



北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

# 《数字信号处理》课程

## 实验指导书—软件部分

(2019 版)

检测与自动化工程系 编  
自动化与电气教学研究实验中心  
2019 年 4 月

## 目录

课程介绍.....	1
基本要求与注意事项 .....	2
一、安全操作守则 .....	2
二、预习要求.....	2
三、出勤要求.....	2
课程实验指导 .....	3
1 实验内容介绍.....	3
2 实验内容及要求 .....	3
2.1 利用离散傅里叶变换（DFT）计算声发射信号的频谱 .....	3
2.2 离散太阳黑子信号的时域滤波及其周期性分析.....	3
2.3 受谐波噪声扰的数字心电信号图（ECG）滤波技术.....	4
3 实验系统软件 Matlab 介绍 .....	4
3.1 Matlab 软件介绍 .....	4
3.2 信号处理工具箱介绍 .....	5
课程实验报告模板.....	7

## 课程介绍

《数字信号处理》是“检测技术与自动化装置”专业方向的必修专业课。课程内容包括：离散时间信号与系统、Z 变换及性质、离散时间系统结构、数字滤波器设计、离散傅立叶变换及快速傅立叶变换等。通过学习和实验，掌握数字信号处理的基本概念、基本理论、信号分析和处理的基本方法，为深入学习专业知识和进行科学研究实践打下坚实的基础。《数字信号处理》课程总体要求是理解和掌握数字信号处理的基本概念、基础知识、基本原理和典型应用。具体要求是理解和掌握离散时间信号与系统、线性时不变系统的概念和性质；理解和掌握时间序列的傅立叶变换、离散傅立叶级数、离散傅立叶变换之间的相互关系；掌握离散时间信号与系统的时域和频域分析方法；理解和掌握采样定理、模数转换和数模转换的基本概念；掌握单位脉冲响应、差分方程、系统函数、信号流图、频率响应描述系统的方法和关系；掌握 IIR 和 FIR 数字滤波器的结构；掌握基于模拟滤波器设计 IIR 数字滤波器和基于窗口函数方法设计 FIR 数字滤波器的设计思想和步骤；掌握离散傅里叶变换的含义和性质；掌握基于时域抽取和频域抽取的 FFT 算法原理及实现方法，等等。

通过《数字信号处理》课程学习，要求学生总体上能够达到：1) 能够应用数学、自然科学和工程科学的基本原理，识别、表达、并通过文献研究分析复杂工程问题，以获得有效结论。2) 能够基于科学原理并采用科学方法对复杂工程问题进行研究，包括设计实验、分析与解释数据、并通过信息综合得到合理有效的结论。3) 能够针对复杂工程问题，开发、选择与使用恰当的技术、资源、现代工程工具和信息技术工具，包括对复杂工程问题的预测与模拟，并能够理解其局限性。4) 能够就复杂工程问题与业界同行及社会公众进行有效沟通和交流，包括撰写报告和设计文稿、陈述发言、清晰表达或回应指令。并具备一定的国际视野，能够在跨文化背景下进行沟通和交流。

具体地讲，通过《数字信号处理》课程学习，学生能够应用包括数学分析、线性代数、概率统计、积分变换等工程数学内容，并根据自然科学和工程科学的基本原理，能够用学过的数字信号处理知识正确的识别、表达并通过查阅相关文献，分析和处理复杂工程领域出现的数字信号处理问题，并具备通过信息综合得到有效结论的能力。2) 能够针对工程领域出现的复杂的熟悉信号处理问题，选用数字信号处理技术中合适的技术处理手段，通过对设计实验、数据分析和解释数据，并通过信息综合得到有效的结论。3) 学生能够通过现代仿真工具和方法，通过实验分析和仿真实验分析，能够对工程领域问题进行预测和模拟，以理解其局限性和有效性。4) 能够针对数字信号处理领域中的问题，通过撰写报告、设计文稿、陈述发言等，同业界同行进行有效沟通和交流，并了解数字信号处理技术的国内外发展趋势，具有在不同文化背景下用科技语言交流的能力。

