

21 世纪信息科学与工程系列精品教材

SHUZI XINHAO CHULI SHIYAN

数字信号处理实验

◆ 赵知劲 刘顺兰 等编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

●21 世纪信息科学与工程系列精品教材

TN911.72

176

2007

数字信号处理实验

赵知劲 刘顺兰 等编著

浙江大学出版社

内 容 提 要

本书在简单介绍 MATLAB 语言及数字信号处理工具箱中的相应函数、CCS 软件平台使用及 TMS320C54x DSP 芯片的基础上,共安排了 18 个实验。基于 MATLAB 的实验内容涵盖了离散时间系统的时域特性分析、离散系统频率响应和零极点分布、验证取样定理、线性卷积与圆周卷积的计算、应用 FFT 实现信号频谱分析、利用 FFT 实现快速卷积、用双线性变换法设计 IIR 数字滤波器、用窗口法设计 FIR 数字滤波器、用频率采样法设计 FIR 数字滤波器、IIR 和 FIR 数字滤波器过滤信号的实现及比较、自适应数字陷波滤波器设计、应用线性预测参数法的语音合成。基于 CCS 的实验内容涵盖了数字振荡器设计、DTMF 信号产生与检测、FIR 数字滤波器的 C54x 实现、IIR 数字滤波器的 C54x 实现、FFT 的 C54x 实现、单边带调制系统的 C54x 实现等。每个实验都附有相应的举例程序。

本书可作为电子信息类专业的实验指导书,鉴于数字技术的应用日益广泛,个别部分稍作调整或补充,就能为更多专业所使用。

图书在版编目(CIP)数据

数字信号处理实验 / 赵知劲等编著. — 杭州:浙江大学出版社, 2007.3
ISBN 978-7-308-05242-9

I. 数... II. ①赵... III. 数字信号—信号处理—实验
IV. TN911.72—33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 040765 号

责任编辑 应伯根 王元新
封面设计 刘依群
出版发行 浙江大学出版社
(杭州天目山路 148 号 邮政编码 310028)
(E-mail: zupress@mail.hz.zj.cn)
(网址: <http://www.zjupress.com>)
排 版 浙江大学出版社电脑排版中心
印 刷 杭州浙大同心教育彩印有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 12.5
字 数 320 千
版 次 2007 年 3 月第 1 版 2007 年 3 月第 1 次印刷
印 数 0001—4000
书 号 ISBN 978-7-308-05242-9
定 价 18.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话 (0571)88072522

《数字信号处理实验》

编著人员

赵知劲 刘顺兰 吴 杰 岳恒立 赵治栋

总 序

浙江大学是一所具有 100 多年办学历史的学科门类齐全的教育部直属综合性重点大学,是一所基础坚实、实力雄厚、特色鲜明,居于国内一流水平的中国著名高等学府。近几年来,学校以全面提高教育和科研水平、培养合格优质人才为中心,改革创新,与时俱进,教学质量、科研水平以及办学效益都进入了历史上最好的发展时期。

浙江大学一贯十分重视教材、专著和学报的建设。老校长竺可桢就在许多场合多次讲过:要重视教材的建设,要有好的图书和设备。他屡次过问学校的教材和专著的编写和出版。在抗日战争时期,竺可桢校长精心地组织浙江大学的图书期刊内迁贵州遵义,抗战胜利后又完整地迁回杭州。尽管当时物质条件十分困难,他仍组织相关部门用黄黑的再生纸影印了部分教材。当时浙江大学有一个教材组,依靠同学们勤工俭学刻印蜡纸,油印出版了教师自编讲义。纸张虽然是草纸,但同学们刻写得非常认真,错字很少,图和公式刻写得很漂亮。就在那样的条件下,每个同学仍都能从图书馆借到一份教材和从教材组领到讲义。同学们夜自修在油灯下攻读,艰苦奋斗,保证了浙江大学高质量教学的顺利进行。

