



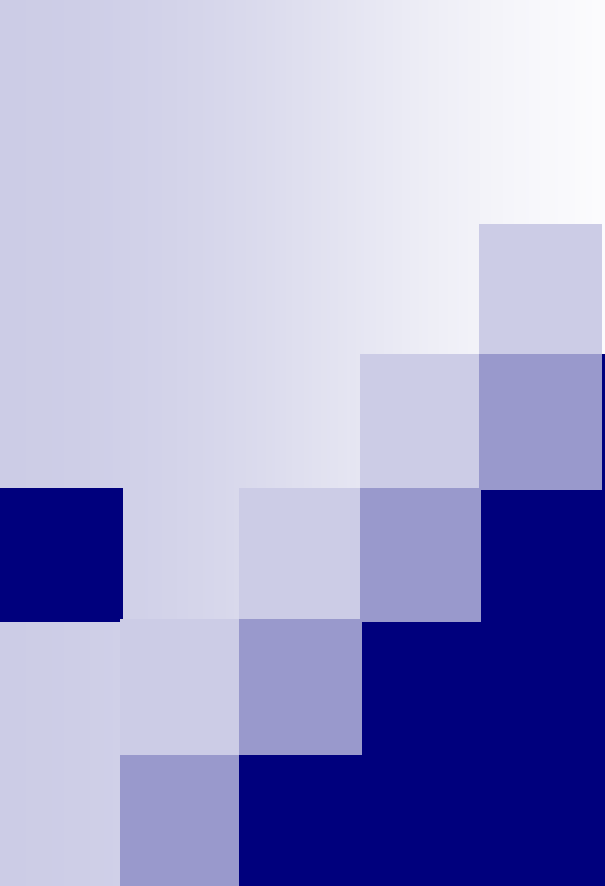
数字信号处理

图像传输与处理研究所

王柯俨

kywang@mail.xidian.edu.cn

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



绪 论

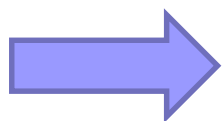
主要内容

概念（what）、原理（why）、实现（how）

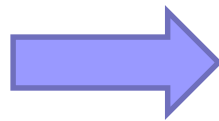
- 信号的特征
- 信号的分类
- 数字信号处理的基本内容
- 数字信号处理的实现方法
- 数字信号处理的优点

从工业1.0 到工业 4.0

科学革命



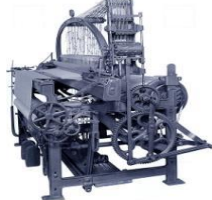
科技革命



产业革命

第四次工业革命 人机物互联互通

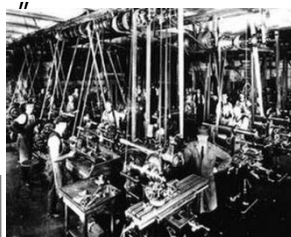
工业1.0
创造了机器工厂的
“蒸汽时代”



蒸汽机

18世纪末

工业2.0
将人类带入分工明确、
大批量生产的流水线模式
和“电气时代”



电力广泛应用

20世纪初

工业3.0
应用电子信息技术，
进一步提高生产自动化水平，
工业生产能力自此超越了人类的
消费能力，人类进入了
产能过剩时代。



自动化、信息化

1970年代初

工业4.0
开始应用物联信息系
统 (Cyber—Physical
System简称CPS)



智能化

今天

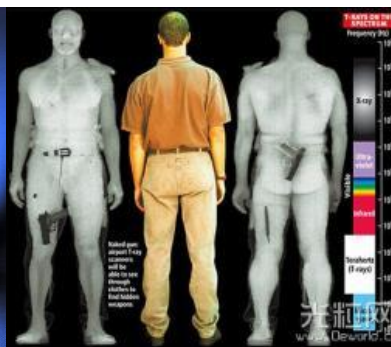
复杂度

时间

战略前沿技术



量子技术
(量子计算、量子通信)



