



通信与导航系列规划教材

数字信号处理实践与应用

—— MATLAB话数字信号处理

◎ 林永照 黄文准 李宏伟 等编著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

通信与导航系列规划教材

数字信号处理实践与应用

——MATLAB 话数字信号处理

林永照 黄文准 李宏伟 编著
陈雅蓉 梁 佳

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书对数字信号处理的关键理论从应用和实践的角度进行了深入讨论。内容包括：数字信号的产生、时域处理方法、频域处理方法、滤波器的设计和实现等内容。

本书注重物理概念的透彻分析与介绍、知识点应用的算法流程分析，强调理论与实际应用的结合；创设了切合知识点的案例情境，情境任务采用 step-by-step 的安排模式，降低了理论的要求门槛；情境任务效果便于读者顺利实现对概念、相关知识应用方法的内化。

本书可作为高等院校电子信息类专业数字信号处理课程实验、实践性教学用书，也可供相关专业研究生及从事相关领域工作技术人员阅读参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

数字信号处理实践与应用：MATLAB 话数字信号处理 / 林永照等编著. —北京：电子工业出版社，2015.8

通信与导航系列规划教材

ISBN 978-7-121-26734-5

I. ①数… II. ①林… III. ①数字信号处理—Matlab 软件—高等学校—教材 IV. ①TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 166710 号

策划编辑：竺南直

责任编辑：桑 昀

印 刷：三河市华成印务有限公司

装 订：三河市华成印务有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编：100036

开 本：787×1092 1/16 印张：18 字数：461 千字

版 次：2015 年 8 月第 1 版

印 次：2015 年 8 月第 1 次印刷

定 价：39.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：(010) 88258888。

《通信与导航系列规划教材》编委会

主 编 吴耀光

副主编 管 桦 甘忠辉 高利平 魏 军

编 委 赵 昱 徐 有 吴德伟 黄国策 曹祥玉 达新宇

张晓燕 杜思深 吕 娜 翁木云 段艳丽 张串绒

刘 霞 张景伟 李 强 魏 伟 王 辉 朱 蒙

罗 玺 张 婧 郑光威 鲁 炜 李金良 李 凡

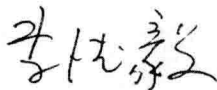
黄 涛 刘振霞 王兴亮 陈树新 程 建 严 红

《通信与导航系列规划教材》总序

互联网和全球卫星导航系统被称为是二十世纪人类的两个最伟大发明，这两大发明的交互作用与应用构成了这套丛书出版的时代背景。近年来，移动互联网、云计算、大数据、物联网、机器人不断丰富着这个时代背景，呈现出缤纷多彩的人类数字化生活。例如，基于位置的服务集成卫星定位、通信、地理信息、惯性导航、信息服务等技术，把恰当的信息在恰当的时刻、以恰当的粒度（信息详细程度）和恰当的媒体形态（文字、图形、语音、视频等）、送到恰当的地点、送给恰当的人。这样一来通信和导航就成为通用技术基础，更加凸显了这套丛书出版的意义。

由空军工程大学信息与导航学院组织编写的 14 部专业教材，涉及导航、密码学、通信、天线与电波传播、频谱管理、通信工程设计、数据链、增强现实原理与应用等，有些教材在教学中已经广泛采用，历经数次修订完善，更趋成熟；还有一些教材汇集了学院近年来的科研成果，有较强的针对性，内容新颖。这套丛书既适合各类专业技术人员进行专题学习，也可作为高校教材或参考用书。希望丛书的出版，有助于国内相关领域学科发展，为信息技术人才培养做出贡献。

中国工程院院士：



前 言

随着计算技术的发展,数字信号处理在图形图像、通信导航、雷达声呐、工业控制、机器控制以及生物电子等信号处理方面的应用无所不尽其极,也深刻地影响着这些领域的技术变革与发展。与这一技术发展趋势相呼应,数字信号处理理论与技术的教学也从20世纪80年代仅面向电子工程专业研究生开设课程,到90年代成为工科大学生的必修课程,再到如今,它已成为诸多科技领域工程技术人员必须掌握的一项基本技能。

数字信号处理的重要性正在得到越来越多的认同,但学生对这门课却始终有“想说爱你并不容易”的感觉。从笔者对多个期班本科生、一二年级硕士研究生的调研,以及互联网百度知道、www.iloveMATLAB.cn网站数字信号处理等专业论坛上关于数字信号处理的提问汇总可以看出,有很大一部分学生对于数字信号处理的学习都感到困难,感觉课程内容抽象,难于理解,应用更是难上加难。

