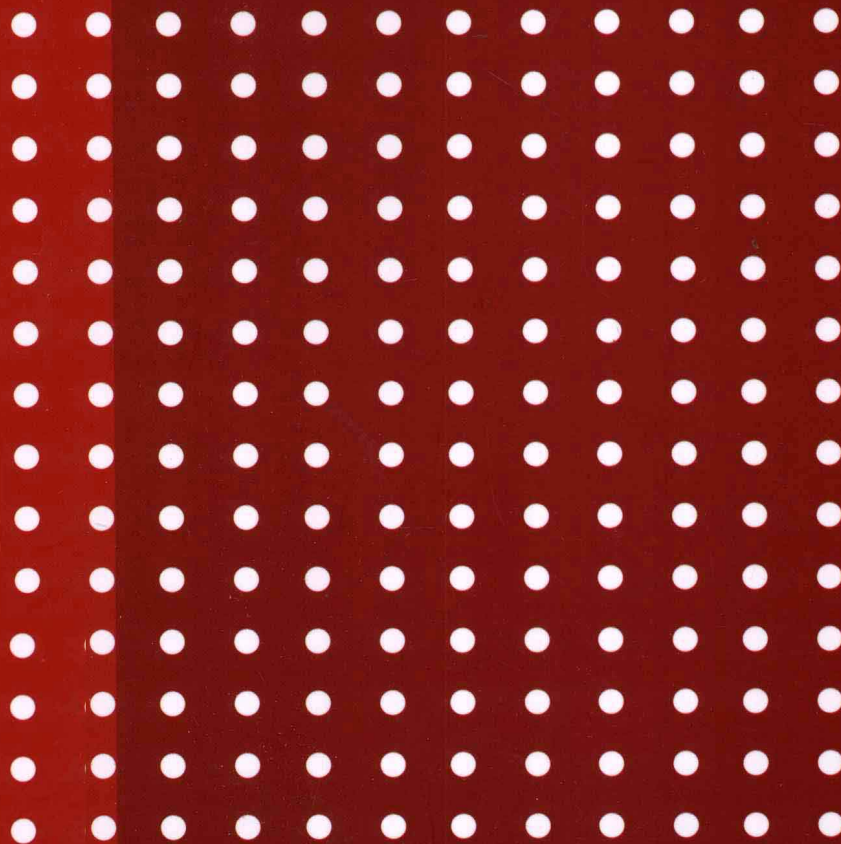


21世纪高等学校电子信息工程规划教材

可下载教学资料
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

数字信号处理实验教程

李莉 主编



清华大学出版社

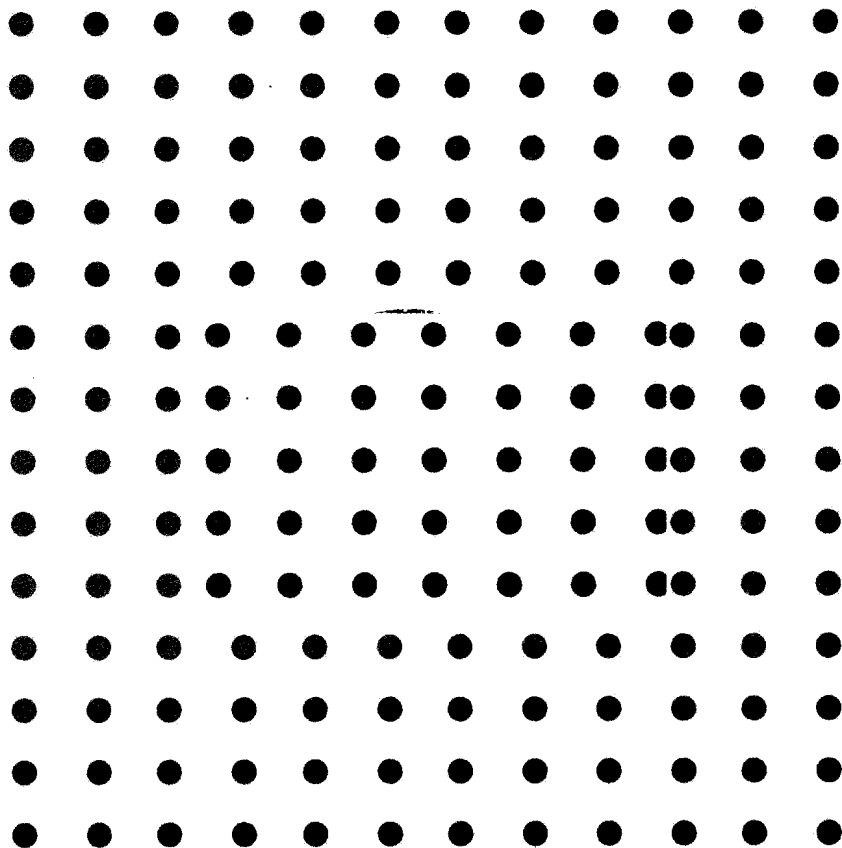


21世纪高等学校电子信息工程规划教材

数字信号处理实验教程

李莉 主编

王沛 张相芬 俞玉莲 郑振东 副主编



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书针对工程应用型本科专业的实验教学特点,注重数字信号处理的基本理论、基本算法的 MATLAB 实现。倡导有条件的双语教学、个性化的分层教学新理念。通过典型的 MATLAB 实例程序帮助读者理解和掌握基础理论的基本应用,激发学生的自主学习兴趣。

本书第 1 部分(实验 1~实验 4)为基础实验,侧重基本 MATLAB 语言介绍、基本信号概念和系统原理,用英文撰写。由于课程教材一般为中文,实践环节的这种安排既能保证学生对基本概念和基础理论算法的理解掌握,又培养了学生英文应用能力。第 2 部分(实验 5~实验 11)为专题实验,用中文撰写。专题实验内容循序渐进,通过各专题的相关子课题,引导有兴趣的学生进行综合性、设计性实验研究。根据实验教学要求可对两部分实验内容进行选择,作为必做实验或课外拓展综合设计选做实验。

本书可作为通信、电子信息、计算机应用技术等相关专业本科生实验教学用书,也可作为从事数字信号处理工作的工程技术人员的参考书。

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/李莉主编. —北京:清华大学出版社,2011.10

(21 世纪高等学校电子信息工程规划教材)

ISBN 978-7-302-26133-9

I. ①数… II. ①李… III. ①数字信号处理—实验—高等学校—教材

IV. ①TN911.72—33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 135366 号

责任编辑:魏江江 王冰飞

责任校对:李建庄

