

数字信号处理

Digital Signal Processing

主讲教师：郑南宁教授、杨劭副教授

实验指导：王芳芳工程师、张璇工程师

课程助教：张雯博士生、付靖文博士生、张浩博士生

课时安排与教材

- **教学课时** 课堂教学48学时，实验教学8学时
- **参考教材** 《数字信号处理简明教程》（第2版，郑南宁 编著）、《数字信号处理简明教程习题解析》（第2版，郑南宁 等 编）
- **前置课程** 《复变函数》、《积分变换》
- **集中答疑** 周五14:00-18:00，科学馆202
- **课程网站** <http://gr.xjtu.edu.cn/web/mengyang/2>

(课堂教学PPT讲义与板书结合，一些数学推导和例子讨论不会出现在PPT讲义中)

课程实验与组织

- **课程实验**
- **1. 语音识别系列实验**
 - a) 基于时域特征的语音识别
 - b) 基于频域特征的语音识别
 - c) 说话人识别
- **2. 开放式实验 (自选)**
- **组织形式** 5人一组 (按学号组合)
- **时 间** 第4-11周, 第3周发放《实验手册》, 并讲解实验内容会和具体实验安排
- **考 核** 以小组为单位, 每个实验提交1份实验报告, 选6个小组在课堂上报告和演示

课程报告与考核

■ 课程报告

课程结束两周内，每位同学须围绕某一领域应用DSP的现状或发展

趋势，查阅文献，独立撰写一篇综述报告

■ 报告写作要求

4000-6000字，要有题目、摘要（含300字左右的英文摘要）、关键词和参考文献

■ 课程成绩构成

期末考试60%+实验15%+作业15%+课堂出勤5%+课程报告5%

课程讲授章节

绪论 数字信号处理概述

第一章 傅里叶分析与采样信号

第二章 离散时间信号与系统

第三章 z 变换

第四章 离散傅里叶变换

第五章 快速傅里叶变换FFT

第六章 数字滤波器的基本原理与特性

第七章 有限长单位脉冲响应数字滤波器 (FIR) 的设计

第八章 无限长单位脉冲响应数字滤波器 (IIR) 的设计

第九章 离散随机信号的统计分析基础

第十章 数字信号处理的误差分析

(红色字体标出的章节是本课程的重点内容)

- **什么是数字信号处理**
- **数字信号处理的基本内容**
- **傅里叶变换-数字信号处理的根基**
- **数字信号处理的一般架构**

什么是数字信号处理

数字信号处理 (Digital Signal Processing - DSP) 意味着信号处理采用离散数字的方式进行

- 凡是利用数字计算机或专用数字硬件，以数值计算的方法对信号进行的一切加工处理变换，即按数字运算规则或确定算法对信号进行处理

如对信号进行滤波、变换、参数提取、检测、压缩、识别、频谱分析等

- **对于DSP，广义的理解**是数字信号处理的基本理论、方法和实现技术；**狭义的理解**是指实现数字信号处理的器件或专用芯片

本课程主要讨论广义的数字信号处理

信息 (information)、消息 (message)、信号 (signal) 三者的区别

- **信息** 一个抽象的概念，但它可以定量地描述；信息、物质、能量被认为是构成一切系统的三个基本要素；信息是系统中传输或存储和处理的对象；信息包含在消息之中
- **消息** 一个具体的概念，用数字信息表达的消息不仅仅是物理的形式，如文字、语言、图像；消息中载荷有信息
- **信号** 一切自然或人工系统所携带或产生的各类信息表现的一种基本形式；信号通常是可以测量的物理量，如电压、电流、声波等