## 基本要求与注意事项

### 一、安全操作守则

1. 首次进入实验室参加实验的学生应认真听取实验指导教师对于安全内容的介绍。
2. 实验室总电源由指导教师负责，学生不得擅自接触。
3. 为确保人身安全，进行实验时应注意衣服、围巾、发辫及实验用线，实验过程中需妥善保管好水杯、饮料瓶等容器，不许放置在实验台上。
4. 在实验过程中，计算机、显示器和网络设备发生故障，应报告指导教师，不得自行排除故障。
5. 实验室内禁止打闹、大声喧哗、乱扔废物以及其它不文明行为。
6. 实验完毕后应首先切断电源，再经指导教师检查实验数据后方可离开，并将实验台收拾干净。

### 二、预习要求

- 1、课程实验前，要求对即将开展的《数字信号处理》实验涉及的相关内容要进行充分地预习。
- 2、课程实验前，要求对《数字信号处理》实验内容有进行必要的调研，对该项实验报告撰写内容和撰写要求有所了解。

### 三、出勤要求

- 1、学生进行《数字信号处理》课程实验，不得迟到或早退，实验过程中不得无故缺席，对于特殊问题，需要得到指导教师允许才可以离开。
- 2、《数字信号处理》实验课程的必修环节，无故缺席实验将取消本次实验的成绩。

## 课程实验指导

### 1 实验内容介绍

《数字信号处理》课程软件实验部分为三个实验，在 PC 机上的 MATLAB 软件平台下实现。

《数字信号处理》课程软件实验结果以实验报告形式体现，实验报告以电子版方式提交，并包含全部的 MATLAB 代码、实验界面和必要的结果分析。

### 2 实验内容及要求

《数字信号处理》课程包含 3 项软件实验，全部针对工程实践领域的实际信号，学生按照实验要求内容要求，对包含工程实际背景的数字信号进行分析与处理。

#### 2.1 利用离散傅里叶变换（DFT）计算声发射信号的频谱

声发射信号是材料在塑性变形时释放出的超高频应力波脉冲信号，数据文件 LeadBK.txt 是数据采集系统获取的铅笔铅芯断裂时产生的声发射信号，采样频率为 1M Hz、采样时间为 2 ms。

要求：

- 1) 在 Matlab 环境下按照 DFT 定义式编写计算 DFT 的基本函数；
- 2) 从数据文件读取出声发射信号并绘制其波形图；
- 3) 用所编写的 DFT 程序计算声发射信号的数字频谱并绘制其频谱图；
- 4) 将声发射信号的数字谱转换为有真实物理意义的频谱并绘制其频谱图，
- 5) 对数字频谱和模拟频谱的频率转换方法和实验结果进行必要的分析。

**注意：**不得使用 MATLAB 的可视化信号处理工具箱，绘制图形时坐标轴标注要规范。

#### 2.2 离散太阳黑子信号的时域滤波及其周期性分析

太阳光球表面有时会出现一些较暗的区域（称为太阳黑子），它是太阳表面上可以被看到的突出现象，也是太阳表面磁场聚集的地方，长期的观测发现，太阳黑子数目的多少与其它太阳活动有着密切的联系。从 1749 年 1 月至 2017 年 6 月观测得到的太阳黑子数目序列为数据文件为 Sunspot.txt。

要求：

- 1) 在 Matlab 环境下读取太阳黑子数目序列，并绘制其时域波形；
- 2) 采用离散时间卷积计算方法对太阳黑子数据序列进行滑动平均滤波（窗口宽度分别为 5 和 13），并绘制出滤波后的波形；
- 3) 对太阳黑子数据进行离散时间傅里叶变换，通过求幅度谱最大值方法估计太阳黑子的周期；
- 4) 对上述滤波结果和频谱计算方法进行分析。