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:010-62795954,jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

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

印 装 者:北京嘉实印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:13 字 数:324 千字

版 次:2011 年 10 月第 1 版 印 次:2011 年 10 月第 1 次印刷

印 数:1~2500

定 价:25.00 元

出版说明

随着我国高等教育规模的扩大和产业结构调整的不断深入,社会对高层次应用型人才的需求将更加迫切。各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,合理调整和配置教育资源,在改革和改造传统学科专业的基础上,加强工程型和应用型学科专业建设,积极设置主要面向地方支柱产业、高新技术产业、服务业的工程型和应用型学科专业,积极为地方经济建设输送各类应用型人才。各高校加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的力度,从而实现传统学科专业向工程型和应用型学科专业的发展与转变。在发挥传统学科专业师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势的同时,不断更新其教学内容、改革课程体系,使工程型和应用型学科专业教育与经济建设相适应。

为了配合高校工程型和应用型学科专业的建设和发展,急需出版一批内容新、体系新、方法新、手段新的高水平电子信息类专业课程教材。目前,工程型和应用型学科专业电子信息类专业课程教材的建设工作仍滞后于教学改革的实践,如现有的电子信息类专业教材中有不少内容陈旧(依然用传统专业电子信息教材代替工程型和应用型学科专业教材),重理论、轻实践,不能满足新的教学计划、课程设置的需要;一些课程的教材可供选择的品种太少;一些基础课的教材虽然品种较多,但低水平重复严重;有些教材内容庞杂,书越编越厚;专业课教材、教学辅助教材及教学参考书短缺,等等,都不利于学生能力的提高和素质的培养。为此,在教育部相关教学指导委员会专家的指导和帮助下,清华大学出版社组织出版本系列教材,以满足工程型和应用型电子信息类专业课程教学的需要。本系列教材在规划过程中体现了如下一些基本原则和特点:

(1) 系列教材主要是电子信息学科基础课程教材,面向工程技术应用培养。本系列教材在内容上坚持基本理论适度,反映基本理论和原理的综合应用,强调工程实践和应用环节。电子信息学科历经了一个多世纪的发展,已经形成了一个完整、科学的理论体系,这些理论是这一领域技术发展的强大源泉,基于理论的技术创新、开发与应用显得更为重要。

(2) 系列教材体现了电子信息学科使用新的分析方法和手段解决工程实际问题。利用计算机强大功能和仿真设计软件,使得电子信息领域中大量复杂的理论计算、变换分析等变得快速简单。教材充分体现了利用计算机解决理论分析与解算实际工程电路的途径与方法。

(3) 系列教材体现了新技术、新器件的开发应用实践。电子信息产业中仪器、设备、产品都已使用高集成化的模块,且不仅仅由硬件来实现,而是大量使用软件和硬件相结合方法,使得产品性价比很高,如何使学生掌握这些先进的技术、创造性地开发应用新技术是本系列教材的一个重要特点。

(4) 以学生知识、能力、素质协调发展为宗旨,系列教材编写内容充分注意了学生创新

能力和实践能力的培养,加强了实验实践环节,各门课程均配有独立的实验课程和课程设计。

(5) 21世纪是信息时代,学生获取知识可以是多种媒体形式和多种渠道的,而不再局限于课堂上,因而传授知识不再以教师为中心,以教材为唯一依托,而应该多为学生提供各类学习资料(如网络教材,CAI课件,学习指导书等)。应创造一种新的学习环境(如讨论,自学,设计制作竞赛等),让学生成为学习主体。该系列教材以计算机、网络和实验室为载体,配有多种辅助学习资料,提高学生学习兴趣。

繁荣教材出版事业,提高教材质量的关键是教师。建立一支高水平的以老带新的教材编写队伍才能保证教材的编写质量和建设力度,希望有志于教材建设的教师能够加入到我们的编写队伍中来。

21世纪高等学校电子信息工程规划教材编委会

联系人: 魏江江 weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前 言

随着信息技术的发展,数字信号处理基础知识已成为通信、电子信息、计算机应用技术等相关专业本科学生必须学习和掌握的专业基础知识。

从教学目的和内容上可把数字信号处理相关课程分为两类:一类是以学习数字信号处理基本概念、算法及其应用和数字滤波器系统原理为主要目的;另一类是在某数字信号处理器硬件开发平台上,针对选定数字信号处理芯片型号,学习利用该芯片的指令集进行数字信号处理算法硬件开发编程。由于这两类课程的教学侧重点有较大的差异,故相关实践教学环节的软件内容、硬件环境也有较大不同。

《数字信号处理实验教程》是针对上述第一类课程的实践教学环节而编写的。本书主要有以下特点:第一,针对工程应用型本科专业的教学特点,注重数字信号分析和数字处理系统的基本原理验证和算法综合实现;第二,实验均是在通用计算机平台上,用 MATLAB 语言编程实现;第三,为在课程实践环节尝试双语教学提供参考教材;第四,便于实现个性化、分层教学的新理念。

本书给出详细的 MATLAB 实例程序,便于读者掌握用 MATLAB 语言编程。本书在基础理论方面并没有完整的叙述,需要了解的读者可参阅相关书籍。特别是专题实验部分的例子仅为抛砖引玉,期望在巩固理解基本概念和编程应用的同时,激发读者自主学习的兴趣。

本书第 1 部分(实验 1~实验 4)为基础实验,侧重基本 MATLAB 语言介绍、基本信号概念和系统原理,用英文撰写。第 1 部分可安排 8 个学时。实践环节的这种安排既能保证学生对基本概念和基础理论算法的理解掌握,又能培养学生的英文应用能力。第 2 部分(实验 5~实验 11)为专题实验,用中文撰写。专题实验内容循序渐进,通过各专题的相关子课题,引导有兴趣的学生进行综合性、设计性实验研究。第 2 部分可让学生以研究课题的形式选作某个专题。

全书由李莉统稿。实验 1~实验 3 由张相芬编写;实验 4、实验 10 由李莉编写;实验 5~实验 7 由郑振东编写;实验 8 和实验 9 由俞玉莲编写;实验 11 由王沛编写。

本书集作者在上海师范大学多年课程建设的探索和教学改革的实际经验,是上海市重点课程建设配套教材。在编写过程中得到了上海师范大学的大力支持,在此表示感谢!

