MATLAB Einführung

Christopher Basting

Numerische Mathematik für Physiker und Ingenieure, 28.04.2016

technische universität
dortmund

fakultät für
mathematik

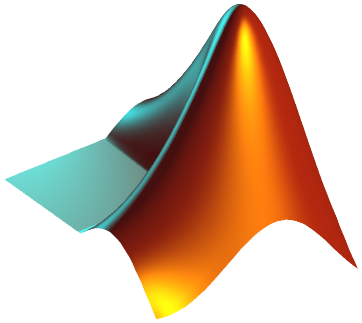
Numerisches Softwarewerkzeug MATLAB®

Eigenschaften

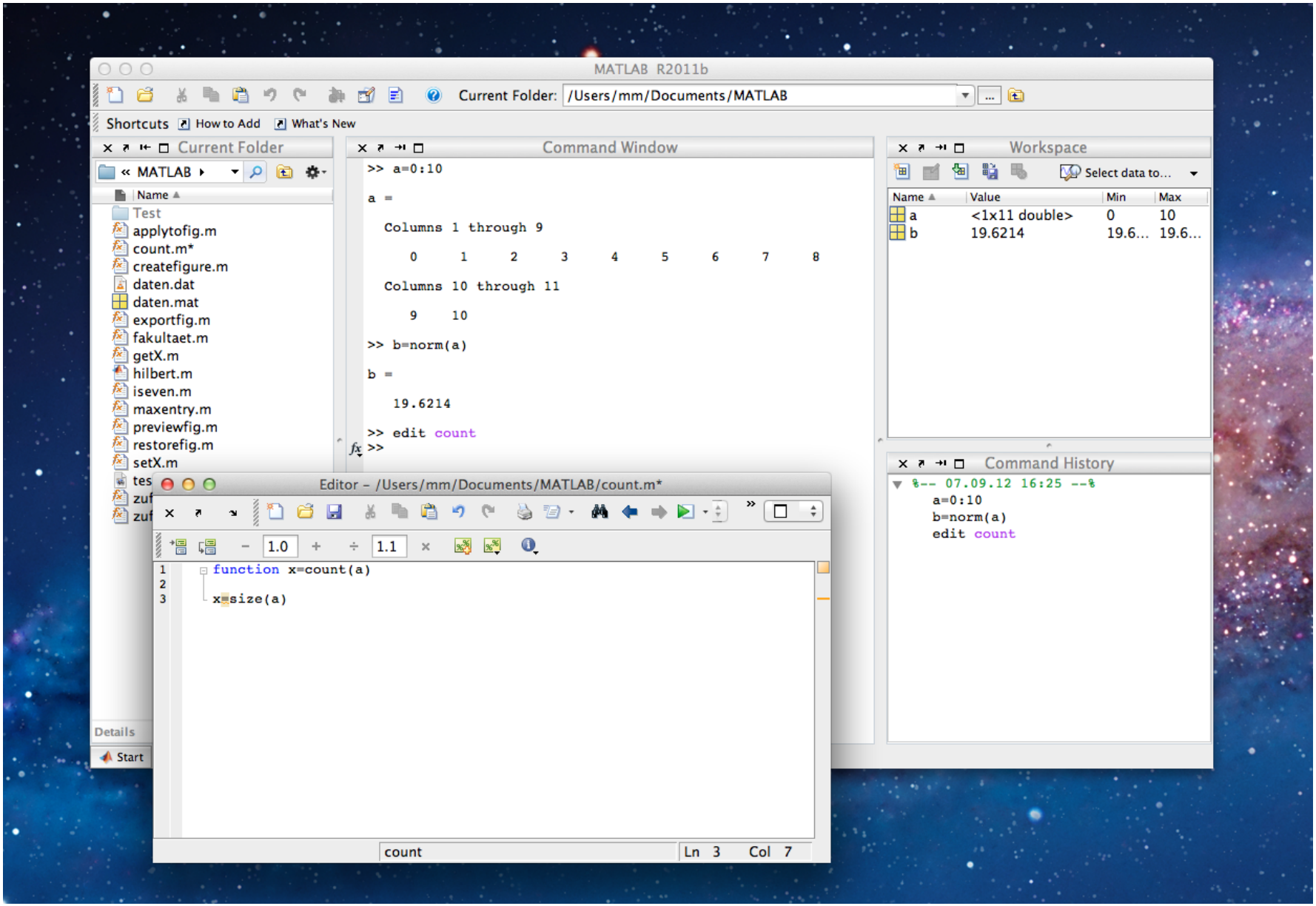
- Etablierte kommerzielle Software für numerische Berechnungen
- Unterstützung aller gängigen Betriebssysteme (M-files sind portabel)
- Interaktive, benutzerfreundliche Programmierumgebung (in Java)
- Sehr umfangreiche Bibliothek von mathematischen Funktionen
- Erweiterbar durch (kommerzielle) Toolboxen und kostenlose M-files
- Schnittstellen zu Hochsprachen wie C und Fortran sind vorhanden