教材建设是高校教学建设的主要内容。编写出版一本好的教材,就意味着开设了一门好的课程,甚至可能预示着一个崭新学科的诞生。当前,浙江大学出版社已精心组织编写了 21 世纪信息科学与电子工程系列精品教材,涉及的学科包括电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、微光学、通信系统、电磁场与微波等。其中既有本科专业课程教材,也有研究生课程教材,可以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求,广大师生可自由选择 and 自由组合使用。这套系列丛书要求体现以下特点:

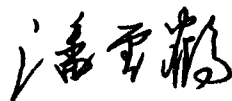
学术水平高。丛书的作者大部分是浙江大学重点学科的学术带头人、博士生导师。他们一般都承担着高水平的国家科研项目。他们的著作含有独特的见解,是科研成果的结晶,代表了学校的学术水平和发展趋势。

教学效果。这套丛书的主要作者长期从事教育工作,有着丰富的教学经

验。这套教材既有作者个人长期把纷繁的教材内容、教育改革的成果进行综合、提炼升华成的理论,又有师生集体日积月累学习使用的心得体会。

我相信,这套教材可用于高等院校有关专业的大学生、研究生的教学,也可作为研究所、工矿企业有关科技人员的参考书。对于我国教育与科学技术的发展一定能起到积极的作用。

中国工程院副院长、院士

Handwritten signature in black ink, reading '潘亚波' (Pan Yubo).

前 言

数字信号处理是电子信息类各专业的一门技术基础课程。该课程的理论性和实践性都很强,是一门理论和技术发展十分迅速,应用十分广泛的前沿性学科。因此,在授课过程中强调基本理论和基本概念的同时,还要结合当前信号处理的应用领域,要求学生通过实验掌握信号处理的基本方法。

本实验指导书是在多年讲义(1997年版的《信号处理实验指导书》,赵知劲、刘顺兰编著;1997年版的《数字信号处理芯片实验教程》,赵知劲、张旬编著;2003年版的《数字信号处理实验指导书》,赵知劲、刘顺兰、吴杰编著)的基础上,总结教学实践经验,并吸收兄弟院校近年教改的经验,整理编写而成的。

本书既有应用 MATLAB 语言实现的实验,又有在 CCS 软件平台上应用 C 语言实现的实验,还有应用 C54x 汇编语言实现的实验。为了能相对独立地完成每个实验,我们对 MATLAB 语言、MATLAB 语言数字信号处理工具箱中的相应函数、CCS 软件平台使用等都作了一定的介绍,并安排了 18 个相关实验,内容涉及离散时间系统的时域特性分析、离散系统频率响应和零极点分布、验证取样定理、线性卷积与圆周卷积的计算、应用 FFT 实现信号频谱分析、利用 FFT 实现快速卷积、用双线性变换法设计 IIR 数字滤波器、用窗口法设计 FIR 数字滤波器、用频率采样法设计 FIR 数字滤波器、IIR 和 FIR 数字滤波器滤波信号的实现及比较、自适应数字陷波滤波器设计、应用线性预测参数法的语音合成、数字振荡器设计、DTMF 信号产生与检测、FIR 数字滤波器的 C54x 实现、IIR 数字滤波器的 C54x 实现、FFT 的 C54x 实现、单边带调制系统的 C54x 实现等,每个实验都附有相应的举例程序。为了配合课堂理论教学,实验内容安排仍从认识性和验证性入手,逐步增加设计性和工程应用性内容,使学生在掌握数字信号处理基本理论和方法的基础上,可以更多地了解和掌握数字信号处理的仿真、开发、实现工具和方法,达到训练实验技能和积累工程实际应用经验之目的。