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请读者不吝指正。

编 者

2011 年 8 月于上海

目 录

第 1 部分 基础实验

Laboratory 1 Basic Knowledge About MATLAB	3
1.1 Introduction	3
1.2 Pre-knowledge	3
1.2.1 What Is MATLAB	4
1.2.2 Starting and Quitting MATLAB	4
1.2.3 MATLAB Command Window	5
1.2.4 MATLAB Operators	6
1.2.5 Variables, Arrays and Matrices	7
1.2.6 Graphics	10
1.2.7 Loops	15
1.2.8 Vectorization	16
1.2.9 Programming in MATLAB	17
1.2.10 MATLAB Demos	19
1.2.11 Complex Numbers in MATLAB	19
1.2.12 Complex Exponential Signals	20
1.2.13 Harmonic Sinusoids	21
1.3 Exercises	21
1.3.1 Exercises on Complex Numbers	21
1.3.2 Exercises on Arrays	22
1.3.3 Operating Sinusoids with MATLAB	22
1.3.4 Representation of Sinusoids with Complex Exponentials	22
1.3.5 Verify Addition of Sinusoids Using Complex Exponentials	23
1.3.6 Sinusoidal Synthesis with a Function	23
1.3.7 Periodic Waveforms	24
Laboratory 2 AM And FM Synthesis With Sinusoidal Signals	25
2.1 Introduction	25
2.2 Pre-knowledge	25
2.2.1 Amplitude Modulation	25

2.2.2	Frequency Modulation	27
2.2.3	Synthesis of Sinusoidal Signals	27
2.2.4	Beat Notes	30
2.2.5	Chirp or Linearly Swept Frequency	32
2.2.6	Spectrograms	32
2.3	Laboratory A: Chirps and Note Beats	34
2.3.1	Synthesize a Chirp	34
2.3.2	Beat Notes	35
2.4	Laboratory B: FM Synthesis of Instrument Sounds	36
2.4.1	Generating the Bell Envelopes	36
2.4.2	Synthesis of the Bell	37
2.4.3	The Bell Sound	37
2.5	Exercises (Optional)	38
Laboratory 3 FIR Filters And The Implementation In MATLAB		40
3.1	Introduction	40
3.2	Pre-knowledge	41
3.2.1	Types of Filters	41
3.2.2	Basis about FIR Filters	41
3.2.3	Some MATLAB Functions for FIR Filter Design	42
3.2.4	Frequency Response of FIR Filters	44
3.3	Laboratory	46
3.3.1	Frequency Response of the 4-Point Averager	46
3.3.2	Filtering Cosine Waves	47
3.3.3	First-Difference Filtering of Cosine Waves	47
3.3.4	Linear Time-invariance (LTI) Filters	48
3.3.5	Cascading Two Systems	49
Laboratory 4 Filtering Digital Signals		51
4.1	Introduction	51
4.2	Pre-knowledge	53
4.2.1	Properties of Discrete-Time Linear Time-Invariance Systems	53
4.2.2	Data Preparation for Laboratory	54
4.3	Laboratory A	56
4.3.1	The Design of Cascade Systems	57
4.3.2	Study the First-Difference System	57
4.3.3	Study 5-point Moving Averager	58
4.3.4	Study Cascade System 1	59
4.3.5	Study Cascade System 2	60

4.3.6	Quantitative Comparison of Two Cascade Systems	61
4.4	Laboratory B	62
4.4.1	Filtering the Digital Signal with h_1	62
4.4.2	Filtering the Digital Signal with h_2	63
4.4.3	Listen to and Discuss Effect of Filtering the Audio Signal	63

第 2 部分 专题实验

实验 5	取样与恢复	67
5.1	频谱混叠研究	67
5.1.1	基本原理	67
5.1.2	实验内容	68
5.2	非带限信号取样	70
5.2.1	基本原理	70
5.2.2	实验内容	71
5.3	理想采样、平顶采样、自然采样对信号频谱的影响	73
5.3.1	基本原理	73
5.3.2	实验内容	73
实验 6	离散时间系统与卷积	76
6.1	线性卷积运算	76
6.1.1	基本原理	76
6.1.2	实验内容	77
6.2	滤波的思想实现卷积	79
6.2.1	基本原理	79
6.2.2	实验内容	80
6.3	圆周卷积	81
6.3.1	基本原理	81
6.3.2	实验内容	84
6.4	分段卷积	86
6.4.1	基本原理	86
6.4.2	实验内容	88
6.5	卷积的应用	89
6.5.1	基本原理	89
6.5.2	实验内容	89
实验 7	系统函数与 Z 变换	91
7.1	系统函数研究	91
7.1.1	基本原理	91