MATLAB是美国MathWorks公司推出的一款数学软件,与其他常用的计算机语言相比,有非常多突出的优点。它在一个易于使用的视窗环境中集成了计算、可视化以及编程等诸多强大功能。MATLAB提供了丰富的功能性工具箱和专业的学科工具箱,充分利用这些库函数能避开繁杂的子程序编程任务,减少不必要的编程工作。MATLAB命令和函数可以直接在命令窗口中边输入边执行,也可以像其他语言一样将多条命令编辑成一个大的文件执行。MATLAB语言简洁紧凑,使用方便灵活,语法限制不严格,程序设计自由度大,尤其是用它表述数学公式的方法与科技人员日常书写习惯非常一致,因此该软件好学易用。随着MATLAB软件不断完善,其用户群在教育、科研等领域迅速扩大,已经发展成为适合多学科、多种工作平台的功能强劲的大型软件。

有了MATLAB必要的基础知识,利用其提供的信号处理工具箱,完全可以在对算法原理不甚了解的情况下出色完成信号滤波处理、频谱分析、滤波器设计等操作,而且利用该平台提供的强大的可视化、可听化功能,还可以用感官直接感受前述操作的效果。数字信号处理的直观感受都已经有了,还有什么概念是不清楚的呢?

在近几年的教学改革中,通过将语言教学中广泛采用的情境教学思想融入数字信号处理课程的教学,通过创设与知识点相宜的情境,借助MATLAB软件优秀的演示功能,大大激发了学生的学习兴趣,改善了学习效果。通过完成情境任务,参与者很容易便可找到该情境涉及的知识点是什么、如何用、用在何处等一系列问题的答案。熟悉的场景、直观的效果以及愉快的心情,就连过往学生不容易建立概念的许多知识点,如非线性相位系统对信号到底会产生什么样的影响、系统的单位取样响应与信号进行卷积运算如何实现了滤波处理、信号通过选频滤波器后到底发生了怎样的变化等,不知不觉中都已植入了脑海。

笔者将学生反映比较好的情境案例进行汇总,并整理成学生可自主完成的实验形式,便得到呈现在读者面前的这本书。本书有如下特点:

(1) 实验选题覆盖全面。实验内容设计成上、中、下三篇,分别介绍信号的时域处理、频域处理和滤波器设计与实现,涵盖了数字信号处理课程的所有关键知识点。每个案例的相

关基础理论部分不是数字信号处理教科书中理论的简单搬移，而是从算法解析的角度对所需理论基础进行了阐述，如线性卷积的算法实现、傅里叶变换的离散计算、频谱分析时频率的定标、线性相位和非线性相位对通过其中信号的影响等，对理论教科书有很好的补充作用。

(2) 实验操作性强。情境任务实施步骤的设计采用了 **step-by-step** 模式，因此即使学生在完成该案例之初尚不具备良好的理论基础，只要按照步骤说明操作仍能完成情境任务，因此具有很强的操作性。另外，步骤设置本身就是原理的实现流程，因此情境任务的完成可以帮助学生深刻理解原理知识，从而达到在情境中学习的目标。

(3) 实验效果感官冲击力强。结合课程内容和教育心理学知识，案例中选取的多为声音、图形、图像等信号，信号处理的效果从听觉和视觉都可以明显感觉到，结果出来之时便是学生直观概念建立之际。由于理论的强大普适性，学会对声音、图像信号处理后，很自然就可以将该技能用于其他信号的处理。

(4) 实验数据分析注重科研能力的培养。情境任务实施步骤中专门设置了对比分析环节，如多种实现方式效果对比、变参数效果对比环节等，思考题中明确提出了归纳总结的内容和要求。例如，在关于线性卷积的案例中，设置了自编函数实现、调用 `conv` 函数实现和调用 `filter` 函数实现等多种方式实现场景，并且要求对上述三种方式的执行时间效率进行对比。这样的案例设计让学生在自己能完成自编函数获得成就感的同时，又可以看到自己努力的方向和空间。能将理论知识用于实际问题的解决，会观察，能总结，不知不觉中已具备了科学研究的能力。

