



高等院校电子信息与电气学科特色教材

基于MATLAB的信号与系统 实验教程

徐利民 舒 君 谢优忠 编著
江 桦 吴 楚 审

清华大学出版社



高等院校电子信息与电气学科特色教材

基于MATLAB的信号与系统 实验教程

徐利民 舒君 谢优忠 编著

江桦 吴楚 审

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书通过三个部分分别介绍了 MATLAB 的基本使用方法,信号与系统基本实验及实例建模与分析。全书共 16 章,包括逐步深入的 MATLAB 知识,基于计算机的信号表示与运算,系统表述与分析,信号的频谱分析基础,状态方程描述,信号与系统分析在通信工程、声音与图像处理等方面的应用,信号与系统的实例建模等内容。本书在选材和叙述上力求简明扼要,同时注重工程背景并着重体现信号与系统理论在实际应用中的广泛性和趣味性。本书既可以作为信号与系统课程的配套实验教材,服务于本科生毕业设计、科技创新的需要,也可以作为电子类工程技术人员的参考书。

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

基于 MATLAB 的信号与系统实验教程/徐利民,舒君,谢优忠编著. —北京:清华大学出版社,2010.2

(高等院校电子信息与电气学科特色教材)

ISBN 978-7-302-21546-2

I. ①基… II. ①徐… ②舒… ③谢… III. ①信号处理—计算机辅助计算—软件包, MATLAB—高等学校—教材 ②信号系统—计算机辅助计算—软件包, MATLAB—高等学校—教材 IV. ①TN911.7 ②TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 219004 号

责任编辑:陈志辉 刘佩伟

责任校对:时翠兰

责任印制:孟凡玉

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 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:18 字 数:436 千字

版 次:2010 年 2 月第 1 版 印 次:2010 年 2 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:29.00 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:033357-01

出版说明

随着我国高等教育逐步实现大众化以及产业结构的进一步调整,社会对人才的需求出现了层次化和多样化的变化,这反映到高等学校的定位与教学要求中,必然带来教学内容的差异化和教学方式的多样性。而电子信息与电气学科作为当今发展最快的学科之一,突出办学特色,培养有竞争力、有适应性的人才,是很多高等院校的迫切任务。高等教育如何不断适应现代电子信息与电气技术的发展,培养合格的电子信息与电气学科人才,已成为教育改革中的热点问题之一。

目前我国电类学科高等教育的教学中仍然存在很多问题,例如在课程设置和教学实践中,学科分立,缺乏和谐与连通;局部知识过深、过细、过难,缺乏整体性、前沿性和发展性;教学内容与学生的背景知识相比显得过于陈旧;教学与实践环节脱节,知识型教学多于研究型教学,所培养的电子信息与电气学科人才还不能很好地满足社会的需求等等。为了适应 21 世纪人才培养的需要,很多高校在电子信息与电气学科专业建设和课程建设方面都做了大量工作,包括国家级、省级、校级精品课的建设等,充分体现了各个高校重点专业的特色,也同时体现了地域差异对人才培养所产生的影响,从而形成各校自身的特色。许多一线教师在多年教学与科研方面已经积累了大量的经验,将他们的成果转化为教材的形式,向全国其他院校推广,对于深化我国高等学校的教学改革是一件非常有意义的事。

为了配合全国高校培育有特色的精品课程和教材,清华大学出版社在大量调查研究的基础之上,在教育部相关教学指导委员会的指导下,决定规划、出版一套“高等院校电子信息与电气学科特色教材”,系列教材将涵盖通信工程、电子信息工程、电子科学与技术、自动化、电气工程、光电信息工程、微电子学、信息安全等电子信息与电气学科,包括基础课程、专业主干课程、专业课程、实验实践类课程等多个方面。本套教材注重立体化配套,除主教材之外,还将配套教师用 CAI 课件、习题及习题解答、实验指导等辅助教学资源。