太赫兹技术



人工智能技术



脑机接口技术



自主无人机技术



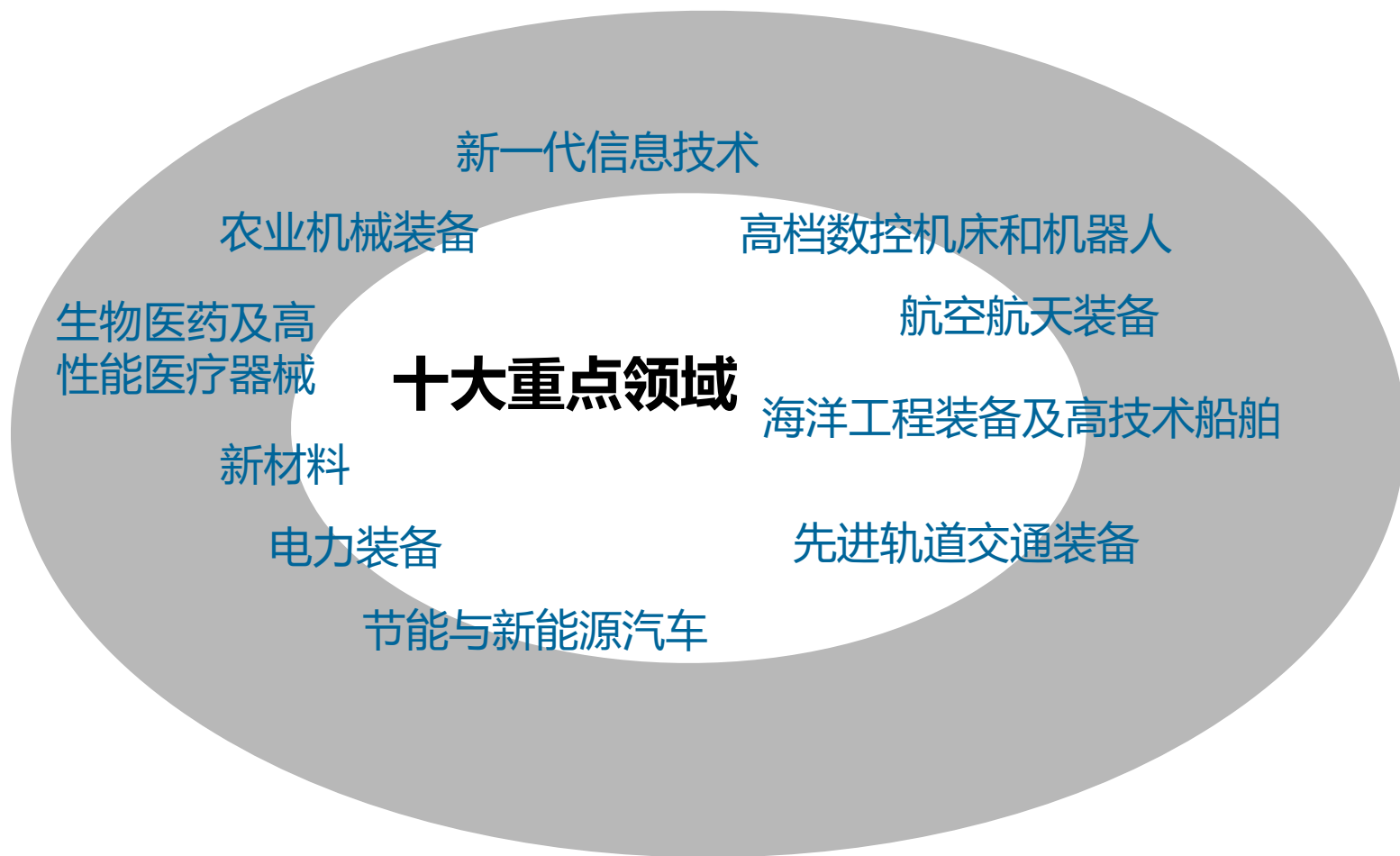
增材制造技术



高超声速飞行器技术

石墨烯技术
超高含能技术
负折射率
材料技术
空间对抗技术

中国制造2025



信号

- 信号的形式多种多样，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
 -
- 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

自给
己你
体个
会眼
！神



基本概念

■ 信号的特征

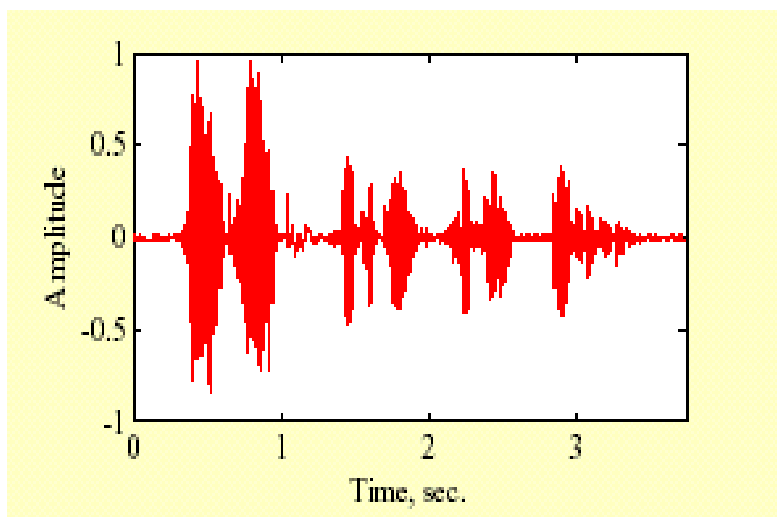
□ 携带信息的函数

- 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

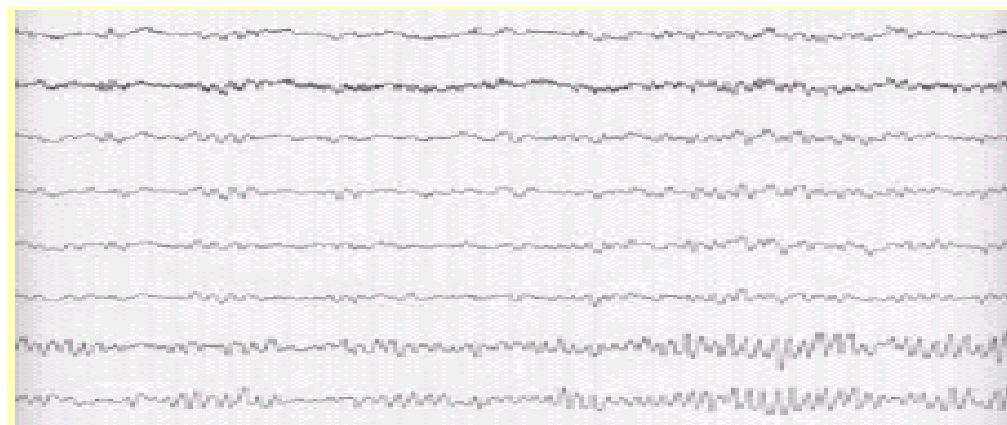
- Represent the electrical activity of the heart



信号举例 (3)

脑电波

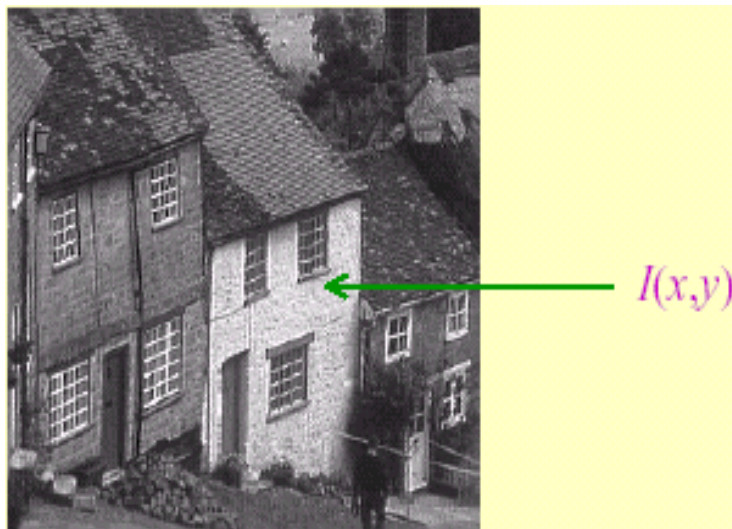
- Represent the electrical activity caused by the random firings of billions of neurons in the brain



