# 《数字信号处理》课程教学大纲

|  |  |
| --- | --- |
| 课程名称：数字信号处理 | 课程代码：TELE2138 |
| 英文名称：Digital Signal Processing |
| 课程性质：专业必修课程 | 学分/学时：3/54（讲课48，实验6） |
| 开课学期：第5学期 |  |
| 适用专业：通信工程，信息工程，电子信息工程 |
| 先修课程：高等数学、线性代数、复变函数、信号与系统 |
| 后续课程：通信原理、多媒体处理技术、自动控制原理等 |
| 开课单位：电子信息学院 | 课程负责人：俞一彪 |
| 大纲执笔人：胡剑凌 | 大纲审核人：俞一彪 |

## 课程性质和教学目标

**课程性质**：《数字信号处理》是通信工程、电子信息工程、信息工程等电子与电气信息类专业最为重要的专业基础课之一。它从理论上建立了完整的对离散信号和离散系统的分析方法和系统模型，从时域和变换域等多个角度为信号与系统的分析与求解提供了系统而有效的解决方案，同时给出了多种滤波器的设计和计算方法。数字信号处理是理论性和工程性都很强的学科， 该课程注重“数字信号处理”的理论与工程应用的紧密结合 , 使学生深入理解信号处理的内涵和实质。

**教学目标**：本课程以离散时间信号与系统作为对象，研究对信号进行各种处理和利用的技术。通过对离散时间傅立叶级数、离散时间傅立叶变换和z变换的学习，掌握离散时间系统时域、频域的描述方法，包括差分方程描述、框图与流图描述、系统极零点的描述、系统函数、单位脉冲响应和系统频率响应，并掌握各种描述方法之间的相互转换和求解；理解拉氏变换、傅氏变换与z变换的关系。通过对信号在时域采样和频域采样理论的学习，掌握连续时间信号与离散时间信号、周期信号与非周期信号之间的内在联系，及对连续时间信号进行离散时间处理的基本思想和方法；掌握使用离散傅里叶变换进行数字信号处理的基本技术，掌握离散傅里叶变换的快速算法。掌握数字滤波器的常用结构形式及滤波器设计的基本理论，理解数字滤波器参数的物理概念。本课程的具体教学目标如下：

1. 掌握数字信号处理的理论和知识体系所需的基本数理知识，并能将信号处理理论用于描述和分析实际系统的解决方案；【1-4】
2. 具备数字信号处理的基础知识，能使用数学、自然科学、工程基础和专业知识分析实际工程中的结构、信号等相关具体问题；【2-3】
3. 具备对常用信号、线性系统的特性、功能及应用进行分析和理解的基础能力，能够理解滤波器、调制解调系统以及信号的时频特性和基本构成原理，能够对实际工程问题和应用对象进行方案分析；【2-3】
4. 具备对数字信号处理的分析能力，能运用基本原理、数理工具和工程方法，完成电子通信领域相关的复杂工程问题与系统单元、过程的描述与设计；【3-1】
5. 具备基于Matlab平台进行信号处理算法分析和设计的能力。【4-3】

## 课程目标与毕业要求的对应关系

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 毕业要求 | 指标点 | 课程目标 |
| 1、工程知识 | 1-4理解系统的概念及其在通信领域的体现，能将专业知识用于描述和分析通信复杂工程问题的解决方案 | 教学目标1 |
| 2、问题分析 | 2-3能运用基本原理分析复杂工程问题，以获得有效结论 | 教学目标2和3 |
| 3、设计/开发解决方案 | 3-1能利用专业知识，根据给定的设计指标，设计通信领域的单元或过程 | 教学目标4 |
| 4、研究 | 4-3能根据实验方案构建实验系统，进行实验 | 教学目标5 |

