

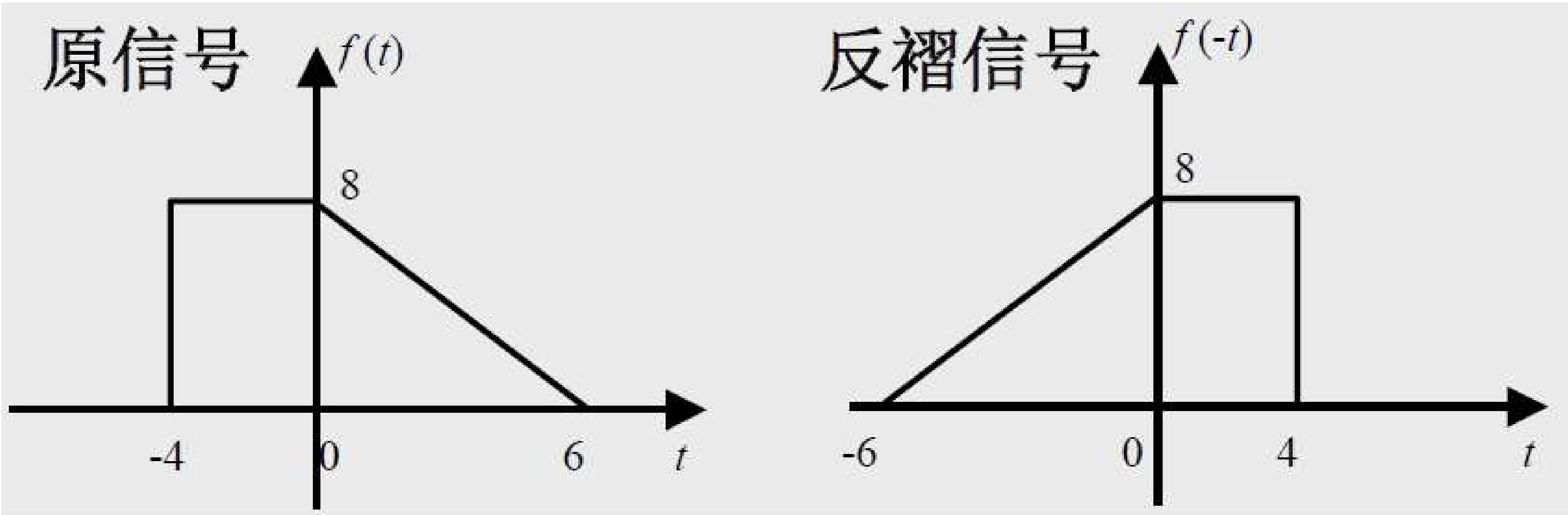
➢ 时移运算



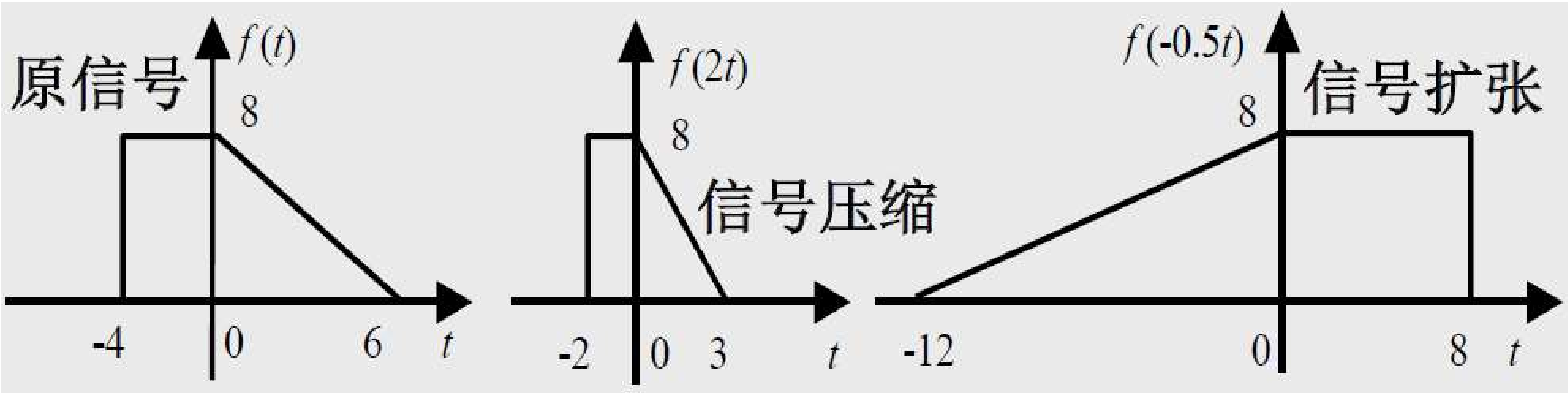


信号的基本运算

➢ 反褶运算



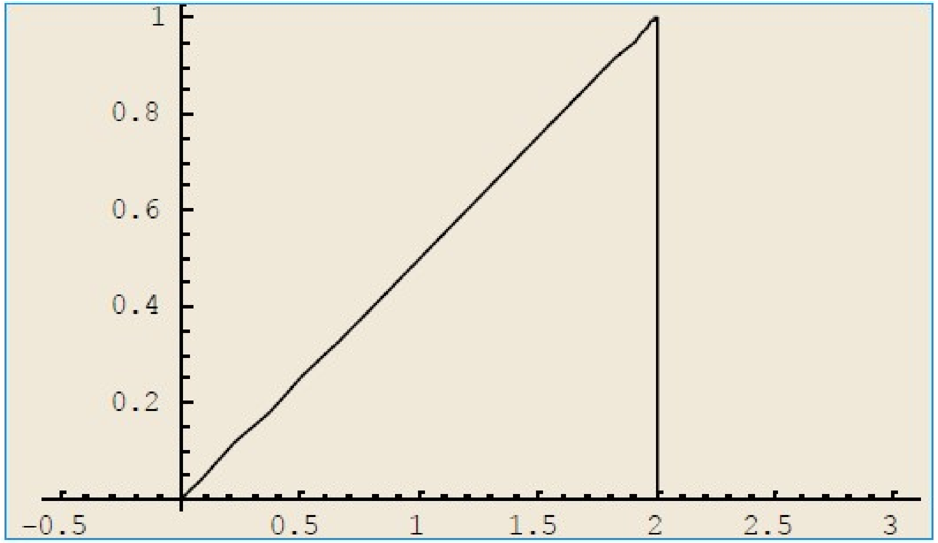
- 压扩运算



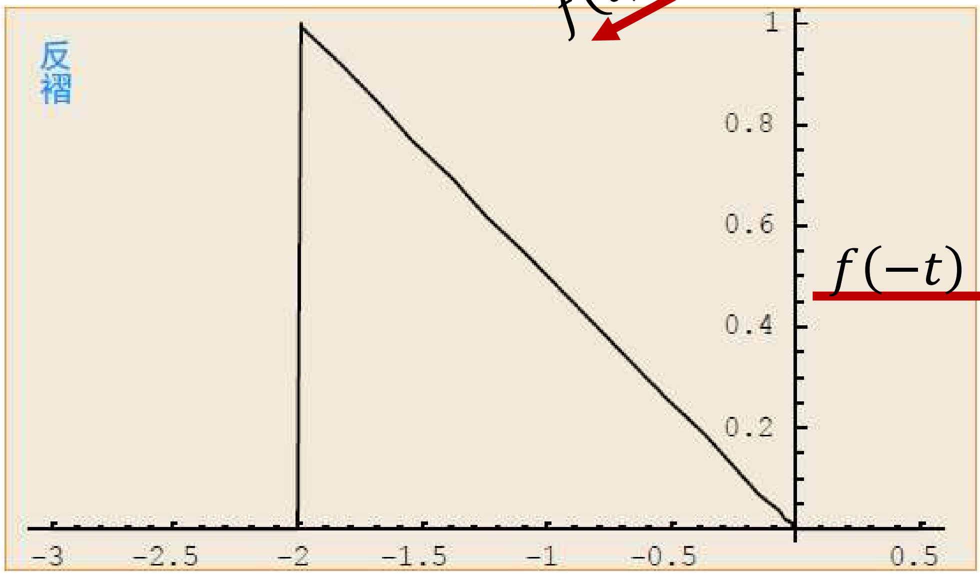
信号的基本运算

➢ 波形变换例子

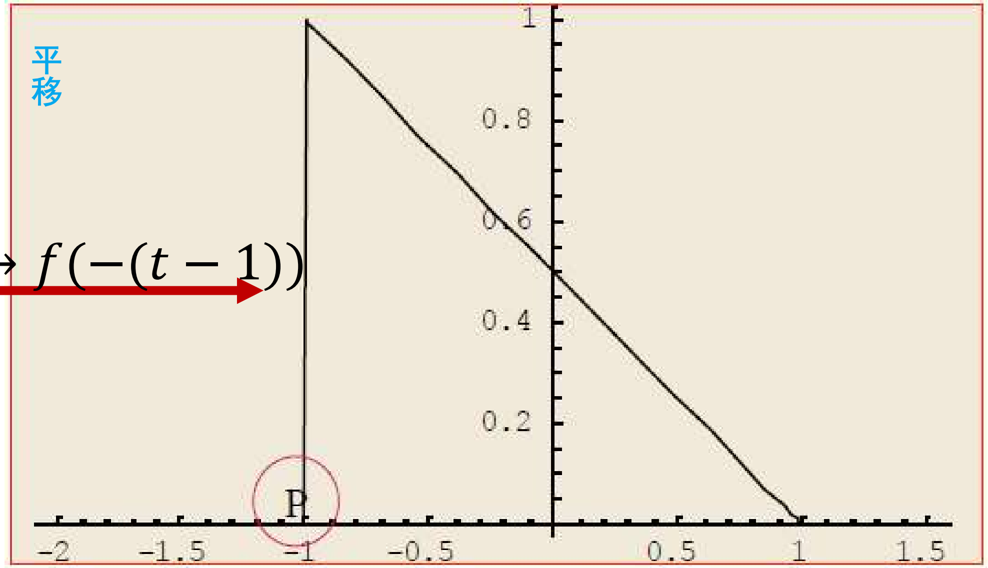