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

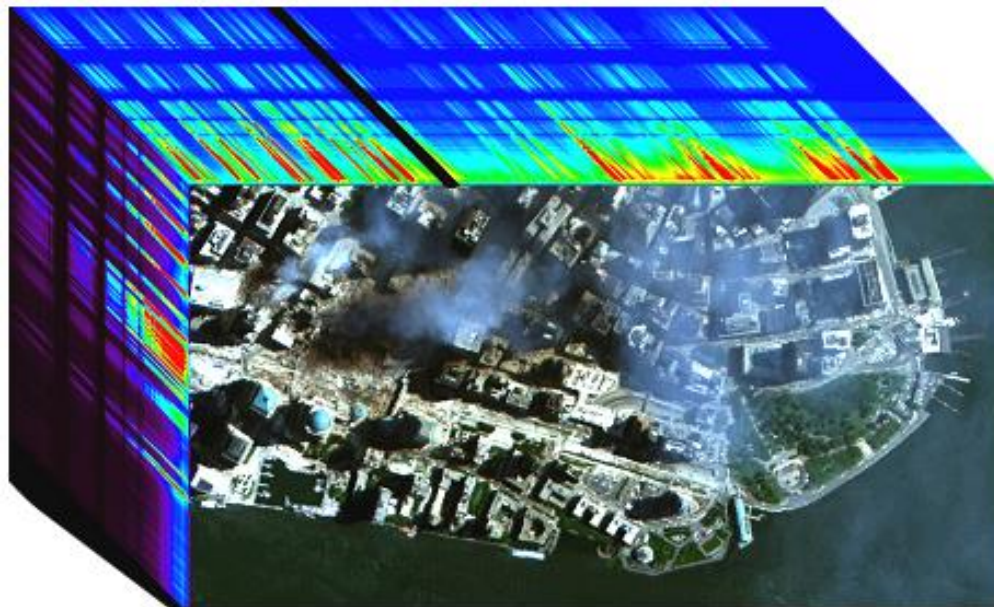
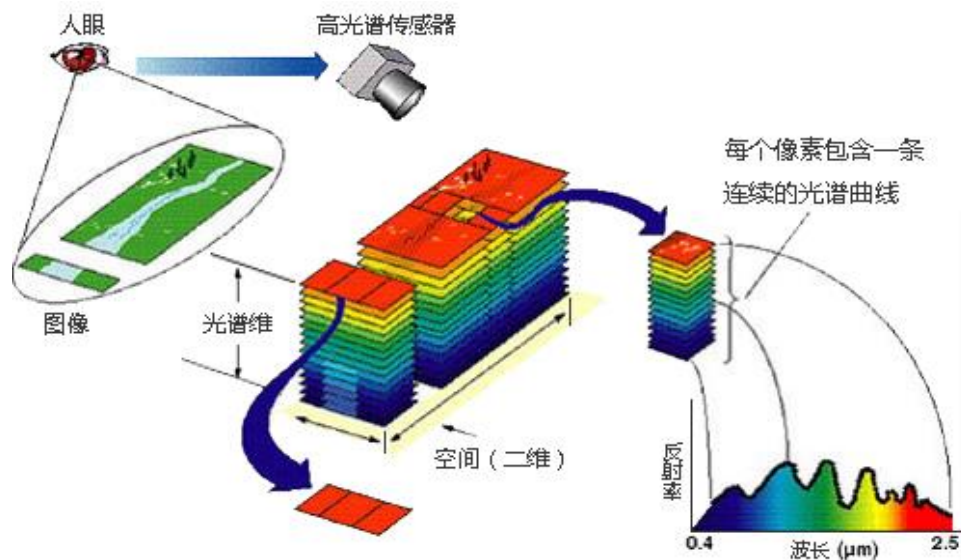
- Consists of a sequence of images, called **frames**, and is a function of **3** variables:
2 spatial coordinates and time



信号举例 (6)

高光谱图像

可以同时获得目标的**空间信息**和与空间方向垂直的**光谱信息**，形成独特的数据超立方体形式。可以对目标的**空间**和**物质属性**进行定量化分析。



- Data taken on September 16, 18, 22 and 23, 2001
- 13 Gigabytes of data only for September 16
- Pixels of 2 and 4 meters

World Trade Center
AVIRIS (NASA/JPL)

信号的获取方式

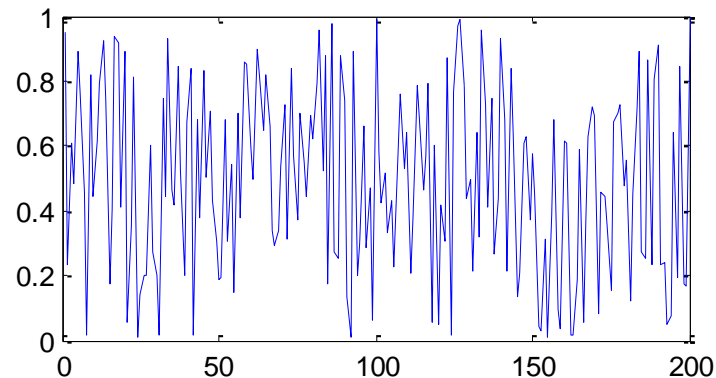
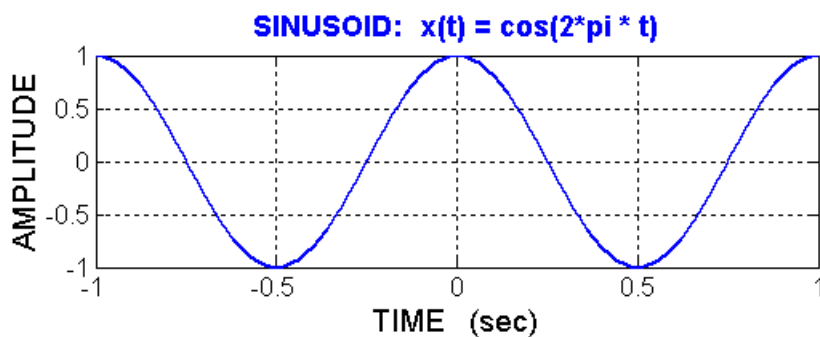
- 可以通过采集，从自然界获取；
- 可以是信号处理的输出结果；
- 可以人工合成。

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

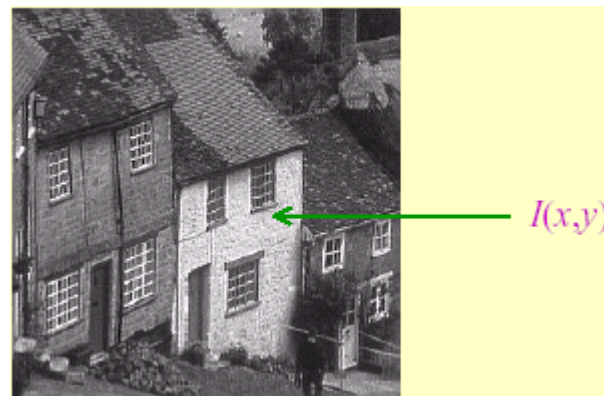
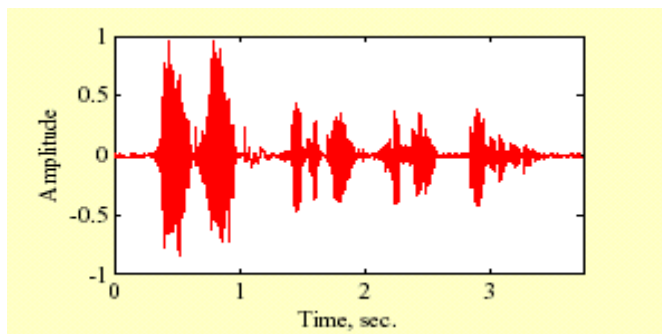
□ 确定性信号、随机信号（平稳 / 非平稳）