## 课程教学内容及学时分配（重点内容：★；难点内容：Δ）

1. **介绍（4学时）（支撑课程目标1）**
	1. 课程介绍
	2. 信号与系统的概念
	3. 数字信号处理系统构成
	4. 数字信号处理的优点和应用
	5. 频率的概念
	6. 采样定理
	7. ADC和DAC
* **目标及要求：**
1. 清楚本课程的主要教学目标和教学内容，考核方式★
2. 了解：什么是数字信号处理，与传统的模拟技术相比存在哪些特点。数字信号处理的应用领域。它的发展概况和发展趋势。
3. 加深理解信号与频率之间的关系★Δ；
4. 掌握采样定理，能针对指定信号设置合适的采样频率★Δ
* **作业内容：**

强化采样定理的应用。

* **讨论内容：**

采样对信号的影响，不同信号如何选择合适的采样频率。

* **自学拓展：**

带通信号的采样，采样信号的量化。

1. **离散时间信号与系统（9学时）（支撑课程目标1、2）**
	1. 离散时间信号的表示
	2. 离散时间信号的计算，线性卷积
	3. 离散时间系统的线性、时不变性、因果性和稳定性
	4. IIR和FIR系统
	5. Z变换
	6. 系统函数和差分方程
	7. 系统结构
* **目标及要求：**
1. 掌握常用典型序列：单位脉冲序列、单位阶跃序列、矩形序列、实指数序列、复指数序列及其基本运算，会计算周期性序列的周期、实序列的奇偶部分；★
2. 能计算线性卷积；
3. 能对离散时间系统的线性、时不变性、因果性和稳定性进行分析；★Δ
4. 掌握z变换及其性质，z变换的收敛域，能进行z变换计算和基于部分分式法的z反变换计算；★
5. 能用z变换对系统进行建模，对信号和系统进行频域分析；★Δ
6. 掌握系统的不同时、频域描述方法，能用系统函数、差分方程和系统结构等方式对系统进行描述和分析。★Δ
* **作业内容：**

信号的描述，信号的基本运算，线性卷积计算，系统的线性、时不变性、因果性和稳定性的判断，z变换及其逆变换，基于z变换的信号与系统分析，系统函数、差分方程和系统结构的相互转换。

* **讨论内容：**

线性移不变系统的因果性和稳定性分析。

* **自学拓展：**

能量信号与功率信号的特点。

1. **傅立叶变换和谱分析（8学时）（支撑课程目标2、3、4）**
	1. 离散信号的傅立叶变换-离散时间傅立叶变换（DTFT）
	2. DTFT的性质
	3. LSI系统的频率响应
	4. 零极点的影响
	5. 离散信号谱与连续信号谱之间的关系
	6. 频谱分析与应用
* **目标及要求：**
1. 理解序列的傅立叶变换的正反变换的定义，能正确使用定义式求解一些简单序列的傅立叶变换；★
2. 掌握序列的傅立叶变换的性质：周期性、线性性、时移和频移性、共轭对称性、时域卷积定理、频域卷积定理、帕斯瓦尔定理；能够证明其中的时移性、频移性、共轭对称性、时域卷积定理，特别注意共轭对称性的分析；★
3. 掌握常用序列的 DTFT，能够使用常用序列的 DTFT 和DTFT 的性质来求解一些序列的DTFT；
4. 掌握LSI系统的频率响应，能根据系统的零极点对系统特性进行分析；
5. 掌握时域离散信号的傅里叶变换与模拟信号傅里叶变换的关系，拉氏变换与z变换的关系，DTFT与z变换的关系；★Δ
6. 能用DTFT对信号进行谱分析★Δ
* **作业内容：**

序列的DTFT计算，DTFT性质的应用，系统零极点的分析，连续信号谱和离散信号谱的关系，利用DTFT进行信号谱分析。

* **讨论内容：**

短时DTFT的性质与应用。

* **自学拓展：**

小波变换。

1. **离散傅里叶变换（DFT）和快速算法（8学时）（支撑课程目标3、4）**
	1. 离散傅立叶级数（DFS）
	2. 离散傅立叶变换（DFT）
	3. 频率和时间分辨率
	4. 快速傅立叶变换（FFT）
	5. DFT的应用
* **目标及要求：**
1. 了解离散傅里叶级数及其基本性质，掌握周期卷积；
2. 理解离散傅里叶变换的物理意义及特性，掌握离散傅里叶变换、循环卷积；★Δ
3. 理解 DFT 与DTFT、ZT、DFS 的关系；
4. 能利用DFT做连续信号的频谱分析，并理解分析过程中可能出现的混叠、泄漏、栅栏效应、分辨率等问题及解决方法；★Δ
5. 掌握FFT算法，能使用基2FFT算法快速计算DFT；★
* **作业内容：**