Bezugsquelle

- Kommerzieller Vertrieb durch die Firma MathWorks®
  http://www.mathworks.de/
- Studentenversion kostet ca. 100 Euro



MATLAB®Umgebung



Open-Source Alternative GNU Octave

Eigenschaften

- Weitgehend sprachkompatibel zu MATLAB®(M-files lauffähig)
- Funktionsumfang entspricht der Basisversion von MATLAB®
- Unterstützung aller gängigen Betriebssysteme
- Erweiterbar durch Packages http://www.gnu.org/software/octave/
- Benutzerfreundliche Programmierumgebung in Entwicklung
- Kostenlose Nutzung auf privaten Laptops möglich

Bezugsquelle

- Quellcode und z.T. Binärpakete frei verfügbar
  http://www.gnu.org/software/octave/

MATLAB® vs. GNU Octave

- Grundfunktionalität beider Softwarepakete vergleichbar
- GNU Octave reicht zum Bearbeiten der Übungsaufgaben in diesem Kurs und in den Vorlesungen Numerik 1-2 aus
- MATLAB® bietet mehr Komfort beim Programmieren und Debuggen speziell von größeren Programmen (z.B. mit GUI)
- Funktionsumfang von MATLAB® lässt sich durch kommerzielle Toolboxen deutlich erweitern (Zielgruppe: Ingenieursanwendungen)
- MATLAB® ist insb. in den Ingenieurswissenschaften etabliert
- Eine Übersicht der Unterschiede liefert die Octave FAQ Abschnitt 10

Literatur zu MATLAB®/GNU Octave

- D.J. Higham, N.J. Higham, MATLAB Guide, SIAM, 2005.
- W. Schweizer, MATLAB kompakt, Oldenbourg-Verlag, 2009.
- G. Gramlich, W. Werner, Numerische Mathematik mit MATLAB: Eine Einführung für Naturwissenschaftler und Ingenieure. Dpunkt-Verlag, 2000.
- C. Überhuber, S. Katzenbeisser, D. Praetorius, MATLAB 7: Eine Einführung. Springer-Verlag, 2005.
- A. Quarteroni, F. Saleri, Scientific Computing with MATLAB and Octave, Springer, 2006.

Internet

- alternative Vorlesungsskripte und Kurzanleitungen findet man leicht mit gängigen Suchmaschinen
- Vorlesungsskript zum COP-Kurs: https://www.mathematik.tu-dortmund.de/sites/cop-kurs-ws14-15/download/vorlesung_komplett.pdf

Überblick: Crashkurs

- Integriertes Hilfesystem
- Variablen, Vektoren und Matrizen
- Mathematische Operationen
- Ein- und Ausgabe von Daten
- M-Dateien: Skripte und Funktionen
- Vergleichsoperatoren und -funktionen
- Logische Operatoren
- Verzweigungen und Schleifen

LIVE Demo: M-Datei verfügbar → moodle

M-file: `intro.m`

Zusammenfassung: *Hilfesystem*

- `help <Thema>` gibt Hilfetexte auf dem Bildschirm aus
- `lookfor <Thema>` durchsucht Hilfetexte nach Stichwort
- `doc <Thema>` öffnet grafisches Hilfesystem/Browser
- `demo <Thema>` öffnet interaktive MATLAB Demos

Nützliche Hilfethemen

- `general` Generelle Befehle (`who`, `clear`, ...)
- `ops` Operationen (`+`, `-`, `*`, `/`, `^`, `[]`, ...)
- `elfunc` Mathematische Funktionen (`min`, `max`, `sqrt`, ...)
- `elmat` Matrix Funktionen
- `lang` Programmierung

