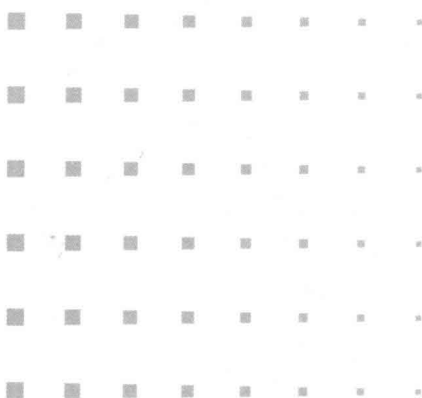


21

普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教材

移动通信实验与实训

章坚武 姚英彪 骆懿 编著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教材

移动通信实验与实训

章坚武 姚英彪 骆 懿 编著

西安电子科技大学出版社

前 言

本教材是与普通高等教育“十一五”国家级规划教材——《移动通信》(章坚武等编著,西安电子科技大学出版社出版)配套的实验与实训教材。我们基于多年的教学实践,同时考虑到主要普通高校实验室现状及目前市场上的移动通信实验设备的现实,并从培养学生工程创新能力和卓越工程师的要求出发,编写了本教材。

本教材主要由三篇组成。

第一篇为仿真实验。本篇有 4 章,共 10 个实验,通过 MATLAB 仿真实验,使学生进一步掌握数字调制解调、扩频、同步原理,以及 Rake 接收机与误码率分析。

第二篇为 3G 信号实时捕获及分析实验。本篇仅 1 章,共 3 个实验,均为演示实验。通过演示,让学生对 WCDMA、CDMA2000 及 TD-SCDMA 实际信号及工作原理有一个全面的了解。

第三篇为系统与网络优化设备测试实验。本篇有 2 章,共 9 个实验,可以分为两类:

(1) 移动通信网络实验:让学生通过实验,全面了解 GSM、CDMA 系统的业务工作流程。

(2) 对直放站等的实际工程测试实验:在相应的测试设备支持下,完成对直放站、基站放大器、塔顶放大器的测试工作。

本篇实验中,实验十七~实验十九为选做实验,使用本教材的学校可根据本校教学实际情况酌情选做;实验二十~实验二十一为演示实验,可仅供学生观察。

附录给出了实验中所使用的 MATLAB 仿真部分源码(按第一篇实验顺序给出)、大型仪器说明及矢量信号分析软件介绍。

以上实验与仿真均通过实际检测,我们并自制了部分硬件设备。我们将对使用本教材的教师提供实验指导书。一些示教实验将通过我们的《移动通信》浙江省精品课程网站予以支持。

本书的特色是利用 1~2 台大型仪器与相应软件,只需购买少量专用设备,为学生建立起低成本但实验内容全面丰富的移动通信实验室。

本书由章坚武教授、姚英彪副教授、骆懿实验讲师编写,全书由章坚武统稿。研究生李国强、张磊、崔璐璐、陈权、沈磊参与实验项目测试、硬件设备制作及部分编写工作;本书得到了西安电子科技大学出版社马乐惠老师的大力支持,责任编辑夏大平为本书的顺利出版作了大量工作,在此一并表示感谢!

由于编著者水平有限,难免有不妥之处,敬请大家批评指正。

邮箱地址: zhangjianwu2001@163.com。

编著者

2010 年 11 月 29 日

目 录

第一篇 仿 真 实 验

第一章 MATLAB 与通信系统仿真	2
1.1 MATLAB 简介	2
1.2 通信系统仿真	13
第二章 数字调制解调实验仿真	17
实验一 四相移相键控(QPSK)调制及解调实验	17
实验二 MSK、GMSK 调制及相干解调实验	21
实验三 正交幅度调制(QAM)及解调实验	30
实验四 OFDM 调制解调仿真	36
第三章 扩频码仿真	38
实验五 m 序列产生及其特性实验	38
实验六 Gold 序列产生及其特性实验	46
实验七 Walsh 与 OVSF 码产生及其特性仿真	49
第四章 同步、抗衰落及误码分析仿真	53
实验八 使用数字锁相环的载波恢复仿真	53
实验九 Rake 接收机仿真	58
实验十 数字通信系统误码率仿真分析	61

