MATLAB 简要教程

- 矩阵操作
- 数据可视化：绘图
- 编程：脚本
- 编程：函数

华东师范大学 数学科学学院
School of Mathematical Sciences, ECNU

1 矩阵操作

几个小技巧

- 查看帮助：help, doc
- 命令记忆功能：上下箭头键（可以先输入命令的前几个字符，缩小搜索范围）
- 命令补全功能： Tab 键
- 用 Esc 键 删除命令行
- 其他命令 home, clc, clear

下载与安装

- 原版（校园版）与学习版（网络）
- 工具箱选择： MATLAB
  Curve Fitting Toolbox
  Optimization Toolbox
  Symbolic Math Toolbox
  Statistics and Machine Learning Toolbox

变量

- 可直接使用，根据赋值确定数据类型，数据类型可随时改变
- 必须以字母开头，含字母（大小写）、数字和下划线
- 区分大小写

算术运算

更多运算：help ops

+ - * ^	加，减，乘，幂
/ \	右除，左除

- 浮点数表示范围：$10^{-308} \sim 10^{308}$
- 浮点运算 (加减乘除，开方) 的相对误差（机器精度）：eps

语句

变量 = 表达式

- 命令或语句的运行：回车
- 命令分隔符/语句结束符：逗号和分号（无需在屏幕上输出结果用分号）
- 续行符：... （三个连续的点）

矩阵操作

- **Matlab** 的操作对象：矩阵
- 矩阵的输入：中括号，如 `A=[1 2 3; 4 5 6; 7,8,9]`

  （行与行之间用分号，同一行中的元素之间用空格或逗号）
- 矩阵的输入：由小矩阵生成大矩阵，如 `A=[A; 10,11,12]`
- 矩阵的输入：等差数列 —— 冒号，如 `A=[1:3; 4:6; 7:9]`

`a:b:c`	● 产生一个由等差序列组成的向量 ● a 是首项，b 是公差，c 确定最后一项 ● 若 b=1，则 b 和其前面的冒号可以省略

- 矩阵运算：加减，相乘，幂 —— 与高代一致
- 矩阵除法：B/A <==> A 的逆右乘 B，A\B <==> A 的逆左乘 B
- 矩阵的转置：

A'	共轭转置
A.'	普通转置，不取共轭，点与单引号之间不能有空格

矩阵操作：矩阵元素的引用

x(i), A(i,j)	单个元素
x(i:j)	向量 x 中的第 i 到第 j 个元素
A(i:j,m:n)	由第 i 至 j 行和第 m 至 n 列组成的子矩阵
x(i:end)	向量 x 中的第 i 个到最后一个元素
A(i:end,m:n) A(i:j,m:end)	第 i 行到最后一行与 m 至 n 列（子矩阵） 第 m 列到最后一列与 i 至 j 行（子矩阵）
A(:,k), A(i,:)	矩阵的第 k 列，或第 i 行
A(:,m:n), A(i:j,:)	矩阵的第 m 到 n 列，或第 i 到 j 行
A(:,:)	整个矩阵
x(:)	取向量的所有元素，并按列向量方式输出
A(:)	将矩阵的所有元素按列排成一个列向量
A([$i_1, i_2, \ldots, i_p$],[$j_1, j_2, \ldots, j_q$])	第 $i_1, i_2, \ldots, i_p$ 行和第 $j_1, j_2, \ldots, j_q$ 列组成的子矩阵
A(i,:)=[], A(:,j)=[]	删除第 i 行，或第 j 列

矩阵操作

- 矩阵的翻转与旋转：

注意与矩阵转置的区别！

`fliplr(A)`	左右翻转
`flipud(A)`	上下翻转
`rot90(A)`	逆时针旋转 90 度
`rot90(A,k)`	逆时针旋转 k×90 度

- 改变矩阵的形状：`reshape(A,m,n)`

(将矩阵元素按 列方向 进行重新排列成一个 **m×n** 的新矩阵)

- 查看矩阵的大小：

`size(A)`	返回矩阵 A 的行数和列数
`size(A,1)`	返回矩阵 A 的行数
`size(A,2)`	返回矩阵 A 的列数
`length(x)`	若 x 是向量，返回 x 的长度
`length(X)`	若 X 是矩阵，返回行数和列数中大的一个
`numel(A)`	返回 A 的元素的个数