Zusammenfassung: *Variablen*

- Es wird zwischen Groß- und Kleinschreibung unterschieden
- Variablen werden dynamisch erzeugt und sind veränderbar
- Wenn keine Variable angegeben wird, dann wird das zuletzt berechnete Ergebnis in `ans` (=answer) gespeichert
- Eine Übersicht über alle Variablen liefern `who` bzw. `whos`
- Variablen lassen sich mittels `clear <Variablenname>` löschen; alle Variablen werden mit `clear` oder `clear all` gelöscht
- Die Bildschirmausgabe lässt sich mittels Semikolon unterdrücken

Vektoren

- Zeilenvektoren können direkt erzeugt werden

```
>> a=[1  3  5  7  9  11  13  15  17  19]
a =
     1  3  5  7  9  11  13  15  17  19
```

oder mittels Doppelpunkt-Operator

```
>> a=1:2:20
a =
     1  3  5  7  9  11  13  15  17  19
```

- Ohne Angabe der Schrittweite wird automatisch 1 angenommen

```
>> a=1:20
a =
     1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  16  17  18  19  20
```

Vektoren

- Negative Schrittweiten sind zulässig, wenn gilt: Startwert > Endwert

```
>> a=20:-2:1
a =
    20  18  16  14  12  10  8  6  4  2
```

- Anfangs-, Endwert und Schrittweite können nichtganzzahlig sein

```
>> a=0.3:0.1:0.7
a =
    0.3000    0.4000    0.5000    0.6000    0.7000
```

```
>> b=0:pi/2:2*pi
b =
    0  1.5708    3.1416    4.7124    6.2832
```

`pi` ist als π vordefiniert

Vektoren

- Spaltenvektoren können direkt mittels ';' erzeugt werden
  oder durch Transponieren des entsprechenden Zeilenvektors

```
>> a=[1; 2; 3; 4; 5]
a =
     1
     2
     3
     4
     5
```

```
>> b=transpose(1:2:10)
b =
     1
     3
     5
     7
     9
```

- Kurzform ist a.' und b' entspricht komplex konjugiert transponiert

```
>> a=(1:3).'
a =
     1
     2
     3
```

```
>> b=[1+i 2+i 3+i]'
b =
   1.0000 - 1.0000i
   2.0000 - 1.0000i
   3.0000 - 1.0000i
```

Vektoradressierung

- Einen einzelnen Vektoreintrag adressiert/verändert man mit

```
>> a=1:5; a(3)=pi
a =
    1.0000    2.0000    3.1416    4.0000    5.0000
```

- Auf den letzten Vektoreintrag greift man mit `end` zu

```
>> b=1:5; b(end)=1
b =
    1  2  3  4  1
```

- Teilvektoren können direkt oder mittels ':' adressiert werden

```
>> a(2:4)=42
a =
    1  42  42  42  5
```

```
>> b([1 3 end])=42
b =
    42  2  42  4  42
```

Vektoradressierung

- Vektoren können zu größeren Vektoren zusammengesetzt werden

```
>> a=1:5; b=6:10; c=[a, b]
c =
     1  2  3  4  5  6  7  8  9  10
```

  Dabei kann das Komma bei Zeilenvektoren entfallen.

- Vektoreinträge/Teilvektoren können mittels ’[]’ entfernt werden

```
>> c(3:8)=[]
c =
     1  2  9  10
```

  ← `end` entspricht jetzt dem Eintrag 4

Vektoroperationen

- `min` bzw. `max` berechnet kleinsten bzw. größten Werte eines Vektors

```
>> a=[2 5 4]; m=min(a)
m =
     2
```

```
>> m=max(a)
m =
     5
```

- Die Position des kleinsten bzw. größten Eintrags liefert

```
>> [m i]=min(a)
m =     i =
     2       1
```

```
>> [m i]=max(a)
m =     i =
     5       2
```

- `sum` berechnet die Summe, `prod` das Produkt der Vektoreinträge

```
>> sum(a)
ans =
    11
```

$\widehat{=} \sum_{k=1}^{n} a_k$

```
>> prod(a)
ans =
    40
```

$\widehat{=} \prod_{k=1}^{n} a_k$

Vektoroperationen

- `dot` berechnet das Skalarprodukt zweier Vektoren $\mathbf{a}, \mathbf{b} \in \mathbb{R}^n$

```
>> a=1:5; b=6:10; d=dot(a,b)
d =
     130
```

$$\widehat{=} (\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \sum_{k=1}^{n} a_k b_k$$