$$f(t) \to f(1 - t)$$



$f(t) \to f(-t)$



$f(-t) \to f(-(t-1))$



信号的基本运算

常规运算
- 线性运算
- 乘除运算

数学运算
- 微分运算
- 积分运算

波形变换
- 时移运算
- 反褶运算
- 压扩运算

相互运算
- 卷积运算
- 相关运算

信号的基本运算

➢ 微分与积分

$f(t)$

微分运算 → $\frac{d}{dt}[f(t)]$ 描述变化现象 图像边缘提取

积分运算 → $\int_{-\infty}^{t} f(t)\,dt$ 描述累积现象 充电过程

连续进行 →

连续n次微分

$$\left(\frac{d}{dt}\right)^n$$

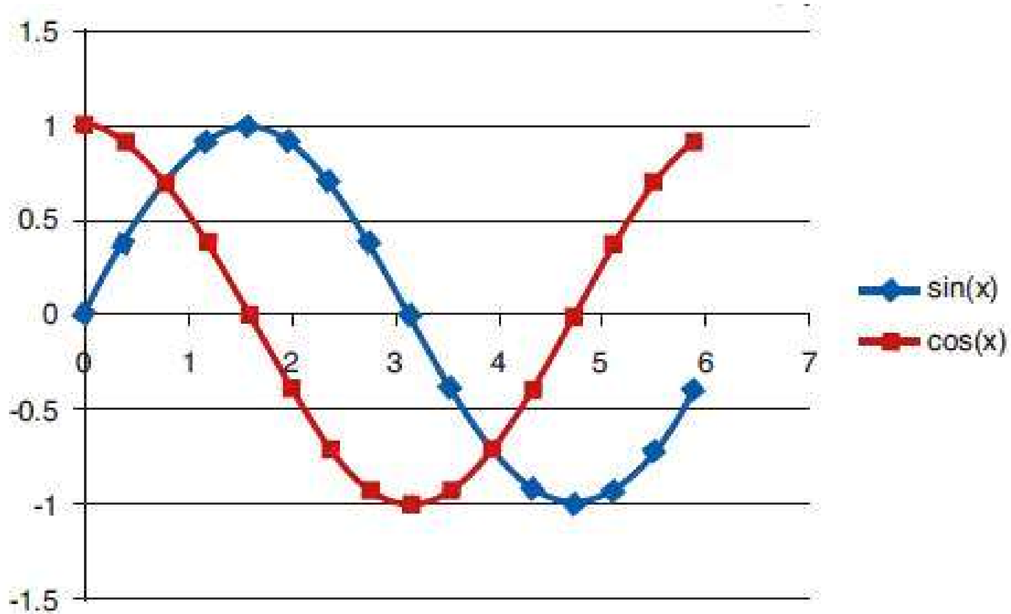
连续n次积分

$$\left(\int_{-\infty}^{t} dt\right)^n$$

信号的基本运算

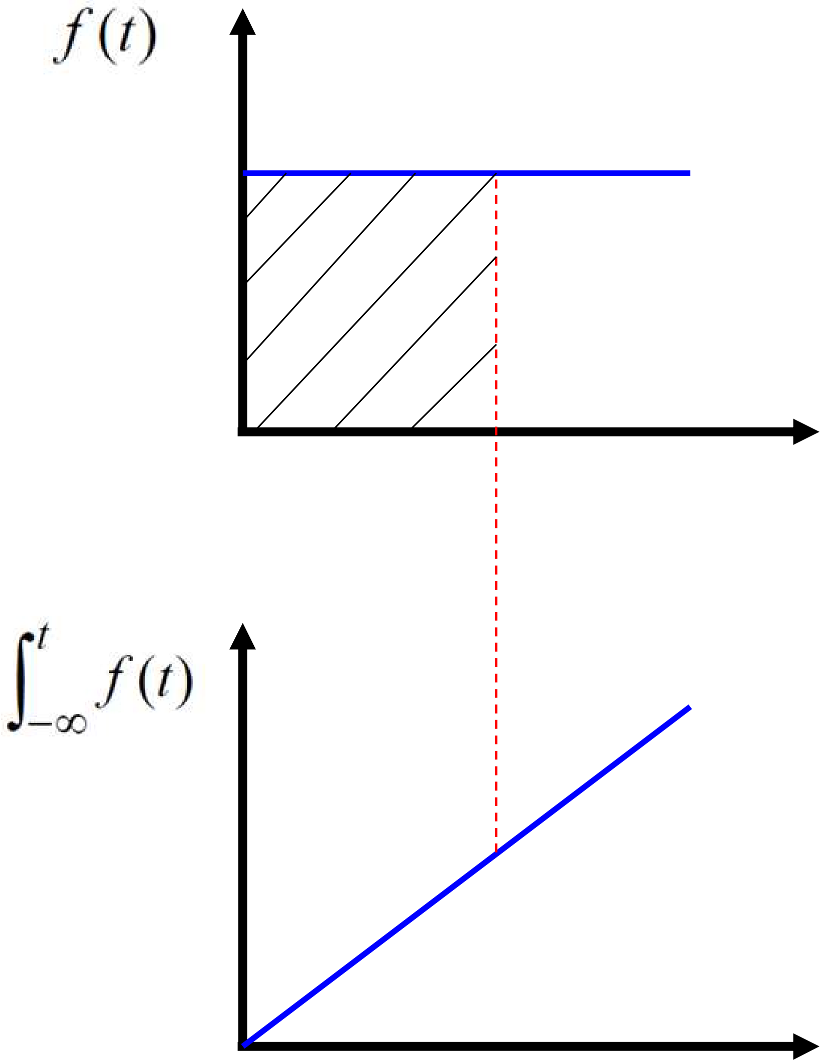
➢ 信号的微分

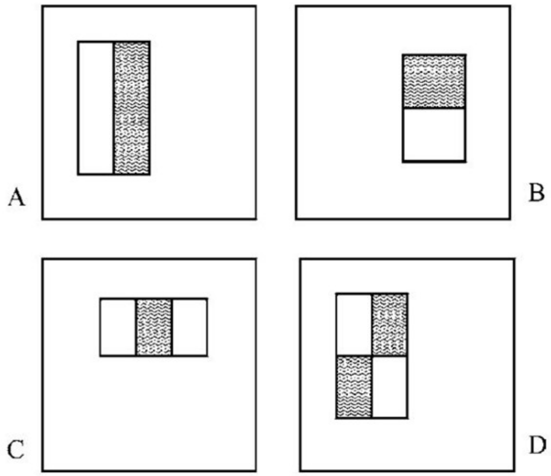