信号处理的最基本的目的：就是从从一个复杂的环境或系统中提取有用的信号

数字信号处理的基本内容

1. 信号处理：解析、变换、合成

■ 信号的**解析**

对信号产生的性质进行分析（评价、评断，给出结果）

■ 信号的**变换**

对信号进行各种算术运算、滤波等，通常用传递函数或系统函数表示这类变换

■ 信号的**合成**

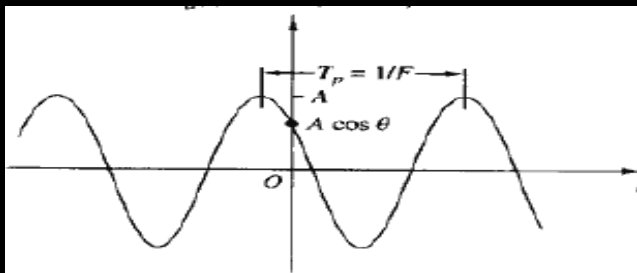
不直接对信号处理，是在信号分析的基础上进行

数字信号处理的基本内容

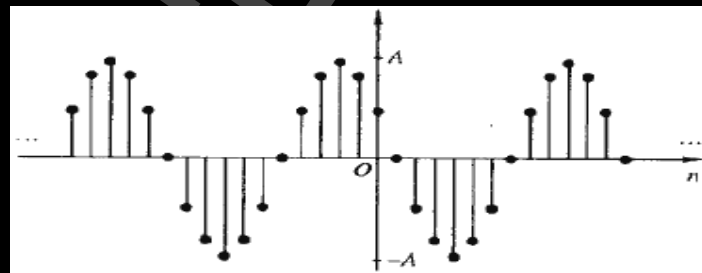
2. 信号分类 (按信号的时间、幅值的特征)

- **模拟信号** 指时间和幅度上都是连续的信号
- **连续时间信号** 指随时间连续变化的信号，幅度可以是连续变化的值，也有可能不是
- **离散时间信号** 只在离散时间点上有着确定的值，通常通过对连续信号采样得到
- **数字信号** 时间和幅度上都是离散的信号

例：



模拟信号：模拟正弦信号



数字信号：离散正弦信号

数字信号处理的基本内容

2. 信号分类 (按信号的数学描述方式)

- **确定性信号** 信号的每一个值可以用有限个参量或定义好的规则来唯一地描述

例如：直流信号：仅用一个参量可以描述

阶跃信号：可用幅度和时间两个参量描述

正弦波信号：可用幅度、频率和相位三个参量来描述

- **随机信号** 不能用有限的参量加以描述，只能通过统计学的方法来描述(如用概率密度函数来描述)

例如：许多自然现象所发生的信号，如语音信号、图象信号、振动噪声、脑电信号、地震波都是随机信号，它们具有幅度(能量)随机性、或具有发生时间上的随机性或二者兼有。

数字信号处理的基本内容

3. 信号处理中的三种基本运算：

和、积、卷积

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau)h(t - \tau)d\tau$$
$$y(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)h(\tau - t)dt$$

$x(\tau)$ 与 $h(t - \tau)$ 的卷积运算—求和、乘积回路、记忆参考信号 $h(t)$ 的**记忆元件**，以及能在一定时间内对信号进行时间移位的**延迟元件**

数字信号处理的基本内容

4. 数字信号处理的基本方法

■ “变换”分析，核心是傅里叶变换

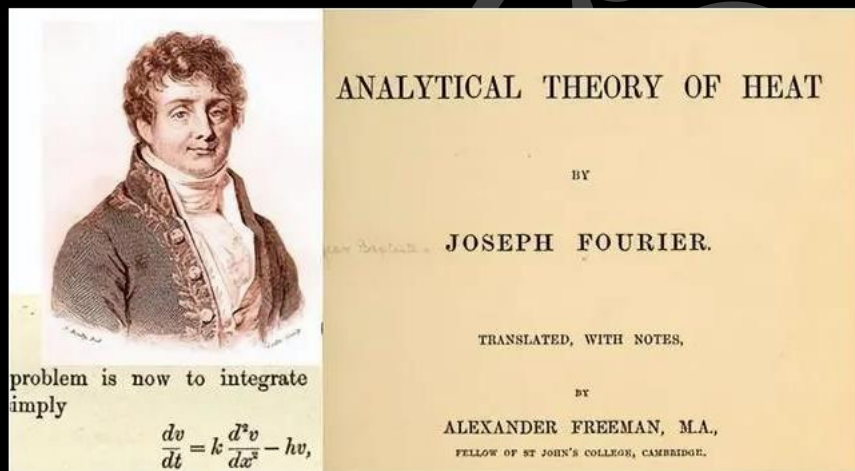
可以把信号的“处理”视作某种“变换”，将某个空间的复杂问题“变换”到易于问题的理解、分析和计算的另一个（易于求解的空间）