DFS的计算，DFT的计算，频谱分析，周期卷积、循环卷积和线性卷积，FFT计算

* **讨论内容：**

使用DFT实现快速线性卷积。

* **自学拓展：**

Chirp－Z变换，Goertzel变换

1. **无限脉冲响应（IIR）滤波器（8学时）（支撑课程目标1、3、4）**
	1. 数字滤波器的性能指标
	2. IIR滤波器的结构
	3. 巴特沃兹滤波器、切比雪夫滤波器、椭圆滤波器的特性
	4. 脉冲响应不变法IIR滤波器设计
	5. 双线性变换法IIR滤波器设计
	6. IIR滤波器设计的频率变换方法
	7. 系数量化效应
	8. IIR滤波器的应用
* **目标及要求：**
1. 掌握滤波器的主要性能指标，能在模拟滤波器和数字滤波器间进行转换；
2. 掌握数字滤波器基本结构特点和表示方法；★
3. 掌握常用的模拟滤波器的特性及设计方法；★
4. 能采用脉冲响应不变法将模拟滤波器的系统函数转换为数字滤波器的系统函数，并理解其性能和优缺点；★
5. 能采用双线性变换法将模拟滤波器的系统函数转换为数字滤波器的系统函数并实现滤波器设计，理解其性能和优缺点；★Δ
6. 了解从低通原型求得相应的带通，高通滤波器的设计方法。Δ
* **作业内容：**

滤波器性能指标的计算，滤波器结构及相互转换，模拟滤波器参数分析，滤波器的设计。

* **讨论内容：**

IIR滤波器的相位特性。

* **自学拓展：**

非低通IIR滤波器的实现。

1. **有限脉冲响应（FIR）滤波器（9学时）（支撑课程目标1、3、4）**
	1. FIR滤波器的性质
	2. 窗函数设计法
	3. 利用凯泽窗设计FIR滤波器
	4. 频率采样设计法
	5. 等波纹逼近优化设计方法
	6. 系数量化效应
	7. FIR滤波器的应用
* **目标及要求：**
1. 掌握FIR滤波器线性相位的条件，并能对FIR的线性相位条件进行判断；★
2. 掌握FIR滤波器的零点性质及结构性零点，掌握四种线性相位FIR滤波器及它们各适合设计哪些选频滤波器；★
3. 能使用窗函数法设计FIR滤波器，理解不同窗函数对滤波器性能的影响；★Δ
4. 掌握频率采样法设计FIR滤波器，了解采样点数和过渡带采样点对滤波器性能的影响；Δ
5. 了解FIR滤波器的最优化设计准则；Δ
6. 理解IIR及FIR滤波器的优缺点。
* **作业内容：**

线性相位的判断，窗函数的计算，FIR滤波器的设计。

* **讨论内容：**

利用滤波器进行谐波信号增强。

* **自学拓展：**

频率采样法过渡带采样点的确定，等波纹逼近优化设计方法的实现。

1. **希尔伯特变换和多采样率信号处理（2学时）（支撑课程目标1）**
	1. 连续信号的希尔伯特变换和离散信号的希尔伯特变换
	2. 内插和抽取
* **目标及要求：**
1. 了解希尔伯特变换及其在信号处理和通信中的应用；
2. 了解信号的采样率变换方法及其在上、下变频中的应用；
* **作业内容：**