- `norm` berechnet die Euklidische Norm ($p = 2$) eines Vektors $\mathbf{a} \in \mathbb{R}^n$

```
>> a=1:10; n=norm(a)
n =
    19.6214
```

$$\widehat{=} \|\mathbf{a}\| = \sqrt{\sum_{k=1}^{n} a_k^2}$$

- weitere Normen können mittels `norm(a,p)` berechnet werden

$p = 1$	Betragssummennorm	$\|\mathbf{a}\|_1 = \sum_{k=1}^{n} \|a_k\|$
$p = \inf$	Maximumsnorm	$\|\mathbf{a}\|_\infty = \max_{k=1,k} \|a_k\|$
$p \in \mathbb{R}$	p-Norm, $p \geq 1$	$\|\mathbf{a}\|_p = (\sum_{k=1}^{n} \|a_k\|^p)^{1/p}$

MATLAB = MATrix LABoratory

- Eine $m \times n$ Matrix ist in MATLAB ein zweidimensionales Array mit m Zeilen (engl. *rows*) und n Spalten (engl. *columns*).
- 2×3 Matrix

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \end{pmatrix}$$

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

  Zeilen werden durch Semikolon getrennt (vgl. Spaltenvektoren)

-
```
>> whos A
  Name   Size   Bytes   Class   Attributes
  A      2x3       48  double
```

Matrixdimensionen

- Dimension der Matrix A

```
>> s = size(A)
s =
     2     3
```

```
>> [m n] = size(A)
m =      n =
     2        3
```

```
>> m = size(A,1)
m =
     2
```

```
>> n = size(A,2)
n =
     3
```

- Größte Dimension der Matrix A

```
>> l = max(size(A))
l =
     3
```

```
>> l = length(A)
l =
     3
```

Spezielle Matrizen

- Nullmatrix

```
>> N = zeros(2)
N =
     0     0
     0     0
```

```
>> N = zeros(2,3)
N =
     0     0     0
     0     0     0
```

- „Einsmatrix"

```
>> E = ones(2)
E =
     1     1
     1     1
```

```
>> E = ones(2,3)
E =
     1     1     1
     1     1     1
```

- Einheitsmatrix

```
>> I = eye(2)
I =
     1     0
     0     1
```

```
>> I = eye(2,3)
I =
     1     0     0
     0     1     0
```

- Weitere spezielle Matrizen `hilb`, `rand`, `magic`, ... → `doc elmat`

Matrixoperationen

- Sämtliche Operationen wie +, -, * und ^ werden unterstützt
- Vektoroperationen lassen sich (automatisch) spaltenweise anwenden

```
>> A=magic(3); [m i]=min(A)
m =
     3     1     2
i =
     2     1     3
```

$$A = \begin{pmatrix} 8 & 1 & 6 \\ 3 & 5 & 7 \\ 4 & 9 & 2 \end{pmatrix}$$

- oder gezielt spalten- bzw. zeilenweise durch Angabe der Dimension

```
>> p=prod(A,1)
p =
    96    45    84
```

```
>> p=prod(A,2)
p =
    48
   105
    72
```

Matrixoperationen

- `norm(A,p)` berechnet die p-Norm einer Matrix A
  zulässige Werte sind p=1, 2, `inf` und `'fro'` (Frobeniusnorm)
- `inv` berechnet die Inverse A^{-1} einer regulären Matrix A

```
>> A=hilb(2), B=inv(A), C=A*B
A =                          B =                          C =
   1.0000    0.5000             4.0000   -6.0000             1    0
   0.5000    0.3333            -6.0000   12.0000             0    1
```

- `det` und `rank` bestimmen Determinante und Rang einer Matrix A

```
>> d=det(A)                  >> r=rank(A)
d =                          r =
   0.0833                       2
```

Matrixoperationen

- `eig` berechnet die Eigenwerte einer Matrix $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$

```
>> A=hilb(2); l=eig(A)
l =
    0.0657
    1.2676
```

$$A\mathbf{x} = \lambda\mathbf{x}, \quad \lambda \in \mathbb{C}, \mathbf{x} \in \mathbb{C}^n \setminus \{0\}$$

- Es können auch Eigenwerte und Eigenvektoren berechnet werden

```
>> [R D]=eig(A)
R =                              D =
    0.4719   -0.8817                 0.0657         0
   -0.8817   -0.4719                      0    1.2676
```

Beachte: Bei der Eigenwertberechnung können Rundungsfehler auftreten.