由于各地区、各学校的办学特色、培养目标和教学要求均有不同,所以对特色教材的理解也不尽一致,我们恳切希望大家在使用本套教材的过程中,及时给我们提出批评和改进意见,以便我们做好教材的修订改



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: 陈志辉 chengzh@tup.tsinghua.edu.cn

前言

随着当代计算机技术的不断发展,计算机逐渐融入了社会生活的方方面面。计算机的使用已经成为当代大学生不可或缺的基本技能,这不仅仅是通过等级考试这么简单,如何用计算机来解决各种实际问题,辅助学习与研究,是本科教学中的重要课题。

信号与系统课程具有传统经典的基础内容,但也存在由于数字技术发展、计算技术渗入等因素导致的难点重点转变、内容体系修订等需求。在教学过程中,作者深切感受到,缺乏实际应用背景的理论学习对学生而言,是枯燥而艰难的。这门课程公式繁多,理论深涩,如果缺乏工程应用导引、对课程内容形成的历史原因和逻辑原因等方面的知识,初学者往往会产生枯燥、糊涂、抽象的感觉。解决这个问题的关键在于:学习者在建构知识体系的过程中,如何对所学习的内容保持足够的兴趣和强烈的探知欲,这一点往往直接决定学习的结果。纯理论的信号与系统教学过程容易使学生觉得:(1)基础知识不够,对繁多的公式推导、性质证明头疼;(2)工程背景不明确,不能理解所学有何用,怎样用;(3)信号通过系统是一个动态的过程,而书本和讲义一般只能提供静态的图像,需要学生有一定的“悟性”才能想象出那种动态的过程。这种学习方式容易伤害学生的学习兴趣,继而影响教学效果。我们一直以来致力于将理论与实际结合起来,通过理论和实验学习过程的结合,调动学生学习的积极性,挖掘学习的乐趣,通过实验环节深入理解信号与系统的理论内容,同时培养一定的科学研究能力和主动思维习惯。

当代教育理念中对实践性教学的重视程度与日剧增,教育手段也逐步先进,类似信号与系统这一类课程的教学方式,面临变革与挑战。国内外各大院校在实践理论与实践相结合的教学活动中,目光不约而同地投向一款优秀的计算软件——MATLAB。国内外教育人士对结合MATLAB进行信号与系统教学已达成共识,在教学过程中增加MATLAB仿真实验是目前的流行做法。

编写本书的指导思想是:通过计算机仿真试验手段,适度涉足工程应用范畴;阐述信号与系统理论与应用相联系的内容(如抽样的需求、离散化的优势、计算机的应用特点、数字信号处理技术的高速发展对于信号与系统的影响与意义等),力图激发学生学习兴趣,变被动接受为主动探知,开展对实际问题中可以利用信号与系统理论知识分析处理的相关内容展开研究,从而提升学习效果,培养主动思维、学以致用思维习惯。

从实验与理论教学的关系上讲,实验教学内容可以略超前、同步或滞后于理论学习内容。信号与系统理论教学的重点在于连续系统时域

和频域分析,特别是连续信号与系统的傅里叶分析是重中之重,而实验教学的平台一般是基于计算机仿真,计算机处理的各类信号和描述的各种系统,都是数字化的,与连续信号与系统之间存在依抽样定理确定的转换关系。在设计实验内容时,也应该考虑这一点,比如说,实验中要解决计算机计算连续信号傅里叶变换的问题,可以用符号计算实现一些有明确函数表达式的信号变换,但不足以阐明其背后的理论内涵。本书的讲述中重视在介绍基本指令之前阐明计算方法的演变与内涵:连续信号傅里叶变换的数值计算需要时域和频域都离散化,一方面必然带来频谱的泄漏和混叠等问题;另一方面在算法上将等同(或接近)于DFT,而计算往往借助于函数fft()。在信号与系统实验过程中解决这些问题,其实就是阐明数值计算的本质,说明DFT、FFT等产生的过程。本书选择实验内容安排略超前于理论教学。本书的创作也基于一个目标:除了完成信号与系统基本理论知识的验证以外,还起到科学研究和数值计算的启蒙作用,使学生通过实验理解到:正是因为数字计算的需要,连续和离散的世界才如此完美地结合在一起,使学生对“信号与系统”与“数字信号处理”等系列课程有更深入的理解以及对工程应用背景的初步认识。