无

* **讨论内容：**

无

* **自学拓展：**

离散希尔伯特变换的实现。

1. **实验（6学时）（支撑课程目标4和5）**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 实验项目名称 | 目的要求 | 学时分配 | 实验类型 | 每组人数 | 必开、选开 |
| 1 | 基于DFT的信号分析与检测 | 能对给出的信号利用傅里叶变换技术进行信号特征分析及相关检测，并根据信号特点和实验要求选择合理的参数 | 3 | 设计型 | 1 | 必开 |
| 2 | 基于滤波的信号处理技术 | 在对给出信号进行分析的基础上，根据信号特点和实验要求确定合理的滤波器参数并完成滤波器设计，进而使用所设计的滤波器完成信号处理 | 3 | 设计型 | 1 | 必开 |

## 教学方法

授课方式：a.理论课（讲授核心内容、总结、按顺序提示今后内容、答疑、公布习题和课外拓展学习等）；b. 讨论课（根据布置内容安排学生进行讨论）；c.课后练习（按照理论内容进行）；d.实验环节（根据理论课教学内容，要求学生学会相应的Matlab命令和函数，编写相应的处理程序完成实验任务）；e.办公室时间（每周安排固定的办公室时间，学生无需预约，可来教师办公室就课程内、外内容进行讨论）；f.答疑（全部理论课程和实验课程完成后安排1～2次集中答疑，答疑时间不包括在课程学时内，答疑内容包括讲授内容、习题、实验等）；g.期中和期末闭卷考试。

课程要求：a.理论课：在理论课讲授环节中，应注意概念讲清讲透，并贯彻理论联系实际的原则，注意学生逻辑思维能力、工程观点和分析与解决问题能力的培养。根据本课程的特点，必须严格要求学生独立完成一定数量的习题；b.实验环节：要求学生学会使用MATLAB等常用计算机软件，会应用这些软件进行信号分析和信号处理系统设计与仿真，培养学生独立进行设计和分析问题的能力，正确地读取和记录实验数据、绘制图表，培养学生良好的实验习惯，树立实事求是和严肃认真的科学作风，根据实验数据和实验结果撰写实验报告，具有对实验结果进行分析和解释的能力，注意启发学生的创新思维，培养创新能力，安排综合性、设计性实验，能用软件工具求解数字信号处理课程的习题。

## 考核及成绩评定方式

### 1、考核与成绩评定方式

**考核方式**：闭卷笔试，平时成绩（课堂表现及作业），实验

**成绩评定方式**：期末成绩50%，期中成绩20%，平时成绩10%，实验成绩20%

课程目标达成情况及考试成绩评定占比（%）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 课程教学目标 | 支撑毕业要求 | 考试和评价方式成绩占比（%） | 成绩比例（%） |
| 平时成绩 | 实验成绩 | 期中考试 | 期末考试 |
| 教学目标1 | 支撑毕业要求1-4  | 2.5 |  | 6 | 15 | 23.5 |
| 教学目标2 | 支撑毕业要求2-3 | 2.5 |  | 6 | 10 | 18.5 |
| 教学目标3 | 支撑毕业要求2-3  | 2.5 |  | 4 | 15 | 21.5 |
| 教学目标4 | 支撑毕业要求3-1  | 2.5 | 10 | 4 | 10 | 26.5 |
| 教学目标5 | 支撑毕业要求4-3  |  | 10 |  |  | 10 |
| 合计 | 10 | 20 | 20 | 50 | 100 |