Lineare Gleichungssysteme

- Lineare Gleichungssysteme der Form

  $$A\mathbf{x} = \mathbf{b}, \qquad A \in \mathbb{R}^{n\times n}, \quad \mathbf{b} \in \mathbb{R}^n$$

  können mittels Linksdivision (`mldivide`)

  `x=A\b` oder direkt `x=inv(A)*b`

  gelöst werden (falls Matrix A invertierbar ist)

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

- ```
  >> A=[1 2; 2 1]; b=[1; 2];
  >> x=A\b
  x =
      1
      0
  ```

  ```
  >> x=inv(A)*b
  x =
      1
      0
  ```

- Linksdivision ist i.d.R. numerisch stabiler
  ```

Elementweise Operationsausführung

- Operatoren *, /, \, ^ werden elementweise auf jeden Eintrag des Arrays angewendet, wenn ein „.“ vorangestellt wird

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix}, \qquad B = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 1 & 2 \end{pmatrix}$$

Produkt der Matrixeinträge

```
>> A.*B
 ans =
    1    4
    3    8
```

Division vom Typ „b_{ij}/a_{ij}“

```
>> B./A
 ans =
    1.0000    1.0000
    0.3333    0.5000
```

Beachte: `A^k` meint die k-fache Matrizenmultiplikation `A*...*A` während `A.^k` jeden Eintrag der Matrix exponenziert.

Teilmatrizen

- Matrizen können aus einzelnen Teilmatrizen aufgebaut werden

```
>> A = [1 2; 3 4]
A =
     1   2
     3   4
```

```
>> B = [A zeros(2); ...
     ones(2) eye(2)]
B =
     1   2   0   0
     3   4   0   0
     1   1   1   0
     1   1   0   1
```

- Blockmatrizen können mittels `repmat(A,m,n)` erzeugt werden

```
>> C = repmat(eye(2),2,3)
C =
     1   0   1   0   1   0
     0   1   0   1   0   1
     1   0   1   0   1   0
     0   1   0   1   0   1
```

```
>> D = repmat([1; 2],2)
D =
     1   1
     2   2
     1   1
     2   2
```

Diagonalmatrizen

- Diagonalteil einer Matrix kann mittels `diag(A,k)` bestimmt werden

```
>> A=[1 4 7; 2 5 8; 3 6 9]
A =
     1     4     7
     2     5     8
     3     6     9
```

```
>> B=diag(A)
B =
     1
     5
     9
```

```
>> C=diag(A,1)
C =
     4
     8
```

- Diagonalmatrizen können mittels `diag(v,k)` erzeugt werden

```
>> D=diag(1:3)
D =
     1     0     0
     0     2     0
     0     0     3
```

```
>> E=diag(1:2,-1)
E =
     0     0     0
     1     0     0
     0     2     0
```

```
>> F=diag(diag(A))
F =
     1     0     0
     0     5     0
     0     0     9
```

Dreiecksmatrizen

- Die linke untere bzw. rechte obere Dreiecksmatrix von

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 7 \\ 2 & 5 & 8 \\ 3 & 6 & 9 \end{pmatrix}$$

kann mittels `tril(A,k)` bzw. `triu(A,k)` bestimmt werden

```
>> L=tril(A)
L =
     1     0     0
     2     5     0
     3     6     9
```

```
>> U=triu(A)
U =
     1     4     7
     0     5     8
     0     0     9
```

```
>> T=tril(A,-1)
T =
     0     0     0
     2     0     0
     3     6     0
```

- Es gilt `A` $\equiv$ `tril(A) + triu(A) - diag(diag(A))`

und `A` $\equiv$ `tril(A,-1) + triu(A,1) + diag(diag(A))`

Laden und Speichern von Variablen

- Inhalt des Workspaces kann mittels `save` gespeichert werden