**注意：**不得使用 MATLAB 的可视化信号处理工具箱，绘制图形时坐标轴标注要规范。

### 2.3 受谐波噪声扰的数字心电信号图（ECG）滤波技术

数字心电图信号是心电图机记录的心脏活动时心肌激动产生的生物电信号（心电信号），它可以为临床诊断和科研提供有效地依据。在数字心电图信号采集过程中，通常会受到 60 Hz（ECG 信号来自于美国麻省理工学院，这里采用美国电力标准）及其谐波的干扰，受谐波干扰的数字心电图信号文件为 Ecginf.txt，其中采样频率为 360 Hz、采样时间为 60 s。

要求：

- 1) 在 Matlab 环境下读取数字心电图信号，并绘制其时域波形；
- 2) 利用离散傅里叶变换计算数字心电图信号的频谱，并分析其频谱特征；
- 3) 采用 Hamming 窗函数方法，设计对应于截止频率为 40Hz、长度为 51 的数字低通滤波器；
- 4) 利用所设计的数字滤波器，实现对受到污染的数字心电图信号的频域滤波，并绘制指出滤波后的心电图信号的波形；
- 5) 对上述数字滤波器设计和滤波过程进行分析。

**注意：**不得使用 MATLAB 的可视化信号处理工具箱，绘制图形时坐标轴标注要规范。

## 3 实验系统软件 Matlab 介绍

### 3.1 Matlab 软件介绍

MATLAB 是美国 MathWorks 公司出品的商业数学软件，用于算法开发、数据可视

化、数据分析以及数值计算的高级技术计算语言和交互式环境，主要包括 MATLAB 和 Simulink 两大部分。MATLAB 是 matrix & laboratory 两个词的组合，意为矩阵工厂（矩阵实验室），它将数值分析、矩阵计算、科学数据可视化以及非线性动态系统的建模和仿真等诸多强大功能集成在一个易于使用的视窗环境中，为科学研究、工程设计以及必须进行有效数值计算的众多科学领域提供了一种全面的解决方案，并在很大程度上摆脱了传统非交互式程序设计语言的编辑模式，代表了当今国际科学计算软件的先进水平。

MATLAB 在数学类科技应用软件中在数值计算方面首屈一指。MATLAB 可以进行矩阵运算、绘制函数和数据、实现算法、创建用户界面、连接其他编程语言的程序等，主要应用于工程计算、控制设计、信号处理与通讯、图像处理、信号检测、金融建模设计与分析等领域。MATLAB 的基本数据单位是矩阵，它的指令表达式与数学、工程中常用的形式十分相似，故用 MATLAB 来解算问题要比用 C，FORTRAN 等语言完成相同的事情简捷得多；MATLAB 吸收了 Maple 计算等软件的优点，并在最新版本中加入了 C，FORTRAN，C++，JAVA 的支持，使 MATLAB 成为功能强大的数学软件。

### 3.2 信号处理工具箱介绍

MATLAB 信号工具箱中，信号主要分为连续信号和数字信号两种。连续信号是指时间和幅度连续的信号，也被称为模拟信号。相反，数字信号是指时间和幅度离散的信号。从原理上讲，计算机只能处理数字信号。模拟信号必须经过采样和量化后变为数字信号，才能够被计算机处理。在 MATLAB 信号工具箱中，提供了多种产生信号的函数。利用这些函数，可以很方便地产生多种常见信号。下面详细介绍各种常见信号的产生。