### 2、考核与评价标准

**实验成绩评价标准：**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 基本要求 | 评价标准 | 成绩比例（%） |
| 优秀 | 良好 | 合格 | 不合格 |
| 实验1 | 具备用DFT进行信号谱分析的基本能力，能分析不同参数选择对信号谱的影响（支撑毕业要求3-1） | 能合理选择参数实现信号处理，能分析不同参数选择对信号谱的影响；对获得的结果能进行有效分析；实验报告撰写规范，内容完整，条理清晰；自己努力完成，没有抄袭；有核心问题的心得体会、有创意，有自己的个人见解和想法。 | 能选择参数实现信号处理，能对信号谱进行分析；实验报告撰写规范，内容比较完整；自己努力完成，没有抄袭。有核心问题的心得体会，但自己的个人见解和想法较少。 | 能理解不同参数对信号谱的影响；实验报告撰写尚规范，内容基本完整；自己努力完成，没有抄袭。核心问题的心得体会较少，无创意和个人想法。 | 不理解不同参数对信号谱的影响；没有交实验报告；或者基本上是抄袭；或者内容太空泛，太简单。 | 25 |
| 能运用Matlab编程实现FFT算法，构建按帧进行信号处理的实验系统（支撑毕业要求4-3） | 能独立使用Matlab完成FFT编程，结果正确；能正确合理建立以帧为单位进行信号处理的实验系统 | 能使用Matlab完成FFT编程，结果正确；能以帧为单位对信号进行连续处理 | 能使用Matlab进行编程，能得到FFT结果；具有一定的以帧为单位进行信号处理的概念 | 不会使用Matlab实现FFT；无按帧进行信号处理的概念； | 25 |
| 实验2 | 具备信号分析和滤波器设计的基本能力；能对滤波器性能和滤波结果进行分析（支撑毕业要求3-1） | 针对给定信号能合理选择参数完成滤波器设计和信号滤波；能对处理结果进行有效分析；实验报告撰写规范，内容完整，条理清晰；自己努力完成，没有抄袭；有核心问题的心得体会、有创意，有自己的个人见解和想法。 | 针对给定信号能选择参数完成滤波器过程；能对处理结果进行一定分析；实验报告撰写规范，内容比较完整；自己努力完成，没有抄袭。有核心问题的心得体会，但自己的个人见解和想法较少。 | 能使用参数完成滤波过程；对处理结果的分析能力较弱；实验报告撰写尚规范，内容基本完整；自己努力完成，没有抄袭。核心问题的心得体会较少，无创意和个人想法。 | 没有交实验报告；或者基本上是抄袭；或者内容太空泛，太简单。 | 25 |
| 能运用Matlab编程实现信号滤波过程，构建按帧进行信号处理的实验系统（支撑毕业要求4-3） | 能独立使用Matlab完成滤波算法，结果正确；能正确合理建立以帧为单位进行信号处理的实验系统 | 能使用Matlab完成滤波算法，结果正确；能以帧为单位对信号进行连续处理 | 能使用Matlab进行编程，能得到滤波结果；具有一定的以帧为单位进行信号处理的概念； | 不会使用Matlab实现信号滤波；无按帧进行信号处理的概念 | 25 |

注：该表格中比例为各个实验占实验总成绩的比例。

**期中考试考核评价标准**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 基本要求 | 达成情况评价标准 | 成绩比例（%） |
| 优秀≥0.9 | 良好≥0.7 | 合格≥0.6 | 不合格<0.6 |
| 教学目标1 | 掌握数字信号处理系统的基本框架结构，掌握采样定理，能描述离散时间信号与系统 | 概念清晰，能准确地描述数字信号处理系统，能对采样定理进行正确的描述和应用，数学表达完整。 | 概念较清晰，能描述数字信号处理系统，对采样定理能作出描述，只能掌握部分数学表达。 | 基本掌握概念，知道有相关的数学表述形式。 | 概念不清楚，并对相关的数学表达完全不了解。 | 30 |
| 教学目标2 | 能运用数字信号处理基本理论对离散时间信号进行分析、离散时间系统进行特性分析 | 运用的原理和方法准确、清晰，能完成对离散时间信号和系统的分析，并进行一定的应用和比较说明。 | 能清楚掌握原理和方法，但在分析和运用上还不熟练，对知识点的应用及比较不够完善。 | 了解基本原理和方法的应用方向及分析的手段，但对特定的数字信号处理无法获得准确的分析结果。 | 不清楚原理和方法如何应用到分析与比较中。 | 30 |
| 教学目标3 | 具备信号与系统分析和理解的能力，能从时频域分析信号和系统及系统对信号的作用 | 掌握和了解信号与系统的时频域分析方法，并能灵活运用时频域方法对信号和系统进行分析。 | 基本清楚信号和系统的时频分析方法，能对系统对信号的作用做部分解答。 | 了解信号和系统的时频域分析方法，但对具体问题的解答不准确。 | 不清楚基本的信号与系统的时频域分析方法，无法对具体问题进行解答。 | 20 |
| 教学目标4 | 能运用基本原理对离散时间系统单元、过程的设计进行正确的描述 | 能熟练、准确地应用基本原理对离散时间系统单元、过程的设计作出描述 | 能应用基本原理对离散时间系统单元、过程的设计作出描述，但不全面 | 能对离散时间系统单元、过程的设计做部分描述 | 不能对离散时间系统单元、过程的设计作出描述 | 20 |