在组织结构上,本书分为三个部分,第一部分介绍实验中所需的MATLAB基础知识,可作为MATLAB使用入门;第二部分包括信号与系统的基础实验,以验证性实验内容为主,从时域和变换域逐步介绍信号的描述、卷积与卷积和、傅里叶变换、信号过系统分析的各类响应、系统的特性分析等内容;第三部分结合工程背景寻找实验环境,通过声音处理、图像处理、随机信号分析等丰富多彩的实例展示信号与系统理论知识在实践中的广泛应用,重视保持实验过程的趣味性,着重定性的分析和处理,引导学生建构从理论知识到实际应用的桥梁。之所以这样设计,是基于作者在教学实践中的体会:读者希望在短暂的实验过程中拥有一本既包含MATLAB基本使用介绍,又足够引导实验内容逐步进行的完整教程,最好还有一定的科普意义并适当引导读者接触工程实践与科学研究。编写中充分考虑到本书读者往往已具有一定的数学和信号与系统理论知识,但还没有接触或刚刚接触科学研究与工程实践,未来研究方向尚未确定,也来不及或不足以从事过多定量的分析计算。正由于没定型,更有机会了解和喜欢宽广范围的各种知识,本书第三部分内容也是为此而写的。为配合教学使用,第二部分一般作为理论教学的配套实验内容(10学时),而第三部分可作为课外兴趣小组或毕业设计等活动的选择内容。本书是在吴楚教授等《信号与系统实验指导》教材的基础上,通过对国内外相关信号与系统实验教学的大量研究,结合3届学生使用体会改编所成,主要章节由徐利民整理完成,SIMULINK部分的内容由舒君完成,谢优忠为本书第三部分提供了大量素材。

感谢在本书创作过程中给予帮助的信息工程学院的各级领导;感谢教研室主任江桦教授一直以来的无私支持和帮助;感谢吴楚教授多年来对教学工作的无限热情和奠定的良好基础,以及对作者无微不至的关心和帮助;感谢曾经与作者共同开展实验教学实践的李京清、王明坤、叶金来、李磊等同事;还要感谢所有为本书提出宝贵意见,给予热情帮助和支持的同志!

限于编者水平,书中不足和错误之处在所难免,希望读者不吝赐教,以便在教学和再版时予以更正。

编者

2009年7月

目 录

第一部分 MATLAB 基础

第 1 章	MATLAB 环境	3
1.1	MATLAB 界面	4
1.2	文件类型	6
1.3	系统和程序控制指令	8
1.4	练习	11
第 2 章	数据类型与数学运算	12
2.1	数值、变量和表达式	12
2.1.1	数值的记述	12
2.1.2	变量命名规则	12
2.1.3	运算符和表达式	12
2.2	数组、矩阵及其运算	13
2.2.1	复数和复数矩阵	14
2.2.2	数组和矩阵的运算	16
2.2.3	特殊矩阵(Specialized matrices)	18
2.3	关系和逻辑运算	18
2.4	练习	19
第 3 章	数值计算与符号计算	20
3.1	线性代数与矩阵分析	20
3.1.1	线性代数	20
3.1.2	特征值分解	20
3.1.3	奇异值分解	21
3.1.4	矩阵函数	22
3.2	线性方程组求解	22
3.2.1	确定性线性方程组求解	23
3.2.2	线性最小二乘问题的方程求解	23
3.3	数据分析函数	24
3.4	符号计算	26
3.5	练习	28