在 MATLAB 的数字信号处理工具箱中，与本课实验课程相关的主要函数如下：

滤波器分析	abs	幅度
	angle	相位
	freqs	Laplace 变换频率响应
	freqspace	频率响应步长
	freqz	z 变换频率响应
	grpdelay	群延时
	impz	离散单位冲激响应

	phasez	数字滤波器相频特性
	phasedelay	数字滤波器相位延时
	Unwrap	纠正相位角产生更为平滑的相位图
	Zerophase	实滤波器的零极点响应
	Zplane	离散零极点图
滤波器实现	conv	卷积
	fftfilt	基于 FFT 重叠相加法的 FIR 滤波器
	filter	滤波器实现
	filtfilt	零相位数字滤波器
	medfilt1	一维中值滤波
	sosfilt	二阶节滤波器实现
	upfirdn	FIR 滤波器的过采样和欠采样
FIR 滤波器设计	cremez	具有非线性相位的等波纹 FIR 滤波器设计
	fir1	基于窗函数的 FIR 滤波器——标准响应
	fir2	基于窗函数的 FIR 滤波器——任意响应
	firgauss	FIR 高斯滤波器滤波器设计
	firls	最小平方线性相位滤波器设计
	firrcos	升余弦滤波器设计
	intfilt	插值 FIR 滤波器设计
	kaiserord	利用 Kaiser 窗为 FIR 滤波器设计估值
	remez	计算 Parks-McClellan 用以优化 FIR 滤波器设计
	remezord	Parks-McClellan 优化 FIR 滤波器阶次设计
IIR 滤波器设计	butter	Butterworth 滤波器设计
	cheby1	Chebyshev I 型滤波器设计（通带等波纹）
	cheby2	Chebyshev II 型滤波器设计（阻带等波纹）
	ellip	椭圆滤波器设计
	maxflat	数字 Butterworth 滤波器设计
IIR 滤波器	buttord	Butterworth 滤波器阶数估计



阶数估计	cheb1ord	Chebyshev 阶数估计
	cheb2ord	Chebyshev II 型滤波器阶数估计
	ellipord	椭圆滤波器阶数估计
模拟低通 滤波器原型	besselap	Bessel 滤波器原型
	buttap	Butterworth 滤波器原型
	cheb1ap	Chebyshev I 型滤波器原型
	cheb2ap	Chebyshev II 型滤波器原型
	ellipap	椭圆滤波器原型
模拟滤波器设计	besself	Bessel 滤波器设计
	butter	Butterworth 滤波器设计
	cheby1	Chebyshev I 型滤波器设计
	cheby2	Chebyshev II 型滤波器设计
	ellip	椭圆滤波器设计
模拟滤波器变换	lp2bp	低通→带通
	lp2bs	低通→带阻
	lp2hp	低通→高通
	lp2lp	低通→低通
滤波器离散化	bilinear	双线性变换
	impinvar	冲激响应不变法

上述表格中部分函数超出了本课程范围，仅供有兴趣的学生参考。

## 课程实验报告模板

（见下页）



成绩 \_\_\_\_\_

**北京航空航天大学**  
B E I H A N G U N I V E R S I T Y

# 《数字信号处理》 实验报告

院（系）名称	自动化科学与电气工程学院
专 业 名 称	自动化
学 生 学 号	XXXX
学 生 姓 名	XXXX
同组同学姓名	XXXX
指 导 教 师	XXXX

2019 年 5 月

## 实验一 利用离散傅里叶变换（DFT）计算声发射信号的频谱

### 一、实验结果

#### 1、实验程序代码

（要求 A4 纸双面打印）

#### 2、实验典型界面

（图形要求加标注）

### 二、结果分析

#### 1、实验结果及分析

（包括实验内容的工程应用问题）：

#### 2、本项实验收获、体会及建议

## 实验二 离散太阳黑子信号的时域滤波及其周期性分析

### 一、实验结果

#### 1、实验程序代码

（要求 A4 纸双面打印）

#### 2、实验典型界面

（图形要求加标注）

### 二、结果分析

#### 1、实验结果及分析

（包括实验内容的工程应用问题）：

#### 2、本项实验收获、体会及建议

## 实验三 受谐波噪声扰的数字心电信号图（ECG）滤波技术

### 一、实验结果

#### 1、实验程序代码

（要求 A4 纸双面打印）

#### 2、实验典型界面

（图形要求加标注）

### 二、结果分析

#### 1、实验结果及分析

（包括实验内容的工程应用问题）：

#### 2、本项实验收获、体会及建议