注：该表格中比例为期中考试卷各教学目标所占成绩比例。

**期末考试考核评价标准**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 基本要求 | 达成情况评价标准 | 成绩比例（%） |
| 优秀>0.9 | 良好>0.7 | 合格>0.6 | 不合格<0.6 |
| 教学目标1 | 掌握采样理论和量化，具有离散时间信号和离散时间系统的基本概念，能用时频域方法对信号与系统进行描述 | 概念清晰，能准确地使用时频域方法对信号和系统进行描述，能对采样定理进行正确的描述和应用，数学表达完整。 | 概念较清晰，能从时频域描述信号和系统，对采样定理能作出描述，只能掌握部分数学表达。 | 基本掌握概念，知道有相关的数学表述形式。 | 概念不清楚，并对相关的数学表达完全不了解。 | 30 |
| 教学目标2 | 能对离散时间信号的性质进行分析，能对离散时间系统的输入输出进行分析 | 运用的原理和方法准确、清晰，能完成对离散时间信号和系统的分析，并能对系统的输入输出进行有效分析。 | 能清楚掌握原理和方法，但在分析和运用上还不熟练，对系统输入输出的分析不够完善。 | 了解基本原理和方法的应用方向及分析的手段，但对特定的数字信号处理无法获得准确的分析结果。 | 不清楚原理和方法如何应用到分析与比较中。 | 20 |
| 教学目标3 | 能对离散时间系统进行有效分析，能使用DFT等变换技术对信号和系统进行时频域分析 | 掌握和了解离散时间系统的有效分析工具，能熟练使用DFT等变换技术对信号和系统进行时频域分析。 | 基本掌握离散时间系统的分析工具，能使用DFT等变换技术对信号和系统进行时频域分析，但不全面。 | 具有一定的离散时间系统分析的基本概念，对信号和系统的时频域分析能力弱。 | 不具有离散时间信号和系统的时频域分析能力。 | 30 |
| 教学目标4 | 具备数字信号处理系统单元、过程的设计能力 | 能使用数字信号理论对系统单元、过程进行有效设计 | 能根据要求进行系统单元、过程的设计，但不完善 | 具有对系统单元、过程进行设计的基本概念，设计结果存在偏差 | 不具有对系统单元、过程进行设计的基本能力 | 20 |

注：该表格中比例为期末考试卷各教学目标所占成绩比例。

**平时成绩**：本课程平时成绩由课堂表现、作业、课程群中参与提问和讨论的参与度构成，课堂出勤率为学生参加本课程期末考试及获得课程成绩的前提条件。

## 教材及参考书目

**教材：**

俞一彪，孙 兵. 数字信号处理-理论与应用. 第三版，东南大学出版社，2017

**参考书目：**

1. Alan V. Oppenheim, Ronald W. Schafer. Discrete-time Signal Processing (3nd). 电子工业出版社，2011
2. Joyce Van de Vegte. Fundamentals of Digital Signal Processing . Prentice Hall, 2002
3. 吴镇扬. 数字信号处理的原理与实现. 东南大学出版社，2001
4. 程佩清. 数字信号处理教程. 第二版，清华大学出版社，2001
5. 胡广书. 数字信号处理导论. 第二版，清华大学出版社，2013