矩阵生成函数

更多矩阵操作：help elmat

zeros(m,n) zeros(n)	生成一个 m 行 n 列的零矩阵 m=n 时可简写为 zeros(n)
ones(m,n) ones(n)	生成一个 m 行 n 列的元素全为 1 的矩阵 m=n 时可简写为 ones(n)
eye(m,n) eye(n)	生成一个主对角线全为 1 的 m 行 n 列矩阵 m=n 时可简写为 eye(n)，即为 n 维单位矩阵
diag(X) diag(X,k)	若 X 是矩阵，则 diag(X) 为 X 的主对角线向量 若 X 是向量，diag(X) 产生以 X 为主对角线的对角矩阵
tril(A) triu(A)	提取一个矩阵的下三角部分 提取一个矩阵的上三角部分
rand(m,n) rand(n)	生成 0～1 间均匀分布的随机矩阵 m=n 时简写为 rand(n)
randn(m,n) randn(n)	生成均值为0，方差为1的标准正态分布随机矩阵 m=n 时简写为 randn(n)
randi(n)	生成 1～n 间的整数
其它特殊矩阵生成函数：magic、hilb、pascal 等	

数组运算

对应元素做运算：点乘、点除、点幂

```
.*    ./    .\    .^
```

点与算术运算符之间不能有空格！ 参与运算的对象必须具有相同的形状！

矩阵与数的运算

- 加减：矩阵的每个元素都与数作加减运算
- 数乘：矩阵的每个元素都与数作乘法运算
- 矩阵除以一个数：每个元素都除以这个数
- 数与矩阵的点幂运算：采用数组运算

```
x=[1 2 3];
x.^2=[1^2,2^2,3^2]=[1,4,9]
2.^x=[2^1,2^2,2^3]=[2,4,8]
```

函数作用在矩阵上

函数作用在矩阵的每个分量上!

设 x 是变量，f 是一个函数

- 当 $x = a$ 是标量时，$f(x) = f(a)$ 也是一个标量
- 当 $x = [x_1, x_2, \ldots, x_n]$ 是向量时，则
  $f(x) = [f(x_1), f(x_2), \ldots, f(x_n)]$ 是一个与 x 长度相同的向量

- 若 A 是矩阵，则 $f(A)$ 是一个与 A 同形状的矩阵

$$f(A) = \begin{bmatrix} f(a_{11}) & f(a_{12}) & \cdots & f(a_{1n}) \\ f(a_{21}) & f(a_{22}) & \cdots & f(a_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(a_{m1}) & f(a_{m2}) & \cdots & f(a_{mn}) \end{bmatrix}$$

```
x=[0:pi/4:pi];
A=[1,2,3; 4,5,6];
y1=sin(x)
y2=exp(A)
y3=sqrt(A)
```

常用数学函数

sin(x)、cos(x)、tan(x)、cot(x)、 sec(x)、csc(x)、sinh(x)、cosh(x)、tanh(x) ...	
asin(x)、acos(x)、atan(x)、acot(x)、 asec(x)、acsc(x) ...	
exp(x)	% e^x 自然指数 (以 e 为底)
pow2(x)	% 2^x 以 2 为底的指数
log(x)	% $\ln(x)$ 自然对数 (以 e 为底)
log2(x)	% 以 2 为底的对数
log10(x)	% 以 10 为底的对数
sqrt(x)	% 平方根
abs(x)	% 绝对值
gcd(x,y)	% 最大公约数
lcm(x,y)	% 最小公倍数

常用数学函数

```
conj(z)   % 复数的共轭
real(z)   % 复数的实部
imag(z)   % 复数的虚部
angle(z)  % 复数的辐角
```

```
sign(x)   % 符号函数
```

```
round(x)                          % 取整函数 (四舍五入)
fix(x)、floor(x)、ceil(x)    % 另外三个取整函数
```

```
mod(x,y)  % 计算 x 除以 y 的余数（结果与 y 同号）
rem(x,y)  % 计算 x 除以 y 的余数（结果与 x 同号）
```

```
linspace(a,b,n)  % 生成从 a 到 b，n 个数的等差数列
logspace(a,b,n)  % 生成从 10^a 到 10^b，n 个数的等比数列
```

```
max(x)   % 求向量 x 中的最大值，若 x 是矩阵，则按列计算
min(x)   % 求最小值，若 x 是矩阵，则按列计算
mean(x)  % 求平均值，若 x 是矩阵，则按列计算
```