下篇的结尾，对滤波器的设计方法和步骤进行了系统总结，便于日后查阅和使用。为帮助学生顺利完成情境任务，本书最后附带了 **MATLAB** 基础的相关内容。

本书可以作为在读本科生的实验指导书，也可以作为研究生重温数字信号处理关键理论和应用的参考书，还可以作为 **MATLAB** 语言学习的提高篇。**MATLAB** 语言无论你用或不用，它都在那里。只有用它书写算法，它才有了鲜活的生命力，是你给了它展示魅力的舞台。

本书由林永照、黄文准、李宏伟、陈雅蓉、梁佳编著。其中，林永照副教授负责全书的统稿、框架设计和中篇的编写工作，黄文准副教授负责上篇案例的编写工作，李宏伟副教授负责下篇中模拟滤波设计相关案例的编写及全书内容安排工作，陈雅蓉负责实验程序编制工作，梁佳负责 **MATLAB** 基础的编写工作。另外，为本书顺利完成做出贡献的人员还有霍文俊、樊昌周、段艳丽、王敏、王晓玉五位老师和张玉锟、杨燚等多名同学，他们对情境设置设计提出了许多宝贵意见，在本书的校对和程序验证中做了许多工作，在此一并向他们表示最诚挚的谢意！本书的编写过程得到空军工程大学导航与信息学院课程教学改革项目的资助与支持，出版过程得到电子工业出版社同仁的帮助与支持。

由于作者水平有限，加之编写时间仓促，书中难免有错误和不足之处，恳请广大读者批评、指正，作者联系邮箱地址为 kgdlyz@126.com。

编著者

目 录

上篇——声像信号时域处理

案例一 —— 牛刀初试	2
案例二 —— 声音图像 DIY	8
案例三 —— 信号周期化及时域采样	14
案例四 —— 滤波可以卷出来	20
案例五 —— 卷出帧同步	27

中篇——心中有谱

案例六 —— 离散时间傅里叶变换离散计算	34
案例七 —— 系统函数零极点那些事儿	40
案例八 —— 线性卷积这样算会更快	45
案例九 —— 用 DFT 看频谱	50
案例十 —— 化整为零之重叠相加法	56
案例十一 —— 化整为零之重叠保留法	65
案例十二 —— 你拨的号码我知道	74
案例十三 —— BPSK 的误码率曲线是这样仿出来的	79
案例十四 —— 复信号有如此妙用之希尔伯特变换	86
案例十五 —— 短时傅里叶变换	94

下篇——顺我者昌（滤波器）

案例十六 —— 波形失真不一定那么可怕	104
案例十七 —— 加窗截出 FIR 滤波器	112
案例十八 —— 频率采样采出 FIR 滤波器	123
案例十九 —— Butterworth 型模拟滤波器设计	129
案例二十 —— Chebyshev 型模拟滤波器设计	135

案例二十一 —— 椭圆滤波器设计	143
案例二十二 —— 非低通模拟滤波器设计	148
案例二十三 —— 模数滤波器桥之脉冲响应不变法	160
案例二十四 —— 模数滤波器桥之双线性变换法	172
案例二十五 —— IIR 对比 FIR 滤波器	183
案例二十六 —— IIR 数字滤波器的结构	191
案例二十七 —— FIR 数字滤波器的结构	203
数字滤波器设计小结	213
FIR 滤波器设计小结	215
IIR 滤波器设计方法步骤小结（基于模拟滤波器的设计）	220

附录 A 为了忘却的记忆（MATLAB 基础）

MATLAB 简介	226
MATLAB 语言中的常用数据	238
矩阵基础	246
图形可视化	255
MATLAB 编程	267
参考文献	278

上篇——声像信号时域处理

【内容简介】

本篇中案例设计的主旨是通过对声音、图形、图像信号的处理，使读者对数字信号的时域处理方法、步骤和效果建立直观概念，理解和掌握数字信号的产生和时域（空域）常用处理，尤其是进一步深化对于线性卷积概念和实现的理解。

本篇中案例的情境任务设计涵盖了数字信号常用的时域处理，包括信号叠加、调制、滤波、相关等，对应数字信号处理理论中的时域离散序列的加法、乘法、延时、翻转、样点抽取（降速率采样）、线性卷积等基本运算。此外，案例中专门涉及了时域离散系统的差分方程描述及该描述下的信号处理，为后续滤波器的描述与应用做好铺垫。