信号的分类（2）

■ 信号的维数

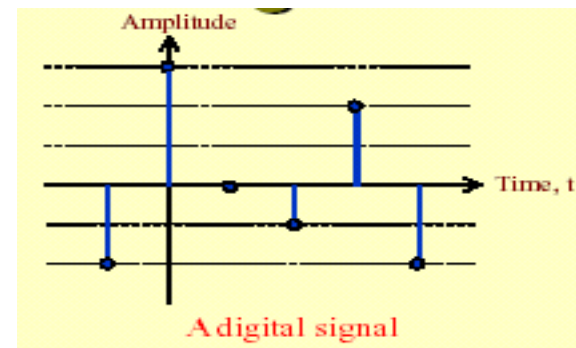
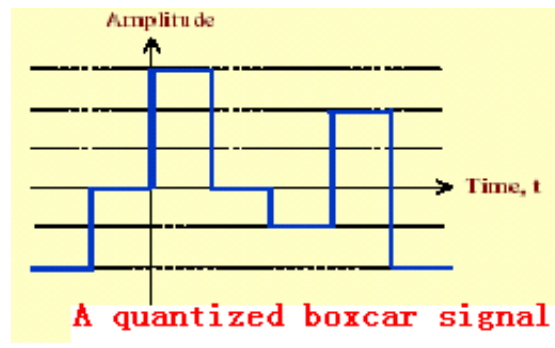
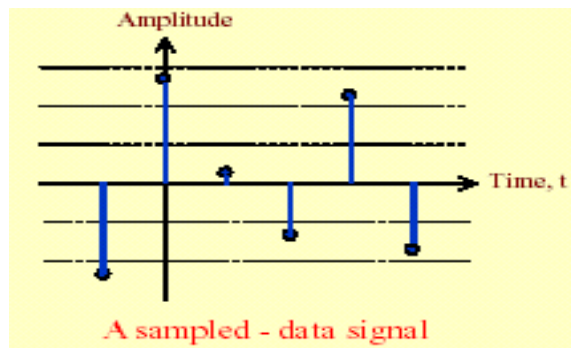
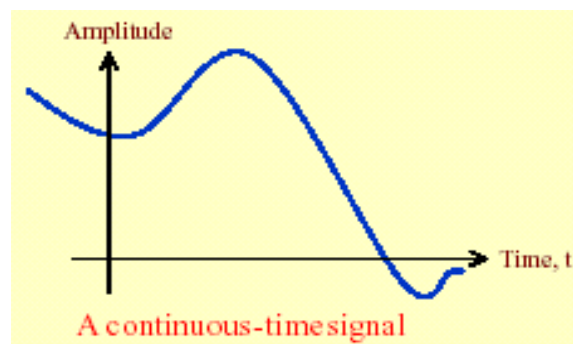
□ 一维信号、多维信号



