



高等学校信息工程类“十二五”规划教材

移动通信实验与实训

(第二版)

章坚武 姚英彪 骆 懿 编著◎

YIDONG TONGXIN
SHIYAN YU SHIXUN



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

移动通信实验与实训

(第二版)

章坚武 姚英彪 骆懿 编著

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书是章坚武编著的“十二五”国家级规划教材《移动通信》的配套实验与实训教材。全书主要由五大部分组成:第一部分为基础知识,第二部分为仿真实验,第三部分为 3G 信号实时捕获及分析实验,第四部分为硬件测试实验,第五部分为手机编程实验。附录给出了仿真实验的 MATLAB 源码及实验中所使用的大型仪器使用说明。

本书可作为高等院校通信及电子信息专业学生的实验指导教材,也可供从事移动通信以及相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

移动通信实验与实训/章坚武,姚英彪,骆懿编著. —2 版. —西安:西安电子科技大学出版社,2017.7

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

ISBN 978-7-5606-4518-6

I. ① 移… II. ① 章… ② 姚… ③ 骆… III. ① 移动通信-实验-高等学校-教材
IV. ① TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 139513 号

策划编辑 马乐惠

责任编辑 武翠琴 马乐惠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2017 年 7 月第 2 版 2017 年 7 月第 2 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 13.5

字 数 319 千字

印 数 3 001~6 000 册

定 价 26.00 元

ISBN 978-7-5606-4518-6/TN

XDUP 4810002-2

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

本书是章坚武编著的“十二五”国家级规划教材《移动通信》的配套实验与实训教材。同时,本书是根据大部分普通高校实验室现状及目前市场上移动通信实验设备现状,从培养学生工程创新能力出发编写而成的。

全书主要由五大部分组成:

第一部分为基础知识,对 MATLAB 软件、通信仿真的概念及步骤等进行概略介绍。

第二部分为仿真实验,通过 MATLAB 仿真实验,可以使学生更好地掌握数字调制及解调原理、扩频原理、同步原理、Rake 接收机原理及数字通信系统的误码率分析等内容。

第三部分为 3G 信号实时捕获及分析实验,因为要用到一些大型仪器,所以这部分内容为演示实验。通过演示,可以让学生对 CDMA2000、WCDMA 及 TD-SCDMA 等实际信号和工作原理有一个全面的了解。

第四部分为硬件测试实验,分为两个方面:一方面是移动通信网络实验,可以让学生全面了解 GSM、CDMA 系统的业务工作流程;另一方面是信号放大测试实验,在相应的测试设备支持下,可以完成对直放站、基站放大器、塔顶放大器等的测试工作。

第五部分为手机编程实验,主要包括基于 Android、iPhone 和 Windows Phone 7 的手机编程实验。

附录给出了仿真实验的 MATLAB 源码及实验中所使用的大型仪器使用说明。

在自制了部分硬件设备的基础上,以上仿真与实验均已通过实际检测。我们将为使用本教材的教师提供实验指导书,一些示教实验我们将通过“移动通信”浙江省精品课程网站予以支持。

本书由章坚武教授、姚英彪教授、骆懿高级实验师编写,章坚武统稿。研究生李国强、张磊、崔璐璐、陈权、沈磊、章谦骅、沈炜、杨佳佳、严爱博、黄佳森等先后参与了本书实验项目测试、硬件设备制作及部分编写工作,在此一并表示感谢!

由于编著者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

作者邮箱地址:zhangjianwu2001@163.com。

编著者

2017 年 3 月

目 录

第一部分 基础知识

第一章 绪论	2
第一节 MATLAB 简介	2
第二节 通信仿真	13

第二部分 仿真实验

第二章 数字调制及解调仿真实验	18
实验一 四相相移键控(QPSK)调制及解调	18
实验二 MSK、GMSK 调制及相干解调	22
实验三 正交振幅调制(QAM)及解调	31
实验四 OFDM 调制及解调	36
第三章 扩频码仿真实验	39
实验五 m 序列产生及其特性	39
实验六 Gold 序列产生及其特性	47
实验七 Walsh 码与 OVSF 码产生及其特性	50
第四章 同步、抗衰落及误码分析仿真实验	54
实验八 使用数字锁相环的载波恢复仿真	54
实验九 Rake 接收机仿真	59
实验十 数字通信系统误码率的仿真	62

