

# 现代数字信号处理

课程编号：

课程中文名称：现代数字信号处理

课程英文名称：Modern Digital Signal Processing

课程性质：基础及学科理论非核心课程

开课对象：学术型硕士研究生

适用学科：控制科学与工程

开课学期：秋季（第1周）

学分/学时：3/48

先修课程：数字信号处理、线性代数及应用、自动控制原理

建议后续课程：人工智能、模式识别、深度学习、统计分析等

执笔人：王秋生 课程负责人：王秋生 研究方向责任教授：富立 核准院长：王磊

---

## 一、课程的性质、目的和任务

现代数字信号处理课程内容建立在严密的数学基础之上，具有理论性、系统性、工程性和实践性等特点，在自动控制、通信技术、图像处理、生物医学、地球物理、机械工程、故障诊断、声学技术、航空航天等诸多领域有着广阔的应用前景。本课程的授课目的：使学生掌握现代数字信号处理的基本理论、分析方法、处理技术和典型应用，并充分了解现代信息处理领域的未来发展方向。现代数字信号处理课程强调理论与实践、原理与应用的紧密结合。通过系统地学习和实践，将培养学生的抽象思维能力、逻辑判断能力、运用数学工具解决复杂实际工程问题能力，为开展控制与信息领域的科研工作打下坚实的理论与技术基础。

## 二、课程内容、基本要求及学时分配

现代数字信号处理是信息类专业的重要基础课程，主要讲授现代数字信号与系统的基本概念、基本原理、基本方法，以及在工程实践中的典型应用，主要内容包括：数字信号的典型描述方法、短时傅里叶变换与 WVD 分布、连续小波变换、离散小波变换、多分辨率分析、经验模态分解与经验小波变换、现代数字信号处理前沿介绍等。

### 第1章 数字信号的不定原理与标架表示（8学时）

1.1 傅里叶分析的局限性及其克服方法（2课时）

1.2 数字信号的时宽、频宽与不定原理（2课时）

### 1.3 数字信号的分解-合成与正交变换（2 课时）

### 1.4 数字信号的标架概念及其描述方法（2 学时）

基本要求：掌握傅里叶分析体系及其各种变换的固有局限性，掌握傅里叶分析的固有局限性及其克服方法；掌握数字信号的时域与频域描述方法，信号时宽、频宽的基本概念、计算方法；掌握不定原理的定义形式、计算方法及其应用；掌握数字信号的分解-合成概念，与数字信号的典型正交变换；掌握数字信号分析中的标架（框架）表示概念及其数学描述方法等。

## 第 2 章 短时傅里叶变换、WVD 分布与 Cohen 类分布（10 课时）

### 2.1 数字信号分析系统误差与抑制方法（2 学时）

### 2.2 短时傅里叶变换及其典型实例（2 学时）

### 2.3 WVD 分布的基本含义及主要性质（2 学时）

### 2.4 WVD 分布的交叉项抑制及典型应用（2 学时）

### 2.5 Cohen 类时频分布及其最优核函数（2 学时）

基本要求：掌握数字分析系统的体系结构及其时域误差、频域误差的来源与抑制方法；掌握短时傅里叶变换的基本原理、实现方法与典型应用，了解短时傅里叶变换的固有局限性；掌握 WVD 分布的实现思想、定义形式、主要性质及其实现方法；掌握 WVD 分布中交叉项行为的产生原因与抑制方法，掌握 WVD 分布的典型应用；掌握 Cohen 类时频分布的基本概念、最优核函数设计准则与设计方法、以及 Cohen 类时频分布的典型应用。

## 第 3 章 连续小波变换与离散小波变换（14 学时）

### 3.1 连续小波概念及连续小波变换（2 学时）

### 3.2 连续小波变换的容许条件及性质（2 学时）

### 3.3 信号重建方法及典型小波的分类（2 学时）

### 3.4 尺度离散化的小波变换及小波标架（2 学时）

### 3.5 多分辨率分析及信号近似分解方法（2 学时）

### 3.6 信号近似分解方法与二尺度差分方程（2 学时）

### 3.7 Mallat 算法实现及离散小波变换应用（2 学时）

基本要求：掌握连续小波的基本概念及表示方法、小波变换的基本含义；掌握连续小波变换的容许条件及基本性质；了解小波变换重建信号的核函数方法；掌握连续小波变换的离散化方法；掌握多分辨率分析的基本概念、信号近似分解方法及二尺度差分方程；掌握基于 Mallat 算法的离散小波变换的实现方法；掌握在以小波变换为代表的时频联合分析方法的典型应用。

## 第 4 章 经验模态分解、经验小波变换与变分模态分解（12 学时）

- 4.1 频率分量、模态分量与希尔伯特变换（2 学时）
- 4.2 经验模态分解及希尔伯特-黄变换（2 学时）
- 4.3 窄带小波函数构造及经验小波变换（2 学时）
- 4.4 变分优化概念及基于 ADMM 的优化方法（2 学时）
- 4.5 变分模态分解及基于仿真信号测试方法（2 学时）
- 4.6 基于三种方法的信号处理实例与性能比较（2 学时）

基本要求：掌握频率分量、模态分量的描述方法与希尔伯特变换的实现方法；掌握经验模态分解及希尔伯特-黄变换的实现方法；掌握经验小波的构造方法及经验小波变换的实现过程；掌握变分优化方法及其基于 ADMM 的优化计算方法，掌握变分模态分解的实现方法及其基于仿真信号的性能测试方法；掌握基于经验模态分解、经验小波变换、变分模态分解等三种分析方法优势、局限性及其典型应用。

## **第 5 章 现代信号处理技术的应用与展望（4 学时）**

- 5.1 稀疏信号分析技术及实现应用（2 学时）
- 5.2 现代数字信号处理未来发展方向（2 学时）

基本要求：了解以稀疏信号分析与处理为代表的现代数字信号处理方法的基本原理、基本方法及其典型应用；了解现代数字信号处理技术的研究领域与未来发展方向。

## **三、教学方法**

本课程内容具有很强的抽象性、逻辑性、实践性和应用性，教学方法以教师为主导、学生为主体的启发式教学为主，同时辅以学生提问、多媒体展示等多种高效的授课方式，以活跃课堂气氛并加深学生对课程内容的理解与掌握。

## **四、课内外教学环节及基本要求**

为了强化现代数字信号处理课程的理论联系实际特点，教师将指定经典的教材和资料，以扩充学生的知识视野；将适当部署一定量地课后作业，以锻炼和巩固所学知识；要求学生分析和处理有工程实践背景的实测信号，以加深对理论知识的理解和掌握；要求学生查阅前沿参考文献并提交现代数字信号处理的前沿学习报告 1 篇。

## **五、考核方式及成绩评定**

现代数字信号处理课程成绩采用五级计分制（优、良、中、及格、不及格），最终成绩由提交的平时作业、学习报告、平时考勤等共同决定。

## 六、教材和参考资料

### 选用教材

- [1] 胡广书. 现代信号处理教程. 清华大学出版社. 2014 年
- [2] 姚天任, 孙洪. 现代数字信号处理. 华中科技大学出版社. 1999 年

### 参考资料

- [1] Alan. V. Oppenheim. Discrete Time Signal Processing. Person Education. 2010 (影印版, 有中文译本)
- [2] Dimitris G. Manolakis, Vinay K. Ingle, Stephen M. Kogon. Statistical and Adaptive Signal Processing. 清华大学出版社. 2003 年 (影印版, 有中文译本)
- [3] Simon Haykin. Adaptive Filter Theory. 电子工业出版社. 2002 年 (影印版, 有中文译本)