

100052205

数字信号处理

Digital Signal Processing

李慧琦 教授

信息与电子学院
北京理工大学

Tel: +86 (10) 68918239

Email: huiqili@bit.edu.cn

➤ 第一章 绪论

目标: 介绍数字信号处理的基本原理和方法, 培养学生分析问题、解决问题及逻辑思维的能力。

- 信号、系统、信号处理
- **DSP** 优势
- 信号的分类
- **DSP**应用实例



1.1 信号、系统和信号处理

- 信号：信息的转载，以时间、空间等自变量而变化的物理量。
- 数学上，把信号描述为一个或几个自变量的函数

$$s_1(t) = 5t$$

时间 t 为自变量

$$s_2(t) = 20t^2$$

$$s(x, y) = 3x + 2xy + 10y^2$$

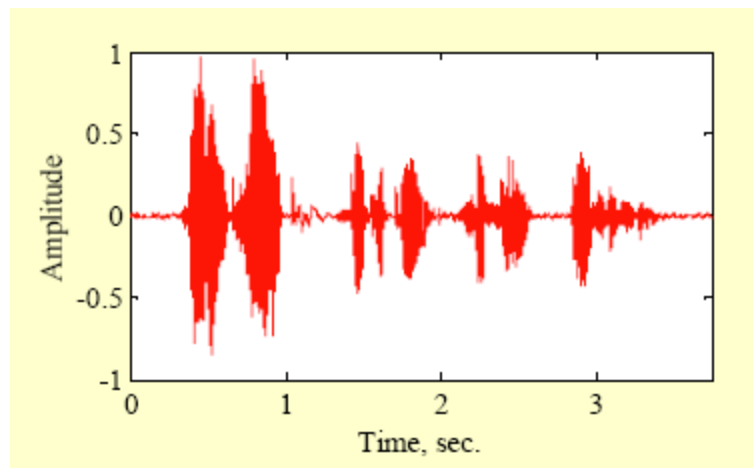


数字信号处理 (Digital Signal Processing)

以时间为自变量的自然界信号

$$\sum_{i=1}^N A_i(t) \sin[2\pi F_i(t)t + \theta_i(t)]$$

语音信号 **Speech signal**

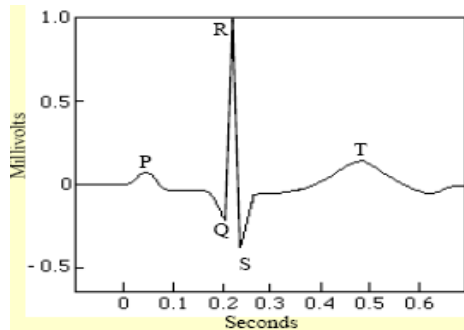


数字信号处理 (Digital Signal Processing)

心电图 Electrocardiogram(ECG)

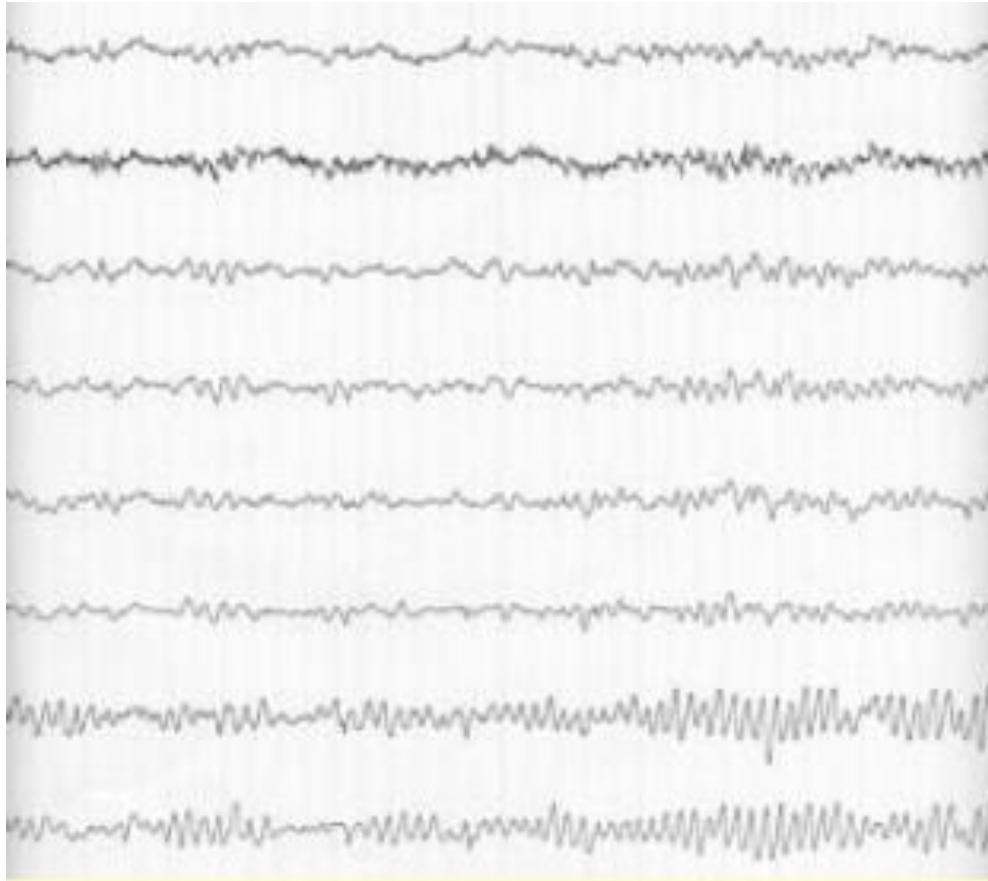


- **ECG** 是周期性波形
- 一个周期:



数字信号处理 (Digital Signal Processing)

脑电图Electroencephalogram (EEG) – 脑行为的信息



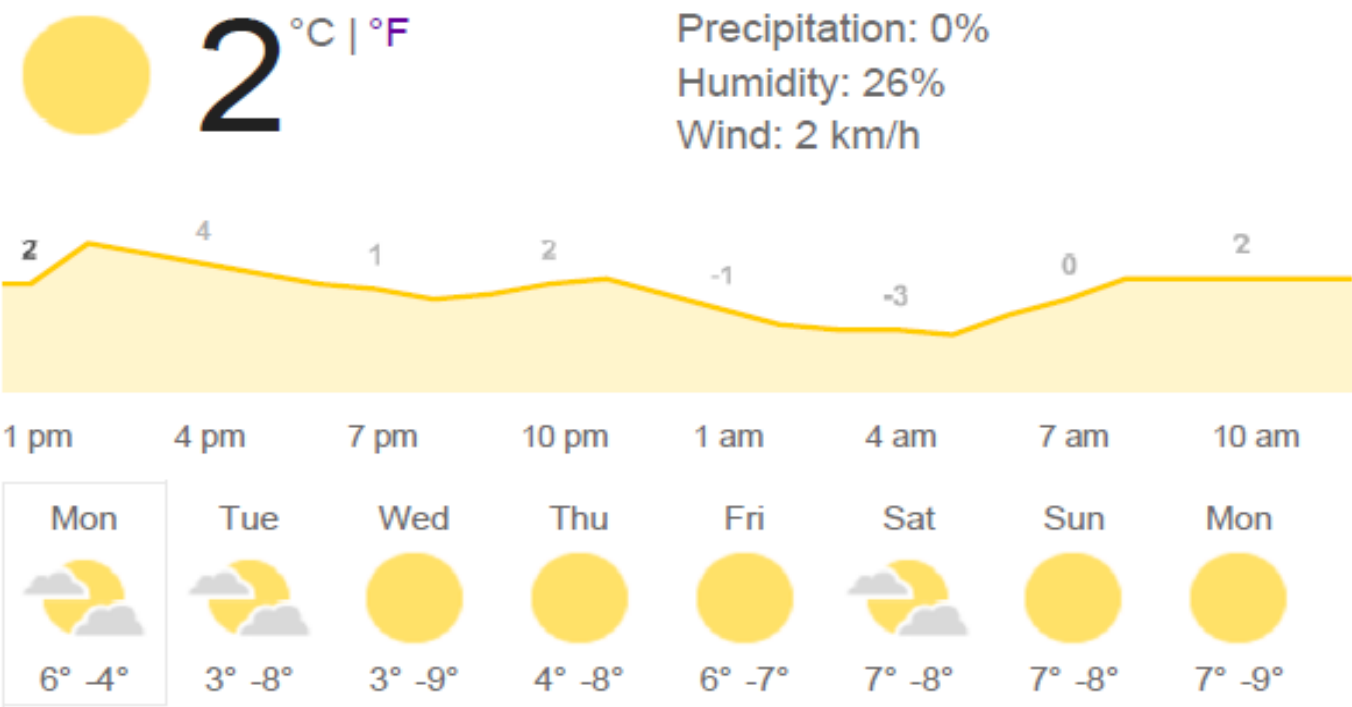
数字信号处理 (Digital Signal Processing)

气温记录

Beijing, China

Monday 1:00 pm

Clear



数字信号处理 (Digital Signal Processing)

Stock market

ALL ORDINARIES (^AORD) - ASX

5,093.10 8.40(0.16%) 16:17

Basic Chart

Get Basic Chart(s) for:

GO

ALL ORDINARIES (ASX)

Edit

Range: 1d 5d 1m 3m 6m 1y 2y 5y max Type: Bar | Line | Candle Scale: Linear | Log Size: M | L

Compare: ^AORD vs ☐ All Ords ☐ ASX 200 ☐ Dow Jones

ALL ORDINARIES

■ ^AORD



数字信号处理 (Digital Signal Processing)

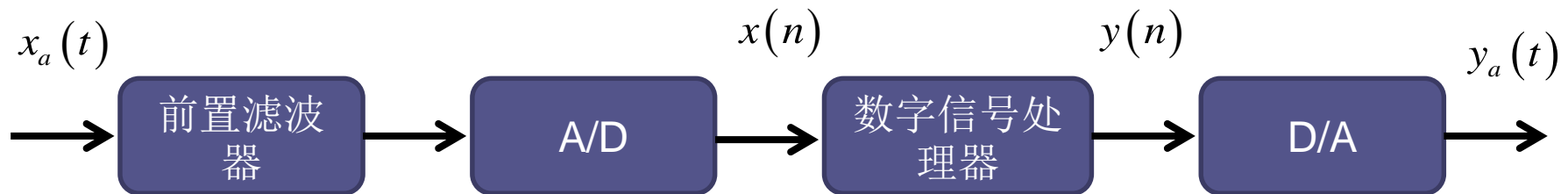
- **系统:** 处理信号的物理设备或软件。或者说, 凡是能将信号加以变换以达到人们要求的各种设备或运算。
- **信号处理:** 变换
- **系统**由对信号所进行的操作所表征, 如线性/非线性等。
- **信号**转载信息。
- **信号处理目标:** 提取信号所转载的有用信息。