在 MATLAB 使用方面，本篇中案例的内容设计涵盖了 MATLAB 的常用基本操作、矩阵乘法和加法、函数调用、子程序的编写、运算时间或效率的评估、结果的图形显示和声音呈现，以及数据的保存等内容，旨在夯实 MATLAB 的使用基础。

建议至少完成声音图像 DIY、信号周期化及时域采样和滤波可以卷出来三个案例。其中涉及的矩阵操作和子函数编写对后续内容有非常重要的作用。

【学习目标】

一、MATLAB 文档处理

1. 声音文件读取

读取一个 wav 声音文件（任意格式）并播放。在 Windows XP 系统中，采样率通常默认为 44100 Hz，声道数为 2。在 MATLAB 中，采样率存储在变量 fs 中，声道数存储在变量 nchan 中。在 Windows XP 系统中，采样率通常默认为 44100 Hz，声道数为 2。在 MATLAB 中，采样率存储在变量 fs 中，声道数存储在变量 nchan 中。

MATLAB 帮助文档中关于声音文件的帮助信息，可以在 MATLAB 帮助文档中找到。在 MATLAB 帮助文档中，可以找到关于声音文件的帮助信息。

2. 声音播放

在 MATLAB 中，可以使用 sound 函数来播放声音文件。sound 函数的语法为：sound(y, fs)。其中，y 是声音文件的采样数据，fs 是采样率。在 MATLAB 中，可以使用 sound 函数来播放声音文件。sound 函数的语法为：sound(y, fs)。其中，y 是声音文件的采样数据，fs 是采样率。

案例一 —— 牛刀初试

【案例设置目的】

通过在 MATLAB 环境下产生序列及对序列的基本操作, 掌握序列的矩阵表示、图形表示及声音呈现方法, 在加深对序列基本运算理解的同时, 学会和熟悉在 MATLAB 平台上进行矩阵创建、矩阵运算、画图、图形标注、视听声效的方法, 以便为后续的仿真实验奠定坚实基础。

【相关基础理论】

设有一频率为 f 、初相为 0、幅度为 A 的正弦信号 $x(t)$, 数学上可以表示为

$$x(t) = A \sin(2\pi ft) = A \sin(\Omega t) \quad (1.1)$$

若以采样速率 F_s 或采样间隔 $T=1/F_s$ 对 $x(t)$ 进行采样, 可以得到时域离散序列 $x(nT_s)$ 或 $x(n)$, 即

$$x(t)|_{t=nT} = x(nT) = A \sin(2\pi fnT) = A \sin(\Omega Tn) = A \sin(\omega n) = x(n) \quad (1.2)$$

这里 $\omega = \Omega \cdot T$ 。

该正弦序列 $x(n)$ 也可以看成是复指数序列 $e^{j\omega n}$ 的虚部构成的序列。

设信号序列为 $x(n)$, 则信号序列 $x(n)$ 的翻转序列可表示为

$$y(n) = x(-n)$$

【情境任务及步骤】

本案例共设置了三个情境, 分别是音频试听与处理、基本信号(序列)生成和程序阅读, 每个情境下有各自的情境任务。

一、MATLAB 之初体验——音频文件的视听与处理

1. 声音文件读取

读取一个 wav 声音文件(这里指定系统启动的声音文件, 对于安装于 C 盘的 Windows XP 系统而言, Windows XP 启动.wav 的存储路径为 C:\WINDOWS\Media\), 并把数据存放在矩阵 y 中, 采样速率存放在 F_s 中, 采样深度或位数存放在 $nbits$ 中, 并查看 F_s 和 $nbits$ 的值及 y 的维数。

MATLAB 提供的函数为 `wavread` 和 `uigetfile`, 可以通过阅读相关的 Help 文件, 学习函数的调用语法。

2. 耳听声音

要求在命令窗口下分别执行 `sound(y, F_s)`, `sound(y, F_s/2)`, `sound(y, 2F_s)`, 以试听三种声效, 体验正常速度录音正常速度播放、快录慢放、慢录快放的效果。