举例：模拟信号的采样变换和拉普拉斯变换，离散系统分析的 z 变换和傅里叶变换，数字滤波器的设计，实质上都是建立在“变换”分析的基本概念上。

傅里叶变换 - 数字信号处理的根基

傅里叶变换：用数学洞察万象的内在韵律

- 我们是在时间的维度里观察这个世界，但傅里叶变换作为一种神奇的数学工具，使我们跳出时间维度，进入到另一个神秘的世界——频率的世界，为我们揭示出了时间的另一面



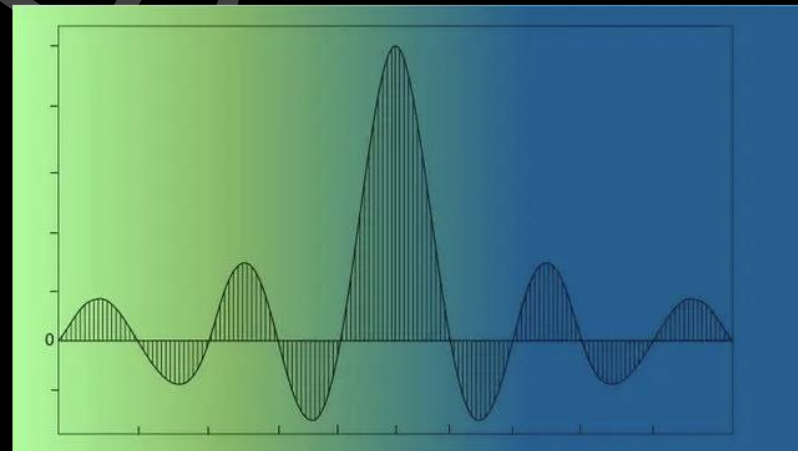
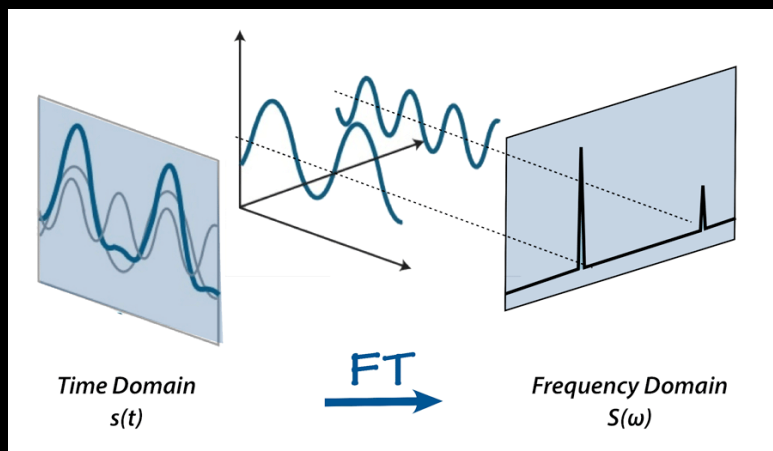
18世纪末，一位叫让-巴普蒂斯特·约瑟夫·傅里叶（Jean-Baptiste Joseph Fourier）的年轻数学家在研究热传导问题时发现，**任何周期函数，无论多么复杂，都可以表示为一系列正弦和余弦函数的和。**在其热传导论文（*The Analytical Theory of Heat*）中阐述了这个观点

