



数字信号处理

任课教师：田春娜（博士）

单位：西安电子科技大学 电子工程学院

Email: chnatian@xidian.edu.cn

chnatian@gmail.com

参考书籍



- 高新波, 阔永红, 田春娜. 数字信号处理. 高等教育出版社, 2014.
- 史林, 赵树杰. 数字信号处理. 科学出版社. 2007.
- Alan V. Oppenheim, Ronald W. Schaffer. Discrete-Time Signal Processing. 电子工业出版社, 2011.
- 高西全, 丁玉美. 数字信号处理及其习题解答. 西电出版社, 2008.
- Vinay K. Ingle, John G. Proakis. Digital Signal Processing Using MATLAB®. Northeastern University, 1996.

第一章 信号和信号处理理论及应用



◆ 信号和信号处理

- 信号及其分类
- 数字信号处理的背景知识
- 课程内容概述
- 数字信号处理的发展趋势

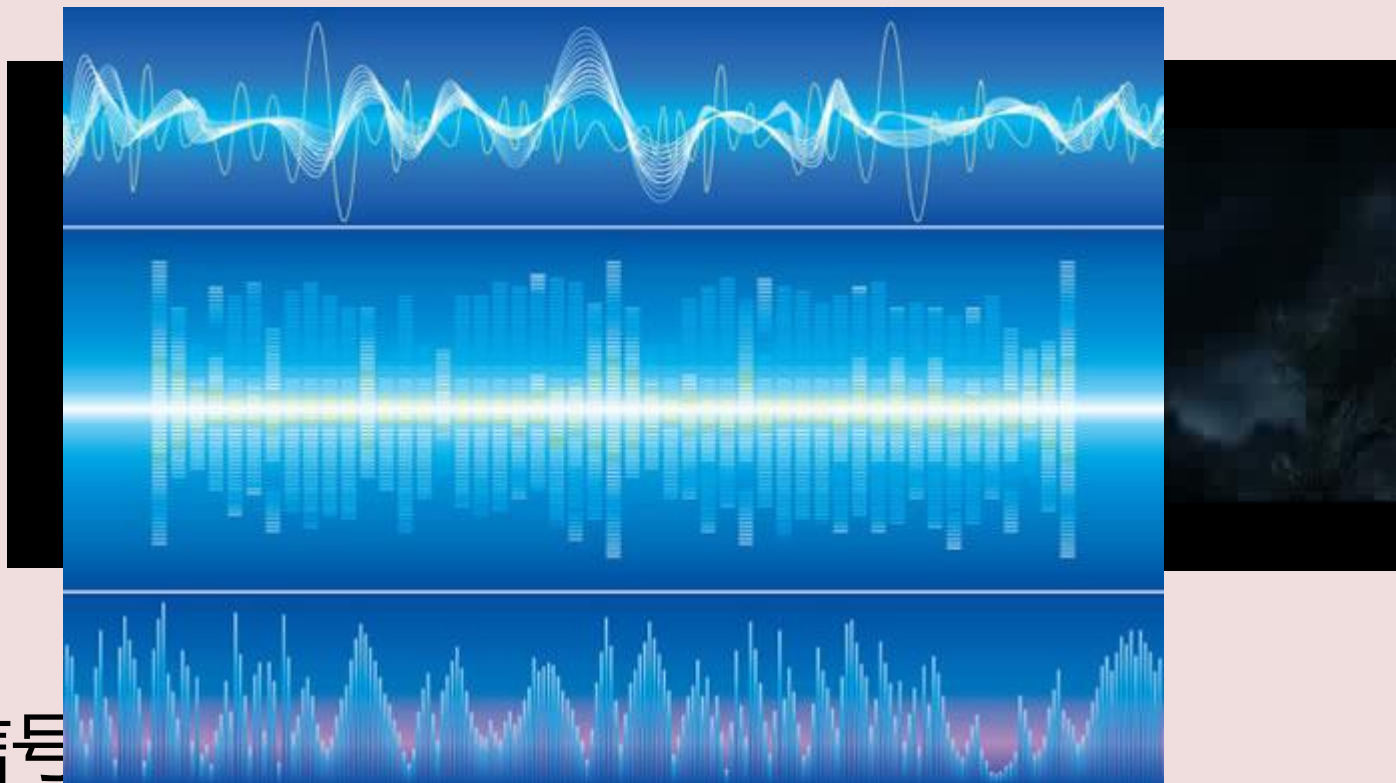
◆ 模拟信号的数字处理方法

- 时域采样定理及其应用

信号及其分类



◆ 信号是信息的载体



◆ 信号

信号分类



◆ 按信号中自变量和幅度的取值特点分为

- **模拟信号**：自变量**时间**在定义域内是连续的，信号的**幅度**在一定的动态范围内连续取值
- **离散时间信号**：自变量**时间**在定义域内是离散的。离散时间信号可以通过对连续时间信号的**采样**来获得，或信号本身就是离散时间信号
- **数字信号**：**时间**离散，**幅度量化**为有限字长二进制数的信号