数字信号处理 (Digital Signal Processing)

数字信号处理的基本组成

- 模拟信号处理：输入输出信号都是模拟信号。
- 数字信号处理：输入输出信号都是数字信号。



- 模拟信号和数字信号处理器之间接口： **A/D D/A 转换器**



数字信号处理的优势

- 灵活性大：编程系统更改程序即可实现重新配置数字信号处理操作。
 - **DSP**: 快速开发新模块功能。
易于开发和实现自适应滤波器，可编程滤波器和互补滤波器。
 - **ASP**模拟系统: 需要硬件重新设计、测试和校验。



数字信号处理 (Digital Signal Processing)

- 更准确的精度控制

- **DSP:** A/D 转换器 & DSP 精度要求（字长, 浮点/定点运算）。
- **DSP:** 信号处理精度只受经济（价格）考量。
- **DSP:** 增加字长就可提高精度。
- **ASP:** 模拟电路器件的容错性使得精度难以准确控制。



数字信号处理 (Digital Signal Processing)

- 可靠性强

- **DSP:** 数字系统只有“0”，“1”两个信号电平。
- **DSP:** 受噪声和环境条件（如温度）影响小。
- **ASP:** 模拟系统各参数有一定的温度系数，易受环境条件影响。



- 可重复性高

DSP:

- 只要操作正确，器件容错性不会影响系统精度性能。
- 在装配过程中无需调整参数。
- 仪器设备参数无需重新校正。



数字信号处理 (Digital Signal Processing)

- 有时 **DSP** 比相应的模拟实现更便宜。
 - 不同信号可共享同一处理器（时分复用）。
 - 数字硬件越来越廉价。
 - 数字实现可灵活性修改。
 - 各种复杂算法的可用超大规模集成电路（**VLSI**）硬件实时实现。



- **DSP 局限**

- 数字系统是有源设备，需要更多能源。
- 受**A/D**转换器和**DSP**最大运算速度所限，所进行的信号处理有带宽限制。对于较大带宽的模拟信号，**DSP**超出数字硬件的发展水平。
- **A/D**、**D/A** 转换器的引入增加了系统的复杂性。



- 1.2 信号的分类

依据信号的不同特征属性分类

- 多通道信号和多维信号
- 多通道信号:
 - 信号由多个信源 (**sources**)或多个传感器(**sensors**)生成。
 - 信号可用矢量形式表示。
 - 实例: **ECG (3-lead/12 lead)**

地震引起的地标加速度**Ground acceleration**



数字信号处理 (Digital Signal Processing)

Ground acceleration: 三个基本类型的弹性波。

$$\mathbf{S}_3(t) = \begin{bmatrix} s_1(t) \\ s_2(t) \\ s_3(t) \end{bmatrix}$$

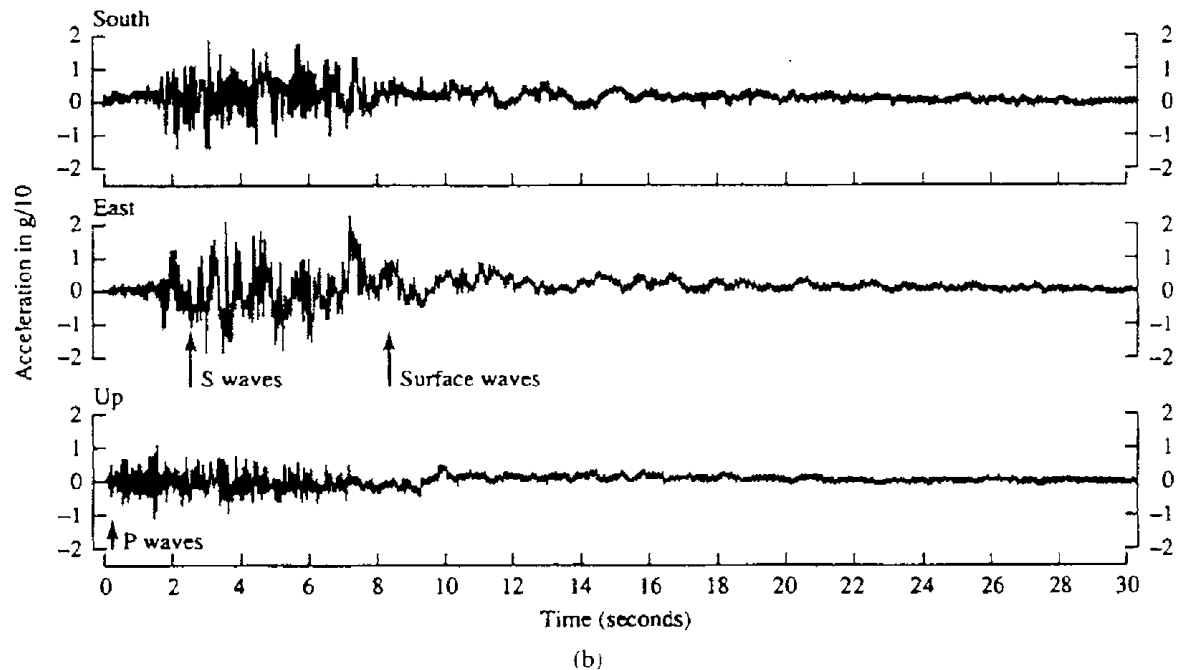
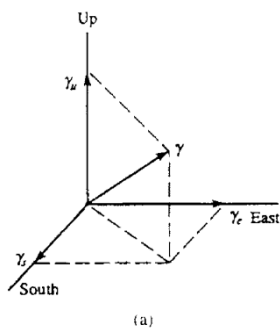


Figure 1.4 Three components of ground acceleration measured a few kilometers from the epicenter of an earthquake. (From *Earthquakes*, by B. A. Bold, ©1988 by W. H. Freeman and Company. Reprinted with permission of the publisher.)