7.1.2	实验内容	91
7.2	数字周期波形发生器	93
7.2.1	基本原理	93
7.2.2	实验内容	94
7.3	求解差分方程	96
7.3.1	基本原理	96
7.3.2	实验内容	96
实验 8	DFT/FFT	99
8.1	矩形窗和汉明窗	99
8.1.1	窗函数基础知识	99
8.1.2	实验内容	107
8.1.3	实验报告要求	108
8.2	DTMF 信号分析	108
8.2.1	DTMF 信号基本概念	108
8.2.2	实验内容	110
8.2.3	实验报告要求	114
8.3	DFT/FFT 在频谱分析中的应用	114
8.3.1	基础知识	114
8.3.2	实验内容	116
8.3.3	实验报告要求	117
实验 9	数字滤波器的实现	118
9.1	概述	118
9.2	IIR 滤波器系统函数、差分方程和实现结构	118
9.2.1	基础理论	118
9.2.2	函数实现直接型和级联型间的互相转换	120
9.2.3	实验内容	124
9.2.4	实验报告要求	126
9.3	FIR 滤波器的设计	126
9.3.1	FIR 滤波器基本特性	126
9.3.2	FIR 滤波器设计方法介绍	127
9.3.3	窗函数设计步骤	128
9.3.4	实验内容	130
9.3.5	实验报告要求	135
实验 10	应用研究——数字音响	136
10.1	波形表数字振荡器	136
10.1.1	波形表数字振荡器基本原理	136

10.1.2	实验内容	144
10.2	波形表法调幅和调频	145
10.2.1	波形表法实现调幅、调频的原理	146
10.2.2	基于波形表振荡器设计 AM 信号发生器	147
10.2.3	基于波形表振荡器设计 FM 信号发生器	149
10.2.4	实验内容	151
10.3	序列延迟在音响合成中的应用	152
10.3.1	序列延迟产生简单音响效果的基本原理	152
10.3.2	实验内容	157
10.3.3	实验报告要求	159
10.4	数字反射器及其回响时间常数	160
10.4.1	反射及回响时间常数	160
10.4.2	简单的数字反射器	160
10.4.3	低通反射器	164
10.4.4	实验内容	167
10.4.5	实验报告要求	168
10.5	(反射)延迟单元	169
10.5.1	简单反射多重延迟原理	169
10.5.2	低通反射多重延迟原理	169
10.5.3	实验内容	170
10.5.4	实验报告要求	172
10.6	高阶多重延迟的音响效果	172
10.6.1	高阶多重延迟的结构原理	172
10.6.2	高阶多重延迟的实现例子	172
10.6.3	实验内容	175
10.6.4	实验报告要求	175
10.7	压缩器和扩展器	176
10.7.1	压缩器和扩展器的基本原理	176
10.7.2	压缩器和扩展器的稳态输入输出关系	176
10.7.3	动态处理器的实现结构	177
10.7.4	实验内容	180
10.7.5	实验报告要求	180
实验 11	应用研究——数字图像处理	181
11.1	平滑滤波器	181
11.1.1	原理	181
11.1.2	实验内容	183
11.1.3	实验程序	184
11.2	锐化滤波器	185

11.2.1	原理	185
11.2.2	实验内容	187
11.2.3	实验程序	188
11.3	中值滤波器	189
11.3.1	原理	189
11.3.2	实验内容	189
11.3.3	实验程序	191
参考文献		193

第 1 部分 基础实验

Laboratory 1 Basic Knowledge About MATLAB

Purpose: To be familiar with MATLAB language and complex exponentials to prepare for the next labs.

Requirement: After this first lab, the students should gain familiarity with both MATLAB and complex exponentials while building some basic skills in the MATLAB language. Students should prepare the pre-knowledge section before a supervised lab session and give the solutions of the questions with regard to the lab session after finishing the lab.