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



数字信号处理目的

■ 雷达信号处理

□ 探地雷达系统



小目标雷达探测



■ 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

图像去噪



图像去雾



输入雾图

去雾结果

视频对比度增强



视频超分辨



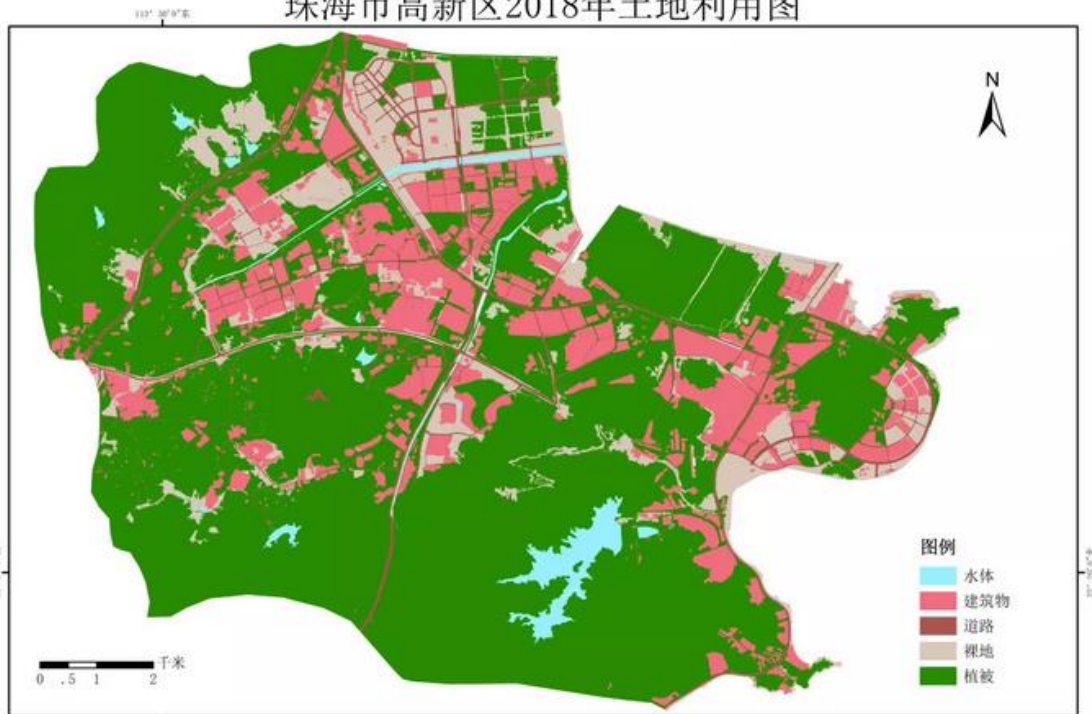
左半部分：普通算法 || 右半部分：超分处理

视频编码损伤修复



高光谱图像分类

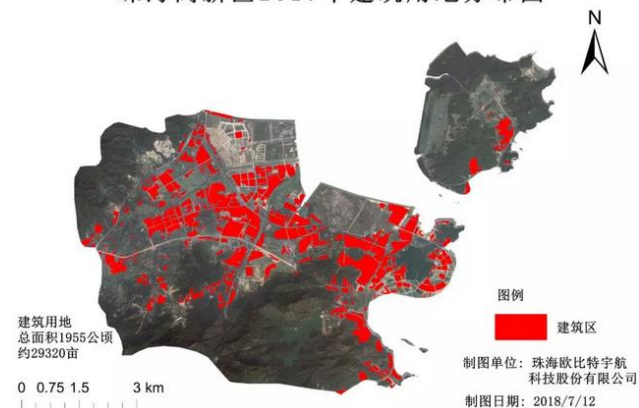
珠海市高新区2018年土地利用图



制图单位：珠海欧比特宇航科技股份有限公司

日期：2018/8/17

珠海高新区2017年建筑用地分布图



珠海高新区2018年建筑用地分布图



图像融合

利用人的视觉生理机制建立基于联合稀疏模型和多尺度几何分析的光学和SAR图像融合模型，实现多源遥感图像信息融合和特征提取，提高目标解译和识别的效率。



SAR图像



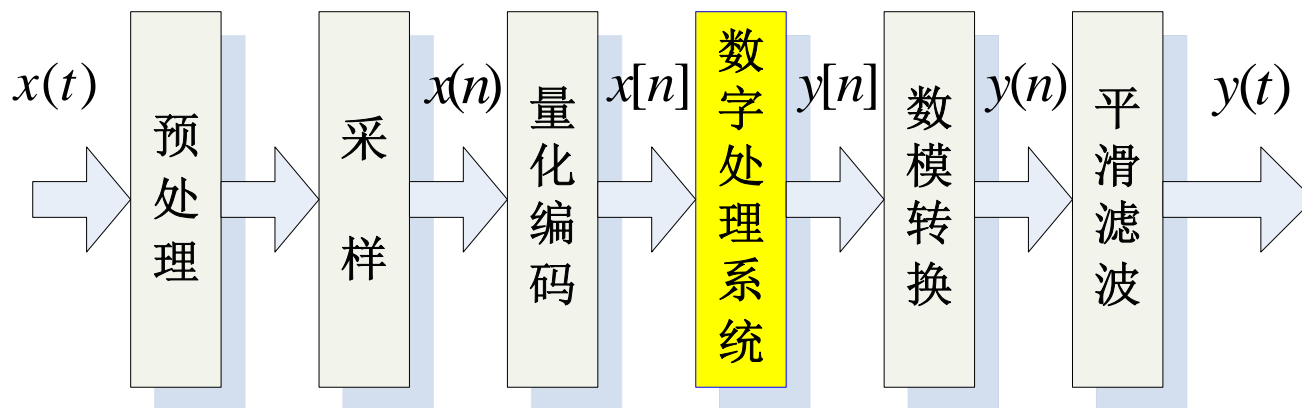
光学图像



融合结果

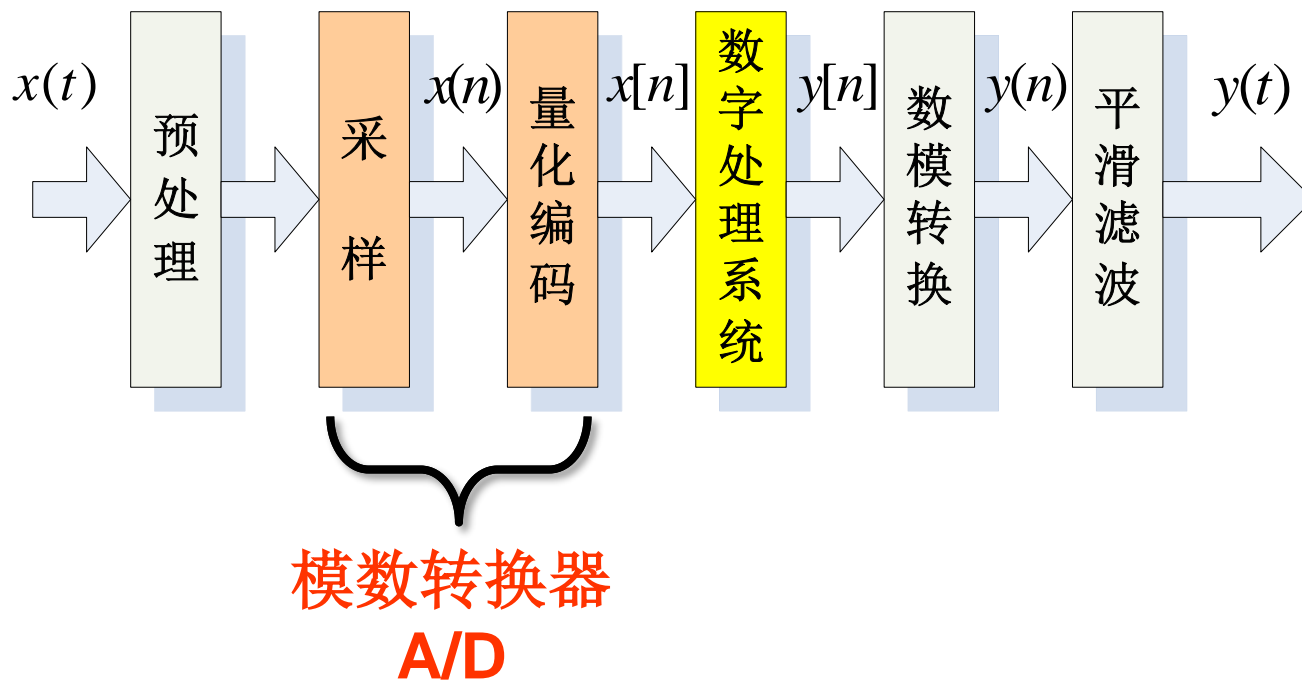
信号处理框图（1）

