

 MATLAB应用技术丛书

MATLAB

图形与动画设计

◎ 张德丰 赵书梅 刘国希 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

MATLAB 应用技术丛书

MATLAB 图形与动画设计

张德丰 赵书梅 刘国希 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书以 MATLAB 为工具讲解计算机图形学与动画技术。主要包括:MATLAB 的一些常用命令以及简单的程序设计知识、与绘图相关的一些语句及程序、曲线曲面绘制与几何造型、隐与光照、使用一个具体的软件来制作实现虚拟现实效果、不规则物体建模与非真实感图形学的概念、动画制作的一些概念与常用方法。

本书可以作为高等院校计算机科学与技术专业、信息科学与技术专业、多媒体与动画制作专业以及机械、建筑专业本科生及研究生的计算机图形学教材,也可以作为学习 MATLAB 建模、程序设计的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

MATLAB 图形与动画设计/张德丰,赵书梅,刘国希编
著. —北京:国防工业出版社,2009.4
(MATLAB 应用技术丛书)
ISBN 978-7-118-06228-1

I. M... II. ①张...②赵...③刘... III. 图像处
理—计算机辅助计算—软件包,MATLAB IV. TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 026280 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 22 字数 505 千字

2009 年 4 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 36.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前言

MATLAB 是 Matrix Laboratory(矩阵实验室)的缩写,是由美国 Math-Works 公司开发的集数值计算、符号计算和图形可视化三大基本功能于一体的,功能强大、操作简单的语言,是国际公认的优秀数学应用软件之一。“从工程师和科学家的目的来看,MATLAB 有许多优点,是同类产品中最好的软件。”

MATLAB 是当今最优秀的科技应用软件之一,它具有强大的科学计算与可视化功能和开放式扩展环境,简单易用,特别是所附带的三十多种面向不同领域的工具箱支持,使得它在许多科学领域中成为计算机辅助设计和分析、算法研究和应用开发的基本工具和首选平台。

现在,MATLAB 已经发展成为适合多学科的大型软件,在世界各高校,MATLAB 已经成为线性代数、数值分析、数理统计、优化方法、自动控制、数字信号处理、动态系统仿真等高级课程的基本教学工具。特别是最近几年,MATLAB 在我国大学生数学建模竞赛中的应用,为参赛者在有限的时间内准确、有效地解决问题提供了有力的保证。

MATLAB 具有其他高级语言难以比拟的一些优点,如编写简单、编程效率高、易学易懂,因此 MATLAB 语言也被通俗地称为演算纸式的科学算法语言。在控制、通信、信号处理及科学计算等领域,MATLAB 都被广泛应用,已经被认可为能够有效提高工作效率、改善设计手段的工具软件。掌握了 MATLAB 就好比掌握了开启这些专业领域大门的钥匙。

本书的特点是利用 MATLAB 作为工具来讲解计算机图形学与动画技术;MATLAB 的一些常用命令以及简单的程序设计知识、与绘图相关的一些语句及程序、曲线曲面绘制与几何造型、隐与光照、使用一个具体的软件来制作实现虚拟现实效果、不规则物体建模与非真实感图形学的概念、动画制作的一些概念与常用方法。

本书是在充分体现应用型教育特点,提高学生分析问题及解决问题能力的基础上编写的,具有以下特点:

(1) 精选内容,条理清晰。全书以基础知识,科学新成果及发展新动向相结合,系统地讲述计算机图形学与动画技术中有代表性的思想、算法

与应用。

(2) 重点突出,目的明确。立足基本理论,面向应用技术,以必须、够用为尺度,以掌握概念、强化应用为重点,加强理论知识与实际应用的统一。

(3) 注重实用,强化实践。以 MATLAB 为编程工具,通过大量典型实例的分析和实践,使读者较快地掌握计算机图形学与动画技术的基本理论、方法、实用技术及一些典型应用。