$$\frac{d}{dt}\left[f(t)\right]$$

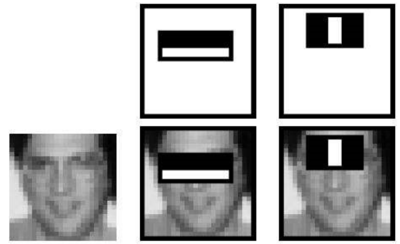


信号的基本运算

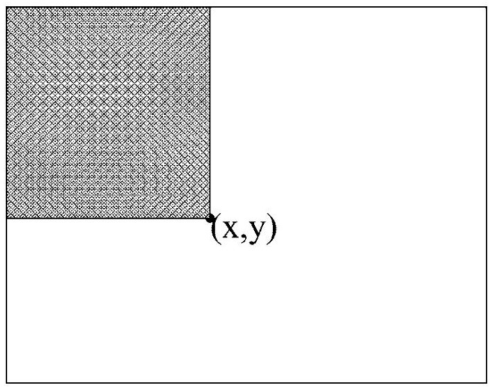
➢ 信号的积分



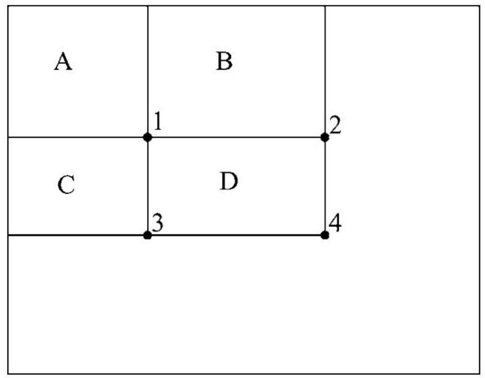




Harr小波



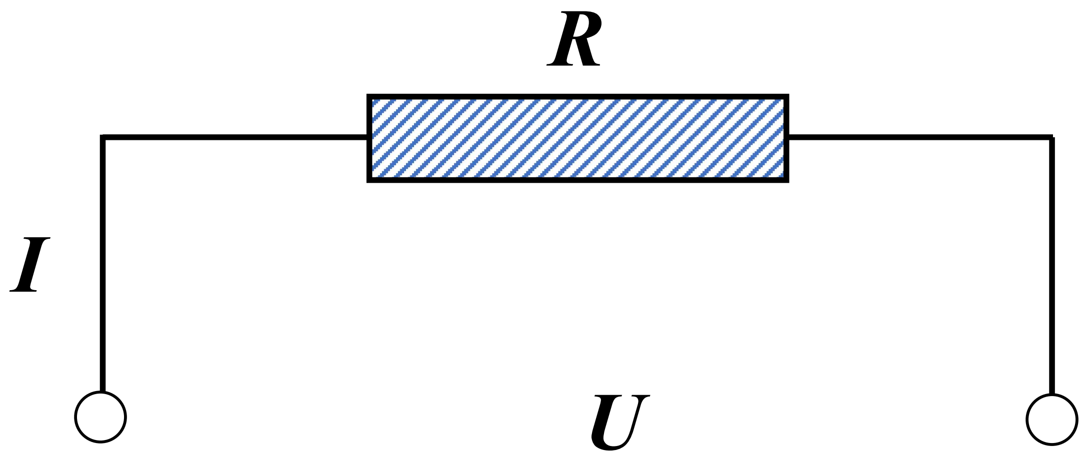
积分图



4-2-3+1

➢ 能量信号与功率信号

- 功率



瞬时功率 $P(t) = U(t)I(t) = I(t)^2 R = U(t)^2 / R$

能量 $\int_{t_1}^{t_2} P(t)dt = \frac{1}{R}\int_{t_1}^{t_2} U^2(t)dt$

平均功率 $\frac{1}{t_2 - t_1}\int_{t_1}^{t_2} P(t)dt = \frac{1}{R}\cdot\frac{1}{t_2 - t_1}\int_{t_1}^{t_2} U^2(t)dt$