模拟信号 - > 离散时间信号 - > 数字信号

模/数转换



◆ A/DC

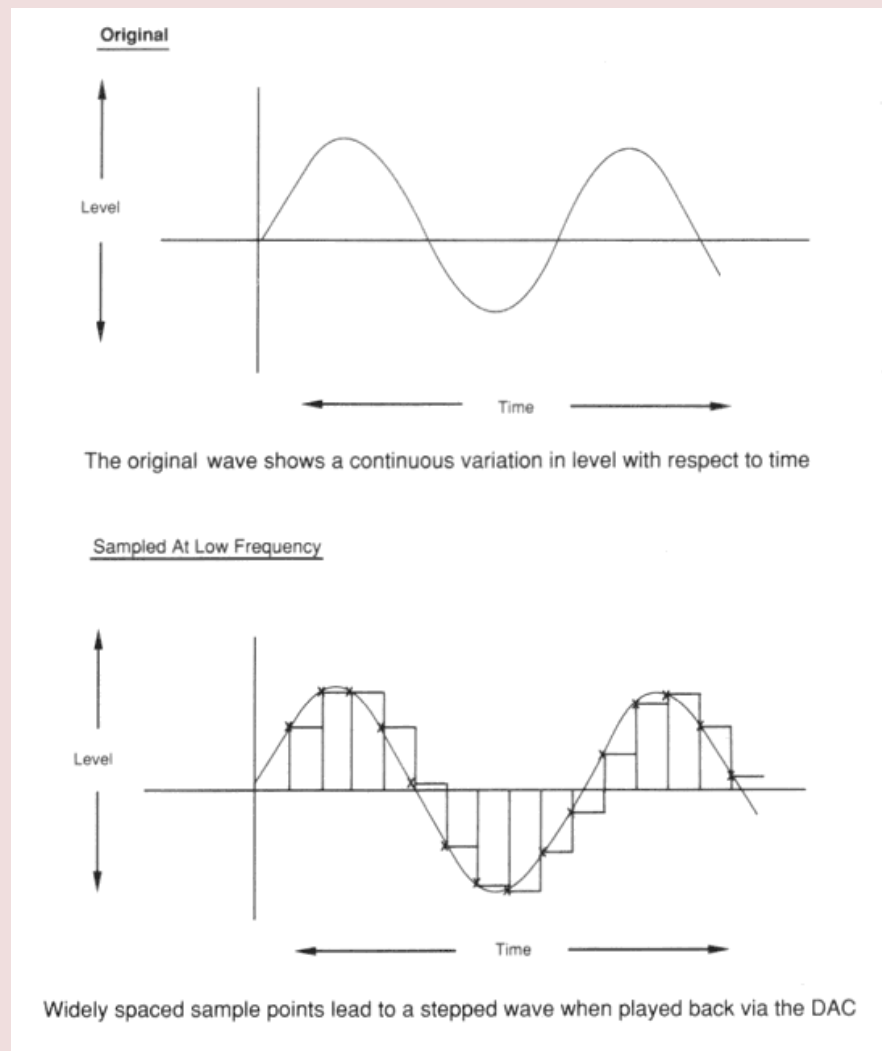
➤ 时域采样

➤ 幅度量化

模拟信号

- > 离散时间信号

- > 数字信号



模拟信号的数字处理原理



滤波器: 滤除信号中的杂散分量

- 模数转换器(Analog-to-Digital Conversion, ADC): 将信号从模拟域(Analog Domain)转换到数字域(Digital Domain)
- 数字信号处理的输出常需要变换到模拟域, 可通过数模转换器(Digital-to- Analog Conversion, DAC)来实现

第一章 信号和信号处理理论及应用



◆ 信号和信号处理

- 信号及其分类
- 数字信号处理的背景知识
- 课程内容概述
- 数字信号处理的发展趋势

◆ 模拟信号的数字处理方法

- 时域采样定理及其应用

数字信号处理



- ◆ 数字信号处理(Digital Signal Processing)是将信号以数字方式进行表示和处理的理论和技术
- ◆ 目的在于对真实世界的连续模拟信号进行测量、滤波、变换、增强、压缩、估计或识别
- ◆ 数字信号处理的算法需要利用计算机或专用设备如数字信号处理器(Digital Signal Processor, DSP)和专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit, ASIC) 等来实现
- ◆ 数字信号处理技术及设备具有灵活、精确、抗干扰强、设备尺寸小、造价低、速度快等突出优点

数字信号处理的发展简史



- ◆ 数字信号处理的学科体系是在20世纪40-50年代建立起来的，真正意义上的数字信号处理的研究开始于20世纪50年代末期至60年代初
- ◆ 20世纪60年代中期以后，数字信号处理的理论和技术开始呈现大发展的局面，标志是快速傅里叶变换算法的提出和数字滤波器设计方法的完善