全书共分 10 章。第 1 章介绍了 MATLAB 的知识,包括 MATLAB 的命令使用与程序设计、MATLAB 的矩阵操作、MATLAB 绘图的相关工具箱等内容;第 2 章介绍了 MATLAB 二维及三维绘图,包括 MATLAB 二维绘图、MATLAB 三维绘图、绘制三维阴影曲面等内容;第 3 章介绍了 MATLAB 动画及制作原理,包括擦除方式动画设计、常用的三维变换、动画的分类制作方法等内容;第 4 章介绍了曲线与曲面,包括曲线的绘制、典型曲面研究、MATLAB 样条函数等内容;第 5 章介绍了 MATLAB 图形处理,包括图形可视化技术、MATLAB 中的颜色、光照效果等内容;第 6 章介绍了几何造型,包括图形句柄操作与 GUI 程序设计、几何造型基本单元的组织、实体模型构造方法等内容;第 7 章介绍了 MATLAB 句柄式图形,包括对象结构、图形用户界面设计工具、获得对象句柄值等内容;第 8 章介绍了 MATLAB 图形显示技术,包括图像类型、图像处理基本函数、标准图像显示技术等内容;第 9 章介绍了不规则物体建模,包括分形技术、基于图像的图形绘制、非真实感图形绘制技术等内容;第 10 章介绍了虚拟现实,包括虚拟现实概述、V-Realm Builder、MATLAB 虚拟现实函数等内容。

由于时间仓促,加之作者水平有限,错误和疏漏之处在所难免。在此,诚恳地期望得到各领域专家和广大读者的批评指正。

作者

2009 年 2 月

目 录

第 1 章	MATLAB 介绍	1
1.1	MATLAB 的命令使用与程序设计	1
1.1.1	命令窗口的使用	1
1.1.2	M-File 程序设计	2
1.1.3	Figure 窗口的图形操作功能	4
1.1.4	单元数组与结构体	5
1.1.5	自定义函数	7
1.1.6	交互控制	9
1.1.7	图形用户接口	10
1.2	MATLAB 的矩阵操作	14
1.2.1	工具矩阵与数组生成函数	14
1.2.2	常用的矩阵操作函数	17
1.2.3	多维数组与图像矩阵	19
1.3	MATLAB 绘图的相关工具箱	21
1.3.1	样条函数工具箱	22
1.3.2	图像处理工具箱	23
第 2 章	MATLAB 二维及三维绘图	26
2.1	MATLAB 二维绘图	26
2.1.1	基本二维绘图	26
2.1.2	特殊二维绘图函数	36
2.1.3	填充多边形	47
2.1.4	绘图窗口的使用	49
2.1.5	子图	50
2.1.6	绘制线	55
2.1.7	分格线控制和图形标注	57
2.1.8	绘图的进阶功能	60

2.1.9	函数绘图	62
2.2	MATLAB 三维绘图	63
2.2.1	绘制三维折线及曲线	64
2.2.2	绘制三维网格曲面	65
2.2.3	绘制三维阴影曲面	70
2.2.4	三维图形的调控	73
2.2.5	特殊三维图形的绘制	76
2.2.6	三维绘图功能进阶	83
第3章	MATLAB 动画设计及制作原理	90
3.1	擦除方式动画设计	90
3.2	以质点运动轨迹的方式呈现动画	94
3.3	以旋转颜色映像的方式呈现动画	95
3.4	电影放映方式动画设计	96
3.5	MATLAB 动画与 AVI 文件	98
3.5.1	AVI 文件录制	98
3.5.2	AVI 文件执行	99
3.6	常用的三维变换	100
3.6.1	平移变换与旋转变换	100
3.6.2	比例变换与错切变换	103
3.6.3	MATLAB 中与变换相关的函数	105
3.7	基于图像的动画制作	105
3.7.1	利用图像几何操作制作动画	106
3.7.2	基于图像颜色与亮度的动画制作	107
3.7.3	图像处理与分析用于动画制作	109
3.8	动画的分类制作方法	110
3.8.1	逐帧动画、形变动画与路径动画	111
3.8.2	使用语言与软件制作动画	115
3.8.3	动画播放与导出	116
第4章	曲线与曲面	118
4.1	曲线的绘制	118
4.2	典型曲面研究	132
4.2.1	经典的代数曲面	132
4.2.2	插值拟合曲面	136
4.3	MATLAB 样条函数	144