常用数学函数

更多函数参见 MATLAB 帮助文件

```
sum(x)   % 求和，若 x 是矩阵，则按列计算
sort(x)  % 排序，若 x 是矩阵，则按列计算
det(A)   % 矩阵行列式
inv(A)   % 矩阵的逆
eig(A)   % 矩阵的特征值
rank(A)  % 矩阵的秩
```

MATLAB 中的常量

i,j	虚数单位
pi	圆周率
eps	浮点运算相对精度
Inf/inf	无穷大
NaN/nan	不定值

realmin	最小正浮点数
realmax	最大正浮点数
intmin	最小整数
intmax	最大整数

目录页

Contents

2 数据可视化：绘图

- 二维图形：plot, semilogx, semilogy, loglog, fplot
- 三维图形：plot3, mesh, surf, fplot3, fmesh, fsurf
- 其他命令：title, legend, figure, subplot, xlabel, ylabel
- 在线帮助：help graph2d, help graph3d, help graphics

基本思想： 先描点，后连线

```
x=0:pi/10:2*pi; % x 坐标，取点
y=sin(x); % y 坐标
plot(x,y); % 绘图：描点，连线
```

二维曲线

plot(x,y)	绘制二维曲线

- 这里 x,y 都是向量，长度必须相同
- 以 x 为横坐标， y 为纵坐标，作平面曲线

plot(y)	绘制向量 y 的线性图，即以下标为横坐标
plot(x,y,str)	根据字符串 str 指定曲线属性：点、线的形状和颜色

```
x=0:pi/20:2*pi;
plot(x,cos(x),'r:+');
plot(x,sin(x),'o-b');
```

三个元素：颜色，线型，点标记，
可全部指定，或部分指定，顺序任意

曲线属性

doc plot

线型		点标记		颜色	
-	实线	.	点	y	黄色
:	虚线	o	小圆圈	m	洋红/magenta
-.	点划线	x	叉子符	c	青色/cyan
--	间断线	+	加号	r	红色
	空白(不画线)	*	星号	g	绿色
		s	方格	b	蓝色
		d	菱形	w	白色
		^	朝上三角	k	黑色
		v	朝下三角		
		>	朝右三角		
		<	朝左三角		
		p	五角星		
		h	六角星		

更多属性

`title(str)`	添加标题
`xlabel(str)` `ylabel(str)`	添加坐标轴标注

```
x=0:pi/20:2*pi;
plot(x,cos(x),'r:+');
title('y=cos(x)的图像');
xlabel('x轴');
ylabel('y轴');
```

`plot(x1,y1,str1,x2,y2,str2, ...)`	同时绘制多条曲线
`legend(str1,str2, ...)`	添加图例

```
x=0:pi/20:2*pi;
plot(x,cos(x),'r:+', x,sin(x),'o-b');
legend('cos(x)', 'sin(x)');
```

绘图窗口

figure, figure(n)	开启一个绘图窗口，并编号（编号可省略）
subplot(m,n,p)	划分绘图窗口

将绘图窗口分割成 $m \times n$ 个子区域，并 按行 编号，p 表示第 p 个子区域

```
x=0:pi/20:2*pi;
subplot(1,2,1);plot(x,cos(x),'r:+');
subplot(1,2,2);plot(x,sin(x),'o-b');
```

相关命令

semilogx, semilogy, loglog	对数坐标
grid on	显示网格
hold on, hold off	是否保留当前绘图窗口中的图像
close, close all	关闭绘图窗口
shg	显示当前绘图窗口

函数绘图

doc fplot

fplot(f)	根据函数表达式自动绘图

```
f=@(x) cos(x); % 定义函数
fplot(f);
```

fplot(f,str)	指定曲线性质：点、线、颜色
fplot(f,[a,b])	指定绘图区间
fplot(fx,fy,[a,b])	绘制由参数方程表示的曲线

三维曲线

doc plot3

plot3(x,y,z)	绘制三维曲线
plot3(x,y,z,str)	指定曲线属性：点、线、颜色
plot3(x1,y1,z1,str1,x2,y2,z2,str2,...)	绘制多条三维曲线

```
t=0:pi/20:10*pi;
x=sin(t);
y=cos(t);
z=2*t;
plot3(x,y,z);
```