■ 数字系统处理模拟信号的原理方框图



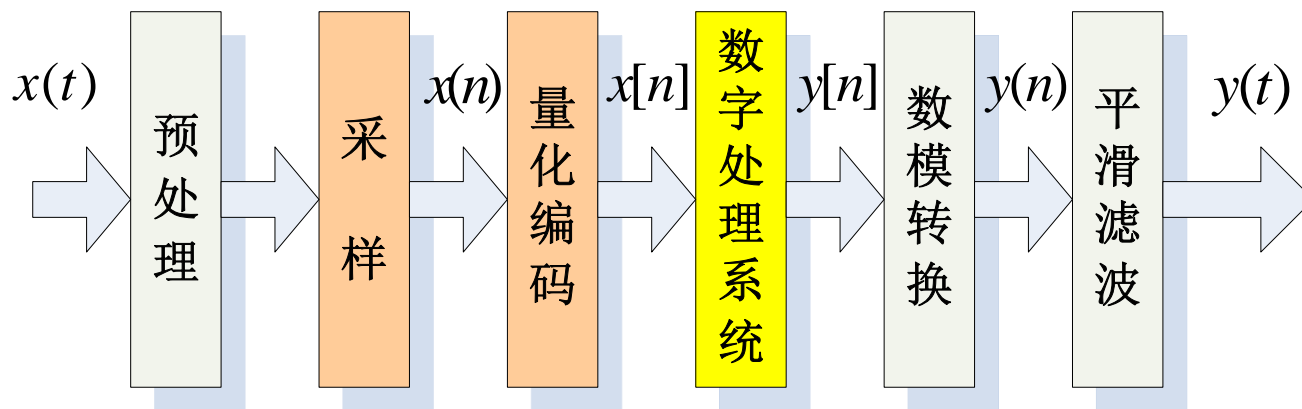
信号处理框图（1）

■ 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



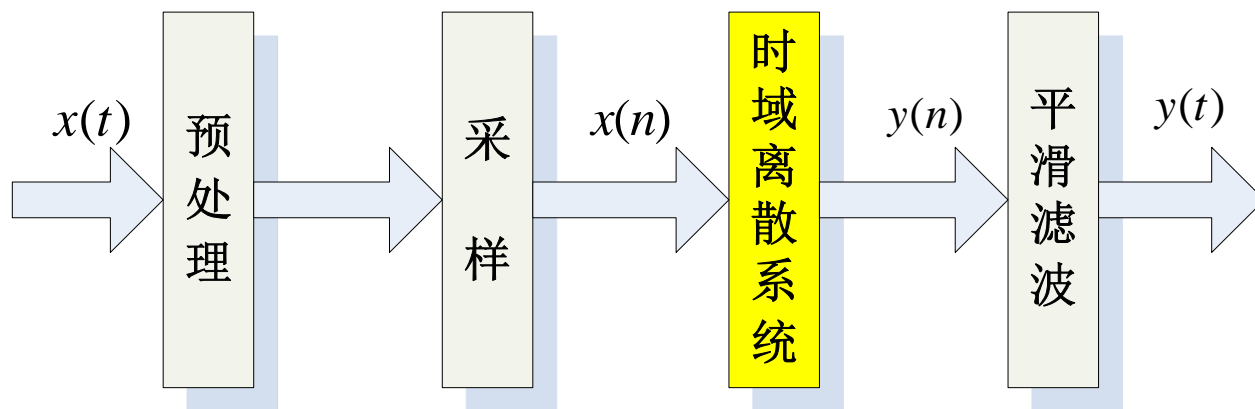
误差

- **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** \longleftrightarrow **采样**
- **数字处理系统** \longleftrightarrow **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

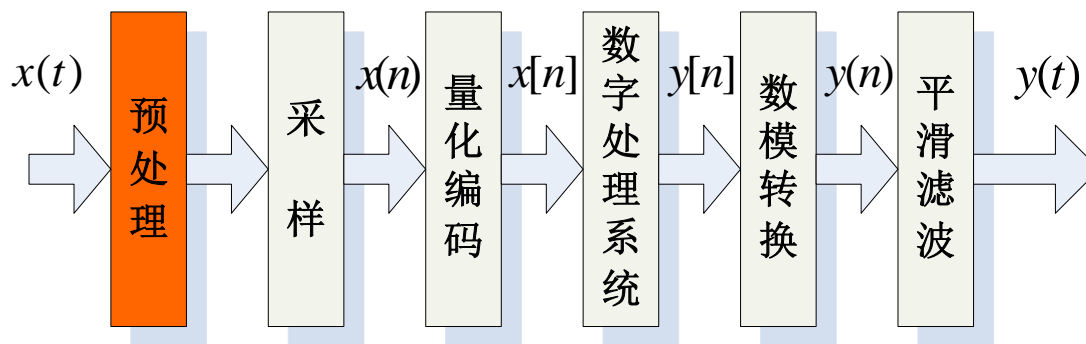
1. 模拟信号的预处理

- 预滤波或前置滤波 (ch4)

- 作用:

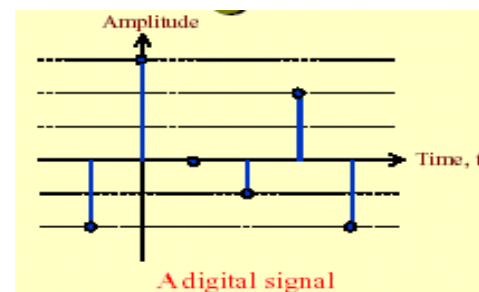
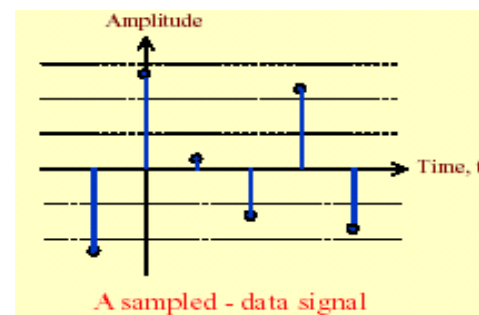
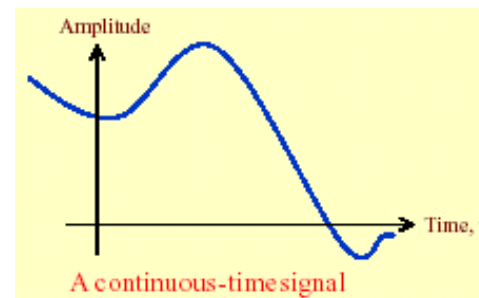
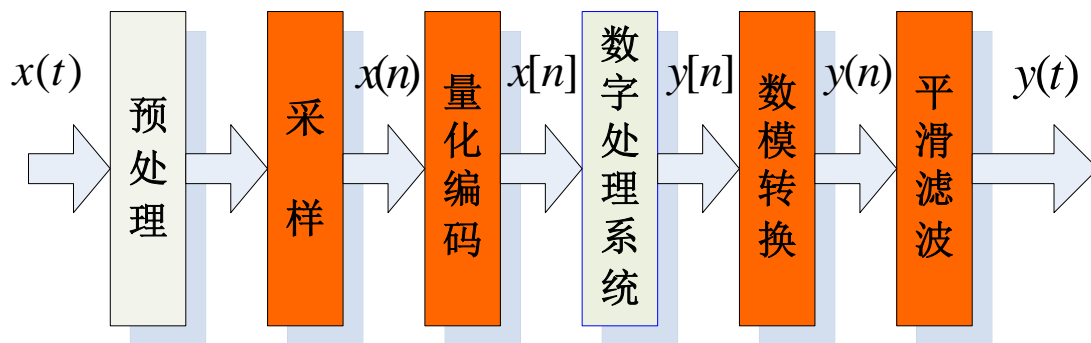
滤除输入模拟信号中的无用频率成分和噪声，避免采样后发生的频谱混叠失真