第5章 MATLAB 图形处理	157
5.1 图形可视化技术	157
5.1.1 基本概念	157
5.1.2 三维图形可视化基本流程	157
5.1.3 使用面片创建图形模型	159
5.2 MATLAB 中的颜色	162
5.2.1 着色技术	162
5.2.2 RGB 真彩色着色	163
5.2.3 颜色表	164
5.2.4 索引着色	165
5.2.5 颜色编辑器	167
5.2.6 shading 模式	168
5.3 光照效果	169
5.3.1 简单光照模型	169
5.3.2 MATLAB 中的光照函数	174
5.4 透明效果	177
5.4.1 hidden 函数	177
5.4.2 设置透明度数值	178
5.4.3 透明度数据映射	179
第6章 几何造型	181
6.1 图形句柄操作与 GUI 程序设计	181
6.1.1 图形句柄操作	181
6.1.2 GUI 程序设计	192
6.2 几何造型基本单元的组织	196
6.2.1 几何体的绘制	196
6.2.2 几何造型的三种模型	200
6.3 实体模型构造方法	203
6.3.1 扫描造型法	203
6.3.2 边界表示法	205
6.3.3 分解表示法	207
6.3.4 数据文件的存取	207
第7章 MATLAB 句柄式图形	209
7.1 对象结构	209
7.2 图形用户界面设计工具	211

7.2.1	对象编辑器	212
7.2.2	菜单编辑器	214
7.2.3	对象位置调整工具	215
7.2.4	对象属性编辑器	215
7.2.5	M-file 编辑器	216
7.2.6	Tab 顺序编辑器	216
7.2.7	对象浏览器	217
7.3	句柄式图形函数	218
7.4	获得对象句柄值	223
7.5	句柄式图形技巧说明	225
7.6	对象属性的介绍	227
7.7	应用实例	248
第 8 章	MATLAB 图形显示技术	253
8.1	MATLAB 图像文件的格式	253
8.2	图像类型	253
8.2.1	索引图像	254
8.2.2	灰度图像	254
8.2.3	RGB 图像	255
8.2.4	二值图像	256
8.3	图像处理基本函数	256
8.3.1	获取信息函数	256
8.3.2	图像读入和显示函数	259
8.3.3	图像写回命令	262
8.4	图像类型转换	264
8.5	标准图像显示技术	266
8.5.1	imshow 函数	266
8.5.2	显示灰度图像	267
8.5.3	显示二值图像	268
8.5.4	显示索引图像	269
8.5.5	显示图形文件中的图像	269
8.5.6	显示真彩图像	269
8.6	特殊图像显示技术	270
8.6.1	添加颜色条	270
8.6.2	显示多帧图像阵列	270
8.6.3	图像上的区域缩放	272
8.6.4	纹理映射	273

8.6.5	在一个图形窗口中显示多幅图像	274
8.7	MATLAB 中的颜色模型	275
8.7.1	颜色模型的分类	276
8.7.2	颜色模型的转换	276
8.8	存图文件与打印	279
第9章	不规则物体建模	282
9.1	分形技术	282
9.1.1	线性迭代函数系统	282
9.1.2	二元二次迭代绘制图形	286
9.1.3	粒子系统	290
9.2	基于图像的图形绘制	290
9.2.1	图像的几何操作	290
9.2.2	图像处理与分析	296
9.2.3	图像作为纹理、材质与贴图	300
9.2.4	图像的图形化	300
9.3	非真实感图形绘制技术	302
9.3.1	物体的不规则变换	302
9.3.2	图像像素操作	305
9.3.3	模拟自然介质和艺术手法	306
第10章	虚拟现实	308
10.1	虚拟现实概述	308
10.1.1	VRML——虚拟现实建模语言	308
10.1.2	MATLAB 虚拟现实工具箱	310
10.2	V-Realm Builder	312
10.2.1	V-Realm Builder2 常用节点的使用	312
10.2.2	复杂几何体造型节点	324
10.2.3	V-Realm Builder2 的库操作	330
10.2.4	控制方式	332
10.2.5	V-Realm Builder2 动画制作	336
10.3	MATLAB 虚拟现实函数	337
10.3.1	接口函数	337
10.3.2	虚拟世界操作函数	339
10.3.3	Vrnode 对象操作函数	340
参考文献		341