第二篇 3G 信号实时捕获及分析实验

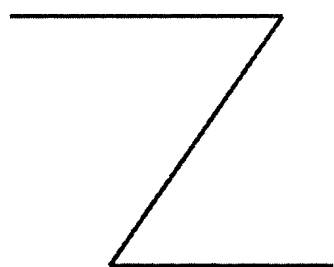
第五章 3G 信号实时捕获及分析	68
实验十一 CDMA2000 信号的捕获与分析(演示)	68
实验十二 WCDMA 信号的实时捕获与分析(演示)	76
实验十三 TD-SCDMA 信号的捕获与分析(演示)	85

第三篇 系统与网络优化设备测试实验

第六章 移动通信网络实验	94
实验十四 AT 命令实现 GSM/GPRS 移动台主呼及被呼过程	94
实验十五 AT 命令实现 GSM/GPRS 移动台短消息发送及接收	101

实验十六 无线数据传输实验	106
实验十七 CDMA 移动台主呼及被呼叫过程实验(选做)	109
实验十八 CDMA 移动台短消息发送及接收实验(选做)	115
实验十九 CDMA 移动台数据传输实验(选做)	118
第七章 信号放大测试实验	125
实验二十 直放站测试(演示).....	125
实验二十一 基站放大器测试(演示).....	133
实验二十二 塔顶放大器测试	140
附录	146
附录一 MATLAB 仿真部分源码.....	146
附录二 Agilent E4445A 频谱分析仪使用说明	179
附录三 Agilent 89600VSA 矢量信号分析软件介绍	182
参考文献	186

第一篇



仿 真 实 验

第一章 MATLAB 与通信系统仿真

1.1 MATLAB 简介

1.1.1 MATLAB 介绍

MATLAB 是由 matrix 和 laboratory 两个词各取前三个字母组合而成的, 且均用大写, 含义是矩阵实验室(MATrix LABoratory)。它是 MathWorks 公司于 1982 年推出的一套高性能的数值计算和可视化数学软件。使用 MATLAB 编程运算与人进行科学计算的思路和表达方式完全一致, 不像其它高级语言(如 BASIC、FORTRAN 和 C 等)那样难于掌握。正是由于 MATLAB 编写程序如同在演算纸上排列出公式与求解问题, 所以其又被称为演算纸式科学算法语言。

MATLAB 自问世以来, 便以数值计算称雄。MATLAB 进行数值计算的基本单位是复数数组(或称阵列), 这使得 MATLAB 高度“向量化”。经过近 30 年的完善和扩充, 其现已发展成为线性代数课程的标准工具。由于它不需定义数组的维数, 并提供了矩阵函数、特殊矩阵等专门的库函数, 使之在求解诸如信号处理、建模、系统识别、控制、优化等领域问题时, 显得大为简捷、高效、方便, 这是其它高级语言所不能比拟的。

MATLAB 中包括了被称做工具箱(Toolbox)的各类应用问题的求解工具。工具箱实际上是对 MATLAB 进行扩展应用的一系列 MATLAB 函数(称为 M 文件), 它可用来求解各类学科的问题, 包括信号处理、图像处理、控制系统辨识、神经网络等。随着 MATLAB 版本的不断升级, 其所含的工具箱的功能越来越丰富, MATLAB 应用范围越来越广泛, 已成为涉及数值分析的各类工程师不可不用的工具。

MATLAB 7.0.1 中包括了图形界面编辑 GUI, 改变了以前单一的“在指令窗口通过文本型的指令进行各种操作”的状况。这可让使用者也可以像 VB、VC、VJ 和 Delphi 等语言那样进行一般的可视化的程序编辑。在 MATLAB 指令窗口“Command Window”键入“simulink”, 就可以打开“Simulink”窗口。以往十分困难的系统仿真问题, 在“Simulink”窗口只需拖动鼠标即可轻而易举地解决。良好的人机界面使 MATLAB 得到了使用者的青睐。