数字信号处理 (Digital Signal Processing)

多维信号:

- **1-D signal:** 单个自变量的函数。
- **M-D signal:** **M** 个自变量的函数。
- 两维信号实例: 灰度图像 (黑白照片)



$I(x, y)$

在每一点的亮度 $I(x, y)$ 是两个自变量的函数 (空间坐标)。

数字信号处理 (Digital Signal Processing)

– 3-D 信号实例: 黑白电视画面

$$I(x, y, t)$$

– 彩色电视画面?

$$\mathbf{I}(x, y, t) = \begin{bmatrix} I_r(x, y, t) \\ I_g(x, y, t) \\ I_b(x, y, t) \end{bmatrix}$$

三通道、三维信号

3-channel: Red, Green, Blue

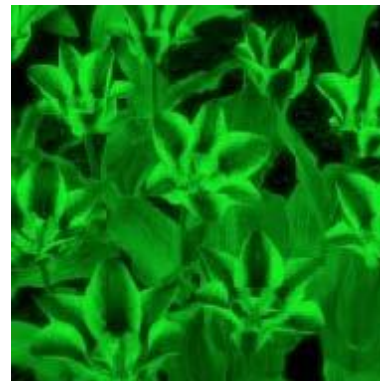
3-D: 2 spatial variables: x, y and time t



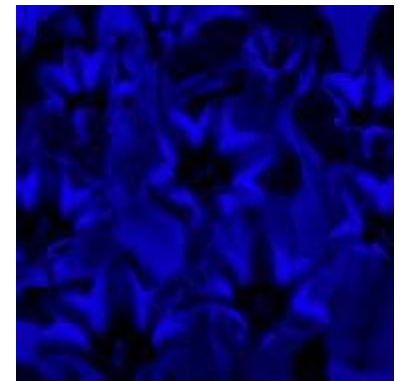
Full color image



Red channel



Green channel



Blue channel

数字信号处理 (Digital Signal Processing)

•连续时间信号和离散时间信号： 依据时间自变量的特征和取值可分为四类：

– 连续时间信号： 在一个连续的区间内每一个时间值上有定义。

模拟信号： 连续取值的连续时间信号。

实例： 语音信号

– 离散时间信号： 只定义在某些特定的时间点上。

为强调信号的离散时间特性，用 $x(n)$ 来代替 $x(t)$ 。

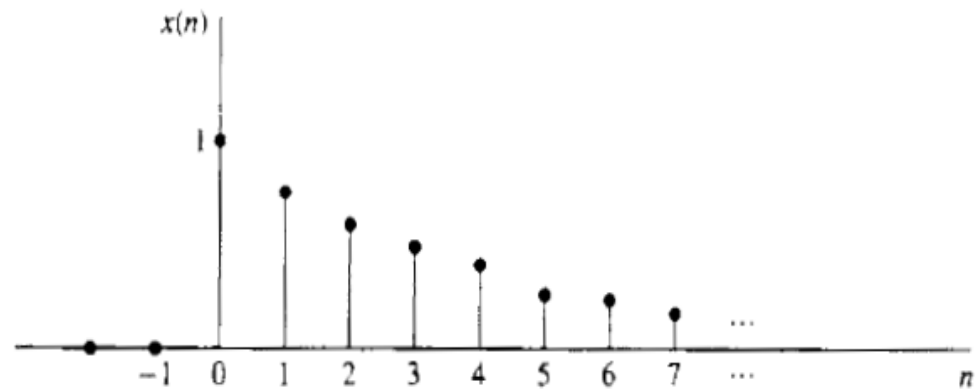
如果时间取值是等间隔的，也可使用 $x(nt)$ 表示。



数字信号处理 (Digital Signal Processing)

离散时间信号的例子

$$x(n) = \begin{cases} 0.8^n, & \text{if } n \geq 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$



图形表示

生成离散时间信号的两个方式:

- 采样 **Sampling**: 离散时间点上选择模拟信号值。
- 积累 **Accumulating**: 在一段时间内积累某个变量。

数字信号处理 (Digital Signal Processing)

• 连续值信号和离散值信号

- 连续值信号: 信号在有限或无限的范围内取所有可能的值。
- 离散值信号: 信号只在可能取值的有限值上取值。

数字信号: 具有离散值的离散时间信号。

例子:

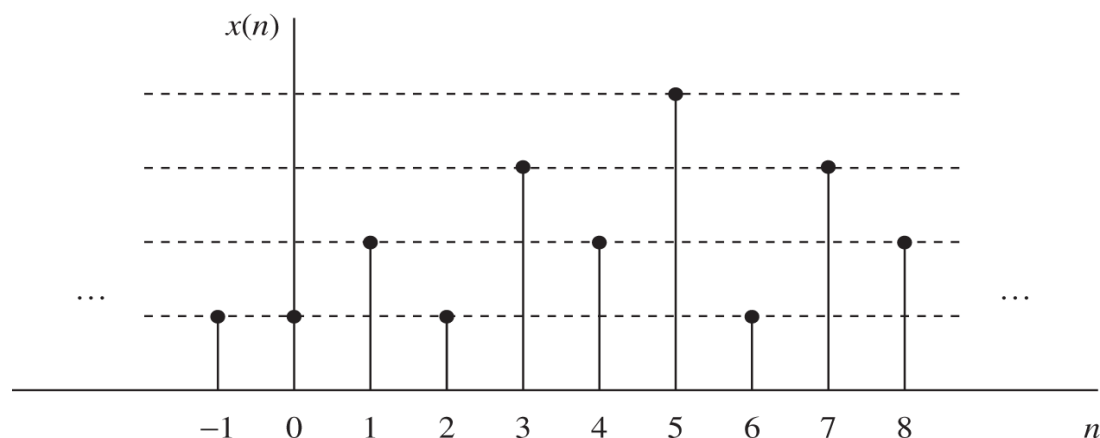
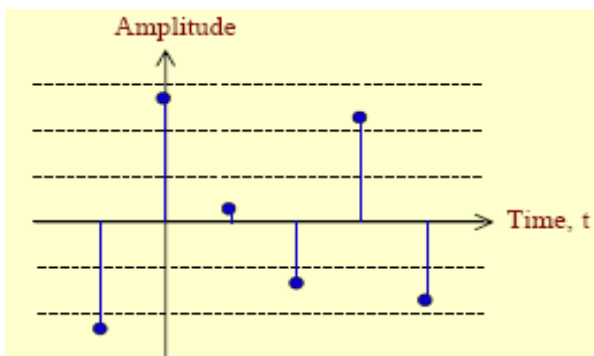
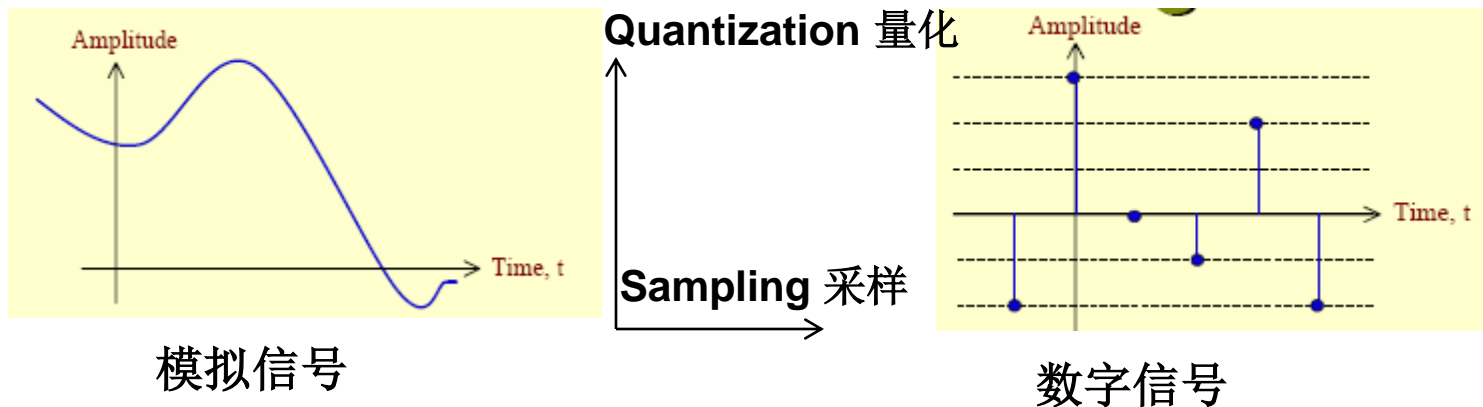


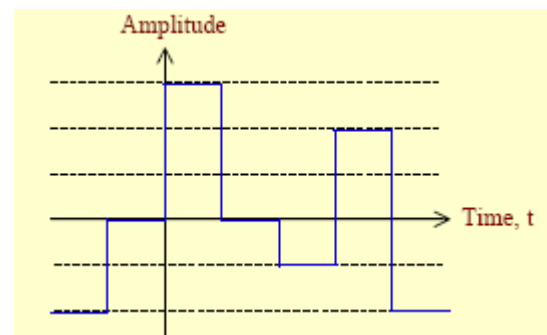
Figure 1.2.5 Digital signal with four different amplitude values.

数字信号处理 (Digital Signal Processing)

四类信号:



Sampled data signal
(连续值离散时间信号)



Quantized boxcar signal
(离散值连续时间信号)

数字信号处理 (Digital Signal Processing)