第4章 绘图	29
4.1 基本绘图指令	29
4.1.1 plot的基本调用格式	29
4.1.2 stem: 离散数据绘制(火柴杆图)	30
4.1.3 polar: 极坐标图	31
4.2 各种图形标记、控制指令	32
4.2.1 图的创建与控制	33
4.2.2 轴的产生与控制	34
4.2.3 分格线(grid)、坐标框(box)、图保持(hold)	34
4.2.4 图形标志	35
4.3 其他常用绘图指令	35
4.3.1 其他类型图的绘制	35
4.3.2 简易绘图指令	37
4.4 练习	38
第5章 SIMULINK	39
5.1 SIMULINK的基本使用方法	39
5.2 SIMULINK模型概念及基本模块介绍	41
5.2.1 常用的sources——信号源模块	41
5.2.2 常用的sinks——信号显示与输出模块	42
5.2.3 math operations——数学运算单元模块	44
5.2.4 continuous——连续系统模块	45
5.2.5 discrete——离散系统模块	46
5.3 SIMULINK模型的仿真	46
5.3.1 仿真参数设置	46
5.3.2 建立子系统	48
5.4 练习	49
第6章 M函数和工具箱	50
6.1 M函数	50
6.2 工具箱	53
6.3 练习	54
第7章 MATLAB实用技术遴选	55
7.1 图形用户界面设计	55
7.1.1 设计原则与设计步骤	55
7.1.2 界面与控制件介绍	56
7.1.3 GUI实例分析	57

7.1.4	Guide 简介	64
7.2	应用程序编译	64
7.2.1	M 编译器的功用	65
7.2.2	M 编译器的预配置	65
7.2.3	创建独立的外部应用程序	67
7.3	使用 Notebook	68
7.3.1	Notebook 的安装和启动	69
7.3.2	使用 Notebook 与 Word 协同工作	70
7.4	练习	71

第二部分 信号与系统基本实验

第 8 章	信号的表示与运算	75
8.1	信号的表示	75
8.2	卷积(卷积和)与相关运算	80
8.2.1	离散卷积	81
8.2.2	连续卷积	81
8.2.3	相关	85
8.3	练习	88
第 9 章	LTI 系统一般分析方法	90
9.1	微(差)分方程的求解	90
9.1.1	差分方程迭代求解	90
9.1.2	微分方程求解	91
9.2	冲激响应(单位样值响应)和阶跃响应	96
9.2.1	连续系统	96
9.2.2	离散系统	99
9.3	系统分析	102
9.3.1	连续系统分析	102
9.3.2	离散系统分析	107
9.4	练习	111
第 10 章	基本傅里叶分析	112
10.1	傅里叶级数	112
10.2	傅里叶变换的数值分析	115
10.3	抽样定理	117
10.4	DTFT、DFT 与频谱分析	120
10.5	傅里叶变换的符号计算	124



10.6	功率与能量	126
10.7	练习	128
第 11 章	S 域、Z 域分析与系统特性	130
11.1	S、Z 变换的符号计算	130
11.1.1	Laplace 变换	130
11.1.2	Z 变换	131
11.2	零极点、稳定性与系统的频率特性	132
11.2.1	连续系统	132
11.2.2	离散系统	136
11.3	系统的互连	139
11.4	练习	142
第 12 章	状态变量分析	145
12.1	状态方程的求解	145
12.1.1	状态方程的数值求解	145
12.1.2	用系统分析指令求解状态方程	148
12.1.3	SIMULINK 用于状态变量分析	150
12.2	系统模型的各种表示方法及转换	154
12.3	系统的可控性和可观性	156
12.4	练习	157

第三部分 工程应用引导

第 13 章	建模与实例分析	161
13.1	实际系统建模	161
13.2	控制系统	167
13.3	随机数据分析	170
13.3.1	太阳黑子数据研究	170
13.3.2	随机价格分析	173
13.4	练习	180
第 14 章	信息类学科基础应用	183
14.1	调制与解调、FDM	183
14.1.1	调制与解调	183
14.1.2	频分多路(FDM)	187
14.2	A/D 转换与 PCM	190
14.2.1	A/D 转换	190