1.1.2 MATLAB 集成开发环境

运行 MATLAB 的可执行文件, 便可自动打开 MATLAB 指令窗口“Command Window”, 如图 1-1 所示。

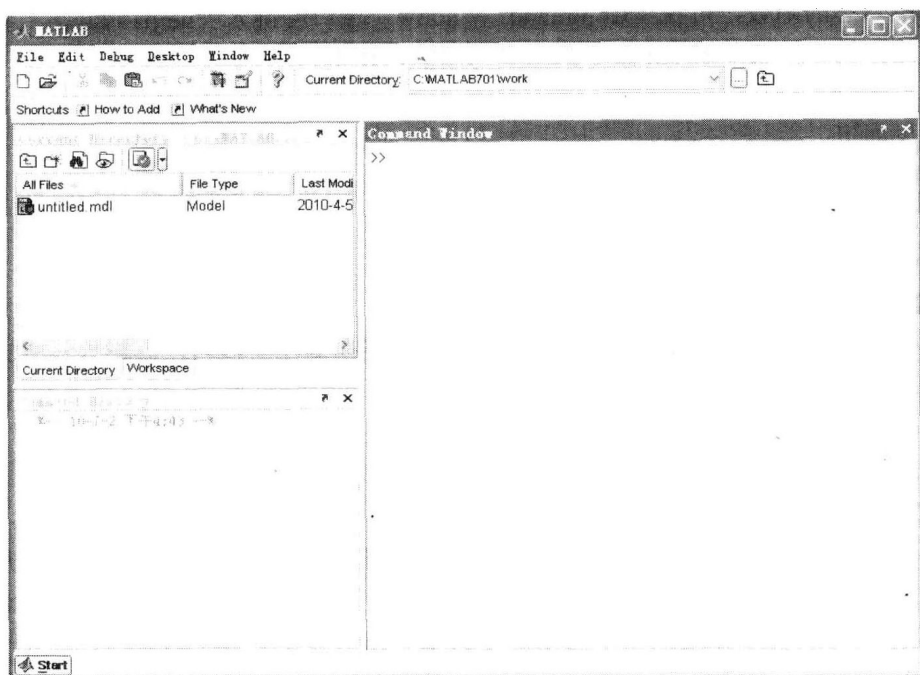


图 1-1 MATLAB 指令窗口

MATLAB 共有 File、Edit、Debug、Desktop、Window、Help 等 6 个主要选单，每个主要功能之下又有下一层的功能。对于初学者，可以在指令窗口键入“demo”，在出现的“Help”窗口中会有使用 MATLAB 进行仿真的流程，方便初学者学习，如图 1-2 所示。