1.1 Introduction

A key feature of the labs is the extensive use of MATLAB based examples that illustrate the program's powerful capability to solve signal processing problems. Not only are MATLAB codes provided with enough details to permit students to repeat the examples on their computers, but also each lab includes problems requiring solution via MATLAB.

Complex exponentials are widely used in signal or system analyzing and processing. We usually turn trigonometric problems into simple arithmetic and algebra ones when processing sinusoidal functions using complex exponentials. In this laboratory, complex numbers are also introduced. We will also give a review about the complex exponential signal and the phasor addition property needed for cosine waves.

This book requires only some basic knowledge of MATLAB. Students will learn the intricacies of problem solving with MATLAB by using tested complete programs, and then writing simple programs to solve specific problems. In addition, students may read the material in any reference books on using MATLAB for a more complete overview. If you desire an in-depth presentation that covers most of the language, just go to the MATLAB reference manual for consulting.

1.2 Pre-knowledge

The Pre-knowledge usually contains some background knowledge and a few simple exercises to introduce MATLAB commands. Before the section, be sure to add the path including a directory called dsplab that the instructor provided.

1.2.1 What Is MATLAB

As a high-performance language for technical computing, MATLAB stands for matrix laboratory. It was originally written to provide easy access to matrix software developed by the LINPACK and EISPACK projects.

Nowadays, after has being evolved over a period of years, MATLAB has integrated computation, visualization and programming in an easy-to-use environment where problems and solutions are expressed in familiar mathematical notation. This makes MATLAB very popular in university or industry.

MATLAB is an interactive system whose basic data element is an array that allows you to solve many technical computing problems, especially those with matrix and vector formulations, in a fraction of the time it would take to write a program in a scalar non-interactive language such as C or Fortran.

MATLAB features a family of add-on application-specific solutions called toolboxes. These toolboxes are comprehensive collections of MATLAB functions (M-files) that extend the MATLAB environment to solve particular classes of problems.

MATLAB provides extensive help documentation. If you are a new user and want to know more about MATLAB, you can go to the documentation in printed form or in PDF format MATLAB provided for help.

The MATLAB system consists of five main parts:

Development environment—It includes the MATLAB desktop and command window, a command history, an editor and debugger, browsers for viewing help, the workspace, files, and the search path.

The MATLAB mathematical function library—This is a vast collection of computational algorithms ranging from elementary functions like sum, sine and complex arithmetic, to more sophisticated functions like matrix inverse, Bessel functions and fast Fourier transforms.

The MATLAB language—This is a high-level matrix/array language with control flow statements, functions, data structures, input/output and object-oriented programming features.

Graphics—MATLAB has extensive facilities for displaying vectors and matrices as graphs, as well as annotating and printing these graphs.

The MATLAB application program interface (API)—This is a library that allows you to write C and Fortran programs that interact with MATLAB.

1.2.2 Starting and Quitting MATLAB

Assuming that you have installed MATLAB in your computer, you can click on the

MATLAB icon to start it and the MATLAB command window opens up. The MATLAB prompt “>>” will appear in the command window and you can enter a command.

To quit MATLAB at any time, just do as the following:

- (1) Click the close box in the MATLAB desktop.
- (2) Select exit MATLAB from the desktop file menu.
- (3) Type quit at the command window prompt.

1.2.3 MATLAB Command Window

This section describes some basic features of the MATLAB command window.

1. The MATLAB Workspace

Once you open the command window, you can enter variables and run functions or M-file scripts. As you work in the command window, MATLAB remembers the commands you enter as well as the values of any variables you create. Furthermore, these commands and variables can be called whenever you wish. For example, we first create a variable X , and assign a value to it.

```
>> x = 5
```

If we forget the name of a variable, we can ask MATLAB for a list of variables in the workspace by using the MATLAB command `whos`.

```
>> whos  
x
```

Here, `whos` is a command that lists all the variables in the current workspace, along with information about their sizes.

2. Control Command Window Input and Output

We can control command window input and output by the `format` function.

The function affects how numbers are displayed. Here are the different formats, together with the resulting output produced from a vector x with components of different magnitudes. Default output display format of MATLAB is “short”.

```
>> x = [1/3, 1.24e-3]  
x = 0.3333 0.0012  
>> format short  
>> x  
x = 0.3333 0.0012  
>> format short e  
>> x  
x = 3.3333e-001 1.2400e-003  
>> format long
```