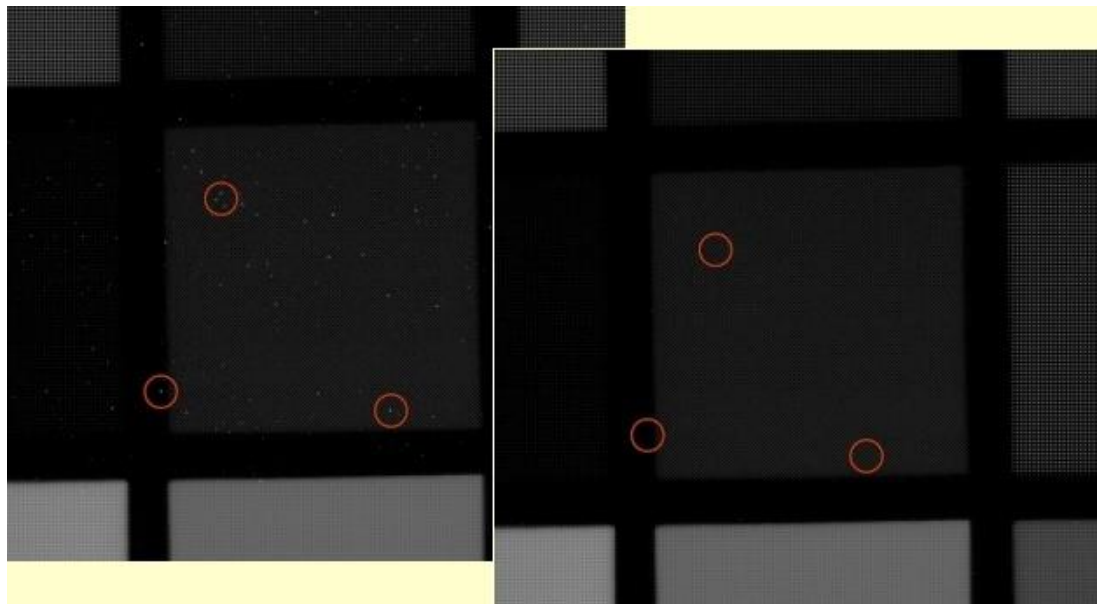
- 确定性信号与随机信号
 - 确定性信号：可以由一个定义好的过程如显式数学表达式或数据表等所唯一描述的信号。信号的过去、现在、将来值可以准确知道。
 - 随机信号：随机产生的信号，不可以事先预估。



- **DSP 应用实例**

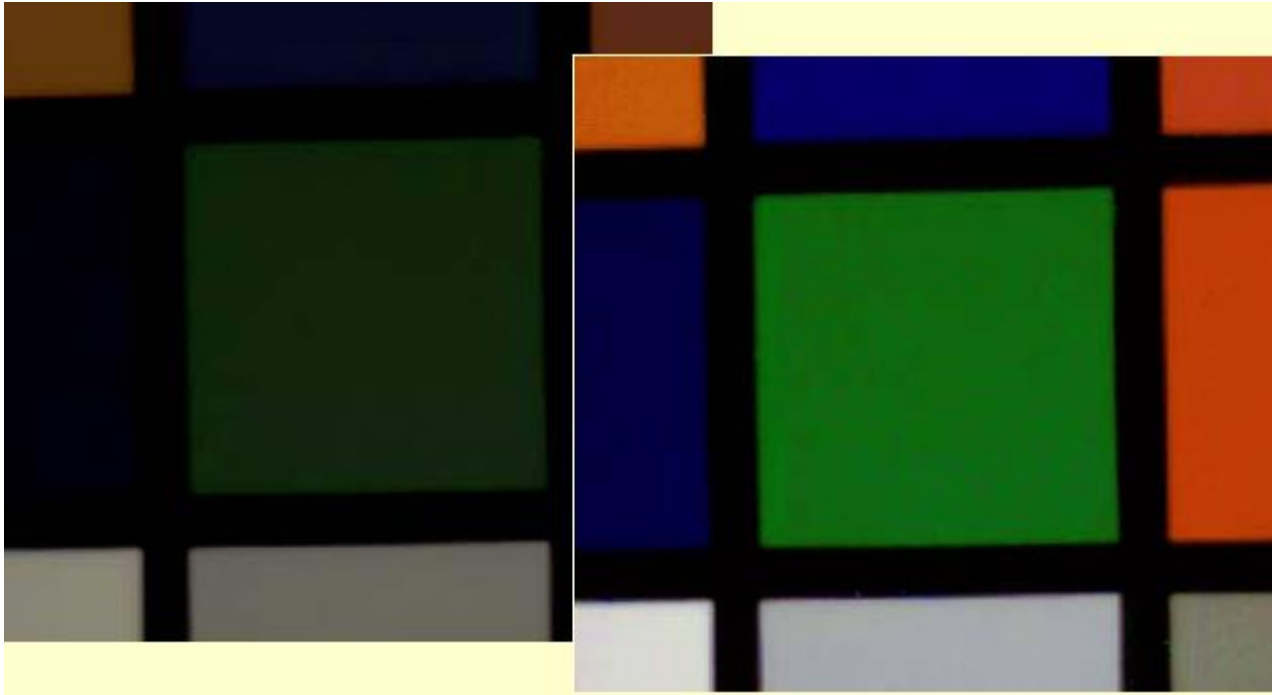
- 数码相机

图像处理算法:



Bad pixel detection and masking

数字信号处理 (Digital Signal Processing)



Colour interpolation and balancing

数字信号处理 (Digital Signal Processing)