第三部分 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实验	68
实验十一 CDMA2000 信号的实时捕获及分析	68
实验十二 WCDMA 信号的实时捕获及分析	75
实验十三 TD-SCDMA 信号的实时捕获及分析	84

第四部分 硬件测试实验

第六章 移动通信网络实验	92
实验十四 AT 命令实现 GSM/GPRS 移动台主呼及被呼过程	92

实验十五 AT 命令实现 GSM/GPRS 移动台短消息发送及接收 99

实验十六 无线数据传输实验..... 105

实验十七 CDMA 移动台主呼及被呼过程(选做) 108

实验十八 CDMA 移动台短消息发送及接收(选做) 114

实验十九 CDMA 移动台数据传输(选做) 117

第七章 信号放大测试实验..... 123

实验二十 直放站测试(演示)..... 123

实验二十一 基站放大器测试(演示)..... 130

实验二十二 塔顶放大器测试..... 137

第五部分 手机编程实验

第八章 手机编程实验..... 144

实验二十三 基于 Android 的手机编程——系统安装与新建工程 144

实验二十四 基于 Android 的手机编程——界面设计 150

实验二十五 基于 iPhone 的手机编程 155

实验二十六 基于 Windows Phone 7 的手机编程 165

附 录

附录 I MATLAB 仿真部分源码 174

附录 II Agilent E4445A 频谱分析仪使用说明 203

附录 III Agilent 89600 VSA 矢量信号分析软件介绍 206

参考文献..... 210

第一部分 基础知识

第一章 绪 论

第一节 MATLAB 简介

一、MATLAB 介绍

MATLAB 的名字是由 MATrix 和 LABoratory 两个词的前三个字母组合而成的。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,被誉为“巨人肩上的工具”。由于使用 MATLAB 进行编程运算与人进行科学计算的思路和表达方式完全一致,因此不像学习其他高级语言(如 Basic、Fortran 和 C 等)那样难于掌握,用 MATLAB 编写程序犹如在演算纸上排列出公式与求解问题,所以又被称为演算纸式科学算法语言。MATLAB 包含一般数值分析、矩阵运算、数字信号处理、建模和系统控制与优化等应用程序,并集应用程序和图形于一个便于使用的集成环境中。在这个环境下,用户对所要求解的问题,只需简单地列出数学表达式,其结果便会以数值或图形方式显示出来。

MATLAB 的含义是矩阵实验室,主要用于方便矩阵的存取,其基本元素是无需定义维数的矩阵。MATLAB 自问世以来就以数值计算称雄。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”。经过多年的完善和扩充, MATLAB 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,并给出了矩阵函数、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、优化等领域的问题时,显得大为简捷、高效、方便,这是其他高级语言所不能比拟的。美国许多大学的实验室都安装有 MATLAB,供学习和研究之用。目前, MATLAB 已成为攻读学位的大学生、硕士生、博士生必须掌握的基本工具之一。

MATLAB 中包括了被称作工具箱(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也越来越丰富,因此,应用范围也越来越广泛,成为涉及数值分析的各类工程师最常用的工具。

MATLAB 7.0.1 中包括了图形界面编辑 GUI,改变了以前单一的“在指令窗通过文本形的指令进行各种操作”的状况,让用户也可以像使用 VB、VC、VJ 和 Delphi 等那样进行一般的可视化的程序编辑。在命令窗口键入 SIMULINK,就会出现 SIMULINK 窗口。以往十分困难的系统仿真问题,用 SIMULINK 只需拖动鼠标即可轻而易举地解决,这也是近来 MATLAB 受到重视的原因所在。