第1章 MATLAB 介绍

1.1 MATLAB 的命令使用与程序设计

首先，在机器上安装 MATLAB，安装时按照提示选择安装自己需要的工具箱。
安装完 MATLAB 后，就可以使用它进行工作了。

1.1.1 命令窗口的使用

许多简单的计算工作都可以在命令窗口中完成，如数的运算、向量和矩阵计算、符号运算。

1. 数的运算

在命令窗口中输入：

25*4

按 Enter 键，则得到结果：

ans =

100

输入 $(1+2)*3^{0.5}$ ，按 Enter 键，得到结果 ans=5.1962。

输入 13^4 ，sqrt(ans)，按 Enter 键，得到结果 ans=169。

输入 $2*\pi$ ，按 Enter 键，得到结果 ans=6.2832。

输入 $(1+2*i)(1-i)$ ，按 Enter 键，得到结果 ans=3.0000+1.0000i。

输入 1/inf，按 Enter 键，得到结果 ans=0。

上面程序中的 pi 是圆周率，i 是复数单位，inf 是无穷大。在 MATLAB 中可以用这些字母来代替有些无理数与复数单位。

2. 向量与矩阵计算

可以在命令窗口中完成矩阵的赋值，输入 $a1=[1\ 2\ 3\ 4;-1\ 0\ 5\ -2]$ ； $a2=[2\ 3;-2\ 2;3\ 0;1\ -1]$ ，按 Enter 键，有：

a1 =

1 2 3 4
-1 0 5 -2

a2 =

2 3
-2 2
3 0
1 -1

输入命令 `a1*a2`, 按 Enter 键, 则进行矩阵乘法运算, 得到结果:

```
ans =
    11     3
    11    -1
```

数学上关于矩阵的计算基本上都可以在 MATLAB(命令窗口)中进行。例如:

`norm` 计算矩阵范数, `rand` 计算矩阵的秩, `trace` 计算矩阵的迹, `det` 计算矩阵的行列式的值等。

向量是矩阵的特例, 矩阵的所有运算函数都可以用在向量上。除了矩阵的通用函数外, 也提供了计算向量的特殊函数, 如点乘、叉乘函数等。

在命令窗口中输入 `a=[1,2,3]; b=[3,4,5]; dot(a,b)`, 计算向量 `a` 与 `b` 的点乘, 输出 26。

如果不清除 `workspace` 中的变量, 在命令窗口中继续输入命令 `cross(a,b)`(也是函数, 用来计算两个向量的叉乘), 则有 `ans = -2 4 -2`, 得到的是积向量。

注意: 命令 `clear` 用来清除 `workspace` 中已有的变量, `clc` 用来擦除命令窗口中的内容。

3. 符号运算

使用 MATLAB 可以进行多项式乘除运算, 也可以进行因式分解。例如:

要计算 $(x+1)^3$, 在命令窗口中输入 `syms x; expand((x+1)^3)`, 按 Enter 键, 得到结果:

```
ans =
x^3+3*x^2+3*x+1
```

因式分解 $x^9 - 1$, 输入 `syms x; factor(x^9 - 1)`, 按 Enter 键, 得到结果:

```
ans =
(x - 1)*(x^2+x+1)*(x^6+x^3+1)
```

也可以计算极限导数等, 如计算极限:

```
syms x; limit(sin(x)/x)
```

能计算出极限值为 1, 默认 x 趋近于 0。再输入 `limit((1+2*t/x)^法(3*x), x, inf)`, 得到的结果是 `exp(6*t)`, 此时 x 趋近于无穷大。