14.2.2	时分多路复用(TDM)与脉冲编码调制(PCM)	192
14.3	模拟与数字滤波器	196
14.3.1	模拟滤波器	197
14.3.2	从模拟滤波器到数字滤波器	199
14.4	练习	204
第 15 章	声音信号的分析与合成	205
15.1	乐音分析与合成	205
15.1.1	乐音信号的产生	205
15.1.2	音乐基础知识	207
15.1.3	产生模拟乐音	210
15.1.4	MIDI 电子音乐	213
15.2	语音分析与合成	219
15.3	声音信号处理	224
15.3.1	语谱图与语音(乐音)识别	224
15.3.2	语音修正与增强	227
15.3.3	音频信号的数字化与编码	229
15.4	练习	233
第 16 章	用 MATLAB 进行数字图像处理	235
16.1	在 MATLAB 中使用图像	235
16.2	几种图像处理方法	238
16.2.1	直方图与直方图均衡	238
16.2.2	图像合成与扭曲	240
16.2.3	图像滤波	242
16.2.4	图像运算的广阔应用	245
16.3	图像压缩与编码	247
16.4	练习	250
附录 A	MATLAB 的帮助系统	251
附录 B	MATLAB 命令表	256
参考文献		271

第一部分 MATLAB 基础

本部分讲述进行信号与系统的计算机分析时所必需的软件——MATLAB 基本知识,包括基本编程环境、语法规则、数值计算的基本方法、可视化技术、M 函数、Notebook 等内容。

第1章

MATLAB环境

MATLAB 是由美国 MathWorks 公司推出的软件产品。MATLAB 是 Matrix Laboratory 的缩写,意即“矩阵实验室”,它是以矩阵作为基本编程单元的一种程序设计语言。MATLAB 是一个完整的并可扩展的计算环境,是一种进行科学和工程计算的交互式程序语言。在许多国际一流专家学者的支持下,MathWorks 公司还为 MATLAB 配备了涉及通信系统、自动控制、信息处理等学科的种类繁多的工具箱(Toolbox)。由于它集成度高、功能性强、使用方便和适用的计算机平台多,在教学、科研和实际工程中都得到广泛应用,目前已经成为很多国家大学教学和科学研究中必不可少的工具,在国内也被广泛使用。

MATLAB 具有以下一些特点:

- (1) 变量以矩阵形式出现,元素可以是复数,适合当前科学计算的需要。
- (2) 笔算式语言规则和人类书写习惯相近,易写易记,键入命令立即执行,无须编译。
- (3) 程序运行中可设置断点,单步调试,遇有错误立即报告,方便编程。
- (4) 有丰富的作图指令,能绘制各种坐标系,自动确定坐标,曲线曲面调整方便,可设置各种颜色、线形和视角。
- (5) 功能扩展能力强,有大量工程实用的工具箱可以选用,工具箱具有良好可扩充性,并且还在不断发展中,并广泛用于各种实验仿真处理过程。

现代工程项目的常见流程是:设计→仿真→实验→生产,其中仿真是极为重要的步骤。MATLAB 就是一种常见且重要的仿真处理软件。掌握和学会 MATLAB,通过计算机辅助手段对信号与系统、数字信号处理、通信系统原理等相关课程内容进行分析和研究,既有益于深入理解和掌握理论内容,又有利于提高计算机应用水平,为今后从事科学研究工作打下良好基础,是当前本科生培养工作的一项重要内容。计算机辅助分析中常用到以下两个术语,仿真实验和蒙特卡罗方法。

其意义如下。

仿真实验。在科学研究与工程项目开发过程中,为了节约成本,很多实验不一定要配备硬件形式的实验设备,而是利用计算机辅助分析的方法,根据实验本身的数学模型,运用专业软件模仿实验的过程,这种方法就称为仿真试验。由于计算机的快速计算能力和大规模数据处理能力很强,仿真实验相比传统实验更容易对实验的某些特性进行统计分析(比如上万次实验误差的统计分析)。仿真实验是计算机辅助设计的一个典型应用,是人类利用计算机推进生产力发展的典型应用之一。