```
>> save
Saving to:  matlab.mat
```

```
>> save Dateiname[.Ext]
```
Standardendung ist `.mat`

- `save Dateiname x y z` gespeichert nur die Variablen `x`, `y` und `z`
- `save Dateiname Var*` speichert alle Variablen mit Namen `Var...`
- Option `-ascii` speichert Daten als plattformunabhängige Textdatei
- Option `-mat` speichert Daten als Binärdatei (Standardformat)
- `load` liest gespeicherte Variablen aus einer Datei in den Workspace

M-Dateien

- Bisher: Befehle wurden direkt in der MATLAB Konsole eingegeben
- (Oft) besser: Algorithmen können in einer M-Datei editiert/gespeichert und mehrfach (mit unterschiedlichen Daten) aufgerufen werden
- Dateiendung `.m` kennzeichnet eine ausführbare Datei
- http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/
- **Skripte** besitzen keine Ein- und Ausgabeparameter und arbeiten mit den global im Workspace vorhandenen Variablen
- **Funktionen** besitzen Ein- und Ausgabeparameter und arbeiten intern mit lokalen Variablen, die automatisch gelöscht werden
- M-Dateien **müssen** eine gute Dokumentation enthalten ;-)

Skripte

moodle

Aufgabe: Berechne den betragsmäßig größten Eintrag der Matrix A.

M-Datei: `maxentry.m`

```
%MAXENTRY   Betragsmäßig größter Matrixeintrag
% MAXENTRY berechnet betragsmäßig größten Wert von A
B=abs(A); m=max(B); max(m)
```

- Kurzbeschreibung in H1-Zeile wird von `help`, `lookfor` verwendet
- Hilfetext endet vor der ersten Zeile ohne Kommentarzeichen „%"
- Globale Variablen `B` und `m` bleiben im Workspace erhalten

Funktionen

moodle

Aufgabe: Berechne den betragsmäßig größten Eintrag der Matrix A.

M-Datei: `maxentry1.m`

```
function y = maxentry1(A)
%MAXENTRY1   Betragsmäßig größter Matrixeintrag
% MAXENTRY1 berechnet betragsmäßig größten Wert von A
B=abs(A); m=max(B); y=max(m);
```

- Funktions- und Dateiname müssen übereinstimmen
- Deklaration `function Ausgabe = name(Eingabe)`
- Variablen `B` und `m` werden nach Verlassen der Funktion gelöscht

Funktionen mit mehreren Ausgabeparametern

moodle

Aufgabe: Berechne den betragsmäßig größten Eintrag der Matrix A und bestimme dessen Zeilen- und Spaltennummer.

M-Datei: `maxentry2.m`

```
function [y i j] = maxentry2(A)
%MAXENTRY2   Betragsmäßig größter Matrixeintrag
% MAXENTRY2 berechnet betragsmäßig größten Wert von A
[x k] = max(abs(A));
[y j] = max(x);
i     = k(j);
```

- Beim Aufruf können Ausgabeparameter von rechts nach links weggelassen werden, z.B. entfällt `j` bei `[y i] = maxentry2(A)`

Sichtbarkeit von Variablen

- Variablen in Skripten sind **global** und verbleiben im Workspace
- In Funktionen definierte Variablen sind **lokal**, d.h. sie sind außerhalb der Funktion nicht sichtbar, und werden automatisch gelöscht

Workspace

- definiere Variablen `a,b,c` im Workspace

Skript

- sieht Variablen `a,b,c`
- definiere Variable `x`

Funktion

- sieht Variablen `a,b,c,x`
- definiere Variable `y`

- Variablen `a,b,c,x` im Workspace vorhanden

Vergleichsoperatoren

- Logische Variablen haben den Wert 1 (=wahr) oder 0 (=falsch)

```
>> a=1,    b=2,    c=a==b
a =     b =     c =
    1       2       0

>> whos
  Name    Size    Bytes   Class
  a       1x1         8   double
  b       1x1         8   double
  c       1x1         1   logical
```

$=$	==	gleich
$\neq$	~=	ungleich
$>$	>	größer
$\geq$	>=	größer gleich
$<$	<	kleiner
$\leq$	<=	kleiner gleich

Vergleichsoperatoren

- Neben `double` wird der Datentyp `logical` unterstützt
- Zuweisungsoperator (c=42) ist **kein** Vergleichsoperator (a==b)

Vergleichsfunktionen

- Vergleich zwischen Matrix und Skalar (Elementweiser Vergleich)

```
>> diag([1; 1])==0
ans =
     0     1
     1     0
```

```
>> ones(2)==1
ans =
     1     1
     1     1
```

- Vergleich zwischen Matrizen gleicher Größe

```
>> diag([1; 1])==zeros(2)
ans =
     0     1
     1     0
```

```
>> ones(3)==ones(2)
??? Error using ==> eq
Matrix dimensions must agree.
```

- Vergleichsfunktionen `is*` für **beliebige** Variablen