- 在此基础上逐渐形成了今天所熟知的傅里叶级数，傅里叶变换也逐渐发展和完善。在19世纪，傅里叶变换主要被用来解决线性微分方程问题，成为解决偏微分方程的重要工具。20世纪中后期，人们发现并发展了快速傅里叶变换（FFT）算法。这个算法极大地提高了计算效率，使得傅里叶变换不再只是解决微分方程的工具，它被广泛地应用于工程和科学领域，成为了处理信号、图像、声音等信息的重要工具

傅里叶变换 - 数字信号处理的根基

傅里叶变换的美：简单与对称律

- 傅里叶变换是一个将函数从时间（或空间）域转换到频率域的线性积分变换。在数学上，傅里叶变换通过整合函数在每个不同频率上的正弦波和余弦波成分，将原函数表示在频率域上。使我们可以看到原函数在各个频率上的强度和相位。这个变换过程不仅用于一维函数，也能扩展到二维乃至多维（图像、声音等）
- 傅里叶变换与傅里叶反变换的关系也展现出一种美丽的对称性，使得我们可以在时间域和频率域之间建立一种孪生对偶性



傅里叶变换 - 数字信号处理的根基

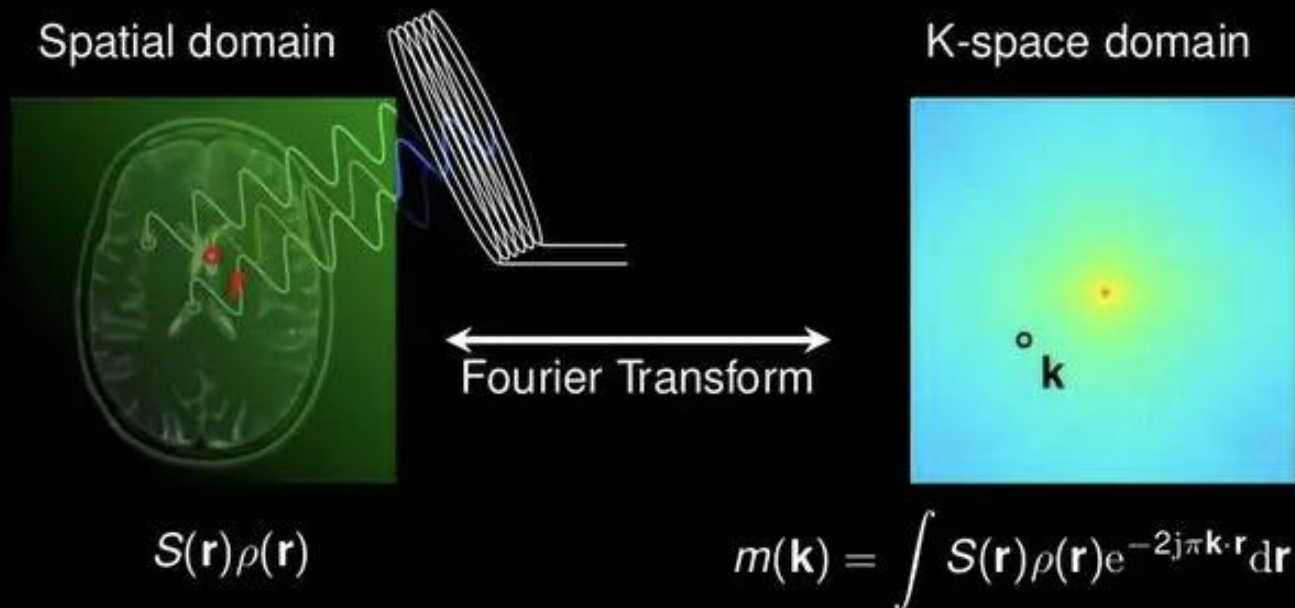
傅里叶变换的应用：一个无边无际的海洋

- 傅里叶变换的应用包含着各种科学、工程、甚至艺术领域的元素
- **物理学**：傅里叶变换被广泛用于解决各种类型的偏微分方程，特别是在量子力学中，薛定谔方程的解就依赖于傅里叶变换
- **电子和电信工程领域**：傅里叶变换几乎无所不在。从无线电广播到手机通信，从图像压缩到音乐合成，从雷达到声纳，傅里叶变换都在其中扮演着重要的角色。在这些应用中，傅里叶变换被用来分析信号在频率域上的行为，然后进行滤波、调制或者其它的信号处理操作
- **医学领域**：磁共振成像（MRI）中，我们需要将原始的传感器数据通过傅里叶变换转化为可以观察的图像。在生物信号处理中，例如心电图（ECG）和脑电图（EEG）等，傅里叶变换被用来分析信号在频率域上的特性
- **人工智能和计算机科学领域**：傅里叶变换的应用也非常广泛。数据压缩是一个例子，如JPEG图像压缩和MP3音频压缩都依赖于傅里叶变换。另一个例子是在计算机图形学中，傅里叶变换被用来生成和分析纹理和其他视觉效果
- **金融领域**：傅里叶变换被广泛用于衍生品定价、风险管理和投资策略分析等