蒙特卡罗(Monte Carlo)方法。科学实验中有大量需要用概率模型建模,利用统计方法进行分析的情况。这些模型含有不确定性因素,一般难以做确定的定量分析,得不到解析结

果；或虽有解析结果但计算代价太大，成本过高。蒙特卡罗方法属于试验数学的一个分支，它的基本思想是首先建立一个概率模型，使所求问题的解是此模型的参数或某些相关统计量，然后通过模拟——统计试验，多次重复随机试验，统计事件发生的概率，得到统计意义上问题的解、参数估计或统计意义上的性能特点。

1.1 MATLAB 界面

在屏幕上单击 MATLAB 图标，或在【开始】菜单中选择【程序】，再选择【MATLAB x. x】即可启动 MATLAB，其主界面如图 1.1 所示。

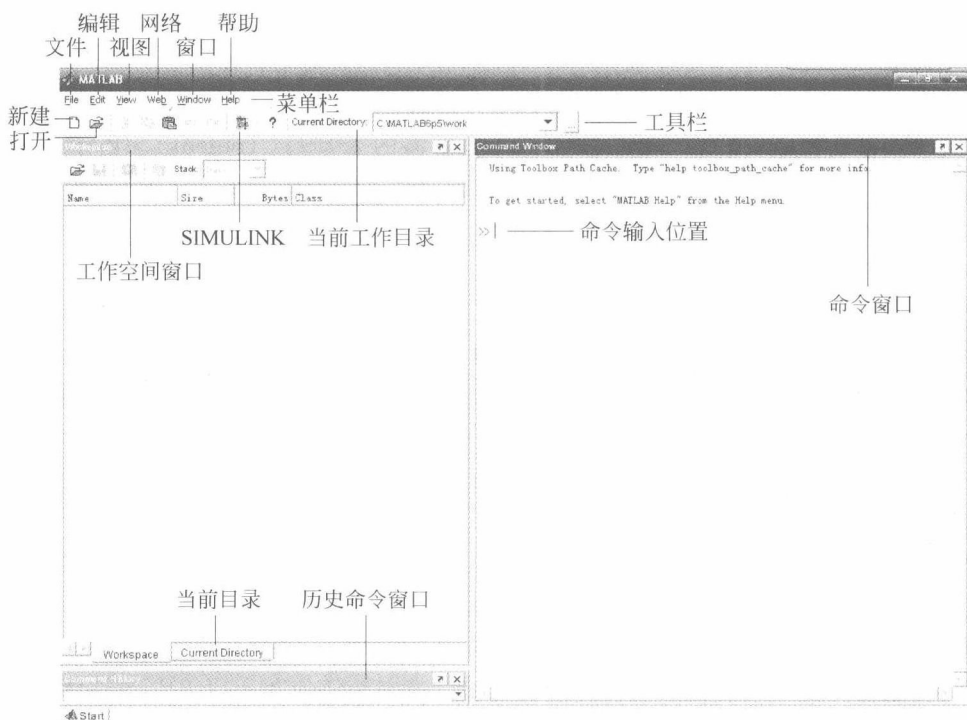


图 1.1 MATLAB 主界面

利用主界面的 File 菜单可以方便地对文件或窗口进行管理。其中【File|New】的各子菜单为：M-FILE(M 文件)、FIGURE(图形窗口)、MODEL(SIMULINK 编辑界面)分别可创建对应文件或模块。【Edit】菜单允许用户和 Windows 的剪切板交互信息。

命令窗口(Command Window)：这是输入 MATLAB 语句的位置。MATLAB 语言是解释执行的，在>>符号后面输入一行程序后，回车即运行；如果命令行提示符变成 K>>，说明当前处于调试程序过程中。

工作空间(workspace)：显示计算机内存中当前时刻的变量情况，双击可以查看其内容。

历史命令窗口(Command History)：运行过的语句就会保存在历史命令窗口。

如输入：a=3

回车后显示： $a=3$

变量 a 就在 workspace 中出现(图 1.2)。 $a=3$ 将存在于 Command History 中。如想运行曾经输入的指令,用 $\uparrow \downarrow$ 键选取后回车即可(或直接在 Command History 中选中这条语句并双击运行)。