- ◆ 20世纪70年代，数字信号处理已经发展成为一门独立的学科
- ◆ 20世纪80年代以后，数字信号处理的理论和技术更加成熟，并渗透到各个重要学科领域，与语音、图像、通信等信息产业紧密结合，不断地在理论上有所突破，在技术上有所创新，开辟着一个个新的学科分支

第一章 信号和信号处理理论及应用



◆ 信号和信号处理

- 信号及其分类
- 数字信号处理的背景知识
- 课程内容概述
- 数字信号处理的发展趋势

◆ 模拟信号的数字处理方法

- 时域采样定理及其应用

课程内容概述



- ◆ 离散时间信号和系统的时域描述分析
- ◆ 傅里叶变换：从频域的角度来观察和认识信号
 - 离散时间傅里叶变换
 - 离散傅里叶变换
 - 快速傅里叶变换
 - 后傅里叶变换时代的信号频域分析方法
- ◆ 数字滤波器的设计
 - 有限长冲激响应(Finite-duration Impulse Response, FIR)滤波器的设计
 - 无限长冲激响应(Infinite-duration Impulse Response, IIR)滤波器的设计
 - 滤波器的结构

傅里叶变换

- ◆ 傅里叶(1768-1830)，法国数学家、物理学家
- ◆ 1807年他向巴黎科学院呈交《热的传播》论文，推导出著名的热传导方程，并在求解该方程时发现解函数可以由三角函数构成的级数形式表示
- ◆ 从而提出任一函数都可以展成三角函数的无穷级数。傅里叶级数(即三角级数)、傅里叶分析等理论均由此创始



傅里叶变换



- ◆ 傅立叶变换是一种特殊的积分变换：它能够将满足一定条件的某个函数表示成正弦基函数的线性组合或者积分，而正弦函数在物理上是被充分研究而相对简单的函数类
- ◆ 如近代原子论试图把世界上所有物质的本源分析为原子，而原子不过数百种而已，相对物质世界的无限丰富，这种分析和分类无疑为认识事物的各种性质提供了很好的手段
- ◆ 傅里叶分析的思想具有典型的还原论和分析主义的特征，试图通过对事物内部适当的分析达到增进对其本质理解的目的