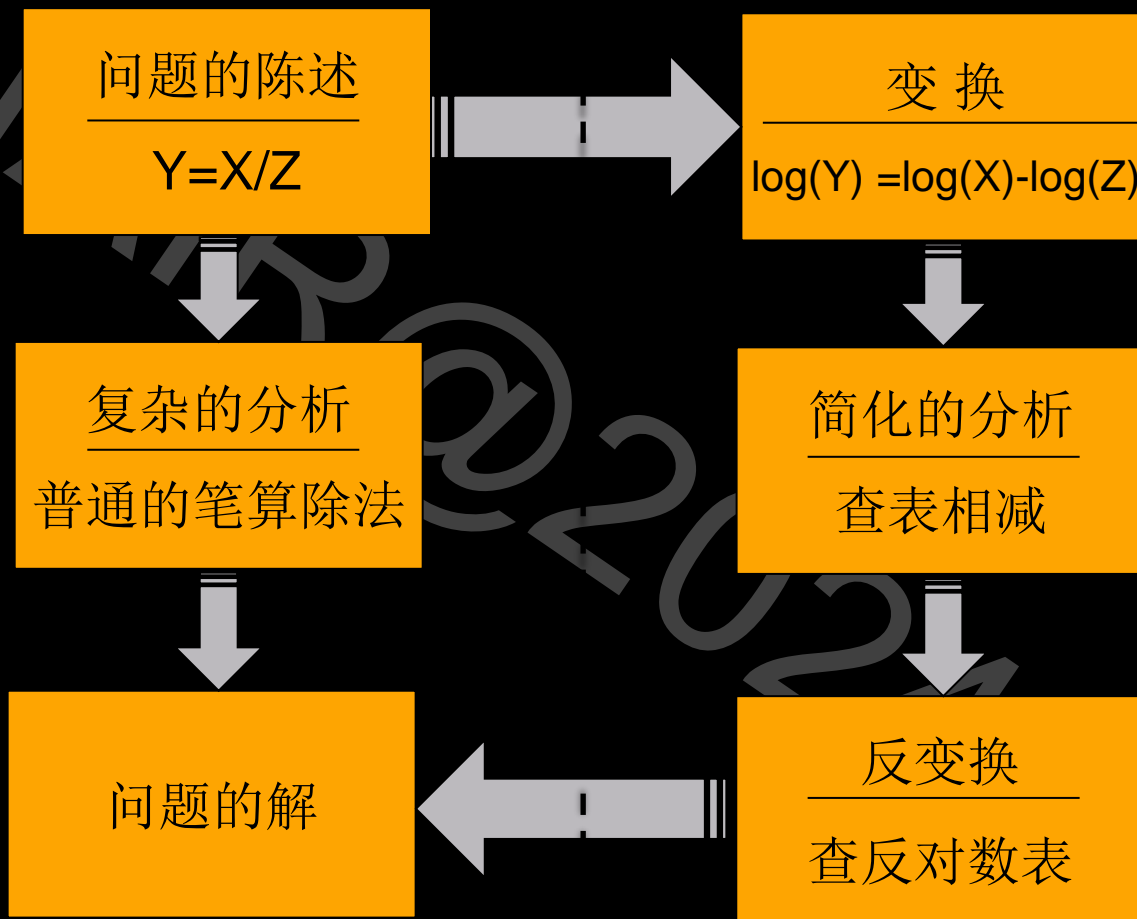
傅里叶变换 - 数字信号处理的根基

傅里叶变换：揭示信号的内在结构

- 总的来说，傅里叶变换是一种非常强大的数学工具，它从一个全新的视角揭示了信号的内在结构。它把我们带到了以一个全新的视角——频率域，去深入探索复杂的信号和数据
- 傅里叶变换的美在于其深度和广度：它既能深入到物理和数学的最基础问题，又能广泛地应用到各种实际的工程和科学问题



