



高等院校电子信息与电气学科特色教材

数字信号处理实验教程

——基于MATLAB、DSP和SOPC实现

主 编 张建平

副主编 戴咏夏 潘玲玲 王睿韬

清华大学出版社





高等院校电子信息与电气学科特色教材

数字信号处理实验教程

——基于MATLAB、DSP和SOPC实现

主 编 张建平

副主编 戴咏夏 潘玲玲 王睿韬

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书主要介绍了数字信号处理的基本理论、相应的算法以及这些算法的软件与硬件实现,是一本指导性实验教材。全书共上、中、下三篇,分为8章:上篇为 MATLAB 实现,中篇为 DSP 实现,下篇为 SOPC 实现。开发的24个实验项目涵盖了离散信号的分析、正弦信号发生器设计、采样定理的验证、线性卷积算法的实现、快速傅里叶变换的实现和应用、各种类型不同算法的 FIR 和 IIR 滤波器设计、语音信号处理及数字图像处理等各个方面。每个实验由实验目的、实验原理、实验内容、实验思考题及实验报告要求等组成,书后还附有所有实验思考题参考答案以及设计性实验参考资料。同时,本书介绍了 MATLAB 软件工具的常用操作、集成开发环境 CCS 的使用方法、前沿的 SOPC 技术以及硬件编程语言 VHDL 的基本语法。

为了方便教学,本书所附光盘包含书中实验部分的 MATLAB 源代码文件、DSP 项目文件和 DSP Builder 模型及 SOPC 工程顶层文件,以及所有章节的电子教案,向采纳本书作为实验教材的教师免费提供。

本书可作为高等院校电子信息工程、通信工程、电子科学与技术、自动控制工程、自动化等专业本科生或低年级研究生数字信号处理课程的实验教学用书,也可作为其他理工科相关专业教师和学生的参考书,同时可供工程技术人员参阅。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数字信号处理实验教程:基于 MATLAB、DSP 和 SOPC 实现/张建平主编. —北京:清华大学出版社,2010.1

(高等院校电子信息与电气学科特色教材)

ISBN 978-7-302-21310-9

I. 数… II. 张… III. 数字信号—信号处理—高等学校—教材 IV. TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 182774 号

责任编辑:陈志辉

责任校对:梁毅

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京市昌平环球印刷厂

装 订 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:12 字 数:297 千字

附光盘 1 张

版 次:2010 年 1 月第 1 版

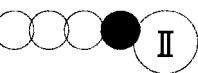
印 次:2010 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:19.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:032458-01

出版说明



改版工作,使其日趋完善。相信经过大家的共同努力,这套教材一定能成为特色鲜明、质量上乘的优秀教材,同时,我们也欢迎有丰富教学和创新实践经验的优秀教师能够加入到本丛书的编写工作中来!

清华大学出版社

高等院校电子信息与电气学科特色教材编委会

联系人:王敏稚 wangmz@tup.tsinghua.edu.cn

前言

SOPC 可以将 MCU、DSP 和 FPGA 完美结合。通过在实验板相关开发环境下实现一些数字信号处理的基本功能,加深对课程内容的理解,增加读者的硬件知识进而增强其动手能力。

本书是高等院校理工科的实验教材,可供从事数字信号处理研究和应用的广大技术人员学习和参考。读者可将上、中、下三篇的内容对照学习,对比分析实验结果。

本书由张建平主编,戴咏夏、潘玲玲、王睿韬编写。全书由张建平统稿。

作者在编写过程中参考了国内外出版社的一些书籍、文献及网络资料,在此特向这些文献的作者表示感谢!

本书参考了 TI 公司的 TMS320 系列 DSP 芯片和达盛科技公司 EL-DSP-EXPII 专家 II 型教学实验箱以及 Altera 公司 DE2 开发板附带资料,在此致以诚挚的谢意!此外,特别感谢清华大学出版社给予的支持和帮助!