上面通过数的运算、向量运算与符号运算介绍了 MATLAB 的命令窗口的使用。

在命令窗口中执行命令语句时可以逐句地执行, 清晰方便。但是, 有很多复杂的工作还是需要进行程序设计。

1.1.2 M-File 程序设计

使用菜单项中的文件选项, 选择 `File→New→M-File` 菜单, 在打开的窗口中编辑与运行程序。

一般情况下, 程序的运行结果显示在命令窗口中(如果绘制图形, 那么图形输出在图形窗口中; 如果在程序中加入写文件操作, 那么可以把运行结果输出到外部文件中)。

程序中的变量以及变量的维数可以在命令窗口左上部的 `workspace` 中找到。

【例 1-1】随机生成一个 6 行 10 列矩阵, 矩阵的每个元素在 0~1 之间, 如果元素大于 0.5, 则把这个元素减去 1。

编写程序如下:

```
Ra=rand(6,10);
```

```

for i=1:6
    for j=1:10
        if Ra(i,j)>0.5
            Ra(i,j)=Ra(i,j)-1
        end
    end
end
Ra

```

输出结果为:

```

Ra =
    -0.0499    0.4565    0.9218    0.4103    0.1389    0.0153    0.8462    0.6813
    0.3046    0.1509
         0.2311    0.0185    0.7382    0.8936    0.2028    0.7468    0.5252    0.3795
    0.1897    0.6979
         0.6068    0.8214    0.1763    0.0579    0.1987    0.4451    0.2026    0.8318
    0.1934    0.3784
         0.4860    0.4447    0.4057    0.3529    0.6038    0.9318    0.6721    0.5028
    0.6822    0.8600
         0.8913    0.6154    0.9355    0.8132    0.2722    0.4660    0.8381    0.7095
    0.3028    0.8537
         0.7621    0.7919    0.9169    0.0099    0.1988    0.4186    0.0196    0.4289
    0.5417    0.5936

```

MATLAB 的 for 语句与 if 语句的基本规则与其他语言是一样的，只是书写方式稍有差异。

【例 1-2】使用下面程序绘图，然后修改参数 r 的值，观察图形的变化。

```

y=0.2;x=0.2;z=0.2;
for i=1:10000
    r=-0.2;
    s=0.2;
    q=0.1;
    x1=r-x+x^2-x*y+y+y^2;
    y1=s-x+x*y;
    z1=q-x*y-y*z-z*x;
    plot3(x1,y1,z1)
    x=x1;y=y1;z=z1;
    hold on
end

```

plot3(x1,y1,z1)是在三维空间(x1,y1,z1)的位置绘制出一个点。程序一共绘制出了 10000 个点，有些点距离很近，在机器绘制时重叠在一起。

改变 r 、 s 、 q 的值, 能够发现绘制的图形也发生变化, 有时变化比较小, 有时比较大。这其中变化的规律还有待于研究。

图 1-1 是绘制在 MATLAB 的图形窗口上, 迭代绘制出的图形。

其实, MATLAB 的图形(Figure)窗口不仅可以显示图形, 还提供了很多操作图形的功能, 这些功能通过该窗口中的菜单选项或工具条来实现。

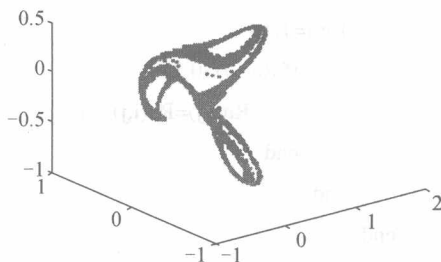


图 1-1 迭代绘制出的图形

1.1.3 Figure 窗口的图形操作功能

Figure 窗口的主要功能是输出图形。例 1-2 绘制出的图形就是显示在 Figure 窗口中。使用 Figure 窗口的 Edit→Copy Figure 把图形放到剪切板上, 再粘贴到 Word 文档中。

图 1-1 在 Copy Figure 之前, 先使用 Figure 窗口的 Insert→X Label, Y Label, Z Label 添加了坐标轴标示字 x 、 y 、 z 。