傅里叶变换：数学棱镜

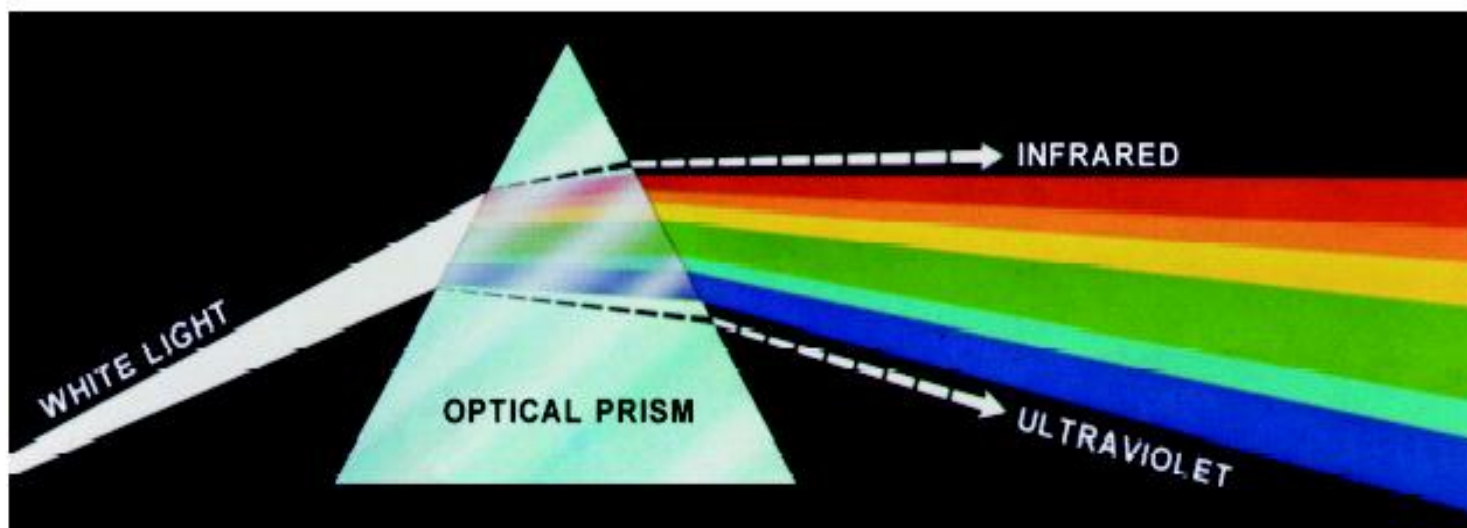
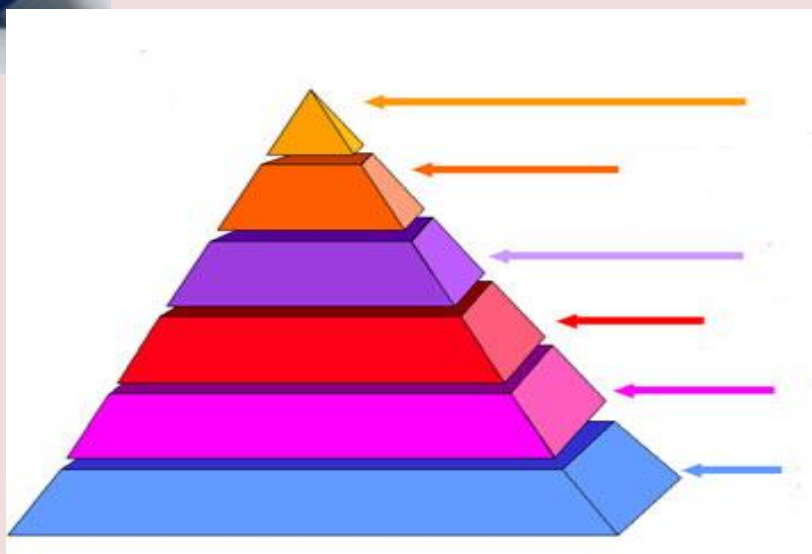
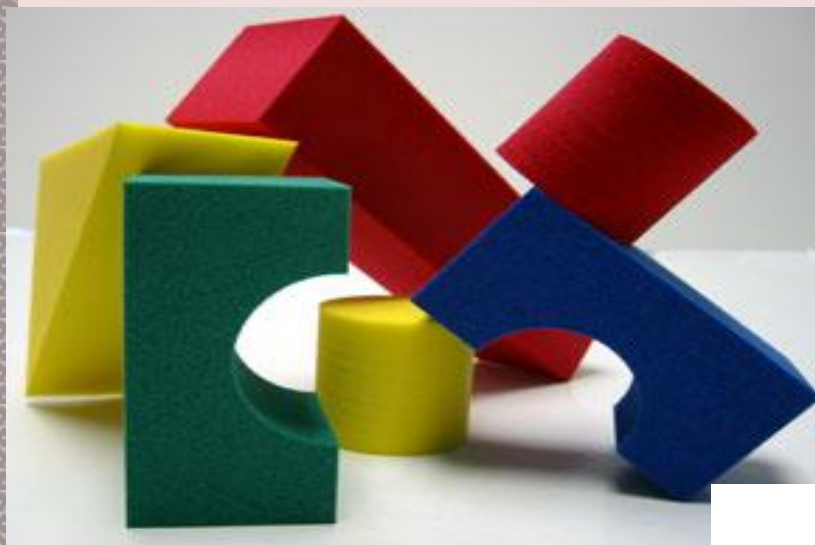