三维曲线：函数绘图

doc fplot3

fplot3(fx,fy,fz)	根据函数表达式自动绘图

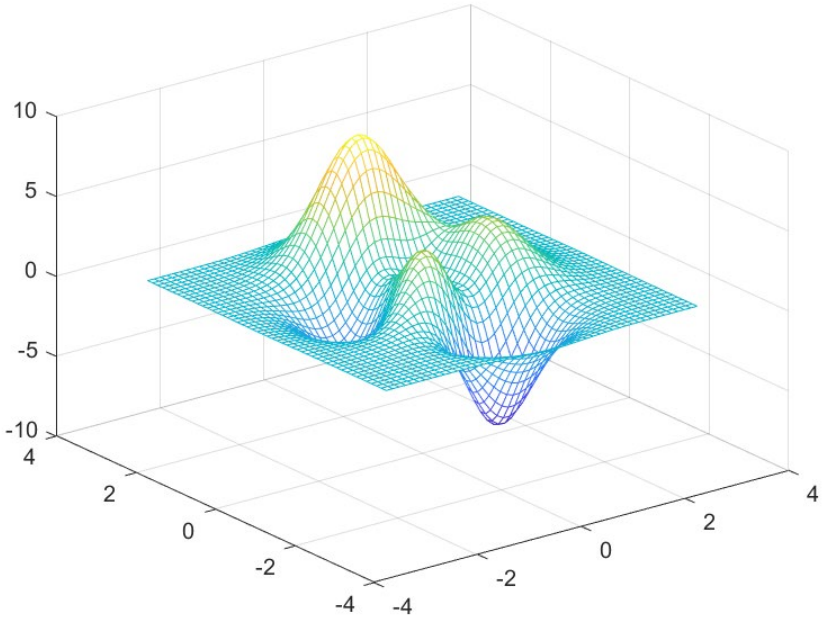
三维曲面

doc mesh

mesh(X,Y,Z)	绘制三维曲面的网格图

$$\mathbf{X}=\begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix},\quad \mathbf{Y}=\begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \cdots & y_{mn} \end{pmatrix},\quad \mathbf{Z}=\begin{pmatrix} z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1n} \\ z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{m1} & z_{m2} & \cdots & z_{mn} \end{pmatrix}$$

```
[X,Y]=meshgrid(-3:1/8:3);
Z=peaks(X,Y);
mesh(X,Y,Z);
```



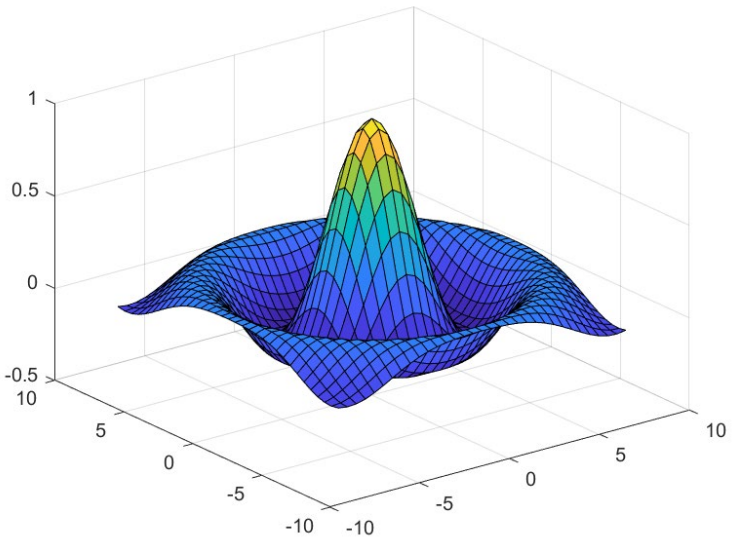
三维曲面

doc surf

surf(X,Y,Z)	绘制三维曲面的表面图

$$z(x,y)=\frac{\sin\left(\sqrt{x^2+y^2}\right)}{\sqrt{x^2+y^2}}$$

```
x=-8:0.5:8; y=-8:0.5:8;
[X,Y]=meshgrid(x,y);
r=sqrt(X.^2+Y.^2)+eps;
Z=sin(r)./r;
surf(X,Y,Z);
```



meshc	带等高线
sphere(n)	单位球面，n 表示网格密度
fmesh, fsurf	函数作图，doc fmesh / doc fsurf

更多坐标轴控制命令

doc axis

axis on/off	是否显示坐标轴
axis auto	自动确定坐标轴范围，满足图中的一切元素
axis square	各坐标轴采用等长刻度
axis square	使绘图区域为正方形
axis manual	以当前的坐标限制图形的绘制（绘制多图时）
axis([xmin,xmax, ymin,ymax, zmin,zmax])	设置坐标轴范围