➢ 能量信号与功率信号

信号的瞬时功率：$\left|f(t)\right|^2$

信号的能量定义：

$$E[f(t)] = \int_{-\infty}^{+\infty} \left|f(t)\right|^2 dt$$

$$E[x(n)] = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \left|x(n)\right|^2$$

能量就是信号的瞬时功率在(−∞, +∞)上的积分

这里所用的“功率”“能量”与f(t)是否与真正的物理量相联系是无关的

信号的基本运算

- 能量信号与功率信号

信号的瞬时功率：

$$\left|f(t)\right|^2$$

信号的平均功率定义：

$$P[f(t)]=\lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_{-T/2}^{+T/2}\left|f(t)\right|^2 dt$$

$$P[x(n)]=\lim_{N\to\infty}\frac{1}{2N+1}\sum_{n=-N}^{N}\left|x(n)\right|^2$$

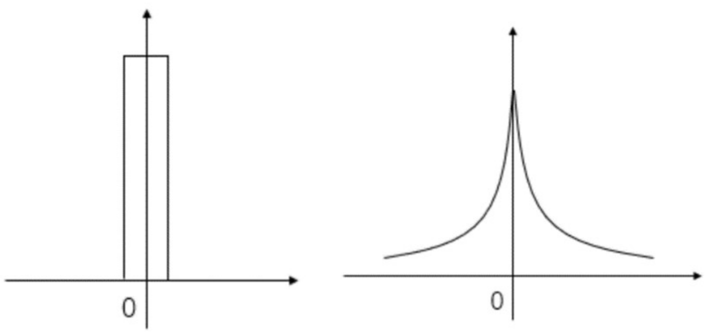
$$E[f(t)]=\int_{-\infty}^{+\infty}\left|f(t)\right|^2 dt$$

$$E[x(n)]=\sum_{n=-\infty}^{+\infty}\left|x(n)\right|^2$$

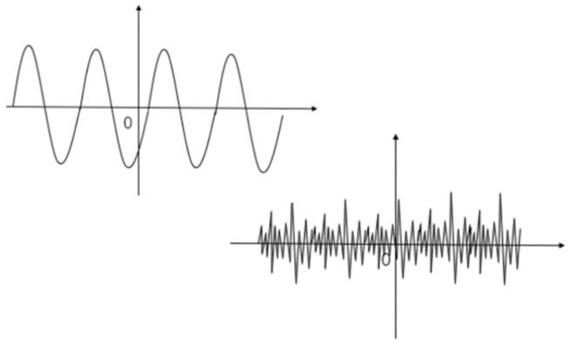
能量信号与功率信号

$$E[f(t)]=\int_{-\infty}^{+\infty}\left|f(t)\right|^{2}dt$$

$$P[f(t)]=\lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_{-T/2}^{+T/2}\left|f(t)\right|^{2}dt$$

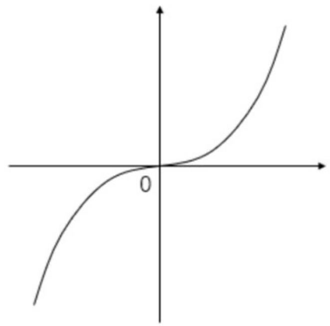


能量信号



无穷能量+有限功率

功率信号



无穷能量+无穷功率

非能非功信号

作业

已知 $f(t)$ 的图形如下所示，请画出 $y(t) = 3f\left(1 - \frac{t}{2}\right) - 1$ 的图形。

$(t \in R)$