本书是以电子信息类专业为对象而编写的,鉴于数字技术的应用日益广泛,个别部分稍作调整或补充,就能为更多专业所使用。

除实验用 MATLAB 语言工具函数简介外,本书下篇中的 DSP 集成开发环境——CCS 软件简介、实验 13、14 及上篇中的实验 3、7、8、9、10 由赵知劲编写,下篇中的 TMS320C54x 芯片简介、实验 15、16、17、18、附录及上篇中的实验 1、4、5、6 由刘顺兰编写,实验 4、5、6、7、8、10 中的 MATLAB 语言工具函数简介由吴杰编写,实验 1、9 中的 MATLAB 语言工具函数简介及实验 12 由岳恒立编写,实验 2、11 由赵治栋编写,MATLAB 简介由吴杰、岳恒立、赵治栋共同编写。

本书的编写得到了通信工程学院信息技术教研室同仁们的大力支持和帮助,书中凝

结了他的智慧和经验。实验教学是一项综合性集体活动,因此,编者期望在今后的教学实践中,能得到使用本书师生们提出的宝贵意见,以使数字信号处理理论与实验的教学改革不断深入、日臻完善。

鉴于作者水平有限,错误和疏漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2006 年 10 月于杭州电子科技大学

目 录

上篇 基于 MATLAB 的数字信号处理实验

MATLAB 简介	3
实验 1 离散时间系统的时域特性分析	18
实验 2 离散系统频率响应和零极点分布	28
实验 3 验证取样定理	34
实验 4 线性卷积与圆周卷积的计算	36
实验 5 应用 FFT 实现信号频谱分析	41
实验 6 利用 FFT 实现快速卷积	47
实验 7 用双线性变换法设计 IIR 数字滤波器	51
实验 8 用窗口法设计 FIR 数字滤波器	58
实验 9 用频率取样法设计 FIR 数字滤波器	63
实验 10 IIR 和 FIR 数字滤波器过滤信号的实现及比较	67
实验 11 自适应数字陷波滤波器设计	70
实验 12 应用线性预测参数法的语音合成	74

下篇 基于 CCS 的数字信号处理实验

DSP 集成开发环境——CCS 软件简介	85
TMS320C54x 芯片简介	95
实验 13 数字振荡器设计	103
实验 14 DTMF 信号产生与检测	113
实验 15 FIR 数字滤波器的 C54x 实现	121
实验 16 IIR 数字滤波器的 C54x 实现	131
实验 17 FFT 的 C54x 实现	139
实验 18 单边带调制系统的 C54x 实现	152
附录 TMS320C54x 指令系统一览表(按指令字母顺序)	180
参考文献	188

上 篇

基于 MATLAB 的数字信号处理实验

MATLAB 简介

MATLAB, Matrix Laboratory 的缩写,是由 Mathworks 公司开发的一套用于科学工程计算的可视化高性能语言,具有强大的矩阵运算能力。与大家常用的 Fortran 和 C 等高级语言相比,MATLAB 的语法规则更简单,更贴近人的思维方式,被称之为“草稿纸式的语言”。这里我们介绍 MATLAB 的一些基本概念,帮助读者尽快掌握 MATLAB 的应用。

A.1 MATLAB 的启动和退出

MATLAB 安装完成后,会自动在 WINDOWS 桌面上生成一个快捷方式,它是指向安装目录下 \bin\win32\matlab.exe 的链接,双击它即可来到 MATLAB 集成环境的基本窗口,通常称之为命令窗口。MATLAB 的退出与普通 win32 的程序一样,值得一提的是,它有一个自身专有的快捷键 Ctrl+Q。MATLAB 工作环境如图 A-1 所示。