为了方便读者学习,本书配套提供了一张光盘,具体包括了本书实验项目所涉及的源程序文件以及各章节电子课件,希望为读者的学习带来便利。

在本书编写过程中,尽管作者尽了很大的努力,但疏漏之处在所难免,我们真诚希望使用本书的读者,不吝指正,随时给我们提出宝贵的意见,以期对本书进一步进行修订、完善。

编 者

2009 年 5 月于上海

目 录

第一章 绪论

第二章 基础理论

第三章 实验方法

第四章 结果与讨论

第五章 结论

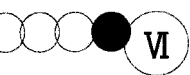
第六章 参考文献

第七章 附录

第八章 致谢

第九章 索引

第十章 参考文献



5.4	快速傅里叶变换的实现	81
5.5	FIR 滤波器的设计	86
5.6	IIR 滤波器的设计	90
5.7	DSP 在语音信号处理中的应用	94
5.8	DSP 在数字图像处理中的应用	96

下篇 SOPC 实现

第 6 章	SOPC 实验系统简介	103
6.1	系统硬件单元	103
6.2	硬件描述语言基础	104
第 7 章	SOPC 设计工具	117
7.1	软件的安装	117
7.2	软件的使用	119
第 8 章	基于 SOPC 实现的数字信号处理实验	125
8.1	开发环境 Quartus II	125
8.2	正弦信号发生器设计	134
8.3	快速傅里叶变换的实现	143
8.4	直接 I 型 FIR 滤波器设计	147
8.5	基于分布式算法的 FIR 滤波器设计	150
8.6	直接 II 型 IIR 滤波器设计	152
8.7	两通路并行 IIR 滤波器设计	156
8.8	SOPC 在语音和图像中的应用	160
附录 A	基于 MATLAB 数字信号处理实验部分	164
A.1	实验中用到的一些子程序	164
A.2	设计性实验中的参考程序	165
A.3	实验思考题参考答案	166
附录 B	基于 DSP 数字信号处理实验部分	169
B.1	实验中用到的一些子程序	169
B.2	设计性实验中的参考程序	169
B.3	实验思考题参考答案	170
附录 C	基于 SOPC 数字信号处理实验部分	174
C.1	设计性实验参考资料	174
C.2	实验思考题参考答案	175
参考文献		181

上 篇

MATLAB 实现

第 1 章 MATLAB 快速入门

第 2 章 基于 MATLAB 实现的数字信号处理实验

第1章

MATLAB快速入门

1.1 MATLAB 简介

信息技术、计算机技术发展到今天,科学计算在各个领域得到了广泛的应用。在科学研究和工程应用的过程中,诸如控制论、时间序列分析、系统仿真、图像信号处理等方面产生了大量的矩阵及其相应的计算问题,往往需要进行大量的数学计算,传统的纸笔和计算器已经不能满足海量计算的要求。通过编写繁复的计算程序,不仅会消耗时间和精力,减缓工作进程,而且往往质量不高。一些技术人员尝试用 Basic、Fortran 以及 C 语言编制程序来减轻计算的工作量,但编制程序不仅需要掌握所用语言的语法,还需要对有关算法进行深入分析,致使科学工作者在编程上花费过多时间。为了满足用户对工程数学计算的要求,一些软件公司相继推出了一批数学类科技应用软件,如 MATLAB、Xmath、Mathematica、Maple 等。其中,Mathworks 公司推出的 MATLAB(即 Matrix 和 Laboratory 的前三位字母组合)以其强大的功能和易用性受到越来越多的科技工作者的欢迎。

MATLAB 起初是作为矩阵实验室(Matrix Laboratory)提供对 LINPACK 和 EISPACK(LINPACK 是解线性方程的 Fortran 链接库,EISPACK 是解特征值问题的 Fortran 链接库)矩阵软件包接口。与 Basic、Fortran 以及 C 语言比较,MATLAB 的语法规则更简单,编程特点更贴近人的思维方式,在工程计算方面的编程效率远远高于其他编程语言。

MATLAB 的基本数据结构是矩阵。正如 MATLAB 的名字“矩阵实验室”,MATLAB 起初主要用来对矩阵进行操作,MATLAB 具有非常强大的计算功能。经过 Mathworks 公司的不断发展,MATLAB 现已自成体系,它包括以下五个部分:

- (1) 编程语言:以矩阵和数组为基本单位的编程语言。
- (2) 工作环境:包括一系列的应用工具,提供编程和调试程序的环境。
- (3) 图形处理:包括绘制二维、三维图形和创建图形用户界面(GUI)等。
- (4) 数学库函数:包含大量数学函数,也包括复杂功能。
- (5) 应用程序接口:提供接口程序,可使 MATLAB 与其他语言程序进行交互。

MATLAB 的典型特点如下:

- (1) 语言简洁紧凑,运算符十分丰富,使用方便灵活
- (2) 既具有结构化的控制语言,又能面向对象编程
- (3) 语法限制不严格,程序设计自由度大,可移植性好
- (4) 具有强大的图形功能
- (5) 包含功能强劲的工具箱

(6) 最重要、最受欢迎的特点是它的开放性

MATLAB 的典型应用有两方面：

- (1) 数值计算和符号计算。
- (2) 建模和动态仿真。

1.2 MATLAB 的使用

1.2.1

MATLAB 的主界面窗口

MATLAB 的主界面窗口如图 1-1 所示。

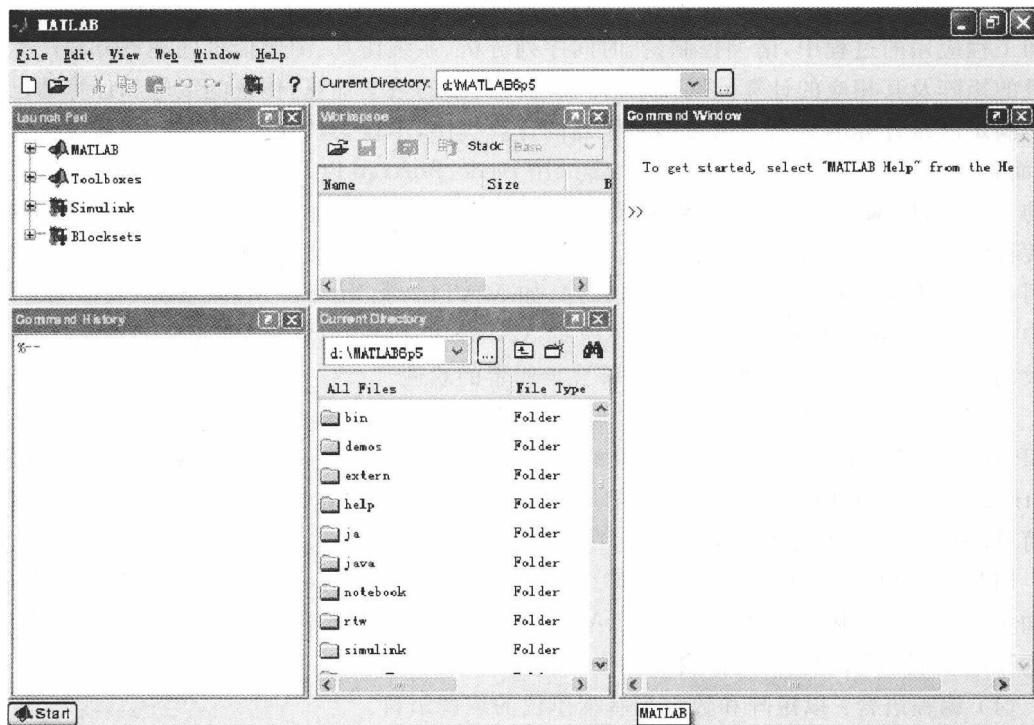


图 1-1 MATLAB 主界面窗口

(1) 菜单栏和工具栏：位于窗口顶部，用户可以通过它们执行某些命令。

(2) 命令窗口：位于右边空白部分，用户的数据输入和结果运算，都在此窗口进行，是 MATLAB 极为重要的部分，也是用户使用最频繁的部分。

(3) 工作台和工具箱：位于主窗口左上部分，双击工具箱或前面的“+”，就能看到工具箱的各项功能。

(4) 工作空间：主窗口的中上部分，可看到 MATLAB 的各个工作变量，新打开 MATLAB 时，只能看到系统提供的默认输出变量 ans。

(5) 历史命令：主窗口的左下部分，主要保存工作过的变量、表达式等，需要时，用户可

以直接提取历史命令在命令窗口中使用。

(6) 当前工作目录: 主窗口的中下部分, 主要保存当前工作路径下的图形文件和命令文件。

1.2.2

MATLAB 的基本程序设计原则

- (1) 设置完整的路径, 把当前的处理位置设为现在的目录。
- (2) 参数值集中放在程序的开始部分, 便于程序维护。
- (3) 若在每行程序的最后输入分号, 则执行后结果不会显示在屏幕上。
- (4) 符号“%”后面的内容是程序的注解, 不作为命令运行。
- (5) 程序尽量模块化, 也就是采用主程序调用子程序的方法, 将所用子程序合并在一起来执行全部的操作。
- (6) 注意变量的定义。
- (7) 留意各种命令的书写格式:

程序的基本组成

- % 说明部分
- 清除命令(可选)
- 定义变量(局部变量和全局变量)
- 按照顺序行执行的命令语句
- 控制语句开始
 - 控制语句体
- 控制语句结束