MATLAB 提供了声音播放函数 `sound` 和 `wavplay`, 可以通过阅读相关的 Help 文件, 学习函数的调用语法。

3. 眼看声音

在两个图形窗口中画出声音波形图，观察波形特点。创建图形窗口 **Figure 1**，并在其中画出 $y \sim t$ 的图；创建图形窗口 **Figure 2**，调用 `subplot` 函数自上而下分成两个子窗口，第一个子窗口中画出 $y(:,1) \sim t$ ，第二个画出 $y(:,2) \sim t$ ，要得出如图 1.1 所示的效果。横轴的单位为秒，起点为 0（提示：横轴上的 t 由采样速率和样点数决定，样点数可以用 MATLAB 提供的 `size` 函数确定）。

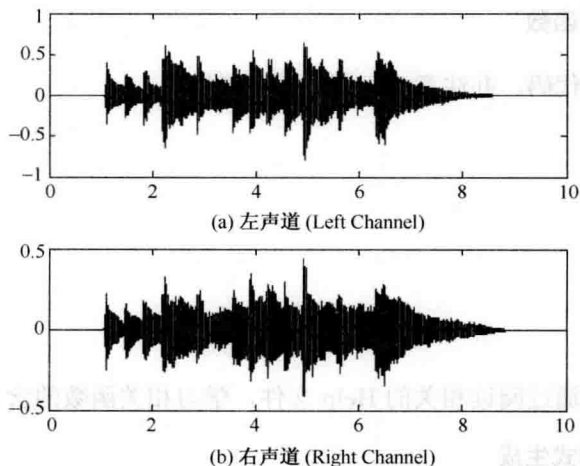


图 1.1 Windows XP 启动.wav 左右声道波形图

MATLAB 提供的画连续波形的函数为 `plot`，创建新图形窗口的函数为 `figure`，可以通过阅读相关的 `Help` 文件，学习函数的调用语法。

4. 特效制作

将一个声道的信号进行翻转（这里指定左声道，即 $y(:,1)$ ），画图表示翻转前后的结果（横轴为 t ），收听翻转后声音效果，体会倒序播放的特效。

MATLAB 支持函数为 `fliplr` 和 `flipud`，可以通过阅读相关的 `Help` 文件，学习函数的调用语法。

5. 眼睛和耳朵里的噪声

产生均值为 0 功率为 -30dBW 的白色高斯噪声序列 nx ，序列的长度与 $y(:,1)$ 相同。创建图形窗口 **Figure 3**，在其中画出 $nx \sim t$ ，以观看噪声波形，用 `sound` 函数收听噪声音效。

MATLAB 提供函数为 `wgn` 和 `size`，可以通过阅读相关的 `Help` 文件，学习函数的调用语法。

6. 声音加料

用产生的噪声 nx 对 $y(:,1)$ 中的数据进行污染，污染后的声音用 `noisy` 表示，即 $\text{noisy} = y(:,1) + nx$ 。在新的窗口中观看波形，收听噪声污染前后的音效。

7. 成果保存

用 MATLAB 提供的函数 `save` 将 y 和 F_s 保存到文件 `mydata.mat` 中（一定要记清当前的工作路径）。之后，在命令窗口中依次执行 `clear all` 和 `clc` 命令；接着分别键入 y 和 F_s （此时忽略一切提示）；再依次执行 `load mydata.mat`，`whos` 和 `sound(y, F_s)`，注意观察每条指令的执行结果。

可以通过阅读相关的 Help 文件，学习相关函数的调用语法。

二、基本序列生成与显示

本部分内容要求全部在命令窗口中完成。继续下面的内容之前，用 `clear all` 释放所有变量，用 `close all` 关闭所有图形窗口，用 `clc` 清理命令窗口。

1. 信号生成之符号函数

首先逐行执行如下代码，并注意观察最后的图形结果。

```
syms y Omega t;
Omega=0.5*pi;
y=sin(Omega*t);
figure(1)
subplot(211)
ezplot(t,y);
axis([0 6 -1 1]);
```

有兴趣的话，可以通过阅读相关的 Help 文件，学习相关函数的含义及调用语法。

2. 正弦序列的多样式生成

在式 (1.2) 中，取 $A=1$ ， $f=0.25\text{Hz}$ ， $F_s=10\text{Hz}$ ， $T=1/F_s$ ， $t=0:T:6$ ，由模拟角频率与数字角频率之间的关系可知