二、MATLAB 集成开发环境

运行 MATLAB 的可执行文件,将自动创建 MATLAB 指令窗(Command Window),如

图 0-1 所示。

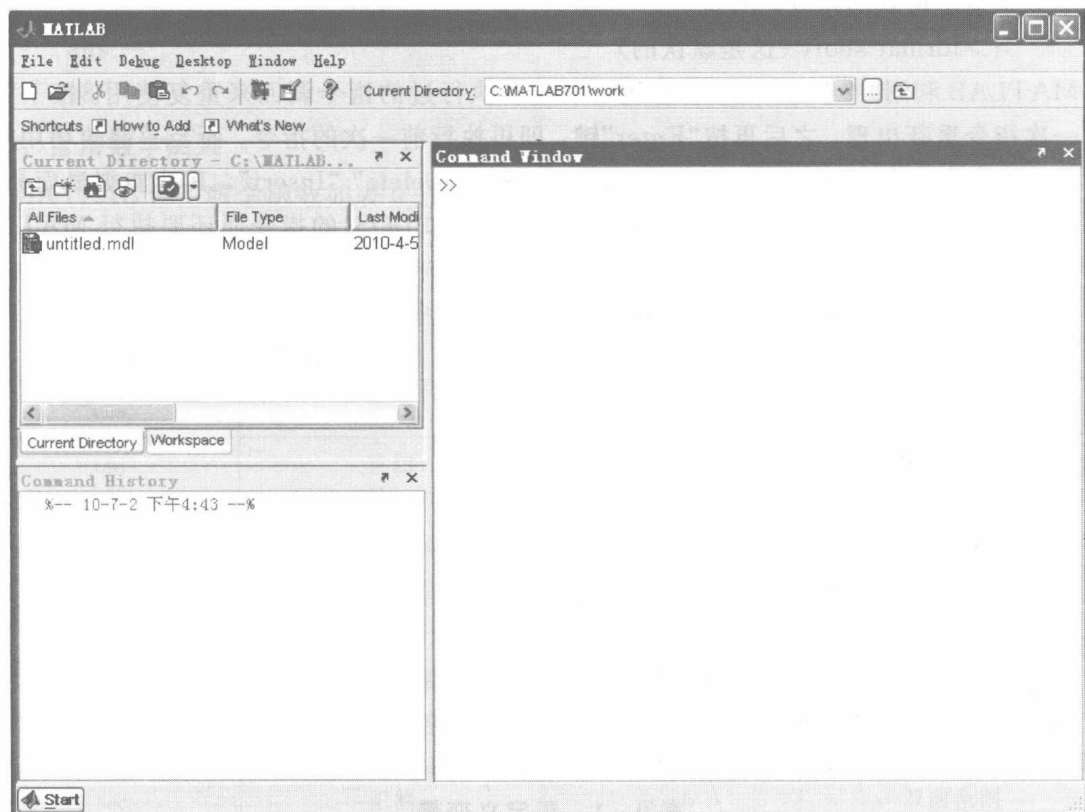


图 0-1 MATLAB 指令窗

在 MATLAB 指令窗中有 File、Edit、Debug、Desktop、Window、Help 等六个主要功能菜单，每个功能菜单下又各有下一层功能菜单。如果你是个初学者，可以在指令窗键入 `demo`，你将获得一个学习的好帮手。一旦发现指令不知如何使用时，`help` 命令将告诉你使用的方法。例如：

```
help sin
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，只需在提示号“>>”之后直接输入运算式并按“Enter”键即可。例如：

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

MATLAB 会将运算结果直接存入一变数 `ans` 中，代表 MATLAB 运算后的答案，并在屏幕上显示其数值。如果在上述的运算式结尾加上“;”，则计算结果不会显示在指令视窗上，要得知计算值只需键入该变数值即可。

MATLAB 可以将计算结果以不同精确度的数字格式显示，我们可以直接在指令视窗键入各个数字显示格式的指令，例如：