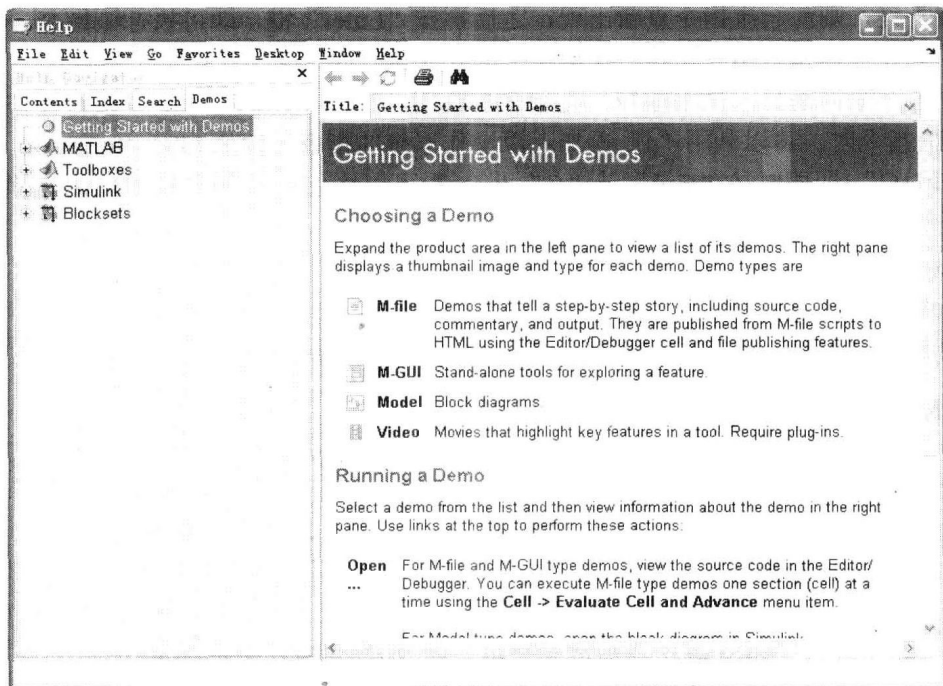


图 1-2 键入“demo”指令后出现的“Help”窗口

如有不熟悉的函数,可在“Command Window”窗口中键入“help+函数名”查询函数的具体用法。例如,要了解 sin 命令的意义与用法,可键入

```
help sin
```

其执行结果如下:

```
SIN      Sine.  
SIN(X) is the sine of the elements of X.  
Overloaded methods  
help sym/sin.m
```

在 MATLAB 下进行基本数学运算时,只需直接在提示号(>>)之后输入运算式,并按“Enter”键即可。例如:

```
(10*19+2/4-34)/2*3  
ans =  
234.7500
```

MATLAB 的运算结果直接存入一变数 ans,并将其显示在数值屏幕上。若在所输入公式的结尾加上“;”,则计算结果不会显示;要想得知计算值,只须键入该变数名 ans 即可。

MATLAB 可以将计算结果以不同精确度的数字格式显示。数字格式可以在指令窗口的功能选单“Options”中选“Numerical Format”来确定,也可通过直接在指令窗口键入数字显示格式指令来确定,如:

```
>> format short
```

指定数字显示格式为 short 格式。

MATLAB 利用“↑”、“↓”两个游标键将所操作过的指令“唤醒”,使之被重复使用。按下“↑”键,则前一次指令重新出现,之后再按“Enter”键,即可执行该指令。而“↓”键的功用则是往后执行指令。其它在键盘上的几个键,如“→”、“←”、“Delete”、“Insert”,它们的功能则显而易见,试用即知,无须多加说明。当要在 MATLAB 中执行操作系统(例如 DOS)的指令时,可以利用“!”再加上原操作系统的指令,例如!dir, !format a:。

“Ctrl+C”(即同时按“Ctrl”及“C”两个键)可以终止执行中的 MATLAB 工作。有下述三种方法可以结束 MATLAB:

- exit;
- quit;
- 直接关闭 MATLAB 的指令窗口“Command Window”。

1.1.3 MATLAB 基本操作

1. 变量及其命名规则与表达式

1) 变量及其命名规则

变量及其命名规则如下:

- (1) MATLAB 对变量名的大小写是敏感的。
- (2) 变量名的第一个字符必须为英文字母,而且不能超过 31 个字符。
- (3) 变量名可以包含下连字符、数字,但不能为空格符、标点。

(4) 预定义的变量如表 1-1 所示, 这些变量名有特定的含义。

表 1-1 预定义的变量

变 量 名	含 义
ans	预设的计算结果的变量名
eps	MATLAB 定义的正的极小值=2.2204e-16
pi	内建的 π 值
inf	∞ 值, 无限大(1/0)
NaN	无法定义一个数目(0/0)
i 或 j	虚数单位 $i=j=\sqrt{-1}$
nargin	函数输入参数个数
nargout	函数输出参数个数
realmax	最大的正实数
realmin	最小的正实数
flops	浮点运算次数

(5) 键入“clear”, 则是去除所有定义过的变量名称。

2) 表达式

MATLAB 书写表达式的规则与“手写算式”的基本类同。如果一个指令过长, 则可以在结尾加上...(代表此行指令与下一行连续), 例如:

```
3*...
6
ans =
18
```

2. MATLAB 常用数学函数

MATLAB 常用数学函数有三角函数、双曲函数、指数函数、复数函数、圆整函数、求余函数、矩阵变换函数, 以及最小值、最大值、平均值、中位数、标准差、相邻元素差、排序、个数、欧氏(Euclidean)长度、总和、总乘积、内积、累计元素总和、累计元素总乘积、外积等函数, 详见表 1-2~1-7。