华东师范大学 数学科学学院
School of Mathematical Sciences, ECNU

3 编程：脚本文件

- M文件：脚本文件, 函数文件
- 数据的输入输出：input, disp, fprintf
- 关系运算与逻辑运算
- 控制结构：顺利结构，选择结构，循环结构

数据输入

```
变量=input(提示信息)
```

- 按从键盘输入数据，赋值给指定的变量
- 提示信息 为字符串

```
x=input('Please input a real number: ');
```

数据输出：简单输出

disp(X)	在屏幕上输出 X 的值

```
x=input('Please input a real number: ');
disp(x);
```

数据输出：格式化输出

fprintf(格式控制字符串，输出变量列表)	格式化输出

- 按指定的格式将变量的值输出到屏幕
- 格式控制字符串，包含： 普通字符串、格式字符串、转义字符
  - 普通字符串：原样输出
  - 格式字符串：以 % 开头，后面跟各种 格式说明符
  - 转义字符：实现特殊功能

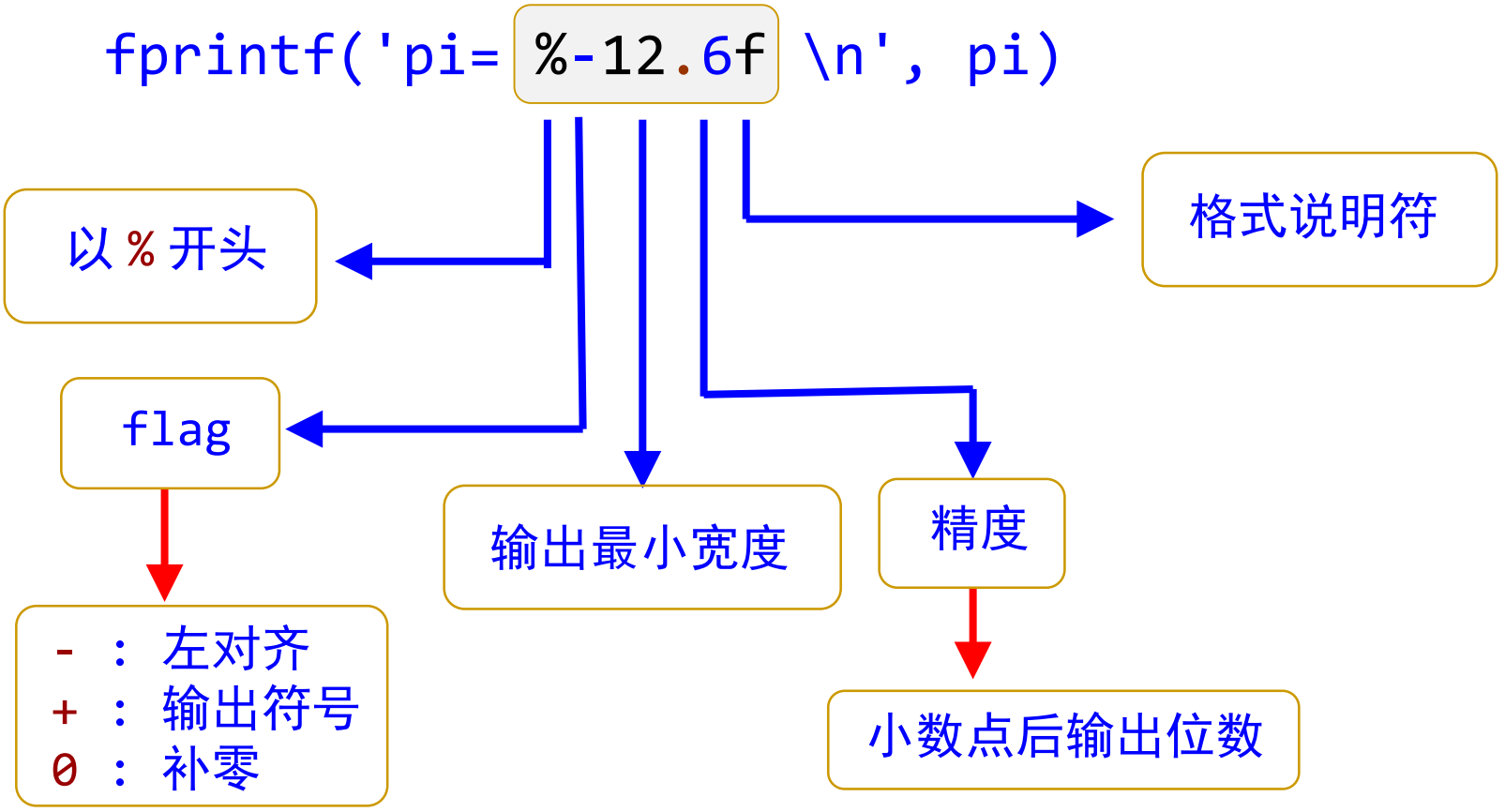
```
x=3.14;
fprintf('x=%f, cos(x)=%f\n', x, cos(x));
```