$$\omega = \Omega \times T = 2\pi \times 0.25/10 = 0.05\pi$$

(1) 按照采样过程生成正弦序列：

$$xnT_s = \sin(2\pi ft) \quad (1.3)$$

(2) 直接用数字角频率 ω 生成正弦序列：

$$xn_1 = \sin(\omega n), \quad n = t/T \quad (1.4)$$

(3) 对复指数序列求虚部生成正弦序列：

$$xn_2 = \text{imag}(\exp(j\omega n)) \quad (1.5)$$

(4) 图示序列。

在 MATLAB 中生成式 (1.3)~式 (1.5) 的序列，之后逐条执行如下代码，以便在 Figure 1 中的第二个图形子窗口中显示上述不同方式得到的正弦序列，重点关注 MATLAB 函数各画图函数、标注函数的使用方法和效果。

```
subplot(212)
stem(t,xnTs);
stem(n,xn1,'filled');
hold on
stem(n,xn2,'r','filled');
plot(n,xn1,'k-.')
grid
```

```
axis([n(1) n(end) -1.2 1.2])
axis([-n(end) n(end) -2 2])
title('Discrete time sequence');
ylabel('Amplitude');
xlabel('\itn')
```

三、程序阅读

在命令窗口中逐条执行如下代码，之后借助 MATLAB 的 Help 逐个解释每个函数的功能和用法。

```
I = imread('eight.tif');
imshow(I)
J = imnoise(I, 'salt & pepper', 0.02);
figure, imshow(J)
```

【思考题】

- (1) 在 MATLAB 平台上，余弦序列如何生成？
- (2) 在 MATLAB 平台上，复指数序列如何生成？
- (3) 描述科学问题的数学公式在使用 MATLAB 实现时，在符号表达、运算符表达、变量索引上有哪些区别？

【总结报告要求】

(1) 情境任务总结报告中相关基础理论部分可以不写，书写情境任务时可适当进行归纳和总结，但至少要列出【情境任务及步骤】相关内容的各级标题。

(2) 程序清单除在报告中出现外，还必须以 m 文件形式单独提交。程序清单要求至少按程序块进行注释。本案例要求提交“MATLAB 之初体验——音频文件的视听与处理”的程序清单。为尽可能地减少重复性工作，建议在开始本情境任务前通过 MATLAB Help 学习函数 diary 的使用和利用命令历史生成脚本文件的方法。

(3) “MATLAB 之初体验——音频文件的视听与处理”的执行效果图要标注图题和纵横坐标，并将效果图附于相关内容之后。

(4) 总结本次情境任务所使用的与画图相关的函数及其使用语法、与文件打开相关的函数及其使用语法、与声音播放相关的函数及其使用语法、与数据保存和装载相关的函数及其使用语法。另外，翻译函数 dlmwrite 的含义及使用语法，并附于报告中。

(5) 简要回答【思考题】中的问题。

(6) 报告中还可包括完成本案例的个人心得，对该案例设置的建议等。

【参考程序】

```
%%%%%%%%%%%%%%
%%%Codes for mission 1-7, circumstance 1
clear all
close all
clc
%%%%%%%%%%%%%% Choose a Wav-file from a Dialog box
[filename, pathname] = uigetfile('*.*wav', 'Pick a Wav-file');
```

```

if isequal(filename,0)
    disp('User selected Cancel')
else
    disp(['User selected', fullfile(pathname, filename)])
end
%%%%% Sythesize the full string with path pathname and file name filename
s=[pathname filename];
%%%%% Open the sound file directed by s
[y,Fs,nbits]=wavread(s);
[ry,cy]=size(y);

pause
sound(y,Fs)
pause
sound(y,Fs/2)
pause
sound(y,2*Fs)

pause
figure
subplot(211)
plot((0:ry-1)/Fs,y(:,1),'linewidth',2);
title('Left Channel','fontsize',14);
xlabel('Time(s)','fontsize',14);
subplot(212)
plot((0:ry-1)/Fs,y(:,2),'linewidth',2);
title('Right Channel','fontsize',14);
xlabel('Time(s)','fontsize',14);

pause
reversedy1=flipud(y(:,1));
pause
sound(reversedy1,Fs)

P=-30;
nx=wgn(size(y(:,1)),P);
pause
sound(nx,Fs);
pause

figure
plot((0:ry-1)/Fs,nx,'linewidth',2);

noisyy=y(:,1)+nx;
pause
sound(noisyy,Fs);
pause

```

```

figure
plot((0:ry-1)/Fs,noisy,'linewidth',2);

save mydata.mat y Fs

%%%%%%%%%%%%%%
%%%Codes for missions 1-2, circumstance 2