表 1-2 三角函数和双曲函数

名称	含义	名称	含义	名称	含义
sin	正弦	csc	余割	atanh	反双曲正切
cos	余弦	asec	反正割	acoth	反双曲余切
tan	正切	acsc	反余割	sech	双曲正割
cot	余切	sinh	双曲正弦	csch	双曲余割
asin	反正弦	cosh	双曲余弦	asech	反双曲正割
acos	反余弦	tanh	双曲正切	acsch	反双曲余割
atan	反正切	coth	双曲余切	atan2	四象限反正切
acot	反余切	asinh	反双曲正弦		
sec	正割	acosh	反双曲余弦		

表 1-3 指数函数

名称	含 义	名称	含 义	名称	含 义
exp	以 e 为底的指数	log10	以 10 为底的对数	pow2	2 的幂
log	自然对数	log2	以 2 为底的对数	sqrt	平方根

表 1-4 复数函数

名称	含 义	名称	含 义	名称	含 义
abs	绝对值	conj	复数共轭	real	复数实部
angle	相角	imag	复数虚部		

表 1-5 圆整函数和求余函数

名称	含 义	名称	含 义
ceil	向 $+\infty$ 圆整	rem	求余数
fix	向 0 圆整	round	向靠近整数圆整
floor	向 $-\infty$ 圆整	sign	符号函数
mod	模除求余		

表 1-6 矩阵变换函数

名称	含 义	名称	含 义
fip1r	矩阵左右翻转	diag	产生或提取对角阵
fipud	矩阵上下翻转	tril	产生下三角
fipdim	矩阵特定维翻转	triu	产生上三角
rot90	矩阵反时针 90° 翻转		

表 1-7 其他函数

名称	含 义	名称	含 义
min	最小值	max	最大值
mean	平均值	median	中位数
std	标准差	diff	相邻元素差
sort	排序	length	个数
norm	欧氏(Euclidean)长度	sum	总和
prod	总乘积	dot	内积
cumsum	累计元素总和	cumprod	累计元素总乘积
cross	外积		

3. MATLAB 系统命令

MATLAB 系统命令如表 1-8 所示。

表 1-8 系统命令

命 令	含 义	命 令	含 义
help	在线帮助	what	显示指定的 MATLAB 文件
helpwin	在线帮助窗口	lookfor	在 Help 里搜索关键字
helpdesk	在线帮助工作台	which	定位函数或文件
demo	运行演示程序	path	获取或设置搜索路径
ver	版本信息	echo	命令回显
readme	显示 Readme 文件	cd	改变当前的工作目录
who	显示当前变量	pwd	显示当前的工作目录
whos	显示当前变量的详细信息	dir	显示目录内容
clear	清空工作间的变量和函数	unix	执行 UNIX 命令
pack	整理工作间的内存	dos	执行 DOS 命令
load	把文件调入到变量工作间	!	执行操作系统命令
save	把变量存入文件中	computer	显示计算机类型
quit/exit	退出 MATLAB		

4. MATLAB 语言中的关系与逻辑运算

在执行关系及逻辑运算时, MATLAB 将输入的不为零的数值都视为真(True)而为零的数值则视为假(False)。运算的输出值将判断为真者以 1 表示, 而判断为假者以 0 表示。各个运算指令须用在两个维数相同的阵列或矩阵中。表 1-9~表 1-11 给出了关系运算、逻辑运算、逻辑关系函数中的各指令及其含义。

表 1-9 关系运算

指 令	含 义
<	小于
<=	小于等于
>	大于
>=	大于等于
==	等于
~=	不等于

表 1-10 逻辑运算

指 令	含 义
&	逻辑 and
	逻辑 or
~	逻辑 not

表 1-11 逻辑关系函数

指 令	含 义
xor	不相同就取 1, 否则取 0
any	只要有非 0 就取 1, 否则取 0
all	全为 1 取 1, 否则为 0
isnan	为数 NaN 取 1, 否则为 0
isinf	为数 inf 取 1, 否则为 0
isfinite	有限大小元素取 1, 否则为 0
ischar	是字符串取 1, 否则为 0
isequal	相等取 1, 否则取 0
ismember	两个矩阵是属于关系取 1, 否则取 0
isempty	矩阵为空取 1, 否则取 0
isletter	是字母取 1, 否则取 0(可以是字符串)
isstudent	学生版取 1
isprime	质数取 1, 否则取 0
isreal	实数取 1, 否则取 0
isspace	空格位置取 1, 否则取 0