Figure 窗口还有很多操作图形的功能。

1. File 菜单

Save 选项可以把窗口中的图形存储为 .Fig 文件。

Open 选项可以打开已有的 .Fig 文件, 图形显示在另一个 Figure 窗口中。

Export 选项可以把图形导出变成其他图像格式, 如变成 .jpg 格式。

其他的选项还可以对图形页面进行设置, 如打印等。

2. Edit 菜单

Figure Properties 选项可以对图形颜色等属性进行修改。

Copy Options 选项可以对复制图形的属性进行设置, 如把背景色设置为透明色或白色等。

Copy Figure 选项是执行复制功能的。单击这个选项便把设置好的图形放到剪切板上。

3. Insert 菜单

使用这个菜单, 可以给图形添加标示, 也可以在图形上添加箭头、直线、文字以及颜色条等。

选择 Arrow 选项可以在图形上用鼠标添加箭头。

选择 Line 选项可以在图形上用鼠标绘制直线。

选择 Text 选项可以在图形上添加文字。

4. Tools 菜单

Edit Plot 选项可以对图形进行编辑。

Zoom Out 选项与 Zoom In 选项是用来缩放图形的。

Rotate 3D 选项用来旋转三维图形。在旋转的过程中图形转动, 以便从各个角度观察图形。

Move Camera 选项用来移动相机。

5. View 菜单与工具条

View 菜单有两个选项, 一个是 Figure Toolbar, 一个是 Camera Toolbar。默认时(Figure

Toolbar 被选中), Figure 窗口中出现如图 1-2(a)所示图形工具条。如果选中 View 菜单中的 Camera Toolbar 选项, 那么如图 1-2(b)所示的摄像机工具条就会弹出。

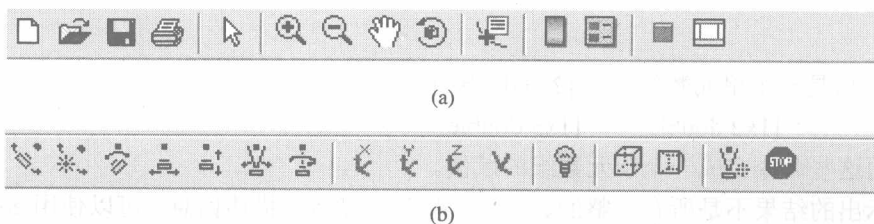


图 1-2 MATLAB 图形窗口工具条

(a) Figure Toolabar(图形工具条); (b) Camera Toolbar(摄像机工具条)。

下面对两个工具条上的按钮进行简单的解释。

从左到右分别表示 File 菜单中的 New、Open、Save 与 Print 选项。

从左到右分别表示 Tool 菜单中的 Zoom In、Zoom Out、Pan 与 Rotate 3Dt 选项。

这些工具用于平移、旋转与缩放等操作。

是主轴选择器。

是用来设置场景灯光的。

左边一个是设置为正交投影, 右边一个是设置为透视投影。

左边是重新设置相机与场景灯光, 右边是停止相机与场景灯光的运动。

1.1.4 单元数组与结构体

MATLAB 是以矩阵为基本单位进行运算的, 矩阵与其他语言的数组在广义上是相同的。

MATLAB 除了具有数组操作功能之外, 还定义了单元数组(cell array)与结构体(structure)等数据类型。

单元数组和结构体这两种数据类型都是将类型不同的相关数据集成为一个变量中来, 这使得数据的处理与引用变得简单方便, 有利于数据的统一管理。单元数组与结构体的区别是, 单元数组中的数据成员是用数字来标识的, 结构体中的数据成员是用名称标识的。

1. 单元数组

单元数组中的每个元素称为单元(cell), 单元可以包含任何类型的数据。

可以使用两种方法创建一个单元数组, 一个是通过赋值语句直接创建; 一个是利用 cell 函数先为单元数组开辟一个内存空间, 然后再给各个单元赋值。

下面例题只使用第一种方法对单元数组进行赋值。关于 cell 函数以及其他一些复杂内容可以参考其他 MATLAB 教材。

【例 1-3】单元数组赋值、显示与调用。

```
>> A(1,1)={'这是一个单元数组'};
```

```
>> A(1,2)=[1 3 5;2 4 6];
```

```
>> A(2,1)=[2+5i 2-5i];
```

```
>> A(2,2)=[10;-4:0];
```

```
>> A
```

```
A =
```

```
    '这是一个单元数组'    [2x3 double]
```

```
    [1x2 double]    [1x3 double]
```