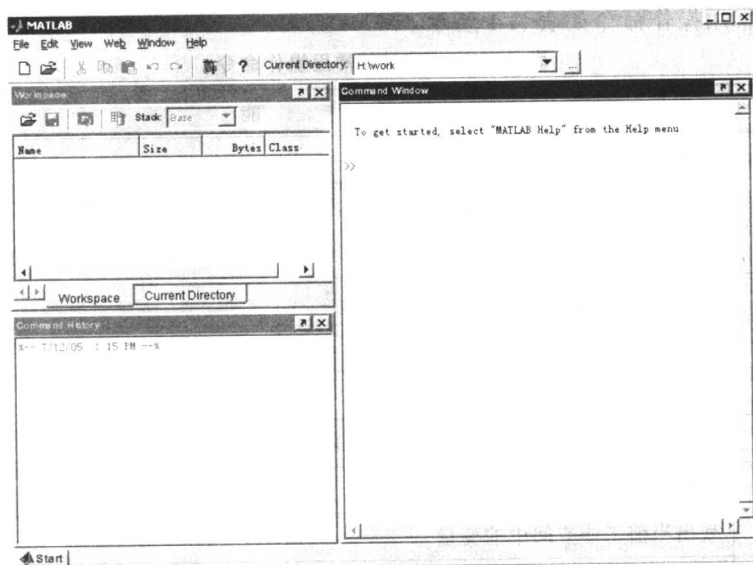


图 A-1 MATLAB 工作环境

A.2 MATLAB 的基本用法

MATLAB 由内建于解释器中的函数或以 M 文件存在的函数组成,它是包含有实现某种算法的程序语句序列,一个全新的算法可以只用包含少量这些函数的程序写出,并可作为另一个 M 文件保存。

MATLAB 在电脑屏幕上以三种类型的窗口工作,它们是命令窗、图形窗口和编辑器窗口,命令窗口的标题为 Command,第 n 个图形窗口的标题为 Figure n ,而编辑器窗口的标题或者是一个已打开的现存 M 文件的名字,或者为 Untitled,代表创建一个新的 M 文件。命令窗口提示符 $>$,表明它准备执行 MATLAB 命令。对输入命令的解释 MATLAB 按以下顺序进行:

- (1)检查它是否是工作空间中的变量,若是,则显示变量内容;
- (2)检查它是否是嵌入函数,若是,则运行之;
- (3)检查它是否是子函数;
- (4)检查它是否是私有函数;
- (5)检查它是否是位于 MATLAB 搜索路径范围内的函数文件或脚本文件。

请注意,如果有两个以上的方案与输入的命令相匹配,MATLAB 将只执行第一个匹配。命令执行的结果将在命令窗口中显示,如果不想显示命令结果,可以在命令后加上分号(;),这个规则在 M 文件中同样有效。

A.3 常用操作命令

MATLAB 常用操作命令如表 A-1 所示。

表 A-1 MATLAB 常用操作命令

命令	功 能
cd	显示或改变当前工作目录
dir	列出当前目录或指定目录下的文件和子目录清单,类似于 DOS 命令 DIR
clc,home	清除 MATLAB 命令窗口中的所有显示内容,并把光标移到命令窗口的左上角
clf	清除 MATLAB 当前图形窗口中的图形
clear	清除内存中的变量和函数
disp	显示变量的内容
type	列出指定文件的全部内容,类似于 DOS 命令 TYPE
exit,quit	退出 MATLAB
who	列出当前工作空间中的变量
whos	列出当前工作空间中变量的更多信息
what	列出当前目录或指定目录下的 M 文件、MAT 文件和 MEX 文件
which	显示指定函数或文件的路径
lookfor	按照指定的关键字查找所有相关的 M 文件

续表

命令	功 能
exist	检查指定的变量或函数文件的存在性,返回一个 0~8 的值,0 表示检查的内容不存在,1 表示检查的内容是工作空间内的变量,2 表示为搜索路径内的 M 文件或其他普通文件,3 表示为搜索路径内的 MEX 文件,4 表示为搜索路径内的 MDL 文件,5 表示为嵌入函数,6 表示为搜索路径内的 P 文件,7 表示为一个目录,8 表示检查的内容为一个 JAVA 类
more	用于滚屏分页,more off 不允许分页输出,more on 允许分页输出,more(n)指定每页输出的行数。允许分页输出时,每显示一页的内容,在命令窗口会显示“- more -”的标记,按回车键前进一行,按空格键翻到下一页,按‘q’退出当前显示
!	用于外部命令前,可以运行一个外部程序,如“! notepad”则运行 windows 记事本程序,MATLAB 不再处理输入信息,直到退出所运行的程序为止,“! notepad &”运行记事本程序,MATLAB 继续处理信息