1.1.4 矩阵运算

MATLAB 事实上是以阵列(Array)及矩阵(Matrix)方式在做运算的。而这两种方式在 MATLAB 的基本运算中的性质有所不同, 阵列强调元素对元素的运算, 而矩阵则采用线性代数的运算方式。

当宣告一变数为阵列或是矩阵时, 如果是要个别键入元素, 须用中括号[]将元素置于其中。阵列为一维元素所构成, 而矩阵为多维元素所组成。在 MATLAB 内部的数据结构中, 每一个矩阵都是一个以行为主(Column-oriented)的阵列(Array), 因此对于矩阵元素的存取, 我们可用一维或二维的索引(Index)来定址。表 1-12 给出了经典的算术运算符中的运算、运算符和 MATLAB 表达式。

表 1-12 经典的算术运算符

运 算	运 算 符	MATLAB 表达式
加	+	a+b
减	-	a-b
乘	*	a*b
除	/ 或 \	a/b 或 a\b
幂	^	a^b

1.1.5 字符串及其处理

在 MATLAB 中, 字符串是以向量形式来存储的。输入时, 字符串前后须用单引号括起来。如果单引号本身是字符串的一部分, 则该单引号用两个连续的单引号来表示。字符串函数及其功能如表 1-13 所示。

表 1-13 字符串函数及其功能

字符串函数	功 能
abs	字符串到 ASCII 转换
dec2hex	十进制数到十六进制字符串转换
fprintf	把格式化的文本写到文件中或显示屏上
hex2dec	十六进制字符串转换成十进制数
hex2num	十六进制字符串转换成 IEEE 浮点数
int2str	整数转换成字符串
lower	字符串转换成小写字母
num2str	数字转换成字符串
setstr	ASCII 转换成字符串
sprintf	用格式控制, 数字转换成字符串
sscanf	用格式控制, 字符串转换成数字
str2mat	字符串转换成一个文本矩阵
str2num	字符串转换成数字
upper	字符串转换成大写字母
eval(string)	作为一个 MATLAB 命令求字符串的值
blanks(n)	返回一个由 n 个零或空格组成的字符串
deblank	去掉字符串中后拖的空格
feval	求由字符串给定的函数值
findstr	从一个字符串内找出字符串
isletter	字母存在时返回真值
isspace	空格字符存在时返回真值
isstr	输入是一个字符串, 返回真值
lasterr	返回上一个所产生 MATLAB 错误的字符串
strcmp	字符串相同, 返回真值
strep	用一个字符串替换另一个字符串
strtok	在一个字符串里找出第一个标记

1.1.6 MATLAB 控制语句

1. for 循环语句

for 循环语句用于以预定的次数重复执行一组命令。for 循环语句的一般形式为

```
for 循环控制变量=存储着该变量依次所取值的向量;  
    运算式;  
end
```

在 for 和 end 语句之间的运算式重复执行的次数由上方向量的长度决定;每次执行,循环控制变量依次取该向量中的值。

for 循环不能通过 for 循环内重新赋值循环变量 n 的方式来终止。在 for 循环内接受任何有效的 MATLAB 数组时,for 循环可按需要嵌套。为了得到最大速度,在 for 循环被执行之前,应预先分配数组。

2. while 循环语句

while 循环语句根据表达式的结果来确定循环执行一组语句的次数。while 循环的一般形式为

```
while 表达式;  
    运算式;  
end
```

只要表达式的结果为真,就执行 while 和 end 语句之间的运算式。通常,表达式的求值结果是一个标量值,但数组值也同样有效。在数组情况下,所得到数组的所有元素必须都为真。就是说,只要表达式成立,运算式就会一直被执行。可以利用 break 命令直接跳出 while 循环。while 循环可按需要嵌套。为了得到最大速度,while 循环被执行之前,应预先分配数组。