- 其他命令(如绘图等)

1.2.3

常量和变量

同其他计算机语言一样, MATLAB 中使用的数据也可分为常量和变量。

常量的表示方法: 十进制数字, 可以带正负号和小数点, 也可采用科学计数法。如: 1, 2.5, 0.003 3, $2e-7$, π , $2+3i$ 等。

变量以其名称在操作语句中第一次合法出现而定义, 无须事先定义。如果变量已经存在, 那么 MATLAB 将改变它的内容。

变量命名原则:

- 变量名必须以字母开头, 后面可以是任意的字母、数字或下划线
- 变量名有效的最大长度是 31
- 变量名要区分大小写

特殊的常量和变量:

- ans 默认变量名, 以操作中最近应答作为它的值
- π 圆周率
- i 或 j 虚数单位
- INF 正无穷大

- nan 不定值(或称非数)
- version MATLAB 的版本

1.2.4

程序的运算符

1. 算术运算符(优先级最高)

加法: + 减法: - 乘法: *
 除法: / 左除: \ 乘方: ^

执行时的优先法则按照以下规则:

- 表达式从左到右执行
- 乘方运算具有最高的优先级
- 乘法和除法运算具有相同的次优先级,加法和减法具有相同的最低优先级
- 括号可以改变优先次序,由最内层的括号向外执行

2. 关系运算符(共 6 个)

小于 < 大于 > 小于等于 <=
 大于等于 >= 等于 == 不等于 ≠(~=)

注: 所有关系运算符连接的两个操作数必须或者同维、同大小,或者其中一个为标量。有一个操作数是标量时,关系运算符把标量和另一个操作数的每个元素进行比较。对大小相同的两个矩阵进行关系运算即对相应的每一个元素进行比较,如果满足指定关系,返回 1,否则返回 0。

3. 逻辑运算符(共 4 个)

与 & 或 |
 非 ~ 逻辑异或 XOR

注: 对操作数的要求和关系运算符一样,逻辑运算符也是对操作数的相应元素一一运算,最后返回一个 0—1 矩阵,表达式的值为真时,返回 1,否则返回 0。

1.2.5

程序控制语句

程序控制语句为编写结构化的程序提供了必不可少的条件,不但可以方便用户编程,还可提高程序的效率和可读性。

1. for 循环语句(用来执行循环次数已知的情況)

调用格式:

```
for x = 初值: 步长: 终值
    循环体
end
```

其中：变量 x 称为循环变量，初值、终值和步长可以是标量，也可以是表达式。

当循环语句开始执行时， x 的值被赋为和初值相同的内容，每执行一次循环体的内容， x 的值就会按照步长的大小来改变，如果步长为正数，每执行一次就增加一个步长，否则减小一个步长，一直到变量的值大于或者小于终值，for 语句循环结束，继续执行结束语句下面的命令。