A.4 MATLAB 的变量

1. MATLAB 内部特殊变量和常数

MATLAB 内部有很多变量和常数,用以表达特殊含义,常用的有:

变量 ans:指示当前答案。

常数 eps:表示浮点相对精度,其值是从 1.0 到下一个最大浮点数之间的差值。该变量值作为一些 MATLAB 函数计算的相对浮点精度,按 IEEE 标准, $\text{eps} = 2^{-52}$,近似为 $2.2204e-016$ 。

常数 Inf:表示无穷大,当输入或计算中有除以 0 时产生 Inf。

虚数单位 i,j:表示复数虚部单位,相当于 $\sqrt{-1}$ 。

NaN:表示非数值,是由 0/0 运算产生。

常数 pi:表示圆周率 π ,其值为 3.1415926535897...

2. 变量类型

MATLAB 中对变量的命名应遵循以下规则:变量名可以由字母、数字和下划线混合组成,但必须以字母开头;字符长度不能大于 31;变量命名区分大小写。

同其他语言一样,变量分为局部变量和全局变量两类。局部变量是指那些每个函数体内自己定义的,不能从其他函数和 MATLAB 工作空间访问的变量。全局变量是指用关键字“global”声明的变量。全局变量名应尽量大写,并能反映它本身的含义。如果需要在工作空间和几个函数中都能访问一个全局变量,必须在工作空间和这几个函数中都声明该变量是全局的。

3. 变量的使用

变量在使用前通常不需要定义类型和大小,可以直接赋值。但进行大量数据处理时,事先用 zeros 函数指定变量的大小,可以大幅度提高运算速度,节省运算时间。

A.5 矩阵的输入

在 MATLAB 中,矩阵输入需要遵循以下规则:用 `[ ]` 包住所有列出的元素;元素之间用空格或逗号分开;用分号表示行的结束;矩阵每一行元素的个数应该相同;矩阵每一列元素个数必须相同。矩阵可以由以下几种方式产生:

1. 在命令窗口中直接输入

例如在命令窗口中输入

`X=[ 2 3 4;4 5 6;3 5 8]` 产生 3×3 维矩阵

`X=`

```
2  3  4
4  5  6
3  5  8
```

2. 利用内部语句或函数产生

`rand(1,N)`: 产生 $[0,1]$ 之间均匀分布的随机序列。

`randn(1,N)`: 产生均值为零、方差为 1 的高斯分布的随机序列。

`zeros(M,N)`: 产生 $M \times N$ 阶全零矩阵。

`ones(M,N)`: 产生 $M \times N$ 阶全 1 矩阵。

3. 用 `load` 函数将外部数据文件装入到指定的变量,变量与原文件同名

例如 `load data.txt`

`data=`

```
5  6  7  2
5  8  9  1
```

矩阵产生以后,在矩阵运算法则内可以通过运算符或函数方式对其进行各种运算,以下是常用的对矩阵的操作函数:

`size(X)`: 输出矩阵行和列的长度。

`length(X)`: 输出向量的长度。

`inv(X)`: 输出矩阵的逆。

`isempty(X)`: 输出矩阵为空,返回 True。

A.6 运算符

MATLAB 的运算符分为算术运算符、逻辑运算符、关系运算符三类,还有一些符号有其特殊的用途。下面逐一对其进行介绍。

1. 算术运算

MATLAB 中有两种不同类型的算术运算用来对已存储的数据进行操作,若 `X` 和 `Y` 表示

两个不同的矩阵,其各种运算分别叙述如下:

若 X 和 Y 具有相同的维数, X 和 Y 的相加由表达式 $X + Y$ 实现。相加运算“+”也可用来表示把一个标量加到一个矩阵中。同样地,从 X 减去 Y 由表达式 $X - Y$ 实现。减法运算“-”也可用来将一个标量从一个矩阵中减去。