- 为了满足采样定理的要求。



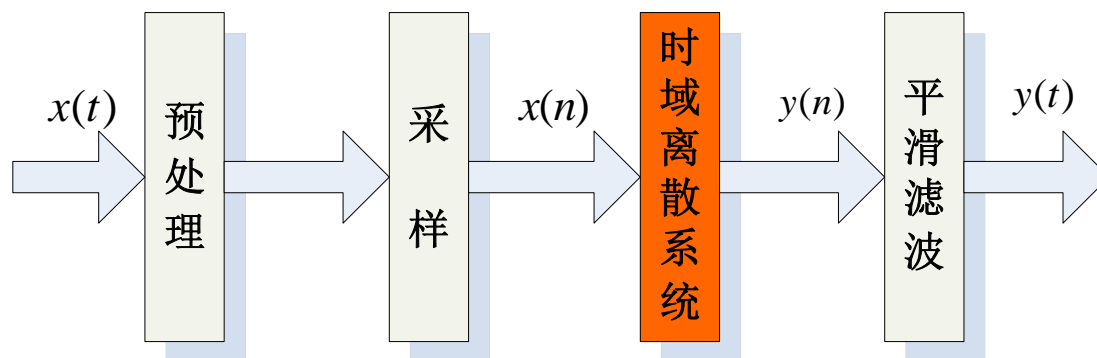
2. 模拟信号的时域采样与恢复

- 模数/数模转换 (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)

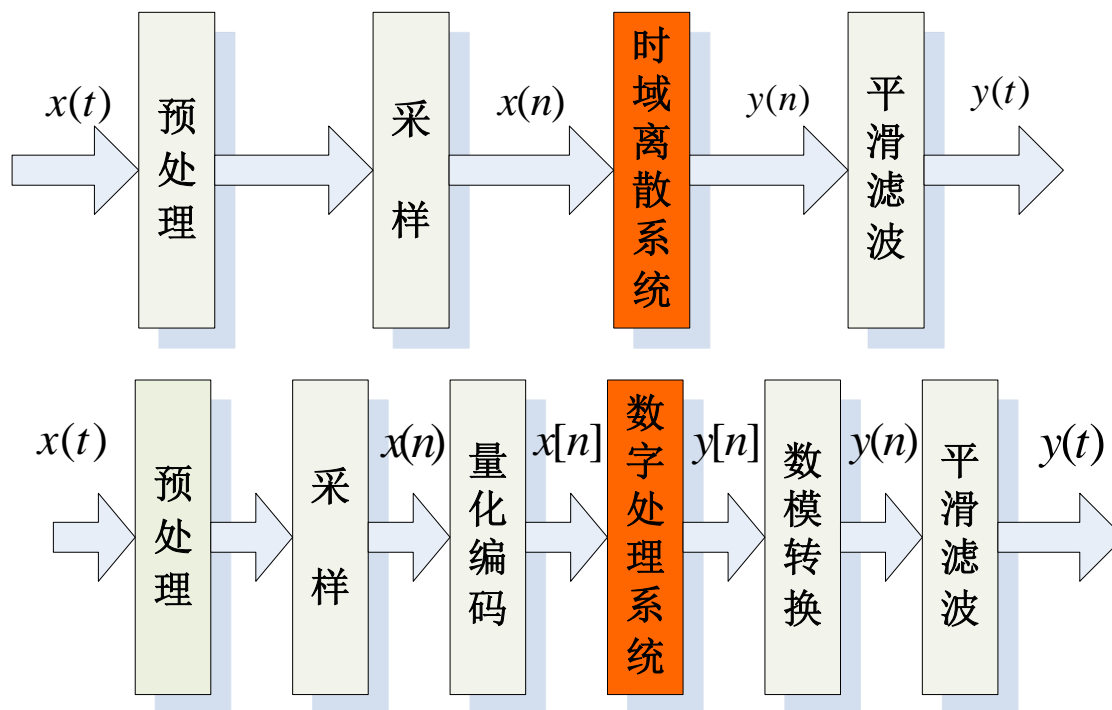


基础理论!!

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)

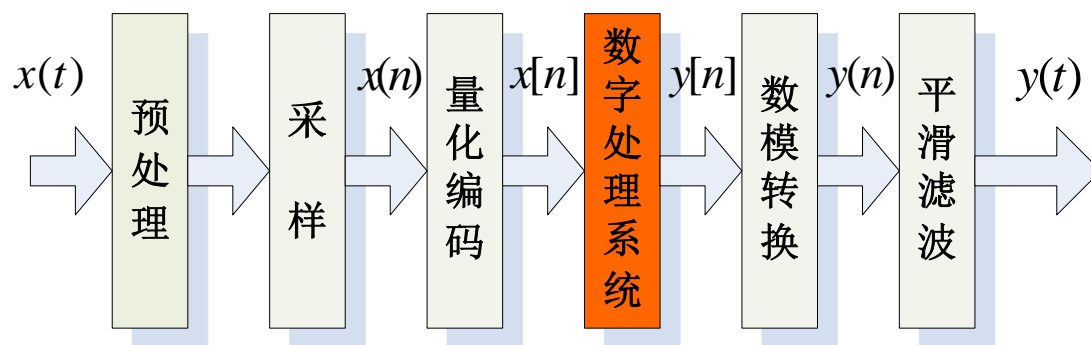
基础理论!!