FIGURE 6.1 Color spectrum seen by passing white light through a prism. (Courtesy of the General Electric Co., Lamp Business Division.)

傅里叶变换：基的概念



快速傅里叶变换



- ◆ 傅里叶变换可以用来精细地分析信号，对信号不同组成成分有全面的了解。但是，由于其计算复杂，难以实时的分析信号限制了其应用
- ◆ 随着计算机的出现，人们首先将傅里叶变换推广到离散傅里叶变换，然后开始研究离散傅里叶变换的快速算法
- ◆ 1965年，IBM的Cooley和普林斯顿大学的Tukey提出了快速傅里叶变换(FFT)算法
 - 把按定义计算离散傅里叶变换的速度提高了两个数量级，从而使数字信号处理正式地从理论走向工程实际
- ◆ 快速傅里叶变换算法成为数字信号处理领域中的一项重大突破，开创了真正意义上的数字信号处理的新时代



后傅里叶变换时代的信号频域分析方法

◆傅里叶变换的局限性主要体现在两个方面：

➤傅里叶变换具有非常好的频率分辨率，但是却**丧失了时间分辨率**

➤傅里叶变换对于周期信号具有稀疏性，但是**对于奇异信号(如冲激信号)很难稀疏表示**

◆**加窗傅里叶变换**：对待分析的信号进行时间加窗处理，然后再进行傅里叶变换，从而在一定程度上增加了时间分辨率。这就是**短时傅里叶变换**(Short-Time Fourier Transform, STFT)，当时间窗取不同尺度下的高斯窗时，短时傅里叶变换就变成**Gabor变换**