```
>> isequal(diag([1; 1]),...
      zeros(2))
ans =
     0
```

```
>> isequal(ones(3),...
      ones(2))
ans =
     0
```

Übersicht über Vergleichsfunktionen

- Vergleichsfunktionen mit skalarem Rückgabewert (`doc is`)

`isequal(A,B,...)`	Test, ob A, B, etc. identisch sind
`isempty(A)`	Test, ob A die leere Matrix `[]` ist
`islogical(A)`	Test, ob A vom Typ `logical` ist
`isnumeric(A)`	Test, ob A ein Zahlwert ist
`isscalar(A)`	Test, ob A ein Skalar (1×1) ist
`isvector(A)`	Test, ob A ein Vektor $(1 \times n,\ n \times 1)$ ist

- Vergleichsfunktionen mit mehrdimensionalem Rückgabewert

`isfinite(A)`	Test auf endliche Matrixeinträge
`isinf(A)`	Test auf unendliche Matrixeinträge vom Typ `Inf`
`isnan(A)`	Test auf unzulässige Matrixeinträge vom Typ `NaN`

- Vergleich `x==NaN` ist falsch, selbst wenn `x` „not a number" ist

```
>> 0.0/0.0==NaN
ans = 0
```

```
>> isnan(0.0/0.0)
ans = 1
```

Logische Operatoren

- Logische Operatoren (`doc relop`)

`&`	logisches Und
`|`	logisches Oder
`~`	logisches Nicht
`xor`	logisches exklusives Oder

```
  0 1 0 1        0 1 0 1
& 0 0 1 1      | 0 0 1 1
= 0 0 0 1      = 0 1 1 1

                 0 1 0 1
~ 0 1        xor 0 0 1 1
= 1 0        = 0 1 1 0
```

- „short circuit" Varianten `&&` bzw. `||` für skalare Ausdrücke
  - **Effizienz:** *Ausdruck1* `||` *Ausdruck2*

    wenn *Ausdruck1* wahr ist, dann wird *Ausdruck2* nicht ausgewertet
  - **Fehlererkennung:** `x>0 && log(1/x)<=1`

    verhindert Division durch 0 sowie Logarithmusberechnung für $x \leq 0$

`find` Funktion

- `k=find(`*Ausdruck*`)` findet alle Indizes k des Vektors $\mathbf{v}$, für die die im *Ausdruck* definierte Bedingung wahr ist

```
>> v=1:10; k=find(v<=5)
k =
     1     2     3     4     5
```

```
>> k=find(mod(v,2)==0)
k =
     2     4     6     8    10
```

`mod` elementweise zu betrachten

```
>> v=1:10; k=find(v<=5 & mod(v,2)==0)
k =
     2     4
```

`find` Funktion

- `[i j s]=find(`*Ausdruck*`)` findet alle Indizes (i, j) der Matrix A, für die die im *Ausdruck* definierte Bedingung wahr ist und liefert die entsprechenden Werte in s

```
>> [i j]=find(ones(2)==diag([1 1]))
i =     j =
     1   2     1   2
```

$$\left(\begin{pmatrix}1 & 1\\ 1 & 1\end{pmatrix} == \begin{pmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{pmatrix}\right) = \begin{pmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{pmatrix}$$

Anwendung der `find` Funktion

- Berechnung auf Teilvektoren bzw. Teilmatrizen einschränken

```
>> v=[0 -4 2 6];   k=find(v>0);   w=log(v(k))
w =
    0.6931      1.7918
```

- Teilvektoren bzw. Teilmatrizen auswählen

```
>> A=rand(10);   k=find(A<=0.8);   l=length(k)
l =
    83
```

- Alle Nicht-Nulleinträge auswählen

```
>> A=diag(10:20);   [i j s]=find(A)
i =                  j =                  s =
    1   2   ...          1   2   ...          10   11   ...
```

Schleifen

- Schleifen dienen zur wiederholten Ausführung von Befehlen
- Einfachste Schleife ist der Doppelpunktoperator

  `A=1:5` ist Kurzform für `A(1)=1, A(2)=2, A(3)=3, ...`
- Es gibt zwei unterschiedliche Schleifenarten
  - `for` Schleifen mit **fester** Anzahl an Wiederholungen
  - `while` Schleifen mit **variabler** Anzahl an Wiederholungen
- Schleifen (auch unterschiedliche) können geschachtelt werden
- Programmierfehler können zu Endlosschleifen führen, die mit der Tastenkombination `Strg+C` abgebrochen werden können

Schleifen mit fester Anzahl an Wdh.

Aufgabe: Berechne für 100 Zufallszahlen zwischen 0 und 1 die Anzahl der Zufallszahlen kleiner als 0.8.