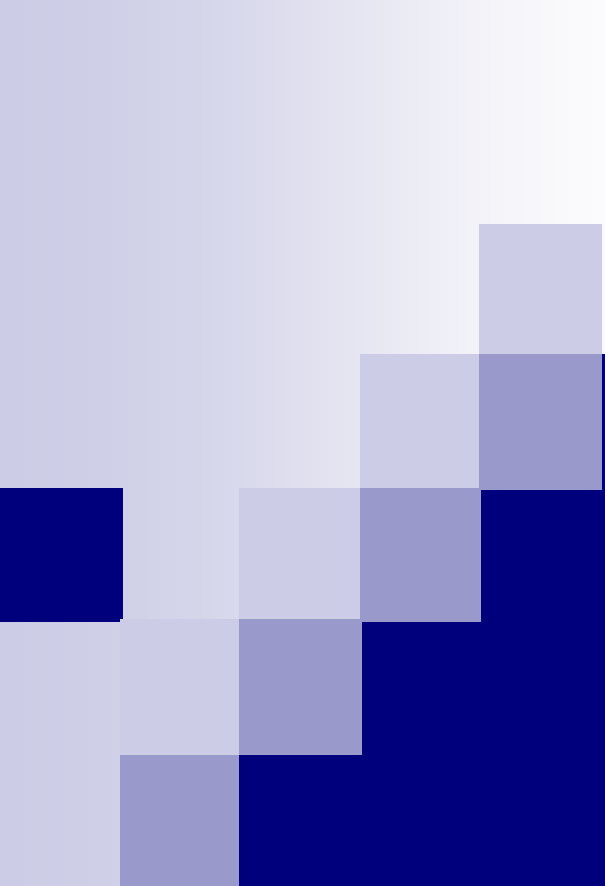


5. 模拟滤波器和数字滤波器的分析、设计与实现（ch5-7）

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，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

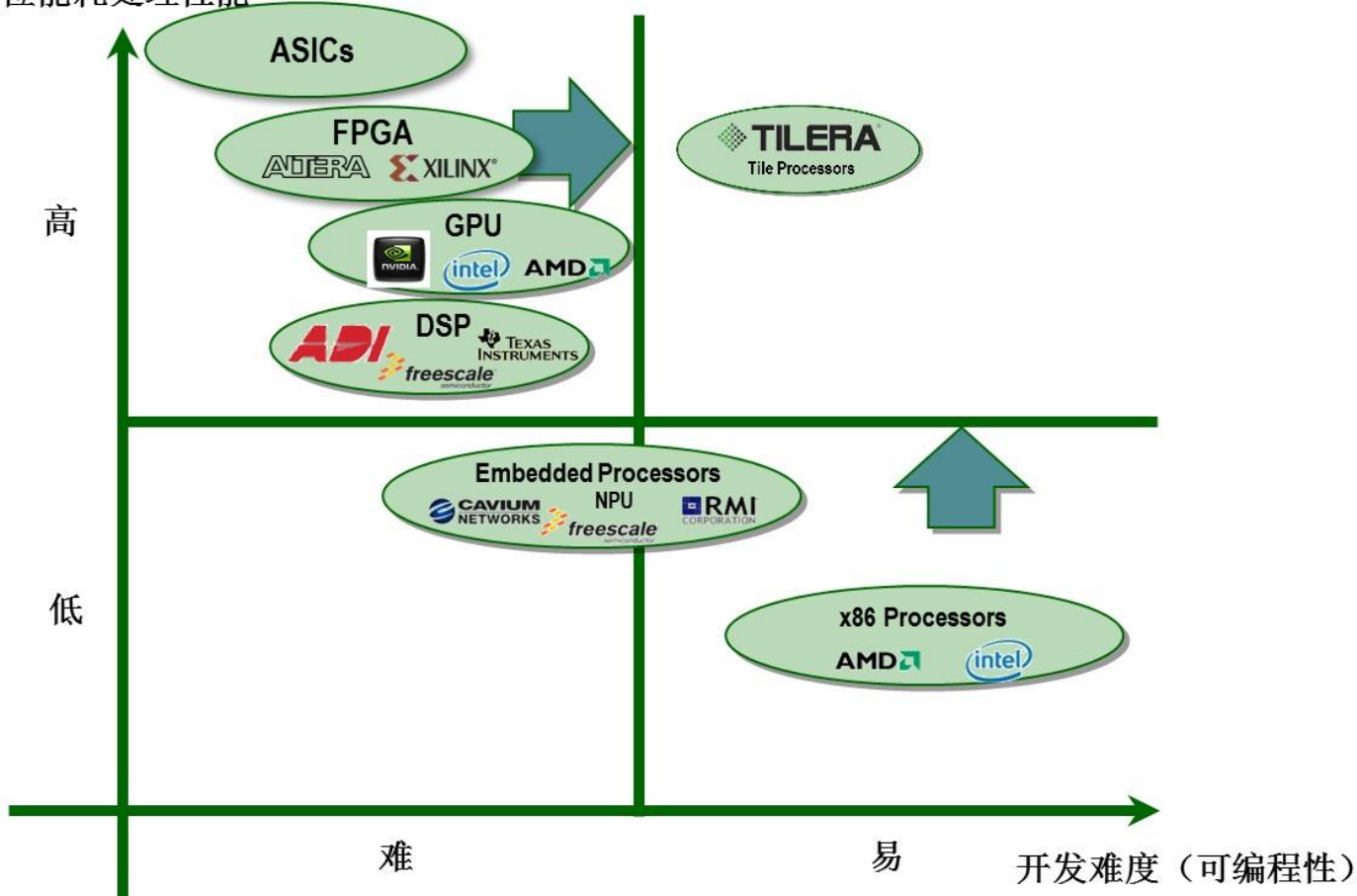
软硬件结合实现

- 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



常用的处理芯片

单位能耗处理性能





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

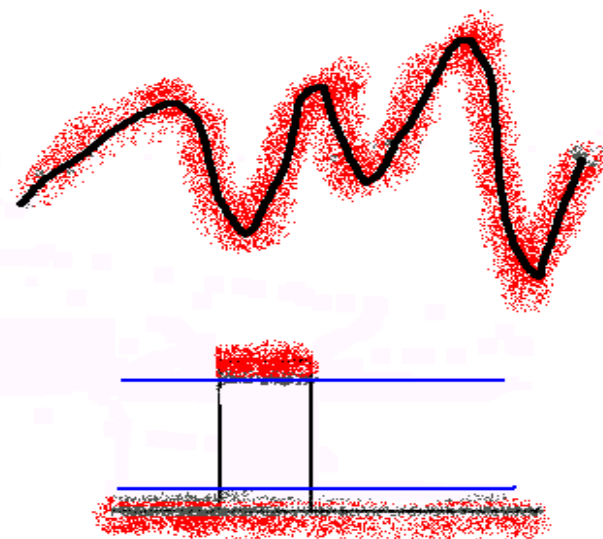
■ 数字系统

- 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。



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



V.S.



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