```
>>format short (这是默认的)
```

MATLAB 利用“↑”“↓”两个游标键可以将所执行过的指令调回来重复使用。按下“↑”则前一次指令重新出现，之后再按“Enter”键，即再执行前一次的指令。而“↓”键的功用则是往后执行指令。其他在键盘上的几个键，如“→”“←”“Delete”“Insert”，其功能则显而易见，试用即知，无需多加说明。当要暂时执行作业系统(例如 DOS)的指令而还要执行 MATLAB 时，可以利用“!”加上原作业系统的指令，例如“! dir”“! format a:”。

“Ctrl+C”(即同时按“Ctrl”及“C”两个键)可以用来中止执行中的 MATLAB 工作。有三种方法可以结束 MATLAB：① 按 exit 键；② 按 quit 键；③ 直接关闭 MATLAB 的指令视窗。

三、MATLAB 基本操作

1. 变量及其命名规则与赋值语句

MATLAB 中的变量及其命名规则如下：

- (1) 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，而且变量名不能超过 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。

MATLAB 中常用的预定义变量如表 0-1 所示。

表 0-1 预定义变量

名 称	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 ($\frac{1}{0}$)
NaN	无法定义一个数目 ($\frac{0}{0}$)
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

在提示号“>>”之后键入 clear，则去除所有定义过的变量名称。

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

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

2. 常用数学函数

MATLAB 常用数学函数如表 0-2~表 0-7 所示。

表 0-2 三角函数和双曲函数

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

表 0-3 指数函数

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

表 0-4 复数函数

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

表 0-5 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 0-6 矩阵变换函数

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

表 0-7 其他 函 数

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	相邻元素的差
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. 常用系统命令

MATLAB 常用系统命令如表 0-8 所示。

表 0-8 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	清空工作空间的变量和函数	unix	执行 UNIX 命令
pack	整理工作空间的内存	dos	执行 DOS 命令
load	把文件调入变量到工作空间	!	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. 关系与逻辑运算

在执行关系与逻辑运算时，MATLAB 将输入的不为零的数值都视为真 (True) 而将输入的为零的数值则视为否 (False)。运算的输出值将判断为真者以 1 表示，而判断为否者以 0 表示。各个运算元须用于两个大小相同的阵列或是矩阵中的比较。

MATLAB 中的关系运算指令如表 0-9 所示，逻辑运算指令如表 0-10 所示，逻辑关系函数如表 0-11 所示。

表 0-9 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 0-10 逻辑运算

指 令	含 义
&	逻辑 and
	逻辑 or
~	逻辑 not

表 0-11 逻辑关系函数

指 令	含 义
xor	不相同取 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

四、MATLAB 矩阵运算

MATLAB 的运算事实上是以阵列 (Array) 及矩阵 (Matrix) 方式在做运算，而这二者的基本运算性质不同，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，如果要个别键入元素，须用中括号 “[]” 将元素置于其中。阵列由一维元素构成，而矩阵由多维元素构成。在 MATLAB 的内部资料结构中，每一个矩阵都是一个以行为主 (Column-oriented) 的阵列，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。

MATLAB 中经典的算术运算符如表 0-12 所示。

表 0-12 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 $a\backslash b$
幂	^	a^b

五、MATLAB 字符串及其处理

在 MATLAB 工作空间中,字符串是以向量形式来存储的,我们把用单引号所包含的内容来表示字符串。字符串内的单引号是由两个连续的单引号来表示的。MATLAB 中常用的字符串函数如表 0-13 所示。

表 0-13 字符串函数

指 令	含 义
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
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
eval(string)	求字符串的值
blanks(n)	返回一个有 n 个零或空格的字符串
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 MATLAB 所产生错误的字符串
strcmp	字符串相同,返回真值
strrep	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

六、MATLAB 控制语句

1. for 循环语句

for 循环允许一组命令以固定的和预定的次数重复。for 循环的一般形式是：

```
for 变数 = 矩阵
    运算式;
end
```

在 for 和 end 语句之间的运算式按数组中的每一列执行一次。在每一次迭代中，x 被指定为数组的下一列，即在第 n 次循环中， $x = \text{array}(:, n)$ 。

for 循环不能用 for 循环内重新赋值循环变量 n 来终止。在 for 循环内可接受任何有效的 MATLAB 数组。for 循环可按需要嵌套。为了得到最大的速度，在 for 循环(while 循环)被执行之前，应预先分配数组。

2. while 循环语句

while 循环以不定的次数求一组语句的值。while 循环的一般形式是：

```
while 条件式
    运算式;
end
```

只要在条件式里的所有元素为真，就执行 while 和 end 语句之间的运算式。通常，条件式的求值给出一个标量值，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，只要条件式成立，运算式就会一直被执行。可以利用 break 命令跳出 while 循环。while 循环可按需要嵌套。

3. if-else-end 分支语句

最简单的 if-else-end 结构是：

```
if 条件式
    运算式;
end
```

如果在条件式中的所有元素都为真(非零)，那么就执行 if 和 end 语句之间的运算式。

如果有两个选择，则 if-else-end 结构是：

```
if 条件式
    运算式;
else
    运算式;
end
```

在这里，如果条件式为真，则执行第一组运算式；如果条件式为假，则执行第二组运算式。

4. switch-case 语句

一般的 switch-case 语句格式为

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

一旦 num 为其中的某个值或字符串时,就执行所对应的指令,没有对应的值或字符串时,则执行 otherwise 后的语句。

七、MATLAB 编程语言

MATLAB 程序大致分为两类,即 M 脚本文件(M-script)和 M 函数文件(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 nargs 两个变量确定,并且这两个变量是 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,中间用逗号来分割。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。如果输入变量或返回变量格式不正确,则应该给出相应的提示。我们将通过下面的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信号,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会给出错误信息。