后傅里叶变换时代的信号频域分析方法

◆为了清楚地描述时变非平稳信号频率随时间变化的关系，人们提出了**时频联合域分析**。通过设计时间和频率的联合函数，同时描述信号在不同时间和频率的能量密度或强度

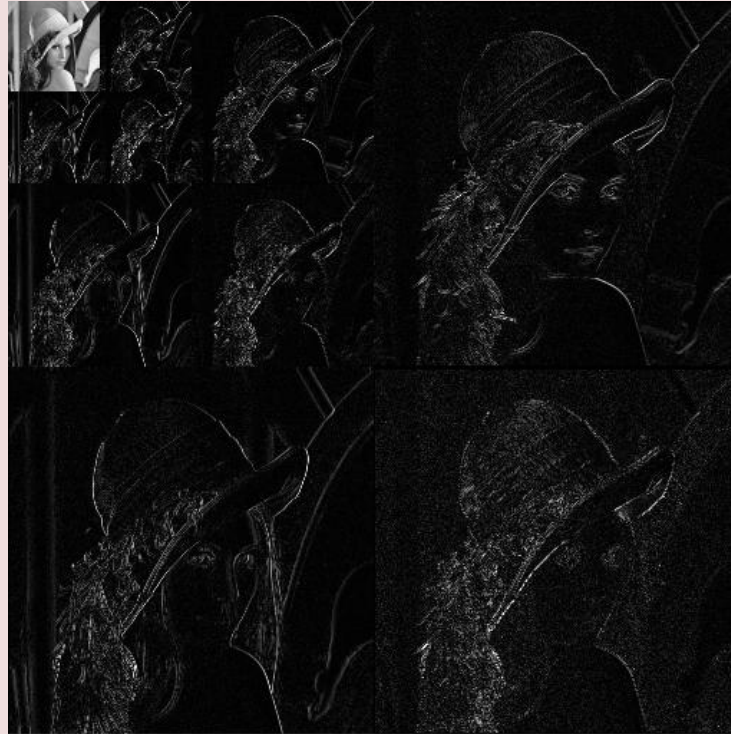
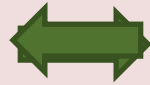
◆**小波变换**：为实现对奇异信号的稀疏表示，学者们设计了不同的基函数。1986年著名数学家Y. Meyer偶然构造出一个基信号，并通过不同的时间平移和尺度变换，形成了一组基函数几何。由于这些基信号支撑域小、长度有限，同时具有衰减性和波动新，其振幅呈正负相间的震荡形式，且均值为0，因此人们称这些基信号为“小波”

后傅里叶变换时代的信号频域分析方法



- ◆ Y. Meyer与S. Mallat合作建立了构造小波基的统一方法——多尺度分析，小波分析开始蓬勃发展起来
- ◆ 与Fourier变换、短时Fourier变换、Gabor变换相比，小波具有良好的时频局部化特性，通过伸缩和平移等运算功能对函数或信号进行多尺度细化分析(Multiscale Analysis)，解决了Fourier变换不能解决的许多困难问题，因而小波变换被誉为“数学显微镜”

图像信号的二维离散小波变换



数字滤波器



- ◆数字滤波器在20世纪60年代中期形成了完整而正规的理论体系
- ◆根据给定的频率特性指标(低通、高通等)来设计并实现FIR或IIR滤波器
- ◆此外，人们还研究了维纳滤波器和卡尔曼滤波器的数字实现，即如何根据信号和噪声的统计特性来设计均方误差最小的最佳线性滤波器
- ◆自适应数字滤波器的性能几乎与卡尔曼滤波器一样好，而设计时却只需很少或根本不需要任何关于信号与噪声的先验统计知识，因此，自1967年B.Widrow等人提出以来，已广泛用于系统识别等各个领域

第一章 信号和信号处理理论及应用



◆ 信号和信号处理

- 信号及其分类
- 数字信号处理的背景知识
- 课程内容概述
- 数字信号处理的发展趋势

◆ 模拟信号的数字处理方法

- 时域采样定理及其应用

数字信号处理的发展趋势



◆ 由简单的运算走向复杂的运算

- 目前几十位乘几十位的全并行乘法器可以在几纳秒的时间内完成一次浮点乘法运算，在运算速度上和运算精度上为复杂数字信号处理算法的使用提供了先决条件

◆ 由低频走向高频

- 模/数转换器的采样频率已高达数百兆赫兹，可以将高频率的信号数字化后送入计算机处理

◆ 由一维走向多维

- 随着计算机存储能力的增加，像高清晰度电视、雷达、石油勘探等多维信号处理的应用领域已与数字信号处理结下了不解之缘

◆ . . .

第一章 信号和信号处理理论及应用



◆ 信号和信号处理

- 信号及其分类
- 数字信号处理的背景知识
- 课程内容概述
- 数字信号处理的发展趋势

◆ 模拟信号的数字处理方法

- 时域采样定理及其应用