若 X 的列数与 Y 的行数相同,矩阵相乘 $X * Y$ 产生 X 和 Y 的线性代数乘积。乘法运算 $*$ 也可用来表示将一个标量乘以一个矩阵,若 X 和 Y 有同样的维数, $X ./ Y$ 表示是一个数组相乘,它得到 X 和 Y 的逐个元素的乘积。

若 Y 是一个可逆方阵,而 X 是一个与 Y 的列数相同的矩阵,则矩阵右除 X / Y 相当于 $X * \text{inv}(Y)$,其中 $\text{inv}(Y)$ 表示 Y 的逆。若它们中的一个标量,右除运算 X / Y 也能实现。若 Y 是一个可逆方阵,而 X 是一个与 Y 的行数相同的矩阵,则矩阵左除 $X \backslash Y$ 相当于 $\text{inv}(Y) * X$ 。若 X 和 Y 有相同的维数,数组右除用表达式 $X ./ Y$ 实现,得到一个矩阵,其第 r 行 s 列的元素由 $X(r,s) / Y(r,s)$ 给出。

若在一个语句中使用了多种运算,在求取这个表达式时遵循通常的优先规则。然而,括号可以改变运算的优先顺序。

矩阵的算术运算举例说明如下:

例 A.1 设 $X = [1\ 2\ 3; 4\ 5\ 6]$, 且 $Y = [12\ 11\ 10; 9\ 8\ 7]$ 。则 $X + Y$ 得到

```
ans =  
    13    13    13  
    13    13    13
```

而 $X - Y$ 得到

```
ans =  
   -11   -9   -7  
    -5   -3   -1
```

$X + 3$ 的结果为

```
ans =  
     4     5     6  
     7     8     9
```

而运算 $X * 3$ 的结果为

```
ans =  
     3     6     9  
    12    15    18
```

键入 $X .* Y$ 生成

```
ans =  
    12    22    30  
    36    40    42
```

键入 $X * Y'$ 得到

```
ans =  
     64     46  
    163    118
```

而键入 $X' * Y$ 得到


```
ans =
```

```
    48    43    38
    69    62    55
    90    81    72
```

考虑两个矩阵 $X = [1\ 2\ 3; 4\ 5\ 6; 7\ 8\ 9]$ 和 $Y = [1\ 1\ 2; 2\ 2\ 3; 1\ 3\ 4]$ 。则 X/Y 生成

```
ans =
```

```
    0.5000         0    0.5000
   -2.5000    3.0000    0.5000
   -5.5000    6.0000    0.5000
```

而 $Y \setminus X$ 得到

```
ans =
```

```
         0         0         0
         5         4         3
        -2        -1         0
```

2. 关系运算符

在 MATLAB 中,关系运算符 $<, <=, >, >=, ==$ 或 $\sim=$, 分别表示比较运算小于、小于等于 ($\leq$)、大于、大于等于 ($\geq$)、等于和不等 ($\neq$)。使用这些运算符对两个同样大小的矩阵进行比较时, MATLAB 将把对应的元素逐个进行比较,其结果也将以同样大小的矩阵出现,且当关系为真时,矩阵中的该元素被设为 1,而当关系为假时,该元素被设置为 0。在复数值的矩阵情况下,运算符 $<, <=, >$ 和 $>=$ 将只用来比较矩阵元素中的实数部分,但运算符 $==$ 和 $\sim=$ 用来同时比较实数和虚数部分。

下面举例说明这些运算符的用法。

例 A.2 考虑两个矩阵 $C = [1\ 2\ 3; 4\ 5\ 6]$ 和 $D = [1\ 7\ 2; 6\ 5\ 1]$ 。则在 C 和 D 上应用上述关系运算符的结果如下:

```
C < D
```

```
ans =
```

```
    0    1    0
    1    0    0
```

```
C > D
```

```
ans =
```

```
    0    0    1
    0    0    1
```

```
C <= D
```

```
ans =
```

```
    1    1    0
    1    1    0
```

```
C >= D
```

```
ans =
```