信号编码与压缩



Original image
8 bits/pixel

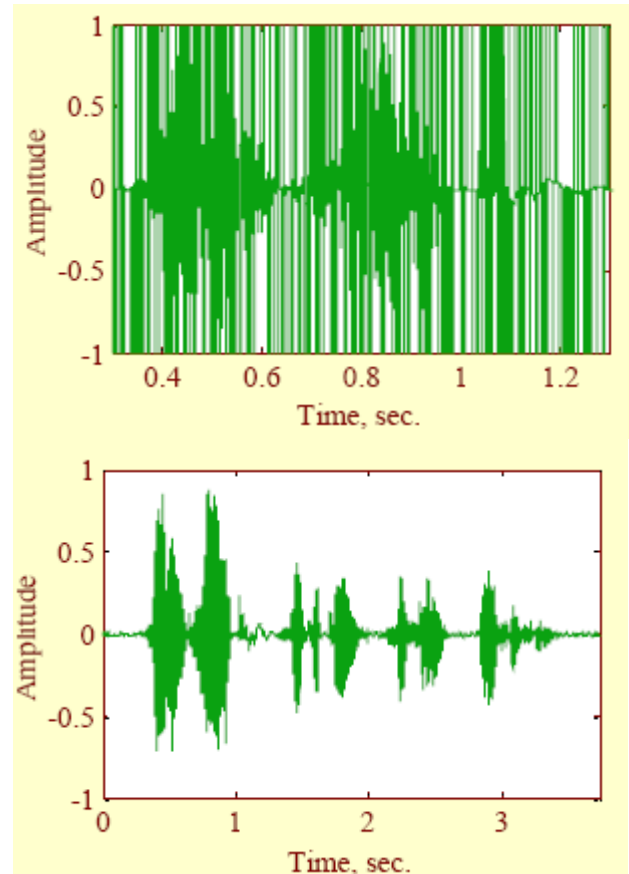


Compressed image
Average: 0.5 bits/pixel

数字信号处理 (Digital Signal Processing)

— 信号增强

带噪音的语音信号
(10% impulse noise)



去除噪音后的语音信号



数字信号处理 (Digital Signal Processing)

– 图像对比度增强



Original



Enhanced

数字信号处理 (Digital Signal Processing)

– 图像对比度增强



Original



Enhanced

数字信号处理 (Digital Signal Processing)

– 图像噪音剔除



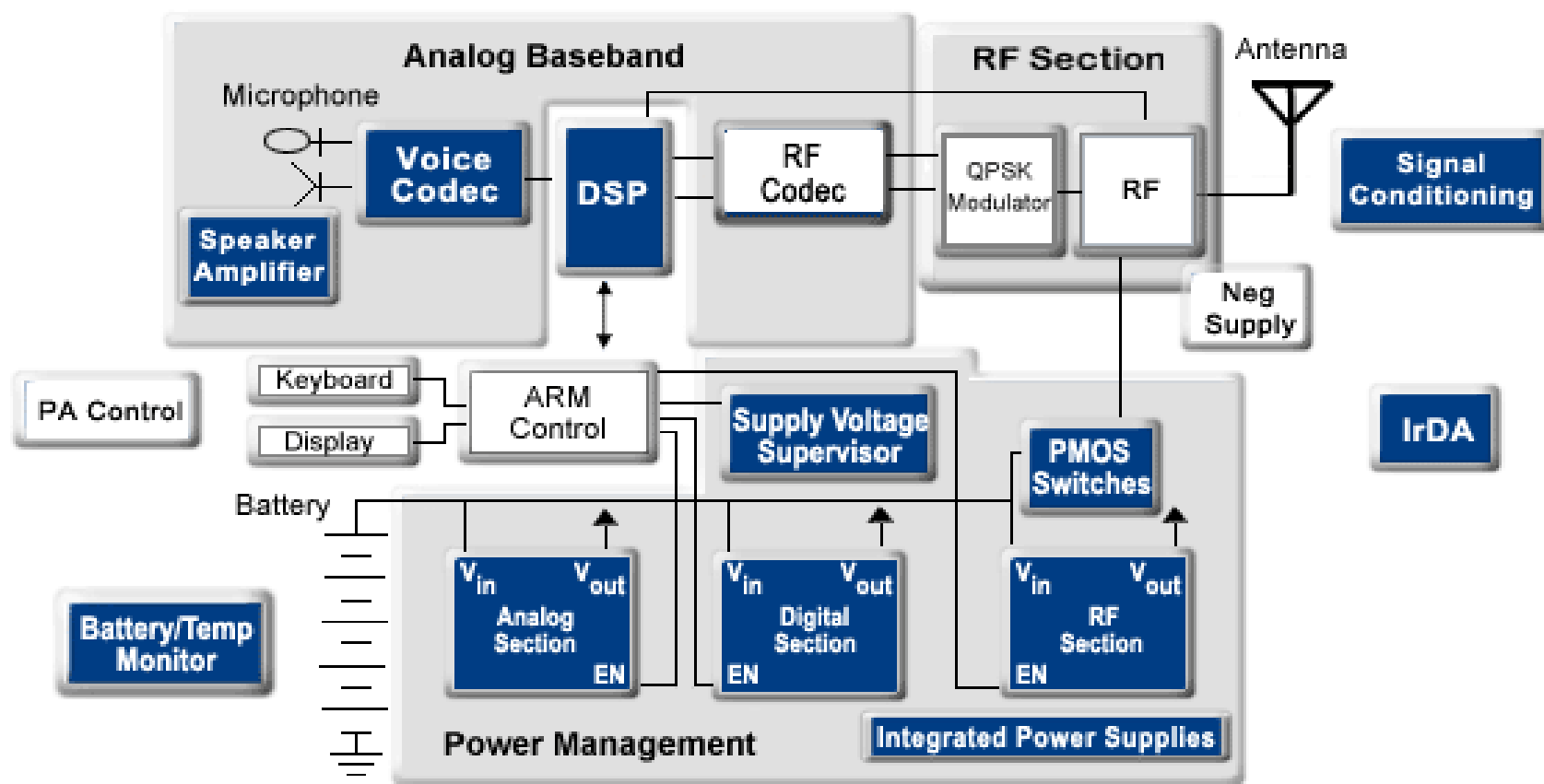
20% pixels corrupted with
additive impulse noise



Noise removed version

数字信号处理 (Digital Signal Processing)

— 手机通信



数字信号处理 (Digital Signal Processing)