注：一个格式字符串对应一个输出数据！

格式字符串

%[flag][输出最小宽度][.精度]格式说明符

```
fprintf('pi= %-12.6f \n', pi)
```



格式说明符

c	字符型	g	浮点数（自动）
d	十进制整数	o	八进制
e	浮点数（科学计数法）	s	字符串
f	浮点数（小数形式）	x/X	十六进制

转义字符（特殊符号）

\b	退后一格	\t	水平制表符
\f	换页	\\	反斜杠（两个连续的反斜杠）
\n	换行	' '	单引号（两个连续的单引号）
\r	回车	%%	百分号（两个连续的百分号）

M 文件

- 用 MATLAB 语言编写的程序称为 M 文件，以 .m 为扩展名
- 两类 M 文件
  - Script：脚本文件/命令文件，可直接执行

    通俗解释：把所有语句都写入文件，然后运行该文件
  - Function：函数文件，供脚本文件或函数文件调用

例：判断一个正整数是否为素数。

MATLAB_prime.m

关系运算

<	小于	<=	小于等于
>	大于	>=	大于等于
==	等于	~=	不等于

- 比较大小，如果结论是 真 则返回 1 ，否则返回 0
- 注意 == 与 = 的区别
- 关系操作符可以比较两个同样大小的数组，或用来比较一个数组和一个标量，在后一种情况，标量和数组中的每一个元素相比较，比较结果与数组大小一样

逻辑运算

在 MATLAB 中，0 表示 “假”，非零表示 “真”

&	与
|	或
~	非
xor(x,y)	异或

&&	与 (Short-circuit AND)
||	或 (Short-circuit OR)

逻辑运算函数

any(x)	如果向量 x 中存在非零元素，则返回 1，否则返回 0
all(x)	如果向量 x 中所有元素都非零，则返回 1，否则返回 0

isfinite(x), isinf(x), isnan(x), isreal(x), isstr(x), isempty(x), isdiag, isprime, ...	测试函数

控制结构：顺序结构

按排列顺序依次执行各条语句，直到程序的最后。

控制结构：选择结构/条件结构/分支结构

- 根据给定的条件成立或不成立，分别执行不同的语句
- 实现方式：if, switch

IF 语句

- 单分支

```
if 条件表达式
    语句组
end
```

- 双分支

```
if 条件表达式
    语句组1
else
    语句组2
end
```

- 多分支

```
if 条件表达式1
    语句组1
elseif 条件表达式2
    语句组2
 ... ...
elseif 条件表达式m
    语句组m
else
    语句组
end
```

SWITCH 语句

- 根据表达式的不同取值，分别执行不同的语句

```
switch 表达式0
  case 表达式1
     语句组1
  case 表达式2
     语句组2
    ... ...
  case 表达式m
     语句组m
  otherwise
     语句组
end
```

- 先计算表达式0的值，然后将它依次与各个 case 指令后表达式的值进行比较，当比较结果为真时，就执行相应语句组，然后跳出 switch 结构。
- switch 后面的表达式的值可以是一个标量或字符串。
- otherwise 指令可以不出现。
- 如果所有的比较结果都为假，则执行 otherwise 后面的语句组。

