



登记号 _____

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

数字信号处理实验六

指 导 书

机械与控制工程国家级虚拟仿真实验教学中心

2020 年 5 月

目 录

实验六 利用 DFT 分析模拟信号频谱.....	1
一、实验目的.....	1
二、实验内容.....	1
三、实验要求.....	3
四、实验原理.....	4
五、参考资料.....	5
六、实验报告要求.....	5

实验六 利用 DFT 分析模拟信号频谱

一、实验目的

1. 掌握利用 DFT 分析实际信号的方法
2. 掌握从文本文件中读取数据的方法
3. 掌握 DFT 频率与模拟频率的区别及转换关系

二、实验内容

本实验共 4 个学时，主要包括：1) 读取断铅声发射信号、2) 利用 DFT 分析断铅声发射信号、3) 利用 FFT 分析断铅声发射信号、4) 根据 DFT 结果计算断铅声发射信号的实际频率。

1、读取断铅声发射信号

声发射信号是材料在塑性变形时释放出的应力波脉冲信号，数据文件 LeadBK.txt 是数据采集系统获取的铅笔芯在复合材料板上断裂时产生的信号，用于实际声发射信号的模拟（特别注明：该信号全称应该叫用断铅模拟的声发射信号，简称断铅声发射信号、或断铅信号）。断铅信号为电压信号，单位为 V，采样频率为 1MHz、采样时间为 2 ms。

本项实验内容包括断铅声发射信号的读取、断铅声发射信号的波形绘制两部分。

（1）断铅声发射信号的读取

使用 MATLAB 中的文件读取函数读取断铅声发射信号文件 LeadBK.txt，读取的序列命名为 $x[n]$ 。

（2）断铅声发射信号的波形绘制

使用 plot 函数绘制断铅声发射信号 $x[n]$ ，横坐标为采样点 n ；根据采样率大小进行序列下标与采样时间的换算，使用 plot 函数绘制断铅声发射信号 $x(t)$ ，纵坐标为电压，单位（V），横坐标为采样时间 t ，单位（ms）；使用 subplot 函数将上述两个图绘制在一幅图中，并进行对比分析。（注：由于采样点比较密集，使用 stem 函数不容易发现信号

固有规律且不美观，故采用 plot 函数替代。)

2、利用 DFT 分析断铅声发射信号

本项实验内容包括断铅声发射信号的 DFT 分析、幅度特性峰值定位和频谱幅度转换 3 个部分。

(1) 断铅声发射信号的 DFT 分析

学习 matlab 中 tic（记录当前时间）和 toc（记录完成时间）的使用方法，利用实验五中本人编写的 DFT 函数，分析断铅声发射信号，获得程序运行时间，并绘制得到的 DFT 的幅度特性 $|X_{DFT}(k)|$ 。

(2) 定位断铅声发射信号的幅度特性峰值

利用 function 语句自己编写峰值搜索函数（注意不能使用 matlab 的 max 函数），获得上述幅度特性 $|X_{DFT}(k)|$ 上的最大峰值，同时确定对应的下标值（在图中标注出来）。

(3) 断铅声发射信号的频谱幅度转换

为方便观察幅度谱细节信息，将上面步骤（1）中得到的频谱幅度 $|X_{DFT}(k)|$ 转换为以分贝（dB）表示的形式（ $20\log|X_{DFT}(k)|$ ），用 subplot 函数将两者绘制在同一幅图中，并进行对比分析。

3、利用 FFT 分析断铅声发射信号

本项实验内容包括断铅声发射信号的补零、FFT 分析、幅度特性峰值定位和频谱幅度转换 4 个部分。

(1) 断铅声发射信号的补零

假设读取的断铅声发射信号的长度为 M ，对信号进行补零操作得到 $x_L[n]$ ，使补零后的信号长度为 $L=2^N$ ，其中的 N 为使 $L \geq M$ 的最小整数值。

(2) 断铅声发射信号的 FFT 分析

利用 matlab 中的 fft 函数分析补零后断铅声发射信号 $x_L[n]$ ，得到结果 $X_{FFT}(k)$ ，同时利用 tic（记录当前时间）和 toc（记录完成时间）获得程序运行时间，并绘制得到的

FFT 幅度特性。

(3) 定位断铅声发射信号的幅度特性峰值

利用本人编写的峰值搜索函数获得上述 $|X_{FFT}(k)|$ 幅度谱上的最大峰值及其对应的下标值。并与实验内容 2 中得到的下标值进行对比分析。

(4) 断铅声发射信号的频谱幅度转换

为方便观察幅度谱细节信息，将上面步骤 (2) 中得到的频谱幅度 $|X_{FFT}(k)|$ 转换为以分贝 (dB) 表示的形式，用 subplot 函数将步骤 (1)、(2)、(4) 的结果绘制在同一幅图中，并与实验内容 2 得到的结果进行对比分析。注意：时域、频域要标注正确。