A/D , D/A 转换

A/D 转换: 将模拟信号转换成数字信号。

三步: **Sampling** 采样、 **quantization** 量化、 **coding** 编码。

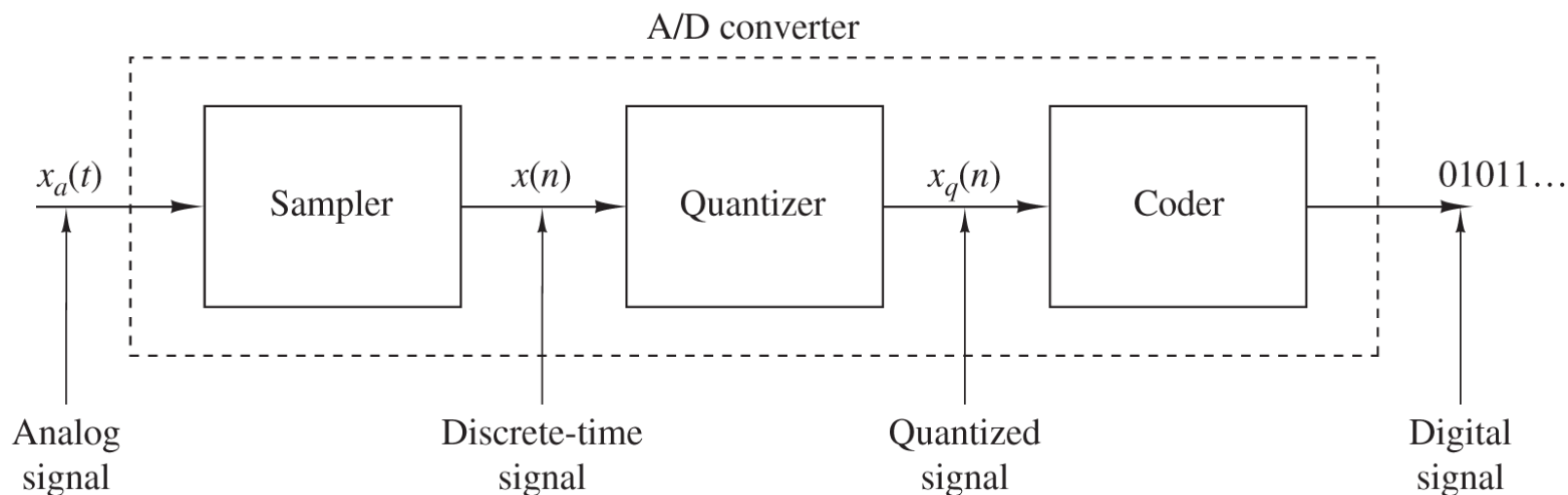


Figure 1.4.1 Basic parts of an analog-to-digital (A/D) converter.

Sampling: no loss of information

Quantization: irreversible that results in signal distortion.

数字信号处理 (Digital Signal Processing)

D/A转换: 将数字信号通过插值的方法转成模拟信号。

例图: 零阶保持 或 阶梯近似, 两个采(取)样值之间保持上一个采(取)样值。

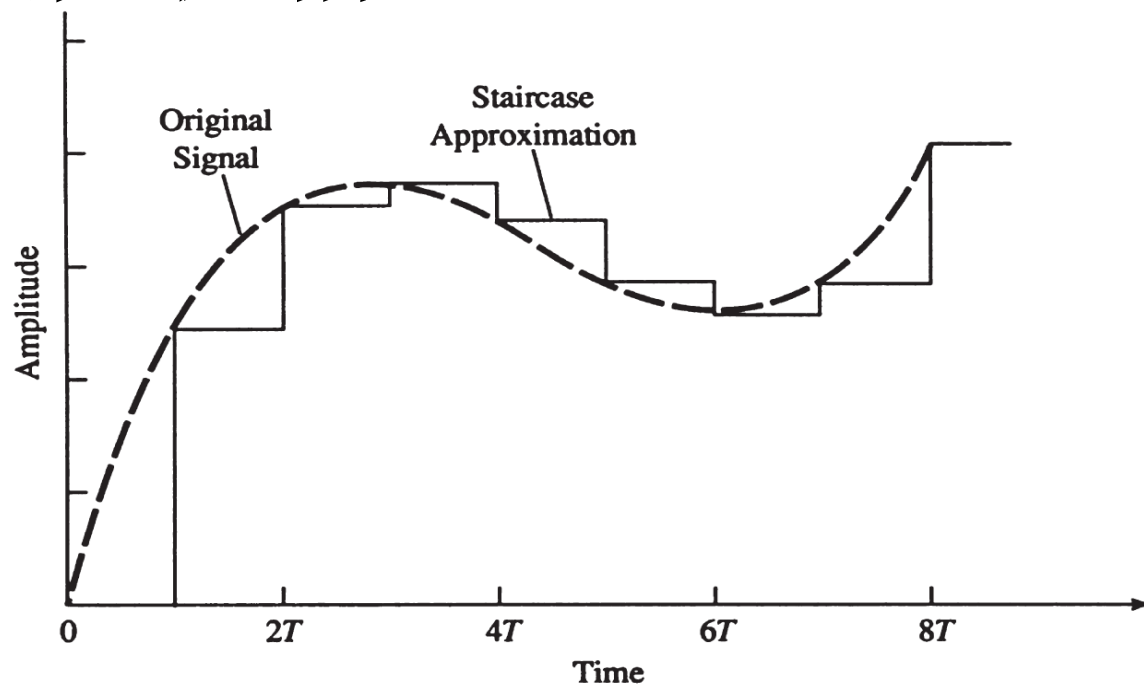


Figure 1.4.2 Zero-order hold digital-to-analog (D/A) conversion.