```
z=0; for i=1:100
  if rand(1)<0.8, z=z+1; end
end
```

```
for Variable=Ausdruck
  Befehlsfolge
end
```

- Schleifen über Wertelisten sind möglich

  `for x=[pi pi/2 pi/4]` $\rightarrow \quad x^{(1)} = \pi, \quad x^{(2)} = \frac{1}{2}\pi, \quad x^{(3)} = \frac{1}{4}\pi$

- Schleifen über Vektoren sind möglich

  `for x=eye(3)` $\rightarrow \quad x^{(1)} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad x^{(2)} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad x^{(3)} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$

Schleifen mit variabler Anzahl an Wdhlgen

moodle

Aufgabe: Berechne solange Zufallszahlen zwischen 0 und 1 bis eine Zahl größer oder gleich 0.8 auftritt.

```
z=0; while rand(1)<0.8
  z=z+1;
end
```

```
while Ausdruck
  Befehlsfolge
end
```

- `while` Schleifen werden wiederholt solange *Ausdruck* wahr ist
- `while 1, ..., end` erzeugt eine Endlosschleife
- Endlosschleifen *müssen* mittels `break` verlassen werden

Tipps zum Umgang mit Schleifen

1. Tip: `while` Schleifen können zwei unterschiedliche Formen haben.

```
i=0;
while i<n
  i=i+1;
end
```

$\overset{?}{\Longleftrightarrow}$

```
j=0;
while 1
  j=j+1;
  if j>=n, break, end
end
```

- Abbruchbedingung kann zu Beginn (vorprüfend) oder am Ende (nachprüfend) des Schleifendurchlaufs überprüft werden
- Hinweis für Programmierer: es gibt keine REPEAT-UNTIL Schleifen; verwende als Alternative `while 1, ..., end`

Tipps zum Umgang mit Schleifen

2. Tip: Schleifen können oft durch Arrayoperationen ersetzt werden (Stichwort: Vektorisieren).

- Beispiel: Erzeuge Vektor $x = (x_i)$, $\quad x_i = \begin{cases} i & \text{falls } i \text{ gerade} \\ \pi & \text{sonst} \end{cases}$

```
for i=1:n
  if mod(i,2) == 0
    x(i)=i;
  else
    x(i)=pi;
  end
end
```

$\Longleftrightarrow$

```
x(1:2:n) = pi;
x(2:2:n) = 2:2:n;
```

- Arrayoperationen sind übersichtlicher und bereits ausgetestet

Tipps zum Umgang mit Schleifen

- Gauss Elimination (T. Driscoll, Learning MATLAB, SIAM, '09)

```
n=length(A);
for k=1:n-1
 for i=k+1:n
  s=A(i,k)/A(k,k);
  for j=k:n
   A(i,j)=A(i,j)-s*A(k,j);
  end
 end
end
```

$\longrightarrow$

```
n=length(A);
for k=1:n-1
 row=k+1:n;
 col=k:n;
 s=A(row,k)/A(k,k);
 A(row,col)=...
     A(row,col)-s*A(k,col);
end
```

- Eine geschickte Implementierung kommt auch mit nur **einer** `for`-Schleife aus.

CPU Zeit	n=200	400	600	800	1000
3 Schleifen	0.18	1.57	5.64	14.05	27.36
1 Schleife	0.02	0.17	0.64	0.88	3.15

Nicht behandelte Themen

Die folgenden Themen (und viele mehr...) wurden in diesem Crashkurs nicht angesprochen:

- Komplexe Zahlen
- Zeichenketten, Bildschirmausgabe
- Grafikausgabe in 2D, 3D (`plot`, `plot3d`, ...)
- Symbolisches Rechnen
- Fortgeschrittene Datenstrukturen (dünnbesetzte Matrizen, Zellvariablen, ...)
- Debugger und Profiler

Weiterführende Informationen zu diesen Themen finden Sie in der eingangs erwähnten Literatur.

Quelle

- Modifizierter MATLAB-Crashkurs von Steffen Basting (2014)
  https://www.mathematik.tu-dortmund.de/sites/cop-kurs-ws14-15/