上面这些命令完成一个单元数组的赋值。

显示出的结果不是所有完整的数据，有些单元显示出描述信息。可以使用 `celldisp` 函数显示所有单元内容。

```
>> celldisp(A)
```

按 Enter 键后，显示出：

```
A{1,1} =
```

```
这是一个单元数组
```

```
A{2,1} =
```

```
    2.0000 + 5.0000i    2.0000 - 5.0000i
```

```
A{1,2} =
```

```
    1    3    5
```

```
    2    4    6
```

```
A{2,2} =
```

```
    10    6    2
```

可以使用 `A{i,j}` 这种形式对单元数组中的单元内容进行调用。例如：

```
>> b=A{2,1};
```

```
>> c=b(1)*b(2)
```

```
c =
```

```
29
```

`A{2,1}` 单元中两个复数的乘积是 29。

2. 结构体

结构体与单元数组非常相似，与单元数组不同的是，结构体的组成成员称为字段 (fields)，结构体采用点号来调用字段中的数据。例 1-4 演示了结构体的创建、显示与调用方法。

【例 1-4】 结构体的创建、显示与调用。

```
>> circle1.r=[0:0.1:1];
```

```
>> circle1.center=rand(2,11);
```

```
>> circle1.color={'red','green','yellow'}
```

```
circle1 =
```

```
    r: [0 0.1000 0.2000 0.3000 0.4000 0.5000 0.6000 0.7000 0.8000 0.9000 1]
```

```
    center: [2x11 double]
```

```
    color: {'red' 'green' 'yellow'}
```

上述命令创建了一个结构体并且赋值。下面是对结构体成员的调用。

```
>> circle1.center
ans =
    0.4966    0.8216    0.8180    0.3420    0.3412    0.7271    0.8385    0.3704
    0.5466    0.6946    0.7948
    0.8998    0.6449    0.6602    0.2897    0.5341    0.3093    0.5681    0.7027
    0.4449    0.6213    0.9568

circle1.color(1)
ans =
    'red'

>> circle1.center(5,8)
??? Index exceeds matrix dimensions.

>> circle1.center(2,8)
ans =
    0.7027
```

1.1.5 自定义函数

MATLAB 拥有大量的库函数，也允许用户自定义函数。

把下面两行语句写入 M-File 编辑窗口，保存，自动命名为 f.m。

```
function w=f(x,y,z)
w=x.^3-2*y.^2-2*z+5
```

这两个语句构造了一个简单的自定义函数。在命令窗口中输入 f(1,2,3)，按 Enter 键，则输出结果为 w=-8。

也可以在其他程序(或自定义函数)中调用函数 f(x,y,z)，例如，下面定义了函数 fp()，在该函数中又调用了函数 f()。

```
function wp=fp(x,y,z)
wp=f(1,2,3)+f(x,y,z)
```

在命令窗口中输入 fp(1,2,3)，按 Enter 键，则输出结果为 wp=-16。

有些自定义函数没有输出值，只是为了完成一定的功能。例如：

```
function plot2D
x=-2:0.1:2;
y1=sin(x);
y2=cos(x);
y=y1-y2;
plot(x,y)
```

这个函数就是在[-2, 2]上绘制函数 $y=\sin(x)-\cos(x)$ 的曲线。

与其他语言一样，MATLAB 中的函数具有通用性，给定参数就能输出函数值，或者执行一定的工作；函数具有重用价值。有些经常使用的程序段都可以做成函数，以备调用。与有些语言不同，MATLAB 中函数的制作与调用更加简单。

【例 1-5】设计鼠标移动与鼠标按下函数，然后用这些鼠标函数实现交互操作。