4、根据 DFT 结果计算断铅声发射信号的实际频率

本项实验内容包括根据 DFT 结果计算模拟频率、DFT 频谱与模拟频谱的关系分析两部分。

(1) 根据 DFT 结果计算模拟频率

根据 DFT 频率与模拟频率的转换关系，将断铅声发射信号的 DFT 频谱转换为具有实际物理意义的模拟频谱 $|X_{DFT}(f)|$ (以 Hz 为单位的模拟频率)，并将幅度特性绘制出来 (包括原始频谱和以 db 表示的频谱)。

(2) DFT 频谱与模拟频谱的关系分析

比较 DFT 频谱与模拟频谱，分析两者之间的关系。

三、实验要求

1、读取断铅声发射信号

(1) 本人编写读取声发射信号程序，并提供源代码。

(2) 将断铅声发射信号的时域波形的两种表示形式绘制在 1 张图中 (共 2 幅图，分别是以 n 为下标的和以 t 为下标的波形图，横纵坐标均需要标注信号的物理量单位)，对所得结果进行不少于 50 字的相关讨论或分析。

2、利用 DFT 分析断铅声发射信号

(1) 将实验内容中用两种形式表示的幅度特性曲线及实验内容 1 中采样得到的未补零的序列 $x[n]$ 绘制在同 1 张图中，并将频谱峰值及下标标注在幅度特性图中，对所得结果进行不少于 50 字的相关讨论或分析。

(2) 提交峰值搜索函数的源代码。

(3) 提交程序运行时间。

3、利用 FFT 分析断铅声发射信号

(1) 将补零后的信号 $x_L[n]$ 、两种形式表示的幅度特性曲线绘制在同 1 张图中，并将频谱峰值及下标标注在幅度特性图中。

(2) 提交程序运行时间。

(3) 对比 DFT 和 FFT 的分析结果以及程序运行时间，并进行不少于 100 字的相关讨论或分析。

4、根据 DFT 结果计算断铅声发射信号的实际频率

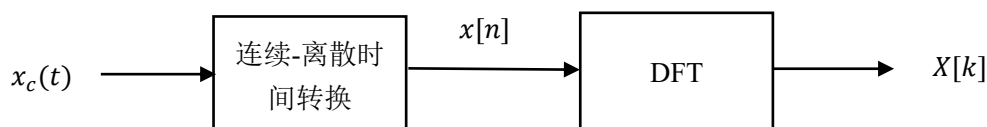
(1) 将具有实际物理意义的模拟频谱 $|X_{DFT}(f)|$ （两种形式表示的幅度）绘制在同 1 张图中。

(2) DFT 频谱与模拟频谱的关系分析：结合上述实验内容，撰写不少于 100 字数的相关讨论或分析。

四、实验原理

1、模拟信号的 DFT 分析

模拟信号的 DFT 分析一般包含连续-离散时间转换、离散傅里叶变换两步，如下图所示。



2、时域采样定理

对模拟信号 $x_c(t)$ 进行等间隔理想采样，采样频率是 F_s 。假设 $x_c(t)$ 是带限信号，最高角频率为 Ω_c 。如果采样角频率 $\Omega_s = 2\pi F_s \geq 2\Omega_c$ ，则理想采样信号的频谱不发生混叠。

3、模拟频率与数字频率间的关系

如果一个时域离散信号 $x[n]$ 是由模拟信号 $x_c(t)$ 采样而来，且满足采样定理，采样频率 F_s 和采样周期 T 满足 $F_s = 1/T$ 。该时域离散信号 $x[n]$ 的 DFT 结果 $X[k]$ 对应的模拟频率 f_k 、模拟角频率 Ω_k 之间的关系为：

$$f_k = \frac{\Omega_k}{2\pi} = \frac{k}{NT} = \frac{F_s}{N} k$$

4、幅度特性的分贝（dB）形式表示

以分贝（dB）形式表示的幅度特性计算方法为： $20\log|X[k]|$ 或 $20\log|X[f]|$ 。

五、参考资料

[1] 高西全，丁玉美，阔永红. 数字信号处理——原理、实现及应用（第 3 版）[M]. 北京：电子工业出版社，2016.

[2] A.V.奥本海姆，R.W.谢弗，J. R.巴克. 离散时间信号处理（第 2 版），西安交通大学出版社，2011.

[3] 程佩青，数字信号处理教程（第 5 版），清华大学出版社，2017.

六、实验报告要求

1、实验报告内容

按照模板撰写实验报告且排版规范，要包含以下内容：

- 1) 实验目的
- 2) 实验过程与实验结果，包含程序源代码
- 3) 结果分析与实验结论

4) 实验收获、体会及建议

2、提交实验报告时间

本次实验结束后，实验报告的 Word 版需在 1 周内提交到教务处实验系统。