```

```

clear all
close all
clc
syms y Omega t;
Omega=0.5*pi;
y=sin(Omega*t);
figure(1)
subplot(211)
ezplot(t,y);
axis([0 6 -1 1]);
subplot(212)
stem(t,xnTs);
f=0.25;
Fs=10;
T=1/Fs;
t=0:T:6;
xnTs=sin(2*pi*f*t);
n=t/T;
xn1=sin(0.05*pi*n);
xn2=imag(exp(j*0.05*pi*n));
subplot(212)
stem(t,xnTs);
stem(n,xn1,'filled');
hold on
stem(n,xn2,'r','filled');
plot(n,xn1,'k-')
axis([n(1) n(end) -1.2 1.2])
axis([-n(end) n(end) -2 2])
axis([n(1) n(end) -1.2 1.2])
title('Discrete time sequenc');
ylabel('Amplitude');
xlabel('vitn')

```


案例二——声音图像 DIY

【案例设置目的】

通过在 MATLAB 环境下实现单声道音频变立体声、图像处理，掌握序列的乘法、尺度变换（降速率采样）的实现，在加深对序列基本运算理解的同时，进一步熟悉 MATLAB 软件，以便为后续的仿真实验奠定坚实基础。

【相关基础理论】

1. 立体声构造

立体声能给听众以方位感和深度感，大大提高了听觉效果和声音品质。为了实现立体声效果，录制时通常需要多个摆放在不同位置的麦克风，播放时也需要两只或两只以上的扬声器。当只利用一个麦克风进行声音录制时，只能得到单声道音频，即便使用两只或两只以上的扬声器播放，也只能得到“平面化”的声音，而不会形成空间声像。利用人的空间听觉特性，如耳间声级差（Interaural Level Difference, ILD）、耳间时间差（Interaural Time Difference）和耳间相关性对空间声像定位，可以按照预期的听觉效果通过对多个声道信号进行相应处理，在听众听觉上形成空间感。对多声道信号进行的处理包括：扬声器排列法、分频法、移相法、延迟法等。

本案例拟通过将单声道音频转换为双声道音频，并通过周期性地、交替地对两个声道上的声音进行衰减和增强的方式，在感官上造成声源远离听者的一侧而运动到另一侧的感觉，从而形成声音方位感变化的立体声效果。情境任务要求实现听者能感觉到声源在围绕自己进行圆周转动的效果。

设有两通道信号序列 $x(n)=[x_l(n), x_r(n)]$ ，时变增益系数 $G(n)=[G_l(n), G_r(n)]$ ，信号序列 $x(n)$ 放大后的结果为

$$y(n) = G(n) \cdot x(n) \quad (2.1)$$

2. 行列抽取的图像压缩

为减少图像、视频对存储空间的消耗量，可以对它们进行降空间分辨率、降色彩分辨率和去统计冗余等处理，从而达到图像压缩的目的。前两种方法有时会造成失真，即有损压缩。结合数字信号处理的内容，这里讨论的方法是降低空间分辨率的压缩方法。

设有信号序列 $x(n)$ ，以 Scale 为比例因子对 $x(n)$ 进行尺度变换，可表示为

$$y(n) = x(\text{Scale} \times n) \quad (2.2)$$

当 $\text{Scale} > 1$ 时， $y(n)$ 是从序列 $x(n)$ 中每 Scale 个样点中取 1 个样点得到的，相当于采样频率降为 F_s/Scale ，实现了对信号 $x(n)$ 的降速率采样；当 $\text{Scale} < 1$ 时，实现对信号 $x(n)$ 升速率采样，相当于采样频率升为 $\text{Scale} \times F_s$ 。假设 Scale 可写成有理分式的形式，即 $\text{Scale} = M/D$ ， M 和 D 为不小于 1 的自然数，如 $\text{Scale} = 1.25$ 可写成 $5/4$ ，则不论是升速率采样还是降速率采样，都称为变速率采样问题，或称为再采样问题，都可以表示为采样速率先升 M 倍再降 D 倍的情形。

图 2.1 所示为变速率采样流程图。图中 $x_{\text{old}}(n)$ 表示以原采样率 F_s 采样的结果， $x_{\text{new}}(n)$ 表示以新采样率采样的结果； $\downarrow D$ 表示每 D 个样点保留 1 个样点； $\uparrow M$ 表示序列 $x_{\text{old}}(n)$ 相邻样点间