常规分析与变换分析的比较 (用对数确定商 $Y=X/Z$)



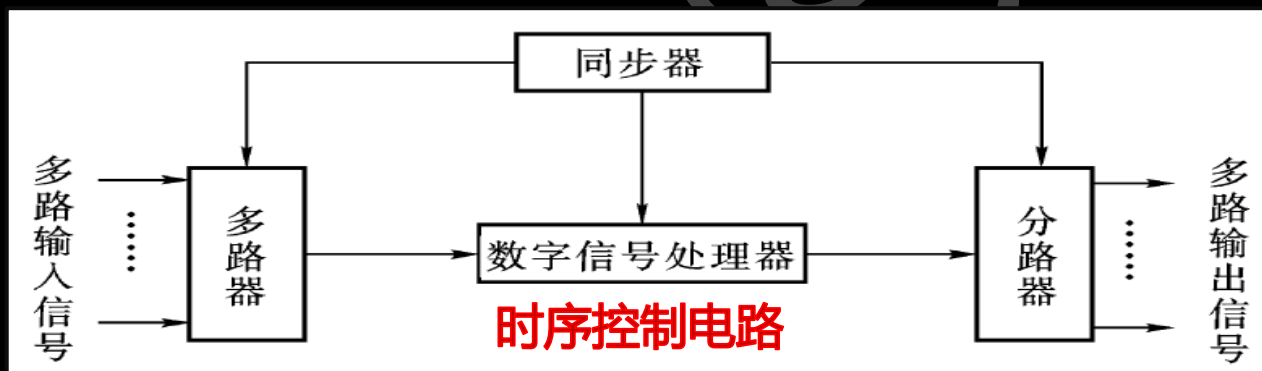
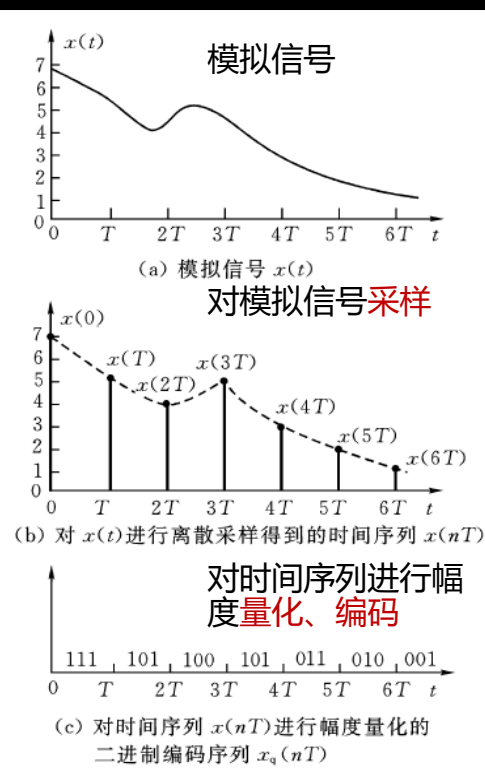
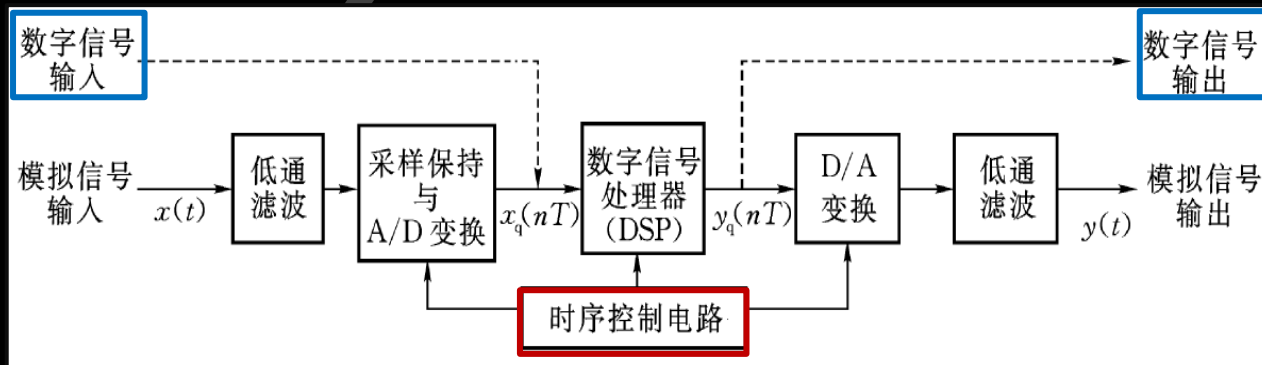
数字信号处理的一般架构