3. if-else-end 分支语句

最简单的 if-else-end 结构为

```
if 表达式;  
    运算式;  
end
```

如果在表达式中的所有元素为真(非零),那么就执行 if 和 end 语言之间的语句。

如果有两个选择,那么 if-else-end 结构为

```
if 表达式;  
    运算式;  
    else  
        运算式;  
end
```

在这里,如果表达式为真,则执行第一组命令;如果表达式为假,则执行第二组命令。

4. switch-case 语句

switch-case 语句的一般格式为

```
switch num
case n1
command
case n2
command
case n3
command
:
otherwise
command
end
```

一旦 num 等于 $n_1, n_2, n_3, \dots$ 中的每个值或字符串时, 就执行所对应的指令; 否则执行 otherwise 后的语句。

1.1.7 MATLAB 编程语言

MATLAB 程序大致分为两类, 即 M 脚本文件(M-Script) 和 M 函数(M-Funtion), 它们均是普通的文本文件。M 脚本文件中包含一组由 MATLAB 语言编写的语句, 它类似于 DOS 下的批处理文件。M 脚本文件的执行方式很简单, 用户只需在 MATLAB 的提示符 “>>” 下键入该 M 文件的文件名, MATLAB 就会自动执行该 M 文件中的各条语句, 并将结果直接返回到 MATLAB 的工作区。M 函数格式是 MATLAB 程序设计的主流, 一般情况下, 不建议使用 M 脚本文件格式编程。

MATLAB 的 M 函数是由 function 语句引导的, 其基本格式如下:

```
function[返回变量列表]=函数名(输入变量列表)
[注释(由%引导)]
[检查输入变量和输出变量的格式]
[函数体语句]
```

在 M 函数中, 输入变量和返回变量的个数分别由 nargin 和 nargout 两个变量确定, 并且这两个变量是由 MATLAB 自动生成的, 只要进入该函数就可以使用。如果输入变量的数目大于 1, 则应该用括号 “()” 将它们包围起来, 中间用逗号分割。注释语句段的每行语句都应该由百分号 “%” 引导, 百分号后面的内容不执行, 只起注释作用。用户使用 help 命令可以显示出注释语句段的内容。此外, 正规的变量个数检查也是必要的。如果输入或返回变量格式不正确, 则应该给出相应的提示。下面将通过例子来演示函数编程的格式与方法。

假设要生成一个 $n \times m$ 阶 Hilbert 矩阵, 其中第 i 行第 j 列的元素值等于 $1/(i+j-1)$ 。在这个 M 函数中如果只有一个输入变量, 则生成一个方阵(即 $m=n$)。

同时, 这个 M 函数具有参数检测功能, 它在发现输入参数和输出参数的个数有错时给

出错误信息。程序如下：

```
function A=HilbertExample(n, m)
%HilbertExample---M-function Demonstration
%   A=HilbertExample(n, m) generates an n by m Hilbert matrix A.
%   A=HilbertExample(n) generates an n by n square Hilbert matrix.
%   HilbertExample(n, m) displays only the Hilbert matrix, but do not return
%   any matrix back to the calling function
%

%输出参数的个数大于 1 时报错
if nargout>1
    error('too many output arguments. ');
end
%只有一个输入参数时产生方阵
if nargin==1
    m=n;
%否则，当输入参数个数等于 0 或大于 2 时报错
elseif(nargin==0|nargin>2)
    error('wrong number of input arguments. ');
end
%产生一个 n 行 m 列的全零矩阵
B=zeros(n, m);
%计算每个矩阵元素的数值
for i=1:n
    for j=1:m
        B(i, j)=1/(i+j-1);
    end
end
%当输出参数个数等于 1 时返回这个矩阵
if nargout==1
    A=B;
%否则，直接显示这个矩阵
elseif nargout==0
    disp(B);
end
```

将这个 M 函数保存到 HilbertExample.m 文件中，然后把 MATLAB 的当前工作目录设置为这个 M 文件所在的目录(这点很重要，否则，MATLAB 将提示找不到文件)，这时就可以运行这个 M 函数了。下面的程序段列出了针对这个 M 函数的各种操作及其结果。