控制结构：循环结构

- 根据给定的条件，重复执行指定的语句
- 实现方式：for，while

FOR 语句

```
for 循环变量 = 取值列表
    循环体
end
```

- 将取值列表中的值依次赋给循环变量，直到全部取完，循环结束
- 取值列表通常是一个向量

```
for k=1:100
   S=S+k;
end
```

WHILE 语句

```
while 条件表达式
    循环体
end
```

- 当条件表达式的值为真（非 0）时，执行循环体语句，直到条件表达式不成立为止。

几点说明

- 循环语句可以嵌套使用（包括递归）
- 通常，如果预先知道循环的次数，可采用 for 循环；
  如果预先无法确定循环次数，则可使用 while 循环。
- 为了提高代码的运行效率，应尽可能提高代码的向量化程度

循环的终止

- 自然终止：所有循环执行完毕
- break：终止循环的执行（若有循环嵌套，则跳出最内层循环）
- continue：结束本轮循环，进行下一轮循环

break 和 continue 通常与 if 语句配合使用。

其他相关命令

- `return`：退出正在运行的脚本或函数。
- `pause`：暂停程序的执行
  `pause(n)`：暂停 n 秒
  `pause on/off`：开关暂停功能
- `cputime, tic/toc, clock/etime`：计时函数 （`help timefun`）
- 强制终止程序的运行：`ctrl+c`

例：数论中的一个有趣 3n+1 问题

任取一个正整数，如果是偶数，用 2 除，
如果是奇数，用 3 乘再加 1，
反复这个过程，直到所得到的数为 1。
问：是否存在使该过程永不中止的整数？

MATLAB_3nplus1.m

练习：猜数游戏

首先由计算机随机产生一个 [1,100] 之间的一个整数，然后请用户猜这个数（从键盘输入）。系统根据用户猜的情况给出不同的提示：如果猜的数大了，就显示 Larger，小了就显示 Smaller，等于则显示 Congratulation, you won!，同时退出游戏。用户最多有 7 次机会。

参考模板：MATLAB_hw01.m

(程序取名: **hw01_学号.m**，例如：**hw01_10191511888.m**)

4 编程：函数文件

- 关键字：function
- 函数递归
- 匿名函数

函数的一般格式

```
function 输出形参列表=函数名(形参列表)
函数体
```

- 第一行为引导行，表示该 M 文件是函数文件
- 函数名的命名规则与变量名相同 (必须以字母开头)
- 当输出形参多于一个时，用方括号括起来
- 函数文件名必须与函数名一致
- 函数是一个单独的M文件

例：编写函数，判断一个正整数是否为素数。

```
function flag = MATLAB_prime_fun(n)

if ( n==1 )
    flag = 0; return;
else
    for k=2:n-1
        if ( mod(n,k)==0 )
            flag = 0; return;
        end
    end
end
flag = 1;
```

函数调用

输出实参列表=函数名(输入实参列表)

- 函数调用时，实参的顺序应与函数定义时形参的顺序一致
- 实参与形参之间的结合是通过值传递实现的
- 函数可以嵌套调用，甚至可以被它自身调用（即递归调用）
- 参数具有可调性，MATLAB 用两个永久变量 nargin 和 nargout 分别记录调用该函数时的输入实参和输出实参的个数

例：编写函数，用递归方法计算阶乘。

$$f(n)=\begin{cases}1, & n=1\\ n\cdot f(n-1), & n>1\end{cases}$$

```
function y = MATLAB_factorial(n)
if ( n<=1 )
   y = 1;
else
   y = n*MATLAB_factorial(n-1);
end
```

匿名函数

fhandle = @(变量列表) 函数表达式

- 匿名函数（anonymous function）可以让用户编写简单的函数而不需要创建M文件，具有高效简洁的特点。

```
f = @(x,y) x^2 + y^2;
y = f(2,3)
```

- 若调用函数时涉及数组运算，则定义函数时也需要使用数组运算

```
f = @(x) cos(x).*sin(x) + 1;
x = 0:pi/20:pi;
y = f(x);
plot(x,y,'ro-')
```

内嵌函数

- 在脚本文件或函数文件中，可以另外定义函数，这就是内嵌函数
- 内嵌函数仅供所在的脚本或函数调用
- 内嵌函数最后必须加 end，表示函数结束

```
MATLAB_prime_fun_nested.m
```