1. 数字信号处理的实现的基本形态

- 在各类计算机上运行算法或构成系统
- 采用单片机
- 利用通用DSP芯片
- 面向特殊用途的DSP芯片
- 采用FPGA、CPU、DSP或GPU构成的嵌入式系统
- 分布、互联、云存储
-

数字信号处理的一般架构

2. 数字信号处理的基本模块



主要模块

- 1、模拟、数字信号转换：采样、A/D、D/A
- 2、前置滤波：滤除高频杂波，采样定理
- 3、时序控制系统：时序同步
- 4、数字信号处理器：本课程的主要内容

数字信号处理的一般架构

3. 数字信号处理技术的特点

■ 精度高

数字系统：由字长确定（32位、64位系统）

模拟系统：由元器件精度确定

■ 灵活性高、容易集成

数字系统：更改程序参数（乘法器的系数等）决定，规范性高

模拟系统：重新设计硬件系统

■ 可靠性高

只有“0”和“1”两个电平，受温度噪声影响小

“数字信号处理” 已成为许多学科重要的理论基础与创新技术的基本支撑

- 数字信号处理在语音、图像、视频、文本等多媒体信号处理、各种智能终端、控制、通信、机械故障诊断、地球物理勘探、生物医学等领域扮演着十分重要的角色
- 成为推动人工智能、模式识别、神经网络、数字通信等新兴学科发展的重要基础支撑技术之一

小结

- 什么是数字信号处理
- 信号的基本分类；信号、信息、消息的关系
- 数字信号处理的一般原理
- 数字信号处理的基本方法——“变换”分析
- 数字信号处理的基本特点
- 确定性信号与随机信号的区别
- 数字信号处理在人工智能领域的应用

理解和掌握好数字信号处理的基本原理与方法，能启发我们在遇到实际问题时去寻找新的理论与技术，使我们能利用一种熟悉的工具进入到一个生疏的研究领域