注：(1) 当步长省略不写时，系统默认为 1。

(2) for 循环语句允许嵌套。在程序里，每一个 for 关键字必须和一个 end 配对，否则出错。

2. while 循环语句(一般用于事先不能确定循环次数的情况)

调用格式：

```
while 表达式
    循环体
end
```

当表达式的值为真时，执行循环体，当循环体执行完毕后，继续判断表达式的值，如果仍为真，继续执行，如此循环，直到表达式的值为假时终止循环。

注：利用 break 语句，可在任何时候终止循环(while 循环或者 for 循环)。

3. 条件选择语句 if

根据不同逻辑表达式的值来判断程序在执行过程中需要执行哪些语句。

调用格式：

```
if 逻辑表达式
    命令语句体
end
```

程序在执行过程中，首先判断逻辑表达式的值，若为真，则执行命令语句体中所有语句，否则，跳过命令语句体，执行结束语句之后的语句。

if 语句可以通过嵌套的方式使用，但不同的 if 语句之间不能相互交叉。

调用格式：

```
if 逻辑表达式 1
    语句体 1
elseif 逻辑表达式 2
    语句体 2
elseif 逻辑表达式 3
    语句体 3
:
else 语句体
end
```

1.2.6

M 文件

为代替在 MATLAB 提示符下输入的 MATLAB 命令语句，可以把这些命令写入一个文本文件，每当用户输入文件名和它的自变量时，命令语句就由 MATLAB 执行，当文件中

最后一个命令被执行后, MATLAB 能再从终端读取命令, 这样的文件就叫 M 文件。

1. M 文件的类型

M 文件包含两类: 命令 (Script) 文件和函数 (Function) 文件。

(1) 命令文件

主要用途: 使命令输入更简单化 (没有输入参数也没有输出参数)。

当用户需要重复输入许多相同的命令时, 可将它们放在一个命令文件中, 每次只要输入文件名, 即可得到相同的运行结果。

实质是将用户在 MATLAB 命令窗口中输入的一串命令用另外一个名称来代替。

(2) 函数文件

主要用途: 扩充 MATLAB 的应用范围和满足用户不同的实际应用需求。

函数文件可接受输入变量也可返回输出变量。函数文件对变量的运算是在其本身的工作空间内进行的, 它和 MATLAB 命令窗口的工作空间是相互独立的。

2. M 文本编辑器

利用 MATLAB 编程语言所写的程序被称作 M 文件, 后缀均为 .m。

(1) 启动编辑器的方法:

- 直接在 MATLAB 命令窗口中运行命令编辑
- 单击 MATLAB 命令窗口工具栏上的图标
- 从 MATLAB 命令窗口中选择菜单 File→New→M-file

(2) 打开已有 M 文件的操作方法:

- 直接在命令窗口运行命令 edit filename, filename 是待打开的文件名
- 单击 MATLAB 命令窗口工具栏上的图标, 从弹出对话框中选取需打开的文件
- 单击命令窗口中 File→Open 子菜单, 从弹出对话框中选取需打开的文件

编辑或修改的文件经保存后可单击 Debug→Run 运行, 或者在命令窗口中直接输入此 M 文件的名称, 就可观察运行结果。

3. 命令文件

最简单的 M 文件, 不含输入变量和输出变量, 主要用途是使命令输入更简单, 调用时 MATLAB 自动执行文件中的全部语句, 因此在实现分析问题、解决问题和设计复杂命令等方面十分有用。

4. 函数文件

可以传递参数, 接受输入变量和返回输出变量, 且对变量的运算是在函数本身的工作空间内进行, 和 MATLAB 命令行窗口的工作空间互相独立。函数文件的第一行必须包含关键字 function。函数名的命名规则和变量名的命名规则一样: 必须以字母开头, 其余部分可以是字母、数字、下划线。

函数文件的几点说明:

- 文件的第 1 行说明了该函数的名称、输入参数、输出参数