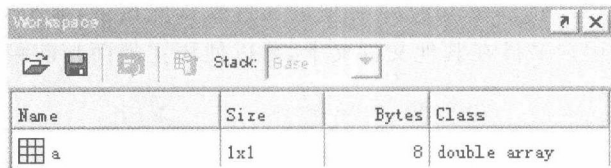


图 1.2 Workspace

窗口右上角的 可将此窗口从主界面中分离出来;镶嵌回去(如命令窗口):【View|Dock Command Window】;还原原始形态则点选【View|Desktop Layout|Default】。

界面中的各项内容用不同颜色体现,使用中要注意体会。命令窗口可作为简单计算,但如果涉及较大的程序,需要调试运行的话,就很不方便了。这时需要在 .m 文件编辑窗口(图 1.3)编辑运行 .m 文件。

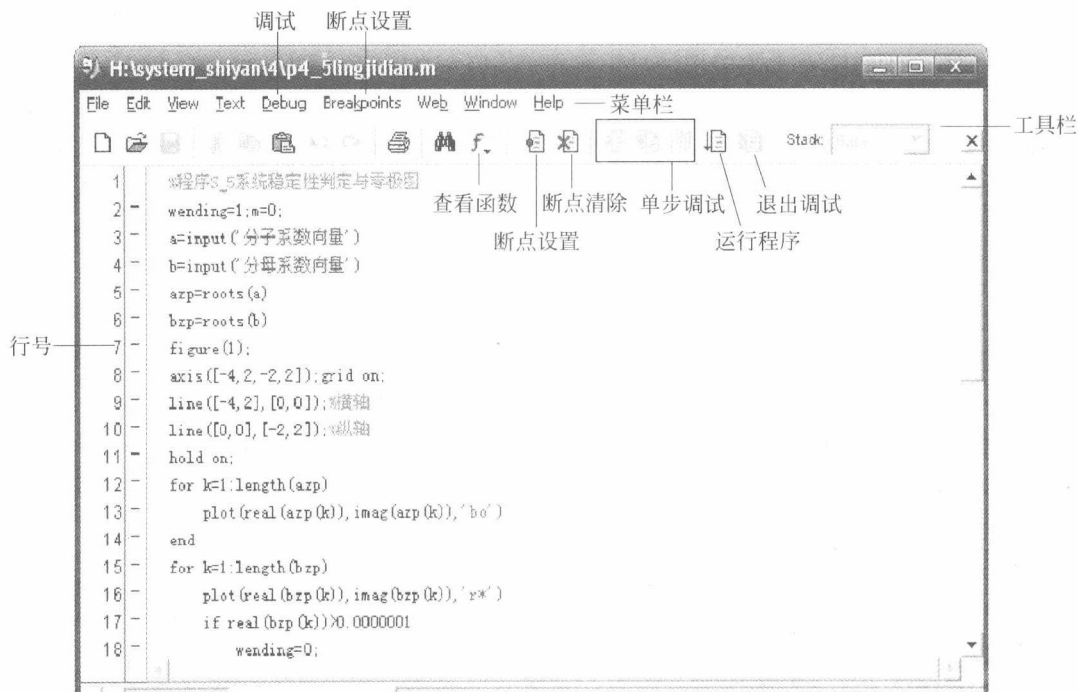


图 1.3 MATLAB .m 文件编辑窗口界面

在主界面单击 按钮可打开 .m 文件编辑窗口,默认文件名为“Untitled1.m”,如继续创建新的 .m 文件则文件名中的数字依次递增。 按钮打开已经存在的 .m 文件继续编辑。左侧的行号指示文件中每条语句的位置,行号后的“-”可用鼠标修改,变成红点时代表程序运行中所设置的断点。文件编辑过程中需要不断运行和调试程序。注意熟悉这些用于